



MANUAL DE CARRETERAS

VOLUMEN N° 2

**PROCEDIMIENTOS DE
ESTUDIOS VIALES**

EDICIÓN 2018

Derechos Reservados

© MOP-DGOP-Dirección de Vialidad – Chile, 2018



MANUAL DE CARRETERAS

VOLUMEN N° 2

PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIOS VIALES

PRÓLOGO

Con el propósito de disponer de un documento íntegro, que facilite la consulta del Volumen N°2 “Procedimientos de Estudios Viales”, se ha preparado esta “**Edición 2018**”, cuyo contenido base es la edición 2017, actualizando referencias e incorporando las aclaraciones, modificaciones y nuevas disposiciones indicadas en su Complemento N°1 de septiembre 2017. Además, se actualiza lo referente a la nueva norma **NCh170:2016** Hormigón – Requisitos Generales y se incorpora el concepto “**Valor de Aceptación**” en el nuevo Numeral 2.309.104. Se ajustan también varios Numerales, a saber: 2.302.302, 2.305.503, 2.309.303, 2.309.304 y 2.309.305.

EDICIÓN 2018

EDICIÓN 2018

Esta **Edición 2018** del MC-V2 "Procedimientos de Estudios Viales" es producto del trabajo de muchos profesionales que, a través de diversas actualizaciones o complementos editados en el tiempo, han aportado sus conocimientos, experiencias y criterios para generar esta obra, que recoge parte de la memoria institucional y de la ingeniería del país en el quehacer vial.

DICIEMBRE 2001

LEN Y ASOCIADOS INGENIEROS CONSULTORES LTDA..

REDACTORES:

Ing. Orlando Fuentealba Ch
Ing. Geod. Heiner Lange
Ing. Geom. René Zepeda G.
Ing. Phd. Eduardo Varas C.
Ing. Phd. Luis Ayala R.
Ing. Dusan Dujisin Q.
Geól. Msc. Hugo Delucchi F.

Ing. Santiago Sánchez G.
Ing. Alfredo Eisenberg G.
Ing. Carlos Silva O.
Ing. Pedro Inojosa B.
Ing. Geog. Claudio Muñoz R.
CC.C. Mario Inojosa L.
CC. Eduardo Rodríguez V.

DIRECCIÓN DE VIALIDAD

REVISORES:

Ing. Sonia Morales P.
Ing. Walter Bruning M
Ing. Osvaldo Aguayo Z.
Ing. María Inés Martínez G.
Ing. Oscar Asenjo G.
Ing. Eduardo Parada V.
Ing. Victor Roco H.
Ing. Ej. Eduardo Aravena P.

Igualmente, la Dirección de Vialidad, agradece la colaboración prestada por la Asociación de Ingenieros Consultores A.G. y por la Cámara Chilena de la Construcción, por los aportes técnicos puntuales a la *Versión Previa a Impresión* de esta versión del Volumen.

DICIEMBRE 2002

Complemento confeccionado y editado por el Departamento Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad.

SEPTIEMBRE 2003

Complemento confeccionado y editado por el Departamento Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad.

JUNIO 2004

Complemento confeccionado y editado por Manual de Carreteras – Departamento de Estudios Viales –SDD-DV, con apoyo de especialistas del Servicio.

DICIEMBRE 2004

Complemento confeccionado y editado por Manual de Carreteras – Departamento de Estudios Viales –SDD-DV, con apoyo de especialistas del Servicio.

DICIEMBRE 2005

Complemento confeccionado y editado por Manual de Carreteras – Departamento de Estudios Viales –SDD-DV, con apoyo de especialistas del Servicio.

MARZO 2007

Complemento confeccionado y editado por Manual de Carreteras – Departamento de Estudios Viales –SDD-DV, con apoyo de especialistas del Servicio.

MARZO 2008

Coordinación General:	Ing. Gustavo Nabalón S	
Edición y Revisión :	Ing. Héctor Briones P.	Ing. Víctor Reyes G.

AGOSTO 2010

Complemento confeccionado y editado por Manual de Carreteras – Departamento de Viales –SDD-DV.

Ing. Gustavo Nabalón S	Ing. Víctor Reyes G.	Geog. Gloria Muñoz M.
Ing. Oscar Asenjo G.	Ing. Nelson Toro U.	
Ing. Renán Fuentes A..	Ing. Alberto Bull S.	
Ing. Mario Bravo C.	Ing. Héctor Briones P.	

DICIEMBRE 2010

Coordinación General:	Ing. Alberto Bull S.	
Edición y Revisión :	Ing. Héctor Briones P.	Ing. Víctor Reyes G.

MARZO 2012

Coordinación General:	Ing. Alberto Bull S.	
Edición y Revisión :	Ing. Héctor Briones P.	Ing. Víctor Reyes G.

JUNIO 2013

Coordinación General:	Ing. Alberto Bull S.	
Edición y Revisión :	Ing. Héctor Briones P.	Ing. Víctor Reyes G.

JUNIO 2014

Coordinación General: Ing. Alberto Bull S.
Edición y Revisión : Ing. Héctor Briones P. Ing. Jaime Carramiñana B. Ing. Víctor Reyes G.

MARZO 2015

Complemento confeccionado y editado por Manual de Carreteras – Departamento de Estudios Viales –SDD-DV.

Ing. Oscar Asenjo G. Ing. Mario Bravo C. Ing. Héctor Briones P.
Ing. Alberto Bull S. Ing. Jaime Carramiñana B. Ing. Renán Fuentes A.
Ing. Víctor Reyes G. Ing. Rubén Valenzuela M.

JUNIO 2015

Coordinación General: Ing. Alberto Bull S..
Edición y Revisión : Ing. Héctor Briones P. Ing. Jaime Carramiñana B. Ing. Víctor Reyes G.

JUNIO 2016

Coordinación General: Ing. Alberto Bull S.
Edición y Revisión : Ing. Mario Bravo C. Ing. Héctor Briones P. Ing. Jaime Carramiñana B. Ing. Víctor Reyes G.

MARZO 2017

Complemento confeccionado y editado por Manual de Carreteras – Departamento de Estudios Viales –SDD-DV.

Ing. Oscar Asenjo G. Ing. Héctor Briones P. Ing. Alberto Bull S.
Ing. Mario Bravo C Ing. Jaime Carramiñana B. Ing. Víctor Reyes G.

JUNIO 2017

Coordinación General: Ing. Alberto Bull S..
Edición y Revisión : Ing. Héctor Briones P. Ing. Jaime Carramiñana B. Ing. Víctor Reyes G.

SEPTIEMBRE 2017

Complemento confeccionado y editado por Manual de Carreteras – Departamento de Estudios Viales –SDD-DV.

Ing. Oscar Asenjo G. Ing. Héctor Briones P. Ing. Jaime Carramiñana B.
Ing. Renán Fuentes A. Ing. Víctor Reyes G.

JUNIO 2018

Coordinación General: Ing. Renán Fuentes A.
Edición y Revisión : Ing. Héctor Briones P. Ing. Víctor Reyes G. Ing. Jaime Carramiñana B.
Ing. Víctor Rocco H. Ing. Lesly Fuentes I.

Se agradece también la participación y colaboración en la elaboración de esta Edición Junio 2018 del Volumen N°2 Procedimientos de Estudios Viales, a los siguientes profesionales:

- Hector Castillo Becerra del Departamento de Proyectos del Región Metropolitana.
- Daniel Cabrera Duque del Departamento de Proyectos de la Región de la Araucanía
- Mario Bravo Contreras de la División de Ingeniería
- Claudio Valdenegro Cerda del Departamento de planes de Infraestructura Vial de la Subdirección de Desarrollo

MANUAL DE CARRETERAS

VOLUMEN N°2 PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIOS VIALES

Qué es el Manual de Carreteras

El Manual de Carreteras (MC) de la Dirección de Vialidad (DV) es un documento de carácter normativo, que sirve de guía para las diferentes acciones que son de competencia técnica del Servicio. En él se establecen criterios, procedimientos, especificaciones y métodos que indican las condiciones por cumplir en los proyectos y demás actividades viales, y que guardan relación con las diversas fases que conforman el ciclo de vida de un proyecto de camino o carretera, esto es, preinversión, inversión y operación.

El MC pretende ser un apoyo para asegurar el desempeño en la misión de Vialidad respecto de la red vial. Por desempeño se entiende alcanzar lo que se quiere o requiere en cada camino. A estos efectos, son criterios de base esenciales la conectividad, seguridad y sustentabilidad.

La conectividad implica que cada vía necesita un determinado estándar, que haga posible tiempos de viaje y costos de operación acordes con su importancia y con el servicio que presta, bajo consideraciones de beneficios y costos sociales, confort, estética y estado adecuados. Asimismo, debe estar el máximo de tiempo disponible al tránsito, lo que apunta a apropiadas intervenciones de conservación, a la vez que de manejo de su vulnerabilidad a desastres naturales.

La seguridad vial tiene por objetivo disminuir las tasas de accidentes de tránsito y su severidad, de tal manera de reducir el número de víctimas fatales, heridos graves e incapacitados.

La sustentabilidad incluye tres pilares: económico, consistente en poder continuar produciendo riquezas para satisfacer las necesidades de la población; social, tendiente a aumentar la inclusión y reducir las desigualdades, y medioambiental, es decir, no degradar el medio que heredarán las generaciones futuras.

El desempeño demanda que en cada intervención en la red deben estar presentes todos los mencionados criterios de base, en su debida extensión y combinados armónicamente. Las disposiciones del MC han sido elaboradas teniéndolos en consideración.

El MC recoge la experiencia nacional e internacional y las soluciones que han sido investigadas, ensayadas y aprobadas por la DV. Como tal, constituye un piso o calidad mínima para las actuaciones en las carreteras y caminos. Así, establece directrices, uniforma procedimientos técnicos y sistematiza criterios, coordinando las diversas especialidades involucradas, y considerando, cuando correspondiere, la experiencia local. Las soluciones se aplican a problemas habituales, tanto de terreno como de gabinete, debiéndose recurrir a especialistas en situaciones más complejas no contempladas.

Aplicación

Las disposiciones del MC deberán ser aplicadas por los profesionales y demás personas o entidades que realicen trabajos para la Dirección de Vialidad, o que estén bajo su supervisión. Sin embargo, ellas no sustituyen el conocimiento cabal de las situaciones particulares, como tampoco la experiencia y el buen criterio, ni eximen de la consideración de los criterios de base, todo lo que debe ser parte integral de cada desarrollo vial.

Con todo, el MC no es rígido ni imperativo, y en tanto se respeten los criterios de base que inspiran sus disposiciones, la DV puede aceptar innovaciones y soluciones alternativas, siempre que las estime mejores o a lo menos de igual calidad que las indicadas en aquél. En todo caso, de ser el MC parte

integrante de un contrato, las soluciones diferentes deben procesarse conforme a las normas que rigen el contrato.

Actualizaciones

Como todo ámbito tecnológico, la ingeniería vial está en permanente cambio y renovación, lo que promueve innovar, mejorar, ampliar o sustituir las disposiciones contenidas en el MC.

El MC se considera en actualización permanente. Mantenerlo al día debe ser una preocupación constante de todos los profesionales y técnicos ligados al quehacer de Vialidad. Como procedimiento, los cambios deben ser propuestos formal y fundamentado a la instancia respectiva de la DV. Ésta los analizará y, si correspondiere, resolverá su incorporación en el nivel apropiado, sea como caso particular en una obra o proyecto específico, o como una disposición de carácter general en el MC.

Estructura

La estructura del Manual está conformada por nueve volúmenes, acordes con las diferentes etapas y/o especialidades involucradas. Ellos son los siguientes:

- Volumen N°1 (MC-V1) : Planificación, Evaluación y Desarrollo Vial
- Volumen N°2 (MC-V2) : Procedimientos de Estudios Viales
- Volumen N°3 (MC-V3) : Instrucciones y Criterios de Diseño
- Volumen N°4 (MC-V4) : Planos de Obras Tipo
- Volumen N°5 (MC-V5) : Especificaciones Técnicas Generales de Construcción
- Volumen N°6 (MC-V6) : Seguridad Vial
- Volumen N°7 (MC-V7) : Mantenimiento Vial
- Volumen N°8 (MC-V8) : Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control
- Volumen N°9 (MC-V9) : Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales

El MC es un documento integrado y coherente, que mediante numerosas citas cruzadas, permite ligar y relacionar diversos aspectos de un mismo tema tratados en los diferentes volúmenes.

Volumen N°2

El presente Volumen N°2, Procedimientos de Estudios Viales, entrega los distintos niveles de estudios viales, las diversas ingenierías básicas y los procedimientos de terreno y gabinete necesarios para desarrollar y presentar los proyectos viales. El desempeño consiste en generar proyectos de alcances y precisiones adecuadas para cada nivel de estudio, y especialmente, que los documentos para llevar a cabo las obras permitan su ejecución, en lo posible, sin cambios ni contratiempos.

Se llama la atención a que la expresión GPS (*Global Positioning System* o Sistema de Posicionamiento Global) debe entenderse como GNSS (*Global Navigation Satellite System* o Sistemas Satelitales de Navegación Global), salvo que por su contexto, se refiera al sistema específico desarrollado por Estados Unidos.

MANUAL DE CARRETERAS

VOLUMEN N°2

PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIOS VIALES

INDICE GENERAL

**DIRECCION DE VIALIDAD
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
CHILE**

MANUAL DE CARRETERAS

VOLUMEN 2

PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIOS VIALES

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 2.000 INFORMACIÓN GENERAL

SECCIÓN 2.001 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL VOLUMEN

- 2.001.1 CAMPO DE APLICACIÓN
- 2.001.2 CONCEPCIÓN DEL VOLUMEN
- 2.001.3 VALIDEZ DE LÍMITES NORMATIVOS Y RECOMENDACIONES
- 2.001.4 RESPONSABILIDAD DEL PROYECTISTA

SECCIÓN 2.002 ESTRUCTURA DEL VOLUMEN

- 2.002.1 MATERIAS CUBIERTAS A NIVEL DE CAPÍTULOS
- 2.002.2 FLEXIBILIDAD DE LA ESTRUCTURA

SECCIÓN 2.003 NOMENCLATURA

- 2.003.1 ABREVIATURAS

SECCIÓN 2.004 SISTEMA DE UNIDADES

- 2.004.1 ASPECTOS GENERALES
- 2.004.2 OBLIGATORIEDAD DEL EMPLEO DE LA NORMA
- 2.004.3 RESUMEN DE LA NORMA NCh 30 Of98
- 2.004.4 LONGITUDES Y DISTANCIAS ACUMULADAS EN PROYECTOS VIALES

SECCIÓN 2.005 ANTECEDENTES EXISTENTES PARA EL ESTUDIO DE OBRAS VIALES

- 2.005.1 ASPECTOS GENERALES
- 2.005.2 MANUAL DE CARRETERAS DE LA DIRECCIÓN DE VIALIDAD
- 2.005.3 VÉRTICES GEODÉSICOS GPS DEL IGM
- 2.005.4 MAPAS, CARTAS Y CARTOGRAFÍA VIAL
- 2.005.5 FOTOGRAFÍA, ORTOFOTOS Y MODELOS DIGITALES
- 2.005.6 CLIMA, PLUVIOMETRÍA Y FLUVIOMETRÍA
- 2.005.7 GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
- 2.005.8 TRÁNSITO Y ESTADÍSTICAS AFINES
- 2.005.9 ANTECEDENTES SOCIO-ECONÓMICOS
- 2.005.10 ANTECEDENTES AMBIENTALES Y TERRITORIALES
- 2.005.11 OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

CAPÍTULO 2.100 SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN Y NIVELES DE ESTUDIO

SECCIÓN 2.101 CONCEPTOS BÁSICOS

- 2.101.1 ALCANCES DEL CAPÍTULO Y SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE LOS CAMINOS
- 2.101.2 DEFINICIONES BÁSICAS Y CLASIFICACIÓN DE LOS PROYECTOS

2.101.3	CARACTERÍSTICAS DE LAS CARRETERAS Y CAMINOS SEGÚN SU CLASIFICACIÓN FUNCIONAL
2.101.4	CICLO DE VIDA Y NIVELES DE ESTUDIO DE UN PROYECTO
SECCIÓN	2.102 ESTUDIO PRELIMINAR
2.102.1	ASPECTOS GENERALES
2.102.2	ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS EN NUEVOS TRAZADOS
2.102.3	ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE RECUPERACIÓN Y CAMBIO DE ESTÁNDAR
2.102.4	ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE RECUPERACIÓN DE ESTÁNDAR
2.102.5	ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE CAMBIOS DE ESTÁNDAR
SECCIÓN	2.103 NIVELES AVANZADOS DE ESTUDIO EN PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS
2.103.1	ANTEPROYECTO
2.103.2	ESTUDIO DEFINITIVO
SECCIÓN	2.104 NIVELES AVANZADOS DE ESTUDIO EN PROYECTOS DE RECUPERACIÓN DE ESTÁNDAR Y DE CAMBIO DE ESTANDAR
2.104.1	ASPECTOS GENERALES
2.104.2	INGENIERÍA BÁSICA
2.104.3	ANTEPROYECTO
2.104.4	ESTUDIO DEFINITIVO
SECCIÓN	2.105 IDENTIFICACIÓN DE LA INGENIERÍA BÁSICA Y METODOLOGÍAS DETALLADAS DE ESTUDIO
CAPÍTULO	2.200 TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA EL ESTUDIO DE OBRAS VIALES (TR)
SECCIÓN	2.201 BASES DE CONCURSO Y TÉRMINOS DE REFERENCIA
2.201.1	ASPECTOS GENERALES
2.201.2	DESCRIPCIÓN Y ALCANCES DEL ESTUDIO
2.201.3	DOCUMENTOS GENERALES Y ALCANCES ESPECÍFICOS
2.201.4	TÉRMINOS DE REFERENCIA ESPECÍFICOS (TRE)
CAPÍTULO	2.300 INGENIERÍA BÁSICA - ASPECTOS GEODÉSICOS Y TOPOGRÁFICOS
SECCIÓN	2.301 ASPECTOS GENERALES
2.301.1	OBJETIVOS Y ALCANCES
2.301.2	DEFINICIONES BÁSICAS
2.301.3	SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITES
2.301.4	SISTEMAS GLOBALES DE REFERENCIA
SECCIÓN	2.302 REFERENCIACIÓN DE LOS ESTUDIOS
2.302.1	ASPECTOS GENERALES
2.302.2	REFERENCIACIÓN PLANIMÉTRICA
2.302.3	REFERENCIACIÓN ALTIMÉTRICA
2.302.4	FORMATO DE ENTREGA DE REDES DE REFERENCIA
SECCIÓN	2.303 SISTEMA DE TRANSPORTE DE COORDENADAS (STC)
2.303.1	ASPECTOS GENERALES
2.303.2	TRANSPORTE DE COORDENADAS MEDIANTE POLIGONALES TOPOGRÁFICAS
2.303.3	TRANSPORTE DE COORDENADAS MEDIANTE GNSS
2.303.4	MONUMENTACIÓN DE LAS REFERENCIAS

SECCIÓN 2.304 LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

- 2.304.1 ASPECTOS GENERALES
- 2.304.2 LEVANTAMIENTOS COORDENADOS TERRESTRES
- 2.304.3 LEVANTAMIENTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS
- 2.304.4 LEVANTAMIENTOS MEDIANTE LÁSER TRANSPORTADO
- 2.304.5 LEVANTAMIENTOS TERRESTRES MEDIANTE PERFILES
- 2.304.6 LEVANTAMIENTOS CATASTRALES
- 2.304.7 MEDICIONES GNSS PARA HIDROGRAFÍA

SECCIÓN 2.305 CONCEPTOS Y MÉTODOS GENERALES EN MEDIDAS DE TOPOGRAFÍA

- 2.305.1 OBJETIVOS Y ALCANCES
- 2.305.2 MEDICIÓN DE DISTANCIAS HORIZONTALES
- 2.305.3 MEDICIÓN DE DISTANCIAS VERTICALES O DESNIVELES
- 2.305.4 MEDICIÓN DE ÁNGULOS

SECCIÓN 2.306 ANÁLISIS DE ERRORES

- 2.306.1 OBJETIVOS Y ALCANCES
- 2.306.2 ERRORES Y SU CUANTIFICACIÓN

SECCIÓN 2.307 REPLANTEO DE OBRAS VIALES

- 2.307.1 ASPECTOS GENERALES
- 2.307.2 REPLANTEO DEL TRAZADO
- 2.307.3 REPLANTEO DESDE EL SISTEMA DE TRANSPORTE DE COORDENADAS
- 2.307.4 REPLANTEO DESDE EL TRAZADO GEOMÉTRICO

SECCIÓN 2.308 CUBICACIONES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

- 2.308.1 INTRODUCCIÓN
- 2.308.2 CUBICACIONES MEDIANTE SUPERPOSICIÓN DE MODELOS DIGITALES
- 2.308.3 CUBICACIONES MEDIANTE PERFILES TRANSVERSALES

SECCIÓN 2.309 CONTROL DE CALIDAD EN TRABAJOS DE TOPOGRAFÍA VIAL

- 2.309.1 ASPECTOS GENERALES
- 2.309.2 VERIFICACIÓN DE LA MONUMENTACIÓN Y BALIZADO
- 2.309.3 VERIFICACIÓN DE LAS DETERMINACIONES TOPOGRAFICAS

SECCIÓN 2.310 CONSIDERACIONES GENERALES PARA EJECUTAR TRABAJOS TOPOGRÁFICOS

- 2.310.1 PLANIFICACIÓN DE LOS TRABAJOS
- 2.310.2 PERSONAL PROFESIONAL Y TECNICO
- 2.310.3 INSTRUMENTOS DE CAMPO
- 2.310.4 PERMISOS
- 2.310.5 ROCES

CAPITULO 2.400 INGENIERIA BÁSICA ASPECTOS DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

SECCION 2.401 ASPECTOS GENERALES

- 2.401.1 ORGANIZACIÓN DEL CAPITULO
- 2.401.2 OBJETIVOS Y ALCANCES
- 2.401.3 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS
- 2.401.4 ESTUDIOS HIDRÁULICOS
- 2.401.5 EROSIÓN DE SUELOS, ARRASTRE Y DEPOSITACIÓN DE SEDIMENTOS
- 2.401.6 ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS
- 2.401.7 INFORMACION PERTINENTE CONTENIDA EN OTROS VOLÚMENES DEL MANUAL

SECCION 2.402 PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS HIDROLÓGICAS

- 2.402.1 FACTORES QUE DETERMINAN EL ESCURRIMIENTO
- 2.402.2 MÉTODOS PARA CALCULAR UNA CRECIDA DE DISEÑO
- 2.402.3 SEGURIDAD Y CONFIABILIDAD DEL DISEÑO
- 2.402.4 ESTUDIOS DE FRECUENCIA
- 2.402.5 ANÁLISIS REGIONAL DE CRECIDAS
- 2.402.6 TORMENTAS DE DISEÑO
- 2.402.7 CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA DE LLUVIAS
- 2.402.8 MÉTODO RACIONAL
- 2.402.9 MÉTODO DEL SCS
- 2.402.10 HIDROGRAMAS UNITARIOS
- 2.402.11 MÉTODOS DGA
- 2.402.12 MODELOS DE SIMULACIÓN

SECCION 2.403 PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS HIDRÁULICAS

- 2.403.1 ASPECTOS GENERALES
- 2.403.2 ESCURRIMIENTO CRÍTICO
- 2.403.3 ESCURRIMIENTO UNIFORME
- 2.403.4 FLUJO GRADUALMENTE VARIADO
- 2.403.5 SINGULARIDADES
- 2.403.6 ESTRUCTURAS ESPECIALES
- 2.403.7 FENÓMENOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS, PROCESOS FLUVIALES Y MÉTODOS DE ANÁLISIS

SECCIÓN 2.404 ALCANCE DE LOS ESTUDIOS DE HIDROLOGÍA Y DRENAJE

- 2.404.1 PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS
- 2.404.2 PROYECTOS DE RECUPERACIÓN Y CAMBIO DE ESTÁNDAR

SECCIÓN 2.405 ILUSTRACIÓN DE ALGUNOS PROBLEMAS TÍPICOS DE ANÁLISIS HIDROLÓGICO

2.405.1	OBJETIVOS Y ALCANCES
2.405.2	FRECUENCIA DE LLUVIAS MAXIMAS DIARIAS
2.405.3	CALCULO DE CAUDALES DE DISEÑO MEDIANTE EL HIDROGRAMA UNITARIO
SECCION	2.406 ILUSTRACION DE ALGUNOS PROBLEMAS TÍPICOS DE DISEÑO HIDRAULICO
2.406.1	OBJETIVOS Y ALCANCES
2.406.2	ESCURRIMIENTO CRITICO
2.406.3	ESCURRIMIENTO UNIFORME
2.406.4	FLUJO GRADUALMENTE VARIADO
CAPITULO	2.500 INGENIERIA BASICA - ASPECTOS GEOTECNICOS
SECCION	2.501 ASPECTOS GENERALES
2.501.1	INFORMACION CONTENIDA EN OTROS VOLUMENES DEL MANUAL
2.501.2	OBJETIVOS Y ALCANCES DEL CAPITULO
SECCION	2.502 ESTUDIOS DE GABINETE EN BASE A ANTECEDENTES EXISTENTES
2.502.1	ASPECTOS GEOTECNICOS EN EL ESTUDIO PRELIMINAR DE NUEVOS TRAZADOS
2.502.2	ASPECTOS GEOTECNICOS EN EL ESTUDIO PRELIMINAR DE RECUPERACION Y CAMBIO DE ESTANDAR
2.502.3	ETAPAS AVANZADAS DE LOS ESTUDIOS GEOTECNICOS
SECCION	2.503 ESTUDIOS EN TERRENO
2.503.1	RECONOCIMIENTO DE SUPERFICIE
2.503.2	RECONOCIMIENTO DEL PERFIL ESTRATIGRAFICO
2.503.3	ENSAYES EN SITIO
2.503.4	MEDICION DE DEFLEXION
2.503.5	PROSPECCION GEOFISICA
SECCION	2.504 ENSAYES DE LABORATORIO
2.504.1	NORMAS DE PROCEDIMIENTO
2.504.2	PROPIEDADES INDICES
2.504.3	DENSIFICACION
2.504.4	PROPIEDADES MECANICAS E HIDRAULICAS
2.504.5	CANTIDADES DE MUESTRAS
SECCION	2.505 ESTUDIOS GEOTECNICOS ESPECIALES
2.505.1	YACIMIENTOS
2.505.2	PUNTES Y OBRAS DE ARTE MAYORES
2.505.3	CORTES
2.505.4	TERRAPLENES
SECCION	2.506 ALCANCE DE LOS ESTUDIOS GEOTECNICOS SEGUN NIVEL Y CARACTERISTICAS DEL PROYECTO
2.506.1	PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS
2.506.2	PROYECTOS DE RECUPERACION Y DE CAMBIO DE ESTANDAR
CAPITULO	2.600 INGENIERIA BASICA - DEMANDA Y CARACTERISTICAS DEL TRANSITO
SECCION	2.601 ASPECTOS GENERALES
2.601.1	OBJETIVOS Y ALCANCES
2.601.2	INFORMACION CONTENIDA EN OTROS VOLUMENES DEL MANUAL
SECCION	2.602 TRANSITO USUARIO DE UN PROYECTO VIAL

2.602.1	ASPECTOS GENERALES
2.602.2	MODELACION
2.602.3	TIPOLOGIA DE PROYECTOS
2.602.4	COMPONENTES DE LA DEMANDA A NIVEL DE ARCOS
SECCION	2.603 VOLUMEN DE TRANSITO Y SUS CARACTERISTICAS
2.603.1	VOLUMEN DE TRANSITO
2.603.2	COMPOSICION DEL TRANSITO
2.603.3	VARIACIONES CICLICAS DEL TRANSITO
2.603.4	MEDICIONES DE TRANSITO
2.603.5	PROYECCIONES DE TRANSITO
2.603.6	VOLUMEN DE DISEÑO
2.603.7	SOLICITACIONES PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS
SECCION	2.604 ALCANCE DE LOS ESTUDIOS DE TRANSITO SEGUN NIVELES Y CARACTERISTICAS DEL PROYECTO
2.604.1	ASPECTOS GENERALES
2.604.2	PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS
2.604.3	PROYECTOS DE RECUPERACION DE ESTANDAR Y DE CAMBIO DE ESTANDAR
CAPITULO	2.700 INGENIERIA BASICA – ASPECTOS AMBIENTALES
SECCION	2.701 ASPECTOS GENERALES
SECCION	2.702 ASPECTOS AMBIENTALES EN OTROS VOLUMENES DEL MANUAL DE CARRETERAS
SECCION	2.703 MARCO LEGAL
SECCION	2.704 CONCEPCION AMBIENTAL DE LOS PROYECTOS VIALES
CAPITULO	2.800 PROCEDIMIENTOS DE TERRENO Y GABINETE PARA EL DESARROLLO DE ESTUDIOS VIALES
SECCION	2.801 CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS BASICOS
2.801.1	PROCEDIMIENTOS GENERALES APLICABLES A DIVERSOS NIVELES DE ESTUDIO
2.801.2	CONTROLES DEL TRAZADO
2.801.3	CRITERIOS GENERALES RELATIVOS A LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS
2.801.4	TRAZADO DE EJES EN PLANTA Y RASANTE
2.801.5	CARACTERIZACION DE MONOGRAFÍAS EN PROYECTOS VIALES
SECCION	2.802 ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS
2.802.1	ASPECTOS GENERALES
2.802.2	DEFINICION PRELIMINAR DE LAS CARACTERISTICAS Y PARAMETROS DE DISEÑO
2.802.3	IDENTIFICACION DE RUTAS POSIBLES
2.802.4	ELECCION DE LA METODOLOGIA QUE SE UTILIZARA EN LOS SIGUIENTES NIVELES DE ESTUDIO
2.802.5	INFORME FINAL DEL ESTUDIO PRELIMINAR PARA NUEVOS TRAZADOS
SECCION	2.803 ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE RECUPERACION Y DE CAMBIO DE ESTANDAR
2.803.1	ASPECTOS GENERALES
2.803.2	DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA
2.803.3	DEFINICION PRELIMINAR DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION
2.803.4	ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD PARA PROYECTOS DE RECUPERACION Y DE CAMBIO DE ESTANDAR
2.803.5	ELECCION DE LA METODOLOGIA QUE SE UTILIZARA EN LOS SIGUIENTES NIVELES DE ESTUDIO

2.803.6	INFORME FINAL DEL ESTUDIO PRELIMINAR PROYECTOS DE RECUPERACION Y CAMBIO DE ESTANDAR
SECCION	2.804 ANTEPROYECTO (ANT)
2.804.1	ASPECTOS GENERALES
2.804.2	SECUENCIA Y PROCEDIMIENTOS EN UN ANTEPROYECTO
SECCION	2.805 ESTUDIO DEFINITIVO EN NUEVOS TRAZADOS
2.805.1	ASPECTOS GENERALES
2.805.2	ESTUDIO DEFINITIVO CON ESTACADO TOTAL(EDET)
2.805.3	ESTUDIO DEFINITIVO CON ESTACADO PARCIAL (EDEP)
SECCION	2.806 ESTUDIO DEFINITIVO PARA RECUPERACION DE ESTANDAR (RED)
2.806.1	ASPECTOS GENERALES
2.806.2	INGENIERIA BASICA
2.806.3	DISEÑO FINAL O ESTUDIO DEFINITIVO
SECCION	2.807 ESTUDIO DEFINITIVO PARA CAMBIO DE ESTANDAR (CED)
2.807.1	ASPECTOS GENERALES
2.807.2	METODOLOGIAS ALTERNATIVAS
SECCION	2.808 ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS
2.808.1	OBJETIVOS Y ALCANCES
2.808.2	PROYECTOS ESPECIALES
2.808.3	ESPECIFICACIONES TECNICAS
2.808.4	CUBICACIONES
2.808.5	PRESUPUESTOS
SECCION	2.809 EXPROPIACIONES
2.809.1	ASPECTOS GENERALES
2.809.2	DETERMINACION DE LA FAJA AFECTADA
2.809.3	ANTECEDENTES PARA LA EXPROPIACION DE LA FAJA
CAPITULO	2.900 PLANOS, INFORMES Y DOCUMENTOS DEL ESTUDIO
SECCION	2.901 OBJETIVOS Y ALCANCES
2.901.1	ASPECTOS GENERALES
2.901.2	FORMATOS DIGITALES PARA TEXTOS Y TABLAS
2.901.3	FORMATOS DIGITALES PARA MODELOS DE TERRENO Y PLANOS
2.901.4	MEDIOS MAGNETICOS DE RESPALDO
SECCION	2.902 PLANOS
2.902.1	ASPECTOS GENERALES
2.902.2	TIPOS DE PLANOS Y ESCALAS SEGUN NIVEL DEL ESTUDIO
2.902.3	CONTENIDO GRAFICO Y NUMERICO DE LOS PLANOS SEGUN NIVEL DE ESTUDIO
SECCION	2.903 INFORMES Y DOCUMENTOS
2.903.1	ASPECTOS GENERALES
2.903.2	ESTRUCTURA DE LOS INFORMES
2.903.3	CUADROS Y DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS
SECCION	2.904 PLANOS A COLOR EN FORMATO A-3
2.904.1	ASPECTOS GENERALES
2.904.2	COLORES, TIPO DE LINEA Y ESPESORES
2.904.3	ILUSTRACION GRAFICA DE PLANOS FORMATO A-3

MANUAL DE CARRETERAS

VOLUMEN N°2

PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIOS VIALES

CAPITULO 2.000 INFORMACION GENERAL

**DIRECCION DE VIALIDAD
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
CHILE**

CAPITULO 2.000 INFORMACION GENERAL

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO 2.000 INFORMACION GENERAL

SECCION 2.001 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL VOLUMEN

- 2.001.1 CAMPO DE APLICACION
- 2.001.2 CONCEPCION DEL VOLUMEN
- 2.001.3 VALIDEZ DE LIMITES NORMATIVOS Y RECOMENDACIONES
 - 2.001.301 Términos de Referencia Generales.
 - 2.001.302 Límites Normativos.
 - 2.001.303 Métodos y Procedimientos Recomendados.
 - 2.001.304 Aplicación de Otras Normas.
 - 2.001.305 Términos de Referencia Específicos.
- 2.001.4 RESPONSABILIDAD DEL PROYECTISTA

SECCION 2.002 ESTRUCTURA DEL VOLUMEN

2.002.1 MATERIAS CUBIERTAS A NIVEL DE CAPITULOS

CAPITULO 2.000 INFORMACION GENERAL
CAPITULO 2.100 SISTEMAS DE CLASIFICACION Y NIVELES DE ESTUDIO PARA OBRAS VIALES
CAPITULO 2.200 TERMINOS DE REFERENCIA GENERALES PARA EL ESTUDIO DE OBRAS VIALES
CAPITULO 2.300 INGENIERIA BASICA - ASPECTOS GEODESICOS Y TOPOGRAFICOS
CAPITULO 2.400 INGENIERIA BASICA-ASPECTOS DE HIDROLOGIA, HIDRAULICA Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS
CAPITULO 2.500 INGENIERIA BASICA - ASPECTOS GEOTECNICOS
CAPITULO 2.600 INGENIERIA BASICA - DEMANDA Y CARACTERISTICAS DEL TRANSITO
CAPITULO 2.700 ASPECTOS AMBIENTALES - IMPACTO Y MITIGACION
CAPITULO 2.800 PROCEDIMIENTOS DE TERRENO Y GABINETE PARA EL DESARROLLO DE ESTUDIOS VIALES
CAPITULO 2.900 PLANOS, INFORMES Y DOCUMENTOS DEL ESTUDIO

2.002.2 FLEXIBILIDAD DE LA ESTRUCTURA

SECCION 2.003 NOMENCLATURA

2.003.1 ABREVIATURAS

- 2.003.101 Abreviaturas Instituciones Nacionales.
- 2.003.102 Abreviaturas Instituciones Extranjeras.
- 2.003.103 Abreviaturas de Conceptos Utilizados en este Volumen.

SECCION 2.004 SISTEMA DE UNIDADES

- 2.004.1 ASPECTOS GENERALES
- 2.004.2 OBLIGATORIEDAD DEL EMPLEO DE LA NORMA

- 2.004.3 RESUMEN DE LA NORMA NCh 30 Of98
 - (1) Alcance
 - (2) Referencia
 - (3) Unidades SI
 - (4) Múltiplos de las unidades SI
 - (5) Uso de las unidades SI y sus derivados
 - (6) Reglas para escribir los símbolos de las unidades
 - (7) Unidades que no son SI y que pueden ser usadas junto con las unidades SI y sus múltiplos
- 2.004.4 LONGITUDES Y DISTANCIAS ACUMULADAS EN PROYECTOS VIALES
- SECCIÓN 2.005 ANTECEDENTES EXISTENTES PARA EL ESTUDIO DE OBRAS VIALES
 - 2.005.1 ASPECTOS GENERALES
 - 2.005.2 MANUAL DE CARRETERAS DE LA DIRECCIÓN DE VIALIDAD
 - 2.005.3 VÉRTICES GEODÉSICOS GPS DEL IGM
 - 2.005.4 MAPAS, CARTAS Y CARTOGRAFÍA VIAL
 - 2.005.401 Instituto Geográfico Militar (IGM)
 - 2.005.402 Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA)
 - 2.005.403 Dirección de Vialidad (DV)
 - 2.005.5 FOTOGRAFÍA, ORTOFOTOS Y MODELOS DIGITALES
 - 2.005.6 CLIMA, PLUVIOMETRÍA Y FLUVIOMETRÍA
 - 2.005.601 Clima y Meteorología
 - 2.005.602 Pluviometría y Fluviometría
 - 2.005.602(1) Pluviometría
 - a) Dirección Meteorológica de Chile
 - b) Dirección General de Aguas del MOP (DGA)
 - c) CIREN
 - 2.005.602(2) Fluviometría
 - 2.005.7 GEOLOGÍA Y GEOTECNIA
 - 2.005.701 Estudios Geológicos.
 - 2.005.701(1) Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN)
 - 2.005.701(2) CIREN
 - 2.005.702 Estudios Agrológicos
 - 2.005.703 Estudios Geotécnicos
 - 2.005.8 TRÁNSITO Y ESTADÍSTICAS AFINES
 - 2.005.801 Volúmenes de Tránsito
 - 2.005.802 Control de Pesos por Eje
 - 2.005.803 Estadísticas Relacionadas con el Tránsito
 - 2.005.9 ANTECEDENTES SOCIO-ECONÓMICOS
 - 2.005.10 ANTECEDENTES AMBIENTALES Y TERRITORIALES
 - 2.005.11 OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

CAPITULO 2.000 INFORMACION GENERAL

SECCION 2.001 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL VOLUMEN

2.001.1 CAMPO DE APLICACION

El presente Volumen N°2 del Manual de Carreteras cubre los aspectos relativos a los Procedimientos de Estudio de carreteras y caminos en áreas rurales, los que también son válidos en gran medida para las carreteras y dispositivos viales empleados en el área urbana, salvo aquéllos que sean modificados o complementados explícitamente por la Dirección de Vialidad, mediante documentos emitidos al efecto. Su contenido está íntimamente ligado a las normas y recomendaciones que se exponen en el Volumen N°3 Instrucciones y Criterios de Diseño.

2.001.2 CONCEPCION DEL VOLUMEN

Este Volumen fija procedimientos y límites normativos. Ello implica analizar y detallar suficientemente los fundamentos de los procedimientos, límites normativos y recomendaciones que el Volumen contiene. En el caso de materias aún poco difundidas en el ambiente vial, el texto adquiere mayor relevancia, con el fin de facilitar la incorporación de estos conceptos a la práctica habitual del estudio de carreteras. En la Sección 2.002 se resume el contenido de cada Capítulo.

En ningún caso se pretende que el Manual de Carreteras reemplace el conocimiento y experiencia del Especialista. Por el contrario, ante problemas complejos, sólo la labor conjunta del proyectista de carreteras y del especialista permitirá alcanzar la solución más adecuada desde los puntos de vista técnico, económico, operacional y medio ambiental.

2.001.3 VALIDEZ DE LIMITES NORMATIVOS Y RECOMENDACIONES

2.001.301 Términos de Referencia Generales. En conformidad con lo establecido en el Capítulo 2.200, las materias que aquí se exponen constituyen los Términos de Referencia Generales (TRG) aplicables al estudio de obras viales.

2.001.302 Límites Normativos. Las tolerancias que se indican en este Volumen, asociadas a los diversos procedimientos de estudio, representan límites normativos que no pueden ser transgredidos sin la autorización expresa de la Dirección de Vialidad. La expresión "Norma" se reservará para referirse a documentos que cuentan con el reconocimiento como tales (Normas NCh, ASTM, AASHTO, DIN, etc.). El término "norma" deberá entenderse con el alcance de un límite normativo contenido en este Volumen del Manual de Carreteras.

2.001.303 Métodos y Procedimientos Recomendados. Los métodos y procedimientos que no estén redactados en términos imperativos no constituyen norma; sin embargo, son los que la Dirección de Vialidad estima más adecuados en cada caso. En estas situaciones, el Proyectista no queda limitado al uso exclusivo del método recomendado, pero deberá justificar adecuadamente la validez del procedimiento propuesto en su reemplazo, debiendo, en todo caso, solicitar la autorización correspondiente de la Dirección de Vialidad para emplearlo.

2.001.304 Aplicación de Otras Normas. En los casos no consultados por el Manual, el proyectista deberá proponer a la Dirección de Vialidad la utilización de la Norma Chilena (NCh) que sea aplicable a la situación, o bien la utilización de Normas extranjeras de reconocida solvencia internacional.

2.001.305 Términos de Referencia Específicos. Mediante Términos de Referencia Específicos (TRE), emitidos para cada proyecto en particular, la Dirección de Vialidad podrá señalar aquellos aspectos contenidos en éste o en otros Volúmenes del Manual que deben modificarse o complementarse, según lo requiera ese caso particular.

2.001.4 RESPONSABILIDAD DEL PROYECTISTA

Los procedimientos y recomendaciones generales contenidas en este Volumen están orientados a facilitar la labor del proyectista y a conseguir uniformidad en los métodos de estudio a emplear.

En ningún caso el contenido del Volumen reemplaza al conocimiento de los principios básicos de la Ingeniería y técnicas afines, así como tampoco el adecuado criterio profesional. En consecuencia, el Proyectista será responsable de la calidad de los estudios a él encomendados.

SECCION 2.002 ESTRUCTURA DEL VOLUMEN

2.002.1 MATERIAS CUBIERTAS A NIVEL DE CAPITULOS

El Volumen se compone de diez Capítulos cuyos temas principales se resumen a continuación:

CAPITULO 2.000 INFORMACION GENERAL

Presenta los objetivos y alcances del Volumen, la estructura general y contenido del mismo, así como un resumen de la nomenclatura utilizada. La Sección 2.004 "Sistema de Unidades" presenta un resumen de la Norma Nch 30.Of98 "Unidades SI y recomendaciones para el uso de sus múltiplos y de otras ciertas unidades", que reproduce la Norma ISO 1000, relativa al Sistema Internacional de Unidades, cuyo uso será obligatorio en los proyectos de la Dirección de Vialidad. La última sección de este Capítulo contiene un resumen de las principales fuentes de información y antecedentes existentes, que se estiman útiles para el desarrollo de los estudios preliminares de una obra vial.

CAPITULO 2.100 SISTEMAS DE CLASIFICACION Y NIVELES DE ESTUDIO PARA OBRAS VIALES

En este capítulo, de seis secciones, se presenta la definición conceptual de los tipos de proyectos y niveles de estudios asociados al desarrollo de las obras viales, materias que se tratan en detalle en el resto del volumen y muy particularmente en el Capítulo 2.800 "Procedimientos de Terreno y Gabinete para el Desarrollo de Estudios Viales".

La Clasificación General de los Proyectos Viales, considera:

- Proyectos de Nuevos Trazados
- Recuperación de Estándar
- Cambio de Estándar

Los Niveles de Estudio consideran:

- Idea → Perfil
- Estudio Preliminar ↔ Prefactibilidad ↔ Estudio Preliminar Ambiental (Diagnóstico Ambiental)
- Anteproyecto ↔ Factibilidad ↔ Declaración o Estudio de Impacto Ambiental
- Estudio Definitivo ↔ Evaluación de Impacto Ambiental

Los niveles de Idea - Perfil, Prefactibilidad y Factibilidad así como los del área Ambiental, se integran a la clasificación de los niveles de estudio en concordancia con lo expuesto en el Volumen N° 1, Tomo II "Evaluación de Proyectos Viales Interurbanos" del Manual de Carreteras y Capítulo 2.700 "Aspectos Ambientales – Impacto y Mitigación" de este Volumen.

Al estudiar una Recuperación o un Cambio de Estándar de una ruta existente, se puede requerir el empleo simultáneo de los Procedimientos de Estudio descritos para cada uno de estos tipos de proyecto.

A cada uno de los Niveles identificados precedentemente se asocia, con grados de profundidad creciente, la respectiva etapa de Ingeniería Básica:

- Aspectos Geodésicos y Topográficos
- Aspectos de Hidrología, Hidráulica y Transporte de Sedimentos
- Aspectos Geotécnicos
- Demanda y Características del Tránsito
- Aspectos Ambientales-Impacto y Mitigación

CAPITULO 2.200 TERMINOS DE REFERENCIA PARA EL ESTUDIO DE OBRAS VIALES

Este Capítulo, constituido por una Sección en la presente versión del Volumen, da cuenta de los documentos que forman parte de las Bases de Concurso:

- Bases Administrativas
- Términos de Referencia (TR)
- Cantidades de Obra y/o Presupuesto

- Anexos (Formularios, Listado de Antecedentes, etc.)

De ellos, desarrolla los que componen los Términos de Referencia, a saber:

- Descripción y Alcances del Estudio
- Tomo II del Volumen N° 1 (Válido para todos los niveles de Estudio)
- Volumen N° 2 (Válido para todos los niveles de Estudio)
- Términos de Referencia Específicos

Se desarrolla los siguientes tres tópicos:

- 2.201.1 Aspectos Generales
- 2.201.2 Descripción y Alcances del Estudio
- 2.201.3 Documentos Generales y Alcances Específicos
- 2.201.4 Términos de Referencia Específicos (TRE)

CAPÍTULO 2.300 **INGENIERÍA BÁSICA - ASPECTOS GEODÉSICOS Y TOPOGRÁFICOS**

Este Capítulo presenta los contenidos topográficos y geodésicos necesarios de aplicar en el desarrollo de Proyectos Viales. Respecto de la versión anterior, se ha actualizado la estructura de sus Secciones, con énfasis en las materias y tecnologías que actualmente son mayormente utilizadas por los profesionales encargados de la disciplina. El orden con que se tratan las Secciones tiene relación con el proceso que regularmente se debe seguir en el avance de un Proyecto.

El Capítulo posee 10 Secciones que en lo principal incluyen generalidades, especificaciones para cada disciplina, formatos para elaboración de informes y métodos de control de calidad. El Contenido de cada una se resume de la siguiente forma:

2.301, esta sección comprende las definiciones básicas y una síntesis de los principales aspectos geodésicos que intervienen de manera relevante en los trabajos de topografía vial. A partir de estos aspectos fundamentales se establecen las metodologías para referenciar los Proyectos Viales.

2.302 y 2.303, estas secciones están orientadas a establecer la referencia de posición altimétrica, planimétrica y el Sistema de Transporte de Coordenadas de los Estudios Viales. Se define la Red de Referencia Principal como elemento base para el control de coordenadas de proyecto y su representación plana en base a proyecciones Local Transversal Mercator y definiciones de Planos Topográficos Locales. Desde esta referencia se materializará el transporte de coordenadas con los procedimientos y precisiones señalados. Altimétricamente, se describe la metodología para establecer la Red de Referencia Vertical, con sus precisiones y características de materialización y emplazamiento.

2.304, esta sección se orienta a describir los diferentes tipos de levantamientos topográficos utilizados en Proyectos Viales, entre ellos se encuentran los Levantamientos Coordenados Terrestres con sus distintas metodologías e instrumental, Levantamientos aerofotogramétricos, Levantamientos Lídars y levantamientos mediante Perfiles. Con estas opciones se abarca la gran mayoría de los requerimientos viales y normalmente para el éxito en el desarrollo de un Proyecto es necesario recurrir al uso, no de una, sino del conjunto de estas metodologías.

2.305 y 2.306, estas secciones abordan los principales conceptos a considerar en las determinaciones topográficas. Se describen metodologías de cálculo de distancias horizontales, ángulos, desniveles y análisis de errores. Las diferencias de métodos e instrumental, permiten tener herramientas de comparación de resultados y verificaciones de la calidad en las mediciones.

2.307, esta sección está dedicada al Replanteo de Obras Viales. En general estas actividades de terreno se desarrollarán desde el Sistema de Transporte de Coordenadas, utilizando instrumental GNSS en Tiempo Real, o bien de forma más convencional con Estaciones Totales o una combinación de ambos, sin embargo, también se ha incluido métodos alternativos para el caso donde se requiera orientación desde la estructura geométrica del eje vial.

2.308, esta sección está dedicada a la Cubicación del Movimiento de Tierras, y entrega los procedimientos adecuados para calcular superficies y volúmenes, en primer lugar por métodos de comparación de modelos de superficies digitales y luego como es tradicional, por cálculos sobre las secciones transversales.

2.309, esta sección se ha desarrollado para estandarizar los métodos de Control de Calidad necesarios de introducir en el análisis de los resultados topográficos. Se describe una serie de métodos aplicados a cada actividad topográfica, con el objeto de certificar que los trabajos desarrollados se ajustan a las precisiones y formas solicitadas.

2.310, esta sección se orienta a describir las exigencias previas y consideraciones respecto del uso del territorio y del instrumental topográfico de uso común en proyectos viales.

CAPÍTULO 2.400

INGENIERIA BÁSICA-ASPECTOS DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Este Capítulo está orientado al tratamiento de los fundamentos teóricos de los aspectos hidrológicos e hidráulicos que intervienen en el diseño del drenaje y saneamiento de las obras viales. Adicionalmente, se incorporan los Fenómenos de Transporte de Sedimentos, Procesos Fluviales y Métodos de Análisis, también tratados aquí desde un punto de vista conceptual.

Las instrucciones, procedimientos y normas para el diseño de estas obras se entregan en el Capítulo 3.700 "Diseño del Drenaje, Saneamiento e Hidráulica Fluvial" del MC-V3.

El capítulo consta de seis Secciones, a saber:

2.401 ASPECTOS GENERALES, sección destinada a presentar la organización del capítulo y sus objetivos y alcances, así como una breve síntesis de los aspectos relativos a: Hidrología, Hidráulica, Hidrogeología, Transporte de Sedimentos e información pertinente contenida en otros volúmenes del Manual (Volúmenes N° 3 y N° 4).

2.402 PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS HIDROLÓGICAS, se desarrollan aquí temas tales como:

- Factores que Determinan el Escurrimiento
- Métodos para Calcular una Crecida de Diseño
- Estudios de Frecuencia
- Análisis Regional de Crecidas
- tormentas de Diseño
- Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de Lluvias
- Método Racional
- Método del Soil Conservation Service
- Hidrogramas Unitarios
- Métodos de la Dirección General de Aguas
- Modelos de Simulación

Todas estas materias han sido actualizadas, considerando los últimos conocimientos al respecto y el campo de aplicación para las que se exponen.

2.403 PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS HIDRÁULICAS, considera:

- Aspectos Generales (Introducción y Criterios Básicos)
- Escurrimiento Crítico
- Escurrimiento Uniforme
- Flujo Gradualmente Variado
- Singularidades
- Estructuras Especiales
- Fenómenos de Transporte de Sedimentos, Procesos Fluviales y Métodos de Análisis

En cuanto al Transporte de Sedimentos, materia que se incorpora al Manual de Carreteras en esta versión Diciembre 2001, el capítulo entrega una presentación conceptual del tema, cuyo tratamiento para diseño se trata en el Capítulo 3.700 del MC-V3.

2.404 ALCANCES DE LOS ESTUDIOS DE HIDROLOGÍA Y DRENAJE. La sección define los alcances de los estudios asociados a los diferentes niveles de estudio: Estudio Preliminar, Anteproyecto y Proyecto Definitivo, distinguiendo el caso de Trazados Nuevos y Trazados Existentes.

2.405 ILUSTRACIÓN DE ALGUNOS PROBLEMAS TÍPICOS DE ANÁLISIS HIDROLÓGICOS, se ilustra mediante ejemplos concretos el estudio de:

- Frecuencia de Lluvia Máximas Diarias
- Cálculo de Caudales de Diseño Mediante Hidrograma Unitario

Cada ejemplo se desarrolla paso a paso, en particular el de Frecuencia de Lluvia Diarias para el que se desarrolla el ajuste gráfico, ajuste analítico (3 modelos), para distintos períodos de retorno, error estándar de los estimados, intervalos de confianza y test Chi Cuadrado de ajuste de los modelos.

Para el Hidrograma Unitario se ilustra el Método Convencional y el Matricial, para finalmente terminar con un ejemplo de Hidrograma Unitario Sintético.

2.406 ILUSTRACION DE ALGUNOS PROBLEMAS TIPICOS DE DISEÑO HIDRAULICO, se ilustran problemas habituales en el cálculo de canales, partiendo por ejemplo simples de los métodos iterativos para el cálculo de h bajo condiciones de Escurrimiento Crítico y Escurrimiento Uniforme, para luego ilustrar un ejemplo de Flujo gradualmente variado en sus versiones de: Método Directo por Etapas y Método de Etapas Fijas.

CAPITULO 2.500 INGENIERIA BASICA - ASPECTOS GEOTECNICOS

Este Capítulo consta de seis Secciones cuyos alcances son:

2.501 ASPECTOS GENERALES reseña las materias afines tratadas en otros volúmenes del Manual de Carreteras: MC-V3 y MC-V5. Se describen los objetivos y alcances del Capítulo.

2.502 ESTUDIOS DE GABINETE EN BASE A ANTECEDENTES EXISTENTES describe la aplicación al estudio de obras viales de los antecedentes existentes, tales como: Informes Geológicos, Interpretación de Fotos Aéreas, Planos Agrológicos, Planos Topográficos, Informes Geotécnicos Existentes. Finalmente, se entrega una enumeración descriptiva de algunos suelos de características específicas, identificados genéricamente mediante los nombres locales que se les dan en Chile.

2.503 ESTUDIOS EN TERRENO se subdivide en 5 tópicos que norman los aspectos generales, y:

El Reconocimiento de Superficie, a cargo de un Ingeniero Civil especializado en geotecnia o de un Geólogo Geotécnico; se describe el procedimiento general a emplear según el nivel de estudio que se está desarrollando, mediante el cual se definirán las prospecciones y ensayos necesarios, para finalmente cubrir los alcances del Informe Geotécnico requerido para diseñar la obra básica y los pavimentos.

El reconocimiento del perfil estratigráfico mediante calicatas y zanjas, a las que se asocia una descripción visual de la estratigrafía detectada, terminología a emplear, toma de muestras, formularios de terreno, etc. Los sondajes en suelos y en roca, ensayos dentro de la perforación y toma de muestras. Los ensayos de cono dinámico (estándar y portátil) y su campo de aplicación. Los ensayos en sitio, tales como pruebas de carga con placa, razón de soporte, permeabilidad en sitio, macrogranulometrías.

Las Mediciones de Deflexión sobre pavimentos existentes, tales como Viga Benkelman, Deflectómetro Lacroix y Deflectómetro de Impacto (Falling Weight Deflectometer).

Las prospecciones geofísicas, tópico que ha sido ampliado en esta versión cubriendo los métodos de refracción sísmica, sísmica de detalle y módulos elásticos, otras técnicas sísmicas y métodos geoelectricos.

2.504 ENSAYES DE LABORATORIO indica el orden de relación de la normativa a emplear en los ensayos de laboratorio. Se describe en forma sucinta lo relativo a propiedades Índice, densificación, propiedades mecánicas e hidráulicas, para finalmente resumir la cantidad de muestra que se recomienda obtener según sean los ensayos a realizar.

2.505 ESTUDIOS GEOTECNICOS ESPECIALES trata el caso de los yacimientos de materiales, el de los puentes y obras de arte mayores y lo relativo a cortes y terraplenes importantes.

2.506 ALCANCE DE LOS ESTUDIOS GEOTECNICOS SEGUN NIVEL Y CARACTERISTICAS DEL PROYECTO. Esta Sección entrega un resumen del tipo de estudio geotécnico mínimo que se requiere en los distintos niveles de estudio (Estudio Preliminar, Anteproyecto y Proyecto Definitivo) ya sea que se trate de trazados nuevos o trazados existentes.

Á
Á

CAPITULO 2.600
INGENIERIA BASICA - DEMANDA Y CARACTERISTICAS DEL TRANSITO

Á

Este capítulo se desarrolla en 4 Secciones y está destinado a familiarizar al Proyectista Vial con las materias que se tratan en detalle en el MC-V1, Tomo II "Evaluación de Proyectos Viales Interurbanos".

Á

2.601 OBJETIVOS Y ALCANCES describe la razón de ser de este Capítulo, teniendo en cuenta que existe un volumen específico en que se tratan estas materias. Se hacen las citas pertinentes a otros volúmenes del Manual (MC-V3), que también se relacionan con aspectos de demanda y tránsito.

Á

2.602 TRANSITO USUARIO DE UN PROYECTO VIAL comprende tres tópicos extractados del MC-V1: el primero, "Aspectos Generales", ratifica la directa relación existente entre los diversos aspectos del diseño vial y el nivel de tránsito que solicitará la ruta durante su vida útil. El segundo, "Modelación y Tipología de Proyectos", sintetiza los conceptos de que hace uso el Modelo Clásico de Transporte (Generación y Atracción de Viajes; Distribución de Viajes; Partición Modal; Asignación de Viajes; Localización). Acto seguido, describe los 5 tipos de proyecto considerados desde el punto de vista de la evaluación de Proyectos Viales. Finalmente el tercer Tópico, "Componentes de la Demanda a Nivel de Arcos", define las cuatro componentes del tránsito que, eventualmente, pueden participar en la demanda que solicitará la ruta en estudio (tránsito Normal; Desviado; Transferido e Inducido), relacionando dichas componentes con el tipo de proyectos mencionados precedentemente.

Á

2.603 VOLUMEN DE TRANSITO Y SUS CARACTERISTICAS comprende siete Tópicos en que se definen o se esbozan, según el caso, los conceptos relativos a: Tránsito Medio Diario Anual como Indicador del Volumen; Clasificación del Tránsito Medio Diario Anual (según tipo de vehículos); Variaciones Cíclicas del Volumen y de la Composición del Tránsito (estacionales, semanales, diarias); Mediciones de Tránsito (Estadística existente), Determinación de Volúmenes Clasificados, Encuestas de Origen y Destino, Estratigráficas de Pesos por Eje, Solicitaciones para Diseño de Pavimentos.

Á

Á
Á

2.604 ALCANCE DE LOS ESTUDIOS DE TRANSITO SEGUN NIVELES Y CARACTERISTICAS DEL PROYECTO.

Esta Sección se ha reducido a un breve esbozo del problema pues, de hecho, la definición y alcance de estos estudios se definirían en el Estudio de Prefactibilidad o de Factibilidad, según corresponda, y de acuerdo a lo establecido en los Capítulos pertinentes del Tomo II del MC-V1 "Evaluación de Proyectos Viales Interurbanos".

Á

CAPITULO 2.700
ASPECTOS AMBIENTALES

Á

Considerando la existencia del MC-V9 "Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales", este Capítulo se limita sólo a señalar los aspectos ambientales generales que se deben tener en consideración en el diseño de un camino, sin describir las metodologías específicas

Á

El Capítulo consta de 4 Secciones cuyo contenido se reseña a continuación:

Á

2.701 ASPECTOS GENERALES. En esta Sección se señala la importancia que debe darse a la variable ambiental en el desarrollo de los proyectos viales, así como el compromiso asumido por el Ministerio de Obras Públicas y la Dirección de Vialidad en cuanto hacer cumplir la legislación y normativas vigentes en el país sobre la materia. Se indica que estos aspectos ambientales se abordan en el MC-V9 y que el objetivo del Capítulo 2.700 es establecer una pre-sentación del tema ambiental y su relación con el MC-V9.

Á

2.702 ASPECTOS AMBIENTALES EN OTROS VOLUMENES DEL MANUAL DE CARRETERAS. En esta Sección se destaca que el tema ambiental es un aspecto transversal en los proyectos viales, por lo que tiene relación con cada uno de los volúmenes del Manual de Carreteras.

Á

2.703 MARCO LEGAL, en esta Sección se indica que el Marco Legal Ambiental a tener presente en los estudios viales, se establece en el MC-V9.

Á

2.704 CONCEPCION AMBIENTAL DE LOS PROYECTOS VIALES. En esta Sección se indican brevemente los capítulos del MC-V9 que deben considerarse al abordar los proyectos viales en su fase de estudio.

Á

Á
Á
Á
Á
Á
Á
Á
Á
Á
Á
Á
Á
Á

CAPITULO 2.800

PROCEDIMIENTOS DE TERRENO Y GABINETE PARA EL DESARROLLO DE ESTUDIOS VIALES

El Capítulo consta de 9 Secciones que describen el núcleo central de las actividades y procedimiento que todo Jefe de Proyecto y los Proyectistas que forman el equipo deben dominar. En ellas se hace referencia a los Capítulos 2.000 y 2.100 de este Volumen que conforman la base de sustentación de lo que allí se expone, a los Capítulos 2.300 al 2.700 dedicados a las distintas especialidades de la ingeniería Básica, que proveen los “sensores” con que contará el equipo para detectar las características del entorno en que se desarrollarán los estudios, en muchos casos serán Profesionales especializados en el tema los que colaboran con el equipo de proyecto, pero los integrantes de éste deben conocer las materias que allí se exponen para solicitar la ayuda de los especialistas cuando corresponda, y ser capaces de aplicar correctamente al diseño y las recomendaciones que éstos entreguen.

Este capítulo ha sido actualizado incorporando el empleo de todo el instrumental y equipo hoy en día disponible en el país; las técnicas de diseño asistidas mediante programas computacionales para generar modelos digitales del terreno, diseñar los elementos del trazado y cubicar las obras; así como numerosos procedimientos de última generación descritos en los capítulos de Ingeniería Básica. Como es obvio, este conjunto de herramientas y procedimientos debe usarse recurriendo al resto de los volúmenes del Manual de Carreteras, muy especialmente al MC-V3 “Instrucciones y Criterios de Diseño”.

No obstante lo anterior, el texto destaca que el éxito, la mediocridad o el fracaso de un Estudio Vial, dependerá siempre del conocimiento, responsabilidad y buen criterio de los profesionales, técnicos y personal auxiliar que participe en el equipo. El esfuerzo para lograr un resultado, que siempre deberá tener como norte la excelencia, no puede ignorar el nivel de inversión asociado, debiendo éste tender al mínimo que permita cumplir con los objetivos asignados al proyecto: funcionalidad, seguridad y duración con costos de conservación razonable.

A la luz de lo expuesto precedentemente, los usuarios de este volumen deben siempre tener presente lo expuesto en la Introducción y en la Sección 2.001 que figuran al inicio de este Volumen.

2.801 CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS BASICOS, los cuatro Tópicos de esta Sección: Procedimientos Básicos Aplicables a Diversos Niveles de Estudio; Controles del Trazado; Criterios Generales Relativos a Levantamientos Topográficos y Trazado de Ejes en Planta y Alzado, se presentan al inicio del capítulo, pues los conceptos y técnicas que allí se exponen se usarán repetitivamente en los diversos niveles del estudio con un grado creciente de refinamiento. Su total dominio es insustituible, cualquiera sea la calidad de los equipos o programas computacionales de que se disponga, éstos sólo permitirán hacer el trabajo más rápido y en ciertos casos más preciso, pero la precisión de una solución mediocre o absurda no tiene ningún sentido. La ventaja fundamental de disponer de estos elementos reside en el hecho que en un tiempo similar, muchas veces menor que el requerido anteriormente, se podrá optimizar el proyecto analizando más alternativas que permitan interactivamente mejorar el Proyecto, cubriendo los puntos de vista técnico, económico-funcional y ambiental.

2.802 y 2.803 ESTUDIO PRELIMINAR PARA LOS DISTINTOS TIPOS DE PROYECTO, describe las metodologías correspondientes a la definición de las características generales y alternativas posibles. El tratamiento cubre la gran mayoría de las situaciones habituales y provee criterios aplicables a otros casos no descritos. Corresponde destacar que la denominación “Preliminar” no debe prestarse a equívocos, en cuanto a que se trate de un estudio liviano o de poca importancia, muy por el contrario, de la profundidad de este estudio, experiencia y buen criterio de quienes lo desarrollen puede depender en buena medida el éxito o fracaso de un Proyecto, a pesar de que a este nivel de estudio le corresponde una limitada Ingeniería Básica de terreno pero, en su reemplazo, un máximo de Ingeniería Conceptual, desarrollada por personal especializado con suficiente experiencia (jefe de Proyecto, especialistas en Geodesia y Topografía, Geotecnia, Hidrología e Hidráulica, Medio Ambiente, Evaluación Económica, etc).

2.804 ANTEPROYECTO, se definen detalladamente los procedimientos y alcances de este nivel de estudio, en el que se desarrollan estudios de Ingeniería Básica de terreno mucho más completos que en el nivel anterior, con el objeto de confirmar, afinar o rectificar las apreciaciones precedentes. Los aspectos de diseño se aplican con una rigurosidad semejante a la de un proyecto Definitivo, aunque en general sobre modelos digitales de terreno de menor resolución, pero suficientes para definir mediante el Estudio de Factibilidad Económica la alternativa que debe pasar al Proyecto Definitivo.

2.805 ESTUDIO DEFINITIVO EN NUEVOS TRAZADOS, se describen en detalle las etapas de terreno y gabinete correspondientes a este nivel, el que se presenta en dos Tópicos: "Estudio Definitivo con Estacado Total" (EDET) y "Estudio Definitivo con Estacado Parcial" (EDEP), destacando las ventajas que, por lo general, presenta esta última metodología ante los avances de las técnicas disponibles (GPS, Estaciones Totales, Modelos Digitales de Terreno, Programas Computacionales de Diseño, etc).

2.806 y 2.807 ESTUDIO DEFINITIVO PARA RECUPERACION DE ESTANDAR (RED) Y/O CAMBIO DE ESTANDAR (CED), en ambos casos las técnicas y procedimientos descritos en 2.804 y 2.805, son aplicables en mayor o menor grado a los Estudio tipo RED o CED. Los estudios de Ingeniería Básica deben considerar fundamentalmente las obras existentes, salvo cuando se trate de variantes que para todos los efectos prácticos se tratarán como trazados nuevos.

2.808 ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS, se describen los alcances que deberán tener los estudios de las obras asociadas al trazado seleccionado, tales como: Roce y Limpieza de la Faja; Drenaje Transversal, Saneamiento y Transporte de Sedimentos, Estabilidad de la Obra Básica (Terraplenes y Cortes), Estructuras de Contención de Tierras; Protección de Taludes, Sub Bases, Bases y Pavimentos, Señalización y Barreras de Contención, etc.

En el tópico "Proyectos Especiales" de esta Sección se tiene:

- **Puentes, Pasos Superiores e Inferiores y Pasarelas Peatonales**, sólo se menciona aquí, refiriendo su tratamiento al Capítulo 3.1000 "Puentes y Estructuras Afines" del MC-V3.
- **Intersecciones y Enlaces**, se aborda en términos generales el contenido de los planos y documentos correspondientes. El Diseño se trata en los Capítulos 3.400 y 3.500 del MC-V3.
- **Paraderos de Buses**, se mencionan los Paraderos sobre la Berma para Caminos Locales y de Desarrollo; Paraderos Fuera de la Berma en vías bidireccionales de las categorías Colectoras y Primarias, y Paraderos Fuera de la Berma para Carreteras Unidireccionales en Primarios y eventualmente en Autorrutas. El diseño y localización de los Paraderos de Buses se trata en el Numeral 3.302.601 del Capítulo 3.300 del MC-V3 y en las Láminas 4.703.001 a 4.703.201 del MC-V4.
- **Lechos de Frenado**, se definen estas pistas auxiliares destinadas a posibilitar la detención de vehículos que han sufrido averías en su sistema de frenos. Los criterios de diseño, disposición y dimensiones se tratan en el Numeral 3.302.602 del Capítulo 3.300 del MC-V3, y en las Láminas 4.705.001 y 4.705.002 del MC-V4.
- **Ciclovías**, el tratamiento de las ciclovías se desarrolla en el Numeral 3.302.603 del Capítulo 3.300 del MC-V3.
- **Cruces a Nivel con vías Férreas en Area Rural sin Guarda Cruce**, se incorpora la definición y conceptos básicos de estos dispositivos. Los criterios de diseño, emplazamiento y disposición se tratan en el Numeral 3.404.208 del Capítulo 3.400 del MC-V3
- **Especificaciones Técnicas, Cubicaciones y Presupuestos**, estas materias se han actualizado considerando el Volumen N° 5 "Especificaciones Técnicas Generales de Construcción".

2.809 EXPROPIACIONES, esta sección fue actualizada considerando las últimas disposiciones sobre esta materia emitidas por la Dirección de Vialidad. Su contenido debe ser considerado un Instructivo Normativo que deberá ser respetado en todas sus partes, tanto por el personal de la Dirección Nacional como por las Direcciones Regionales de la Dirección de Vialidad; así como por los Consultores y Contratistas que trabajen para ella.

CAPITULO 2.900 PLANOS, INFORMES Y DOCUMENTOS DEL ESTUDIO

Este Capítulo se compone de 4 Secciones:

2.901 OBJETIVOS Y ALCANCES, establece normas, procedimientos y recomendaciones para la confección y presentación de los planos y documentos requeridos por los distintos Niveles de Estudio. Especifica los Formatos Digitales que se deberán emplear en los Planos del Proyecto y Modelos Digitales de Terreno, así como aquéllos que se deberán emplear para Textos y Tablas. Especifica los Medios Magnéticos mediante los cuales se entregarán los respaldos de los planos y documentos de los estudios.

2.902 PLANOS especifica los formatos en los que se prepararán las copias duras de los Planos de un Proyecto, según sea el nivel del estudio y objeto a que responde dicho documento. Especifica las carátulas que deberán llevar los Planos, su localización y distribución, tipo y tamaño de letras. Especifica el listado de los Planos habituales y la sigla que les corresponde, los materiales en los que deben prepararse y los Procedimientos de Dibujo y Simbología.

En el Tópico 2.902.2 se especifica el Tipo de Planos y escalas que serán exigibles según el nivel del estudio.

En el Tópico 2.902.3, Contenido Gráfico y Numérico de los Planos Según Nivel de Estudio, se especifica, para los distintos tipos de planos, el contenido que les corresponde, empleando para ello una descripción mediante texto y láminas de ejemplo.

2.903 INFORMES Y DOCUMENTOS especifica el formato de los Informes (A4), la carátula de la portada, la calidad de los materiales y número de copias.

El Tópico 2.903.2, Estructura de los Informes, especifica el contenido de las Memorias, destacando especialmente el contenido del Resumen y Conclusiones que debe encabezar el Informe, el que también podrá solicitarse en un documento separado denominado "Resumen Ejecutivo del Estudio".

2.904. PLANOS A COLOR EN FORMATO A3. En esta Sección se especifica la presentación de Planos reducidos a 50% de su tamaño original, los que se editarán a color para facilitar su comprensión. Se especifica el Código de Colores – tipo de línea y espesor de líneas para Planos de Planta y Alzado, todo ello referido al catálogo de AUTOCAD 14.

El resultado de la selección de elementos se presenta en dos láminas A3, que ilustran casos bastante recargados de información, con el objeto de mostrar integralmente la simbología seleccionada.

2.002.2 FLEXIBILIDAD DE LA ESTRUCTURA

La numeración abierta empleada en el Manual permite actualizar aspectos de él, agregar acápites o modificar parte de su contenido, manteniendo la vigencia general. Se pretende que tanto éste como los demás volúmenes del Manual se mantengan concordantes con los avances tecnológicos.

El sistema de numeración abierta, utilizado para identificar y jerarquizar cada materia, consulta las siguientes subdivisiones, ilustradas con un ejemplo:

2.101.202(1) corresponde a:

2.	VOLUMEN	PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIOS VIALES
2.100	CAPITULO	SISTEMAS DE CLASIFICACION Y NIVELES DE ESTUDIO
2.101	SECCION	CONCEPTOS BASICOS
2.101.2	TOPICO	DEFINICIONES Y CLASIFICACION DE LOS PROYECTOS
2.101.202	NUMERAL	Estándar de Diseño de una Carreteras o Camino.
2.101.202(1)	NUMERAL	Velocidad de Proyecto.

La numeración abierta obliga a abandonar la correlatividad en la numeración de las páginas. En este Volumen éstas se numeran de acuerdo con el Tópico a que pertenecen, pudiendo por lo tanto, existir varias con un mismo número. Si una Sección no está subdividida, sus páginas serán individualizadas con el número de la Sección.

Las Láminas, Figuras y Tablas llevan numeración completa (Sección, Tópico o Numeral) en que se citan por primera vez, seguida de una letra A (B, C, etc., si hay más de una en la misma Unidad) y se presentan intercaladas en la Sección, Tópico o Numeral que les corresponde. Algunas Láminas, Figuras y Tablas pueden tener la misma numeración, distinguiéndose unas de otras por las palabras "Lámina", "Figura" o "Tabla".

SECCION 2.003 NOMENCLATURA

2.003.1 ABREVIATURAS

2.003.101 Abreviaturas Instituciones Nacionales

CIREN	Centro de Información de Recursos Naturales
DGA	Dirección General de Aguas (MOP)
DGOP	Dirección General de Obras Públicas (MOP)
DMC	Dirección Meteorológica de Chile
DV	Dirección de Vialidad (MOP)
IGM	Instituto Geográfico Militar
INN	Instituto Nacional de Normalización INN-Chile
MOP	Ministerio de Obras Públicas
SAF	Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile
SHOA	Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada

2.003.102 Abreviaturas Instituciones Extranjeras

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials (EE.UU.)
ASTM	American Society for Testing Materials (EE.UU.)
BPR	Bureau of Public Roads (EE.UU.)
DIN	Deutsche Industrie Norm (Alemania)
HRB	Highway Research Board (EE.UU.)
ISO	International Standards Organization
SCS	Soil Conservation Service (EE.UU.)
USBR	United States Bureau of Reclamation (EE.UU.)

2.003.103 Abreviaturas de Conceptos Utilizados en este Volumen

ANT	Anteproyecto
CBR	Razón de Soporte California
CED	Cambio de Estándar de Diseño
EA	Estaca de Alineación Intermedia
EDEP	Estudio Definitivo con Estacado Parcial
EDET	Estudio Definitivo con Estacado Total
EPTE	Estudio Preliminar en Trazados Existentes
EPTN	Estudio Preliminar en Trazados Nuevos
FC	Fin de Curva Circular
FCV	Fin de Curva Vertical
FK	Fin de Clotoide
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
IDF	Intensidad-Duración-Frecuencia (Hidrología)
IP	Índice de Plasticidad
LTM	Sistema Local Transversal de Mercator
MC	Punto Medio de Curva Horizontal
MCL	Meridiano Central Local
MCV	Punto Medio de Curva Vertical
O/D	Origen/Destino (Tránsito)
PC	Principio de Curva Horizontal
PCV	Principio de Curva Vertical
PK	Principio de Clotoide
PL	Perfil Longitudinal
PNC	Plan Nacional de Censos (Tránsito)
PR	Punto de Referencia (De Cota o Elevación)
PRA	Punto de Referencia Auxiliar
PT	Perfil Tipo
PTL	Plano Topográfico Local
RED	Recuperación de Estándar de Diseño
SAP	Sobreancho de la Plataforma
SI	Sistema Internacional de Unidades
SIG	Sistema de Información Geográfico

STC	Sistema de Transporte de Coordenadas
TMDA	Tránsito Medio Diario Anual
TRE	Términos de Referencia Específicos
TRG	Términos de Referencia Generales
UTM	Universal Transversal de Mercator (Proyección)
V: H	Vertical: Horizontal (Escala o Inclinación de un Talud)
VHD	Volumen Horario de Diseño (Tránsito)
USCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

SECCION 2.004 SISTEMA DE UNIDADES

2.004.1 ASPECTOS GENERALES

En los Tópicos que se desarrollan a continuación se presenta un resumen de la Norma Nch 30 Of98 (ISO 1000) denominada "Unidades SI y recomendaciones para el uso de sus múltiplos y de otras ciertas unidades".

Esta Norma es una homologación de la Norma ISO 1000 siendo idéntica a la misma. El Anexo A forma parte del cuerpo de la norma. El Anexo B no forma parte de la norma, se inserta a título informativo.

El resumen que aquí se presenta contiene citas textuales de aquellos aspectos de la Norma que dicen relación con las unidades de uso habitual en el Manual de Carreteras.

Las citas a la Norma se harán empleando la numeración que en ella figura. Los numerales que se han omitido corresponden a especialidades ajenas a las materias que aborda el Manual de Carreteras. En consecuencia, constituye cita textual de la Norma todo el contenido del Tópico 2.004.3, es decir desde "1. Alcance" hasta el final del "Anexo B", haciendo mención expresa de los contenidos que se han omitido, mediante notas encuadradas en un rectángulo. Todo el Tópico 2.004.3 se ha editado en hojas color celeste para destacar que se trata de un documento que se inserta en el Volumen 2.

2.004.2 OBLIGATORIEDAD DEL EMPLEO DE LA NORMA

Los proyectos de carreteras y caminos de la Dirección de Vialidad se ajustarán al contenido de esta norma, por lo tanto las unidades básicas, unidades derivadas y unidades suplementarias se usarán respetando el nombre y símbolo de cada una de ellas. Aun cuando se deberá respetar todo el contenido de la norma, se destaca especialmente el numeral 2.004.3(6) Reglas para escribir los símbolos de las unidades.

En cuanto a la forma de expresar las longitudes y distancias acumuladas a un cierto origen en los Estudios de Proyectos Viales, ver Tópico 2.004.4, al final de esta Sección.

El Numeral 5.001.103 del MC-V5, Especificaciones Técnicas Generales de Construcción, presenta las equivalencias de ciertas unidades SI respecto del sistema de unidades inglés (libras, pulgadas, millas, etc.).

(1) La información total acerca del Sistema Internacional de Unidades se entrega en una publicación del BIPM (Bureau International des Poids Mesures): Le Système International d'Unités (SI), incluida una traducción autorizada al Inglés.

2.004.3 RESUMEN DE LA NORMA Nch 30 Of98

(1) Alcance

Esta norma:

- a) Describe el Sistema Internacional de Unidades¹⁾ (SI), (en las cláusulas 3, 4 y 6);
- b) Recomendación de múltiplos y submúltiplos decimales seleccionados de las unidades SI, para su uso general y ciertas otras unidades las cuales pueden ser usadas con el Sistema de Unidades (en cláusulas 5 y 7 y anexo A);
- c) Cita las definiciones de las unidades básicas del SI (en anexo B).

(2) Referencia

La norma que se señala a continuación contiene disposiciones que, a través de referencias en el texto de esta norma, constituyen requisitos de la misma. A la fecha de publicación de esta norma estaba vigente la edición que se indica a continuación.

Todas las normas están sujetas a revisión y a las partes que deban tomar acuerdos, basados en esta norma, se les recomienda investigar la posibilidad de aplicar la edición más reciente de la norma que se incluye a continuación.

El Instituto Nacional de Normalización mantiene un registro de las normas nacionales e internacionales vigentes.

(3) Unidades SI

El nombre Sistema Internacional de Unidades (Système International d'Unités), con la abreviación internacional SI, ha sido adoptado por la 11ª Conferencia General de Pesos y Medidas (Conférence Générale des Poids et Mesures) de 1960.

El Sistema comprende:

- Unidades básicas;
- Unidades derivadas incluyendo unidades suplementarias;
 las cuales en conjunto forman el Sistema coherente de unidades SI.

3.1 Unidades básicas

El Sistema Internacional de Unidades está basado en las siete unidades básicas indicadas en la tabla 1.

Tabla 1 – Unidades básicas

Magnitud	Nombre de la unidad básica SI	Símbolo
longitud	metro	m
masa	kilógramo	kg
tiempo	segundo	s
corriente eléctrica	ampere	A
temperatura termodinámica	kelvin	K
cantidad de sustancia	mol	mol
intensidad luminosa	candela	cd

Para la definición de unidades básica ver anexo B.

3.2 Unidades derivadas incluyendo unidades suplementarias

Las unidades derivadas se expresan algebraicamente en términos de las unidades básicas. Sus símbolos son obtenidos por medio de signos matemáticos de multiplicación y división; por ejemplo, la unidad SI para velocidad es el metro por segundo (m/s).

Para algunas de las unidades derivadas SI, existen nombres y símbolos especiales; los símbolos aprobados por la CGPM son listados en las tablas 2 y 3.

Las unidades SI, radián y estereoradián son llamadas unidades suplementarias. Ellas son unidades derivadas adimensionales (precisamente, unidades derivadas de dimensión uno) con nombres y símbolos especiales. Aunque la unidad coherente para el ángulo plano y para el ángulo sólido es expresada por el número, en muchos casos prácticos, es conveniente el usar los nombres especiales radián (rad) y estereoradián (sr) respectivamente, en lugar del número 1; por ejemplo la unidad SI para la velocidad angular puede ser escrita como radianes por segundo (rad/s).

⁽¹⁾La información total acerca del Sistema Internacional de Unidades se entrega en una publicación del BIPM (Bureau International des Poids et Mesures): Le Système International d'Unités (SI), incluida una traducción autorizada al Inglés.

Tabla 2 – Unidades derivadas SI con nombres especiales, incluyendo las unidades SI suplementarias

Magnitud derivada	Unidades derivadas SI		
	Nombre especial	Símbolo	Expresado en términos de unidades básica y suplementarias SI
ángulo plano	radián	rad	1 rad = 1 m/m = 1
ángulo sólido	estereoradián	sr	1 sr = 1 m ² /m ² = 1
frecuencia	hertz	Hz	1 Hz = 1 s ⁻¹
fuerza	newton	N	1 N = 1 kg • m/s ²
presión, tensión mecánica	pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m ²
energía trabajo, cantidad de calor	joule	J	1 J = 1 N • m
potencia, flujo radiante	watt	W	1 W = 1 J/s
carga eléctrica, cantidad de electricidad	coulomb	C	1 C = A • s
potencial eléctrico, diferencia de potencial, tensión, fuerza electromotriz	volt	V	1 V = 1 W/A
capacitancia	farad	F	1 F = 1 C/ V
resistencia eléctrica	ohm	Ω	1 Ω = 1 V/A
conductancia eléctrica	siemens	S	1 S = Ω ⁻¹
flujo magnético	weber	Wb	1 Wb = 1 V • s
densidad de flujo magnético	tesla	T	1 T = 1 Wb/m ²
inductancia	henry	H	1 H = 1 Wb/A
temperatura Celsius	grado Celsius ⁽⁴⁾	°C	1 °C = 1 K
flujo luminoso	lumen	lm	1 lm = 1 cd • sr
iluminación (iluminancia)	lux	lx	1 lx = 1 lm/m ²

Tabla 3 – Unidades derivadas SI con nombres especiales admitidas por razones de salvaguarda de la salud humana
 (ver en texto original de la norma)

Tabla 4 – Prefijos SI
 (Abreviada)*

Factor	Prefijos	
	Nombre	Símbolo
10 ⁹	giga	G
10 ⁶	mega	M
10 ³	kilo	k
10 ²	hecto	h
10	deca	da
10 ⁻¹	deci	d
10 ⁻²	centi	c
10 ⁻³	mili	m
10 ⁻⁶	micro	μ
10 ⁻⁹	nano	n

* La norma cubre entre 10²⁴ y 10⁻²⁴

(4) El grado Celsius es un nombre especial para la unidad kelvin para su uso en valores fijos de temperatura Celsius. (Ver también nota 6 concerniente al kelvin en el anexo B)

Puede a veces ser útil el expresar unidades derivadas en términos de otra unidad derivada que tengan nombres especiales; por ejemplo, la unidad SI para el momento de dipolo eléctrico es usualmente expresada como: C • m, en lugar de: A • s • m

(4) Múltiplos de las unidades SI

Los prefijos dados en la tabla 4 son usados para formar nombres y símbolos de múltiplos (múltiplos y submúltiplos decimales) de las unidades SI.

El símbolo de un prefijo es considerado para ser combinado con el símbolo kernel⁽³⁾ el cual se añade directamente, formando con él un nuevo símbolo (para un múltiplo o submúltiplo decimal) el cual puede ser elevado a una potencia positiva o negativa, y el cual puede ser combinado con otras unidades de símbolos para formar símbolos para unidades compuestas:

Ejemplo:

$$\begin{array}{lclclcl} 1 \text{ cm}^3 & = & (10^{-2} \text{ m})^3 & = & 10^{-6} \text{ m}^3 \\ 1 \text{ } \mu\text{s}^{-1} & = & (10^{-6} \text{ s})^{-1} & = & 10^6 \text{ s}^{-1} \\ 1 \text{ mm}^2/\text{s} & = & (10^{-3} \text{ m})^2/\text{s} & = & 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \end{array}$$

Los prefijos compuestos no deben ser usados; por ejemplo, escribir nm para nanometro y no mµm

Nota:

(1) Por razones históricas el nombre de la unidad básica para la masa, el kilogramo, contiene el nombre de el prefijo SI kilo. Los nombres de múltiplos y submúltiplos decimales de la unidad de masa, son formados por la adición de los prefijos a la palabra gramo, ej. miligramo (mg) en lugar de microkilogramo (µkg)

5) Uso de las unidades SI y sus derivados

5.1 La elección del múltiplo apropiado (múltiplo o submúltiplo decimal) de una unidad SI, se hace por conveniencia, la elección del múltiplo para una aplicación particular será aquella que guiará los valores numéricos dentro de un rango práctico.

5.2 El múltiplo puede ser usualmente elegido tal que los valores numéricos estarán entre 0,1 y 1 000. No es siempre posible, el caso de una unidad compuesta conteniendo a una unidad elevado a la segunda o tercera potencia. Ejemplos:

1,2 x 10 ⁴ N	puede escribirse	12 kN
0,003 94 m	puede escribirse	3,94 mm
1 401 Pa	puede escribirse	1,401 kPa
3,1 x 10 ⁻⁸ s	puede escribirse	31 ns

Sin embargo, en una tabla de valores para la misma magnitud, o en una discusión de tales valores dentro de un contexto dado, será generalmente mejor usar el mismo múltiplo o submúltiplo para todos los ítemes, aun cuando alguno de los valores numéricos quede fuera de los límites de 0,1 a 1 000. Para ciertas magnitudes, en aplicaciones particulares, se acostumbra utilizar al mismo múltiplo; por ejemplo, se utiliza el milímetro para denominar las dimensiones en la mayoría de los dibujos de ingeniería mecánica.

5.3 El número de prefijos usados en la formación de unidades compuestas debe ser limitado tanto como sea posible mientras sea compatible con el uso práctico.

5.4 Los errores en los cálculos, pueden evitarse más fácilmente si todas las magnitudes son expresadas en unidades SI, y si se utilizan potencias de 10 en lugar de prefijos.*

* **El subrayado, que no figura en la Norma, se agrega para destacar que esta es la alternativa recomendada a los usuarios del Manual de Carreteras.**

(6) Reglas para escribir los símbolos de las unidades

6.1 Los símbolos de las unidades deberán ser impresos en caracteres romanos (rectos) (independientemente del tipo usado en el resto del texto), permanecerán inalterables en el plural, se escribirán sin punto final (punto ortográfico) excepto por la puntuación normal del texto, ej., al final de una frase, deberá ser puesto después del valor numérico completo en la expresión de una magnitud, dejando un espacio entre el valor numérico y el símbolo de la unidad.

(3) En este caso, el término símbolo Kemel significa sólo un símbolo para una unidad básica o una unidad derivada con un nombre especial. Ver, de todos modos, la nota 1) en la cláusula 4 acerca de la unidad básica kilogramo.

Los símbolos de las unidades deberán en general ser escritos con minúscula, excepto en el caso que el nombre de la unidad derive de un nombre propio se escribirá la primera letra en mayúscula.

Ejemplos:

m	metro
s	segundo
A	ampere
Wb	weber

6.2 Cuando una unidad compuesta se forma por multiplicación de dos o más unidades, se le indicará en una de las siguientes formas:

$$N \bullet m, \quad N m$$

Notas:

²⁾ En un sistema con un conjunto de caracteres limitados, un punto sobre la línea es usado en lugar de un punto a media altura.

³⁾ La última manera indicada se puede también escribir sin un espacio, teniendo especial cuidado cuando el símbolo de una de las unidades es el mismo que el símbolo para un prefijo, ej. mN es usado sólo para milinewton y no para metro newton.

Cuando se forma una unidad compuesta por división de una unidad por otra, esto puede ser indicado de una de las formas siguientes:

$$\frac{m}{s}, \quad m / s, \quad m \bullet s^{-1}$$

Una barra (/) no deberá ser seguida por un símbolo de multiplicación o división en la misma línea formando una combinación, a menos que se inserte un paréntesis para evitar toda ambigüedad. En casos complicados, se usarán potencias negativas o paréntesis.

(7) Unidades que no son SI y que pueden ser usadas junto con las unidades SI y sus múltiplos

7.1 Existen ciertas unidades fuera del SI, reconocidas por el Comité Internacional de Pesos y Medidas (CIPM), que deben ser mantenidas por su importancia práctica (ver tablas 5 y 6).

7.2 Los prefijos dados en la tabla 4 pueden ser agregados a algunas de las unidades dadas en las tablas 5 y 6; por ej.: milímetro, ml (ver también columna 6 del anexo A).

7.3 En un número limitado de casos, las unidades compuestas se forman con las unidades dadas en las tablas 5 y 6 juntas con las unidades SI y sus múltiplos, por ejemplo: kg/h, km/h. (Ver también en el anexo A, las columnas 5 y 6).

Nota:

4) Existen algunas otras unidades fuera del sistema SI, las cuales son reconocidas por la CIPM para su uso temporal. Ellas se dan en la columna 7 de la tabla del anexo A y marcadas por un asterisco (*).

Tabla 5 – Unidades usadas con el SI

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Definición
tiempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 60 min
	día	d	1 d = 24 h
ángulo plano	grado	°	1° = (π/180) rad
	minuto	'	1' = (1/60)°
	segundo	''	1'' = (1/60)'
volumen	litro	l, L ¹⁾	1 l = 1 dm ³
masa	tonelada ²⁾	t	1 t = 10 ³ kg

1) Los dos símbolos para el litro están en igualdad de condiciones. De todos modos la CIPM, se encuentra haciendo el desarrollo de un estudio de el uso de los símbolos para ver si uno de los dos puede ser suprimido.

2) También llamada la tonelada métrica en idioma Inglés.

**Tabla 6 – Unidades usadas con el SI, cuyos valores son obtenidos experimentalmente
 (Ver en texto original de la Norma)**

**Anexo A
(Normativo)
Ejemplos de los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI y de
algunas otras unidades que pueden ser usadas**

En este anexo se dan ejemplos de los múltiplos y submúltiplos de las unidades SI, para un número de magnitudes de uso común, así como también de algunas otras unidades que pueden ser usadas. Se sugiere que la selección mostrada en este anexo no intenta ser restrictiva, sino que al menos se estima de utilidad en la presentación de los valores de las magnitudes de modo idéntico en contextos similares dentro de los diferentes sectores de la tecnología. Para algunas necesidades (por ejemplo, en aplicaciones en ciencia y educación) se reconoce que se requiere mayor libertad en la elección de los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI, que los ejemplificados en la lista que sigue:

Item Número en NCh-ISO 31	Magnitud	Unidad SI	Selección de múltiplos de unidades SI	Unidades fuera del SI, reconocidas por el CIPM y que deben ser mantenidas y para casos especiales algunas de sus combinaciones con unidades SI		Observaciones e información sobre unidades usadas en campos especiales
				Unidades	Múltiplos o sub múltiplos de unidades dadas en columna 5	
1	2	3	4	5	6	7
Parte 1: Espacio y tiempo						
1-1	ángulo (ángulo plano)	rad (radián)	 mrad μrad	° (grado) $1^\circ = \pi/180 \text{ rad}$ ' (minuto) $1' = 1^\circ/60$ " (segundo) $1" = 1'/60$		gon [gon (o grado)], $1 \text{ gon} = \frac{\pi}{200} \text{ rad}$ Si el radián no se usa, la unidad grado o grado centesimal (gon), puede ser usado. Las subdivi- siones decimales de grados son preferibles a los grados, minutos y segundos para los ángulos planos, no deben haber espacios entre el valor numérico y el símbolo de la unidad.
1-2	ángulo sólido	sr (estereo- radián)				
1-3.1	longitud	m (metro)	km cm mm μm nm pm fm			1 milla náutica* = 1 852 m (exactamente) * Reconocida por el CIPM para su uso temporal.

Item Número en NCh-ISO 31	Magnitud	Unidad SI	Selección de múltiplos de unidades SI	Unidades fuera del SI, reconocidas por el CIPM y que deben ser mantenidas y para casos especiales algunas de sus combinaciones con unidades SI		Observaciones e información sobre unidades usadas en campos especiales
				Unidades	Múltiplos o sub múltiplos de unidades dadas en columna 5	
1	2	3	4	5	6	7
Parte 1: Espacio y tiempo						
1-4	área	m ²	km ² dm ² cm ² mm ²			ha* (hectárea), 1 ha = 10 ⁴ m ² a* (área), 1a=10 ² m ² * Reconocida por el CIPM para su uso temporal.
1-5	volumen	m ³	dm ³ cm ³ mm ³	l, L (litro) 1 l = 10 ⁻³ m ³ = 1 dm ³	hl 1 hl = 10 ⁻¹ m ³ cl 1 cl = 10 ⁻⁵ m ³ ml 1 ml = 10 ⁻⁶ m ³ = 1 cm ³	En 1964, la CGPM declara que el nombre litro (l) puede ser usado como un nombre especial del decímetro cúbico (dm ³) y advierte contra el uso del nombre litro en las mediciones de alta precisión. Ver también nota 1) al pie en tabla 5).
1-7	tiempo	s (segundo)	ks ms μs ns	d (día) 1 d = 24 h (exactamente) h (hora) 1 h = 60 min (exactamente) min (minuto) 1 min = 60 s (exactamente)		Otras unidades tales como semana, mes y año (a) se usan comúnmente. Las definiciones de año y semana a menudo necesitan ser especificadas.
1-8	velocidad angular	rad/s				
1-10	velocidad	m/s			km/h 1 km/h = $\frac{1}{3,6}$ m/s m/h	1 nudo* = 1,852 km/h (exactamente) = 0,514 444 m/s Para la hora ver ítem N° 1-7 *Reconocido para su uso temporal por la CIPM
1-11.1	aceleración	m/s ²				

Ítem Número en NCh-ISO 31	Magnitud	Unidad SI	Selección de múltiplos de unidades SI	Unidades fuera del SI, reconocidas por el CIPM y que deben ser mantenidas y para casos especiales algunas de sus combinaciones con unidades SI		Observaciones e información sobre unidades usadas en campos especiales
				unidades	Múltiplos o sub múltiplos de unidades dadas en columna 5	
1	2	3	4	5	6	7
Parte 2: Fenómenos periódicos y relacionados						
2-3.1	frecuencia	Hz (hertz)	THz GHz MHz kHz			
2-3.2	frecuencia rotacional	s ⁻¹		min ⁻¹		Las designaciones revoluciones por minuto (r/min) y revoluciones por segundo (r/s) son ampliamente usadas para frecuencia rotacional en especificaciones de maquinaria rotatoria (Ver también IEC 27-1) Para minuto ver ítem 1-7
2-4	frecuencia angular	rad/s				
Parte 3: Mecánica						
3-1	masa	kg (kilogramo)	Mg g mg µg	t (tonelada) 1 t = 10 ³ kg		Ver nota 2) al pie en tabla 5.
3-2	masa volúmica, densidad, densidad de masa	kg/m ³	Mg/m ³ o kg/dm ³ o g/cm ³	t/m ³ o kg/l	g/ml g/l	Para el litro, ver ítem N° 1-6. Para la tonelada, ver ítem N° 3-1.
3-5	masa lineal, densidad lineal	kg/m	mg/m			1 tex=10 ⁻⁶ kg/m = 1 g/km La unidad tex es usada para los filamentos de textiles.
3-7	momento de inercia	kg • m ²				
3-8	momentum	kg • m/s				

Item Número en NCh-ISO 31	Magnitud	Unidad SI	Selección de múltiplos de unidades SI	Unidades fuera del SI, reconocidas por el CIPM y que deben ser mantenidas y para casos especiales algunas de sus combinaciones con unidades SI		Observaciones e información sobre unidades usadas en campos especiales
				Unidades	Múltiplos o sub múltiplos de unidades dadas en columna 5	
1	2	3	4	5	6	7
Parte 3: Mecánica						
3-9.1	fuerza	N (newton)	MN kN mN μN			
3-11	momento de momentum, momento angular	kg • m ² /s				
3-12.1	momento de fuerza	N • m	MN • m kN • m mN • m μN • m			
3-15.1	presión	Pa (Pascal)	Gpa MPa kPa hpa mPa μPa			Bar* (bar) 1 bar = 100 kPa (exactamente) 1 mbar = 1 hPa El uso del bar debe ser restringido a los usos existentes en el campo de la presión de fluidos. * Reconocido temporal- mente por la CIPM
3-15.2	tensión (estrés normal)	Pa	Gpa Mpa kPa			
3-23	viscosidad, (viscosidad dinámica)	Pa • s	mPa • s			P (poise) 1 cP = 1 mPa • s El poise y el stokes son nombres especiales de unidades CGS. Ellas y sus múltiplos y submúltiplos no deben ser usados junto a unidades SI
3-24	viscosidad cinemática	m ² /s	mm ² /s			St (stokes) 1 cSt = 1 mm ² /s Ver observación en 3-23

tem número en NCh- ISO 31	Magnitud	Unidad SI	Selección de múltiplos de unidades SI	Unidades fuera del SI, reconocidas por el CIPM y que deben ser mantenidas y para casos especiales algunas de sus combinaciones con unidades SI		Observaciones e información sobre unidades usadas en campos especiales
				Unidades	Múltiplos o sub múltiplos de unidades dadas en columna 5	
1	2	3	4	5	6	7
Parte 3: Mecánica						
3-25	tensión superficial	Nm	mN/m			
3-26.1 y 3-26.2	energía trabajo	J (joule)	EJ PJ TJ GJ MJ kJ mJ			
3-27	potencia	W (watt)	GW MW kW mW μW			
Parte 4: Calor						
4-1	temperatura termodinámica	K (Kelvin)				
4-2	temperatura Celsius	°C (grado Celsius)				La temperatura Celsius t , es igual a la diferencia $(T-T_0)$ entre dos temperaturas termodinámicas T y T_0 , donde $T_0 = 273,15$ K (exactamente) Para la definición y uso del grado Celsius (°C), ver nota 6 bajo la definición del kelvin en anexo B.
4-3.1	coeficiente de dilatación lineal	K ⁻¹				Para el grado Celsius, ver ítem 4-2.
4-6	calor	J	EJ PJ TJ GJ MJ kJ mJ			
4-7	tasa de flujo térmico	W	kW			

Item número en NCh-ISO 31	Magnitud	Unidad SI	Selección de múltiplos de unidades SI	Unidades fuera del SI, reconocidas por el CIPM y que deben ser mantenidas y para casos especiales algunas de sus combinaciones con unidades SI		Observaciones e información sobre unidades usadas en campos especiales
				Unidades	Múltiplos o sub múltiplos de unidades dadas en columna 5	
1	2	3	4	5	6	7
Parte 4: calor						
4-9	conductividad térmica	W/(m•K)				Para el grado Celsius, ver ítem 4-2
4-10.1	coeficiente de transferencia térmica	W/(m²•K)				Para el grado Celsius, ver ítem 4-2
4-11	aislación térmica	m² •K/W				Para el grado Celsius, ver ítem 4-2
4-15	capacidad térmica	J/K	kJ/K			Para el grado Celsius, ver ítem 4-2
4-16.1	capacidad térmica específica	J/(kg•K)	kJ/(kg • K)			Para el grado Celsius, ver ítem 4-2
4-18	entropía	J/K	kJ/K			Para el grado Celsius, ver ítem 4-2
4-19	entropía específica (másica)	J/(kg•K)	kJ/(kg • K)			Para el grado Celsius, ver ítem 4-2
4-21.2	energía termodinámica específica	J/kg	MJ/kg kJ/kg			

Las siguientes partes del Anexo A, deberán ser consultadas directamente en la norma:

5 : Electricidad y magnetismo	10 : Reacciones nucleares y radiaciones ionizantes
6 : Luz y radiaciones electromagnéticas relacionadas	11 : (No existe en la Norma)
7 : Acústica	12 : Números característicos
8 : Físicoquímica y física molecular	13 : Física del estado sólido
9 : Física atómica y física nuclear	

Anexo B (Informativo)

Definiciones de las unidades básicas del Sistema Internacional de unidades

metro	:	El metro es la longitud del camino recorrido por un rayo de luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de $1/299\,792\,458$ de un segundo. [17ª CGPM (1983), Resolución 1]
kilogramo	:	El kilogramo es la unidad de masa; es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo. [3ª CGPM (1901)]
segundo	:	El segundo es la duración de $9\,192\,631\,770$ períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del átomo del cesio-133 en estado normal. [13ª. CGPM (1967), Resolución 1]
ampere	:	El ampere es aquella corriente eléctrica constante que, mantenida en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y ubicados a una distancia de 1 metro entre sí, en el vacío, puede producir entre estos dos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} newton por metro de longitud. [CIPM (1946), Resolución 2 aprobada por la 9ª CGPM (1948)]
kelvin	:	El kelvin, es la unidad de temperatura termodinámica, es la fracción $1/273,16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua. [13ª CGPM (1967), Resolución 4]

NOTAS:

- 5) La 13ª. CGPM (1967, Resolución 3) también decidió que la unidad kelvin y su símbolo K deberán ser usados para expresar un intervalo o una diferencia de temperatura.
- 6) En adición a la temperatura termodinámica (símbolo T) expresada en kelvin, se hace uso también de la temperatura Celsius, (símbolo t) definida por la ecuación $t = T - T_0$ donde $T_0 = 273,16$ K por definición. Para expresar la temperatura Celsius, se utiliza la unidad grado Celsius, la cual es igual a la unidad *kelvin*; en este caso, *grado Celsius* es un nombre especial usado en lugar de kelvin. Un intervalo o diferencia de temperatura Celsius puede, de todas formas, ser expresado en kelvin así como en grado Celsius.

mol	:	El mol es la cantidad de substancia de un sistema, el cual contiene tantas entidades elementales como átomos de carbono-12 hay en 0,012 kilogramos. Cuando se usa el mol, las entidades elementales deben ser especificadas y pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones u otras partículas o grupos específicos de tales partículas. [14ª CGPM (1971), Resolución 3]
candela	:	La candela, es la intensidad luminosa en la dirección dada de una fuente que emite radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} hertz y que tiene una intensidad radiante en esa dirección de $1/683$ watt por estereoradián. [16ª CGPM (1979), Resolución 3]

2.004.4 LONGITUDES Y DISTANCIAS ACUMULADAS EN PROYECTOS VIALES

Todas las longitudes que figuren en los documentos y planos de un Estudio Vial se expresarán en metros (m), centímetros (cm) o milímetros (mm), según sea la especialidad de que se trate, debiendo cada cifra estar acompañada de la unidad que le corresponda, o bien, si se trata de un plano, incluir una nota destacada que indique, por ejemplo, "DIMENSIONES EN milímetros (mm), SALVO INDICACION EXPRESA EN CONTRARIO".

En los documentos y planos relativos a trazados en planta y alzado, así como toda vez que se deba hacer referencia a una cierta distancia acumulada referida a un cierto origen, a la cifra correspondiente se le antepondrá la sigla "Dm", correspondiente al concepto "Distancia Acumulada expresada en metros".

Consecuentemente, se abandona a partir de la fecha de entrada en vigencia de este Volumen del Manual de Carreteras, el concepto de kilometraje y su unidad el kilómetro, reemplazándolos por el concepto de Distancia Acumulada y su notación "Dm", como se indica en el siguiente ejemplo:

Km 252,324843 (notación antigua)
Dm 252.324,843 (nueva notación)

No obstante lo anterior, en las Señales Camineras Informativas que expresan la distancia a algún destino o la longitud de un cierto tramo, se seguirá empleando como unidad el kilómetro (km).

Del mismo modo las velocidades de proyecto, o velocidades señalizadas, se seguirán expresando en kilómetros por hora (km/h).

En el caso de los antecedentes para expropiaciones, como el plano de expropiaciones, y los documentos que genere el proceso expropiatorio, éstos seguirán con la notación antigua indicada, es decir, referida a kilometraje, pero con cinco decimales.

En un Resumen Ejecutivo y sus esquemas ilustrativos, se podrá emplear la notación en kilómetros, con un máximo de tres decimales, es decir aproximando la distancia acumulada al metro, o bien, la nueva notación en metros sin decimales, sin embargo, habiendo optado por una de estas notaciones no se podrá emplear la otra en el mismo documento.

SECCION 2.005 ANTECEDENTES EXISTENTES PARA EL ESTUDIO DE OBRAS VIALES

2.005.1 ASPECTOS GENERALES

Según se expone en el Capítulo 2.100, la primera etapa de los estudios de Ingeniería para el diseño de un proyecto vial corresponde al nivel de Estudio Preliminar. Esta etapa debe iniciarse con el análisis de los antecedentes existentes, el reconocimiento del terreno y luego proceder a los desarrollos correspondientes a dicho nivel de estudio.

Normalmente los estudios preliminares constituirán un proceso de aproximaciones sucesivas para dar respuesta a las interrogantes que el proyectista debe resolver en ese nivel. La recolección y análisis de antecedentes permite formarse una primera impresión del problema, la que será enriquecida durante el reconocimiento en terreno. Lo observado en terreno normalmente centrará la atención en aspectos que no fueron considerados en el análisis inicial, obligando a revisar, complementar hasta donde sea posible y elaborar con mayor profundidad la información existente.

En esta sección se presentan, según materia, las principales fuentes de información y un resumen escueto, pero actualizado a la fecha, del material que habitualmente será útil en el estudio de obras viales. Cuando corresponda se hará referencia a los catálogos disponibles en las diversas instituciones.

2.005.2 MANUAL DE CARRETERAS DE LA DIRECCION DE VIALIDAD

La hoja Introducción, que figura inmediatamente antes de este Capítulo, menciona los nueve Volúmenes que integran el Manual de Carreteras. Obviamente todos ellos contienen antecedentes relevantes y, en muchos casos, aspectos normativos que deben ser considerados en el proceso de estudio de una obra vial.

Las materias tratadas en el Volumen N° 3 – INSTRUCCIONES Y CRITERIOS DE DISEÑO, están íntimamente relacionadas con los Procedimientos de Estudio que se desarrollan en este Volumen. Muy especialmente el Capítulo 3.100 «Controles Básicos de Diseño» que debe ser considerado absolutamente complementario del Capítulo 2.100 «Clasificación de los Estudios para Obras Viales». Algo similar sucede en los Capítulos relativos a «Diseño Geométrico» (3.200 al 3.500) que se complementan con el 2.800 «Procedimientos de Terreno y Gabinete», el 3.600 «Diseño Estructural de la Obra Básica y de la Plataforma» y el 3.700 «Diseño del Drenaje, Saneamiento, Mecánica e Hidráulica Fluvial» que los hacen con los de Ingeniería Básica (2.400 y 2.500), que establecen la profundidad con que deben tratarse dichos temas en los distintos Niveles de Estudio.

2.005.3 VERTICES GEODESICOS GPS DEL IGM

Según se expone en el Capítulo 2.300 “Ingeniería Básica-Aspectos Geodésicos y Topográficos”, la referenciación de los estudios viales deberá estar ligada a un Vértice Geodésico GPS de la red materializada por el Instituto Geográfico Militar (IGM).

En las oficinas comerciales del IGM se pueden consultar la ubicación de los puntos de la Red Geodésica Nacional (RGN) y las monografías, que entregan toda la información necesaria para localizar el Vértice en terreno. Una vez que se ha verificado en terreno la existencia del vértice y que éste se encuentra en buen estado, se pueden adquirir las coordenadas geodésicas que le corresponden:

Coordenadas Geodésicas Datum WGS - 84 (ϕ , λ , h)
Con: ϕ = Latitud
 λ = Longitud
h = Altura Elipsoidal

En algunos casos también puede estar disponible la altura Ortométrica (H), del vértice, dato que será completado próximamente en forma paulatina.

La Dirección de Vialidad, las Empresas de Ingeniería de Consulta y las Empresas Constructoras, en las personas de sus Profesionales, Técnicos, Operadores de Maquinaria, etc., deben procurar por todos los medios a su alcance, ayudar a proteger y preservar estos vértices, que constituyen un patrimonio de gran valor técnico y científico para el país.

2.005.4 MAPAS, CARTAS Y CARTOGRAFÍA VIAL

2.005.401 Instituto Geográfico Militar (IGM). El IGM posee un catálogo de mapas, cartas y ortofotos para la venta, que pueden ser útiles para los estudios de obras viales. Además, su sitio internet da una descripción de su labor, conteniendo una reseña histórica del Instituto, su misión, sus actividades, sus productos y publicaciones.

Sitio web: <http://www.igm.cl>

2.005.402 Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA). Las cartas editadas por el SHOA son cartas marítimas. No obstante, pueden resultar útiles cuando se deban realizar estudios que se desarrollen por la costa, en zonas de puertos, caletas, etc. Para conocer con mayor detalle la labor que realiza y tener información de los productos que ofrece, se puede visitar su sitio internet <http://www.shoa.cl>.

2.005.403 Dirección de Vialidad (DV). La Dirección de Vialidad, a través de la Unidad de SIG y Cartografía, recopila, almacena, administra, analiza y actualiza información geoespacial en su Sistema de Información Geográfica (SIG).

En las bases de datos del SIG de la Dirección de Vialidad se maneja la siguiente información georreferenciada en Datum Sirgas (véase el Numeral 2.302.403):

- Red Vial Nacional de tuición de la Dirección de Vialidad y su infraestructura asociada.
- Proyectos de las carteras anuales de la Dirección de Vialidad.
- Información de censos de tránsito y plazas de pesaje.
- Coberturas de cartografía base; ciudades y poblados, división política administrativa, formaciones lacustres, ríos y quebradas, entre otros (fuente: Instituto Geográfico Militar y Ministerio de Planificación). Escala 1:50.000 y 1:250.000.
- Información ambiental a diferentes escalas [fuente: Corporación Nacional Forestal (CONAF), Ministerio del Medio Ambiente, Secretaría Ejecutiva Medio Ambiente y Territorio de la Dirección General de Obras Públicas del MOP (SEMAT), entre otros].
- Imágenes Satelitales de Chile (Landsat TM), entre otros.

A través del SIG, que proporciona el manejo de información gráfica y alfanumérica en forma integrada, se hacen actualizaciones constantes de la información asociada a la red vial, y se elabora la cartografía oficial de la Dirección de Vialidad.

La Dirección de Vialidad edita periódicamente la "Carta Caminera", que es una composición cartográfica que contiene información actualizada de los tipos de capas de rodadura existentes en la red vial de todo el país, además de información base asociada. El producto está dividido en láminas, que agrupan una o más regiones del país; la escala de representación de las láminas varía desde 1: 450.000 a 1: 1.000.000, debido a la extensión y forma del territorio chileno. También existe el formato de cuadernillo anillado, donde se presenta todo Chile por regiones, a una escala con menor detalle. Ambos formatos son impresos para venta al público y uso interno del Ministerio de Obras Públicas.

La Carta Caminera también es publicada en formato digital de imagen, y pueden ser descargadas desde el sitio internet <http://www.mapas.mop.cl>, en el link "Cartas Camineras". En este mismo sitio se encuentra disponible el Geoportal de mapas, sitio internet de mapas de la Dirección de Vialidad, donde se encuentra publicada gran parte de la información del SIG.

Otros productos, servicios e información sobre la Dirección de Vialidad se pueden consultar en el sitio <http://www.vialidad.cl>

2.005.5 FOTOGRAFÍA, ORTOFOTOS Y MODELOS DIGITALES

Existen varios vuelos aerofotogramétricos que cubren el país, siendo los principales aquellos de gran cobertura que han sido realizados con propósitos de interés nacional o regional. También existen numerosos vuelos aerofotogramétricos realizados sobre zonas urbanas, por encargo de instituciones públicas o privadas, que cubren áreas de proyectos específicos. Cabe señalar que, en muchos casos, cuando existe fotografía aérea asociada a un proyecto específico, existe también restitución aerofotogramétrica del área y, en oportunidades, será posible tener acceso a ella tomando contacto con el organismo que solicitó el vuelo.

Las fotografías aéreas disponibles pueden ser adquiridas fundamentalmente en tres instituciones: el Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea (SAF), el Instituto Geográfico Militar (IGM) y el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), y en empresas privadas dedicadas al rubro.

El detalle de estos y otros productos y servicios de las instituciones antes señaladas se puede consultar en sus respectivas páginas *web*, que en el mismo orden son <http://www.saf.cl>, <http://www.igm.cl> y <http://www.ciren.cl>.

Las ortofotos son imágenes fotográficas de la superficie terrestre, confeccionadas con una o más fotografías aéreas, rectificadas para corregir las distorsiones debidas al movimiento e inclinación de la cámara aérea, el desplazamiento por el relieve, etc.

Las instituciones públicas que comercializan ortofotos son principalmente el SAF, el IGM y el CIREN.

En el mercado se ofrecen también productos, como cartas o planos digitales, que basados en fotografías aéreas, tecnología LIDAR o información de captura satelital, contienen una representación digital 3D y georreferenciada del terreno y almacenan en forma ordenada información asociada a una ubicación geográfica del plano. La naturaleza digital de los modelos permite organizar la información por capas, lo que habilita al usuario operar sólo aquellas de su interés, evitando tener que visualizar todos los elementos gráficos simultáneamente.

Algunos modelos digitales de terreno de moderada resolución, como son los formatos SRTM y ASTER, disponibles en internet, cubren gran parte de la tierra.

El procesamiento de modelos digitales de terreno con programas apropiados permite obtener numerosos subproductos adicionales de interés para el análisis de diversas materias relacionadas con los proyectos viales, como obtención de curvas de nivel, despliegue en 3D, sombreado de laderas, mapas de pendientes, líneas de drenaje, cálculo de cuencas hidrográficas, etc.

Dentro de los sistemas disponibles y de utilidad en algunos aspectos del desarrollo de proyectos viales, se puede mencionar también la plataforma Google Earth y su posibilidad de interactuar con archivos digitales de terreno de otras fuentes y sistemas SIG.

2.005.6 CLIMA, PLUVIOMETRÍA Y FLUVIOMETRÍA

2.005.601 Clima y Meteorología. Las características climáticas de las diversas zonas del país pueden consultarse en los diversos textos e informes que tratan la materia. Algunos de estos estudios están disponibles en las bibliotecas de Corfo, Cirén, Comisión Nacional de Riego, Dirección General de Aguas (DGA) o de las universidades del país.

Los parámetros meteorológicos, como temperaturas máximas y mínimas, humedad ambiente, pluviometría, vientos predominantes y sus velocidades, horas de luz, etc., deben consultarse en las diversas publicaciones de la Dirección Meteorológica de Chile, entre las que se pueden mencionar:

- Anuarios Meteorológicos de Chile
- Boletines Meteorológicos.
- Anuario Aerológico.

2.005.602 Pluviometría y Fluviometría

2.005.602(1) Pluviometría. La información pluviométrica general, como precipitación anual, precipitación media mensual y precipitación diaria a lo largo del tiempo, puede obtenerse de los anuarios y boletines mencionados en el Numeral 2.005.601. Sin embargo, para los estudios hidrológicos se requiere por lo general información más detallada, que no está publicada y debe ser adquirida directamente en las siguientes fuentes:

a) Dirección Meteorológica de Chile. En sus oficinas de atención al público se puede solicitar la información deseada. Además, cuentan con sitio *web* donde se puede acceder al tipo de información que se entrega. Normalmente la información es procesada por personal de esta Dirección, previa aceptación de un presupuesto por parte del interesado.

Sitio web: <http://www.meteochile.cl>

b) Dirección General de Aguas del MOP (DGA). Posee un Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH), el que se encarga de procesar, gestionar y entregar toda la información existente respecto del tema. Publica los Boletines Hidrológicos Semanales y Mensuales y el Pronóstico de Disponibilidad de Agua. La DGA provee antecedentes generales de la información que dispone en:

Sitio web: <http://www.dga.cl>

- c) **CIREN.** Entrega información referente a los recursos hídricos, contando con información de aguas superficiales, subterráneas, infraestructura hidráulica, red de canales y embalses, usuarios de aguas y del recurso clima (estaciones meteorológicas y distritos agroclimáticos).

2.005.602(2) **Fluviometría**

El control de gastos en cauces naturales y canales de riego lo realiza la Dirección General de Aguas (DGA); para obtener esta información se puede recurrir al Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH).

2.005.7 GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

2.005.701 Estudios Geológicos. Diversos organismos e instituciones, tanto públicas como privadas, han llevado a cabo estudios y levantamientos de diversas áreas del territorio nacional. Aunque estos estudios, en la mayoría de los casos, no han sido realizados con el afán de obtener información geotécnica de superficie y, por lo tanto, no entregan antecedentes concretos o directos, son de utilidad para definir las principales unidades geológicas con sus características más importantes y, en algunos casos, la morfología del área.

Las fuentes de información más importantes son las siguientes:

2.005.701(1) Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Mapa geológico de Chile, escala 1:1.000.000. Existen actualizaciones y complementaciones en:

Sitio web: <http://www.sernageomin.cl>

2.005.701(2) CIREN. Con información de depósitos minerales, minas, yacimientos, geología regional y un sistema de información geográfica (SIG o GIS en inglés) geológica minera con la ubicación de depósitos, geología e información de estructuras.

Los antecedentes más usuales que se obtienen de los estudios descritos son los siguientes:

- Levantamientos geológicos a distintas escalas topográficas.
- Informes geológicos que dicen relación con estudio de recursos mineros o proyectos de obras civiles.
- Estudios hidrogeológicos.

2.005.702 Estudios Agrológicos. Con el objeto de evaluar recursos agrícolas, se han llevado a cabo numerosos estudios que tratan sobre la capacidad de uso de los suelos. Los estudios del recurso suelo consisten en la delimitación de unidades homogéneas de suelo, donde cada unidad o polígono corresponde a una variación de una serie o tipo de suelo. La información principal se refiere a la fórmula de suelos, capacidad de uso, descripción, serie y variaciones, materiales y símbolos. El CIREN dispone de un número importante de estos estudios que abarcan de la III a la IX regiones (véase descripción en el Tópico 2.502.3).

Además puede obtenerse información en el Ministerio de Agricultura y en la comisión Nacional de Riego.

2.005.703 Estudios Geotécnicos. Si bien no existen estudios geotécnicos de áreas extensas, se dispone de información elaborada para proyectos específicos.

Como antecedente más relevante se tiene la información elaborada para la Dirección de Vialidad, tanto para nuevos caminos como para la rehabilitación de existentes.

Otras fuentes de información serían las entidades que han realizado estudios de regadío y energía hidroeléctrica, en los cuales los embalses y canales requieren preparar estudios geotécnicos; en esta condición se encuentra la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas.

2.005.8 TRÁNSITO Y ESTADÍSTICAS AFINES

2.005.801 Volúmenes de Tránsito. Desde el año 1966, la Dirección de Vialidad cuenta con el Plan Nacional de Censos, información que se publica en el sitio *web* del servicio y que se ha elaborado sobre la base de los datos obtenidos a partir de:

- Instrumentos clasificadores de tránsito. Estos equipos, unos 140, constituyen estaciones de conteo continuo a partir de enero de 1996. Están programados para identificar 13 categorías de vehículos, a dos pistas y a intervalos de una hora.

- Muestreos de tres días al año. Corresponden a conteos de tránsito clasificado de 12 ó 24 horas de duración, que se ejecutan en unos 850 puntos de control distribuidos en la red principal y secundaria.
- Paralelamente, la Dirección de Vialidad realiza controles de origen y destino en los años impares en algunos de los puntos del Plan Nacional de Censos (unos 30 puntos).

Sitio web: <http://www.vialidad.cl>

2.005.802 Control de Pesos por Eje. La Dirección de Vialidad cuenta con 11 plazas fijas de control de pesos por eje de los vehículos de transporte de carga. La base de datos que se almacena contiene estadísticas y estratigrafías de pesos por ejes, existiendo información desde julio de 1996, parte de la que está procesada (véase Tabla 3.603.202.C).

Las plazas de pesaje automáticas que procesan esta información son:

Ruta 11-CH	km 185	Chungará
Ruta 5 Norte	km 2.081	Chacalluta
Ruta 5 Norte	km 1.351	La Negra
Ruta 5 Norte	km 475	La Serena
Ruta 5 Norte	km 27.5	Lampa
Ruta 5 Sur	km 63	San Francisco de Mostazal
Ruta 5 Sur	km 497	Los Ángeles
Ruta 68	km 55	Curacaví
Ruta 148	km 10	Concepción
Ruta 160	km 60	Los Horcones
Ruta 255	km 141	Monte Aymond

2.005.803 Estadísticas Relacionadas con el Tránsito. Para los estudios de tránsito, resulta de interés conocer la evolución histórica de algunos de los indicadores directamente relacionados con él. Los principales y sus respectivas fuentes son:

- Parque de vehículos: **Instituto Nacional de Estadísticas (INE)**
Sitio web: <http://www.ine.cl>
- Consumo de combustibles: **Superintendencia de Electricidad y Combustibles**
Sitio web: <http://www.sec.cl>
- Estadísticas de accidentes: **INE o Dirección General de Carabineros de Chile**
Sitio web: <http://www.ine.cl> y <http://www.carabineros.cl>.

2.005.9 ANTECEDENTES SOCIO-ECONÓMICOS

Las principales fuentes de información sobre aspectos socioeconómicos, de interés en las diversas etapas del estudio de una obra vial, son:

- **Ministerio de Desarrollo Social:** Planificación a nivel nacional y regional. En su biblioteca puede encontrarse también gran parte de la información antes citada.

Sitio web: <http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl>

- **Instituto Nacional de Estadísticas (INE):** Entre las numerosas publicaciones de este Instituto, las de mayor importancia en relación a los estudios para obras viales son:

Censos de población y vivienda.
Censos agropecuarios
Anuario estadístico

Sitio web: <http://www.ine.cl>

- **CIREN:** A los ya nombrados tales como fotografías aéreas, fotomosaicos con clasificación y capacidad de uso de suelo, se agregan numerosos informes y publicaciones en relación a recursos naturales y temas afines.

Sitio web: <http://www.ciren.cl>

2.005.10 ANTECEDENTES AMBIENTALES Y TERRITORIALES

- **Ministerio del Medio Ambiente** Recopila y publica estudios de impacto ambiental, planes y normas, y una amplia gama de información de áreas temáticas.

Sitio web: <http://www.mma.gob.cl>

- **Corporación Nacional Forestal (CONAF):** La información relativa a bosques autóctonos, parques nacionales, reforestación, control de dunas, erosión, áreas protegidas y de interés turístico puede obtenerse en sus oficinas nacional o regionales, o bien a través de su sitio *web*:

Sitio web: <http://www.conaf.cl>

- **Ministerio de Agricultura** o la SEREMI respectiva, provee información respecto de áreas de protección y preservación ecológica, cotos de caza, etc.

Sitio web: <http://www.minagri.gob.cl>

- **Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR).** Maneja la información del sector, entre las que se encuentra la relativa a áreas de protección turística.

Sitio web: <http://www.sernatur.cl>

- **Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU)** y sus respectivas SEREMIS manejan los planos reguladores comunales e intercomunales, que proveen información respecto del uso del suelo urbano, reservas, etc.

Sitio web: <http://www.minvu.cl>

2.005.11 OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

La Sección 1.004, Antecedentes y Fuentes de Información, del MC-V1, Tomo II, Evaluación de Proyectos Interurbanos, presenta una recopilación detallada de aquellas fuentes de información útiles para el desarrollo de los estudios de prefactibilidad y factibilidad.

MANUAL DE CARRETERAS

VOLUMEN N°2

PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIOS VIALES

CAPITULO 2.100

SISTEMA DE CLASIFICACION Y NIVELES DE ESTUDIO

**DIRECCION DE VIALIDAD
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
CHILE**

CAPITULO 2.100 SISTEMAS DE CLASIFICACION Y NIVELES DE ESTUDIO

INDICE

SECCION	2.101 CONCEPTOS BASICOS
2.101.1	ALCANCES DEL CAPITULO Y SISTEMAS DE CLASIFICACION DE LOS CAMINOS
2.101.101	Clasificación Legal de los Caminos.
2.101.102	Clasificación Administrativa.
2.101.103	Clasificación Funcional Para Diseño.
2.101.2	DEFINICIONES BASICAS Y CLASIFICACION DE LOS PROYECTOS
2.101.201	Proyectos y Estudios.
2.101.202	Estándar de Diseño de una Carretera o Camino.
2.101.202 (1)	<i>Velocidad de Proyecto (Vp).</i>
2.101.202 (2)	<i>Sección Transversal.</i>
2.101.203	Clasificación General de los Proyectos Viales.
2.101.203 (1)	<i>Proyectos de Nuevos Trazados.</i>
2.101.203 (2)	<i>Proyectos de Recuperación de Estándar.</i>
2.101.203 (3)	<i>Proyectos de Cambio de Estándar.</i>
2.101.203 (4)	<i>Situaciones Mixtas.</i>
2.101.203 (5)	<i>Nomenclatura Empleada por el Sistema Nacional de Inversiones.</i>
2.101.204	Clasificación de los Proyectos Según su Impacto Económico.
2.101.205	Clasificación de los Proyectos Según su Impacto Ambiental.
2.101.3	CARACTERISTICAS DE LAS CARRETERAS Y CAMINOS SEGUN SU CLASIFICACION FUNCIONAL
2.101.301	Resumen de las Características Funcionales.
2.101.302	Clasificación Funcional y Estándar.
2.101.303	Caminos Fuera de Estándar.
2.101.304	Proyectos en Areas Rurales y Urbanas.
2.101.4	CICLO DE VIDA Y NIVELES DE ESTUDIO DE UN PROYECTO
SECCION	2.102 ESTUDIO PRELIMINAR
2.102.1	ASPECTOS GENERALES
2.102.2	ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS
2.102.201	Definición Preliminar de las Características y Parámetros de Diseño.
2.102.202	Identificación de Rutas Posibles.
2.102.203	Anteproyectos Preliminares sobre Planos a Escala Intermedia.
2.102.204	Selección de Rutas que Pasan a Nivel de Anteproyecto.
2.102.205	Elección de la Metodología por Utilizar en los Sigüientes Niveles de Estudio.
2.102.3	ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE RECUPERACION Y CAMBIO DE ESTANDAR
2.102.4	ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE RECUPERACION DE ESTANDAR
2.102.401	Diagnóstico del Problema.
2.102.402	Definición Preliminar de Alternativas de Solución.

2.102.403	Elección de la Metodología por Utilizar en los Sigüientes Niveles de Estudio.
2.102.5	ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE CAMBIOS DE ESTANDAR
2.102.501	Diagnóstico del Problema.
2.102.502	Definición Preliminar de Alternativas de Solución.
2.102.503	Elección de la Metodología por Utilizar en los Sigüientes Niveles de Estudio.
SECCION	2.103 NIVELES AVANZADOS DE ESTUDIO EN PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS
2.103.1	ANTEPROYECTO
2.103.101	Estudios de Ingeniería Básica.
2.103.102	Verificación de los Parámetros de Diseño.
2.103.103	Estudio del Trazado Optimo en Cada Ruta.
2.103.104	Selección de la Mejor Alternativa.
2.103.2	ESTUDIO DEFINITIVO
SECCION	2.104 NIVELES AVANZADOS DE ESTUDIO EN PROYECTOS DE RECUPERACION DE ESTANDAR Y DE CAMBIO DE ESTANDAR
2.104.1	ASPECTOS GENERALES
2.104.2	INGENIERIA BASICA
2.104.3	ANTEPROYECTO
2.104.4	ESTUDIO DEFINITIVO
SECCION	2.105 IDENTIFICACION DE LA INGENIERIA BASICA Y METODOLOGIAS DETALLADAS DE ESTUDIO

CAPÍTULO 2.100 SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN Y NIVELES DE ESTUDIO

SECCIÓN 2.101 CONCEPTOS BÁSICOS

2.101.1 ALCANCES DEL CAPÍTULO Y SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE LOS CAMINOS

El presente Capítulo define los conceptos básicos sobre los cuales se ha estructurado este Volumen. Establece el ciclo de vida de un proyecto vial, la clasificación e interrelación existente entre los tipos de proyectos, niveles y metodologías de estudio previstas para las obras viales. Sintetiza el contenido y alcance de dichos niveles de estudio, los que se exponen detalladamente en el resto del Volumen, en particular, en el Capítulo 2.800, Procedimientos de Terreno y Gabinete para el Desarrollo de Estudios Viales, y en lo relativo a su evaluación económica, en el Tomo II del MC-V1, Evaluación de Proyectos Viales Interurbanos.

2.101.101 Clasificación Legal de los Caminos. El DFL N° 850 de 1997, que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley 15.840 y del DFL N° 206 de 1960, en su Título III, De los Caminos Públicos, Párrafo I, De los Caminos Públicos y su Clasificación, en su artículo 24 se refiere a las vías de comunicación terrestre destinadas al libre tránsito, denominadas “Caminos Públicos” y “Puentes de Uso Público”.

El artículo 25 del mismo texto legal clasifica los caminos públicos en:

- a) **CAMINOS NACIONALES**
- b) **CAMINOS REGIONALES**

El resto de dicho artículo establece cuáles serán Caminos Nacionales; por defecto, todos los demás son Caminos Regionales. Además, faculta al Presidente de la República para declarar qué caminos tendrán el carácter de internacionales.

2.101.102 Clasificación Administrativa. Es aquella definida por la Dirección de Vialidad, en función de la jerarquía administrativa de las ciudades o localidades que se interconectan, considerando la regionalización del país.

La clasificación consulta 5 clases:

- A CAMINOS NACIONALES**
- B CAMINOS REGIONALES PRINCIPALES**
- C CAMINOS REGIONALES PROVINCIALES**
- D CAMINOS REGIONALES COMUNALES**
- E CAMINOS REGIONALES DE ACCESO**

Como sucede en general en los países, la longitud de la red aumenta en la medida que disminuye la jerarquía de la clase. Por el contrario, el porcentaje de kilómetros pavimentados es mucho mayor en las primeras clases de caminos y disminuye en las siguientes.

En la Tabla 2.101.102.A se ilustra la situación de Chile a diciembre de 2012, considerando una red de 77.571 km.

TABLA 2.101.102.A
CLASIFICACIÓN ADMINISTRATIVA DE LOS CAMINOS
DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL POR CLASE

Clase	Denominación	Total %	Red Vial Pavimentada			Red Vial No Pavimentada					Sobre el Total	
			Asfalto %	Hormigón %	En la Clase %	Solución Básica		Ripio %	Tierra %	En la Clase %	Pavimentados %	No Pavimentados %
						Capa de Protección %	Granular Estabilizado %					
A	Nacionales	14,7	66,5	12,0	78,6	0,8	5,4	13,8	1,4	21,4	47,9	4,1
B	Regionales Principales	11,0	53,3	4,4	57,7	5,0	3,8	21,4	12,2	42,3	26,5	6,2
C	Regionales Provinciales	8,0	41,1	2,3	43,4	6,0	10,4	32,8	7,4	56,6	14,5	6,0
D	Regionales Comunes	31,5	6,8	0,7	7,5	9,0	10,6	51,1	21,8	92,5	9,8	38,4
E	Regionales de Acceso	34,8	0,7	0,1	0,9	4,7	4,8	51,4	38,3	99,1	1,2	45,4

TOTAL GENERAL	km	77.571	16.539	2.103	18.642	4.362	5.475	31.791	17.302	58.929	18.642	58.929
	%	100,0	21,3	2,7	24,0	5,6	7,1	41,0	22,3	76,0	24,0	76,0

(1) El total de pavimentos incluye 2.525 km de dobles calzadas, consideradas en dicho total según la longitud de los tramos que cubren.

(2) Datos a diciembre de 2012 – Informe “Red Vial Nacional Dimensionamiento y Características – Depto. Gestión Vial – DV”. Se actualiza anualmente.

2.101.103 Clasificación Funcional Para Diseño. Si bien las clasificaciones Legal y Administrativa cumplen los cometidos que les son propios dentro del ámbito que les corresponde, en una misma clase ellas agrupan vías de comunicación terrestre de diversas categorías funcionales, es decir, con distintos estándares de diseño. En consecuencia, con el objeto de clasificar las vías desde un punto de vista funcional, que responda a estándares de diseño predefinidos, este Manual de Carreteras considera seis categorías divididas en dos grupos, a saber:

**CARRETERAS: AUTOPISTAS
AUTORRUTAS
PRIMARIAS**

**CAMINOS : COLECTORES
LOCALES
DE DESARROLLO**

Esta clasificación tiene validez al interior de la Dirección de Vialidad en todo lo relativo a la definición de estándares de diseño. Ella no reemplaza, no complementa ni altera las clasificaciones Legal y Administrativa mencionadas precedentemente.

El concepto Estándar de Diseño se define en el Numeral 2.101.202 y las características de las obras viales según su Clasificación Funcional, en el Tópico 2.101.3.

2.101.2 DEFINICIONES BASICAS Y CLASIFICACION DE LOS PROYECTOS

2.101.201 Proyectos y Estudios. En conformidad con la terminología definida por los organismos de Planificación, el término "Proyecto" incluye las diversas etapas que van desde la concepción de la idea hasta la materialización de una obra civil, complejo industrial o programa de desarrollo y su posterior mantenimiento, explotación y abandono, en las más diversas áreas. En consecuencia, en este caso, Proyecto es el objetivo que motiva las diversas acciones requeridas para poner en servicio una nueva obra vial, o bien recuperar o mejorar una existente. El ciclo de vida de un proyecto vial se indica en el tópico 2.101.4

Las materias tratadas en el presente Volumen dicen relación con los diversos estudios de ingeniería, diseños, etc., los que en sus distintos niveles serán identificados como "Estudios".

No obstante la amplitud asignada al término "Proyecto", a la organización, equipo o persona que asume la responsabilidad de desarrollar las actividades tendientes a producir la documentación que puede permitir materializar una obra civil, que cumpla con los requisitos de calidad, seguridad y costos que se le han asignado, se le identificará bajo el término "Proyectista". De similar modo quienes desarrollan los análisis correspondientes a la Ingeniería de Transporte se les denominará "Analistas", según lo establecido en el Tomo II del MC-V1.

2.101.202 Estándar de Diseño de una Carretera o Camino. El estándar de una obra vial que responde a un diseño acorde con las instrucciones y límites normativos establecidos en el Manual de Carreteras, queda determinado por:

- La Categoría que le corresponde (Autopista - Autorruta - Primario - Colector - Local - Desarrollo)
- La Velocidad de Proyecto (V_p), que posee o que le ha sido asignada
- La Sección Transversal definida, según la Categoría y Velocidad de Proyecto.
- Que posea o esté previsto un pavimento o sólo capa de grava o ripio.

Evidentemente, la selección de una de las alternativas consultadas al interior de cada una o de estas cuatro variables, dependerá en gran medida del tránsito inicial y proyectado al año horizonte, pero también de otras variables que se analizan más adelante.

La Sección Transversal es una variable dependiente de las dos primeras, pues a cada Categoría y Velocidad de Proyecto, al interior de una categoría, corresponde una Sección Transversal Tipo a nivel de Plataforma de la Rasante, cuyo ancho responde a un rango acotado y en algunos casos único.

La existencia o previsión de un pavimento en el diseño (doble tratamiento, capa asfáltica o pavimento de hormigón), es también una variable auxiliar que, en general, se corresponderá con la Categoría; así pues, las carreteras del tipo Autopistas, Autorrutas y Primarias, siempre contarán con pavimento; los caminos Colectores, normalmente lo tendrán o su construcción estará prevista. Los caminos Locales posiblemente no contarán con pavimento, en conformidad con la disponibilidad de recursos actual, pero la evolución de la motorización en el área rural y el crecimiento económico del país, hará que se tienda a pavimentar un porcentaje considerable de estas rutas, sin que por ello cambien su categoría de Locales. Los caminos de Desarrollo en general no se concebirán con pavimento y sólo si el impacto sobre la zona en que se emplazan llega a ser significativo, podrán evolucionar hacia Caminos Locales o Colectores.

2.101.202 (1) Velocidad de Proyecto (V_p). Según se establece en el Numeral 3.102.401 del MC-V3, "es la velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad, elementos mínimos que sólo podrán ser empleados en la medida que estén precedidos por otros (en ambos sentidos del tránsito), que anticipen al usuario que se está entrando a un tramo de características mínimas, el que además deberá estar debidamente señalizado". Este concepto reemplaza a la denominada Velocidad de Diseño, utilizada anteriormente por cuanto en la actualidad el diseño para aquellos tramos que presenten trazado más amplios que los mínimos asociados a la V_p , se diseñarán considerando también otros criterios según se expone en 3.102.402 y en 3.102.404 del citado MC-V3.

Los parámetros de diseño en planta y alzado asociados a la Vp se resumen en la Tabla 3.201.5.A del MC-V3.

2.101.202 (2) Sección Transversal. La Sección Transversal se analiza en detalle en el Capítulo 3.300. Las Láminas 3.301.1.A y B ilustran gráficamente el significado de los términos empleados para denominar los elementos que la constituyen. La Tabla 3.301.1.A resume los anchos de los diversos elementos de la Sección Transversal (pistas, bermas, SAP, mediana). En el Capítulo 3.200, a continuación de la Tabla 3.201.5.A, Parámetros de Diseño Mínimos en Planta y Alzado, se incluyen también las Tablas 3.201.5.B y C que resumen las características geométricas de la Sección Transversal, facilitando así la consulta de los diversos límites normativos en planta, alzado y sección transversal.

2.101.203 Clasificación General de los Proyectos Viales. La metodología de estudio a emplear depende del objetivo del proyecto, distinguiéndose en el caso de las obras viales, tres grandes áreas:

- **PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS**
- **PROYECTOS DE RECUPERACION DE ESTANDAR⁽¹⁾**
- **PROYECTOS DE CAMBIO DE ESTANDAR⁽¹⁾**

2.101.203 (1) Proyectos de Nuevos Trazados. Son aquellos que permiten incorporar a la red una obra de infraestructura vial adicional. El caso más claro corresponde a las carreteras o caminos cuyo emplazamiento está previsto donde no existe obra vial alguna. Deben también incluirse en esta categoría, los trazados que se independizan de todo camino estándar que pudiera existir en la zona de emplazamiento seleccionada. Le son aplicables también las metodologías correspondientes a nuevos trazados a las variantes que en un tramo de camino existente se independizan del trazado original (no están condicionadas por él, salvo en su inicio y término), con el objeto de lograr un mejoramiento sustantivo de la geometría o un acortamiento del desarrollo. El caso límite de estas situaciones lo constituyen los estudios de intersecciones importantes o enlaces, donde antes existía un simple cruce de caminos, en tanto el proyecto consulta la remodelación total del área. En este caso la metodología de estudio a aplicar coincide más bien con la de los trazados nuevos que con la de recuperación o cambio de estándar de trazados existentes.

En el caso de obras singulares como Puentes y Túneles, más que nuevo trazado se tratará de un nuevo emplazamiento, tal es el caso de obras de este tipo generadas por la construcción de una segunda calzada, que como tal corresponde a un Cambio de Estándar de una ruta existente, pero para todos los efectos estas obras singulares requerirán del empleo de los procedimientos de estudio definidos para obras nuevas.

2.101.203 (2) Proyectos de Recuperación de Estándar. No debe confundirse con las conservaciones rutinarias y periódicas de una obra vial que se tratan en el Volumen N°7 "Mantenimiento Vial". Agrupa proyectos tales como: recapado de la capa de rodadura, repavimentaciones, reparación de fallas mayores de la infraestructura, reconstrucción o complementación de las obras de drenaje, etc.

Los proyectos de recuperación de estándar pueden incluir rectificaciones locales de la geometría, pero ellas están destinadas a eliminar puntos conflictivos del trazado que presentan alta accidentabilidad o que están bajo el estándar general de la ruta; consecuentemente dichas rectificaciones no modifican el estándar general de la ruta.

Los proyectos de adecuación y complementación de la señalización y elementos de seguridad, iluminación y otros, se considerarán como una recuperación de estándar.

2.101.203 (3) Proyectos de Cambio de Estándar. Agrupa proyectos tales como: mejoramiento de la planta y/o alzado en longitudes importantes de una vía existente, que pueden efectuarse mediante leves rectificaciones del eje de la vía o introduciendo variantes menores en el entorno de ella; adecuación general de la geometría y el drenaje de un camino para proceder a su pavimentación; ensanche de dos a cuatro pistas con calzada única; segundas calzadas con plataforma única (ver Lámina 3.301.1.A, MC-V3), etc. En el caso de segundas calzadas con plataforma única, el trazado está íntimamente controlado por la

⁽¹⁾ En algunos casos el texto hará referencia al concepto genérico "proyectos en trazados existentes" para referirse conjuntamente a los Proyectos de Recuperación de Estándar y a los de Cambio de Estándar.

planta y el alzado de la calzada existente y, por lo tanto, la metodología de estudio enfrenta condicionantes que no existen en un trazado nuevo. Por el contrario, los estudios de segundas calzadas con plataformas independientes deben abordarse, para todos los efectos prácticos, como trazados nuevos.

2.101.203 (4) Situaciones Mixtas. Aunque un proyecto corresponda básicamente a una Recuperación de Obras Existentes, pueden existir tramos en que el Estudio Preliminar aconseje tratar estos tramos como un Cambio de Estándar, o en los Cambios de Estándar considerar una o más variantes que deberán estudiarse como un trazado nuevo. En consecuencia, el empleo de más de un procedimiento de estudio en un mismo proyecto no modifica la clasificación del proyecto.

Si se ha hecho un Estudio Preliminar previo al estudio de recuperación o cambio de estándar, estas situaciones estarán claramente delimitadas, y si ese no fuere el caso, es conveniente que los TR del estudio consulten partidas a precio unitario, ajustables a las necesidades reales que se definan durante las Etapas de Informe Preliminar y Diagnóstico del mismo contrato.

2.101.203 (5) Nomenclatura Empleada por el Sistema Nacional de Inversiones. El Sistema Nacional de Inversiones dice relación con el control de las inversiones financiadas por el presupuesto de la nación, posee una nomenclatura propia que se emplea para un gran número de proyecto de distinta naturaleza; la equivalencia entre dicha nomenclatura y la Clasificación General de los Proyectos Viales, consultada en el Manual de Carreteras, se ilustra en la Tabla 2.101.203(5).A.

TABLA 2.101.203(5).A

EQUIVALENCIAS PARA LA CLASIFICACION DE PROYECTOS

Descripción del Proyecto	Nomenclatura Sistema Nacional de Inversiones	Clasificación General de los Proyectos Viales
Proyecto de camino nuevo, en todas sus categorías, desde caminos de desarrollo hasta autopistas	CONSTRUCCION	Nuevos Trazados
Proyecto de camino destinado principalmente a recuperar su pavimento o a recuperar estructuras como puentes y otras. En muchos casos obliga a rectificaciones de trazado y plataforma, producto de la necesidad de lograr una velocidad de proyecto homogénea.	REPOSICION	Recuperación de Estándar
Proyecto de camino que contempla su pavimentación, incluyendo rehabilitación de saneamiento, reemplazo de puentes, intersecciones, señalización y seguridad vial, etc.	MEJORAMIENTO	Cambio de Estándar
Proyecto destinado a construir principalmente segundas calzadas o ampliación del número de pistas de calzadas existentes.	AMPLIACION	Cambio de Estándar

2.101.204 Clasificación de los Proyectos según su Impacto Económico. La Sección 1.102 del Tomo II del MC-V1 “Evaluación de Proyectos Viales Interurbanos”, clasifica los proyectos para efectos de modelación y evaluación en función de los impactos relativos a:

- **Impactos sobre el Sistema de Actividades, sobre la Generación/Atracción de viajes y/o sobre la Distribución de Viajes.**
- **Impactos sobre la Partición Modal.**
- **Impacto sobre la Asignación de Flujos a la Red Vial.**

La combinación de estos diversos impactos da origen a cinco clases de proyectos (I a V) desde el punto de vista de la modelación y evaluación de proyectos. (Ver 1.102.3). Esta clasificación de impactos es la herramienta que permite analizar la justificación social de las obras viales, cualquiera sea el tipo de obra según la Clasificación General de los Proyectos Viales y, por lo tanto, ellas se complementan en la tarea de concebir, seleccionar, evaluar y diseñar las Obras Viales. Esta complementación se sigue dando como se verá al tratar los Niveles de Estudio en el Tópico 2.101.4

2.101.205 Consideraciones Ambientales según Tipo de Proyecto. Teniendo en cuenta el Capítulo 9.300 “Marco General para Estudios Ambientales en Proyectos Viales”, las consideraciones ambientales por tipo de proyecto son las siguientes:

9.400 “Consideraciones Ambientales Adicionales en Estudios de Proyectos de Nuevo Trazado”

9.500 “Consideraciones Ambientales Adicionales en Estudios de Proyectos de Cambio de Estándar”

9.600 “Consideraciones Ambientales Adicionales en Estudios de Proyectos de Recuperación de Estándar”

2.101.3 CARACTERISTICAS DE LAS CARRETERAS Y CAMINOS SEGUN SU CLASIFICACION FUNCIONAL

2.101.301 Resumen de las Características Funcionales. En la Tabla 2.101.3.A que se presenta a continuación, se resumen los principales factores que definen las características funcionales de una Carretera o Camino. Su contenido está íntimamente relacionado con lo expuesto en 2.101.103 “Clasificación Funcional para Diseño”, 2.101.2 “Definiciones Básicas y Clasificación de Proyectos” y en la Sección 3.102 “Criterios para Definir las Características de una Carretera o Camino”, del MC-V3.

Los valores que figuran en la Tabla 2.101.3.A, en cuanto a Velocidad de Operación y Volúmenes Típicos de Tránsito al año Inicial, se deben considerar sólo a título indicativo, pudiendo emplearse como una primera aproximación en el Nivel de Estudio Preliminar y su respectiva evaluación a nivel de Prefactibilidad. Para los estudios de Factibilidad dichos valores deberán determinar mediante las metodologías expuestas en el Tomo II del MC-V1.

2.101.302 Clasificación Funcional y Estándar. Como consecuencia de lo expuesto anteriormente, el “Estándar” de una carretera o camino queda definido cualitativamente por la Categoría, presentando una subdivisión, generalmente a nivel de los Caminos Colectores (para nuestra realidad actual), derivada del hecho de que posean o no una estructura pavimentada. Cuantitativamente el estándar de una obra se precisa entonces mediante la Velocidad de Proyecto (V_p), de la que se derivan los valores mínimos correspondientes a los elementos geométricos de planta y alzado. Finalmente de estas dos variables principales Categoría y V_p , se deriva la Sección Transversal que le corresponde a la ruta, considerando nuevamente una subdivisión a nivel de Primarios y Colectores, representada por el nivel de Demanda, en sus expresiones de Tránsito Medio Diario Anual, Composición, Variación Estacional y Volúmenes en Hora Punta de diseño, que determina si la ruta poseerá calzadas unidireccionales o una sola bidireccional.

2.101.303 Caminos Fuera de Estándar. Aquellas rutas existentes que no posee características homogéneas de diseño, aún cuando se desarrollen por un solo tipo de terreno (Llano, Ondulado, Montañoso), no coincidirán con ninguno de los estándares definidos y cuando más podrán ser clasificadas atendiendo a:

- El TMDA que presentan
- La Función que prestan (Colector, Local, Desarrollo)
- La Sección Transversal media a lo largo del trazado, con indicación de los anchos mínimos y el porcentaje de la longitud que representan.
- La velocidad de proyecto que permiten los elementos más restrictivos de la planta y el alzado, con indicación del porcentaje que representan respecto de la longitud total.

Si el camino presenta tramos de características muy distintas o si la topografía en que éstos se emplazan pasa de Llano a Ondulado o Montañoso, el análisis se ejecutará por tramos.

Con estos antecedentes se les podrá asignar un “Estándar Referencial” el que deberá acompañarse de una descripción que consigne los principales aspectos que se apartan del Estándar al que se han asimilado.

2.101.304 Proyectos en Areas Rurales y Urbanas. Los conceptos expuestos precedentemente fueron desarrollados para Carreteras y Caminos en área rural, no obstante ello, son válidos también para Autopistas, Autorrutas, Primarios y Colectoras emplazados en área urbana, con las modificaciones que eventualmente pueda incorporar la Dirección de Vialidad, mediante Términos de Referencia Específicos.

2.101.4 CICLO DE VIDA, Y NIVELES DE ESTUDIO DE UN PROYECTO

En el proceso de transformación de las ideas de inversión es posible identificar el ciclo de vida de un proyecto vial, el que corresponde a tres estados sucesivos o Fases.

El Ciclo de Vida de un Proyecto, desde el punto de vista de la Dirección de Vialidad lo conforman las Fases de Estudio, de Ejecución, y de Mantenimiento, Operación y Explotación.

Fase de Estudio: En esta Fase se consideran los siguientes niveles, acorde a los objetivos y tipos de estudio que la caracterizan: Idea, Perfil, Estudio Preliminar, Anteproyecto y Estudio Definitivo.

Fase de Ejecución: Corresponde a la Construcción del Proyecto, el que se puede tratar de un Nuevo Trazado, una Recuperación de Estándar o un Cambio de Estándar.

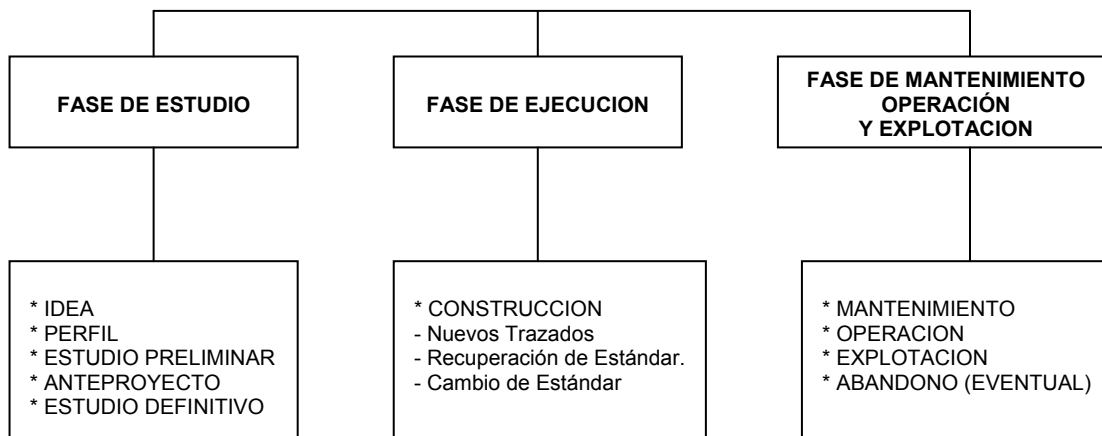
Fase de Mantenimiento, Operación y Explotación: Incluye las labores necesarias de Mantenimiento para que el Proyecto conserve sus características estructurales y funcionales; como también su operación, explotación y eventual abandono, producto en general de cambios de trazado.

El presente Volumen se refiere fundamentalmente a la Fase de Estudio, siendo principalmente el MC-V5, Especificaciones Técnicas Generales de Construcción, el correspondiente a la Fase de Ejecución

(Construcción) y el MC-V7, Mantenimiento Vial, el correspondiente a la Fase Mantenimiento, Operación y Explotación.

Las Fases del Ciclo de Vida de un Proyecto Vial, y los correspondientes niveles o grados de profundidad creciente de los Estudios de Ingeniería considerados en el Manual de Carreteras se indican en la Figura 2.101.4.A. El nivel Estudio Definitivo, está, además del presente Volumen, íntimamente relacionado con el MC-V3 "Instrucciones y Criterios de Diseño".

**Figura 2.101.4
 CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO VIAL**



Los estudios de Evaluación Social y de Evaluación Ambiental, se deben ejecutar simultáneamente con los estudios de ingeniería vial, acorde a los niveles indicados, realimentándose entre sí.

- | | | | |
|-----------------------|--|---|--|
| - Idea | - Idea Sustentable | } | - Información Ambiental |
| - Perfil | - Perfil Económico | | |
| - Estudio Preliminar | - Prefactibilidad | | - Estudio Preliminar Ambiental (DIA O EIA) (Diagnóstico Ambiental) |
| - Anteproyecto | - Factibilidad | | - Estudio Ambiental (DIA O EIA) (Impacto Ambiental) |
| - Estudio Definitivo- | Actualización Indicadores ⁽¹⁾ | | - (DIA O EIA) |

(1) Si corresponde según se establezca en los Términos de Referencia Específicos del Estudio (TRE)
DIA: Declaración de Impacto Ambiental; **EIA:** Estudio de Impacto Ambiental

A cada uno de estos niveles de estudio se asocian, con grados de profundidad también crecientes, las respectivas etapas de Ingeniería Básica:

- Aspectos Geodésicos y Topográficos
- Aspectos de Hidrología, Hidráulica y Transporte de Sedimentos
- Aspectos Geotécnicos
- Demanda y Características del Tránsito
- Aspectos Ambientales – Impacto y Mitigación

Los estudios correspondientes a Evaluación Social y Ambiental, se mencionarán en el desarrollo del texto de este Capítulo cada vez que corresponda, sin embargo, el detalle de las metodologías y procedimientos deberá consultarse en los Volúmenes, Capítulos y Secciones que conciernan, para lo que se harán las citas correspondientes.

A continuación se indica el alcance de los niveles de Idea y Perfil para los Proyectos Viales.

Idea: Corresponde al nivel más primario en el desarrollo de un proyecto. Su objetivo principal es la identificación formal de los problemas existentes en la infraestructura vial y establecer la importancia de ellos.

Es decir, la Idea corresponde a la identificación de una necesidad, plan o programa que pueda generarse a nivel Ministerial; en el Nivel Central de la Dirección de Vialidad; en los Niveles Regionales, Provinciales, Comunales o incluso a nivel de las Comunidades interesadas.

Del análisis hecho por la autoridad que corresponda se derivarán decisiones que pueden implicar:

- Reformular la Idea
- Abandonarla por el momento
- Profundizar, pasando al nivel de Perfil

Perfil: En este nivel se incorpora información adicional existente y se precisa aquella proveniente del nivel anterior, en base a la cual se plantea desde un punto de vista conceptual, las posibles soluciones a los problemas detectados y se realiza una evaluación económica preliminar de las distintas soluciones, con el fin de establecer un juicio inicial acerca de la eficacia y coherencia de estas soluciones. Ello permitirá adoptar una decisión respecto de la necesidad de profundizar en el análisis de las soluciones a los problemas detectados”.

La estimación de Inversiones de las alternativas consideradas en el nivel de Perfil, normalmente se hará mediante información estadística de tipo histórico (Costo por kilómetro de la obra básica para el tipo de terreno en que estas se emplazan; costo por kilómetro de la superestructura en función del TMDA y su composición; costo por metro lineal de Puentes y/o Pasos Desnivelados; costo global por unidad en el caso de Intersecciones Canalizadas, Enlaces, etc). La Modelación y Evaluación se abordará conforme lo establecido en el Tomo II del Volumen 1, para el Nivel de Perfil.

Al igual que en el caso anterior, el análisis a nivel de Perfil permitirá adoptar decisiones tales, como:

- Abandonar el proyecto.
- Postergar su paso al próximo nivel de estudio
- Aceptar el proyecto e incluirlo en un listado priorizado de estudios de mayor nivel
- Priorizar proyectos, pasando aquellos de mayor prioridad al nivel siguiente, normalmente un Estudio Preliminar con sus complementos de Prefactibilidad y Diagnóstico Ambiental.

El estudio de Perfil debe contener como una de sus conclusiones, los Términos de Referencia requeridos para abordar el próximo nivel de estudio, debiendo definir con claridad los objetivos que se persiguen con el proyecto y en forma aproximada el estándar sugerido. El estudio de alternativas de solución debe quedar abierto de modo que estas sean prospectadas, analizadas y seleccionadas en los niveles siguientes.

Los niveles siguientes se presentan en la Lámina 2.101.4.A, donde se indica una síntesis de los Niveles: Estudio Preliminar, Anteproyecto y Estudio Definitivo, aplicados a los distintos tipos de proyecto. Debe tenerse presente que tanto esta Lámina como las secciones siguientes son un resumen de los restantes capítulos de este Volumen; aquellos de Ingeniería Básica 2.300 a 2.700, el 2.800 relativo a “Procedimientos de Terreno y Gabinete para el Desarrollo de Estudios Viales” y el 2.900 “Planos, Informes y Documentos del Estudio”.

TABLA 2.101.3.A

CARACTERISTICAS TIPICAS DE LAS CARRETERAS Y CAMINOS SEGUN LA CLASIFICACION FUNCIONAL

CATEGORIA	CARRETERAS			CAMINOS		
	AUTOPISTAS	AUTORRUTAS	PRIMARIOS	COLECTORES	LOCAL	DESARROLLO
VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)	120 - 100 - 80	100 - 90 - 80	100 - 90 - 80	80 - 70 - 60	70 - 60 - 50 - 40	50 - 40 - 30
TIPO DE TERRENO	LL - O - M	LL - O - M	LL - O - M	LL - O - M	LL - O - M	LL - O - M
PISTAS DE TRANSITO	UNIDIRECCIONALES	UNIDIRECCIONALES	UNIDIRECCIONALES O BIDIRECCIONALES	BIDIRECCIONALES O (UNIDIRECCIONALES)	BIDIRECCIONALES	BIDIRECCIONALES
FUNCION	Servicio al Tránsito de paso	Prioridad absoluta	Consideración principal	Continuidad de tránsito y acceso	Continuidad de tránsito	Continuidad de tránsito
	Servicio a la propiedad adyacente	Control total de acceso	Control parcial de acceso	a la propiedad de similar importancia	consideración secundaria	consideración secundaria
CONEXIONES	Se conecta con	Autopistas, Autorrutas Primarios (Colectores)	Autopistas, Autorrutas Prim. y Colectores (Locales)	Todos	(Primarios) Colectores, Locales Desarrollo	Colectores Locales Desarrollo
	Tipo de conexión	Enlaces	Enlaces Accesos direccionales	Todos	(Intersección) Acceso Directo	Acceso Directo
CALIDAD SERVICIO	Nivel de Servicio (1)	A, B C	B C, (D)	C (2) (D)	No Aplicable	No Aplicable
	Años Iniciales Año Horizonte	Libre Estable	Libre Estable (Prox. inestab)	Estable con restricción (Próximo Inestable)	Restringido por movimientos hacia y desde la propiedad	Restringido por movimientos hacia y desde la propiedad
TRANSITO	Veloc. Operación (1) (3) Según demanda rango probable	115 - 95 km/h	95 - 85 km/h	80 - 70 km/h	70 - 60 km/h	50 - 25 km/h
	Volúmenes Típicos de tránsito al año inicial TMDA	UD > 10.000 confirmar fact. económica	UD > 8.000	BD > 300 UD: Caso especial	Tránsito y composición variable según tipo de actividad: Agrícola, Minera, Turística	Tránsito y composición variable según tipo de actividad: Agrícola, Minera, Turística
	Tipo de vehículo	Sólo vehic. diseñados para circular normalmente en carreteras	Vehículos motorizados y autorizaciones especiales	Todo tipo de vehículos	Vehículo liviano y camiones medianos	Vehículo liviano y camiones medianos

Letras o conceptos entre paréntesis indican situaciones límites en condiciones poco frecuentes.

(1) Considera Trazado Llano y Ondulado; Trazado Montañoso constituye caso particular (Vop=Velocidad Operación usuario medio ~ V 50%) (Definición LL - O - M Ver 3.103.201)

(2) Las Velocidades de Proyecto limitan la posibilidad de niveles mejores aún con baja demanda.

(3): EL RANGO DE VELOCIDADES DE OPERACION SE DAA TITULO INDICATIVO PARA FLUJOS LIBRE - ESTABLE.

LOS VALORES DEFINITIVOS DEBERAN ESTABLECERSE SEGUN LO SEÑALADO EN EL TOMO II DEL VOLUMEN N° 1.

BD : Tránsito Bidireccional, total ambos sentidos. UD : Tránsito Unidireccional, total ambos sentidos.



SECCION 2.102 ESTUDIO PRELIMINAR

2.102.1 ASPECTOS GENERALES

Desde el punto de vista administrativo el nivel de Estudio Preliminar debe constituir, en general, una etapa independiente de los niveles de estudio que le siguen, ya que las conclusiones del Estudio Preliminar serán la base de los Términos de Referencia Específicos (TRE) que emitirá la Dirección de Vialidad para ordenar la ejecución de los estudios posteriores. El alcance y características específicas del Estudio Preliminar se regirá por TRE preparados basándose en las conclusiones alcanzadas en el estudio a Nivel de Perfil.

En algunos casos, por la premura que puede requerir el desarrollo de los estudios de un proyecto, la Dirección de Vialidad optará por contratar el Estudio Preliminar conjuntamente con el resto de los niveles del estudio en un único contrato. En este caso el Estudio Preliminar pasa a constituir una etapa del estudio denominada "Informe Preliminar" la que, asociada a la etapa de "Diagnóstico" que le sigue cronológicamente, debería cumplir los objetivos del Estudio Preliminar. Como en estos casos no podrá estar claro el alcance que deberán tener las fases siguientes: Anteproyecto, Estudio de Variantes, Proyecto Definitivo, en cuanto a su longitud, cantidad y características de las estructuras mayores, etc., es conveniente que los Términos de Referencia del Contrato cuenten con partidas a precio unitario que permitan adecuar el contrato a las reales necesidades del proyecto.

En la actual versión del Capítulo 2.100, el nivel de Estudio Preliminar, o su alternativa de Informe Preliminar más Diagnóstico, se presenta en una sola Sección cubriendo los casos de proyectos de nuevos trazados y de proyectos de recuperación y de cambio de estandar ya que, como se dijo precedentemente, un proyecto sobre un trazado existente bien puede requerir aplicar las técnicas de nuevos trazados, si se decide incorporar variantes que se independizan del camino existente.

No obstante lo anterior, para fines de mayor claridad en el tratamiento, la exposición se hará en dos Tópicos separados 2.102.2 Nuevos Trazados y 2.102.3 Recuperación y Cambio de Estandar; pero reiterando que en el segundo de estos casos bien puede surgir la necesidad de aplicar la secuencia y metodología descritas en el primero.

2.102.2 ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS

Para realizar el Estudio Preliminar se deberá recopilar toda la información pertinente que esté disponible, complementando así y verificando aquéllas empleadas en el estudio a Nivel de Perfil. Se recurrirá a fuentes como las que se indican en la Sección 2.005, y se efectuarán los reconocimientos en terreno que fueren necesarios. Aún cuando el reconocimiento en terreno resulta indispensable, su amplitud y/o grado de detalle dependerá, en gran medida, del tipo de información topográfica y geomorfológica existente.

Los Estudios Preliminares deben dar respuesta, básicamente, a tres interrogantes fundamentales, ellas son:

2.102.201 Definición Preliminar de las Características y Parámetros de Diseño. El aspecto características o categoría de la vía por proyectar se presentó en forma resumida en el Tópico 2.101.3, y se trata en profundidad en el MC-V3, Capítulo 3.100 «Controles Básicos de Diseño». La respuesta que debe darse en este nivel de estudio se obtiene cuando, partiendo de la categoría sugerida en el Estudio a Nivel de Perfil, tras un proceso de análisis y elaboración de los antecedentes existentes y del reconocimiento del terreno, se clasifica el proyecto en alguna de las categorías que se señalan en la Tabla 2.101.3.A «Características Típicas de las Carreteras y Caminos según la Clasificación Funcional», asignándole, en primera aproximación, una velocidad de proyecto comprendida dentro del rango correspondiente a la categoría.

El segundo aspecto, parámetros de diseño, se deriva directamente del primero, y muy especialmente de la velocidad de proyecto seleccionada. Las Tablas 3.201.5 A, B y C del MC-V3 presentan una síntesis de los parámetros por considerar.

La metodología detallada para abordar esta etapa se define en los Tópicos 2.802.1 y 2.802.2.

2.102.202 Identificación de Rutas Posibles. Según sea la categoría asignada al proyecto y la geomorfología del área en que éste deba emplazarse, pueden existir una o varias rutas alternativas. Se entiende por ruta aquella faja de terreno de un ancho fluctuante entre 100 y 500 metros, sobre la cual se estima factible, a partir de los antecedentes de que se dispone, trazar una vía de las características deseadas. Es posible que en el estudio a Nivel de Perfil se hayan identificado algunas rutas alternativas, pero corresponde en esta etapa definir todas las que son factibles técnicamente, con un monto de inversión compatible con la categoría asignada al Proyecto.

La definición de las rutas posibles se hará en primera aproximación sobre cartas de pequeña escala (1:50.000 ó 1:25.000) para luego ejecutar según dicha(s) ruta(s) una restitución aerofotogramétrica apoyada en terreno, basada en fotografía aérea existente de cobertura nacional o regional (1:20.000 ... 1:60.000).

En caso de existir cobertura en escala 1:20.000 ó 1:30.000, la restitución se hará a escala 1:5.000. Para fotografía de escala menor la restitución se deberá hacer en escala 1:10.000. Las restituciones aludidas, denominadas de "Escala Intermedia", deberán contar con apoyo terrestre que podrá ser ejecutado con instrumental GPS. En general el ancho de la faja a restituir será del orden de 1000 m ya que además de permitir un estudio de alternativas mas completo, permite una mejor definición del drenaje de aquellas cuencas menores adyacentes al trazado, las que no siempre se pueden definir correctamente con la cartografía 1:50.000 que se utiliza comúnmente para las cuencas mayores. Las especificaciones técnicas para estas restituciones se dan en el Capítulo 2.300, Numeral 2.313.305 "Levantamientos Fotogramétricos a Escalas Intermedias".

La metodología detallada para esta etapa se presenta en el Tópico 2.802.3, Numerales 2.802.301 y 302.

2.102.203 Anteproyectos Preliminares sobre Planos a Escala Intermedia. Sobre las restituciones aerofotogramétricas de la(s) ruta(s) se procederá a desarrollar los Anteproyectos Preliminares de las alternativas detectadas, según se indica en el Tópico 2.802.3, Numeral 2.802.303.

Paralelamente se desarrollará la recopilación y análisis preliminar de los antecedentes socioeconómicos (Tránsito, Sistema de Actividades, Modos de Transporte Alternativos, etc.), que permitirán según lo expuesto en 2.102.204 desarrollar el estudio de Prefactibilidad. Las metodologías a considerar son las que se resumen en el Capítulo 2.600 "Demanda y Características del Tránsito" y cuyos alcances se definen en el Tópico 1.202.2 "Etapa de Prefactibilidad" del Tomo II del MC-V1, cuyas fases comprenden los Estudios de Base, Modelación y Evaluación.

De similar manera, durante el desarrollo de los Anteproyectos Preliminares se procederá al análisis relativo a los aspectos ambientales que pueden verse afectados o modificados por las alternativas; de acuerdo a lo establecido en la Sección 9.403 Consideraciones Ambientales en el Nivel de Estudio Preliminar del MC-V9 "Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales".

Se estima cumplida esta etapa cuando se ha logrado identificar y valorizar, en primera aproximación, todas aquellas rutas que presentan condiciones similares, no siendo posible optar por ninguna de ellas con los antecedentes disponibles. Toda ruta cuyas características sean claramente inferiores en su conjunto, o cuyo nivel de inversión supere ampliamente el nivel global previsto por la Dirección de Vialidad a nivel de Perfil, debe quedar descartada en este nivel de estudio.

Si bien las actividades descritas en los Numerales 2.102.202 al 204 se analizan por separado, el grado de dependencia entre ellas es tal, que es posible que en el proceso simultáneo de análisis, sea necesario afinar los criterios adoptados en 2.102.202 a la luz de las realidades que se presentan en 2.102.203 y 204, ya sea para modificar la velocidad de proyecto elegida o incluso, en casos extremos, revisar si la categoría asignada al proyecto puede ser modificada.

2.102.204 Selección de Rutas que Pasan a Nivel de Anteproyecto. Con los resultados del estudio de alternativas de trazado y sus costos, más los estudios de base del área socioeconómica y el diagnóstico ambiental, se procederá a seleccionar, mediante un estudio de Prefactibilidad, aquella(s) alternativa(s) que debe pasar al Nivel de estudio siguiente, sea éste el de Anteproyecto o de Proyecto Definitivo.

Las metodologías correspondientes al desarrollo del estudio de Prefactibilidad integrará los Estudios de Base, Modelación y Evaluación según se identifican en el Tópico 1.202.2 del Tomo II del MC-V1.

2.102.205 Elección de la Metodología por Utilizar en los Sigüientes Niveles de Estudio. Según sea la categoría asignada al proyecto, el número de alternativas que pasan al nivel siguiente, la geomorfología del área y los levantamientos topográficos que pudieran existir, corresponde en el estudio preliminar planificar la metodología para el estudio del o los trazados que se usará en los niveles siguientes. Las conclusiones que aquí se alcancen deben servir de base para preparar los respectivos Términos de Referencia.

En el extremo derecho de la Lámina 2.101.4.A se presenta una definición sintética de los métodos alternativos considerados para los niveles de Anteproyecto y Estudio Definitivo, que son los que se deben analizar en esta etapa.

De similar modo, con los procedimientos propios de cada especialidad, se deben proponer los estudios de Ingeniería Básica que se consultarán en los Términos de Referencia del próximo Nivel de Estudio

2.102.3 ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE RECUPERACION Y CAMBIO DE ESTANDAR

En igual forma que lo señalado en 2.102.2 el nivel de Estudios Preliminares para proyectos en trazados existentes también debería constituir, desde el punto de vista administrativo, un contrato independiente de los niveles de estudio que le siguen, pudiendo existir la alternativa que se integre en un solo contrato, siempre que se consulten los alcances hechos en dicho Tópico. En lo que sigue se presenta una síntesis de este Nivel de Estudio Preliminar; la metodología detallada se presenta en la Sección 2.803.

2.102.4 ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE RECUPERACION DE ESTANDAR

Los Estudios Preliminares, para esta categoría de proyectos, deberán abordarse con criterios algo diferentes según sea el tipo de problemas que presenta la obra.

Existen básicamente tres clases de recuperación, que pueden requerirse en forma simultánea o independiente, ellas son: recuperación de la calzada; recuperación y/o complementación del sistema de saneamiento, drenaje y estructuras tales como Puentes y Pasos a Desnivel, y, finalmente, recuperación de sectores dañados por

El primero de los casos nombrados puede referirse a un recarpeteo de un pavimento asfáltico y una recuperación mayor de las bermas, a un refuerzo estructural del pavimento, o bien, a la repavimentación total o reemplazo de un pavimento que ha alcanzado el término de su vida de diseño. Estas obras normalmente se realizan a todo lo largo de la carretera o, al menos, en todo un tramo continuo de ella. Cuanto más radical sea la recuperación de la calzada, más posibilidades existen de tener que abordar, simultáneamente, los aspectos de saneamiento, drenaje y fallas de la obra básica.

Con el grado de desarrollo que está alcanzado la red vial del país, en ciertos casos la Recuperación de un Camino Existente, construido hace 15, 20 o más años, puede hacer aconsejable introducir mejoramientos en la geometría de la obra, mejorar las intersecciones, etc.. En estos casos el Estudio Preliminar deberá abordar un diagnóstico geométrico que puede requerir de una Restitución Aerofotogramétrica similar a la descrita para trazados nuevos, la que permitirá tener una visión de conjunto de la obra y sus interconexiones con otras vías. Si el grado de mejoramiento previsto para la geometría es significativo, dicha restitución deberá ser complementada con un Relevamiento mediante técnicas GPS, que permite determinar con mayor precisión y representar con mayor claridad la planta y el alzado del camino. En el Capítulo 2.300, Numeral 2.313.404 se especifica este tipo de Relevamientos.

En todos los casos enumerados el estudio debe considerar los siguientes aspectos:

2.102.401 Diagnóstico del Problema. La etapa de diagnóstico debe precisar, mediante un proceso de inspección, el tipo de fallas que la carretera presenta y, en una primera aproximación, establecer las causas que las motivaron, en especial si ellas han ocurrido antes de alcanzar la vida de diseño. De igual modo se deberá analizar la conveniencia de mantener o ampliar los anchos de calzada y bermas, la regularización de la faja fiscal para dar cabida a los mejoramientos, complementación del sistema de drenaje, etc.

Todo lo anterior debe analizarse a la luz de los antecedentes de tránsito disponibles y de la proyección de la demanda, considerando el efecto que el grado de mejoramiento de la ruta pueda llegar a inducir, aunque, por lo general, las obras de Recuperación de Estándar no modifican tan sustancialmente la calidad del servicio ofrecido, como para llegar a influir sobre otros arcos de la red o sobre el sistema de actividades, debiendo sin embargo el Especialista en Transporte, analizar estas posibilidades. De similar modo, rara vez las Recuperaciones generan impactos significativos sobre el medio ambiente, salvo que se trate de fallas mayores de la obra básica, situación en que los TRE deben especificar los estudios correspondientes.

Si la recuperación está orientada básicamente hacia problemas de saneamiento y drenaje, que están provocando fallas en la calzada y/o en la obra básica, el diagnóstico debe establecer, en primer término, si lo que se requiere es recuperar el sistema existente deteriorado por una inadecuada conservación, o bien resulta necesario ampliarlo o complementarlo por haber resultado insuficiente. Respecto de las obras mayores tales como Puentes o Pasos Desnivelados, se deberá inspeccionar el estado de sus elementos constituyentes y emitir el respectivo diagnóstico, proponiendo los estudios de Ingeniería Básica que se deben incorporar en los Niveles de estudio siguientes.

En los casos de fallas en la obra básica, será necesario establecer claramente la magnitud y grado de compromiso para la estabilidad general de la obra en la zona fallada. En estos casos es particularmente importante intentar establecer la correlación causa efecto a fin de orientar desde un principio los estudios en la dirección adecuada. Si la falla es de tal magnitud que compromete un área considerable, se deberá desarrollar el diagnóstico Ambiental correspondiente que ayude a definir el tipo de solución propuesta.

2.102.402 Definición Preliminar de Alternativas de Solución. Conocido el grado de deterioro y las causas principales de falla, será necesario examinar si las hipótesis de diseño adoptadas en el proyecto original siguen siendo válidas, o existen nuevos antecedentes que obliguen a modificar los criterios de diseño. En especial, en el caso de las repavimentaciones, la evolución del tránsito y sus características para el nuevo período de diseño, serán, casi con certeza, diferentes de las que se puedan haber adoptado originalmente. Algo similar puede suceder respecto de la base de datos hidrológicos, ya que, transcurrido un período de 15 ó 20 años, se contará con estadísticas más completas que pueden aconsejar una verificación de las obras de drenaje en cauces naturales.

En posesión de la información antes mencionada, se procederá a identificar las alternativas de solución concebibles, tales como: Recarpeteo versus Repavimentación, Doble Tratamiento Superficial versus Capa Asfáltica, etc., descartando las que claramente no resulten viables ya sea por costos, por consideraciones técnicas o bien por experiencias negativas, seriamente analizadas, en relación a problemas similares abordados con anterioridad. Simultáneamente se discutirán y propondrán los posibles mejoramientos a la Sección Transversal Tipo según lo señalado en "Diagnóstico del Problema".

En la generalidad de los casos, la Evaluación Económica tentativa hecha en el Nivel de Perfil, hará innecesaria una Evaluación a Nivel de Prefactibilidad, a no ser que los TRE del Estudio Preliminar la hayan incorporado.

2.102.403 Elección de la Metodología por Utilizar en los Sigüientes Niveles de Estudio. Corresponde en esta etapa establecer el tipo y la secuencia de los estudios por realizar para alcanzar la solución del problema planteado. A diferencia de lo expuesto para trazados nuevos, en proyectos de recuperación no siempre resulta tan clara la separación en niveles de anteproyecto y estudio definitivo, ya que no existe, por lo general, el problema de estudiar alternativas de trazado, en tanto que el proceso de replanteo, que caracteriza el estudio definitivo de los nuevos trazados, no suele tener aquí la relevancia que se da en dicho caso.

Una separación en niveles de estudio de Ingeniería Básica y Diseño, suele representar mejor la situación asociada a los proyectos de Recuperación. La Ingeniería Básica incluirá, por lo general: estudios topográficos (levantamientos de detalle, nivelaciones de precisión, etc.); prospecciones geotécnicas (muestreo de suelos, sondajes, perfiles geosísmicos, estudios de napas subterráneas, etc.); estudios de tránsito (volúmenes, clasificación, pesos por eje, etc.).

En todo caso en la etapa de Diseño se deberán analizar y comparar alternativas de solución valorizadas, tal como se dijo en el segundo aparte del Numeral 2.102.402.

Si, por el contrario, a la recuperación se agregan mejoramientos de la geometría, dichos tramos se deberán abordar según se señala para los Cambios de Estándar, y en el caso extremo de variantes importantes, según se señala para abordar Nuevos Trazados.

Los Diseños o Estudios Definitivos representarán el trabajo de gabinete, efectuado a partir de la información recopilada en los estudios preliminares e ingeniería básica, y permitirán elaborar los planos, especificaciones, cubicaciones y documentos que posibiliten la construcción del Proyecto de Recuperación. Por lo general, el estacado que pueda requerirse se ejecuta durante la construcción.

2.102.5 ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE CAMBIOS DE ESTANDAR.

Los Proyectos que implican un cambio de estándar pueden clasificarse, básicamente, en tres grupos: rectificación de la geometría de un camino existente a fin de asegurar un diseño homogéneo a lo largo de su desarrollo, o bien, elevar el estándar de diseño a una categoría superior; ensanche de la calzada existente o adición de una segunda calzada en plataforma única con o sin rectificaciones del eje original y, finalmente pavimentación de un camino existente normalmente con rectificaciones de la geometría original.

Los Estudios Preliminares asociados a estos tipos de Proyectos, pueden abordarse bajo un esquema similar al descrito en 2.102.4. Sin embargo, el enfoque estará centrado, en la mayoría de los casos, sobre problemas de geometría y trazado, pudiendo derivar en consecuencia, en mayor o menor grado, a lo expuesto en 2.102.201 al 2.102.205 del Tópico 2.102.2 (Estudio Preliminar en Trazados Nuevos). La metodología detallada se presenta en los Numerales 2.803.304, 305 y 306 del Capítulo 2.800).

2.102.501 Diagnóstico del Problema. En los casos mencionados anteriormente, el diagnóstico debe proveer información precisa en cuanto a las características de la vía existente y en cuanto a la calidad y seguridad de servicio que el usuario aislado, o el conjunto de usuarios, enfrenta al hacer uso de ella.

Los problemas que afectan al usuario como individuo se refieren, normalmente, a la ausencia de capa pavimentada o bien a elementos singulares del trazado que están por debajo del estándar general del camino. Los problemas que afectan al conjunto de usuarios se refieren, normalmente, a situaciones de congestión, que pueden estar

motivadas por características del trazado en un sector de la carretera, o bien, por que el número de pistas bidireccionales o unidireccionales disponibles resulta insuficiente para el nivel alcanzado por la demanda.

La información relativa a las características de la vía deberá obtenerse a partir del análisis de los planos y documentos del proyecto original, cuando éstos existen, complementados o, en su ausencia, reemplazados por un Relevamiento ejecutado mediante GPS (Ver Capítulo 2.300, Numeral 2.313.404). Para el estudio de variantes a nivel preliminar se ejecutarán Restituciones Aerofotogramétricas con apoyo terrestre mediante GPS, tales como las descritas para Trazados Nuevos.

Los antecedentes relativos a demanda y características del tránsito deberán elaborarse a partir de la información existente, complementados o, en su ausencia, determinados mediante un programa de controles de orientación, que debieran ser ampliados en Niveles posteriores de estudio.

En definitiva, la etapa de diagnóstico debe establecer, con un grado de precisión razonable, las relaciones causa efecto que motivan el desarrollo del proyecto.

2.102.502 Definición Preliminar de Alternativas de Solución. Las modificaciones de geometría sin variación del número de pistas de la calzada, implican alternativas que van desde leves rectificaciones del eje existente, hasta variantes de menor o mayor desarrollo.

Con el relevamiento y la restitución aerofotogramétrica mencionados precedentemente se deberá determinar en esta etapa el grado de mejoramiento factible de lograr y la(s) alternativas de trazado más adecuadas para los diferentes sectores del camino, a fin de planificar las siguientes etapas del estudio.

En los casos de ensanche de la calzada, el estudio preliminar deberá establecer las dimensiones recomendables o el número de pistas adicionales o auxiliares que pueden requerirse por sectores, y aun analizar si es más conveniente la alternativa de una segunda calzada, siempre que la proyección de la demanda justifique dicha hipótesis.

Si la definición a Nivel del Estudio de Perfil consulta una segunda calzada sobre plataforma única, en esta etapa deberá establecerse si, por condiciones topográficas y de costos en general, resulta más adecuada una segunda calzada con plataforma independiente. Si ello así fuere, el estudio preliminar y los niveles posteriores deberán continuarse bajo el enfoque correspondiente a un trazado nuevo.

Las materias por considerar en un cambio de estándar derivado de la pavimentación de un camino existente, sin cambios importantes de la geometría, dicen relación con el grado de seguridad que presenta el sistema de drenaje, incluyendo aspectos tales como elevación de la rasante respecto del terreno circundante y con las alternativas respecto de las estructuras de pavimento por considerar en función del tránsito y sus características; calidad de los suelos del área; clima de la zona; materiales disponibles, etc.

En los casos en que la pavimentación implica rectificaciones de la geometría, a los aspectos recién mencionados se agregan aquellos tratados para el caso de rectificación de la geometría y variantes.

Los Cambios de Estándar requerirán de un estudio económico a nivel de Prefactibilidad, si los Términos de Referencia derivados del Estudio a Nivel de Perfil así lo establecen (véase Tópico 1.202.2 del Tomo II, MC-V1), mediante el cual se definirá, desde el punto de vista de la Evaluación Social, el grado de mejoramiento que se asignará al Proyecto.

El Diagnóstico sobre materias ambientales, que en los cambios de estándar adquiere mayor relevancia que en las recuperaciones, debe definir los estudios específicos que se deben realizar en el próximo Nivel de Estudio, consecuentemente el catastro de áreas sensibles debe ser exhaustivo.

2.102.503 Elección de la Metodología por Utilizar en los Sigüientes Niveles de Estudio. Los proyectos de cambio de estándar se adaptan, en general, al esquema clásico de anteproyecto y proyecto definitivo. Las particularidades del anteproyecto dependerán, en cierto grado, del tipo de estudio definitivo que se decida adoptar: estacado total o estacado parcial. La adecuada planificación de la secuencia y alcance de los siguientes niveles de estudio es fundamental para alcanzar la mejor solución al problema, ya que, por lo general, al estar ligados a una obra existente que limita la flexibilidad en las soluciones, suelen resultar bastante complejos.

Especial importancia deberá darse al programa de estudios de tránsito, accidentes y su probable evolución en el tiempo, ya que son, justamente estos aspectos los que motivan, en mayor grado, los proyectos de cambio de estándar.

SECCION 2.103 NIVELES AVANZADOS DE ESTUDIO EN PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS

2.103.1 ANTEPROYECTO

El estudio a nivel de Anteproyecto permite establecer, con una buena aproximación, las características finales de las diversas alternativas de trazado, y provee la información necesaria para seleccionar la mejor de ellas mediante un estudio de Evaluación Social a Nivel de Factibilidad. El concepto tradicional de anteproyecto se asocia a la metodología que en la versión de 1983 se denominaba «Anteproyecto con Levantamiento Previo». La metodología «Anteproyecto sin Levantamiento Previo» que figuraba en la versión de 1983, ha sido eliminada, por cuanto la cobertura fotográfica existente permite en la actualidad la ejecución de restituciones 1:5.000 ó 1:10.000 que resultan adecuadas para el desarrollo de Anteproyectos Preliminares.

En el presente Tópico se presenta un resumen de las características de este Nivel de Estudio, cuya metodología detallada se presenta en al Sección 2.804 del Capítulo 2.800.

Las etapas que normalmente incluye un anteproyecto son:

2.103.101 Estudios de Ingeniería Básica. Dicen relación con los estudios topográficos o aerofotogramétricos necesarios en el caso que no existan levantamientos a escala adecuada, con los reconocimientos geotécnicos de las rutas para establecer zonas que, en lo posible, el trazado deberá evitar o, por el contrario, que resultan favorables; con los estudios avanzados de hidrología para determinar características de comportamiento de quebradas, esteros, ríos, etc., con los estudios de base avanzados en cuanto a: tránsito, proyecciones, distribución y características de los vehículos, volúmenes horarios de diseño, etc., que se prevé harán uso de las diversas alternativas, así como el impacto sobre el resto de la red, con los estudios específicos de Impacto Ambiental requeridos según el catastro efectuado en el Estudio Preliminar.

Los estudios de Ingeniería Básica se inician normalmente por la topografía y los reconocimientos geotécnicos, siendo necesario volver posteriormente a terreno, tantas veces como se requiera, para profundizar diversos aspectos ligados a puntos específicos del trazado. Su alcance y procedimientos se detallan en los Capítulos 2.300 al 2.700 de este Volumen.

2.103.102 Verificación de los Parámetros de Diseño. En los Estudios Preliminares se establecieron las características y parámetros tentativos asociados al proyecto en función de los antecedentes disponibles. En esta etapa, contando con los antecedentes obtenidos a partir de la Ingeniería Básica desarrollada, podría ser necesario afinar las estimaciones preliminares de los parámetros asociados a cada alternativa. Ello será necesario si, al trazar un primer eje, se producen cambios significativos en las cantidades de obra asociadas a sectores conflictivos, que ponen en peligro la factibilidad económica de una alternativa interesante desde un punto de vista funcional.

En caso de ser necesario adoptar parámetros distintos para diversas alternativas, el proceso de selección de la mejor alternativa, mediante el Estudio de Factibilidad, deberá considerar esta situación en la determinación de los Beneficios cualitativos y cuantitativos asociados a una y otra.

2.103.103 Estudio del Trazado Óptimo en Cada Ruta. Contando con el primer eje tentativo de cada alternativa, se procede a optimizarlo sobre el plano de levantamiento de mayor resolución de que ahora se dispone, considerando todos los aspectos particulares que influyen sobre dicho trazado: tránsito y sus características; aspectos ambientales, geotécnicos y de drenaje; costos de construcción, conservación y seguridad de servicio.

Suele suceder que una alternativa de trazado pueda incluir algunas variantes menores, que no constituyen soluciones alternativas integrales, y cuya adopción o rechazo puede llegar a definirse sólo en la etapa de estudio de Factibilidad.

En oportunidades, aún cuando es poco frecuente, puede darse el caso que existan dos alternativas de trazado en una misma ruta.

El proceso de afinamiento de una alternativa termina con el diseño de los elementos del trazado, con el grado de detalle que se especifica en el Numeral 2.804.204.

Básicamente los documentos de un anteproyecto incluyen: plano de planta del trazado y disposición del conjunto de obras de drenaje elaborado sobre el levantamiento de la ruta considerada; sección(es) transversal(es) tipo adoptadas; perfil longitudinal de terreno según el eje (a partir del levantamiento) y rasante adoptada; planos tipo de las principales obras especiales; cuadros resumen y/o memoria del sistema de referencia adoptado, coordenadas de los vértices, elementos de planta y alzado, etc.; cubicación y presupuesto general de las obras, preparados en concordancia con el MC-V5, Especificaciones Técnicas Generales de Construcción; ello se detalla en el Numeral 2.804.206.

2.103.104 Selección de la Mejor Alternativa. La información elaborada en las etapas precedentes permite elegir la mejor de las alternativas analizadas mediante el Estudio de Factibilidad, cuyos alcances se especifican en el Tópico 1.202.3 del Tomo II del MC-V1.

El estudio de Factibilidad no es una etapa independiente del Anteproyecto de Trazados sino que, por el contrario, debe desarrollarse en paralelo con él, partiendo por los Estudios de Base que alimentan también al Proyectista, siguiendo por la Modelación que ejecuta el Analista, para terminar con la Evaluación propiamente tal, etapas todas en las que deberá existir interacción entre el Proyectista y el Analista.

No menos importante será la participación del (los) Especialista(s) Ambiental(es) en todo el proceso, debiendo aportar las indicaciones derivadas de los estudios de impacto considerados en los TRE del Anteproyecto y, si corresponde, desarrollando el Informe de Impacto Ambiental.

Las conclusiones del Anteproyecto deben contar no sólo con un resumen de indicadores económicos, sino que también con una descripción cualitativa de las alternativas analizadas, la que debe abordar los aspectos funcionales, sociales, ambientales, de conservación futura de la obra u otros específicos de este proyecto en particular, los que deberán ser ponderados por la Autoridad para adoptar una decisión final respecto de que alternativa se desarrollará a nivel de Estudio Definitivo.

2.103.2 ESTUDIO DEFINITIVO

El Estudio Definitivo con Estacado Total comprende una etapa de terreno en que se procede a replantear y afinar el anteproyecto seleccionado, para luego ejecutar la nivelación longitudinal del terreno por el eje replantado y levantar perfiles transversales a dicho eje, y una etapa de gabinete en que se elaboran los planos y diseños finales de todos los elementos con que debe contar el proyecto.

La evolución de las técnicas de levantamiento del terreno (Modelos Digitales) y las técnicas de diseño asistidas por computación, hacen cada día más válido el Estudio Definitivo con Estacado Parcial, método que presenta ventajas técnicas y/o económicas sobre el método con Estacado Total.

En esta metodología de Estudio Definitivo se consultan 4 fases o etapas:

- Primera Etapa de Terreno: Destinada a ejecutar un levantamiento a gran escala 1:1.000 ó 1:500 según el tipo de obra. Si dicho levantamiento ya se ejecutó en el Anteproyecto, esta fase no corresponde. En todo caso, se debe densificar el Sistema de Transporte de Coordenadas.
- Primera Etapa de Gabinete: Corresponde al desarrollo de un Anteproyecto Avanzado sobre el plano a gran escala.
- Segunda Etapa de Terreno: Corresponde al replanteo de aquellos tramos en que existen obras especiales, como puentes mayores o en que se desea verificar el emplazamiento del trazado en zonas conflictivas.
- Segunda Etapa de Gabinete: Se incorporan al Anteproyecto Avanzado los datos de los sectores replantados y se elabora el Informe Final del Proyecto Definitivo con todos sus documentos.

Las metodologías detalladas de ambos procedimientos se presentan en los Tópicos 2.805.2 y 2.805.3, respectivamente.

Cualquiera que sea el procedimiento adoptado, cuando se posea el eje estacado en terreno en el primer caso y después de la Primera Etapa de Gabinete en el segundo, se procederá a ejecutar los estudios de Ingeniería Básica definidos en el Anteproyecto, los que permitirán desarrollar los diseños finales de la obra básica, del drenaje y saneamiento, del pavimento y de las estructuras.

Básicamente los documentos de un Estudio Definitivo incluyen: planos de planta escala 1 : 1.000 para carreteras o caminos y 1 :500 para intersecciones, enlaces y obras similares; perfil longitudinal de terreno y rasante escala 1 : 1.000 horizontal y 1 : 100 en vertical o concordantes con la planta (1 :500 y 1: 50); secciones transversales típicas escala 1 : 100 ó 1 :50; perfiles transversales (1 : 100 ó 1:200), según el tipo de terreno y método de cubicación utilizado, planos de detalle de las obras de drenaje transversal, longitudinal y saneamiento de la plataforma, obras cuya disposición general se ilustra en la planta y el perfil longitudinal y de manera detallada en planos especiales de drenaje y saneamiento. La implantación de todas las obras proyectadas deberán estar consideradas en el estudio de la Faja Fiscal requerida, lo que quedará reflejado en los Planos y Documentos de Expropiación.

Si los TRE lo consultan se deberá desarrollar también el estudio que se deberá ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y se actualizarán los indicadores del Estudio de Factibilidad considerando la inversión definitiva asociada al Proyecto.

La memoria general del proyecto incluirá los procedimientos empleados y los resultados de los diversos

estudios de ingeniería básica, así como los diseños de estructuras, dimensionamiento de obras hidráulicas, estabilidad de la obra básica y diseño de los pavimentos, si fuera el caso. Incluirá también la cubicación detallada de las obras, las especificaciones técnicas especiales, estudio de precios unitarios que considere las particularidades de la obra, disponibilidad de materiales, métodos constructivos especiales que se hubieran especificado, plazos de ejecución, etc. Se prepararán además, de acuerdo a especificaciones, los planos y documentos que consignan las expropiaciones necesarias. Todo lo anterior permitirá elaborar el presupuesto de construcción del proyecto.

En un primer capítulo de la memoria se deberán resumir todos los estudios realizados, los criterios y parámetros de diseño considerados, la sectorización según características geomorfológicas y geotécnicas del terreno, las principales estructuras, intersecciones y/o enlaces, un resumen de las principales cantidades de obra y el costo de las obras, indicando el IPC de referencia. Este capítulo debe prepararse de modo que al ser presentado como una separata constituya un Resumen Ejecutivo del Estudio.

El Informe Final de un Estudio Definitivo, corresponderá a una versión consolidada de todas las etapas del estudio, incluyendo en él las versiones revisadas, corregidas y aprobadas de la Ingeniería Básica y de los Diseños.

SECCION 2.104 NIVELES AVANZADOS DE ESTUDIO EN PROYECTOS DE RECUPERACION DE ESTANDAR Y DE CAMBIO DE ESTANDAR

2.104.1 ASPECTOS GENERALES

Como ya se expuso en 2.102.4 y 2.102.5, en los proyectos de recuperación y cambio de estandar la secuencia de los estudios posteriores al estudio preliminar depende, en gran medida, de las características específicas del proyecto de Recuperación o Cambio de Estándar de que se trate. No cabe, por lo tanto, intentar su sistematización mucho más allá de lo allí expuesto.

2.104.2 INGENIERIA BASICA

Los estudios de Ingeniería Básica se desarrollarán según se expone en los Capítulos respectivos, cuya enumeración se presenta en 2.105. Cada uno de estos capítulos contiene una Sección o Tópico que resume el alcance de las ingenierías básicas normalmente requeridas en cada caso. Por otra parte, el Capítulo 2.200 "Términos de Referencia para el Estudio de Obras Viales", indica los numerales específicos que corresponden.

2.104.3 ANTEPROYECTO

Los proyectos de Recuperación de Estándar en general no requerirán de un anteproyecto, entendido como un estudio de alternativas de trazado geométrico, pero si se podrán requerir alternativas de diseño de los elementos que requieren de una recuperación (pavimento, obras de drenaje, fallas de la infraestructura).

En los estudios de Cambio de Estándar, los conceptos contenidos en la descripción del nivel de Anteproyecto (2.103.1), para el caso de nuevos trazados, son en gran medida válidos, si se otorga la debida ponderación a los aspectos que realmente definen el problema. Es decir, en el nivel de anteproyecto no se trata de estudiar alternativas emplazadas en diversas rutas, sino de estudiar las diversas alternativas de solución posibles sobre una sola ruta específica, constituida por el camino que se desea mejorar y, eventualmente, algunas variantes asociadas a él.

2.104.4 ESTUDIO DEFINITIVO

Para el Estudio Definitivo de las Recuperaciones de Estándar se entregan lineamientos generales en el Tópico 2.806.3 "Diseño Final o Estudio Definitivo", pero en general deberán ser los TRE elaborados en el Estudio Preliminar los que especifiquen las particulares características asociadas a cada proyecto de recuperación.

En el caso de los Cambios de Estándar el Estudio Definitivo definido en 2.103.2 para nuevos trazados, es también aplicable a este tipo de proyectos. En 2.807.2 "Metodologías Alternativas" se discute la oportunidad de uso de las alternativas de Estacado Parcial (EDEP) o de Estacado Total (EDET).

Ya sea que se trate de Recuperación o de Cambio de Estándar, el proyecto definitivo debe considerar los estudios de Regularización de la Faja Fiscal, lo que quedará consignado en los Planos y Documentos de Expropiación.

SECCION 2.105 IDENTIFICACION DE LAS INGENIERIA BASICAS Y METODOLOGIAS DETALLADAS DE ESTUDIO

El desarrollo de los distintos tipos y niveles de estudio presentados en las secciones precedentes se complementará con lo establecido en los Capítulos de este Volumen que se refieren a Ingeniería Básica, y en la Sección correspondiente del Capítulo 3.1000 "Puentes y Estructuras Afines", del MC-V3.

- 2.300 ASPECTOS GEODESICOS Y TOPOGRAFICOS**
- 2.400 ASPECTOS DE HIDROLOGIA, HIDRAULICA Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS**
- 2.500 ASPECTOS GEOTECNICOS**
- 2.600 DEMANDA Y CARACTERISTICAS DEL TRANSITO**
- 2.700 ASPECTOS AMBIENTALES**
- 3.1000.2 INGENIERIA BASICA EN PROYECTOS DE PUENTES Y ESTRUCTURAS AFINES**

En cada uno de estos Capítulos se da una reseña del alcance que deben tener los Estudios de Ingeniería Básica, según el nivel del estudio que se esté desarrollando (Estudio Preliminar, Anteproyecto, Proyecto Definitivo). Los TRE complementarán o rectificarán lo allí expuesto, de acuerdo con las singularidades del Proyecto.

En cuanto a las Metodologías de Estudio, el **Capítulo 2.800 "Procedimientos de Terreno y Gabinete para el Desarrollo de Estudios Viales"**, presenta un desarrollo detallado que se cubre en las siguientes secciones:

- 2.801 CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS BASICOS**
- 2.802 ESTUDIO PRELIMINAR PARA TRAZADOS NUEVOS (EPTN)**
- 2.803 ESTUDIO PRELIMINAR PARA RECUPERACION Y CAMBIO DE ESTANDAR**
- 2.804 ANTEPROYECTO (ANT)**
- 2.805 ESTUDIO DEFINITIVO DE NUEVOS TRAZADOS (EDET y EDEP)**
- 2.806 RECUPERACION DEL ESTANDAR DE DISEÑO (RED)**
- 2.807 CAMBIO DEL ESTANDAR DE DISEÑO (CED)**
- 2.808 ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS**
- 2.809 EXPROPIACIONES**

El **Capítulo 2.900 "Planos Informes y Documentos del Estudio"** especifica los aspectos de forma y contenido de los Planos, Informes y Documentos del Estudio.

MANUAL DE CARRETERAS

VOLUMEN N°2

PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIOS VIALES

CAPITULO 2.200 TERMINOS DE REFERENCIA PARA EL ESTUDIO DE OBRAS VIALES

**DIRECCION DE VIALIDAD
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
CHILE**

CAPITULO 2.200 TERMINOS DE REFERENCIA PARA EL ESTUDIO DE OBRAS VIALES (TR)

INDICE

SECCION	2.201 BASES DE CONCURSO Y TERMINOS DE REFERENCIA
2.201.1	ASPECTOS GENERALES
2.201.2	DESCRIPCION Y ALCANCES DEL ESTUDIO
2.201.3	DOCUMENTOS GENERALES Y ALCANCES ESPECIFICOS
2.201.301	Todos los Niveles de Estudio.
2.201.302	Perfil.
2.201.303	Estudio Preliminar.
2.201.304	Anteproyecto (ANT).
2.201.305	Estudio Definitivo.
2.201.4	TERMINOS DE REFERENCIA ESPECIFICOS (TRE)

CAPITULO 2.200 TERMINOS DE REFERENCIA PARA EL ESTUDIO DE OBRAS VIALES (TR)

SECCION 2.201 BASES DE CONCURSO Y TERMINOS DE REFERENCIA

2.201.1 ASPECTOS GENERALES

Los Términos de Referencia forman parte de las Bases de Concurso, mediante las cuales la Dirección de Vialidad llama a Licitación y Contrata los Estudios requeridos para desarrollar los documentos y planos que formarán parte de los antecedentes con los cuales se construirán los Proyectos Viales.

Las Bases de Concurso comprenden los siguientes documentos:

- Bases Administrativas
- Términos de Referencia
- Cantidades de Obra y/o Presupuesto
- Anexos (Formularios, Listado de Antecedentes, etc.)

Los Términos de Referencia de un Proyecto Vial están compuestos por **Documentos Generales y Documentos Específicos**, señalándose en los primeros los procedimientos, metodologías y límites normativos que regirán el desarrollo de los distintos niveles de Estudio de un Proyecto Vial; y en los segundos sólo aquellos temas no contemplados en los anteriores, y/o que requieran algunas consideraciones propias del proyecto mismo, a fin de precisar ciertos aspectos.

- Documentos Generales
 - Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad, en especial
 - Volumen N° 1, Tomo II "Planificación, Evaluación y Desarrollo Vial"
 - Volumen N° 2, "Procedimientos de Estudios Viales"
- Documentos Específicos
 - Descripción y Alcance del Estudio
 - Términos de Referencia Específicos

2.201.2 DESCRIPCION Y ALCANCES DEL ESTUDIO

El Capítulo 2.100 del Volumen N° 2 "Sistema de Clasificación y Niveles de Estudio" define los Sistemas de Clasificación de los Caminos Públicos, atendiendo a los aspectos Legales, Administrativos y Funcionales que les corresponden. Establece la Clasificación General de los Proyectos Viales, atendiendo a los objetivos del Proyecto:

- Proyecto de Nuevos Trazados
- Proyecto de Recuperación de Estándar
- Proyecto de Cambio de Estándar

Cita además la Clasificación de los Niveles de Estudio:

- Perfil
- Estudio Preliminar <-> Prefactibilidad <-> Diagnóstico Ambiental
- Anteproyecto <-> Factibilidad <-> Estudios de Impacto Ambiental (DIA o EIA)
- Estudio Definitivo <-> Actualización Indicadores⁽¹⁾ <-> (DIA o EIA)

(1) Según lo establezcan los TRE del Estudio.

en que: DIA: Declaración de Impacto Ambiental
EIA: Estudio de Impacto Ambiental

La Descripción y Alcance del estudio que se está especificando deberá hacer uso de los conceptos expuestos para las Clasificaciones y Niveles de Estudio en:

- Clasificación Funcional Para Diseño (2.101.103 y 2.101.3)
- Clasificación General de los Proyectos Viales (2.101.203)
- Nivel correspondiente al Estudio que se está contratando (2.101.4)

El documento que se genera deberá hacer las referencias correspondientes, sin repetir el contenido de dichos textos.

Según sea el Nivel de Estudio que se está contratando, el contenido de la Descripción y Alcance del Estudio deberá indicar todos los antecedentes obtenidos del nivel anterior, con las conclusiones y/o recomendaciones señaladas en él; sea éste, Perfil, Estudio Preliminar o Anteproyecto.

- **Perfil:**
 - Antecedentes del Nivel "Idea" (1.104.2)
 - Contenido del Nivel "Perfil"(1.104.3)
 - TR para el estudio que se contrata

- **Estudio Preliminar.** Resumen del Informe Final del Estudio a Nivel de Perfil, y objetivos y alcances específicos para este estudio.

- **Anteproyecto.** Resumen del Informe Final del Estudio Preliminar, incluyendo los Términos de Referencia Específicos preparados por los Especialistas, así como objetivos y alcances para este estudio.

- **Estudio Definitivo.** Resumen del Informe Final del Estudio a Nivel de Anteproyecto, incluyendo los TRE preparados por los especialistas, así como los objetivos y alcances para este estudio.

- **Casos en que no Existe Estudio a Nivel de Perfil.** En aquellos casos particulares en que no existe Estudio a Nivel de Perfil, la Descripción y Alcances del Estudio Preliminar deberá comprender, a lo menos:
 - (a) La identificación y localización del o los Camino(s) o Carretera(s) que están comprendidos en el estudio que se contrata (Región, Provincia, N° de Rol si corresponde, Inicio y Término, Longitud, Tipo de Superficie de Rodadura, Puentes Existentes o Previstos).
 - (b) El tipo de Proyecto, según la Clasificación General o por Objetivos, a la que pertenece(n) la o las ruta(s) que deben estudiarse a nivel de Estudio Preliminar.
 - (c) El Estándar que se le asigna en primera aproximación a la o las ruta(s) en Proyectos de Nuevo Trazado que se deben estudiar, o de la o las rutas para las que se requiere una Recuperación o un Cambio de Estándar.
 - (d) En los casos de Recuperación de Estándar se deben definir los aspectos de recuperación propiamente tal y los sectores puntuales o tramos para los que se solicita corregir la geometría en planta y alzado y, eventualmente, en variantes para eliminar puntos conflictivos y así lograr homogeneizar el estándar con aquél que tiene el resto de la Ruta. Se hace presente que si el grado de rectificación es tal que en definitiva se logra un Cambio de Estándar, el Proyecto por estudiar debe calificarse como tal y no como una Recuperación.
 - (e) En la situación que se analiza, además de los antecedentes existentes, normalmente se requiere una visita a terreno para poder elaborar la Descripción y Alcances, así como los posibles TRE del Estudio Preliminar que se está contratando.

2.201.3 DOCUMENTOS GENERALES Y ALCANCES ESPECIFICOS

Si bien los Volúmenes N° 1 y N° 2 conforman los Documentos Generales en su conjunto, dependiendo del Nivel de Estudio que se contrata, corresponde precisar el alcance, según lo siguiente:

2.201.301 Todos los Niveles de Estudio

- Clasificación, Nomenclatura y Definiciones Básicas: Capítulo 2.100.
- Control de Trabajos Geodésicos y Topográficos por Muestreo : Sección 2.318.

2.201.302 Perfil

- Tópico 1.104.3
- Tópico 1.202.1 al 1.206.1 para Proyectos I a V según su clasificación de Impacto Económico
- Definición del Proyecto sobre la Base de Antecedentes Existentes y visita a Terreno, procurando cubrir los aspectos señalados precedentemente en las letras a) a la e), para lo cual se deberá usar como guía para desarrollar estos

aspectos, los criterios expuestos para el Estudio Preliminar, en:

- Proyectos de Nuevos Trazados: 2.102.201; 2.102.202 y 2.102.204.
 - Proyectos de Recuperación de Estándar : 2.102.401, 2.102.402 y 2.102.403.
 - Proyectos de Cambio de Estándar: 2.102.501, 2.102.502 y 2.102.503.
- Se desarrollará también una valorización tentativa del Proyecto empleando indicadores globales tales como: valor por km de la obra básica según estándar y tipo de terreno, valor por km de la superestructura según tipo de pavimento y un TMDA estimado al año inicial y al año horizonte, valor de puentes según longitud y ancho de calzada; intersecciones y enlaces por unidad, etc.
- Si resulta necesario se redactarán TRE destinados a definir el tipo de prospecciones que se desea incorporar al estudio y/o los controles de tránsito que no estén especificados en el Tomo II del Volumen N° 1 ni en el Volumen N° 2 para este Nivel de Estudio.

2.201.303 Estudio Preliminar.

- **Todos los Tipos de Proyecto**
 - Criterios y Procedimientos Básicos: 2.801.
 - Aspectos de Geodesia y Topografía: 2.300.
 - Planos y Documentos del Informe: 2.900.
- **Proyectos de Nuevos Trazados**
 - Estudios de Ingeniería Vial y Coordinación General: 2.802.
 - Estudio de Preinversión Según Tipo de Proyecto: Tomo II, Volumen N° 1.
 - Análisis ambiental, acorde a lo establecido en la Sección 9.403 Consideraciones Ambientales en el Nivel de Estudio Preliminar del MC-V9 "Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales".
 - Estudios de Ingeniería Básica correspondientes al Nivel, según lo definido en los TRE, y como mínimo, lo especificado en: 2.404.101; 2.506.101; 2.604.1, 2.604.2 y 3.1002 (Puentes).
 - Redacción de TRE para el Nivel de Anteproyecto o Estudio Definitivo, según corresponda, con especial énfasis en los estudios de Ingeniería Básica que se deben abordar en el Nivel de Estudio siguiente.
- **Proyectos de Recuperación de Estándar y de Cambio de Estándar**
 - Estudios de Ingeniería Vial y Coordinación General: 2.803.
 - Estudio de Prefactibilidad, si los TRE del Estudio lo consultan: Tomo II del Volumen N° 1.
 - Análisis ambiental, acorde a lo establecido en la Sección 9.403 Consideraciones Ambientales en el Nivel de Estudio Preliminar del MC-V9 "Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales".
 - Estudios de Ingeniería Básica según lo definido en los TRE correspondientes al nivel y, como mínimo, lo especificado en:
 - Recuperación de Estándar 2.404.201(1) - 2.506.201 - 2.604.3.
 - Cambio de Estándar 2.404.202(1) – 2.506.202 - 2.604.3.
 - Puentes y Estructuras Afines: 3.1002.
 - Redacción de TRE para el siguiente Nivel según corresponda (Anteproyecto o Estudio Definitivo), con Especial Énfasis en los Estudios de Ingeniería Básica.

2.201.304 Anteproyecto (ANT)

En todos los Tipos de Proyecto, se considerará:

- Criterios y Procedimientos Básicos : 2.801.
 - Estudio de Ingeniería Vial y Coordinación General : 2.804 (2.300)(*).
 - Estudio de Factibilidad : Tomo II del MC-V1.
 - Análisis ambiental : Sección 9.404 del MC-V9
 - Ingeniería Básica según los TRE del Estudio y, como mínimo : 2.404.102 ó 2.404.201(2).
2.506.102, 2.604 y 3.1002 (Puentes).
 - Redacción de TRE para el Estudio Definitivo
- (*) El Tópico 2.804 define los trabajos que se deben ejecutar en Geodesia y Topografía.

2.201.305 Estudio Definitivo

En todos los Tipos de Proyecto se considerará:

- Criterios y Procedimientos Básicos	: 2.801
- Estudio de Ingeniería Vial y Coordinación General	: 2.805 (2.300)*
- Actualización de Indicadores Económicos (Si los TRE lo indican)	: TRE
- Documentación para Ingreso al SEIA (Si los TRE lo indican)	: TRE
- Diseño Geométrico del Trazado	: 3.000, 3.100, 3.200 y 3.300
- Diseño de Intersecciones y Enlaces	: 3.400 y 3.500
- Diseño de la Obra Básica y de la Plataforma	: 3.600
- Diseño del Drenaje, Saneamiento e Hidráulica Fluvial	: 3.700
- Diseño de Túneles	: 3.800
- Control de Avalanchas	: 3.900
- Diseño de Puentes y Estructuras Afines	: 3.1000

(*) La Sección 2.805 define los trabajos que se deben ejecutar en Geodesia y Topografía

2.201.4 TERMINOS DE REFERENCIA ESPECIFICOS (TRE)

Los TRE deberán contener sólo aquellos aspectos no indicados en los documentos generales, correspondientes a los diversos volúmenes del Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad, debiendo precisar aquellos temas particulares del estudio que se va a desarrollar, y detallando los requerimientos de Ingeniería Básica.

En los Niveles de Estudio Preliminar y Anteproyecto, los TRE para el Nivel siguiente de Estudio, deben ser preparados por los Especialistas de las distintas disciplinas, (Geodesia y Topografía, Hidrología e Hidráulica, Geotecnia, Evaluación Económica, Medio Ambiente, Túneles, Protección de Avalanchas y Puentes y Estructuras Afines), bajo la coordinación del jefe de proyecto para evitar repeticiones y optimizar el rendimiento.

Especial importancia debe darse a los aspectos relativos a Orden de Control y Escala de los Levantamientos en Geodesia y Topografía, a la definición de las Prospecciones en Geotecnia; a los Aspectos de Hidráulica Fluvial (Ejes Hidráulicos, Socavaciones y Defensas Fluviales), a los reconocimientos y prospecciones para Túneles; a los criterios de diseño y alternativas que deben analizarse en cuanto al Diseño de Pavimento, al peligro, frecuencia y obras de Control de Avalanchas en los caminos de montaña y a las prospecciones y alternativas de diseño en Puentes y Estructuras Afines.

Antes del Informe Final del Nivel de Estudio que se esté desarrollando, se fijará una Etapa dedicada especialmente a la proposición de los Términos de Referencia Específicos del Nivel de Estudio siguiente, los que se deberán someter a la consideración de la Dirección de Vialidad y que, una vez aprobados por ésta, pasarán a formar parte de las Bases del próximo Nivel de Estudio.

MANUAL DE CARRETERAS

VOLUMEN N°2

PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIOS VIALES

CAPITULO 2.300 INGENIERIA BASICA ASPECTOS GEODESICOS Y TOPOGRAFICOS

**DIRECCION DE VIALIDAD
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
CHILE**

CAPÍTULO 2.300 INGENIERÍA BÁSICA - ASPECTOS GEODÉSICOS Y TOPOGRÁFICOS

ÍNDICE

SECCIÓN 2.301 ASPECTOS GENERALES

2.301.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

2.301.2 DEFINICIONES BÁSICAS

2.301.201 Sistema de Unidades

2.301.201(1) Medidas Angulares

2.301.201(2) Medidas de Longitud

2.301.202 Elementos Geodésicos

2.301.202(1) Geoide

2.301.202(2) Elipsoide

2.301.202(3) Dátum

2.301.202(4) Coordenadas Geodésicas

2.301.202(5) Coordenadas Geocéntricas o Cartesianas

a) Transformación de coordenadas geodésicas a geocéntricas, $(\varphi, \lambda, h) \rightarrow (X, Y, Z)$

b) Transformación de coordenadas geocéntricas a geodésicas, $(X, Y, Z) \rightarrow (\varphi, \lambda, h)$

2.301.3 SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITES

2.301.301 Estructura de la Señal

2.301.302 Posicionamiento Autónomo

2.301.303 Mediciones Diferenciales (DGPS)

2.301.304 Observación de Fase de la Onda Portadora

2.301.305 Algunas Fuentes de Error y Degradación

2.301.305(1) Refracción Atmosférica

2.301.305(2) Dilución de la Precisión (DOP)

2.301.305(3) Multitrayectoria de Señales

2.301.4 SISTEMAS GLOBALES DE REFERENCIA

2.301.401 Sistema ITRF

2.301.402 Sistema WGS-84

2.301.403 Sistemas PSAD-56 y SAD-69

2.301.404 Sistema SIRGAS

2.301.405 Transformación de Sistemas

SECCIÓN 2.302 REFERENCIACIÓN DE ESTUDIOS

2.302.1 ASPECTOS GENERALES

2.302.2 REFERENCIACIÓN PLANIMÉTRICA

2.302.201 Red de Referencia Principal (RRP)

2.302.202 Método de Medición de RRP

2.302.203 Sistema de Proyección

2.302.203(1) Proyección Universal Transversal Mercator (UTM)

2.302.203(2) Proyección Local Transversal Mercator (LTM)

2.302.203(3) Definición de Planos Topográficos Locales (PTL)

2.302.203(4) Relación de distancias en terreno y PTL

2.302.204 Resumen de Procedimiento para la Referenciación Planimétrica

2.302.3 REFERENCIACIÓN ALTIMÉTRICA

- 2.302.301** Estimación del Geoide
- 2.302.302** Red de Puntos de Referencia Altimétrica
- 2.302.303** Registro, Cálculo y Compensación de la Red de PR

2.302.4 FORMATO DE ENTREGA DE REDES DE REFERENCIA

- 2.302.401** Datos de Red Planimétrica
- 2.302.402** Datos de Red Altimétrica

SECCIÓN 2.303 SISTEMA DE TRANSPORTE DE COORDENADAS (STC)

2.303.1 ASPECTOS GENERALES

- 2.303.101** Objetivos y Alcance
- 2.303.102** Clasificación de Poligonales
- 2.303.103** Forma más Conveniente de la Poligonal
 - 2.303.103(1)** *Poligonales Principales*
 - 2.303.103(2)** *Poligonales Auxiliares*
- 2.303.104** Formato de Entrega de Datos

2.303.2 TRANSPORTE DE COORDENADAS MEDIANTE POLIGONALES TOPOGRÁFICAS

2.303.3 TRANSPORTE DE COORDENADAS MEDIANTE GNSS

- 2.303.301** Soluciones en Postproceso
- 2.303.302** Soluciones en Tiempo Real

2.303.4 MONUMENTACIÓN DE LAS REFERENCIAS

- 2.303.401** Aspectos Generales
- 2.303.402** Monolitos de Referencia Principales
 - 2.303.402(1)** *Oportunidad de Uso*
 - 2.303.402(2)** *Selección del Emplazamiento*
 - 2.303.402(3)** *Materiales, Forma y Dimensiones*
 - 2.303.402(4)** *Materialización del Punto de Interés*
- 2.303.403** Monumentos Auxiliares o Provisionales
- 2.303.404** Identificación de Monumentos

SECCIÓN 2.304 LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

2.304.1 ASPECTOS GENERALES

2.304.2 LEVANTAMIENTOS COORDENADOS TERRESTRES

- 2.304.201** Aspectos Generales
- 2.304.202** Tolerancias
- 2.304.203** Levantamientos Distanciométricos
 - 2.304.203(1)** *Objetivos y Alcances*
 - 2.304.203(2)** *Operatoria en Terreno*
 - a)** *Instalación y puesta en condiciones de trabajo*
 - b)** *Lecturas de ligazón*
 - c)** *Lecturas para levantamiento de puntos de relleno o detalle*
 - 2.304.203(3)** *Instrumental*

- 2.304.204 Levantamientos GNSS**
- 2.304.204(1) Aspectos Generales**
- 2.304.204(2) Consideraciones Especiales**

2.304.3 LEVANTAMIENTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS

- 2.304.301 Aspectos Generales**
- 2.304.302 Procedimiento de Levantamientos Aerofotogramétricos**
- 2.304.302(1) Obtención de las Fotografías**
- 2.304.302(2) Georreferenciación de Imágenes Aéreas**
- 2.304.302(3) Apoyo Terrestre**
- 2.304.302(4) Restitución Fotogramétrica**
- 2.304.303 Tolerancias**
- 2.304.303(1) Etapa de Terreno**
- 2.304.303(2) Etapa de Gabinete**
- 2.304.303(3) Verificación en Terreno**
- 2.304.304 Métodos de Control**
- 2.304.305 Imágenes Satelitales**

2.304.4 LEVANTAMIENTOS MEDIANTE LÁSER TRANSPORTADO

- 2.304.401 Aspectos Generales**
- 2.304.402 Láser Aéreo**
- 2.304.402(1) Tolerancias**
- 2.304.402(2) Contenido de Entregas**
- 2.304.403 Láser Terrestre**

2.304.5 LEVANTAMIENTOS TERRESTRES MEDIANTE PERFILES

- 2.304.501 Aspectos Generales**
- 2.304.502 Perfil Longitudinal del Terreno**
- 2.304.502(1) Procedimiento de la Nivelación**
- 2.304.502(2) Tolerancias**
- 2.304.503 Perfiles Transversales de Terreno**
- 2.304.503(1) Procedimiento del Levantamiento**
 - a) Definición del perfil transversal**
 - b) Levantamiento de puntos singulares**
 - c) Perfiles especiales**
- 2.304.503(2) Tolerancias**
- 2.304.504 Dibujo de Perfiles**

2.304.6 LEVANTAMIENTOS CATASTRALES

- 2.304.601 Aspectos Generales**
- 2.304.602 Levantamiento de Ejes**
- 2.304.603 Levantamiento de Elementos Asociados a la Red Vial**
- 2.304.604 Traspaso de Datos a Sistema de Información Geográfica**

2.304.7 MEDICIONES GNSS PARA HIDROGRAFÍA

- 2.304.701 Bases DGPS**
- 2.304.702 Navegación**
- 2.304.703 Protocolo RTCM**
- 2.304.704 Protocolo NMEA**

SECCIÓN 2.305 CONCEPTOS Y MÉTODOS GENERALES EN MEDIDAS DE TOPOGRAFÍA

2.305.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

2.305.2 MEDICIÓN DE DISTANCIAS HORIZONTALES

2.305.201 Aspectos Generales

2.305.202 Medidas de Precisión para Distancias Horizontales

2.305.202(1) Con Georreceptores GNSS

2.305.202(2) Con Estación Total

2.305.203 Medidas de Media y Baja Precisión para Distancias Horizontales

2.305.203(1) Medidas Corrientes con Cinta Métrica

2.305.203(2) Distancia con Método Estadimétrico

2.305.3 MEDICIÓN DE DISTANCIAS VERTICALES O DESNIVELES

2.305.301 Aspectos Generales

2.305.302 Nivelación Geométrica

2.305.302(1) Condiciones del Método

2.305.302(2) Registro, Cálculo y Compensación de Nivelaciones Geométricas

a) Registro

b) Cálculos

c) Compensación

2.305.303 Nivelación Trigonométrica

2.305.303(1) Condiciones del Método

a) Precisión en medida angular

b) Precisión en medida de distancia

c) Precisión en error de cierre de circuitos

2.305.303(2) Registro, Cálculo y Compensación de Nivelaciones Geométricas

a) Registro de medidas angulares

b) Cálculo del ángulo vertical (cenital)

c) Compensación de la nivelación trigonométrica

2.305.304 Métodos Satelitales para Determinar Desniveles

2.305.305 Métodos de Baja Precisión para Determinar Desniveles

2.305.4 MEDICIÓN DE ÁNGULOS

2.305.401 Aspectos Generales

2.305.402 Medición de Ángulos Horizontales

2.305.402(1) Método de Medida Simple de Ángulos (Puntos de Relleno)

2.305.402(2) Medición Compensada de Ángulos (Directa y Tránsito)

2.305.402(3) Método de Reiteración

2.305.402(4) Método de Repetición

2.305.402(5) Verificación de Precisiones en la Medida de Ángulos Horizontales

a) Reiteración

b) Repetición

2.305.403 Medición de Ángulos Verticales

a) Lectura simple

b) Lecturas comprobadas (directa y tránsito)

c) Lecturas comprobadas a distintas alturas de jalón

SECCIÓN 2.306 ANÁLISIS DE ERRORES

2.306.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

2.306.2 ERRORES Y SU CUANTIFICACIÓN

2.306.201 Conceptos Básicos

2.306.201(1) Precisión

2.306.201(2) Exactitud

2.306.201(3) Cifras Significativas

2.306.202 Faltas y Errores

2.306.202(1) Faltas

2.306.202(2) Errores Sistemáticos

2.306.202(3) Errores Accidentales

2.306.203 Conceptos Básicos Relativos a la Probabilidad de Errores Accidentales

2.306.203(1) Valor más Probable

2.306.203(2) Errores y Residuos

2.306.203(3) Distribución de Errores Accidentales

2.306.203(4) Probabilidad de Errores Accidentales

2.306.204 Cuantificación de Errores Accidentales

2.306.204(1) Aspectos Generales

a) Error de una observación aislada

b) Error del valor más probable

c) Error de un resultado

2.306.204(2) Indicadores de Precisión

a) Error estándar

b) Error probable

c) Error de x%

2.306.205 Rechazo o Eliminación de Observaciones

2.306.206 Cierre y Compensación de Errores

SECCIÓN 2.307 REPLANTEO DE OBRAS VIALES

2.307.1 ASPECTOS GENERALES

2.307.101 Objetivos y Alcances

2.307.102 Sistemas de Replanteo de una Obra Vial

2.307.2 REPLANTEO DEL TRAZADO

2.307.201 Aspectos Generales

2.307.202 Elementos de Interés

2.307.202(1) Vértices del Trazado

2.307.202(2) Puntos Singulares

a) Indicadores de curvatura

b) Obras de arte

c) Intersecciones

2.307.202(3) Estacado de Relleno

2.307.203 Materialización

2.307.203(1) Sobre Pavimentos.

2.307.203(2) Sobre Plataformas Granulares

2.307.203(3) Sobre Terreno Natural

2.307.3 REPLANTEO DESDE EL SISTEMA DE TRANSPORTE DE COORDENADAS

2.307.301 Replanteo con Estaciones Totales

2.307.302 Replanteo con Instrumental GNSS

2.307.4 REPLANTEO DESDE EL TRAZADO GEOMÉTRICO

2.307.401 Replanteo de Rectas

2.307.402 Replanteo de Curvas

2.307.402(1) Desde Vértices

2.307.402(2) Replanteo por Deflexiones

a) Elementos principales del eje en el sector por replantear

b) Cálculo de cuerdas, arcos y ángulos de deflexión

c) Confección del registro

SECCIÓN 2.308 CUBICACIONES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

2.308.1 INTRODUCCIÓN

2.308.2 CUBICACIONES MEDIANTE SUPERPOSICIÓN DE MODELOS DIGITALES

2.308.3 CUBICACIONES MEDIANTE PERFILES TRANSVERSALES

2.308.301 Determinación de Superficies

2.308.302 Determinación de Volúmenes

2.308.302(1) *Conceptos Generales*

2.308.302(2) *Cubicación de Casos Particulares*

2.308.302(3) *Cubicación de Sectores en Curva*

2.308.302(4) *Cifras Significativas*

SECCIÓN 2.309 CONTROL DE CALIDAD EN TRABAJOS DE TOPOGRAFÍA VIAL

2.309.1 ASPECTOS GENERALES

2.309.101 Objetivos y Alcances

2.309.102 Antecedentes Requeridos para la Revisión.

2.309.103 Muestreo al Azar

2.309.2 VERIFICACIÓN DE LA MONUMENTACIÓN Y BALIZADO

2.309.3 VERIFICACIÓN DE LAS DETERMINACIONES TOPOGRÁFICAS

2.309.301 Precisión y Exactitud en el Proceso de Verificación

2.309.302 Verificación de la Red de Referencia Principal (RRP)

2.309.303 Verificación de la Red de Referencia Altimétrica (PR)

2.309.304 Verificación de la Poligonal Principal del STC

2.309.305 Verificación del Replanteo del Eje Geométrico

2.309.306 Verificación de Línea de Tierra

2.309.307 Verificación de Levantamientos

SECCIÓN 2.310 CONSIDERACIONES GENERALES PARA EJECUTAR TRABAJOS TOPOGRÁFICOS

2.310.1 PLANIFICACIÓN DE LOS TRABAJOS

- 2.310.101 Aspectos Generales
- 2.310.102 Metodología
- 2.310.103 Programa de Trabajo

2.310.2 PERSONAL PROFESIONAL Y TÉCNICO

2.310.3 INSTRUMENTOS DE CAMPO

- 2.310.301 Certificaciones
- 2.310.302 Tipos de Instrumentos
- 2.310.302(1) *Instrumental Óptico*
- 2.310.302(2) *Instrumental Electrónico*
- 2.310.302(3) *Instrumental Electro-Óptico*

2.310.4 PERMISOS

2.310.5 ROCES

- 2.310.501 Aspectos Generales
- 2.310.502 Despeje para la Ejecución de Labores Topográficas
- 2.310.503 El Roce y la Prevención de la Erosión de Suelos
- 2.310.504 Acopio de Elementos Rozados
- 2.310.505 Roce a Fuego
- 2.310.506 Precauciones Especiales en el Roce
- 2.310.507 Uso de las Maderas Provenientes del Roce

CAPÍTULO 2.300 INGENIERÍA BÁSICA - ASPECTOS GEODÉSICOS Y TOPOGRÁFICOS

SECCIÓN 2.301 ASPECTOS GENERALES

2.301.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

Los procedimientos, límites normativos y recomendaciones contenidas en el presente Capítulo se aplicarán a todos los trabajos topográficos de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, a excepción de aquellas partes que resulten modificadas por Términos de Referencia Específicos o por las disposiciones de un contrato en particular.

Cuando en un contrato de estudio no se definan explícitamente los aspectos topográficos relativos a referenciación, exactitud, precisión, calidad del trabajo, instrumentos, métodos y calidad de la presentación final, se entenderán válidos los procedimientos, normas y recomendaciones contenidas en el presente Capítulo.

Aun cuando todos los estudios quedarán referenciados geodésicamente, el orden de magnitud de los trabajos topográficos corresponde a las necesidades de la Dirección de Vialidad. Por lo tanto, no se cubren aquí los casos correspondientes a trabajos geodésicos propiamente tales, y las referencias que se hacen en cuanto a tolerancias, instrumental, métodos, etc., tienen por objeto cubrir las necesidades de los proyectos viales.

2.301.2 DEFINICIONES BÁSICAS

2.301.201 Sistema de Unidades. En todos los trabajos topográficos se aplicará el Sistema Internacional de Unidades (SI), según lo expuesto en la Sección 2.004, Sistema de Unidades.

2.301.201(1) Medidas Angulares. Las medidas angulares se expresarán siempre en grados de arco centesimal y sus decimales. Sus símbolos de abreviatura serán: grados (g), minutos (c), segundos (cc). La única excepción a lo anterior la constituirán las coordenadas geodésicas curvilíneas que indican la latitud (φ) y la longitud (λ) de un punto sobre el elipsoide, que se expresarán en grados sexagesimales ($^{\circ}$), minutos ($'$) y segundos ($''$).

2.301.201(2) Medidas de Longitud. Las medidas de longitud se expresarán en metros (m) y cuando se esté indicando una distancia acumulada a un cierto origen, se le antepondrá la sigla "Dm", que significa "Distancia Acumulada expresada en metros". Por ejemplo, la distancia km 252,324843 (6 decimales), se expresará en metros como Dm 252.324,843 empleando punto para los miles y coma para separar los submúltiplos, sean centímetros (cm) o milímetros (mm).

2.301.202 Elementos Geodésicos

2.301.202(1) Geoide. Superficie equipotencial que coincide con la superficie media de los océanos prolongada hacia los continentes y es en todo punto perpendicular a la línea de plomada o dirección de gravedad.

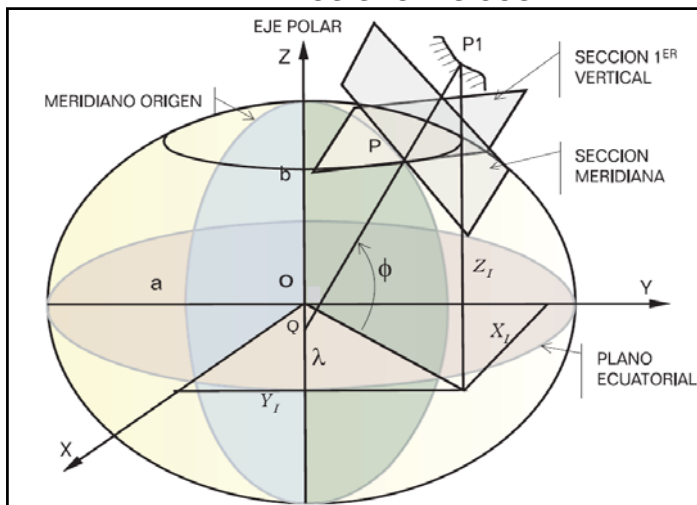
2.301.202(2) Elipsoide. El elipsoide corresponde a la figura generada por una elipse (elipse generatriz) girada en torno al eje polar terrestre. A esta superficie se refieren los cálculos geodésicos. La elipse generatriz está definida en forma y tamaño por dos parámetros:

- semi-eje mayor "a" y achatamiento "f", o
- los dos semi-ejes, mayor "a" y menor "b".

Algunos elementos de importancia del elipsoide son (véase la Figura 2.301.202.A):

- Gran Normal: segmento de la normal desde la superficie del elipsoide en P, hasta el eje polar (PQ);
- Sección Meridiana: sección plana normal que contenga el eje de rotación (eje polar);
- Sección 1^{er} Vertical: sección plana perpendicular a la sección meridiana en P;
- Meridiano Geodésico: intersección de la sección meridiana con el elipsoide; es una elipse, y
- Paralelo Geodésico: intersección de un plano paralelo al ecuador y el elipsoide; es un círculo.

**FIGURA 2.301.202.A
 ELEMENTOS GEODÉSICOS**



2.301.202(3) Dátum. Es la referencia de ubicación geoespacial definida por un elipsoide y un punto fundamental en el que el elipsoide coincide con el geoides. WGS-84 es el dátum global de uso general en navegación satelital.

2.301.202(4) Coordenadas Geodésicas. Son elementos geométricos que determinan la posición espacial de un punto sobre la superficie, respecto de un Dátum definido (véase la Figura 2.301.202.A).

Las coordenadas geodésicas quedan definidas por:

- Latitud (ϕ): ángulo formado por la normal en un punto P y su proyección sobre el ecuador, varía de $+90^\circ$ a -90° y toma valores negativos al sur del Ecuador;
- Longitud (λ): ángulo formado entre la sección meridiana en P y el meridiano cero (Greenwich), varía desde 0° a $\pm 180^\circ$, siendo negativo al oeste de Greenwich;
- Altura elipsoidal (h): distancia según la normal entre el elipsoide y un punto de la superficie terrestre; se destaca que esta altura difiere de la altura "Ortométrica" (H) o elevación, que es la distancia vertical desde el geoides y un punto de la superficie terrestre.

2.301.202(5) Coordenadas Geocéntricas o Cartesianas. El elipsoide está asociado a un sistema cartesiano ortogonal (ver Lámina 2.301.202.A), formado por los ejes X, Y y Z. El eje X está contenido en el plano ecuatorial, orientado al meridiano cero (Greenwich), Z coincide con el eje de rotación terrestre y está orientado en la dirección del polo Norte, el eje Y completa el sistema dextrógiro (sentido mano derecha).

Un punto sobre la superficie terrestre, tiene coordenadas geocéntricas (X,Y,Z), que pueden ser expresadas en coordenadas geodésicas (ϕ,λ,h), o viceversa, de acuerdo con las siguientes relaciones matemáticas:

a) Transformación de coordenadas geodésicas a geocéntricas, (ϕ,λ,h) \rightarrow (X,Y,Z):

Sean: a, b: semiejes del elipsoide

1ª excentricidad (e) :
$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

Gran Normal (N) :
$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 \phi}}$$

(1)

$X_1 = (N+h) \cdot \cos \phi \cdot \cos \lambda$
$Y_1 = (N+h) \cdot \cos \phi \cdot \text{sen} \lambda$
$Z_1 = [N \cdot (1 - e^2) + h] \cdot \text{sen} \phi$

b) Transformación de coordenadas geocéntricas a geodésicas, $(X, Y, Z) \rightarrow (\varphi, \lambda, h)$:

Sea:

$$2^{\text{a}} \text{ excentricidad } (e') : e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

valores auxiliares :

$$d = \sqrt{(X_1^2 + Y_1^2)}$$

$$\psi = \arctan \left[\frac{Z_1 \cdot a}{a \cdot b} \right]$$

(2)

$$\varphi = \arctan \left[\frac{Z_1 + b \cdot e'^2 \cdot \text{sen}^3 \psi}{d - a \cdot e'^2 \cdot \text{cos}^3 \psi} \right]$$

$$\lambda = \arctan \left[\frac{Y_1}{X_1} \right]$$

$$h = \frac{d}{\text{cos} \varphi} - N$$

El detalle de parámetros se encuentra en TABLA 2.301.402.A, Parámetros del Sistema WGS-84

2.301.3 SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITES

GNSS (Global Navigation Satellite System) es el acrónimo con el que se reconoce al conjunto de sistemas de navegación que proveen posicionamiento geoespacial. Existe desde los años 70, cuando se desarrolló el sistema estadounidense denominado GPS (Global Position System), y que ha sido el principal proveedor de datos para los usuarios de carácter civil. Otros sistemas han sido desarrollados por otras naciones y complementan la disponibilidad de servicios GNSS. Entre ellos se encuentran principalmente el sistema ruso denominado GLONASS (Global Navigation Satellite System), el sistema desarrollado por la Comunidad Europea denominado GALILEO y los sistemas proyectados de China (COMPASS).

El Sistema GNSS se compone de tres segmentos. El primero es el segmento espacial, consistente en la constelación de satélites de cobertura global, que emite señales para obtener ubicación geoespacial. El segundo es un segmento de control, que con varias estaciones terrestres, monitorea la actividad de los satélites, actualizando y corrigiendo la información recibida. Por último, está el segmento de usuarios, donde se recibe la información de los otros segmentos y se calcula la posición de interés, cumpliendo con el objetivo final del sistema.

2.301.301 Estructura de la Señal. Cada satélite transmite información modulada en diferentes bandas portadoras de distintas frecuencias. Para graficar, consideramos la estructura de la señal del sistema GPS norteamericano con 3 señales de la banda L:

- L1=1575,42 MHz,
- L2=1227,60 MHz,
- L5=1.176,45 MHz,

Son tres las modulaciones de las portadoras:

- Código binario de Adquisición Bruta o Grosera - C/A (Coarse Acquisition) en L1, de uso civil.
- Código binario Preciso - P (o Y) en L1 y L2, de uso restringido y el código L2C civil de mejores características.
- Mensaje de navegación (NAVDATA).

El mensaje de navegación o NAVDATA es un conjunto de datos transmitidos por cada satélite y está compuesto principalmente por:

- Efemérides de los satélites: información que refleja el movimiento del satélite en su órbita y permite calcular la posición de éste al instante de la medición;
- Almanaque: información simplificada sobre la posición de todos los satélites de la constelación;
- Tiempo del sistema: posibilita el sincronismo del receptor al tiempo GPS;
- Correcciones a los relojes de los satélites: factores de corrección de tiempo;
- Número de identificación del satélite, y
- Estado (salud) del satélite, entre otros.

2.301.302 Posicionamiento Autónomo. El fundamento básico del posicionamiento a partir del código C/A, es el cálculo de distancias a partir del tiempo de propagación de un código generado en el satélite, comparado con una réplica del mismo generado por el receptor. El código generado en el satélite llega "atrasado" un cierto " Δt ", que corresponde al tiempo demorado por la señal desde el satélite hasta el receptor. Debido a que la señal en el vacío viaja a la velocidad, conocida, de la luz " c ", se puede calcular la distancia " D " al satélite, mediante la expresión $D = c \cdot \Delta t$; D es conocida como "seudo distancia", restando solamente medir distancias a varios satélites simultáneamente (con un mínimo de 4) y, de esta forma, solucionar por intersección espacial el cálculo de las coordenadas del receptor, lo que se traduce finalmente en la obtención de coordenadas con una precisión del orden de 10 m.

2.301.303 Mediciones Diferenciales (DGPS). Estaciones próximas hasta algunas centenas de kilómetros, están sujetas a errores comunes, que afectan la determinación de sus posiciones en forma casi idéntica. Una forma de remover este efecto en una estación es conocer los mismos efectos en otra estación, denominada de referencia o estación base. La estación base debe rastrear simultáneamente la misma constelación visible de satélites.

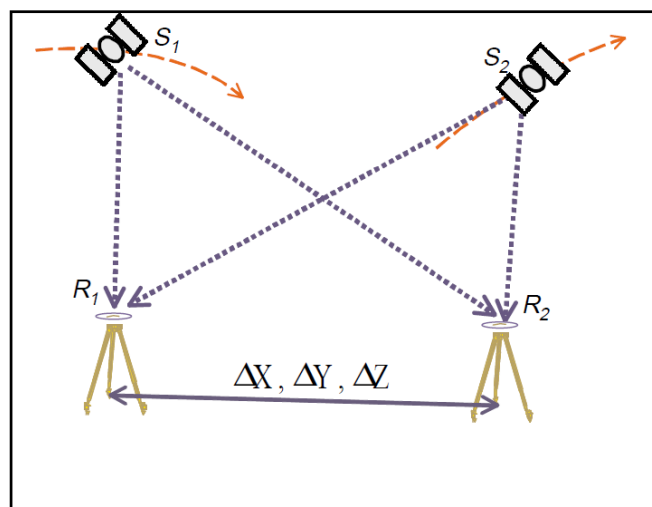
Un receptor GNSS instalado en una estación base de coordenadas fijas, efectúa medidas de pseudo distancias erróneas. Al compararse las coordenadas determinadas con las coordenadas fijas, es posible calcular una corrección diferencial a cada pseudo distancia medida en la misma estación. Por otra parte, si al receptor itinerante o móvil se le incorporan las correcciones diferenciales calculadas para el receptor base en el mismo instante de observación, los errores en las pseudo distancias serán minimizados y las coordenadas calculadas serán más precisas. Dependiendo de la clase de receptores que se utilice, métrico o submétrico, las coordenadas corregidas tendrán una precisión del orden de ± 2 m a 5 m o de $\pm 0,5$ m, respectivamente.

2.301.304 Observación de Fase de la Onda Portadora. Una observable más precisa que la pseudo distancia es la fase de la onda portadora. La principal ventaja reside en el hecho de que la longitud de onda ($\sim 0,20$ m) de las portadoras es mucho menor que la del código C/A (~ 300 m), lográndose precisiones hasta del orden de los milímetros. El problema geométrico de la medida de distancias satélite-receptor puede también ser solucionado usando las portadoras L1 o L1 y L2 combinadas. Para este propósito, la distancia se obtiene, dicho en forma simple, contando el número de ciclos (N) multiplicado por su longitud (λ). Por otra parte, su gran desventaja es que, por usar un patrón del tipo sinusoidal, en que debe contarse el número entero de ciclos de onda portadora, la medida no es inmediata.

Para resolver las coordenadas y ambigüedades, el modelo más usado por los programas de procesamiento GNSS es el de las diferencias de observaciones entre dos receptores a varios satélites. Este modelo permite remover errores comunes a dos estaciones y a los satélites. Se denomina de "primera diferencia de fase" a la diferencia medida en un receptor a varios satélites o, de varios receptores a un mismo satélite. La diferencia de la primera diferencia, entre dos receptores y varios satélites, se llama de "doble diferencia". Con la doble diferencia se minimizan todos los errores comunes, incluyendo los de sincronización (véase la Figura 2.301.304.A).

Los programas de procesamiento GNSS acostumbran designar la solución calculada por doble diferencia con las ambigüedades enteras como FIX (fija). A la misma solución, pero con las ambigüedades aproximadas (no enteras) se llama FLOAT (flotante). Normalmente una sesión de rastreo con datos "limpios", conducirá a una solución FIX, resultando coordenadas con precisión relativa en torno de 1 a 2 ppm (partes por millón) de la distancia entre estaciones. La solución FLOAT no garantiza precisión relativa mejor que 10 cm a 20 cm. Aún así, la solución FLOAT, para líneas más extensas, puede corresponder a una precisión relativa mejor que 2 ppm; por ejemplo, una precisión de 10 cm en 50 km equivale a 2 ppm.

FIGURA 2.301.304.A
ESQUEMA DE SOLUCIONES POR DOBLE DIFERENCIA



2.301.305 Algunas Fuentes de Error y Degradación

2.301.305(1) Refracción Atmosférica. La propagación de las señales GNSS son “afectadas” por la atmósfera. En la tropósfera (hasta aproximadamente 40 km de altura), el índice de refracción es positivo y no depende de la frecuencia; por otro lado, en la ionósfera (sobre los 70 km de altura), el índice de refracción es negativo y depende de la frecuencia.

La corrección de los efectos de la tropósfera se realiza mediante fórmulas que consideran parámetros meteorológicos medios. La mayor influencia se produce en señales con ángulo de elevación bajo, por ese motivo se recomienda observar satélites sobre los 10° o 15° de elevación.

La refracción ionosférica es proporcional a la distancia entre estaciones y se corrige observando las dos frecuencias L1 y L2. Su efecto comienza a ser significativo para la precisión nominal en distancias sobre ~30 km.

Como consecuencia de la actividad solar, en períodos cíclicos, aproximadamente cada 11 años, y no cíclicos, la ionósfera está sujeta a perturbaciones (cintilación), provocando disturbios en la propagación de señales electromagnéticas, entre ellas las GNSS. Durante estos períodos, que pueden durar varios meses, en ciertas horas el posicionamiento de alta precisión se ve afectado, llegando a presentar valores absurdos en la determinación de coordenadas.

2.301.305(2) Dilución de la Precisión (DOP). La dilución de la precisión es un factor que contribuye en la incerteza de las coordenadas, debido a la distribución geométrica de la constelación de satélites utilizados en un instante dado. Algunos DOPs que se describen en la literatura son: HDOP, para el posicionamiento horizontal; VDOP, para posicionamiento vertical; TDOP, para la determinación de tiempo y PDOP para posicionamiento tridimensional. El PDOP puede ser interpretado como el inverso del volumen del tetraedro formado por el usuario y los satélites. Valores de PDOP inferior a 4 se consideran óptimos, PDOP entre 4 y 6 se consideran aceptables; valores sobre 6 pueden comprometer el posicionamiento y no son aceptables para los trabajos geodésicos y topográficos.

2.301.305(3) Multitrayectoria de Señales. Algunas superficies de edificios o metálicas pueden actuar como espejo en las señales de los satélites, provocando una segunda señal indirecta, y una distorsión en la distancia a los satélites, y consecuentemente, una posición errónea. La magnitud del error depende del grado de reflectancia de la superficie y la distancia de ésta al receptor. El único modo de evitar esta fuente de error es alejarse de los elementos reflectantes o disponer de antenas GNSS que incorporen tecnología de rechazo a multitrayectoria.

2.301.4 SISTEMAS GLOBALES DE REFERENCIA

El posicionamiento geoespacial requiere sistemas de referencia bien definidos y consistentes, globales y geocéntricos. Esto implica que consideren todo el globo terrestre y tengan su origen en el centro de masa de la Tierra. A continuación se entrega una descripción de los sistemas que rigen los proyectos viales nacionales.

2.301.401 Sistema ITRF. El Sistema de Referencia Terrestre Internacional ITRF (International Terrestrial Reference Frame), representa un sistema global de carácter científico establecido por el Servicio Internacional de Rotación Terrestre - IERS (International Earth Rotation Service), y está materializado por redes geodésicas continentales implantadas a través de modernas técnicas geodésicas espaciales.

Debido a la precisión alcanzada y a los movimientos tectónicos de la corteza terrestre, las coordenadas asignadas a las estaciones son dinámicas y deben ser reducidas a una época de referencia común (t_0). Esto significa la puesta en práctica de la geodesia global 4D (tetra-dimensional), donde a las coordenadas geocéntricas 3D se aplican variaciones determinando posiciones referidas a una determinada época.

2.301.402 Sistema WGS-84. El Sistema de Referencia WGS-84 (World Geodetic System 1984) es un sistema geocéntrico global con origen en el centro de masa de la Tierra. WGS-84 es actualmente el sistema de referencia para GNSS y es compatible con el ITRF.

En la práctica y por tener mínimas diferencias, la figura analítica de WGS-84 corresponde al Elipsoide Internacional GRS-80. Sus principales valores se indican en la Tabla 2.301.402.A.

**TABLA 2.301.402.A
PARAMETROS DEL SISTEMA WGS-84**

Parámetros WGS-84	Valor
Semi-eje mayor	$a = 6.378.137 \text{ m}$
Semi-eje menor	$b = 6.356.752,314 \text{ m}$
Achatamiento	$f = 1 / 298,257\ 223\ 563$
Primera excentricidad	$e^2 = 0.006694379908$
Velocidad angular de la tierra	$\omega = 7.292.115 \cdot 10^{-11} \text{ rad/s}$
Constante gravitacional	$\mu = 3.986.004,418 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$

2.301.403 Sistemas PSAD-56 y SAD-69. En las décadas de los años cincuenta y sesenta el siglo XX, para fines geodésicos y cartográficos, se definieron los sistemas de referencia sudamericanos: (i) Datum Provisorio Sudamericano 1956 – PSAD-56, con su vértice de origen en La Canoa, Venezuela, y (ii) Datum Sudamericano 1969 – SAD-69, con origen en Chua, Brasil.

En Chile, el Instituto Geográfico Militar (IGM) implementó el PSAD-56 como sistema de referencia oficial para el territorio nacional, desde el extremo norte, hasta la latitud $43^\circ 30'$ Sur, lo que coincide aproximadamente con el límite entre las regiones X y XI. En el extremo sur de Chile se usa el SAD-69 como referencia cartográfica, como también el datum Hito XVIII en el extremo sur de la XII Región. La cartografía sistemática escala 1/50.000 editada por el IGM está referida a los datums PSAD-56, SAD-69 e Hito XVIII, en las regiones correspondientes. Las cartas escala 1/25.000 están referidas al SAD-69 (véase la Tabla 2.301.403.A).

**TABLA 2.301.403.A
PARAMETROS EMPLEADOS EN LA CARTOGRAFIA IGM**

DATUM	ELIPSOIDE	SEMI-EJE MAYOR (a)	ACHATAMIENTO (f)	ÁREAS DE USO
PSAD-56	Internacional (Hayford)	6.378.388m	1/297	Desde extremo Norte hasta latitud $43^\circ 30'S$
SAD-69	SAD-69 (UGGI-67)	6.378.160m	1/298,25	Desde latitud $43^\circ 30'S$ hasta extremo Sur
Hito XVIII	Internacional (Hayford)	6.378.388m	1/297	Parte de la XII Región

2.301.404 Sistema SIRGAS. La comunidad geodésica de América ha desarrollado el proyecto denominado SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas), con el fin de adoptar para el continente una red de referencia de precisión compatible con las técnicas modernas de posicionamiento. Chile está representado ante el Proyecto SIRGAS por el Instituto Geográfico Militar, responsable de la Red Geodésica Nacional (RGN).

La materialización de SIRGAS se inició en mayo de 1995 y para ello se ocuparon simultáneamente, durante 10 días, 58 estaciones en todo el continente, 8 de ellas en Chile. El resultado de esta campaña de mediciones definió coordenadas referidas a ITRF95.4, con precisión científica. Una segunda campaña de observaciones, en mayo de 2000, incorporó a la primitiva red sudamericana países de Centro y Norteamérica, incrementando a 184 el número de estaciones que conforman el proyecto. Los resultados están referidos al ITRF 2000, época 2000.4.

Bajo este marco de referencia geocéntrico para Chile, el IGM adquirió el compromiso de densificar la red interna y para el año 2008, la RGN cuenta con más de 500 puntos debidamente monumentados en terreno. Los resultados se traducen en coordenadas referidas a ITRF 2000, época 2002.0 y parámetros del elipsoide GRS-80, que en términos prácticos, posee los mismos valores en sus elementos geométricos que el elipsoide WGS-84.

Por ser Chile un país dinámico y expuesto constantemente a eventos sísmicos, la RGN del IGM debe ser controlada y actualizada permanentemente, de manera que se puedan cuantificar los cambios generados por la dinámica de placas que afecta periódicamente al país.

2.301.405 Transformación de Sistemas. Para casos especiales, donde las coordenadas obtenidas bajo las características globales de los sistemas GNSS deben ser contrastadas con productos cartográficos elaborados bajo datum PSAD-56 o SAD-69, se requiere definir parámetros de transformación entre estos y WGS-84.

La transformación geométrica entre sistemas cartesianos está definida rigurosamente por 7 parámetros, correspondiendo a 3 translaciones (TX, TY, TZ), 3 rotaciones (respecto a cada eje cartesiano) y un factor de escala. Debido a que los sistemas PSAD-56 y SAD-69 son por definición paralelos al WGS-84 y su factor de escala igual a 1, para fines prácticos, se usan generalmente sólo las 3 translaciones. El trío de valores correspondientes a la translación se denomina “parámetros de transformación” – PT entre datums, a saber TX, TY y TZ, los que deben ser adicionados, respetando su signo, a las coordenadas geocéntricas (X, Y, Z) del punto considerado (véase Tabla 2.301.405.A).

Considerando los sistemas geodésicos materializados según la región geográfica de que se trate, los programas utilizados y la literatura técnica consultada indican diferentes valores para los PT. Se debe prestar especial atención a los valores escogidos, debido a que no existen valores únicos. Es esencial aplicar los mismos PT a coordenadas dentro de un mismo proyecto, con el fin de evitar deformaciones sistemáticas. Alternativamente se pueden calcular PT particulares con validez para un área específica, sobre la base de puntos comunes con coordenadas conocidas en los dos sistemas geodésicos, o datums, considerados. Se destaca que esta alternativa requiere extremo cuidado, ya que, debido ante imprecisión en las coordenadas, los valores de PT calculados serán igualmente imprecisos.

La Tabla 2.301.405.A muestra a título indicativo los valores de Parámetros de Transformación entre diferentes datums, publicados el año 2008 por el IGM, en el lanzamiento del Marco de Referencia Geodésico (RGN SIRGAS – CHILE).

Por otra parte, dado que SIRGAS utiliza del elipsoide GRS-80, no se requieren parámetros de transformación para pasar de SIRGAS a WGS-84.

Los software de postproceso de mediciones GNSS, pueden tener incorporados diversos valores de PT aplicados según diferentes modelos de transformación de sistemas. Si se requiere mayor precisión que las opciones por defecto, estos programas incluyen opciones para que el usuario imponga valores de PT y modelo de transformación, según su propio criterio.

TABLA 2.301.405.A
VALORES INDICATIVOS DE LOS PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN (*)

Transformación de SIRGAS a PSAD-56			
Lat. Inicial 17° 30'	Lat. Inicial 26° 00'	Lat. Inicial 36° 00'	Lat. Inicial 44° 00'
Lat. Final 26° 00'	Lat. Final 36° 00'	Lat. Final 44° 00'	Lat. Final 56° 00'
TX = 302 m	TX = 328 m	TX = 352 m	TX = 378 m
TY = - 272 m	TY = - 340 m	TY = - 403 m	TY = - 466 m
TZ = 360 m	TZ = 329 m	TZ = 287 m	TZ = 245 m
Transformación de PSAD-56 a SIRGAS			
Lat. Inicial 17° 30'	Lat. Inicial 26° 00'	Lat. Inicial 36° 00'	Lat. Inicial 44° 00'
Lat. Final 26° 00'	Lat. Final 36° 00'	Lat. Final 44° 00'	Lat. Final 56° 00'
TX = - 302 m	TX = - 328 m	TX = - 352 m	TX = - 378 m
TY = 272 m	TY = 340 m	TY = 403 m	TY = 466 m
TZ = - 360 m	TZ = - 329 m	TZ = - 287 m	TZ = - 245 m
Transformación de SIRGAS a SAD-69			
Lat. Inicial 17° 30'	Lat. Inicial 32° 00'	Lat. Inicial 36° 00'	Lat. Inicial 44° 00'
Lat. Final 32° 00'	Lat. Final 36° 00'	Lat. Final 44° 00'	Lat. Final 56° 00'
TX = 59 m	TX = 64 m	TX = 72 m	TX = 79 m
TY = 11 m	TY = 0 m	TY = - 10 m	TY = - 13 m
TZ = 52 m	TZ = 32 m	TZ = 32 m	TZ = 14 m
Transformación de SAD-69 a SIRGAS			
Lat. Inicial 17° 30'	Lat. Inicial 32° 00'	Lat. Inicial 36° 00'	Lat. Inicial 44° 00'
Lat. Final 32° 00'	Lat. Final 36° 00'	Lat. Final 44° 00'	Lat. Final 56° 00'
TX = - 59 m	TX = - 64 m	TX = - 72 m	TX = - 79 m
TY = - 11 m	TY = 0 m	TY = 10 m	TY = 13 m
TZ = - 52 m	TZ = - 32 m	TZ = - 32 m	TZ = - 14 m

(*) La precisión de transformación de datum es de ± 5 m

SECCIÓN 2.302 REFERENCIACIÓN DE ESTUDIOS

2.302.1 ASPECTOS GENERALES

La incorporación de los Sistemas de Navegación Satelital en las diferentes disciplinas dedicadas al estudio de la superficie terrestre, con el creciente conocimiento y la masividad de sus aplicaciones, ha permitido que los procedimientos para referenciar los trabajos topográficos en los Proyectos de Ingeniería Vial se basen en los Sistemas GNSS.

Planimétricamente, los trabajos topográficos para el estudio de obras viales quedarán referidos a SIRGAS, mediante bases con coordenadas geodésicas determinadas con dispositivos GNSS de alta precisión, directamente a través de los vértices geodésicos del IGM, o mediante la red que disponen otras instituciones como el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), el Ministerio de Bienes Nacionales y la propia Dirección de Vialidad. En algunos sectores del territorio nacional, éstas y otras instituciones cuentan además con estaciones pertenecientes a Redes Activas, pudiendo ser utilizadas como referencia para proyectos viales con las correspondientes autorizaciones y certificaciones.

Altimétricamente, los estudios serán referidos al nivel medio del mar, a través de vértices SHOA, pilares de nivelación del IGM o para casos especiales, a determinar por la Dirección de Vialidad a través de modelos geoidales matemáticos.

2.302.2 REFERENCIACIÓN PLANIMÉTRICA

2.302.201 Red de Referencia Principal (RRP). Se construirá un conjunto de monolitos cubriendo toda la longitud del proyecto, los que se emplazarán definiendo Líneas Bases GNSS (LBG), formadas por dos monolitos intervisibles entre sí, ubicados en sectores de "cielo despejado" que aseguren buena cobertura de satélites, a una distancia entre ellos comprendida entre 400 m y 1.000 m, privilegiando las distancias mayores en la medida que el terreno permita intervisibilidad.

En proyectos de longitud menor que 3 km, bastará con establecer una única línea base sobre la que se apoyarán poligonales de transporte coordenado.

Para obras especiales, como pueden ser túneles y puentes de gran longitud, se requerirán LBG en los extremos del proyecto. Entre ellas se debe verificar un cierre de precisión de al menos 1:40.000.

Para proyectos de longitudes mayores que 3 km, se implementarán LBG consecutivas ubicadas a un máximo de 5 km de distancia recorrida de acuerdo con la ruta de estudio y siempre materializando LBG en los extremos del proyecto.

La monumentación de las LBG corresponderá a lo señalado en el Numeral 2.303.402. Se debe cuidar que la ubicación en terreno se haga en lugares que aseguren su permanencia, eligiendo emplazamientos firmes, evitando laderas expuestas a deslizamientos o rodados y lugares donde se expongan a daños causados por el tránsito de vehículos o personas; también se debe asegurar que el emplazamiento permita la instalación cómoda de trípodes para ejecutar trabajos con estaciones totales. El emplazamiento debe ser estudiado por el jefe del equipo de topografía y expuesto ante la inspección Fiscal, previo a la materialización en terreno.

En el caso de estudios de factibilidad, la Dirección de Vialidad podrá definir una red de referencia de características distintas a las señaladas, considerando que estos estudios se basarán en levantamientos provenientes de aerofotogrametría, imágenes satelitales o mediciones LIDAR, donde la ubicación y densidad de puntos de control terrestre se definirá de acuerdo con los requerimientos propios para la generación de estos productos.

2.302.202 Método de Medición de RRP. El método de trabajo para el posicionamiento de la red de referencia principal corresponderá al modo estático, con observación de fase de la onda portadora y

determinando soluciones fijas por doble diferencia en postproceso. Se usarán instrumentos receptores GNSS de alta precisión, que permitan errores de hasta 5mm + 1ppm.

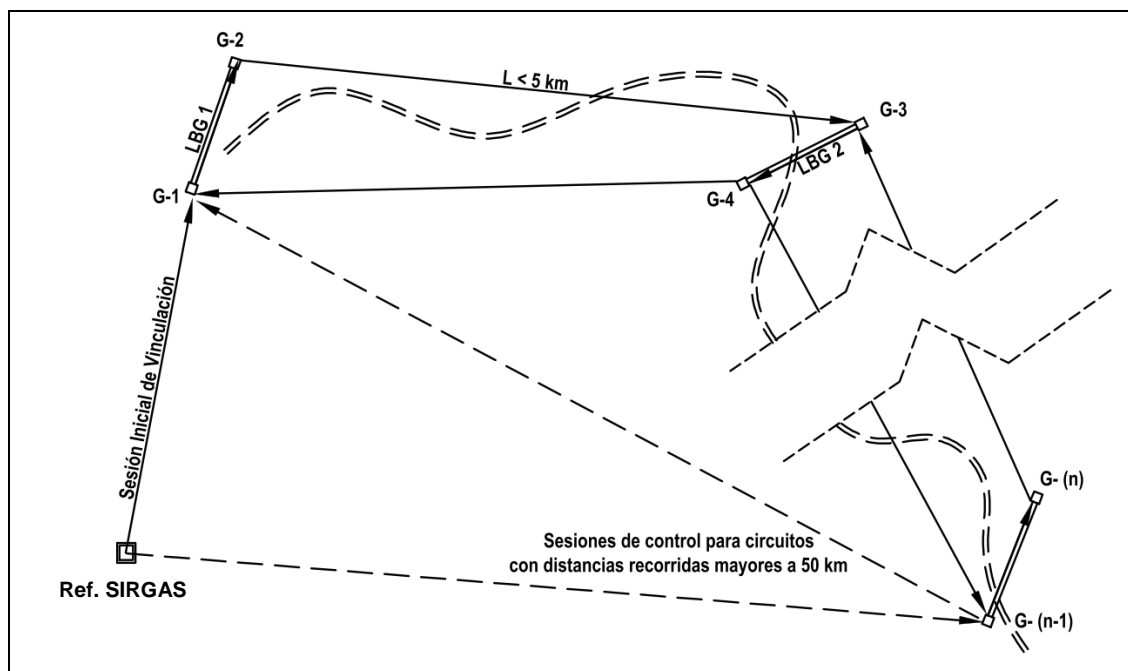
Las mediciones de la RRP se realizarán con observaciones independientes en cada línea, formando cuadriláteros sucesivos entre cada par de LBG, resolviendo ambigüedades enteras para cada vector del circuito. El tiempo de medición de cada línea depende de su longitud, pero también de las condiciones que el operador aprecie en cuanto a constelación disponible, con lo que se podrá aumentar el valor que se indica en la Tabla 2.302.2.A. Considerando los valores de sus coordenadas planas de acuerdo con el plano de proyección determinado para el estudio, el cierre de cada cuadrilátero responderá a una precisión de 1:30.000. Se puede considerar mediciones independientes redundantes en las dos diagonales o una de ellas.

Para vincular la RRP a SIRGAS, en el caso de proyectos de longitud menor que 50 km, bastará con determinar un único vector desde el origen SIRGAS hasta el monumento más cercano de la RRP a partir del que se calculará y controlará toda la red. Este será medido con al menos dos sesiones independientes. En caso contrario, se determinará una poligonal cerrada formada por el Vértice IGM o SHOA, los extremos de la RRP y LBG intermedias separadas cada 50 km aproximadamente. Esta poligonal tendrá una precisión de cierre de 1:40.000 y servirá de control para las coordenadas obtenidas mediante los cuadriláteros consecutivos (véase la Figura 2.302.202.A).

TABLA 2.302.2.A
TIEMPOS DE MEDICIÓN GNSS DE ACUERDO CON LA FRECUENCIA

Rango Distancia (km)	L1	L1/L2
0 - 2	20 min	20 min
2 - 10	30 min	30 min
10 - 30	1 h	40 min
30 - 70	-	1 h
70 - 150	-	1,5 h
> 150	-	2 h

FIGURA 2.302.202.A
ESQUEMA DE REFERENCIACIÓN PLANIMÉTRICA



2.302.203 Sistema de Proyección. La representación de la configuración de una zona del globo terrestre sobre una superficie plana, carta o plano de escala reducida, requiere un sistema de proyección con reglas precisas y claras, que considere la curvatura general del área por ser representada y, además, la variable que dice relación con las diferentes alturas a que se encuentran los puntos por ser representados, respecto de una superficie de referencia.

En Chile, el Instituto Geográfico Militar (IGM), entre otros, utiliza la Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM). Las proyecciones Transversal Mercator (TM), en sus diferentes versiones, son el sistema más utilizado mundialmente.

2.302.203(1) Proyección Universal Transversal Mercator (UTM). En Chile, por su especial configuración, de territorio angosto orientado básicamente en sentido norte-sur, se ha adoptado para la representación cartográfica el Sistema de Proyección Universal Transversal de Mercator - UTM, especialmente adecuado a estas condiciones. Básicamente este sistema proyecta el territorio sobre el manto de un cilindro, cuyo eje es normal al eje de rotación de la tierra y de un radio tal, que corta al elipsoide según dos líneas separadas $1^{\circ} 37'$ (~ 180 km) respecto de un cierto meridiano central. Por convención internacional, la superficie de proyección sobre el cilindro se extiende más allá de dichos meridianos hasta cubrir 6° de longitud lo que determina 60 husos de proyección para todo el planeta, correspondiéndole a Chile continental los husos 18 y 19 con sus meridianos centrales en $75^{\circ}W$ y $69^{\circ}W$ respectivamente (véase Lámina 2.302.203.A).

No obstante siendo la proyección UTM un buen sistema, su empleo introduce ciertas deformaciones. En efecto, como puede observarse en la Lámina 2.302.203.A, al interior de los puntos de corte entre ambas superficies ($K=1$), una distancia medida por la superficie del elipsoide, es decir siguiendo la curvatura teórica de la tierra, se proyecta disminuida en magnitud sobre la superficie del cilindro, llegando el factor de reducción a 0,9996 (4 por diez mil) o 1:2.500 en el meridiano central, en tanto que para la zona externa a los puntos de corte, las distancias se aumentan al proyectarlas sobre el cilindro, llegando el factor de incremento a casi 1 por mil. Es decir del orden de 1 metro por kilómetro en los bordes del huso.

Por otra parte, en la medida que se estén representando terrenos que posean una cota mayor que la del NMM (nivel de referencia altimétrica del sistema UTM), las distancias que se obtienen en el plano entre dos puntos cualesquiera son menores que las que se medirán en terreno, reducidas a la horizontal. Este hecho se hace más evidente cuanto mayor sea la altura (cota media al plano de referencia) y la distancia entre los puntos considerados, siendo esta diferencia de mayor magnitud que la expuesta en el párrafo anterior.

Para la representación del territorio en cartas de pequeña escala (1:25.000 y menores), el efecto de estas discrepancias no es demasiado significativo, pues la resolución de dichas cartas no permite apreciarlas gráficamente. No ocurre así en los proyectos de ingeniería, que se elaborarán normalmente en escalas mayores (1:2000; 1:1.000; 1:500), situación en que las discrepancias se hacen evidentes y resultan incompatibles con las precisiones que los proyectos requieren, tanto gráficas como numéricas.

La cuadrícula ortogonal UTM está formada por las paralelas a las proyecciones del Ecuador y del Meridiano Central (MC). En el cálculo de coordenadas planas UTM se debe definir el datum de referencia horizontal (véase la Tabla 2.302.2.A, Parámetros del Sistema UTM).

**TABLA 2.302.2.A
 PARÁMETROS DEL SISTEMA UTM**

Sistema	UTM
Latitud de origen	0°
Factor de escala (k_0)	0,9996
Ancho de huso	6°
Falso Este (FE)	500.000 m
Falso Norte (FN)	10.000.000 m (*)

(*) en el hemisferio norte FN = 0

2.302.203(2) Proyección Local Transversal Mercator (LTM). En áreas menores con aplicación a proyectos viales, puede usarse una proyección TM genérica, imponiéndose parámetros más restrictivos que la UTM con lo que se resuelven los problemas planteados en el Numeral 2.302.203(1). Una proyección TM de carácter local, denominada TM Local o LTM, tiene por objeto representar una parte reducida de la superficie terrestre, minimizando las diferencias de los ángulos y distancias medidas en terreno y las cantidades obtenidas a través del sistema plano LTM.

El sistema LTM logra una cobertura que se extiende sólo 1/2 grado a cada lado de un cierto meridiano central (MC_L) (véase la Lámina 2.302.203.A). Con esto resulta que para 1° (aprox 52,5 km a cada lado del meridiano central en el extremo norte de Chile), se tienen precisiones en el borde del huso del orden de 1:33.000, y si la extensión utilizada no supera los 35 km a cada lado del meridiano central, las precisiones son del orden de 1:100.000.

Para definir la Proyección LTM, se imponen parámetros con los siguientes valores:

- Meridiano Central Local, definido con valor múltiplo de ¼ de grado meridiano.
- Referencia respecto del Ecuador, Falso Norte Local $FN_L = 7.000.000$ m
- Referencia respecto del MC_L , Falso Este Local $FE_L = 200.000$ m.

Ahora bien, para proyectos de mucha longitud en sentido este-oeste, es posible que se deban definir dos y hasta tres husos de 1°, con sus respectivas fronteras, donde se ubicarán LBG, a las que se les calculará sus coordenadas bajo ambos husos, obteniéndose una especie de “ecuaciones de coordenadas” para los puntos comunes.

2.302.203(3) Definición de Planos Topográficos Locales (PTL). Una forma práctica de usar la proyección LTM como un PTL georreferenciado es usar como factor de escala en el MC_L , el factor de escala debido a la altura del PTL (K_h), es decir, se debe ubicar el plano de proyección LTM a la altura del PTL. Con la definición de planos locales se resuelve el problema de reducción de distancias que se deriva de la diferencia de cotas de los distintos sectores de un proyecto, dentro de una precisión predefinida.

Por ejemplo, para mantener una precisión planimétrica en términos de cálculo numérico de 1:30.000, que equivale a 33 mm por kilómetro, se requiere definir un plano de referencia altimétrica tal, que las alturas extremas de terreno del sector asociado a dicho plano difieran de éste como máximo en ± 250 m.

En definitiva, lo anterior significa que altimétricamente se trabajará con cotas snmm, pero dejando constancia entre qué kilómetros del proyecto la proyección está referida a tal o cual plano PTL. Para precisiones de 1:30.000 se definirán planos de referencia cada 500 m de variación de cota.

Con criterios de ordenamiento, se seleccionará la altura del PTL como un múltiplo de 100 dentro de la gama de alturas que le corresponda al proyecto.

Se calculará la corrección debida a la altura del PTL, como un factor de escala específico K, el que queda dado por:

$$K_h = \frac{R}{R + h_{PTL}}$$

- K_h : Factor de escala por efecto de la altura, a la cota h_{PTL}
 R : Radio medio terrestre (6.378.000 m)
 h_{PTL} : Altura del Plano PTL

Aplicando las definiciones de la proyección LTM e incorporando el factor de escala K_h , se logra la definición de un sistema PTL georreferenciado, individualizado por la altura h_{PTL} .

En definitiva, para transformar coordenadas geodésicas a LTM, se utilizan las mismas rutinas computacionales empleadas en los cálculos UTM, salvo que los parámetros constantes dentro de ellas se reemplazan por los parámetros LTM y PTL que en resumen se indican en la Tabla 2.302.2.B, Parámetros del Sistema LTM con Altura PTL.

TABLA 2.302.2.B
PARÁMETROS DEL SISTEMA LTM CON ALTURA PTL

Sistema	LTM - PTL
Ancho de huso	1°
Meridiano Central Local (MC _L)	Longitud geodésica definida en 0,25°
Factor de escala (K _h)	(R + h _{PTL}) / R
Falso Este Local (FE _L)	200.000 m
Falso Norte Local (FN _L)	7.000.000 m

La Dirección de Vialidad requerirá, de los dos Sistemas de Proyección Plana, los LTM para los proyectos de ingeniería y los UTM, para incorporar los datos de proyecto a su Sistema de Información Geográfica SIG; también en casos especiales de proyectos de Vialidad Urbana, donde éstos deben relacionarse e interactuar con distintos servicios como agua potable, SERVIU y otros, los que generalmente utilizan otros sistemas de referencia para cuales son adecuadas las proyecciones UTM.

2.302.203(4) Relación de Distancias en Terreno y PTL. Para calcular la distancia horizontal media entre dos puntos de terreno, a partir de aquélla en el plano PTL, se debe aplicar la corrección Δs dada por:

$$\Delta s = \frac{C_M \cdot D_{PTL}}{R}$$

y obtener así,

$$DHm = D_{PTL} + \Delta s$$

$$C_M : \text{cota media de la línea base respecto al PTL} : C_M = \frac{H_1 + H_2}{2} - h_{PTL}$$

DHm : distancia media horizontal en terreno

DP_{PTL} : distancia plana de PTL

R : radio medio = 6.378.000 m

La magnitud DHm podrá ser comparada con la medida distanciométrica de cada una de las líneas base, a fin de verificar simultáneamente la calidad de la determinación GNSS y el estado del equipo distanciométrico.

Figura 1 - Cilindro TM

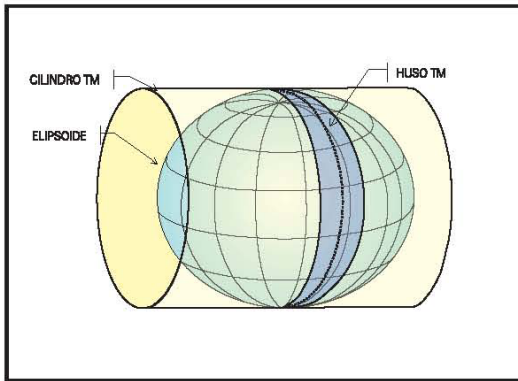


Figura 2 - Husos UTM en Chile

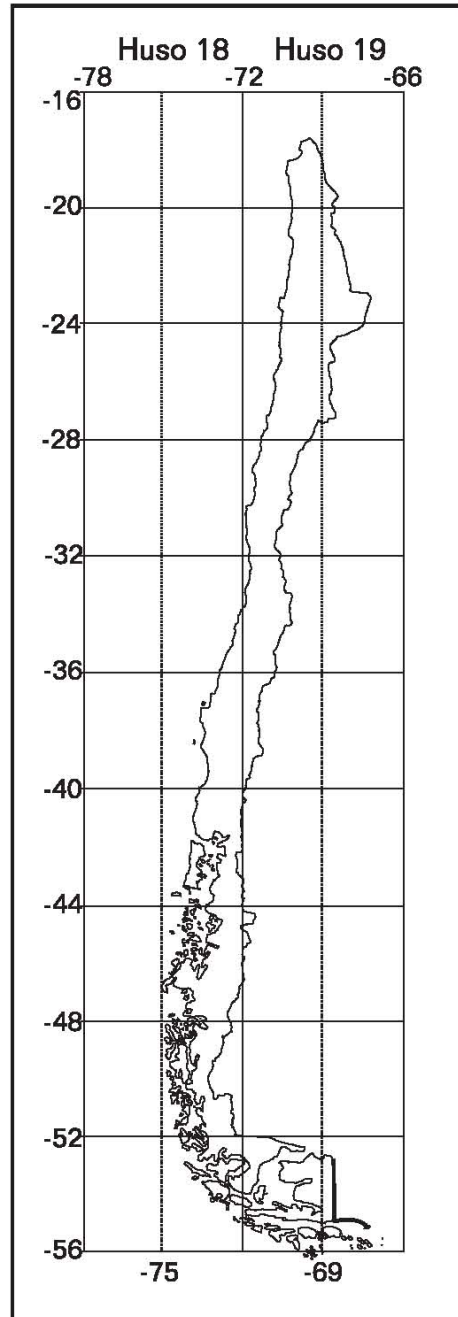


Figura 3 - Proyección UTM

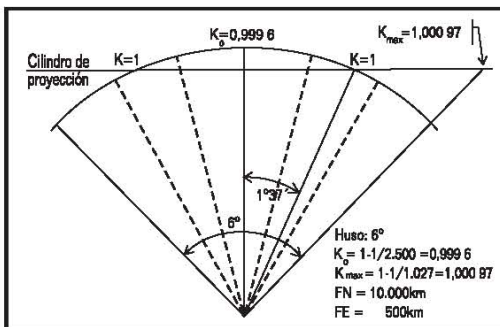
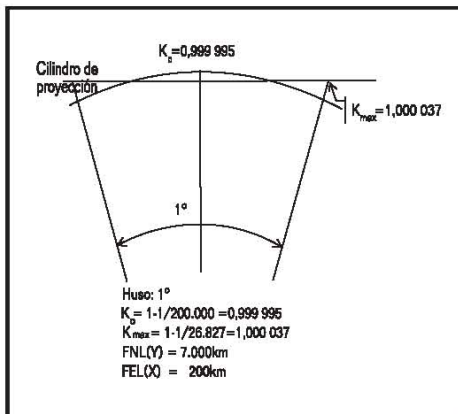
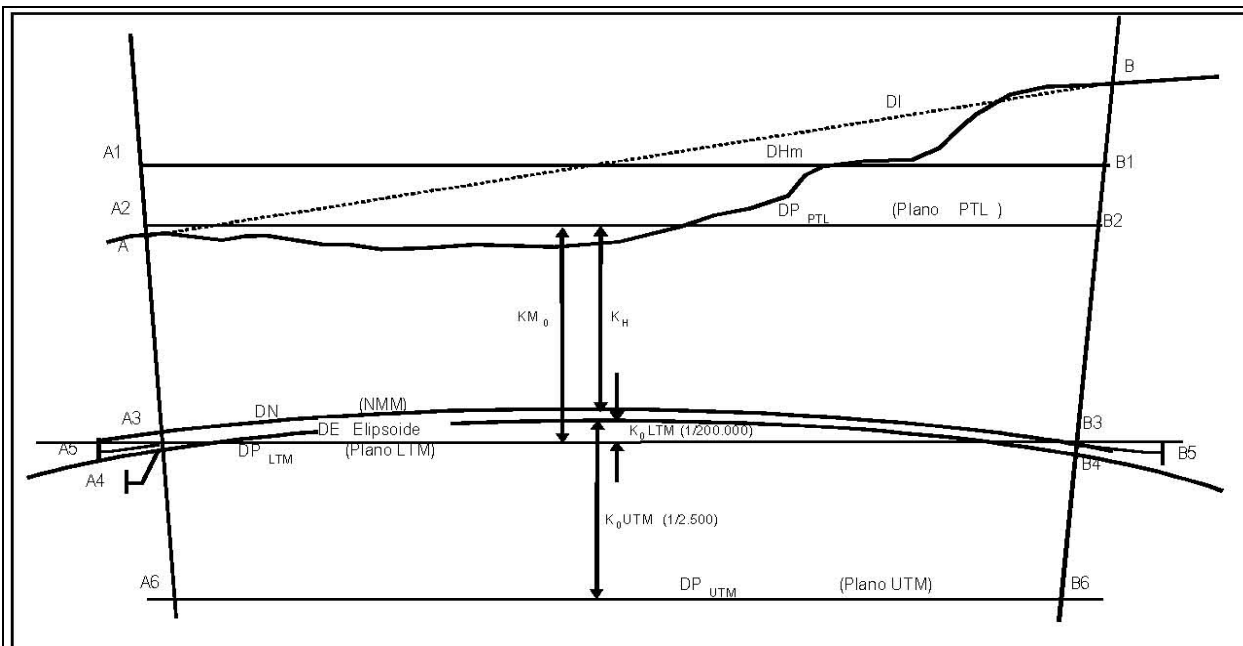


Figura 4 - Proyección TM Local





Distancias:

- A-B : inclinada (DI)
- A1-B1: horizontal media (DHm)
- A2-B2: proyectada al PTL (DPPTL)
- A3-B3: al NMM (DN)
- A4-B4: al elipsoide (DE) \cong DN
- A5-B5: proyectada al plano LTM (DPLTM)
- A6-B6: proyectada al plano UTM (DPUTM)

Factores de Escala:

- $K_o(LTM) = 0,999995$
- $K_o(UTM) = 0,9996$
- K_H : factor de escala debido a la altura del PTL
- KM_o : factor de escala modificado (TM a PTL)
- $KM_o = K_H / K_o(LTM)$
- $DP_{PTL} = K_H DN \cong k_H DE$

VALORES DE LOS FACTORES DE ESCALA K_H EN EL MCL DEBIDO A LA ALTURA

Altura del PTL respecto al NMM	Factor de escala K_H debido a la altura	Altura del PTL respecto al NMM	Factor de escala K_H debido a la altura
0	1,00000000	2100	1,000329257
100	1,00001568	2200	1,000344936
200	1,00003136	2300	1,000360615
300	1,00004704	2400	1,000376294
400	1,00006272	2500	1,000391972
500	1,00007839	2600	1,000407651
600	1,00009407	2700	1,00042333
700	1,00010975	2800	1,000439009
800	1,00012543	2900	1,000454688
900	1,00014111	3000	1,000470367
1000	1,00015679	3100	1,000486046
1100	1,00017247	3200	1,000501725
1200	1,00018815	3300	1,000517404
1300	1,00020383	3400	1,000533082
1400	1,00021951	3500	1,000548761
1500	1,00023518	3600	1,00056444
1600	1,00025086	3700	1,000580119
1700	1,00026654	3800	1,000595798
1800	1,00028222	3900	1,000611477
1900	1,00029790	4000	1,000627156
2000	1,00031358		

Figura 1 – Corrección de Distancia Horizontal (en metros)

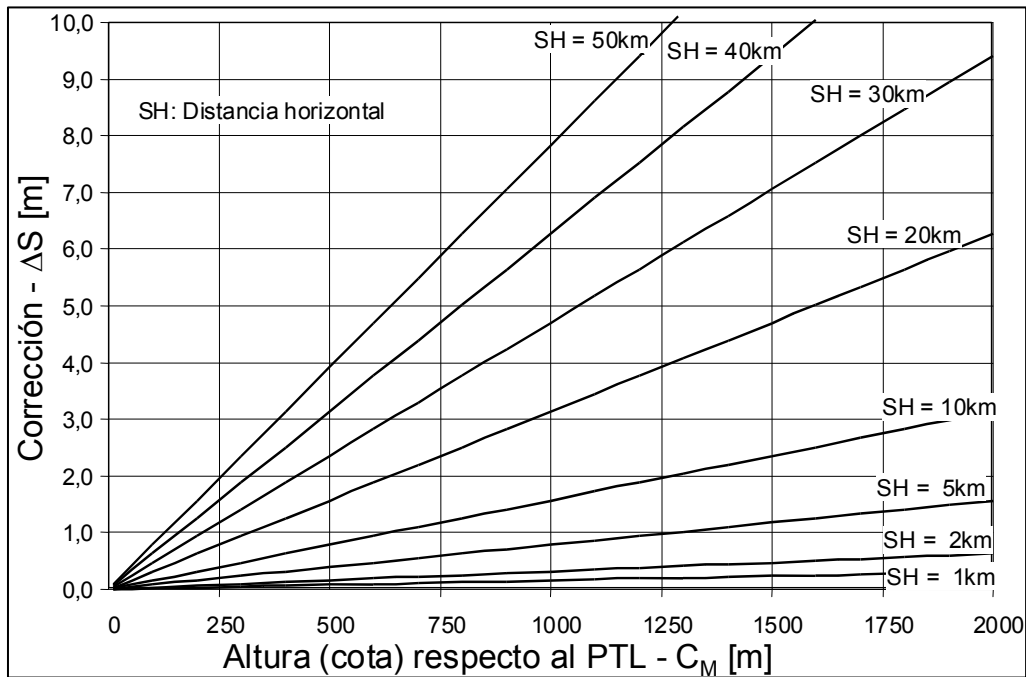
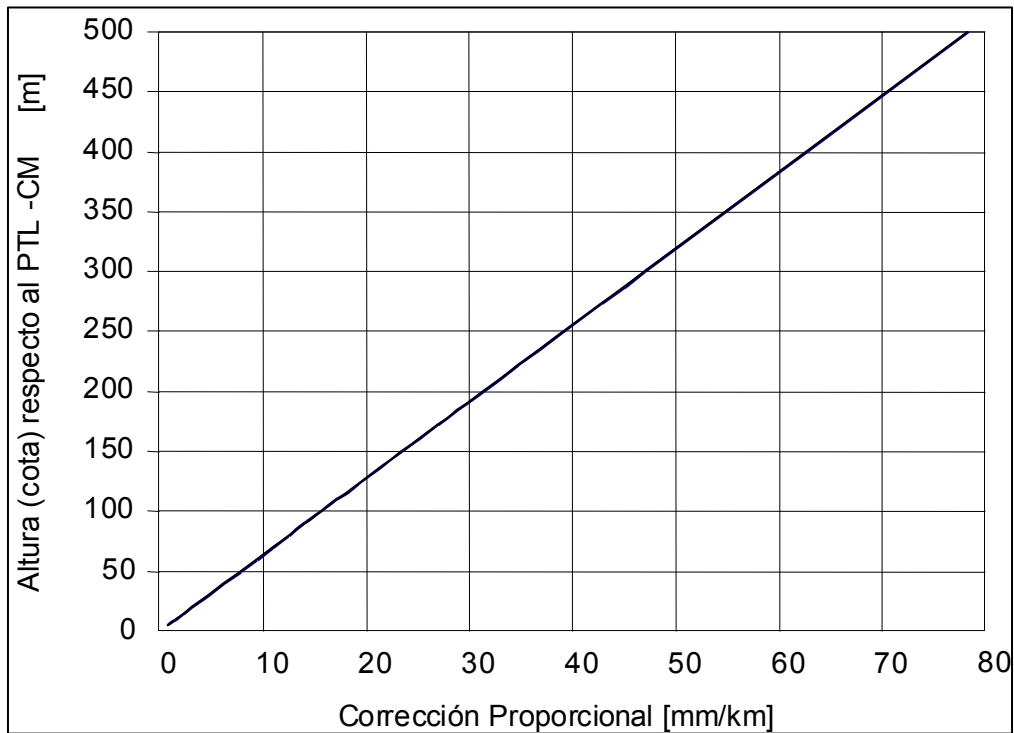


Figura 2 – Corrección de Distancia Horizontal (en mm/km)



2.302.204 Resumen de Procedimiento para la Referenciación Planimétrica. Un trabajo topográfico tradicional consta en general de dos fases: toma de datos en terreno y cálculo de coordenadas. En este caso, por tratarse de mediciones GNSS, el procedimiento consiste en la grabación de datos en la memoria del receptor y posterior procesamiento a través de un programa específico. En la primera etapa los datos se acumulan, generalmente en la memoria interna de los receptores, operando en tiempos comunes y, posteriormente, se transfieren a un PC en forma de archivos, los que serán sometidos a procesos de análisis y obtención de resultados.

El procedimiento para obtener coordenadas de referencia, se puede indicar de la siguiente forma:

- a) Construcción de la RRP. Con el análisis de cartas más la observación del terreno, se debe determinar la ubicación de todos los puntos de la red, cumpliendo con las condiciones de emplazamiento y materialidad indicadas.
- b) Planificación de mediciones. Determinar los circuitos de medición con figuras cerradas, y programar días y horarios de cada medición de acuerdo con las distancias de líneas y condiciones esperadas de la constelación de satélites.
- c) Medición. Chequear la constelación de satélites disponibles (N° Satélites y PDOP) y proceder a la observación y registro de datos.
- d) Sistema de coordenadas. Establecer el sistema de coordenadas planas LTM-PTL con parámetros de transformación definidos por el usuario.
- e) Procesamiento de las observaciones. Procesar los datos grabados y calcular las soluciones para cada línea o punto observado.
- f) Precisiones. Verificación de la calidad de cierre de circuitos cerrados, en relación con las tolerancias admitidas. En caso de no cumplir con las tolerancias, se debe repetir el proceso de mediciones.
- g) Ajuste. Ajustar las figuras cerradas por el Método de Mínimos Cuadrados y calcular coordenadas finales para cada estación.
- h) Exportación. Convertir datos procesados, en formatos RINEX, formatos gráficos y tabulados, compatibles con las etapas de diseño siguientes y de acuerdo con las indicaciones dadas para presentar los informes.

2.302.3 REFERENCIACIÓN ALTIMÉTRICA

Altimétricamente, los estudios de carreteras y caminos serán referidos al NMM, mediante la vinculación de la RRP del proyecto a pilares de nivelación materializados por el IGM o a vértices SHOA. Los certificados correspondientes a estas instituciones se anexarán a los documentos que componen el estudio.

Para casos especiales, donde no se disponga en la zona de estudio alguna de estas referencias, la Dirección de Vialidad podrá aceptar que la altura respecto del nivel medio del mar se calcule por estimación del geode directamente mediante modelos matemáticos de uso general.

2.302.301 Estimación del Geode. La relación entre la superficie elipsoidal y la superficie del geode está dada por la "ondulación geoidal", designada "N". Ella representa en un punto la altura del geode respecto del elipsoide. El conocimiento de este valor es necesario para la reducción de alturas elipsoidales a alturas sobre el NMM, de acuerdo con la expresión $H = h - N$. Donde "H" es la altura sobre el geode y "h" la altura sobre el elipsoide.

Para calcular la ondulación geoidal específica en la zona de proyecto, se requiere de modelos matemáticos del geode. Los modelos existentes están presentes en algunos programas computacionales de procesamiento GNSS o se puede recurrir externamente a modelos continentales o incluso, a modelos globales como el EGM08 (Earth Gravitational Model 2008) dependiente de la NGA (National Geospatial-Intelligence Agency).

2.302.302 Red de Puntos de Referencia Altimétrica. En los proyectos de ingeniería vial se deberá definir una Red de Puntos de Referencia Altimétrica, llamados "PR", que servirá para apoyar las nivelaciones y los levantamientos en las etapas de replanteo de diseño y ejecución de obras.

Los Puntos de Referencia, se materializarán de la forma descrita en el numeral 2.303.402 y se emplazarán a no más de 500 m de distancia recorrida entre ellos. En caso que se realice un circuito de nivelación entre dos Prs consecutivos en un terreno con irregularidades y desniveles importantes, donde la sumatoria de los desniveles parciales en valor absoluto sean mayores o iguales a 45 m, se deberá considerar la materialización de un PR adicional. Lo anterior con la finalidad de obtener los valores dentro de las tolerancias establecidas para nivelaciones geométricas cerradas entre puntos consecutivos. Se entenderá por terrenos con desniveles importantes, aquellos en que el desnivel sea de al menos 1,5 m, en una distancia horizontal aproximada de hasta 15 m.

La cota del punto de inicio de la red se obtendrá directamente desde puntos SHOA o IGM, mediante nivelación geométrica, cuando estos se encuentren en el entorno directo al estudio, o bien, mediante traspaso de cota con mediciones GNSS estáticas, de precisión 1 cm + 2 ppm y análisis de la ondulación geoidal lograda al aplicar algún modelo matemático.

La Red de PR se medirá a través de nivelaciones geométricas cerradas entre puntos consecutivos, con una precisión de $T = 10 \times K^{0,5}$, donde "K" es la distancia recorrida en el circuito de cierre, expresada en kilómetros y "T" la precisión tolerable expresada en milímetros. La nivelación incluirá todas las LBG en al menos uno de sus puntos, con lo que la zona de estudio tendrá una única referencia altimétrica.

Las mediciones se pueden realizar utilizando niveles automáticos con lectura de mira graduada al centímetro y estimación a 1 mm o 2 mm, o bien, con niveles digitales y mira de codificación de barra. El procedimiento de campo consiste en apoyar lecturas hacia atrás y adelante sobre puntos de cambio que tengan buena estabilidad. Para esto pueden usarse placas metálicas de apoyo (sapos) y las distancias de lectura no deben exceder 50 m.

En el caso de estudios de factibilidad, la Dirección de Vialidad podrá prescindir de esta red de referencia y solamente podrá considerar la ondulación geoidal modelada para determinar las cotas de proyecto, calculándose sobre los puntos de referencia horizontal que se hayan definido.

2.302.303 Registro, Cálculo y Compensación de la Red de PR. Conforme al procedimiento descrito, se requiere registrar lecturas hacia atrás y adelante, para determinar desniveles y cotas a partir del punto de inicio de la red con cota conocida. Para cada par de PR consecutivos se debe elaborar un registro de acuerdo con la Figura 1 de la Lámina 2.903.3.I.

2.302.4 FORMATO DE ENTREGA DE REDES DE REFERENCIA

Los cuadros y fichas que se mencionan a continuación estandarizan la forma de presentar la información resultante de referenciación planimétrica y altimétrica de los estudios.

2.302.401 Datos de Red Planimétrica. Asociado a la elaboración de una RRP, se debe entregar:

- a) Certificado y monografía de vértice de vinculación SIRGAS, emitido por el IGM o SHOA, según corresponda.
- b) Ficha de Referenciación de Puntos GNSS, de acuerdo con Lámina 2.903.3.F.
- c) Cuadro de Coordenadas de la RRP, de acuerdo con Lámina 2.903.3.G.
- d) Mediciones de líneas bases, para cada circuito cerrado entre LBG consecutivas, empleando formulario de Lámina 2.903.3.H.
- e) Representación gráfica general de la RRP. A manera de esquema, similar al caso anterior, se debe diagramar el conjunto de líneas bases de la RRP, en una lámina formato A3 sin escala. Se deben incluir anotaciones de magnitudes e identificación de elementos.

2.302.402 Datos de Red Altimétrica

- a) El cálculo de cotas niveladas geoméricamente de PR se registrará de acuerdo al formulario de la Figura 1 de la Lámina 2.903.3.I, para cada uno de los circuitos de nivelación cerrada.
- b) Cuadro de Cotas de PR, de acuerdo con el Formulario de la Fig. 2 de la Lámina 2.903.3.I.
- c) Fichas de monografías de PR, para cada uno de los puntos de la red de referencia altimétrica, de acuerdo con el formulario de la Figura 3 de la Lámina 2.903.3.I.

SECCIÓN 2.303 SISTEMA DE TRANSPORTE DE COORDENADAS (STC)

2.303.1 ASPECTOS GENERALES

2.303.101 Objetivos y Alcance. El Sistema de Transporte de Coordenadas (STC) servirá para densificar la Red de Referencia Principal (RRP) y vincular a ella los levantamientos topográficos a diferentes escalas, replanteo de los diferentes elementos proyectados sobre el terreno y actividades de control topográfico que se desarrollen a lo largo de un proyecto vial.

Por la sencillez de cálculo y fácil adaptación al relieve en que se emplaza, el procedimiento tradicional para transportar coordenadas a lo largo de un proyecto es la medición de poligonales topográficas, mediante instrumental electro óptico, en particular, estaciones totales de las características descritas en la Tabla 2.310.302.C, Características Referenciales de Estaciones Totales, o georreceptores GNSS, de las características señaladas en la Tabla 2.310.302.B, Clasificación de Posicionamiento GNSS, para esta aplicación.

Antes de la ejecución de los trabajos, el Proyectista presentará a la Inspección Fiscal la planificación de terreno, donde se expongan las condiciones en que se ubicarán y medirán los vértices del STC.

El éxito de un trabajo de poligonación depende de la adecuada planificación previa de los trabajos, la que debe considerar las características superficiales del terreno (relieve, cubierta natural, plantaciones y obras construidas sobre él), instrumental disponible, calidad y experiencia del personal integrante de la brigada topográfica.

2.303.102 Clasificación de Poligonales. Las poligonales se clasifican en dos tipos a los efectos del desarrollo de proyectos viales: (i) poligonal principal, que permite densificar la RRP entre sus líneas bases GNSS, y (ii) poligonales auxiliares, que permiten llevar el sistema coordinado a sitios de mayor complejidad topográfica, iniciándose y controlándose en vértices de la poligonal principal.

2.303.103 Forma más Conveniente de la Poligonal. Los vértices de una poligonal deben ser elegidos en forma tal, que todos los lados del polígono resulten de similar longitud. Los errores en medidas angulares crecen en función inversa de la distancia entre vértices y los errores porcentuales de la distancia son mayores para los lados de menor longitud, por lo que es necesario evitar lados cortos.

Las poligonales deben ser cerradas, ya sea que se vuelva al vértice de partida, o bien que se inicie en un vértice con coordenadas y azimut conocidos y se cierre en otro vértice de coordenadas también conocidas.

Cuando se trate de trabajos de poligonación restringidos por condiciones impuestas por edificaciones o urbanizaciones, como sucede en trabajos de Vialidad Urbana, se deben tomar en cuenta las consideraciones ya mencionadas respecto de la forma más conveniente de la poligonal. Si se desea construir una poligonal restringida por las calles de una ciudad, debe emplearse una que se inicie en una línea base y se cierre sobre otra línea base o bien retornar por otra calle adyacente para dar superficie a la poligonal evitando retornar por la misma dirección.

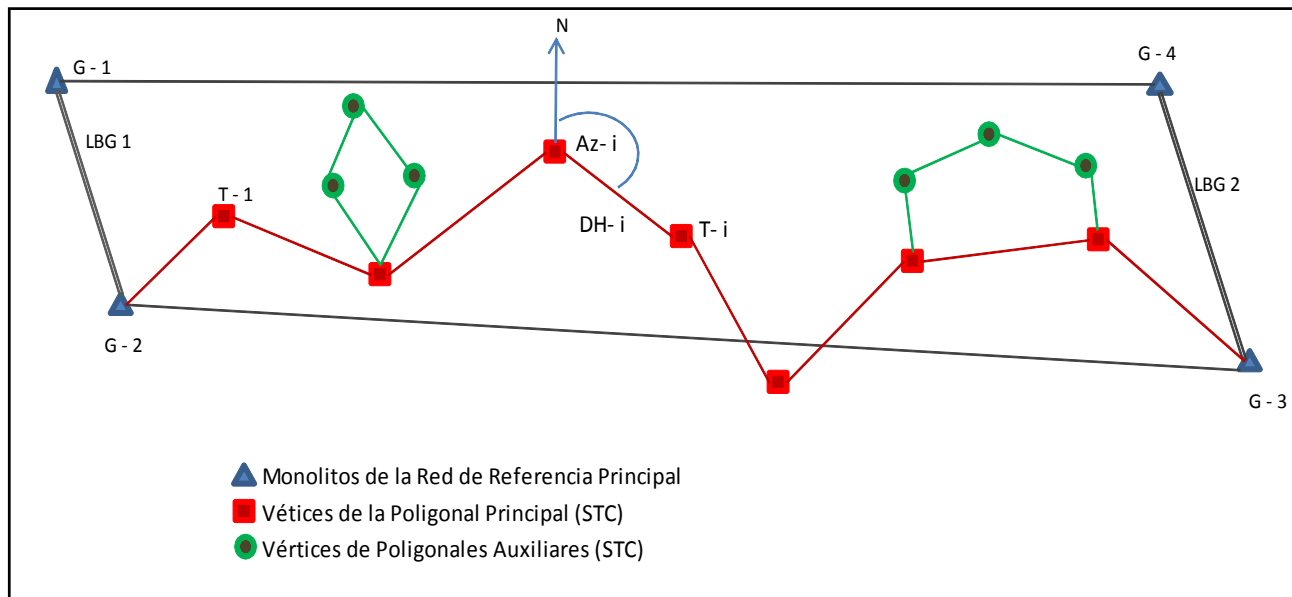
Los vértices de la poligonal se pueden establecer en las configuraciones que se ilustran en la Figura 2.303.103.A.

2.303.103(1) Poligonales Principales. Para establecer la poligonal principal, se instalará un conjunto de monolitos, cubriendo toda la longitud del proyecto, los que se posicionarán permitiendo perfecta intervisibilidad entre monolitos consecutivos, evitando que las visuales se afecten con elementos que interfieran en las mediciones.

La poligonal principal se definirá como un circuito cerrado entre líneas bases consecutivas de la RRP. En proyectos de longitud menores que 3 km, se podrá cerrar sobre la misma línea base de inicio.

La distancia entre los vértices de la poligonal, podrá estar comprendida entre 250 m, como mínimo y 1.000 m como máximo, dependiendo y ajustándose a las características que presente el terreno.

FIGURA 2.303.103.A
REPRESENTACIÓN DE POLIGONALES DEL STC



El cierre del circuito responderá a una precisión de a lo menos 1:20.000, considerando los valores de sus coordenadas planas correspondientes a la proyección local del estudio.

Es recomendable que el número de lados no supere los 12 por cada 5 km de longitud, para asegurar precisiones de 1:20.000.

2.303.103(2) Poligonales Auxiliares. Las poligonales auxiliares permitirán densificar el STC en sitios de dificultad mayor en el alcance de visuales y acceso para la materialización de sus vértices y se controlará como circuito cerrado entre los monolitos de la poligonal principal.

El cierre del circuito responderá a una precisión de a lo menos 1:15.000, considerando los valores de sus coordenadas planas correspondientes a la proyección local del Estudio. En zonas urbanas, se podrá establecer estas poligonales con precisiones de cierre de 1:10.000.

Es recomendable que la distancia entre los vértices de la poligonal auxiliar sea mayor que 150 m. y el número de lados no supere 6 por cada 1 km de longitud, para asegurar las precisiones señaladas. En casos de dificultad de visuales o de configuración de la figura, se tendrá que imponer lados de menor longitud, para asegurar la densificación, pero sin perder de vista la precisión final requerida.

En el caso de usar estaciones totales, los ángulos y distancias horizontales se medirán con 3 reiteraciones.

El valor de cotas de los vértices de las poligonales auxiliares podrá ser determinado aplicando directamente el desnivel logrado en su medición y siempre referenciado a la red de referencia altimétrica del estudio. Independiente del instrumental utilizado, el desnivel se determina por la expresión $dV = (Dincl^2 + Dhorz^2)^{0,5}$, y en el caso de mediciones con estaciones totales, se debe medir el desnivel con el promedio de las mediciones en 3 posiciones de altura de prisma diferentes.

2.303.104 Formato de Entrega de Datos. Se deben entregar los siguientes datos del sistema de transporte de coordenadas:

- Ficha de ubicación de vértices de poligonales, de acuerdo con el formulario de la Figura 2.303.104.A, Formulario de Ubicación de Vértices del STC.
- Cuadro de coordenadas del STC, de acuerdo con el formulario de la Figura 2.303.104.B, Formulario de Coordenadas de Vértices del STC.

FIGURA 2.303.104.A
FORMULARIO DE UBICACIÓN DE VÉRTICES DEL STC

Identificación del Vértice Nombre: _____ Dm. Ref.: _____ Fecha: _____
 Pertenece a Poligonal N°: _____ Tipo de poligonal: (Ppal / Aux)

Coordenadas

<p align="center">PTL</p> <p>MCL: <i>gg° mm'</i> Kptl: <i>1,1234567890</i> NL: 1.234.567,123 m EL: 123.456,123 m</p> <p>Cota (nivelada): _____ m</p>	<p align="center">UTM</p> <p>Huso: ____ MC: <i>gg°</i> N: <i>1.234.567,123 m</i> E: <i>123.456,123 m</i></p> <p>Altura (n.m.m. modelada): _____ m</p>
--	---

fotografía
Panorámica

Planta de ubicación
o Monografía
(Indicar distancias referenciales a elementos fijos)

Fotografía
Detalle

Descripción:

Materialidad:
 Dimensiones:
 Distancia a la Ruta:

FIGURA 2.303.104.B
FORMULARIO DE COORDENADAS DE VÉRTICES DEL STC

POLIGONAL N°: _____ Tipo: (Ppal / Aux)		
Vértice	PTL MCL: <i>gg° mm'</i> Kptl: <i>1,12345678</i>	UTM Huso: ____
T - 01	NL: <i>1.234.567,123 m</i> EL: <i>123.456,123 m</i> Cota (nivelada): _____ m	N: <i>1.234.567,123 m</i> E: <i>123.456,123 m</i> H (model): _____ m
T - nn	NL: <i>1.234.567,123 m</i> EL: <i>123.456,123 m</i> Cota (nivelada): _____ m	N: <i>1.234.567,123 m</i> E: <i>123.456,123 m</i> H (model): _____ m

2.303.2 TRANSPORTE DE COORDENADAS MEDIANTE POLIGONALES TOPOGRÁFICAS

Los ángulos y distancias de las poligonales se medirán mediante cuatro reiteraciones, con lo que se determina el valor promedio del azimut en cada vértice y la distancia promedio de sus lados. Con estos datos y las coordenadas de inicio conocidas, se irán calculando las coordenadas de cada uno de los vértices de la poligonal, hasta llegar a la posición final y control de cierre del circuito.

Dado que el control de cierre de la poligonal determina un “error de posición” para el circuito y no es un indicador de precisión de los valores de coordenadas de cada vértice, es necesario que se calculen los errores parciales y acumulados generados en el proceso de medición, de acuerdo con lo señalado en la Sección 2.306, Análisis de Errores.

A continuación se describe el procedimiento a seguir en el cálculo de las poligonales:

- a) Medir distancias y ángulos de cada vértice, a partir de la línea base de referencia inicial.
- b) Calcular distancias y azimutes promedio.
- c) Determinar errores de mediciones respecto de promedios, de acuerdo con la expresión:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

donde: σ_m , error del valor más probable
 x_i , lectura de un dato cualquiera
 \bar{x} , promedio de la muestra
 n , número de lecturas

- d) Calcular coordenadas de cada vértice, de acuerdo con las expresiones:

$$N = N_0 + Dh * \cos(Az) \quad y \quad E = E_0 + Dh * \sin(Az)$$

donde: N_0 , Norte de origen
 E_0 , Este de origen
 Dh , distancia horizontal promedio
 Az , azimut promedio

- e) Determinar el error del resultado para coordenadas, de acuerdo con la expresión:

$$\sigma_r = \left[\left(\frac{\delta R}{\delta a} \sigma a \right)^2 + \left(\frac{\delta R}{\delta b} \sigma b \right)^2 + \left(\frac{\delta R}{\delta c} \sigma c \right)^2 + \dots \right]^{1/2}, \text{ para el resultado R (a,b,c,...)}$$

que en este caso se expresa por:

$$\sigma N = [(\sigma N_0)^2 + (\cos(Az) \times \sigma Dh)^2 + (Dh \times \sin(Az) \times \sigma Az)^2]^{1/2}$$

$$\sigma E = [(\sigma E_0)^2 + (\sin(Az) \times \sigma Dh)^2 + (Dh \times \cos(Az) \times \sigma Az)^2]^{1/2}$$

- f) Calcular el error de posición, de acuerdo con la expresión: $ep = (\sigma N^2 + \sigma E^2)^{1/2}$
- g) Calcular el indicador de precisión de la posición en relación con el avance, de acuerdo con la expresión:

$$\text{Prec.} = 1 : (ep / \text{distancia a base inicial del circuito})$$

A manera de ejemplo, se presenta la Figura 2.303.2.A, Formulario para el Cálculo de Coordenadas en Vértices del STC, con el cálculo correspondiente al primer vértice de la poligonal, iniciando en una línea base conocida; el proceso se repite hasta el cierre del último vértice de la poligonal con la RRP.

FIGURA 2.303.2.A
FORMULARIO PARA EL CÁLCULO DE COORDENADAS DE VÉRTICES DEL STC

Nº Vert	Est Base	Calaje	Lect	PTO	N ₀	E ₀	AZ ₀
1	G2(LB)	G1(LB)	P1	G1	5.000.000,00	250.000,00	50,0000
				G2	5.000.500,00	250.500,00	
Nº							
Reiteración	Ang Hz	Az	DH		σN ₀	σE ₀	
1	120,0215	370,0215	555,220		0,000	0,000	
2	120,0238	370,0238	555,225				
3	120,0242	370,0242	555,224				
4	120,0234	370,0234	555,228				
Promedio:	120,0232	370,0232	555,224		N _{v1} 5.000.994,80	E _{v1} 250.248,11	
	σ _{AZ}	σ _{DH}	D _{orig}	σ _N	σ _E	Ep	Prec 1:
	0,001	0,003	555,2	0,005	0,008	0,009	58.618

h) Compensar poligonales.

Un cierre perfecto del transporte de coordenadas calculado desde la referencia inicial, pasando por cada uno de los vértices de la poligonal, debe coincidir con las coordenadas que posee el vértice de cierre. La diferencia que se produzca constituye el error de cierre en posición y debe corregirse, considerando el error específico en cada vértice en función del error calculado en el último vértice de la poligonal, sólo si está dentro de la tolerancia. A continuación se describe en términos prácticos el procedimiento de cálculo, y finalmente, un ejemplo de registro en la Figura 2.303.2.B, Formulario de Registro de Poligonal Topográfica del STC.

Si G1, G2 y G3 son puntos pertenecientes a la RRP, donde la poligonal de transporte se inicia en G1-G2 para cerrar en G3 y si n es el número de vértices de la poligonal considerando G3 como el vértice V_n, entonces el error de cierre 'ec' se calcula como:

$$EC_{Norte} = N_{Vn} - N_{G3}$$

$$EC_{Este} = E_{Vn} - E_{G3} \text{ , donde } N_{G3} \text{ y } E_{G3} \text{ son las coordenadas de cierre conocidas.}$$

$$ec = (EC_{Norte}^2 + EC_{Este}^2)^{1/2}$$

En el caso de que 'ec' no cumpla con la tolerancia impuesta, entonces se deben corregir las mediciones que originen los errores. En caso contrario, se procederá a ajustar los valores de coordenadas de la poligonal. Para esto se calcula la corrección de compensación para cada vértice, en relación con el error de medición particular, de acuerdo con la expresión:

$$Corr N_{Vi} = - (\sigma N_{Vi} / \sigma N_{Vn}) \times EC_{Norte}$$

$$Corr E_{Vi} = - (\sigma E_{Vi} / \sigma E_{Vn}) \times EC_{Este} \quad \text{para } i = 1, \dots, n$$

Finalmente las coordenadas compensadas de cada vértice son:

$$N_{comp\ vi} = N_{Vi} + Corr N_{Vi}$$

$$E_{comp\ vi} = E_{Vi} + Corr E_{Vi} \quad \text{para } i = 1, \dots, n$$

FIGURA 2.303.2.B
FORMULARIO DE REGISTRO DE POLIGONAL TOPOGRÁFICA DEL STC

V_0	V	Az	σ_{Az}	Dh	σ_{Dh}	N_{Vi}	$\sigma_{N_{Vi}}$	E_{Vi}	$\sigma_{E_{Vi}}$	ep	Prec. 1:	Dist Base
G1												
G2	P ₁	370,0232	0,0010	555,224	0,003	5.000.994,800	0,005	250.248,114	0,008	0,009	58.618	555,2
	P ₁ P ₂	250,5785	0,0005	310,251	0,003	5.000.777,422	0,006	250.026,749	0,009	0,010	53.042	548,6
	P ₂ P ₃	180,6909	0,0014	500,006	0,004	5.000.300,239	0,008	250.176,090	0,013	0,015	25.314	380,6
	P ₃ ...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	... P _{n-1}	130,6919	0,0008	800,007	0,005	4.999.929,318	0,012	250.884,912	0,016	0,020	33.926	688,4
	P _{n-1} P _n	8,6929	0,0007	750,000	0,006	5.000.153,304	0,015	251.600,684	0,019	0,024	48.212	1.154,0
				Cierre		N	ECNorte	E	ECEste	ec	Prec. 1:	Dist Base
				G1		5.000.000,000		250.000,000				
				G2		5.000.500,000		250.500,000				
				G3		5.000.153,280	0,024	251.600,650	0,034	0,042	27.594	1.154,0
				Compensación		Ncomp	Corr N_{Vi}	Ecomp	Corr E_{Vi}			
				P ₁		5.000.994,792	-0,008	250.248,099	-0,015			
				P ₂		5.000.777,413	-0,009	250.026,733	-0,016			
				P ₃		5.000.300,227	-0,013	250.176,067	-0,023			
						
				P _{n-1}		4.999.929,299	-0,020	250.884,882	-0,029			
				P _n		5.000.153,280	-0,024	251.600,650	-0,034			

2.303.3 TRANSPORTE DE COORDENADAS MEDIANTE GNSS

El procedimiento para definir un STC mediante GNSS será dependiente del tipo de instrumental disponible, diferenciándose por la posibilidad de utilizar georreceptores que permitan o no, soluciones en tiempo real.

Cualquiera sea el equipamiento disponible, la medición del conjunto de líneas entre monolitos consecutivos deberá responder a los mismos criterios de una poligonal cerrada o controlada, de modo que sea posible determinar la calidad del cierre y, si cumple con la tolerancia, proceder al ajuste correspondiente. No se aceptarán mediciones por radiación, ya que no es posible evaluar la calidad de cierre.

Es importante que se tenga la precaución de que el emplazamiento de los monolitos permita la instalación cómoda de tripodes para ejecutar trabajos con estaciones totales, orientados desarrollar otras actividades topográficas.

2.303.301 Soluciones en Postproceso. Corresponden a mediciones de modo estático, con observación de fase de la onda portadora y determinando soluciones fijas por doble diferencia en postproceso. Se usarán receptores GNSS de alta precisión, que permitan errores menores que 5 mm + 1 ppm.

Las mediciones del STC se realizarán con observaciones independientes, determinando vectores entre puntos consecutivos y resolviendo ambigüedades enteras en cada vector del circuito. El tiempo de medición de cada línea será de 15 minutos o más, dependiendo de la apreciación del operador, en cuanto a constelación de satélites disponibles y características del entorno.

2.303.302 Soluciones en Tiempo Real. En el caso de disponer de georreceptores que permitan obtener soluciones en tiempo real, también se deberá medir monolitos consecutivos al estilo de una poligonal cerrada. El formato de observación en cada posición corresponde al de puntos de control. El tiempo de medición de cada vector será de al menos 3 minutos con intervalos de registro de 1 seg.

Para comprobar la calidad de cierre de la figura, se contrastan las coordenadas obtenidas en el último punto del circuito con el punto fijo perteneciente a la RRP, en la línea base de llegada. Se evalúa el

error obtenido, para verificar si la precisión cumple con la tolerancia, y en caso satisfactorio, proceder a compensar las coordenadas del circuito.

La forma de compensar los errores de cierre en los valores de coordenadas será proporcional a las distancias recorridas, considerando las componentes ΔN y ΔE en cada vértice del STC.

2.303.4 MONUMENTACIÓN DE LAS REFERENCIAS

2.303.401 Aspectos Generales. Una adecuada señalización o monumentación de las referencias resulta indispensable en las distintas etapas de un estudio vial. La calidad de la monumentación será función de la importancia del elemento, debiendo asegurarse una clara definición e identificación del punto por materializar, debiendo tener características físicas que den una razonable seguridad de inalterabilidad a lo largo del tiempo.

Para los trabajos de topografía vial se distinguirán dos clases de monumentos: principales y auxiliares, según se especifica a continuación.

2.303.402 Monolitos de Referencia Principales

2.303.402(1) Oportunidad de Uso. Se utilizarán para materializar las referencias de coordenadas planimétricas y altimétricas, ya sea que se trate de Redes de Referencia Principales (RRP), Sistema de Transporte de Coordenadas (STC) o puntos de la Red de Referencia Altimétrica (PR).

2.303.402(2) Selección del Emplazamiento. La ubicación de los monolitos está determinada por las características de la figura de transporte y del terreno en que ella se emplaza; no obstante, existe cierta libertad para elegir la ubicación precisa del punto y, por ende, se deberán seleccionar los lugares más adecuados considerando visibilidad, estabilidad general del terreno, facilidad para instalar los instrumentos de medición topográfica, posible interferencia con otros trabajos propios del proyecto o de la actividad general del área, etc.

En el caso de los PR existe, por lo general, mayor libertad para seleccionar la ubicación y, por lo tanto, las características de su emplazamiento deben, con mayor razón, considerar las restricciones antes señaladas, aún cuando deberán localizarse razonablemente cerca del trazado (máximo normal a 100 m); en ningún caso, éstos deben ubicarse dentro de la zona de obras proyectadas por los estudios.

2.303.402(3) Materiales, Forma y Dimensiones. Los monolitos se construirán en sitio con hormigón. Sus formas y dimensiones se ilustran en la Lámina 2.303.402.A, Características de Monolitos Principales, para aquéllos fundados en terreno natural y sobre roca superficial.

Para materializar puntos en sectores alejados respecto del corredor por el que se desarrollará el trazado, en los que no exista la posibilidad de tránsito de vehículos y con difícil acceso para las personas, se aceptará el empleo de los monolitos prefabricados que se ilustran en el punto 2 de la Lámina 2.303.402.A.

Los monolitos serán pintados en color amarillo con pintura de demarcación de pavimento.

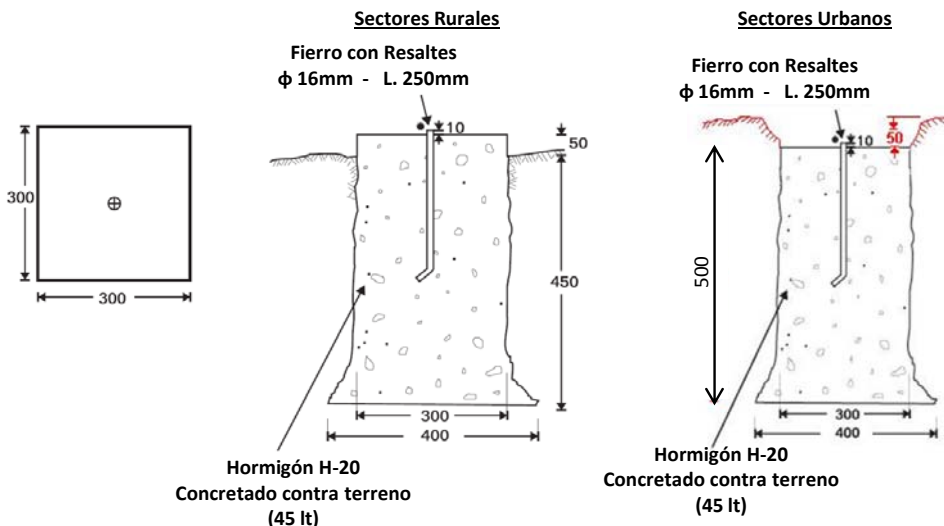
En sectores urbanos, donde se observe alto tránsito de personas, previa autorización de la Dirección de Vialidad, se podrá utilizar una placa metálica de 60x60x0,5 mm, anclada en hormigón con perno coche de 3/8"x5". En la placa se grabará la identificación del elemento.

2.303.402(4) Materialización del Punto de Interés. El punto que se materializa mediante un monolito, estará constituido por un fierro del diámetro que se señala en las figuras respectivas, el que quedará empotrado en la masa de hormigón con su extremo superior sobresaliendo unos 10 mm respecto de la cara superior del monolito y redondeado para el apoyo de miras. Mediante cortes con sierra se grabará una cruz de 2 a 3 mm de profundidad.

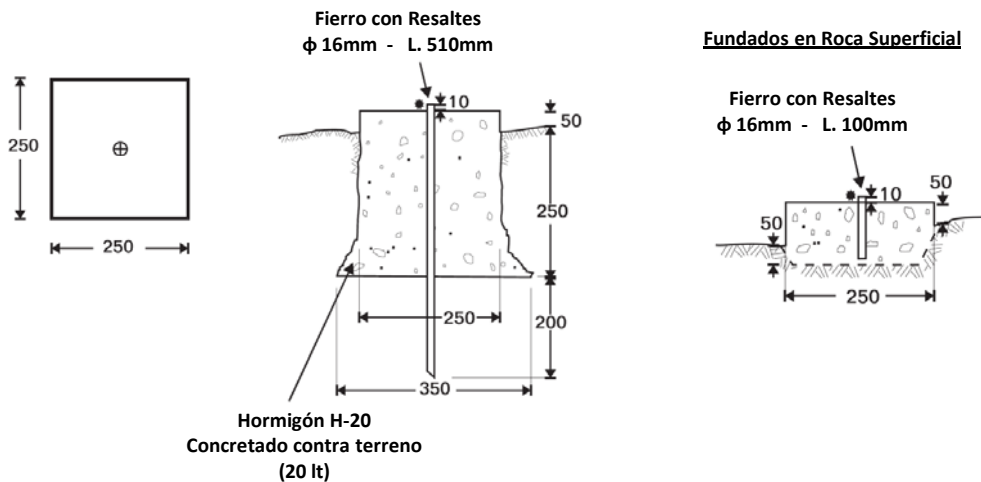
LÁMINA 2.303.402.A
CARACTERÍSTICAS DE MONOLITOS PRINCIPALES

1. MONUMENTOS CONSTRUIDOS EN SITIO

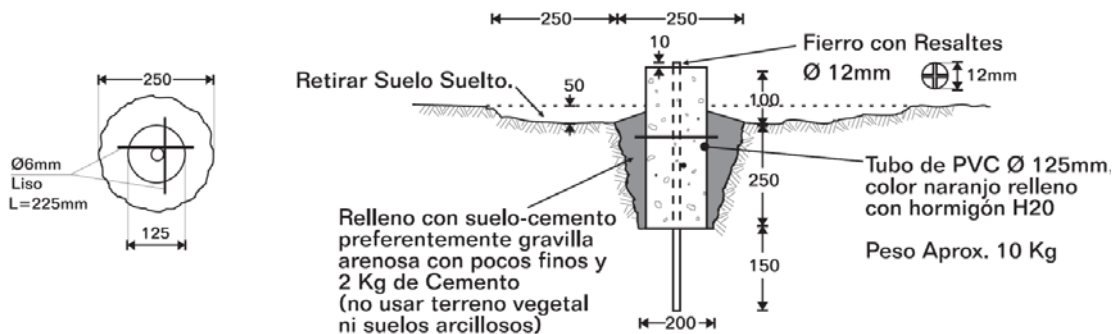
ZONAS PRÓXIMAS AL TRÁNSITO DE VEHÍCULOS Y PEATONES



ZONAS DISTANTES AL TRÁNSITO DE VEHÍCULOS Y PEATONES



2. MONUMENTOS PREFABRICADOS PARA ZONAS AISLADAS



2.303.403 Monumentos Auxiliares o Provisionales. Aquellos monumentos provisionales que se utilicen para materializar estaciones auxiliares para un levantamiento, elementos de un eje de diseño, o bien para nivelar la proyección de un eje sobre el terreno y que, en definitiva, no volverán a utilizarse o serán removidos durante la construcción, podrán ser materializados mediante estacas de madera clavadas directamente en el terreno natural. En caso que la superficie esté constituida por roca, se aceptará el uso de pintura tipo esmalte sintético. Sobre plataformas de grava se autorizará el empleo de clavos rieleros o pernos coche de 3/8"x5".

Las estacas de madera serán normalmente de 3"x3" y 0,25 m, para estaciones auxiliares o PR provisorios y de 2"x2" y 0,20 m, para las estacas de relleno de una nivelación o replanteo de ejes.

2.303.404 Identificación de Monumentos. Dependiendo de si se trata de un punto de la RRP o STC o PR, los monolitos llevarán en la cara superior, grabada sobre el hormigón y pintada de manera destacada, la siguiente identificación:

- DV - XX : indicador de propiedad de la Dirección de Vialidad, donde XX son los dígitos del año en curso
- G - N° : monolitos pertenecientes a la RRP medidos con instrumental GNSS
- T - N° : monolitos pertenecientes a las poligonales principales del STC
- TA - N° : monumentos pertenecientes a las poligonales auxiliares del STC
- PR - N° : puntos de Referencia Altimétrica

N° es el Número correlativo arábigo que le corresponda.

En los monumentos prefabricados, las leyendas se grabarán en la superficie de suelo cemento que rodea el tubo de PVC.

Los monumentos de poligonales auxiliares estacados con madera se identificarán sobre tablillas junto a las estacas o pinturas en elementos fijos contiguos.

SECCIÓN 2.304 LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

2.304.1 ASPECTOS GENERALES

Esta Sección tiene por objeto tratar los diversos tipos de levantamientos de la superficie topográfica, para efectuar los estudios de un proyecto vial. En general, éstos serán efectuados por levantamientos distanciométricos, levantamientos GNSS en tiempo real, fotogrametría y láser transportado. Estos métodos representarán gráfica o numéricamente, sobre un plano horizontal, la proyección ortogonal del relieve, incluyendo todos los detalles sobre el terreno, así como la información altimétrica, representada por curvas de nivel resultantes de la intersección con el terreno de planos horizontales equidistantes. También, de acuerdo con su fuente de información, éstos se representarán superficies terrestres en función de las nubes de puntos logradas y la modelación digital del terreno, mediante software especializados.

2.304.2 LEVANTAMIENTOS COORDENADOS TERRESTRES

Los levantamientos coordenados terrestres se clasifican en dos tipos dependiendo del instrumental usado para su determinación: (i) levantamientos distanciométricos, que corresponden a los determinados con instrumental electro-óptico, en particular estaciones totales, y (ii) levantamientos GNSS, que son los determinados por observaciones de georreceptores satelitales.

2.304.201 Aspectos Generales. Durante la medición de los puntos de detalle es recomendable seguir un orden que facilite el proceso de confección del plano, generalmente tomando en forma consecutiva y con cierta lógica, los puntos que representan los detalles de interés, como ser cercos, borde de camino, cursos de agua, etc.

Siempre se debe confeccionar un buen croquis de lo que se está levantando, consignando en él los números de los puntos de interés. Esto facilitará enormemente la confección de planos, ya que el croquis mostrará gráficamente la información que se quiso obtener al tomar los puntos de detalle.

El levantamiento debe dar especial importancia a determinar uniones de planos de distintas inclinaciones, como bordes de plataformas, pie de taludes de corte, fondos de quebradas, etc., para que éstos resulten bien representados y sirvan de líneas de quiebre o de frontera, indispensables para la determinación de modelos digitales del terreno.

Todo lo anterior puede optimizarse, disponiendo de un catálogo para identificar los distintos tipos de puntos, e ingresar en el controlador la identificación y atributos de cada punto observado. Posteriormente, en gabinete, un programa computacional simple permite relacionar todos los puntos de las mismas características que definen un elemento planimétrico, o los puntos de relleno para el proceso de dibujo de planimetría y determinación de modelos digitales. Especial importancia debe darse a la definición de las líneas de quiebre o de frontera, para que los programas 3D puedan operar correctamente en la definición del modelo digital del terreno.

2.304.202 Tolerancias. Necesariamente las tolerancias están ligadas a la escala en que se vaya a confeccionar el plano y la equidistancia entre curvas de nivel que se fije. Ambas serán definidas por el Proyectista, de manera que el levantamiento se realice con la precisión requerida. Un plano a mayor escala o con curvas de nivel a menor equidistancia que la requerida, redundaría en costos innecesarios. El caso opuesto significaría un plano insuficiente.

Considerando las características del instrumental disponible en el mercado, en planimetría un levantamiento no debe tener una cantidad significativa de puntos con errores mayores que 0,2 mm a la escala del plano. En altimetría, los errores muestrales no deben exceder a los valores señalados en la Tabla 2.304.202.A, Tolerancias en Levantamientos Terrestres.

La cantidad de puntos que se deben observar en un levantamiento distanciométrico es función de los detalles planimétricos y de la configuración del relieve, y no necesariamente de la escala. Evidentemente, el número de puntos aumentará para las escalas grandes, pero éste puede no ser el factor más determinante.

TABLA 2.304.202.A
TOLERANCIAS EN LEVANTAMIENTOS TERRESTRES

Levantamiento Escala	Equidistancia C. Nivel (m)	Tol. Prec. Planimetría (m)	Tol. Prec. Altimetría (m)	Densidad Mínima (Ptos / há)
1 : 2.000	2,0	0,40	0,50	25
1 : 1.000	1,0	0,20	0,25	50
1 : 500	0,50	0,10	0,15	100
1 : 200	0,20	0,05	0,10	400

El error cometido en la determinación de la posición planimétrica y la cota de un punto de relleno cualquiera, será atribuible en su magnitud a los errores propios del sistema principal de transporte de coordenadas y cota, a los errores asociados a la poligonal de levantamiento, y a los errores cometidos en la determinación del punto. En la programación del levantamiento se contemplará, en consecuencia, que el error máximo tolerado para un punto levantado no debe ser excedido por la siguiente expresión:

$$T_{max} \geq [(E_{STC})^2 + (E_{Pol})^2 + (E_{Rel})^2]^{1/2}$$

en que:

T_{max} es la máxima tolerancia planimétrica o altimétrica.

E_{STC} es el error del sistema principal de transporte de coordenadas y de cota.

E_{Pol} es el error planimétrico o altimétrico en la poligonal de levantamiento.

E_{Rel} es el error planimétrico o altimétrico de los puntos levantados.

2.304.203 Levantamientos Distanciométricos

2.304.203(1) Objetivos y Alcances. Los levantamientos distanciométricos, empleando estaciones totales constituyen la metodología de uso más frecuente en la topografía nacional.

El levantamiento distanciométrico de puntos de relleno se efectuará desde vértices de la poligonal principal del STC o desde vértices de poligonales auxiliares y corresponde a un levantamiento de tipo radial o polar.

2.304.203(2) Operatoria en Terreno. La operatoria de terreno debe consultar la siguiente secuencia:

a) Instalación y puesta en condiciones de trabajo. El instrumento (estación total) se instalará en una estación perteneciente al STC del estudio; previo al inicio de las lecturas, se deberán verificar las condiciones de operación en cuanto a lectura de ángulos horizontales, verticales y distancias.

b) Lecturas de ligazón. Instalado el instrumento sobre una estación de coordenadas N_L , E_L y cota conocidas, se procederá en primer término a efectuar las operaciones para ligarse planimétricamente a las referencias coordenadas, según se describe a continuación:

- Determinación de la altura instrumental y verificación de los diversos índices que puedan afectar las mediciones, como temperatura, presión atmosférica, etc.
- Configuración de la estación base, con las coordenadas conocidas de su posición.
- Orientación del limbo horizontal, ligándolo al vértice anterior de coordenadas conocidas.

c) Lecturas para levantamiento de puntos de relleno o detalle. Se llaman puntos de relleno o detalle aquellos que individualizan detalles o accidentes del terreno o relieve.

Hechas las lecturas de ligazón, se procederá a levantar los puntos de relleno, para lo que se leerá lo siguiente para cada uno de ellos:

- Determinación de la altura del prisma y excentricidad.
- Determinación del ángulo horizontal comprendido entre el vértice anterior utilizado como orientación y el punto a levantar.

- Lectura de la distancia inclinada, con reducción a la horizontal y desnivel respecto de la base.
- Registro de puntos medidos con identificadores y descriptores.

2.304.203(3) Instrumental. El instrumental que se emplee en los levantamientos distanciométricos debe encontrarse en buenas condiciones de operación y estará constituido por estaciones totales, prismas, bastones con nivel esférico, trípodes y cintas métricas para tomar la altura instrumental. La estación total corresponderá a las características señaladas en la Tabla 2.310.302.C, Características Referenciales de Estaciones Totales.

2.304.204 Levantamientos GNSS

2.304.204(1) Aspectos Generales. El levantamiento de áreas para desarrollar estudios de una obra vial mediante tecnologías GNSS puede desarrollarse con mediciones prácticamente instantáneas, con soluciones en postproceso o tiempo real; sin embargo, dado que al momento de ejecutar la medición se tiene mayor claridad respecto de las precisiones logradas y por la disponibilidad de instrumental en el mercado nacional, en este Numeral se recomienda utilizar sistemas de tiempo real (RTK - Real Time Kinematic) para la ejecución de levantamientos topográficos.

La técnica de posicionamiento RTK se basa en la solución de la onda portadora de las señales transmitidas (véase Numeral 2.301.304, Observación de Fase de la Onda Portadora).

Un receptor GNSS dotado de un módem de radiotransmisor, instalado en una estación de coordenadas conocidas (base), perteneciente a la RRP o al STC del estudio, provee correcciones instantáneas para el dispositivo que opera como móvil, determinando soluciones fijas, a pocos segundos del posicionamiento en el punto levantado.

La estación base retransmite la fase de la portadora que midió, y la unidad móvil compara su propia medida de la fase con la recibida de la estación base. Esto permite que la estación móvil calcule su posición relativa con precisión de 0,5 cm a 1 cm + 1 ppm para la posición horizontal y 1,0 cm a 1,5 cm + 2 ppm para la posición vertical.

La gran mayoría de los transmisores operan en bandas de frecuencias con alcance limitado a distancias relativamente cortas entre la base y el móvil, normalmente en el rango de 5 km a 10 km, con radiotransmisores externos y de 1 km a 3 km con radiotransmisores internos en los receptores. Se debe tener en cuenta que la posibilidad de lograr soluciones a estas distancias depende del nivel de interferencias, tipo de relieve que se tenga en el entorno y potencia del radiotransmisor.

2.304.204(2) Consideraciones Especiales. En levantamientos de proyectos viales, que cuenten con una red de referencia y la definición de un sistema de coordenadas locales de la forma descrita en el Numeral 2.302.203(2), *Proyección Local Transversal Mercator (LTM)*, se pueden ejecutar los levantamientos directamente bajo el sistema de coordenadas locales, introduciendo los parámetros a los que se refiere la Tabla 2.302.2.B, Parámetros del Sistema LTM con altura PTL, en el dispositivo controlador.

Para asegurar mayor precisión en el cálculo de cotas, previo a la medición de los levantamientos, debe realizarse un proceso de calibración y ajuste del sistema altimétrico respecto de la Red de PR del proyecto, con al menos 4 PR que se encuentren en el entorno más directo a la zona del levantamiento.

El tiempo de medición de un punto de relleno depende de la configuración de épocas que se establezca previo al levantamiento. Se requiere al menos de 3 a 5 épocas de medición, con un intervalo de registro de uno o más segundos por época, por lo que en el caso más rápido, el registro de un punto requiere de 3 a 5 segundos de medición.

Es importante que además de la configuración de épocas de mediciones, el usuario configure la tolerancia en la precisión de la lectura, con lo que automáticamente se registrarían mediciones dentro del rango de tolerancia definido, asegurando la calidad de la información.

Se debe tener en cuenta que en terrenos de topografía difícil o vegetación densa y alta, las mediciones pueden verse afectadas por efectos de obstrucción e interferencias, con lo que se alargarían los tiempos de medición hasta que se logre la precisión deseada y en algunos casos, simplemente no se podrán resolver las ambigüedades, por lo que no se debe registrar el punto medido.

2.304.3 LEVANTAMIENTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS

2.304.301 Aspectos Generales. La aerofotogrametría es un método de levantamiento de superficies que consiste en la captura de fotografías aéreas mediante una cámara aerotransportada, de la que se conocen en forma exacta sus características ópticas. El móvil aéreo podrá ser tripulado o no, dependiendo de las condiciones del proyecto. Los vuelos no tripulados se desarrollan a bajas alturas, por consiguiente su uso se orienta a levantamientos a escalas grandes (desde 1:2.000 hasta 1:500), para superficies menores que 1.000 ha, y su aplicación en proyectos viales requiere móviles que incorporen cámaras digitales calibradas de a lo menos 10 Mp, sistemas GNSS, sistemas inerciales y piloto automático, para controlar adecuadamente tanto la trayectoria de vuelo como el funcionamiento de los sensores instalados.

Este método es recomendado para confeccionar planos de levantamientos de grandes extensiones. Las ventajas comparativas frente al levantamiento distanciométrico o GNSS, dice relación con los menores plazos y costos de ejecución en relación con las áreas abordadas, todo ello, dentro de una exactitud compatible con las necesidades del proyecto.

La aerofotogrametría es un método de levantamiento que requiere, conjuntamente, del empleo de fotografías que cubren la zona de interés y de la determinación en terreno de las coordenadas de ciertos puntos claramente identificables en las imágenes, y ubicados en lugares apropiados, con el fin de ligarlos en coordenadas y cota al sistema de referencia del estudio.

Para lograr la representación de las superficies, los vuelos deben cubrir las zonas de proyecto con imágenes que cumplan con porcentajes mínimos de recubrimiento longitudinal y transversal, lo que genera estereoscopia, sobrevolando a una altitud determinada en función de la escala deseada, siguiendo una ruta predeterminada y a una velocidad y altitud constante, que permita realizar tomas a intervalos regulares.

Ciertos tipos de terreno dificultan el empleo de la aerofotogrametría, lo que es el caso de las situaciones siguientes:

- Terrenos desérticos con bajos contrastes o extremadamente lisos, en los que resulta difícil la visión estereoscópica.
- Zonas de farellones o edificios altos, que proyectan sombras sobre la superficie adyacente, dificultando o impidiendo la restitución de dichas áreas.
- Zonas boscosas con follaje denso, que impide ver la superficie del terreno, situación que se agrava en zonas de quebradas con desniveles pronunciados, difíciles de precisar y que pueden inducir a errores importantes en interpretación del relieve.
- Sectores de nieves eternas, donde resulta difícil la estereoscopia, la determinación de puntos de apoyo y la posterior restitución.

2.304.302 Procedimiento de Levantamientos Aerofotogramétricos. El procedimiento de estos levantamientos sigue las siguientes etapas descritas a continuación.

2.304.302(1) Obtención de las Fotografías. Las fotografías por utilizar en un levantamiento aerofotogramétrico deben poseer una escala que, de acuerdo con la capacidad del equipo y software de restitución, podrá ser ampliada, debiendo permitir la equidistancia entre curvas de nivel y/o la generación del modelo de superficie a través de múltiples pares estereoscópicos.

Para la toma de imágenes, en primer término deberá planificarse sobre una carta las líneas de vuelo requeridas para cubrir el área que debe ser fotografiada, definiendo el mapa de vuelo con sus límites y trayectorias. En esta etapa se debe considerar el objetivo del levantamiento, tipo de terreno a fotografiar, escala de restitución y altura de vuelo.

Las fotografías deben ser tomadas con un ángulo que cumpla con el requerimiento de proyección ortogonal y a intervalos tales, que aseguren un recubrimiento longitudinal, logrando estereoscopia continua en cada par de fotografías sucesivas. Cuando el ancho de la zona por levantar quede cubierto por dos o más fajas de vuelo, éstas deben tener un recubrimiento transversal o lateral con el fin de asegurar que no queden áreas sin cubrir entre ambas líneas de vuelo.

Los vuelos tripulados deben asegurar un recubrimiento longitudinal de 60% y lateral de 15%. Estos valores son referencia mínima y tendrán que ser mayores en levantamientos de terrenos que presenten cambios abruptos en los valores de cotas entre puntos pertenecientes a la misma imagen, como es el caso de quebradas profundas. En sistemas aéreos no tripulados, los traslapes no debiesen ser inferiores a 70% longitudinal y lateral.

En todos los casos de debe contar con certificados de calibración de la cámara utilizada, indicando los parámetros de orientación interna.

2.304.302(2) Georreferenciación de Imágenes Aéreas. El desarrollo de la navegación de precisión con sensores GNSS y sistemas inerciales, integrados al desarrollo de las cámaras digitales, permite resolver el problema de la orientación externa de las imágenes aéreas. Los parámetros que definen la orientación exterior son las coordenadas espaciales del centro perspectivo y las tres rotaciones del sistema de referencia imagen. La técnica más común para determinar la orientación externa es la aerotriangulación. Este proceso corresponde a cálculos de ajustes por mínimos cuadrados, donde se determinan las coordenadas x, y, z de todos los puntos estereoscópicos en base a las coordenadas de los puntos de apoyo de terreno.

El posicionamiento GNSS de tipo cinemático permite determinar la trayectoria del móvil aéreo con una precisión submétrica y por tanto, con la corrección de excentricidad cámara – antena, conocer la posición de la cámara al momento de la toma de imágenes.

La unidad de medida inercial (IMU), se compone de acelerómetros, giróscopos y procesador electrónico. Se basa en la medida de aceleración en sus distintos ejes, para obtener la velocidad y posición de cualquier punto. Esta unidad proporciona los observables, tiempo, tres ángulos y tres componentes de velocidad.

La integración de los datos inerciales y GNSS se realiza aplicando métodos que incluyen la orientación, posición, velocidad sesgos de la aceleración y derivas de giróscopos. La clave de la integración es conseguir la unión de un sistema con muy buena precisión a corto plazo y mala estabilidad a largo plazo (sistema inercial) y un sistema con una precisión menor pero con alta estabilidad a largo plazo (GNSS).

2.304.302(3) Apoyo Terrestre. Se llama apoyo terrestre al proceso de dar coordenadas planimétricas y altimétricas, en el sistema de referencia del proyecto, a puntos perfectamente fotoidentificables. Generalmente, corresponden a detalles naturales o a marcas que se disponen en terreno previo a la obtención de las fotografías.

Dependiendo de la integración entre sensores (GNSS – IMU – Cámara), la distribución de los puntos de apoyo terrestre puede ser de diferentes formas, acompañado con las capacidades de la metodología de restitución utilizada.

- Cámara digital: Se deben apoyar 6 puntos bien definidos por cada par de fotografías consecutivas, lo que asegura una etapa de orientación correcta. La distribución de estos puntos dependerá del terreno que aparezca en cada par, considerando que en sectores costeros es probable que existan fotos que tengan más del 50% de masas de agua. Por otro lado, en sectores cordilleranos es necesario asegurar el apoyo de terreno con más de seis puntos, debido a los cambios de altura del terreno, lo que dificulta la etapa de orientación y una correcta restitución.
- Cámara digital + GNSS: Se pueden apoyar 5 puntos bien definidos por cada línea fotogramétrica, dos en el inicio, dos en el final y uno en el centro.
- Cámara digital + GNSS + IMU: Se pueden apoyar 3 puntos bien definidos en el total del levantamiento, 1 punto en cada extremo y 1 punto al centro.

2.304.302(4) Restitución Fotogramétrica. Corresponde al proceso de confección del plano a escala con sus curvas de nivel. Las imágenes son orientadas a la misma posición relativa que tuvo la cámara al momento de tomar las fotos; posteriormente, con ayuda del apoyo terrestre, se lleva el área de terreno común de las fotografías a la vertical que le corresponde y se procede a su dimensionamiento a escala, es decir, el dibujo de todos los detalles planimétricos y altimétricos (curvas de nivel).

2.304.303 Tolerancias

Las tolerancias se resumen en la Tabla 2.304.303.A, y se describen a continuación de ella.

**TABLA 2.304.303.A
TOLERANCIA EN RESTITUCIONES AEROFOTOGRAMÉTRICAS (m)**

ESCALA DEL PLANO	PUNTOS ESTEREOSCÓPICOS				VERIFICACIÓN EN TERRENO ⁽¹⁾		APLICACIÓN EN PROYECTOS VIALES Por nivel de estudio
	ETAPA TERRENO		ETAPA GABINETE		ALTIMÉT.	PLANIM.	
	ALTIMÉT.	PLANIM.	ALTIMÉT.	PLANIM.			
1:500 Curvas c/ 0,5 m	0,06	0,085	0,083	0,17	0,25	0,25	Anteproyectos
1:1.000 Curvas c/ 1,0 m	0,11	0,17	0,17	0,33	0,50	0,50	Anteproyectos
1:2.000 Curvas c/ 2,0 m	0,22 - 0,25	0,34	0,34	0,67	1,0	1,0	Anteproyectos Factibilidad
1:5.000 Curvas c/ 5,0 m	0,60	0,85	0,85	1,70	2,5	2,5	Estudios Preliminar Prefactibilidad Perfil
1:10.000 Curvas c/ 10,0 m	1,20	1,70	1,70	3,40	5,0	5,0	Idea - Perfil

⁽¹⁾: Los levantamientos deben tener una precisión tal, que al menos 90% de los puntos verificados en terreno cumplan los valores señalados.

2.304.303(1) Etapa de Terreno

- Altimetría
Durante la planificación del apoyo terrestre mediante puntos estereoscópicos, se deberá considerar que la tolerancia altimétrica máxima asociada a ellas debe ser de 1/8 a 1/9 de la equidistancia entre curvas de nivel. Esta tolerancia incluye los errores en el transporte de la cota desde la red de referencia hasta dar cota al punto estereoscópico.
- Planimetría
Para el levantamiento de estos puntos, deben establecerse circuitos auxiliares ligados al sistema de transporte de coordenadas de la zona, de manera tal, que el cierre de éstos no exceda en un tercio la tolerancia de la restitución, esto es 0,17 mm, a la escala de la restitución.

2.304.303(2) Etapa de Gabinete

- Altimetría.
En la colocación de los modelos, la verificación de los puntos estereoscópicos, durante el proceso de orientación altimétrica absoluta, sobre la base de al menos 6 puntos, no se deberán presentar discrepancias entre la cota de terreno y la leída en el aparato de restitución, mayores que un sexto (1/6) de la equidistancia entre curvas de nivel.
- Planimetría.
Una vez dimensionado absolutamente el modelo, los puntos estereoscópicos llevados al plano de restitución no deben diferir de los observados a través del instrumento de restitución en más de 1/3 de mm a la escala del plano.

2.304.303(3) Verificación en Terreno

- Altimetría
90% de los puntos de la restitución que se comprueben en cota no deben diferir en más de 50% de la equidistancia de las curvas de nivel.
- Planimetría.
Cualquier punto del plano restituido, comparado con su colocación sobre el mismo plano por coordenadas obtenidas en terreno, no debe diferir en más de 0,5 mm medidos sobre el plano.

2.304.304 Métodos de Control. Deberá existir una etapa de control de la restitución, que verifique el cumplimiento de las definiciones y tolerancias establecidas, conforme las siguientes recomendaciones:

Si el proceso de restitución se resuelve utilizando aerotriangulación, se recomienda solicitar los reportes del proceso de cálculo. En ellos se debe asegurar que el valor de residual final y los residuales (RMS) de cada punto estén dentro de los valores de tolerancia que se señalan a continuación.

- Aerotriangulación analógica:
El valor RMS final se determina de acuerdo con la escala. Debe ser siempre menos de 1 micrón para todas las coordenadas x, y, z.
- Aerotriangulación digital:
El error compensado final debe corresponder en planimetría (x, y) a 0,018 m. y en altimetría (z) a 0,025 m.

Otra actividad de control recomendable es medir en terreno algunos de los puntos obtenidos por aerotriangulación y verificar que se encuentre dentro de las tolerancias expresadas en la Tabla 2.304.303.A, Tolerancia en Restituciones Aerofotogramétricas.

Por último, para comprobar la restitución, se recomienda ejecutar un levantamiento de control, con instrumental GNSS o topográfico de precisión y verificar las coordenadas x, y, z de un grupo de puntos representativos, comprobando la calidad de la superficie de terreno obtenida y los diferentes elementos de interés de la planimetría. Para más detalle, véase la Sección 2.309, Control de Calidad en Trabajos de Topografía Vial.

2.304.305 Imágenes Satelitales. Cuando sea necesario analizar superficies terrestres extensas, por ejemplo, para estudiar factibilidad de corredores viales, o cuando existan territorios de difícil acceso donde la logística sea compleja para ejecutar vuelos aerofotogramétricos, las imágenes satelitales son una alternativa competitiva.

La teledetección consiste en recoger información a través de diferentes dispositivos de un objeto o área. Actualmente, el término se refiere al uso de tecnologías de sensores para adquisición de imágenes, incluyendo instrumentos a bordo de satélites o aerotransportados.

Un sensor montado en un satélite artificial, ubicado a alturas mucho mayores que el móvil aéreo, capta radiación electromagnética, con lo que obtiene imágenes de zonas mucho más amplias que las imágenes aéreas, logrando resultados cartográficos y topográficos de escalas medianas, con precisiones y costos equivalentes a los métodos aerofotogramétricos.

Una imagen satelital es una representación de la información reflejada por la superficie de la Tierra, capturada por un sensor y luego transmitida de regreso a ésta, donde es procesada en estaciones especializadas, logrando valiosa información sobre las particularidades de una zona. El flujo de energía incidente sobre la superficie es en parte reflejado, en parte absorbido y en otra transmitido, donde la proporción de cada uno depende de las características de la cubierta y de las longitudes de onda de la radiación, la que es comparada con patrones obtenidos en laboratorio para finalmente identificar las diferentes cubiertas.

Los satélites controlan su posición al incorporar sistemas GNSS y su orientación espacial con sistemas de medidas angulares y de aceleración del sensor. De forma genérica, una imagen satelital se puede considerar como una matriz de celdas (píxeles) con un valor radiométrico o digital, logrado en un instante dado. Las imágenes son georreferenciadas con lo que se logra relacionar cada pixel con el punto de la superficie correspondiente, aplicando la proyección cartográfica y el sistema geodésico que corresponda. Los bloques de imágenes son ajustados en un proceso similar al de aerotriangulación, definiendo puntos identificables en dos o más imágenes con coordenadas de terreno conocidas.

Dada la característica de algunos satélites de obtener imágenes estereoscópicas, más la aplicación de algunos algoritmos para correlacionar puntos homólogos, se puede determinar una serie de cotas de una malla regular y por lo tanto, obtener un modelo digital de terreno representativo de la superficie.

Los productos de imágenes satelitales, con curvas de nivel y elementos planimétricos, están orientados claramente a estudios de escalas medianas y pequeñas, y al igual que los productos aerofotogramétricos, responden a las precisiones de la Tabla 2.304.303.A, Tolerancia en Restituciones Aerofotogramétricas.

2.304.4 LEVANTAMIENTOS MEDIANTE LÁSER TRANSPORTADO

2.304.401 Aspectos Generales. El láser transportado permite escanear superficies con alta precisión. Utiliza la técnica LIDAR (*Light Detection and Ranging*), para emitir pulsos láser determinando la distancia entre el emisor y el objeto o superficie a levantar, a través del tiempo de retraso de la señal reflejada.

A partir de la década de los años 90 se perfeccionaron técnicas de levantamiento topográfico usando sistemas transportados LIDAR, cuyo rebote sobre el terreno permite calcular las coordenadas del punto de incidencia de la señal. El sistema está conformado por dispositivos divididos en tres segmentos, los de posicionamiento satelital, los de adquisición de imágenes y los de escaneo terrestre, todo montado sobre la plataforma de transporte, que en el caso de proyectos viales, puede ser aéreo o terrestre, logrando con ello aplicaciones de diferente alcance y precisiones.

La exactitud de la posición se logra por la vinculación a la red de referencia del proyecto del receptor GNSS en tierra. Desde ahí se calcula la posición del móvil a cada segundo con soluciones GNSS en postproceso, además de las correcciones al movimiento logradas con el sistema de navegación inercial.

El levantamiento LIDAR tiene algunas ventajas sobre la captura con métodos convencionales, pues requiere un mínimo control geodésico en tierra y la información lograda tiene una mayor densidad a una muy buena precisión.

2.304.402 Láser Aéreo. Desde el aire, la toma de datos puede ser realizada mediante helicópteros o aviones, diferenciándose en las capacidades para volar a diferentes alturas y velocidades, y por consiguiente, obtener diferentes niveles de detalle de información. Vuelos de menor altura y menor velocidad implican mayor densidad de puntos colectados para el mismo emisor.

El equipo de medición está constituido por un generador/receptor de rayos láser, sincronizado con dispositivos GNSS a bordo y en tierra, sobre puntos de coordenadas y cota conocida. Los equipos GNSS deben tener una alta capacidad de grabación de datos, es decir un intervalo de grabación del orden de 1/10 de segundo, ya que en la práctica se estará trabajando como un sistema GNSS en operación cinemática. Los equipos GNSS deben ser del tipo geodésico, operando con doble frecuencia (L1 y L2). En teoría, basta con un equipo GNSS en la aeronave y uno en tierra, sin embargo por seguridad, se recomienda el uso de al menos 2 equipos en tierra.

El sistema emite rayos láser que permiten un muestreo de más de 100.000 pulsos por segundo (los emisores disponibles en el mercado operan generalmente a un número mayor de pulsos/seg), los que procesados computacionalmente, permiten en definitiva determinar las coordenadas x, y, z, con densidades que pueden superar ampliamente los 4 puntos por m² (40.000 puntos/ha). Es importante que en zonas boscosas, de menor penetración de haces, se logre una densidad efectiva cercana a la señalada, para representar correctamente la línea de terreno.

El sistema se completa con el montaje de cámaras fotográficas digitales de alta resolución, sistemas de navegación inerciales y sincronizadores que permiten ajustar las imágenes y posición satelital al movimiento específico que genera la aeronave en vuelo. Con ello se corrigen distorsiones sobre la vertical y la trayectoria.

La información levantada será clasificada por tipos de datos. Esta clasificación se preparará en detalle, previo a la ejecución de los trabajos, y se basará principalmente en la separación de las cubiertas vegetales del terreno y la identificación de elementos de importancia para el estudio, como son principalmente caminos pavimentados, caminos sin pavimentar, cursos de agua y construcciones.

La aplicación tiene como resultado:

- Archivos digitales de la nube de puntos de terreno con coordenadas x, y, z.
- Modelos tridimensionales representativos del terreno, con curvas de nivel a la equidistancia especificada, de acuerdo con la escala.
- Fotomosaico color de la faja levantada (ortofoto) con pixeles de dimensiones entre 0,15 m x 0,15 m y 0,20 m x 0,20 m.

Los principales atributos que se le asignan al método dicen relación con:

- Capacidad para alcanzar la precisión requerida a escalas medianas (ej. esc. 1:1.000).
- En zonas boscosas, la gran cantidad de puntos muestreados permite que al menos un porcentaje de ellos lleguen hasta el terreno y ayuden a su interpretación.
- Los resultados están disponibles pocos días después de realizado el vuelo, de acuerdo con la extensión del trabajo.
- Las referencias sobre las que se instalarán georreceptores en tierra pueden distar entre 20 km y 30 km, sin necesidad de tener que penetrar en las zonas intermedias, evitando accesos difíciles.
- Las determinaciones no dependen del grado de iluminación de los diversos sectores que se están levantando, pudiendo además determinarse con precisión puntos muy cercanos en planta pero de cotas muy distintas (farellones, edificios, etc.)

2.304.402(1) Tolerancias. Los fabricantes y la práctica corriente en proyectos viales establecen las siguientes precisiones para estos levantamientos:

Escala del Plano	Curvas de Nivel cada (m)	Verificación en Terreno	
		No más de 10% de la Muestra presentará un error mayor que	
		Planimetría (m)	Altimetría (m) ⁽¹⁾
1:500	0,50	0,15	0,15 – 0,25
1:1.000	1,00	0,25	0,25 – 0,50
1:2.000	2,00	0,50	0,50 – 1,00

⁽¹⁾: El rango de precisiones corresponde a tipos de superficies, considerando que para suelos descubiertos y planos se tienen los valores menores y los más altos, para tipos de suelos escarpados y con algún grado de vegetación.

2.304.402(2) Contenido de Entregas. A continuación, se señala el contenido mínimo de una entrega de información asociada a estos levantamientos. Esta referencia podrá ser ajustada y precisada de acuerdo a las condiciones de cada contrato en específico.

Los levantamientos se entregarán en láminas formato A-1, de acuerdo con la Tabla 2.902.101.A, y en versión digital, como archivos CAD; en estos archivos se deben utilizar las coordenadas del proyecto y las curvas de nivel deben estar con cota real. La planimetría con detalle se dibujará separada por capas.

Se entregará además una memoria de topografía impresa y digital, donde se expliquen en detalle los trabajos desarrollados, conteniendo la siguiente información mínima:

- Informe de calibración de los equipos componentes del levantamiento Láser.
- Listado de puntos de levantamiento Láser en formato ASCII de todo el proyecto. Los listados de puntos se entregarán en archivos independientes, de acuerdo con la clasificación de tipo de datos definida.
- Modelo digital de terreno en formato CAD, que incluya líneas duras en 3D separadas por capas.
- Versiones digitales del ortomosaico rectificado de toda la zona de estudio, en el sistema coordinado establecido.

2.304.403 Láser Terrestre. Si se requiere escanear una superficie con precisiones altas y con un nivel de detalle mayor que el ofrecido por los sistemas de transporte aéreo, se configura un sistema equivalente, pero montado sobre un vehículo, que mide prácticamente a nivel del suelo. Este sistema se denomina escáner móvil.

Este sistema está diseñado para obtener eficientemente información relevante para proyectos de mejoramiento de caminos existentes o reposición de pavimentos que se encuentren en el umbral de su vida de servicio.

El escáner móvil se puede clasificar dentro del área de recursos geoespaciales, destinado a la captura de datos móviles a través de un proceso de levantamiento, visualización, medición y generación de información. En el ámbito de la infraestructura vial, el sistema se orienta a la obtención de información de plataformas viales y todo el entorno topográfico y constructivo de la faja directa.

El equipo está compuesto por la integración de georreceptores GNSS, cámaras fotográficas digitales, una unidad de movimiento inercial, sensores LIDAR de alto rendimiento y sistemas computacionales a bordo del vehículo. La sincronización de todos estos dispositivos permite la obtención de información geoespacial en grandes volúmenes, a gran velocidad y con alta precisión. Estos sistemas están desarrollados para obtener máxima productividad en trabajos que abarcan rutas de longitudes grandes y en tiempos muy cortos de operación.

El proceso de levantamiento de información se caracteriza por obtener un conjunto de imágenes a una distancia uniforme entre ellas, eliminando imágenes extras cuando el vehículo se detiene. Automáticamente se envían señales de activación (es decir, cuando se quiere tomar una imagen) desde el software de captura a la cámara, asegurando que el disparador tenga calidad de señal, reducción de ruido y sincronización adecuada de la cámara.

El posicionamiento se logra con la integración de los siguientes tres componentes:

- 3 georreceptores GNSS (2 montados en vehículo y 1 en tierra)
- un sistema de navegación inercial (INS)
- un controlador de distancia recorrida (DMI)

Para mayor velocidad en el procesamiento de datos, se privilegian tecnologías que permitan automatizar el análisis de las nubes de puntos láser, que presenten propiedades reflectantes (por ejemplo, señales, líneas de demarcación, pavimentos, etc.), así como características que presenten densidades constantes de puntos (postes, barreras de contención, etc.). Ya que todos los puntos se georreferencian a un sistema de coordenadas X, Y, Z, las características pueden ser localizadas y colocadas con una mínima intervención del usuario.

En el mercado existen escáneres LIDAR de pulso de alto rendimiento, que permiten el giro total del haz de luz en 360 grados, sin ningún tipo de lagunas. Tienen la capacidad de emitir 300.000 pulsos por segundo, lo que puede generar nubes de puntos de terreno de densidades cercanas a 20.000.000 de puntos por kilómetro recorrido, alcanzando a 30 m de distancia puntos con una exactitud de 1,5 cm y precisión de 5 mm.

Los softwares de postproceso permiten analizar e interpretar las imágenes georreferenciadas y datos de escáner láser capturados durante las operaciones de campo. Incluyen una interfaz de usuario para el posicionamiento de objetos, y capacidades de creación de capas de datos. Las funciones incluyen: posicionamiento, medición en 3D, exportación automática de datos SIG, análisis de pavimentos facilitado por la perspectiva de las imágenes digitales, recorrido en formato de película, automatización para detección de señales, postes y demarcaciones de pavimento, etc.

Su uso está dedicado principalmente a analizar elementos tridimensionales para gestión de activos y pavimentos, diseño de carreteras, análisis de taludes de cortes, modelos digitales de terreno, mantenimiento y rehabilitación, catastros viales, entre otros.

2.304.5 LEVANTAMIENTOS TERRESTRES MEDIANTE PERFILES

2.304.501 Aspectos Generales. Una vez definido el trazado en planta de una obra vial, es necesario conocer la conformación del terreno circundante para definir la posición final de la rasante y las características de las secciones transversales que resultarán al imponer la plataforma de proyecto.

Los diversos tipos de perfiles que se levanten tienen por objeto representar con fidelidad la forma y las dimensiones que el terreno presenta, según los planos principales que definen tridimensionalmente la obra. Sobre esos perfiles se colocará posteriormente la obra en proyecto, a una escala que permita ubicar sus diversos componentes.

Según la etapa y tipo de estudio, los perfiles de terreno pueden obtenerse de un plano de levantamiento o directamente del terreno [véase Numeral 2.801.204(3), Perfiles del Terreno]. En este Numeral se especifican los procedimientos para su obtención en terreno.

En ocasiones, los elementos replanteados han sido removidos de su posición, por lo que en la etapa de levantamiento de perfiles será necesario reemplazar estacas, replanteando los elementos de acuerdo con lo señalado en la Sección 2.307, Replanteo de Obras Viales.

2.304.502 Perfil Longitudinal del Terreno. Se llama perfil longitudinal del terreno a la intersección de éste con una superficie de generatrices verticales que contiene el eje del proyecto.

Los puntos del terreno por levantar quedan definidos durante el estacado del eje del proyecto (véase Numeral 2.307.202, Elementos de Interés), por lo que la distancia horizontal D_m acumulada desde el origen de kilometraje es un dato conocido, que está señalado en terreno, próximo a cada estaca.

La determinación de las cotas del estacado se hace mediante una nivelación geométrica, ligada a y cerrada contra el sistema de referencia altimétrico del proyecto.

2.304.502(1) Procedimiento de la Nivelación. El levantamiento del perfil longitudinal en terreno corresponde a una nivelación geométrica de todas las estacas que lo conforman, llevando a un registro las lecturas que se observen, conjuntamente con la distancia acumulada en cada punto. El registro que conviene emplear es del tipo por cota instrumental [véase Numeral 2.305.302(2), Registro, Cálculo y Compensación de Nivelaciones Geométricas].

2.304.502(2) Tolerancias. La nivelación entre dos PR se efectuará leyendo con estimaciones de milímetros sobre las estacas asociadas a los puntos de cambio y a los cinco milímetros en el resto de las estacas, tanto en el recorrido de ida como en el de regreso. El cierre entre PR consecutivos debe cumplir con la expresión $0,01 k^{1/2}$ (m). Una vez compensado el error de cierre a lo largo de los puntos de cambio, se calcula

la cota de cada estaca, promediando las dos determinaciones, siempre que éstas no difieran en más de 10 mm.

Las estacas que se encuentren ubicadas en terrenos naturales, donde la dificultad de acceso no permita ejecutar nivelaciones geométricas, se podrán acotar mediante nivelaciones trigonométricas o satelitales, controlando precisiones mejores que 5 cm en cada estaca.

2.304.503 Perfiles Transversales de Terreno. Se define como perfil transversal de un camino o carretera a la intersección del terreno con un plano vertical normal al eje, en el punto de interés.

El perfil transversal tiene por objeto presentar la posición que tendrá la obra proyectada respecto del terreno y, a partir de esta información, determinar las distintas cantidades de obra asociadas.

2.304.503(1) Procedimiento del Levantamiento. Para efectuar el levantamiento de perfiles transversales se procederá de la siguiente manera:

- a) **Definición del perfil transversal.** En cada estaca del perfil longitudinal, el perfil transversal debe determinarse en un eje lo más exactamente normal al eje, ya que un error de dirección significará un error sistemático de las evaluaciones posteriores. El eje transversal definido se puede señalar, mientras dure su levantamiento, con marcas, jalones u otros elementos de instalación provisoria, que sirvan de guía quienes ejecuten el levantamiento.
- b) **Levantamiento de puntos singulares.** Para la confección del perfil transversal se deben tomar todos los puntos que definan o ayuden a definir cambios de pendiente del terreno, cruce de canales, cercos, y cualquier otro detalle de interés o punto singular. En todo caso, debe haber, a lo menos, un punto cada 10 m en el sentido transversal.

Recorriendo el eje longitudinal en el sentido creciente de las distancias acumuladas (D_m), las distancias horizontales sobre los ejes transversales que se midan hacia la derecha serán positivas y a la izquierda negativas, ambas con cero u origen en el eje longitudinal.

Las distancias verticales se miden con un nivel automático o digital, se registran al centímetro y se refieren al sistema altimétrico del levantamiento.

En casos de fuerte pendiente, el desnivel se puede establecer trigonométricamente o mediante nivelaciones satelitales (véase Tópico 2.305.3, Medición de Distancias Verticales o Desniveles).

Los registros deben consignar, para cada punto del perfil, la distancia horizontal, la cota, un identificador y la distancia acumulada longitudinal de la estaca. Si la medición es indirecta, se deben agregar las columnas de los elementos que efectivamente se miden para calcular las distancias horizontales y verticales.

- c) **Perfiles especiales.** Algunos aspectos de un estudio de caminos, como obras de arte, requieren perfiles especiales, según ejes que corten el eje longitudinal bajo un cierto ángulo.

Los perfiles especiales se pueden definir por la distancia acumulada D_m más el ángulo del corte. Otros serán definidos por números o letras y se les ubicará en la planta. En obras de arte, el ángulo de esviaje se anotará como aquél que se mediría mirando hacia atrás según el avance de la D_m y girando según los punteros del reloj, hasta alcanzar la dirección que define el sentido del escurrimiento de las aguas. Con lo que ángulos menores que 200° implican escurrimientos de derecha a izquierda y mayores que 200° , lo contrario.

2.304.503(2) Tolerancias. Las tolerancias en cota y distancia dependerán del punto que se esté levantando y del tipo de terreno de que se trate, debiendo cumplir con lo indicado en la Tabla 2.304.503.A, Tolerancias en Perfiles Transversales.

TABLA 2.304.503.A
TOLERANCIAS EN PERFILES TRANSVERSALES

TIPO DE TERRENO	HORIZONTAL	VERTICAL
Pavimentos o Estructuras	5 cm	2 cm
Plataformas Granulares	5 cm	8 cm
Terreno natural con desnivel transversal moderado	20 cm	10 cm
Terreno natural con desnivel transversal fuerte	20 cm	25 cm

2.304.504 Dibujo de Perfiles. Los perfiles longitudinales y transversales se dibujarán a escalas concordantes con el nivel del proyecto que se esté desarrollando y deberán contener la información gráfica y numérica que se especifica en los Numerales 2.902.303, Perfil Longitudinal, y 2.902.305, Perfiles Transversales, respectivamente.

2.304.6 LEVANTAMIENTOS CATASTRALES

2.304.601 Aspectos Generales. Se entiende por relevamiento al proceso de recolectar datos de terreno orientados y relacionados a trazados existentes. En general, el principal elemento a relevar en proyectos de recuperación o cambio de estándar y en actualizaciones de catastros viales, es el trazado mismo, definido por el eje de la ruta o una aproximación a las características geométricas de éste, dependiendo de la precisión requerida. Todos los otros elementos relevados o levantados, en general se definen con una ubicación relacionada a la Dm del eje y con sus atributos característicos, o de ser posible, se pueden determinar sus coordenadas específicas mediante mediciones GNSS.

El sistema de referencia geodésico utilizado en relevamientos será SIRGAS (WGS84) y proyección cartográfica UTM, independiente de que en proyectos viales se pueda además requerir la información en el sistema TM local definido en las etapas de estudios. La referencia altimétrica se define como una aproximación al nivel medio del mar, mediante la aplicación de modelos geoidales globales, como por ejemplo el EGM08.

2.304.602 Levantamiento de Ejes. El trazado será levantado con mediciones GNSS, con observación de la fase portadora en modo cinemático del tipo continuo, con soluciones en postproceso (véase Figura 2.304.603.B, Representación de los Métodos Cinemáticos). Para este efecto, una antena GNSS es montada en un vehículo, el que se desplazará a velocidades que permitan registrar puntos con la densidad adecuada, para definir correctamente la geometría del trazado. Los elementos asociados a la red vial, podrán además ser levantados mediante técnicas de posicionamiento GNSS en tiempo real.

A fines de referencia horizontal, las observaciones del móvil son vinculadas a una estación base ubicada sobre un monolito perteneciente o ligado posteriormente a la red de referencia del estudio. En el caso de no contar con una red de referencia, como sucede normalmente en trabajos de catastros viales, se podrán utilizar como estaciones base las estaciones GNSS de medición continua del Instituto Geográfico Militar de Chile (IGM) o las estaciones de la propia Dirección de Vialidad administradas por el Subdepartamento de SIG y Cartografía, previa verificación de la ubicación y disponibilidad de ellas.

Es importante registrar las coordenadas del punto de inicio y fin del trazado, registrando algunas características mínimas como la identificación del camino, el kilometraje de los puntos y la fecha del registro.

2.304.603 Levantamiento de Elementos Asociados a la Red Vial. Los elementos asociados al trazado que normalmente requieren ser levantados, especialmente para la confección de catastros viales, son principalmente:

- Elementos de seguridad vial
- Elementos del saneamiento
- Secciones de la carpeta de rodadura
- Puentes o estructuras.

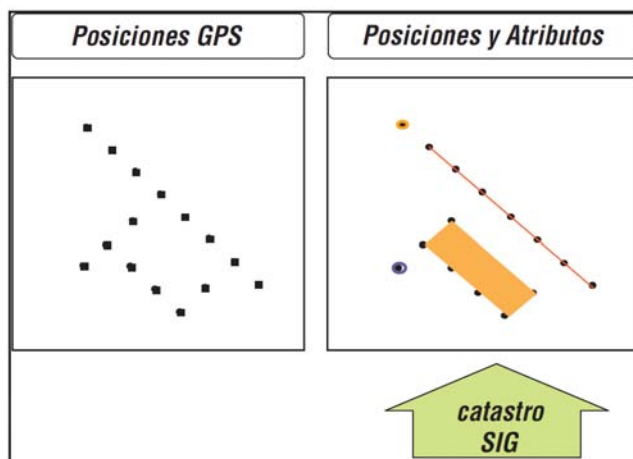
Cabe señalar que, según las características físicas de los elementos a levantar, se deberá especificar si corresponden a elementos puntuales o lineales. Así, independiente de la forma en que se levanten, los elementos deberán representarse en la cobertura SIG considerando esta característica.

Estos levantamientos de información se realizarán utilizando equipos GNSS de precisión submétrica, con corrección diferencial, junto con colectoras de datos que permitan generar diccionarios, de tal forma de introducir en terreno las características de cada elemento levantado, o bien, con equipos GNSS que permitan lectura de fase portadora generando levantamientos cinemáticos en tiempo real o postproceso del tipo estático rápido, o *stop & go*.

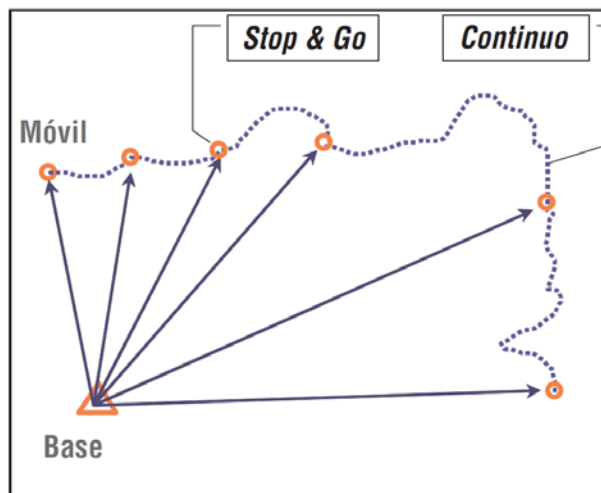
En modo estacionario, el levantamiento de elementos tipo punto, como placas, obras de arte, etc., normalmente demora segundos y las coordenadas se determinan a partir de la media de todas las posiciones grabadas durante el período estacionario, mientras se introducen las informaciones catastrales al colector de datos. Elementos tipo línea o polígono, por ejemplo ejes o contornos, se levantan en forma dinámica, con la antena moviéndose sobre el elemento deseado. Los elementos se forman por una sucesión de puntos DGPS (véase Figura 2.304.603.A, Representación Observaciones DGPS Catastrales).

En levantamientos con fase portadora en modo cinemático tipo *stop & go*, el tiempo de ocupación es de algunos segundos. Las coordenadas se determinan a partir de 3 a 10 épocas de medición; según el intervalo de grabación. La toma de datos para un punto puede demorar entre 3 y 30 segundos (véase Figura 2.304.603.B, Representación de los Métodos Cinemáticos).

**FIGURA 2.304.603.A
 REPRESENTACIÓN OBSERVACIONES DGPS CATASTRALES**



**FIGURA 2.304.603.B
 REPRESENTACIÓN DE LOS MÉTODOS CINEMÁTICOS**



2.304.604 Traspaso de Datos a Sistema de Información Geográfica. Una vez procesados los datos levantados en terreno (corrección diferencial), deberán ser exportados al formato compatible con el Sistema de Información Geográfica (SIG) de la Dirección de Vialidad.

En el caso particular de los ejes viales, el archivo resultante (SIG) deberá ser depurado minuciosamente, con el fin de corregir anomalías geométricas producto de la metodología de levantamiento. Estas anomalías se manifiestan a través de:

- Saltos de la señal satelital, producidos por obstrucciones (túneles, pasarelas, edificios, zonas boscosas, etc.) y que generan, por de la no toma de vértices, rectas que omiten la sinuosidad del eje, afectando directamente la real representación del elemento levantado.
- Detención del móvil, sin detener la medición y registro. Esto genera nudos de vértices, producidos por las sucesivas mediciones en un mismo punto.
- Se deberá considerar la revisión topológica de los ejes levantados, verificando que las intersecciones y/o uniones de éstos coincidan en un único vértice.

Finalmente, a los elementos levantados y posteriormente traspasados al SIG, se les deberá calcular su Dm de ubicación, con cifra significativa al m. Para ello, se deberá emplear la herramienta de referenciación lineal y en particular, localización a lo largo de la ruta, disponible en los softwares SIG. Este procedimiento utiliza la cobertura de ejes calibrados y asigna, a partir de éstos, el Dm al elemento adyacente correspondiente. Este procedimiento se podrá realizar en coordinación con el Subdepartamento de SIG y Cartografía de la Dirección de Vialidad.

2.304.7 MEDICIONES GNSS PARA HIDROGRAFÍA

Los levantamientos batimétricos pueden ser posicionados por DGPS en tiempo real (TR). Las profundidades medidas por el ecosonda son correlacionadas a la ubicación dada por el posicionador DGPS, de acuerdo con el instante correspondiente al contacto con el lecho que se está levantando. Dependiendo del tipo de ecosonda y del equipo GPS la correlación entre tope y posición puede ser de varias formas:

- Ecosonda analógico. No hay posibilidad de integración física entre el posicionador DGPS y la ecosonda; en este caso, los disparos deben ser marcados manualmente, por el instante de registro dada por el instrumento GPS, de tal manera que posteriormente se permita la correlación entre profundidad y posición DGPS, correspondiente a un mismo instante.
- Ecosonda digital y DGPS, con colector de datos (de la misma clase usada para levantamientos terrestres). En caso de ecosonda digital, que permite la conexión por cable serial al equipo DGPS, se puede usar el colector de datos acoplado al equipamiento DGPS conectado a un sensor externo (en este caso, ecosonda), grabando las posiciones DGPS y las profundidades en un mismo archivo dentro del colector.
- Ecosonda digital con DGPS integrado a un programa hidrográfico. Este es el caso de automatización más completo. Existen en el mercado programas de adquisición específicos para hidrografía, que funcionan a bordo durante la medición y requieren equipamiento DGPS; éstos incluyen la preparación del sondeo, navegación automática, adquisición y tratamiento de datos.

2.304.701 Bases DGPS. En cualquiera de los casos, las correcciones en tiempo-real (correcciones RTCM) son generadas y transmitidas por bases terrestres de referencia. Existen al menos tres opciones de estaciones de referencia:

- Base propia. El propio usuario instala su base DGPS terrestre con transmisión de correcciones RTCM, normalmente en las bandas de radio UHF y VHF, con alcance máximo hasta alrededor de 40 km, en visada libre de obstáculos.
- Correcciones MSK. El usuario debe estar en las proximidades (hasta centenas de kilómetros) de una estación de referencia MSK y poseer un radio receptor de correcciones RTCM específico, conectado

a un receptor GNSS en tiempo-real, o un receptor DGPS con radio MSK incorporado. Las correcciones MSK son transmitidas en señal abierta, sin costo.

- Correcciones WADGPS. Este sistema es privado y sujeto a pago de suscripción por uso de la señal. Se debe disponer de un receptor específico de datos satelitales para generación de correcciones RTCM. En la práctica, no hay restricción en cuanto al alejamiento máximo de las estaciones de referencia.

2.304.702 Navegación. La navegación durante la adquisición guiada por GPS tiene como objetivo navegar sobre líneas de sondeo proyectadas y debe ser de forma diferencial en tiempo real. No se permite la navegación autónoma para este fin, por los errores inherentes a este tipo de posicionamiento. En modo DGPS-TR, usualmente la posición de la antena GPS a bordo y la posición del «transductor» no coinciden (véase Figura 2.304.702.A) y se deben introducir valores de corrección, el *off-set* entre ellos. La presencia de corrientes laterales o vientos durante la colecta de datos provoca un desvío entre la dirección de navegación y la dirección de la proa que, dependiendo de la magnitud el desvío, puede introducir discrepancias significativas entre la posición aparente y real del transductor (véase Figura 2.304.702.B). Para compensar este efecto, se puede utilizar un sensor de orientación (brújula digital o aguja giroscópica) conectado al sistema de navegación; de esta manera, se reduce la posición DGPS a la posición del sondeo. Este error puede ser importante en embarcaciones grandes, si la antena y el sensor están distantes uno del otro, según el eje de la embarcación. El error puede minimizarse aproximando antena GPS y sensor.

Figura 2.304.702.A
 Off-set entre antena GPS y sensor

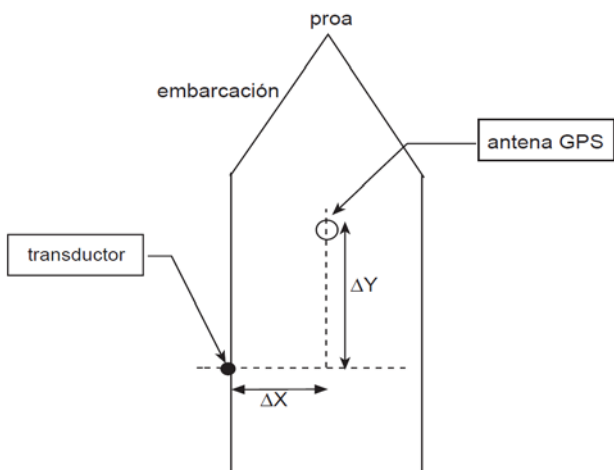
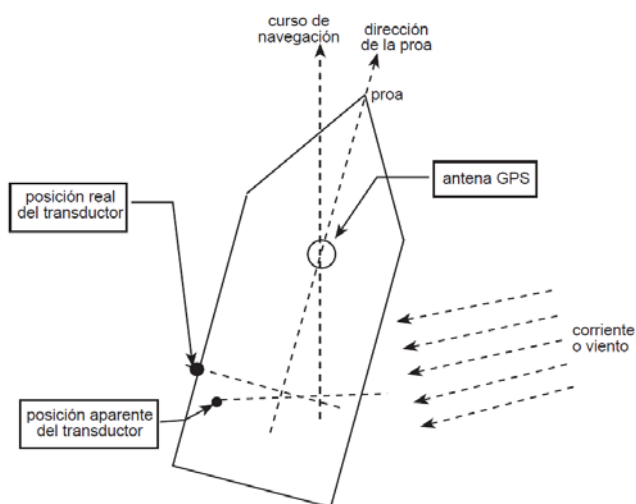


Figura 2.304.702.B
 Corrección de dirección



2.304.703 Protocolo RTCM. Las correcciones DGPS transmitidas por las estaciones de referencia obedecen normas RTCM SC-104. Dentro del patrón binario RTCM, las palabras o tipos de uso en DGPS son los números 1, 2, 3 y 16, del siguiente cuadro:

Palabras RTCM SC-104

Tipo #	Nombre	Característica
1	Correcciones diferenciales	Final
2	Delta correcciones diferenciales	Final
3	Parámetros estación de referencia	Final
4	Levantamientos	Tentativa
5	Salud constelación	Tentativa
6	Cuadro nulo	Final
7	Almanaque radio faro	Tentativa
8	Almanaque pseudolite	Tentativa
9	Correcciones diferenciales en alta razón	Final
10	Correcciones diferenciales con código P	Reservado
11	Código C/A- L1, L2 Delta Correcciones	Reservado
12	Parámetros estación Pseudolite	Reservado
13	Parámetros transmisor terrestre	Tentativa
14	Mensaje auxiliar a levantamientos	Nuevo, reservado
15	Mensaje Ionósfera (Tropósfera)	Nuevo, reservado
16	Mensaje especial ASCII	Final
17	Almanaque efemérides	Nuevo, reservado
18 - 59	No definido	
60 - 63	Mensaje Diferencial Loran-C	Nuevo, reservado

2.304.704 Protocolo NMEA. La transmisión de datos vía cable entre periféricos, sea GPS, ecosonda, giroscopio, brújula, piloto automático, etc., se realiza según normas de la Asociación Nacional de Estados Unidos de Electrónica Marina - NMEA (National Marine Electronics Association). Esta norma, conocida como NMEA-0183, define señales, protocolos de transmisión, tiempo y formato (ASCII) de la sentencia para comunicación entre instrumentos de navegación. Entre los mensajes del patrón NMEA, se encuentran las siguientes:

Sentencias NMEA

Mensaje	Elementos transmitidos
GGA	Tiempo, posición, calidad GPS, satélites, HDOP, ID estación referencia
VTG	Track made good (TMG), Speed over ground (SOG)
ALM	Semana GPS, salud SV's, almanaque completo para cada satélite
GLL	Posición, tiempo, estado
GSA	Modo operación receptor, satélites usados, DOP
GSV	Satélites visibles, PRN's, elevación, azimut, SNR
ZDA	UTC, fecha, <i>offset</i> local

SECCIÓN 2.305 CONCEPTOS Y MÉTODOS GENERALES EN MEDIDAS DE TOPOGRAFÍA

2.305.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

La presente Sección está destinada a presentar diversos conceptos, criterios y métodos generales que permiten efectuar medidas básicas o elementales de uso frecuente en topografía y que se relacionan a diversos procedimientos contenidos en el Capítulo.

Se incluyen métodos destinados a medir distancias horizontales, distancias verticales o desniveles, ángulos horizontales y ángulos verticales.

2.305.2 MEDICIÓN DE DISTANCIAS HORIZONTALES

2.305.201 Aspectos Generales. Las distancias que se requiere determinar en los trabajos topográficos corresponden a distancias horizontales.

El procedimiento utilizado en terreno, el cálculo y las correcciones, deben ser tales, que el valor que finalmente se adopte, valor más probable o promedio, cumpla con la precisión exigida para el trabajo.

En general las distancias podrán ser medidas con georreceptores GNSS y con estaciones totales. En este caso, se determina directamente la distancia que se quiere conocer. Por ello, recibe el nombre de método directo para la medida de distancias.

Por otra parte, la distancia entre puntos puede determinarse mediante cálculos que combinan diversos elementos que se han medido. Por la forma de obtener el resultado éstos se denominan métodos indirectos. Entre los métodos de medida indirecta de distancia se encuentran: poligonación, intersección de visuales, coordenadas, etc.

En consecuencia, se incluyen a continuación sólo los métodos de uso general actual y aquéllos otros que, por ser una alternativa, resulta conveniente mencionarlos.

2.305.202 Medidas de Precisión para Distancias Horizontales

2.305.202(1) Con Georreceptores GNSS. Esta forma de medir distancias permite altas precisiones en las medidas horizontales. El procedimiento se basa en cálculo de distancia por diferencia de coordenadas cartesianas X, Y, Z, entre 2 puntos. En primer lugar, de manera directa se tiene la distancia inclinada "Di"

$$D_i = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$$

Dado que dos puntos cualquiera A y B, tienen alturas elipsoidales "hA" y "hB" distintas entre ellas, se originan dos distancias horizontales, denominadas "Dhs" (distancia horizontal superior) y "Dhi" (distancia horizontal inferior). La magnitud de la distancia horizontal por lo tanto, sería el promedio de estas.

Para el cálculo de estas distancias, se requiere determinar la posición X, Y, Z del punto 'A', que es la proyección de 'A' a la altura del punto 'B' y de igual manera el punto 'B' que es la proyección de 'B' en la altura de 'A', de la forma descrita en Numeral 2.301.202(5), *Coordenadas Geocéntricas o Cartesianas letra A*). Con lo que se obtiene:

$$\begin{array}{l} X = (N+h) \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda \\ Y = (N+h) \cdot \cos \varphi \cdot \operatorname{sen} \lambda \\ Z = [N \cdot (1 - e^2) + h] \cdot \operatorname{sen} \varphi \end{array} \quad y \quad \begin{array}{l} XA' = (N+hB) \cdot \cos \varphi_A \cdot \cos \lambda_A \\ YA' = (N+hB) \cdot \cos \varphi_A \cdot \operatorname{sen} \lambda_A \\ ZA' = [N \cdot (1 - e^2) + hB] \cdot \operatorname{sen} \varphi_A \end{array} \quad , \quad \begin{array}{l} XB' = (N+hA) \cdot \cos \varphi_B \cdot \cos \lambda_B \\ YB' = (N+hA) \cdot \cos \varphi_B \cdot \operatorname{sen} \lambda_B \\ ZB' = [N \cdot (1 - e^2) + hA] \cdot \operatorname{sen} \varphi_B \end{array}$$

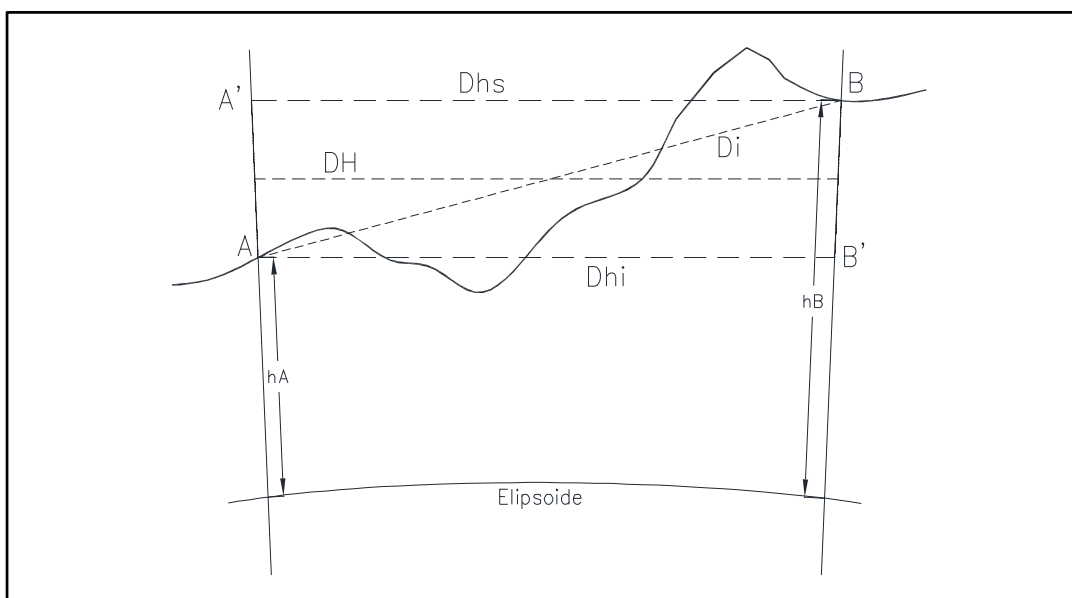
Calculando distancias entre las posiciones anteriores se tiene:

$$D_{hs} = \sqrt{(XA' - XB)^2 + (YA' - YB)^2 + (ZA' - ZB)^2}$$

$$D_{hi} = \sqrt{(XB' - XA)^2 + (YB' - YA)^2 + (ZB' - ZA)^2} \quad , \text{cuando } h_A < h_B.$$

y, $DH = \frac{D_{hs} + D_{hi}}{2}$, es la distancia horizontal entre los puntos A y B

FIGURA 2.305.202.A
DISTANCIA HORIZONTAL ENTRE DOS PUNTOS MEDIANTE GNSS



2.305.202(2) Con Estación Total. Esta forma de medir distancias es aplicable a variados trabajos topográficos: transporte de coordenadas, levantamientos topográficos, replanteo de diseños, etc.

La distancia medida con una estación total es inclinada y va desde el emisor de onda luminosa (infrarrojo o láser) hasta el reflector. La magnitud es reducida a la horizontal automáticamente, incorporando las correcciones por condiciones atmosféricas imperantes.

La medida resultante de las observaciones efectuadas resultará con un error, que señalan los fabricantes del instrumento y que se descompone en dos términos: el primero un valor constante, casi siempre entre 1 y 5 mm y otro, dependiente de la distancia, casi siempre del orden de 1 mm a 3 mm por kilómetro. Adicionalmente al error propio del instrumento deben tenerse presente otras variables, como son: la excentricidad en la instalación sobre la estación, la excentricidad y/o desaplome en la instalación del reflector sobre el punto hasta el cual se mide y otras dependientes de las limitaciones humanas.

En la Tabla 2.305.202.A se ilustra la precisión de la medida en función de la distancia, considerando distintos tipos de instrumentos y distintos errores de instalación del instrumento y del prisma, todo ello para mostrar la influencia de las variables. Sean:

- Ev = Error estándar del instrumento, función de la distancia (mm/km)
- Ef = Error estándar del instrumento, componente fija (mm)
- Ei = Error de centrado del instrumento o de instalación (mm)
- Ep = Error de centrado del prisma y/o mal aplomado (mm)

TABLA 2.305.202.A
PRECISIÓN DE MEDIDAS CON ESTACIÓN TOTAL

Tipo de Instrumento	Ev (mm/km)	Ef (mm)	Ei (mm)	Ep	Curva	Calidad de Operación
A	1	1	2	2	A-2	Deseable
A	1	1	2	20	A-20	Aceptable si L > 1.000 m
A	1	1	2	50	A-50	Mala
A	1	1	2	100	A-100	Muy Mala
B	3	3	2	2	B-2	Deseable
B	3	3	2	10	B-10	Razonablemente Buena
B	3	3	2	20	B-20	Aceptable si L > 1.000 m
C	5	5	2	2	C-2	Deseable
C	5	5	2	20	C-20	Aceptable si L > 1.000 m

De acuerdo con lo expuesto en 2.306.204(1) c) el error del resultado quedará dado por:

$$E = \pm [(E_v \cdot L)^2 + E_f^2 + E_i^2 + E_p^2]^{1/2}$$

Y en función de la distancia, la precisión se expresa como $E/L = 1/(L/E)$

El análisis de las curvas del gráfico de la Lámina 2.305.202.A, que ilustra distancias reducidas a la horizontal, sin considerar el posible error derivado de dicha reducción, permite establecer que:

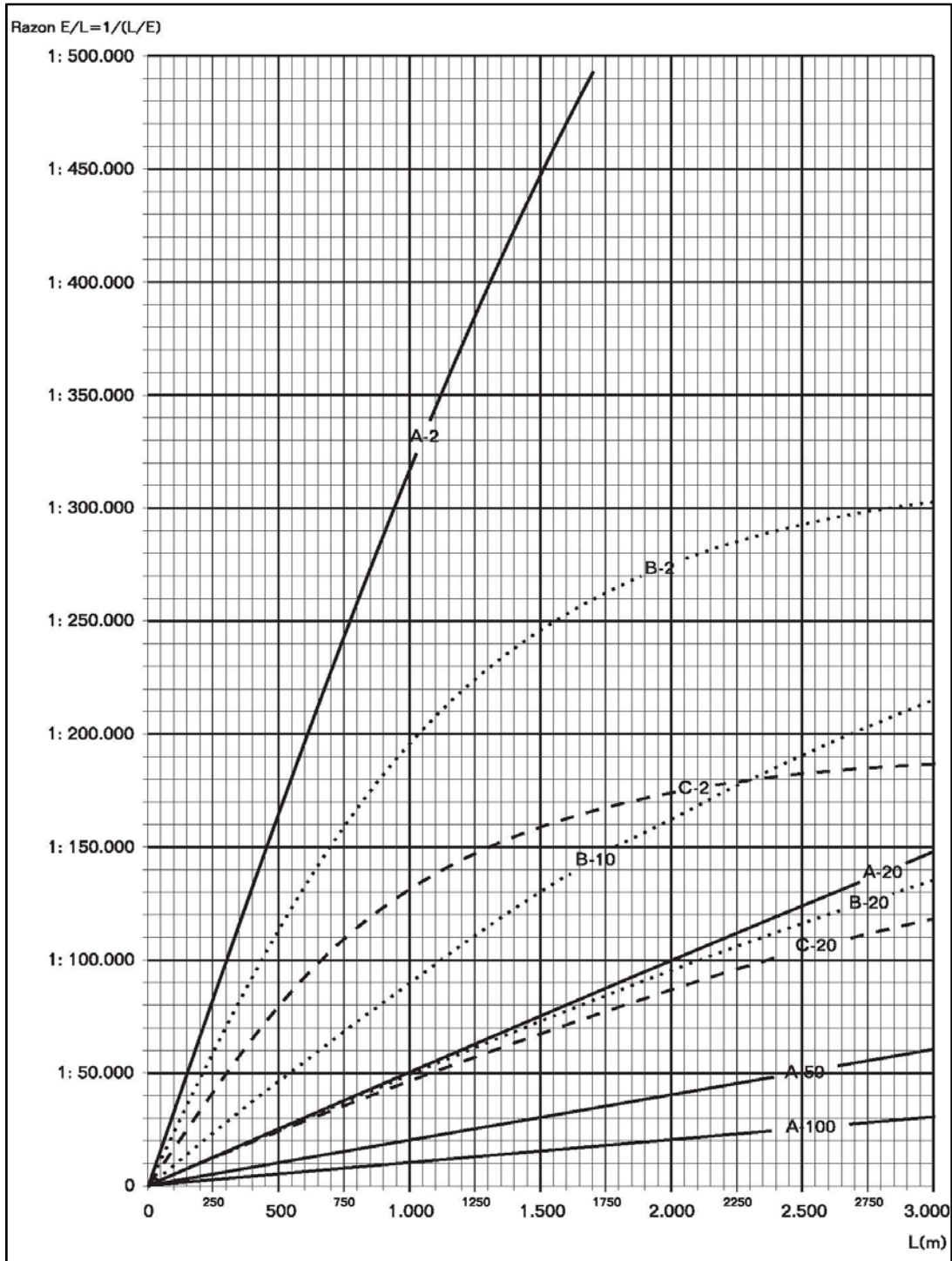
- La precisión es siempre creciente en función de la distancia y para una operación "deseable" se logran altas precisiones incluso para distancias del orden de 300 m. Para instrumentos menos precisos ésta cae más rápidamente para distancias crecientes (curvas A2, B2 y C2).
- La curva B-10 con una calidad de operación razonablemente buena, ilustra el efecto de los errores de centrado y/o prisma mal aplomado (10 mm), respecto de la operación deseable (francamente buena).
- Para errores de centrado y/o prisma mal aplomado, de 20 mm en el sentido de la visual del operador (este no puede detectarlo), la precisión cae en forma importante. Nótese que en este caso (curvas A20, B20, C20) la precisión del instrumento prácticamente no ayuda a mejorar la precisión de la medida hasta que no se superan longitudes del orden de 1.000 m.
- Finalmente las curvas con errores de centrado del prisma y/o esté mal aplomado, de 50 y 100 mm (curvas A50 y A100), que de hecho deben ser consideradas como faltas, muestran que, aún cuando se trate del instrumento más preciso (Tipo A), la precisión de la medida es baja en términos absolutos, y extremadamente baja respecto de lo que se puede alcanzar con una operación aceptable o deseable. (Para los casos B y C-50 y B y C-100 que no se ilustran, resultarían rectas prácticamente coincidentes con A-50 y A-100).

Se hace notar que un alarife sin el debido entrenamiento, que instale alto un bastón porta prisma, por problemas de visibilidad, bien puede introducir un error en la medida de 100 mm o más.

Lo expuesto precedentemente implica tomar precauciones, como las siguientes:

- Exigir longitudes superiores a un cierto mínimo, de acuerdo con la precisión requerida en la medición de poligonales.
- Que independientemente de la calidad del instrumento que se esté usando, no se deben ahorrar esfuerzos para instalar correctamente el instrumento y el prisma, asegurando la posición sobre la señal de este último y la perfecta verticalidad del portaprisma. Para lograr esto último, en especial al medir distancias en el orden de los mínimos recomendados, o menores que éstos si ello es ineludible, se debe instalar el prisma sobre un trípode provisto de una base nivelante o, en su defecto, fijar el bastón porta prisma mediante bípode o tirantes y afinar su verticalidad con una nivelante.

LÁMINA 2.305.202.A
PRECISIÓN DE MEDIDAS CON ESTACIÓN TOTAL



2.305.203 Medidas de Media y Baja Precisión para Distancias Horizontales

2.305.203(1) Medidas Corrientes con Cinta Métrica. Las medidas de distancias con cinta métrica pueden cubrir una amplia gama de precisiones, según sea el refinamiento metodológico y la calidad de los equipos utilizados. Corresponde en este caso considerar las metodologías corrientes, es decir, aquéllas en que no se corrigen todos los errores sistemáticos que puedan afectar la medición: temperatura, tensión, flecha, etc., y que permiten el uso de diversos tipos de materiales, desde acero a tela, en la confección de la cinta.

Entre las cintas se encuentran aquellas fabricadas en metales como acero y níquel, también las de uso más frecuente fabricadas en plástico. A éstas se les llama huinchas, y su uso, más que recomendable, debe ser obligatorio en medidas corrientes en poblados o en cualquier otro lugar en que haya peligro de contacto con cables eléctricos.

La condición de horizontalidad de las mediciones de distancia entre puntos ubicados a distinto nivel, puede cumplirse midiendo su distancia inclinada, la que deberá ser reducida a la horizontal determinando la pendiente o el desnivel entre los puntos.

Debe evitarse incurrir en errores por la tensión aplicada en los extremos, tratando que ésta se aproxime a la de calibración. Como resultado de lo anterior, a veces la tensión aplicada superará el valor de calibración y en otras será menor, lo que permitirá cierta compensación. Cuando la cinta queda libre sobre sus extremos se produce una curva, resultante de su peso propio, la cual falsea la medida. Deberá, entonces, aplicarse cierta tensión adicional que minimice la curva. En todo caso es necesario cuidar de no exagerar la tensión aplicada, dado que podría incurrirse en errores de sobre alargamiento por tensión excesiva.

En casos particulares, en que el terreno es liso y plano, puede ser lícito apoyar la cinta en toda su extensión, facilitando el proceso de medida. En estas condiciones, la tensión por aplicar en los extremos no debe contemplar el efecto de flecha.

Para mediciones de longitudes extensas es poco práctico su uso, en cambio para longitudes que pueden ser cubiertas con una huinchada (perfiles transversales levantados con nivel), su uso es razonable.

De una medida corriente con cinta métrica se puede esperar precisiones entre 1:500 y 1:5.000 de la longitud medida, según el terreno y el refinamiento con que se realice la medición.

2.305.203(2) Distancia con Método Estadimétrico. La distancia se puede medir de modo indirecto, visando una mira distante bajo un ángulo pequeño y fijo. El equipo necesario está constituido por un anteojo topográfico con dos hilos horizontales coplanares, paralelos y equidistantes en su retículo, llamados hilos estadimétricos, y por una mira graduada.

El procedimiento consiste en observar con el anteojo la posición aparente de los hilos estadimétricos sobre la mira colocada en posición vertical. El trozo de mira comprendido entre los dos hilos, llamado intervalo estadimétrico o "Generador", es proporcional a la distancia entre el anteojo y la mira. En los instrumentos en uso la relación "K" entre la distancia y el Generador es una constante igual a 100.

A pesar de la precisión con que el fabricante coloca los hilos, la constante estadimétrica «K» cuando la visual es horizontal presentará, para cada instrumento en particular, una pequeña discrepancia entre el valor teórico y la realidad.

El procedimiento descrito tiene un alcance limitado y una precisión media a baja, razón por la cual no es recomendable su empleo.

2.305.3 MEDICIÓN DE DISTANCIAS VERTICALES O DESNIVELES

2.305.301 Aspectos Generales. Se llama cota o elevación de un punto, a su distancia a una superficie de nivel de referencia. La superficie de referencia adoptada podrá corresponder a un plano o a una superficie curva, los cuales pueden ser reales o imaginarios.

Se denomina Superficie de Nivel a aquella caracterizada porque todos sus puntos tienen igual cota o elevación. La cota de una superficie de nivel corresponde a la cota de cualquiera de sus puntos.

La distancia vertical entre dos puntos es la diferencia de cotas, o desnivel, entre las superficies de nivel que pasan por ellos.

Nivelar es determinar o medir la distancia vertical o diferencia de cotas entre dos puntos del terreno.

En topografía, línea horizontal es una recta tangente a una superficie de nivel. Ángulo vertical es aquél formado por dos rectas situadas en un mismo plano vertical, en que una de ellas es necesariamente horizontal. La superficie de referencia que se adopta es la del nivel medio del mar; sólo en casos justificados se puede permitir otra.

Las medidas directas de distancias verticales se pueden hacer de varias maneras. Cuando se trate de alturas en construcciones, profundidades de pozos u otros casos semejantes, se puede usar distanciómetros manuales o cintas métricas; pero para puntos ubicados sobre la superficie del terreno, como sucede en caminos, los métodos prácticos de nivelación que corresponda usar serán: nivelación geométrica y eventualmente, nivelación por sistemas satelitales o nivelación trigonométrica.

2.305.302 Nivelación Geométrica. La metodología precisa para determinar desniveles consiste en medir directamente distancias verticales. Se le denomina nivelación directa, geométrica o por alturas. El objetivo del procedimiento es transportar la cota de un punto de referencia "PR" a otro y las precisiones alcanzadas varían de acuerdo al refinamiento que se logre en el proceso de medición.

2.305.302(1) Condiciones del Método. La nivelación geométrica será el procedimiento apropiado para transportar el sistema altimétrico de referencia a lo largo de todo un estudio vial, cualquiera sea su extensión, siempre que la escala del plano por ejecutar sea mayor o igual que 1:2.000. Servirá de base a otras nivelaciones (trigonométricas y satelitales, para dar cota a estaciones de control para levantamientos terrestres o aéreos) y en ella se apoyarán todos los trabajos posteriores de esta naturaleza; entre ellos los levantamientos topográficos, los replanteos de diseños y finalmente, las mediciones topográficas en etapas constructivas.

Las mediciones deben efectuarse por el método de nivelación doble o cerrada, con lo que se podrá controlar la precisión en los puntos de cierre.

Las miras deben permitir establecer su verticalidad incorporando un nivel esférico. Se apoyarán sobre el punto establecido en cada 'PR', en los puntos de cambio que sea necesario y en puntos intermedios si se requiere. Los puntos de cambio deben permitir un apoyo estable, pues parte importante del éxito de la nivelación dependerá de la calidad de éstos. Lo anterior hace recomendable disponer de placas metálicas de apoyo (sapos) y/o usar puntos fijos apropiados que se encuentren en el trayecto.

Para lograr distintas precisiones, de acuerdo al objetivo del trabajo, se considera las siguientes condiciones:

Precisión	Tolerancia (mm) ⁽¹⁾	Distancia Puntos de Cambio	Distancia Recorrida de Cierre	Aplicación	Condiciones Especiales
Alta	$0,3 \sqrt{K}$	≤ 25 m	≤ 200 m	Control para Estructuras	Lecturas por sobre 0,5 m de altura sobre el terreno
Normal	$10 \sqrt{K}$	≤ 50 m	≤ 1.000 m	Referencias Viales	
Corriente	$20 \sqrt{K}$	≤ 70m	≤ 2.000 m	Densificación de PR Auxiliares	

⁽¹⁾: K es la distancia recorrida expresada en kilómetros

La monumentación corresponde a lo indicado en la Lámina 2.303.402.A. Para nivelaciones corrientes, la Dirección de Vialidad podrá autorizar el uso de monumentos auxiliares o monumentos provisorios, según se describen en el Numeral 2.303.403.

Los niveles por utilizar corresponderán a las características señaladas en la tabla 2.310.302.D, Características Referenciales de Niveles.

2.305.302(2) Registro, Cálculo y Compensación de Nivelaciones Geométricas. La metodología que se indica a continuación constituye una alternativa como mínimo de referencia para establecer la información asociada a las nivelaciones.

- a) **Registro.** Se recomienda el Registro de la Tabla 2.305.302.A, Registro de Nivelación Geométrica.
- b) **Cálculos.** El cálculo de los registros de nivelación es de dominio general y está basado en la fórmula fundamental de la nivelación geométrica:

$$C_B = C_A + I_A - I_B$$

en que la cota de un nuevo punto (C_B) es igual a la cota del punto conocido (C_A), desde el cual se inicia la marcha de nivelación, más la lectura de atrás (I_A) - cota instrumental - menos la lectura del punto intermedio y/o la lectura de adelante (I_B), efectuadas en los puntos de cambio.

- c) **Compensación.** La compensación de una nivelación que forma un solo circuito es sencilla y sólo se necesita definir el criterio de repartición del error. Cuando el resultado de la nivelación queda en tolerancia, se distribuye el error de cierre por partes iguales para el recorrido de ida y el de regreso. Si el error está fuera de tolerancia, la nivelación debe ser ejecutada nuevamente.

En el caso de nivelaciones que se cierran en varios circuitos, todos los cuales deben resultar simultáneamente compensados, como es el caso de una red, se debiera recurrir a una compensación por mínimos cuadrados. Cuando en alguna situación muy particular se necesite una compensación por mínimos cuadrados se deberá consultar la literatura existente.

**TABLA 2.305.302.A.
 REGISTRO DE NIVELACIÓN GEOMÉTRICA**

PUNTOS	LECTURAS EN LA MIRA			COTAS		OBSERVACIONES
	ATRAS	INTERM.	ADELANTE	INSTRM.	DEL PUNTO	

2.305.303 Nivelación Trigonométrica. La nivelación trigonométrica corresponde, en términos absolutos, a un método de mediana precisión para la determinación de desniveles. Se trata de un método indirecto de nivelación, en que se miden ángulos verticales o cenitales, distancias horizontales o inclinadas, alturas instrumentales y de jalón y, a partir de ellas, se calcula la diferencia de altura. Estos cálculos podrán ser manuales, pero las Estaciones Totales incorporan programación sencilla para determinar desniveles de manera directa.

La nivelación trigonométrica será apropiada para densificar la información de cotas a sectores complejos de nivelar geoméricamente, a partir de puntos de referencia acotados con mayor precisión. El instrumental utilizado corresponde a Estaciones Totales de las características señaladas en la Tabla 2.310.302.C.

2.305.303(1) Condiciones del Método. La precisión de una nivelación trigonométrica es función de la precisión en la medida de varias componentes, la que a su vez, estará ligada a los equipos que sean utilizados en su determinación.

La expresión general de la nivelación trigonométrica para determinar la cota de un punto B, instalando el instrumento en la estación A, es:

$$C_B = C_A + h_{iA} - h_{jB} + h_{AB} + [(Dh)^2 / (2R)] (1 - K)$$

en que :

- C_B : cota del punto B o punto de cota por conocer.
- C_A : cota del punto A o punto de cota conocida.
- h_{iA} : altura instrumental en A.
- h_{jB} : altura de jalón o prisma en B al cual se hace la puntería.
- h_{AB} : diferencia de altura por inclinación de la visual para el teodolito instalado en A.
- D_h : distancia horizontal entre los puntos A y B.
- R : radio de curvatura terrestre (6.380×10^6 m).
- K : coeficiente que depende de la refracción atmosférica (valor medio igual 0,08).

Si la distancia entre A y B se conoce reducida a la horizontal (D_h), se tiene: $h_{AB} = D_h \cot Z_A$

Si la distancia se conoce inclinada (D_i), entonces: $h_{AB} = D_i \cos Z_A$

Z_A : ángulo cenital leído estacionado en A

Si, para determinar el desnivel entre dos puntos, se utiliza el método de lecturas recíprocas simultáneas, se elimina, tanto el error sistemático producido por la curvatura terrestre como la variación en el tiempo de la refracción atmosférica. Además, se tienen dos valores para una misma medida cuya discrepancia debe estar en tolerancia.

En este caso, el desnivel entre ambos puntos queda dado por:

$$\Delta C = C_B - C_A = 1/2 (h_{iA} - h_{iB} + h_{jA} - h_{jB} + h_{AB} - h_{BA})$$

Si las observaciones no son simultáneas y las distancias son moderadas, como es el caso de levantamientos topográficos con mediciones radiales, las correcciones por curvatura y refracción son despreciables, entonces el desnivel queda dada por:

$$\Delta C = C_B - C_A = h_{iA} - h_{jB} + h_{AB}$$

Llamando σ_{hiA} , σ_{hjB} , σ_{Di} y σ_{ZA} , a los indicadores de precisión asociados a la determinación de la altura instrumental, la altura de jalón o prisma, la distancia inclinada y el ángulo cenital, respectivamente; la precisión en la determinación de la diferencia de cota ($\sigma_{\Delta C}$), es la siguiente:

Observaciones Simultáneas:

$$\sigma_{\Delta C} = 1/2 [(\sigma_{hiA})^2 + (\sigma_{hiB})^2 + (\sigma_{hjA})^2 + (\sigma_{hjB})^2 + (\cos Z_A \sigma_{Di})^2 + (\cos Z_B \sigma_{Di})^2 + (D_i \sin Z_A \sigma_{ZA})^2 + (D_i \sin Z_B \sigma_{ZA})^2]^{1/2}$$

Observaciones Sucesivas - Distancias Moderadas:

$$\sigma_{\Delta C} = [(\sigma_{hiA})^2 + (\sigma_{hjB})^2 + (\cos Z_A \sigma_{Di})^2 + (D_i \sin Z_A \sigma_{ZA})^2]^{1/2}$$

Introduciendo en esta expresión los valores asociados a la precisión resultante de un cierto número de observaciones, es posible determinar si los resultados están dentro de las tolerancias especificadas, o bien, determinar el número de observaciones requeridas para mejorar la precisión individual de cada variable, para alcanzar la precisión exigida en el resultado. Mediante un análisis de este tipo es posible establecer si es conveniente utilizar instrumental de mayor precisión que el considerado inicialmente o mejorar la calidad de las observaciones con el instrumental en uso.

Por ello, las precisiones que a continuación se señalan para las distintas variables que intervienen en el cálculo corresponden solo a un caso promedio de la práctica general.

- a) **Precisión en medida angular.** En una nivelación recíproca, en que se tienen lecturas angulares efectuadas simultáneamente desde ambos puntos extremos de la nivelación, las lecturas de ángulo vertical deben efectuarse, a lo menos, dos veces en directa y en tránsito, y el error probable del promedio no excede de 10cc. Se recomienda mediciones con ángulos cenitales comprendidos entre 70g y 130g.
- b) **Precisión en medida de distancia.** La distancia es medida con una precisión de a lo menos 1:20.000 de su longitud.
- c) **Precisión en error de cierre de circuitos.** Si los tramos de un circuito no superan los 2 km de longitud, el error máximo de cierre en desnivel no excede de:

$$Em_{\text{máx.}} = \pm 0,05 (K)^{1/2} \text{ [m]}; \text{ en que K es la longitud del circuito expresada en kilómetros.}$$

2.305.303(2) Registro, Cálculo y Compensación de Nivelaciones Trigonométricas. Los registros utilizados para nivelaciones trigonométricas (estaciones y puntos) incluirán: medidas angulares, medidas de distancias y medidas de altura instrumental y de jalón, además de las observaciones y monografías pertinentes.

- a) **Registro de medidas angulares.** Los ángulos verticales medidos dos veces se registrarán en directa y en tránsito. Se observará que la suma entre las lecturas en directa y sus respectivas en tránsito, se mantenga sensiblemente constante y próxima a 400 grados centesimales. Además en el registro se dejará constancia de la altura instrumental y de la(s) altura(s) de jalón, señal o de prismas, en que se observó el ángulo vertical.
- b) **Cálculo del ángulo vertical (cenital).** Los ángulos verticales observados en directa y en tránsito deberán sumar 400g. La discrepancia que se observe - constante y del mismo signo - corresponderá al error de índice, cuyo valor debe mantenerse sensiblemente igual al residuo de la corrección del instrumento. Este error se distribuye en partes iguales para la lectura en directa y en tránsito.
- c) **Compensación de la nivelación trigonométrica.** La compensación de la nivelación trigonométrica debiera efectuarse corrigiendo los valores directamente medidos pero, a causa de la precisión de este tipo de nivelaciones, en la práctica basta con repartir el error de cierre del circuito nivelado en proporción al camino recorrido, lo cual se ve facilitado por el conocimiento que se tiene de la longitud de los lados.

2.305.304 Métodos Satelitales para Determinar Desniveles. Otra forma de determinar desniveles, es a través de mediciones diferenciales de doble posición con receptores GNSS, en postproceso o tiempo real.

De acuerdo con la Figura 2.305.304.A, la medición satelital sobre los puntos 'A' y 'B', determina las alturas 'hA' y 'hB' respectivamente, dadas sobre la superficie del elipsoide de referencia. La diferencia de altura 'Δh' es el desnivel elipsoidal entre dos puntos, que en algunos casos (cercanía entre los puntos y/o sectores con pendientes regulares), puede prácticamente coincidir con el desnivel 'ΔH' referido al geoide.

Si en algún sector de trabajo, las superficies del geoide (n.m.m) y el elipsoide fueran paralelas, entonces $\Delta h = \Delta H$, con lo que las nivelaciones elipsoidales coincidirían con las nivelaciones geométricas. Sin embargo, existe una diferencia de altura entre la superficie geoidal y elipsoidal llamada ondulación geoidal 'N', que presenta variaciones en su magnitud representadas en la Figura 2.305.304.B, por lo que los desniveles se relacionan de acuerdo a la expresión $\Delta H = \Delta h - \Delta N$.

En la nivelación satelital con georreceptores GNSS, se puede lograr resultados con precisiones mejores que 2 cm, generalmente con puntos que se encuentren ubicados a no más de 5 km de separación. Más allá de esta distancia, la variación de la ondulación geoidal puede distorsionar los valores de desniveles a precisiones menores a la señalada, por lo que su uso requiere del análisis de esta variable.

El método satelital puede ser útil para determinar cotas de bases auxiliares de un STC, cuando en sectores de difícil acceso se requieran levantamientos topográficos especiales, para realizar una nivelación geométrica o trigonométrica.

Para las medidas de cotas determinadas con instrumental GNSS, en Proyectos Viales se recomienda establecer calibraciones de ajuste local, respecto de la Red de Referencia Altimétrica del proyecto. Al medir en al menos 4 puntos de referencia, se logra un modelo de ajuste bajo el cual todas las medidas (RTK), de un levantamiento o replanteo de cotas, se calcula en relación a la referencia altimétrica local. Con esto se reemplaza el cálculo de la ondulación geoidal dada por la aplicación de modelos globales. Las precisiones en la determinación de cotas, serán las indicadas por la calidad relativa del modelo de ajuste obtenido.

FIGURA 2.305.304.A
SUPERFICIES DE REFERENCIA

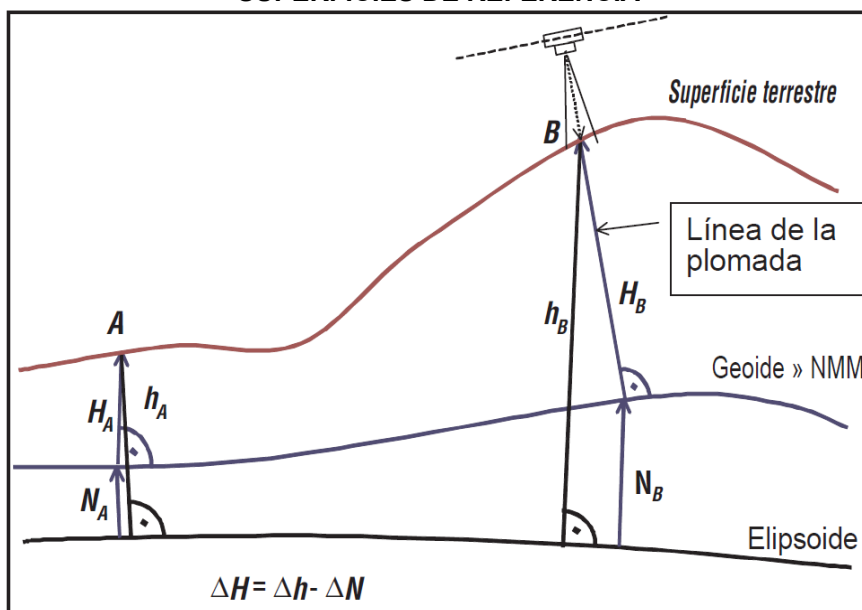
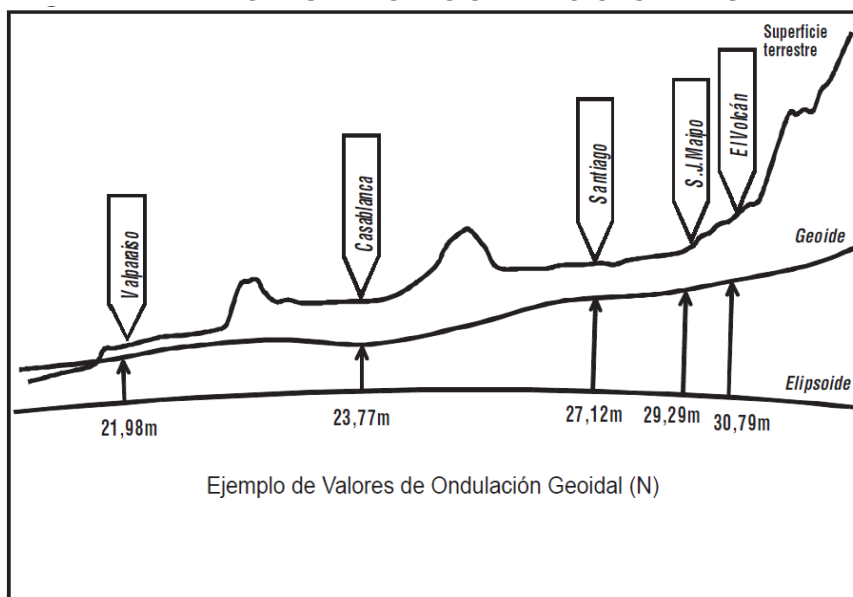


FIGURA 2.305.304.B
PERFIL DE ONDULACIONES SENTIDO OESTE - ESTE



2.305.305 Métodos de Baja Precisión para Determinar Desniveles. En trabajos de exploración o reconocimientos o estudios preliminares, en que no se requiere mayor precisión en la determinación de desniveles, puede utilizarse instrumentos de navegación GNSS portátiles de mano, determinando desniveles por simple diferencia en el registro de cotas. La precisión puede resultar de varios metros por lo que no se recomienda su uso más allá de lo señalado.

2.305.4 MEDICIÓN DE ÁNGULOS

2.305.401 Aspectos Generales. Para establecer la ubicación de un punto respecto de un sistema de referencia, algunos métodos requieren de la determinación de valores angulares.

En planimetría, la dirección de una línea se determina midiendo el ángulo horizontal que ésta forma con otra, que se toma como referencia. En altimetría, la dirección de una línea se determina mediante el ángulo vertical que ésta forma con la horizontal. En consecuencia, en los trabajos topográficos, los ángulos son horizontales o son verticales y, evidentemente, lo que se mide son sus proyecciones sobre planos horizontales o sobre planos verticales.

En los trabajos topográficos los ángulos pueden medirse con distinta precisión según sea la metodología e instrumental que se emplee. Los ángulos se determinan, directamente cuando son medidos efectivamente, e indirectamente cuando son calculados a través de una relación matemática a partir de otras mediciones realizadas previamente.

2.305.402 Medición de Ángulos Horizontales. Para los puntos de detalle de un levantamiento los ángulos serán leídos sólo en posición directa, en tanto que para los vértices de una poligonal los ángulos podrán ser medidos en directa y en tránsito. Cuando se necesite conocer el valor de un ángulo con precisión, ya se trate de la medida angular de vértices de poligonales o en aquellas oportunidades en que se necesite determinar con precisión varias direcciones concurrentes a un vértice, será posible recurrir al método de reiteración, y si se requiere obtener medidas de una dirección específica que se replantee, o de otros casos particulares, se podrá usar el método de repetición.

Si no se toman ciertas precauciones de orden general, por refinado que sea el método de medida que se emplee, se corre el riesgo de incurrir en faltas de consideración en la medida de los ángulos horizontales. Es el caso de una incorrecta instalación del instrumento sobre la estación, o bien de faltas en relación a puntería sobre la señal que pueden deberse a una inadecuada ubicación de ésta, a su falta de verticalidad o al excesivo ancho del elemento sobre el que se está apuntando, en especial cuando las lecturas son a corta distancia.

La Tabla 2.305.402.A ilustra el efecto de las faltas por error de puntería en función de la distancia entre la estación y el punto. Puede apreciarse que éstas pueden ser considerables, incluso hasta en distancias de 2 km a 3 km, si el desplazamiento del instrumento o de la señal o de ambos supera 10 mm.

**TABLA 2.305.402.A
 FALTA ANGULAR EN FUNCIÓN DEL DESPLAZAMIENTO Y DISTANCIA AL PUNTO**

δ (cm)	0,5	1	2	3	4
D(m)	FALTA ANGULAR α^{cc}				
50	64	127	255	382	509
100	32	64	127	191	255
200	16	32	64	95	127
500	6	13	25	38	51
1.000	3	6	13	19	25
2.000	2	3	6	10	13
3.000	1	2	4	6	8

α^{cc} = Falta angular por error de puntería.
 δ (cm) = Desplazamiento por error de puntería.
 D (m) = Distancia entre la estación y el punto.
 α^{cc} = 6.366,2 [δ (cm)/D(m)]

2.305.402(1) Método de Medida Simple de Ángulos (Puntos de Relleno). En estos casos, la comprobación de las mediciones que se han efectuado para cada punto del levantamiento se verificarán una vez que se dibuje el plano; el resultado será tan bueno como represente lo levantado, por lo cual es muy importante la confección de un buen croquis durante la etapa de terreno y una confrontación visual posterior del plano resultante con el terreno o al menos con fotografías aéreas.

Si el ángulo que se mide es AOP, con el instrumento bien instalado en O y en condiciones de operar, verificadas sus correcciones, se procede a visar el punto A fijando el anteojo y se registra en el limbo horizontal el valor de la lectura que corresponda, en seguida, con el limbo fijo, se lleva el anteojo a visar el punto P registrando el respectivo valor de la lectura en el limbo. El valor del ángulo AOP será el correspondiente a la diferencia de las dos lecturas hechas.

2.305.402(2) Medición Compensada de Ángulos (Directa y Tránsito). El número mínimo de observaciones que se debe hacer para medir un ángulo que no tiene otra comprobación, es medirlo en directa y en tránsito, esto es, se mide una vez en la posición normal de trabajo y después se da media vuelta de campana (el anteojo se gira sobre su eje horizontal hasta que el ocular queda al otro lado del trípode), sin modificar la orientación de O(g), referencia, y se vuelve a medir el ángulo. Los valores obtenidos no deben diferir en más de la tolerancia aceptable y el promedio elimina algunos errores instrumentales, como los debidos a la excentricidad, verticalidad del eje vertical, descorrección del eje horizontal, etc. También es bueno recordar que las diferencias en la lectura (directa y tránsito) de diferentes ángulos deben ser aproximadamente constantes y mantener el signo.

2.305.402(3) Método de Reiteración. El método se basa en medir varias veces un ángulo horizontal por diferencia de direcciones y en diversos sectores equidistantes en el limbo, para evitar, principalmente, errores de graduación. En una misma reiteración se pueden medir varios ángulos colaterales. El ángulo de reiteración es 200^g dividido por el número de reiteraciones.

A continuación se presenta en detalle la operatoria para una medida angular por reiteración y su correspondiente Registro. Se supone que hay que medir los ángulos P1 A P2.

Se empezará por instalar perfectamente el instrumento sobre la estación A y, una vez puesto en condiciones de observar, se procederá de la siguiente manera:

- i) Se dirige el anteojo en posición directa hacia el punto P1, afinando la puntería con el instrumento calado en cero o cerca de cero.
- ii) Se busca el punto P2 girando hacia la derecha, y se afina la puntería. Se anota el ángulo resultante que acusa el limbo. Se repite la operación para otros ángulos que quisieran ser leídos en la misma reiteración.
- iii) Se vuelve apuntar sobre P1, girando siempre hacia la derecha y registrando el ángulo observado en cada oportunidad.
- iv) Se transita el instrumento y el anteojo se vuelve a apuntar sobre P1. Se registra el ángulo observado.
- v) Se repiten en tránsito las operaciones ii) y iii), registrando los valores angulares observados, con lo cual se tiene la primera reiteración.
- vi) La segunda reiteración se inicia fijando en el limbo el ángulo de reiteración y apuntando en directa hacia P1, fijando el limbo y soltando después el anteojo, para mirar a P2, hasta volver a P1 girando siempre el anteojo hacia la derecha. Se registra el valor angular observado.
- vii) Se repiten en tránsito las operaciones iv) y v).
- viii) Se vuelve a apuntar sobre P1 con el respectivo ángulo de reiteración, repitiendo el ciclo hasta la última reiteración.

Este método elimina errores instrumentales promediando valores. El anteojo se debe rotar siempre en el sentido de los punteros del reloj. Si hay error de arrastre entre la alidada y el limbo, el error para todos los ángulos es en el mismo sentido y se puede compensar, modificando los valores en forma de anular la diferencia de la última lectura con 0(g). La exactitud de los resultados aumenta con el número de reiteraciones.

Para el cálculo del registro se procede de la siguiente manera (véase la Tabla 2.305.402.B):

- Se calcula el promedio de los valores obtenidos para cada dirección correspondientes a las punterías que se efectuaron sobre puntos, tanto en directa como en tránsito, para los efectos del promedio deberá considerarse el orden de magnitud real del ángulo, lo que equivale a restar el ángulo de reiteración y tener en cuenta los giros completos realizados.
- El promedio reducido se calcula sumando algebraicamente a la primera dirección lo que sea necesario para que su promedio quede en 0°. Este valor angular se suma, con su signo, a cada una de las demás direcciones del promedio.
- El promedio ponderado se obtiene haciendo que la última dirección cierre un giro completo, 400°; las demás direcciones se corrigen con el mismo signo, en proporción a la magnitud de su promedio reducido.

**TABLA 2.305.402.B
REGISTRO POR REITERACIÓN**

Est	N° Reit.	Punto	Directa	Tránsito	Promedio	Promedio Reducido	Comp. (cc)	Ángulos Corregidos
A	1	P1	0.0025	200.0005	0.0015	0.0000	+ 0	0.0000
		P2	39.6388	239.6410	39.6399	39.6384	+ 0	39.6384
		P1	400.0016	200.0008	400.0012	399.9997	+ 3	400.0000
					e = - 0.0003			
	2	P1	50.0030	250.0012	50.0021	0.0000	+ 0	0.0000
		P2	89.6436	289.6420	89.6428	39.6407	+ 1	39.6408
		P1	50.0020	250.0002	50.0011	399.9990	+ 10	400.0000
					e = - 0.0010			
	3	P1	100.0020	300.0010	100.0015	0.0000	+ 0	0.0000
		P2	139.6402	339.6398	139.6400	39.6385	+ 1	39.6386
		P1	100.0005	300.0001	100.0003	399.9988	+ 12	400.0000
					e = - 0.0012			
	4	P1	150.0054	350.0042	150.0048	0.0000	+ 0	0.0000
		P2	189.6432	389.6392	189.6412	39.6364	+ 1	39.6365
		P1	150.0042	350.0028	150.0035	399.9987	+ 13	400.0000
					e = - 0.0013			

COMPENSACIÓN ERROR DE ARRASTRE
COMPENSADO

COMPENSACIÓN UNITARIA

$Cu = -e / \bar{x}$ promedio reducido de cierre

Ej. Para primera reiteración

$Cu1 = 0,0003 / 399,9997 = 0.00000075 = 0,0075^{cc}/\text{grado}$

	Ángulos definitivos por promedio
P1	0,0000
P2	39,6386
P1	400,000

2.305.402(4) Método de Repetición. Para poder aplicar este método se necesita un instrumento que permite repetir la medida del ángulo horizontal acumulando lecturas sucesivas sobre el limbo horizontal. El valor acumulado se divide por el número de repeticiones, como se verá más adelante. Los instrumentos que se usan para este sistema de medición, tienen un eje vertical de rotación que permite girar el instrumento arrastrando el limbo horizontal, lo que se denomina movimiento general, y un eje vertical de la alidada o anteojo que permite girar el instrumento manteniendo fijo el limbo horizontal, con lo que se produce un movimiento relativo del anteojo respecto del limbo.

Lo que se trata de aprovechar en este método es la ventaja de poder multiplicar un ángulo en forma mecánica, obteniendo la lectura del producto de esa multiplicación con la misma precisión que la lectura de un ángulo simple.

La precisión del método de repetición aumenta con el número de veces que se multiplica o repite el ángulo. En las primeras repeticiones la precisión aumenta notoriamente para ir decreciendo después, por lo que se recomienda un máximo de 3 a 5 repeticiones. Si se requiere mayor precisión es preferible hacer el trabajo con un teodolito de mayor resolución angular.

A continuación se presenta un detalle de operatoria, registro y compensación para un ángulo medido por repetición.

Se comienza por instalar perfectamente el instrumento repetidor sobre la estación E y, una vez puesto en condiciones de medir, se procederá de la siguiente manera:

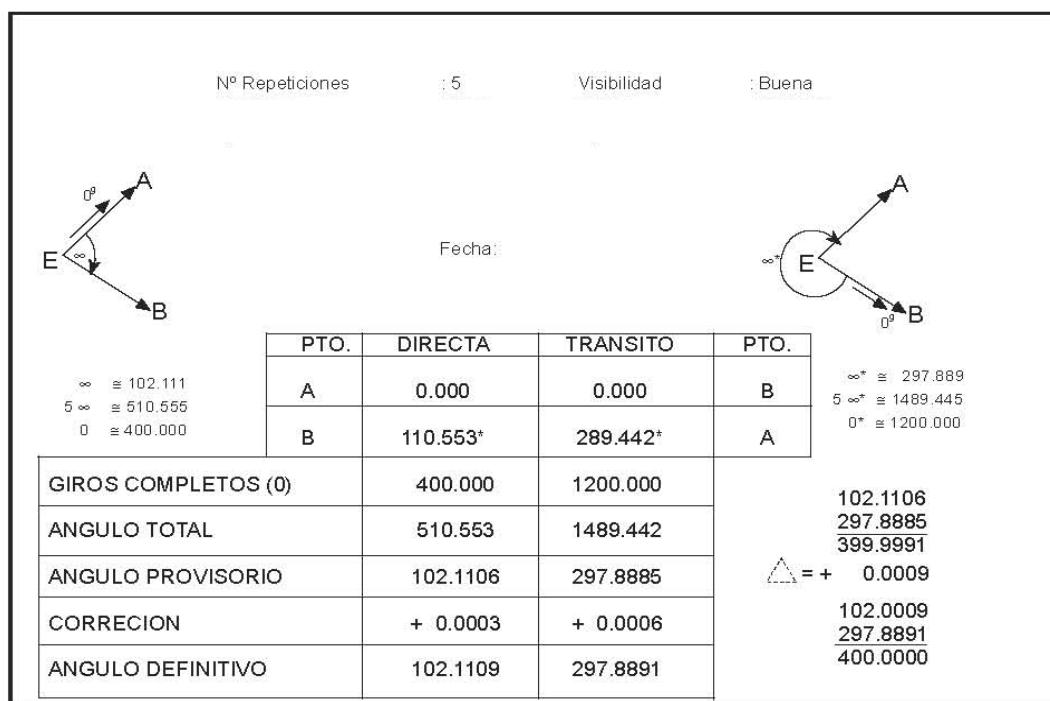
- i) Se busca el ángulo horizontal 0^g hasta que esté próximo; se cala exactamente el ángulo 0^g con el tornillo de tangencia de la alidada.
- ii) Se apunta el anteojo aproximadamente sobre el punto A, que está a la izquierda. Se bloquea el movimiento general y con su tornillo de tangencia se apunta exactamente sobre A.
- iii) Se suelta el movimiento sobre el eje de la alidada y se apunta el anteojo hacia B, se aprieta el tornillo de presión y se lleva la visual, con el tornillo de tangencia de la alidada, exactamente sobre B.
- iv) Se registra la lectura de ángulo horizontal que se observe (α).
- v) Se suelta el movimiento general y, rotando siempre en el sentido de los punteros del reloj, se vuelve a apuntar hacia A por segunda vez exactamente sobre el punto A mediante el tornillo de tangencia del movimiento general.
- vi) Se suelta el tornillo de presión de la alidada y se apunta el anteojo hacia B, se aprieta el tornillo de presión y se apunta exactamente con el tornillo de tangencia de la alidada. Con esto se completa la segunda repetición.
- vii) Se repiten las operaciones v) y vi) cuantas veces sea necesario, hasta completar el número de repeticiones para, finalmente, registrar el ángulo horizontal que se observa.
- viii) Se transita el teodolito y se repiten las siete operaciones anteriores. En este caso se está midiendo un ángulo suplementario respecto de 400^g , por lo que se cala con 0^g hacia B y se mide el ángulo BEA; luego se gira sobre la alidada cuando se va de B hacia A y se gira sobre el movimiento general cuando se va de A a B. En ambos casos el giro se ejecuta en el sentido de los punteros del reloj.

Esta forma de operar permite eliminar los errores instrumentales compensables. Se debe girar siempre en el sentido de los punteros del reloj, ya se gire sobre la alidada o sobre el movimiento general. Si hay error de arrastre entre la alidada y el limbo, el error es siempre en el mismo sentido, tanto para el ángulo como para su suplemento; éste se puede compensar en proporción al ángulo como se puede ver en el ejemplo.

El registro se calcula, después de haberse anotado los ángulos que indica el limbo, de la siguiente manera (véase la Figura 2.305.402.A):

- i) Se comienza anotando el valor simple del ángulo (α en directa y α' en tránsito).
- ii) Se calcula el valor del ángulo final en directa después de las n repeticiones ($n \alpha = \dots$), para obtener el número de vueltas completas del ángulo α sobre el limbo (θ y θ').
- iii) Se procede a llenar la línea de giros completos con los valores obtenidos para θ y θ' .
- iv) Se calcula el valor del ángulo total, sumando θ y θ' a los valores leídos en el limbo después de las n repeticiones.
- v) Se calcula el ángulo provisorio, dividiendo por "n" los valores del ángulo total.
- vi) Se suman los valores del ángulo provisorio en directa y tránsito, debiendo determinarse un ángulo próximo a 400° .
- vii) La diferencia que se tenga (discrepancia) se reparte entre los dos valores del ángulo provisorio proporcionalmente a su magnitud, para completar la suma de 400° .
- viii) El ángulo definitivo es el valor final de la medición.

**FIGURA 2.305.402.A
REGISTRO POR REPETICIÓN**



*Ángulo que se lee en el limbo después de las 5 repeticiones

2.305.402(5) Verificación de Precisiones en la Medida de Ángulos Horizontales. Al emplear los métodos de reiteración o repetición, se obtiene un resultado final compensado, pero no se establece la precisión con que se determinan él o los ángulos. En los trabajos específicos se indican las precisiones con que deben ser medidos los ángulos horizontales.

A continuación se señalan las verificaciones que deben efectuarse según el método empleado:

a) Reiteración: En este caso se consignan todas las mediciones efectuadas y, por lo tanto, es posible calcular el promedio y la desviación estándar para determinar el indicador de precisión requerido. Si dicho indicador está en tolerancia se procede a compensar según se especificó, en caso contrario se debe repetir el proceso de medida.

b) Repetición: Como en este método no se consignan los valores de las observaciones intermedias, no es posible calcular la desviación estándar y, por ende, los indicadores de precisión. En estas circunstancias antes de proceder a compensarse deberá verificar el cumplimiento de lo siguiente:

Si la discrepancia de la suma de los ángulos provisorios (directa + tránsito) respecto de 400(g) no excede las tolerancias requeridas, se compensará según lo especificado para el método de repetición y se adoptará el valor compensado. Si la discrepancia excede la tolerancia, se deberá efectuar una nueva serie de repeticiones.

2.305.403 Medición de Ángulos Verticales. El ángulo vertical con que se observa un punto puede quedar sobre o bajo la horizontal, es positivo cuando queda sobre la horizontal y es negativo cuando queda bajo ella.

Si bien esta es la forma de referirse a estos ángulos, en general los instrumentos no están referidos a la horizontal en su limbo vertical. Lo corriente será disponer de instrumentos referidos al cenit. En estos instrumentos en posición directa, 0^g coincide con el cenit y se tiene 100^g en la horizontal. El limbo vertical es fijo y, por lo tanto, no es posible medir un ángulo por repetición ni reiteración.

Las principales aplicaciones de los ángulos verticales son: reducir a la horizontal las distancias inclinadas y determinar desniveles o diferencias de cota. Para la primera aplicación no se necesita gran precisión en las medidas del ángulo, en comparación con los requerimientos del segundo caso.

En la medida de un desnivel, el error final tiene componentes derivadas de errores en la determinación de la altura instrumental de instalación, de la altura de lectura sobre la mira o el jalón, de la observación angular y de la medida de la refracción. La corrección por refracción puede ser peligrosa en oportunidades, pues se aplica un cierto valor fijo cuando es eminentemente variable. Para minimizar este error se recomienda efectuar medidas simultáneas desde ambos puntos (lecturas recíprocas), lo que permite reducir sensiblemente el error por refracción, promediando los desniveles determinados desde cada extremo.

Un ángulo vertical se puede medir de diversas maneras:

a) Lectura simple. Cuando se necesite conocer el ángulo vertical para una serie de puntos, será necesario efectuar, previamente, lecturas en directa y tránsito a un punto bien definido y apropiado; como la suma de éstas debe ser 400^g, se determina el error de índice. Así, las lecturas individuales para otros puntos hechas sólo en directa pueden ser corregidas, si es el caso, de acuerdo con la observación patrón.

b) Lecturas comprobadas (directa y tránsito). Un método que permite tener más seguridad en el valor del ángulo observado, consiste en medirlo en directa y en tránsito para cada punto. Si la diferencia respecto de 400^g que se obtiene de la suma de ellos es prácticamente constante en varias mediciones, ella se debe al error de índice.

c) Lecturas comprobadas a distintas alturas de jalón. Este método es similar al anterior, con la diferencia que el proceso se repite a diferentes alturas de jalón, las que se miden directamente en él con una cinta métrica.

Por cálculos se comprobará posteriormente si el desnivel varía en lo mismo que cambia la altura de jalón.

Los mejores resultados se obtienen cuando el método se usa de ida, A → B, y de regreso, B → A. Mejor aún, si el proceso recíproco es simultáneo, pues se elimina el efecto de la refracción por el simple promedio de ambos resultados para el desnivel. En este caso debe determinarse el error de índice previamente.

SECCION 2.306 ANÁLISIS DE ERRORES

2.306.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

La presente Sección está destinada a cumplir los siguientes objetivos:

- Explicitar el significado y alcance que tendrán en el ámbito de este Volumen y, en particular, en este Capítulo, diversos términos o conceptos de uso frecuente en topografía. El Tópico 2.306.2, Errores y su Cuantificación, tiene el alcance mencionado y puede, además, servir de ayuda memoria en relación con la teoría de los errores.
- Presentar diversos criterios y métodos generales de uso corriente en topografía, que aparecerán repetidas veces en el texto del Capítulo, pudiendo así citar esta Sección y evitar reiteraciones innecesarias.

2.306.2 ERRORES Y SU CUANTIFICACIÓN

2.306.201 Conceptos Básicos

2.306.201(1) Precisión. Cualitativamente, es el grado de refinamiento en la ejecución de una operación y, como tal, dependerá de la calidad del operador, del instrumental y de los procedimientos y métodos utilizados. En la formulación de un resultado, la precisión se asocia al número de cifras significativas con que éste se presenta [véase Numeral 2.306.201(3), Cifras Significativas].

Cuantitativamente, corresponde al cálculo probabilístico de los errores accidentales asociados a la medición repetida de una cierta dimensión, lineal, angular, etc., para la que no se cuenta con un determinado patrón de comparación.

2.306.201(2) Exactitud. Es el grado de coincidencia o cercanía de un resultado respecto de un valor verdadero o de un determinado patrón de comparación considerado como tal.

Algunos patrones de comparación utilizados habitualmente para determinar la exactitud de un resultado, son:

- Un valor exacto, tal como la suma de los tres ángulos de un triángulo.
- Las coordenadas planimétricas o altimétricas de un elemento materializado en terreno, perteneciente a una red de referencia de orden superior.

La exactitud de un trabajo topográfico, en su conjunto, depende directamente de la precisión con que se ejecuten las diversas operaciones. No obstante, en algunas oportunidades, por efecto del azar (compensación de errores), un trabajo ejecutado con baja precisión podría presentar una exactitud aceptable; en este caso, dicha exactitud no es una garantía de calidad, por cuanto, al verificarse exactitudes en otros puntos del sistema, casi con certeza se detectarán situaciones inaceptables. En consecuencia, todo trabajo topográfico deberá ser ejecutado manteniendo una precisión compatible con la exactitud deseada y confeccionando los registros que permitan comprobarlo.

Finalmente, se debe también tener presente que precisiones que exceden exageradamente los requerimientos de exactitud, pueden implicar costos altos e injustificados.

2.306.201(3) Cifras Significativas. Las cifras significativas de un valor numérico están constituidas por el número de dígitos provenientes de una determinación cierta, más un dígito dudoso a continuación del último dígito conocido. Por ejemplo, una cinta métrica graduada al centímetro permitirá leer un último dígito cierto correspondiente a los centímetros y, eventualmente, una última cifra significativa correspondiente a la estimación del milímetro. Algo similar sucede en la medición de ángulos con un instrumento graduado al minuto, siendo la última cifra significativa la estimación a la décima de minuto.

Los ceros que deban incluirse con el sólo objeto de establecer la magnitud de un valor no representan cifras significativas.

La presentación de resultados deberá ser siempre consecuente con el número de cifras significativas involucradas en el proceso. Especial cuidado deberá tenerse al realizar operaciones aritméticas, en que los resultados deben expresarse en función del número de cifras significativas efectivas.

2.306.202 Faltas y Errores

2.306.202(1) Faltas. Las faltas o equivocaciones corresponden a la falsa determinación o registro del valor de una lectura, registro y comprobación de lo leído y anotado. La medición de elementos redundantes o supernumerarios puede ayudar a detectar faltas en el momento oportuno.

En el Numeral 2.306.205 se establece un criterio para juzgar si una observación dudosa, en relación con el resto de las observaciones del mismo elemento, constituye una falta, que obliga a eliminarla, o debe considerarse como un error accidental, en cuyo caso no debe ser eliminada.

2.306.202(2) Errores Sistemáticos. Son aquellas inexactitudes que, bajo las mismas condiciones, presentan siempre igual magnitud y signo. En la mayoría de los casos, estos errores se producen por causas físicas o condiciones naturales, que responden a leyes físicas y que pueden ser representadas matemáticamente, o bien se deben a los hábitos o tendencias del operador, que lo hacen reaccionar cuantitativamente de una misma forma ante condiciones similares.

Los errores sistemáticos más frecuentes se pueden eliminar o minimizar mediante procedimientos como los que se citan a continuación:

- Utilizando metodologías de trabajo que minimicen automáticamente cierto tipo de errores. Por ejemplo, en el caso de nivelaciones, los efectos del error residual de paralelismo de eje óptico con línea de fe, curvatura terrestre y refracción atmosférica, se pueden eliminar igualando las distancias de las visadas atrás y adelante.

En la medida de una dirección angular se pueden eliminar errores instrumentales por simple promedio de lecturas en directa y tránsito.

- Determinando las relaciones de los errores sistemáticos con las variables que los originan y estableciendo y cuantificando el valor de esas variables en el momento de efectuar la medición: temperatura ambiente y tensión en los extremos de una cinta métrica; temperatura y presión atmosférica al medir con distanciómetro, etc. El conocimiento de los valores prevalecientes en el momento de la medición permitirá calcular las correcciones necesarias.

Todos los errores sistemáticos detectables deben ser eliminados antes de proceder a la evaluación de los errores accidentales.

2.306.202(3) Errores Accidentales. Un error accidental es aquél que no presenta una relación fija respecto de las condiciones o circunstancias bajo las que se realizó la observación. Los errores accidentales se producen por causas complejas e irregulares, fuera del control del observador. Su ocurrencia, magnitud y signo no es predecible, es decir, cada uno de ellos es un fenómeno independiente producido al azar.

El error accidental de una observación se define como la diferencia entre el valor verdadero del elemento que se mide y el valor consignado para dicha observación, una vez que ésta se juzga libre de faltas y de los errores sistemáticos que la pudieran afectar.

A los errores accidentales se les denomina usualmente errores, sin el calificativo de accidental, y a ellos se estará refiriendo este Capítulo, si no se hace expresamente otra mención.

Dado que los errores accidentales son eventos que se generan al azar, su análisis responde a conceptos probabilísticos y se realiza en conformidad con leyes derivadas de la teoría de probabilidades.

2.306.203 Conceptos Básicos Relativos a la Probabilidad de Errores Accidentales

2.306.203(1) Valor más Probable. Es imposible determinar la medida exacta de un elemento por rigurosas que sean las precauciones que se adopten, ya que siempre existirán errores accidentales.

La teoría de probabilidades demuestra que el mejor valor para representar el resultado de una serie de medidas ejecutadas con la misma precisión, el valor más probable corresponde al promedio aritmético de dicha serie de medidas. Este resultado no necesariamente coincide con el valor verdadero, pero es, estadísticamente, el mejor estimador para representarlo.

2.306.203(2) Errores y Residuos. La diferencia entre el valor verdadero de un elemento y una medida cualquiera de él, se denomina "error".

La diferencia entre el valor más probable de un elemento y una medida cualquiera de él, se denomina residuo.

En la práctica, se pueden concebir valores exactos o verdaderos en casos como los mencionados en el Numeral 2.306.201(2). Por ello, en adelante el término "valor verdadero" se utilizará al referirse a las consideraciones teóricas relativas a la probabilidad de los errores accidentales y en los cálculos de casos reales, se trabajará con el valor más probable.

Por extensión de lo anterior, en los casos prácticos se denomina "error" a aquellas discrepancias que, en rigor, corresponden a residuos.

2.306.203(3) Distribución de Errores Accidentales. Si se efectúa, con similar acuciosidad, un número grande de mediciones de un elemento y se grafica en abscisas la magnitud de los errores de dichas medidas y en ordenadas la frecuencia (cantidad de veces) con que se dan los diversos errores, se obtendrá una curva, como la que se presenta en la Figura a) de la Lámina 2.306.203(3).A. Los procesos de medición más precisos quedan representados por curvas de base angosta, con mayor frecuencia de errores de pequeña magnitud.

Si el número de observaciones tiende a infinito, estas curvas quedan representadas, matemáticamente, por la siguiente expresión:

$$Y = f(x) \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$$

En que:

- Y = f(x) = frecuencia de los errores de magnitud x
- x = magnitud de los errores
- μ = promedio de la magnitud de los errores
- e = base de los logaritmos naturales (2,782...)
- σ = desviación estándar de la magnitud de los errores

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \mu)^2}{n}}$$

- N = número total de medidas
- Σ = suma de 1 a n

Esta expresión matemática corresponde a un modelo probabilístico conocido como Distribución Normal.

La expresión que representa al modelo de la Distribución Normal puede simplificarse en el caso particular de los errores, debido a que el valor medio o promedio de los errores es cero. En efecto, sea di el valor de una observación cualquiera del conjunto de n observaciones. El valor más probable del elemento medido, de acuerdo con lo dicho en el Numeral 2.306.203(1), es:

$$\bar{d} = \frac{\sum di}{n}$$

El error o residuo de la observación di será:

$$xi = \bar{d} - di$$

Por lo tanto, el promedio de los errores de las n observaciones es:

$$\mu = \frac{\sum xi}{n} = \frac{\sum \bar{d}}{n} = \frac{\sum di}{n} = \frac{n\bar{d}}{n} - \bar{d} = 0$$

Luego, la expresión de la Distribución Normal adopta la forma:

$$Y = f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-x^2/2\sigma^2}$$

Esta forma se conoce bajo el nombre de Curva de Distribución Normal de los Errores, en que la desviación estándar σ representa la precisión del proceso de medición.

Del análisis de la forma de la curva se derivan las siguientes conclusiones:

- La forma de campana que posee la curva implica que los errores pequeños ocurren con mucha mayor frecuencia que los errores grandes. Por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia de un cierto error es función de la magnitud del error. A mayor error, menor probabilidad de ocurrencia.
- La curva es simétrica respecto del eje de las ordenadas, lo que indica que los errores positivos y negativos de igual magnitud ocurren con la misma frecuencia, es decir, tienen la misma probabilidad de ocurrencia.
- Pueden ocurrir errores accidentales de gran magnitud, pero sólo raras veces; ello queda representado por el hecho de que la curva se extiende indefinidamente, en forma asintótica respecto de X, hacia ambos lados del eje Y.

La Figura b) de la Lámina 2.306.203(3).A corresponde a un polígono de frecuencias, es decir, representa gráficamente la situación que se tiene en la práctica, cuando se realiza un número relativamente pequeño de medidas u observaciones. La teoría de probabilidades demuestra que, aun cuando el número de observaciones sea pequeño, las leyes establecidas en relación a la Distribución Normal teórica (para infinitas observaciones), siguen siendo válidas con razonable aproximación, siempre que se introduzca una corrección al indicador de precisión o desviación estándar.

En los casos habituales en topografía, se utilizará la siguiente expresión para obtener un estimador no sesgado de la desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (di - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

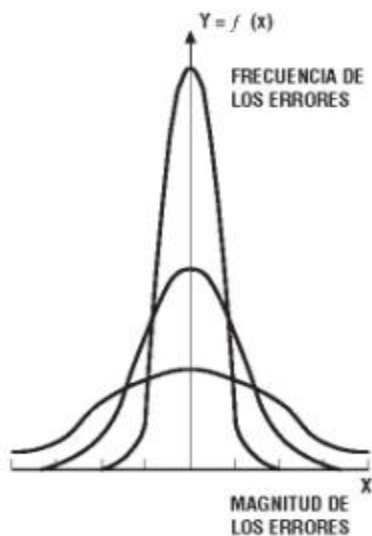
di = valor de una observación cualquiera

d = valor más probable (promedio aritmético o media) del conjunto de observaciones

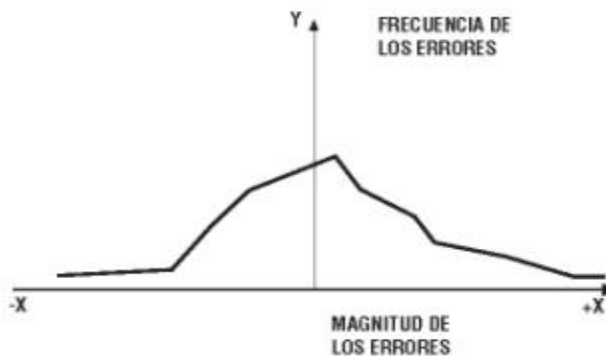
n = número total de observaciones

di - d = es el residuo o error de la observación i, habitualmente (di - d) se designa por v

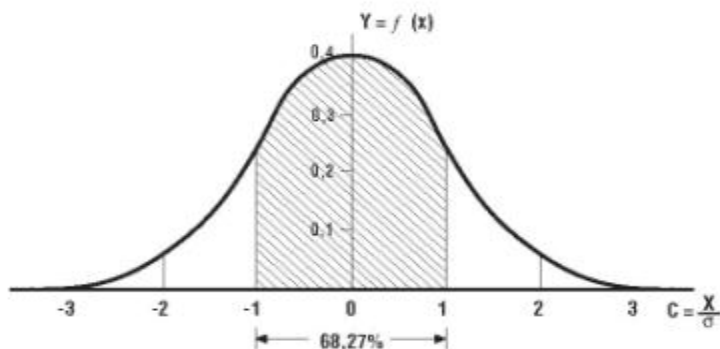
a) DISTRIBUCION NORMAL



b) POLIGONO DE FRECUENCIAS



c) DISTRIBUCION NORMAL ESTANDARIZADA



Para un caso particular cualquiera:

$$X = \nu = \text{Error}$$

$$\text{Error} = C\sigma$$

Con σ correspondiente a las observaciones bajo análisis

AREAS BAJO LA CURVA NORMAL ESTANDARIZADA
ENTRE ABSCISAS SIMETRICAS $\pm C$

$\pm C$	AREA %	$\pm C$	AREA %	$\pm C$	AREA %
0,0627	5	0,5978	45	1,2816	80
0,1257	10	0,6745	50	1,4395	85
0,1891	15	0,7554	55	1,6449	90
0,2534	20	0,8416	60	1,9600	95
0,3186	25	0,9346	65	2,0000	95,45
0,3853	30	1,0000	68,27	3,0000	99,73
0,4538	35	1,0364	70	3,2905	99,90
0,5244	40	1,1503	75	3,8905	99,99

De lo dicho anteriormente se desprende que para cada precisión de trabajo existe una curva de distribución normal de errores, que presenta un valor de σ característico. Ahora bien, mediante una transformación de variable se logra definir una curva única, llamada de Distribución Normal Estandarizada, que se caracteriza por tener un promedio $\mu = 0$ (situación típica de la distribución de errores) y una varianza $\sigma^2 = 1$ y, por lo tanto, una desviación estándar $\sigma = 1$, lo que puede ser interpretado como una precisión unitaria. En estas condiciones, un conjunto de observaciones que posea una desviación estándar cualquiera, σ , queda representada por la distribución estandarizada, al expresar cada uno de los errores como el cociente x/σ .

La figura c) de la Lámina 2.306.203(3).A representan la curva de Distribución Normal Estandarizada, en que la variable X en abscisas ha sido reemplazada por $C = x/\sigma$; y la ordenada Y , frecuencias, adopta un valor máximo del orden de 0,4; lo que se obtiene reemplazando en la ecuación los valores:

$$X = 0 \quad y \quad \sigma = 1$$

$$Y = f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} = 0,3989 \approx 0,4$$

2.306.203(4) Probabilidad de Errores Accidentales. Se puede demostrar que, la probabilidad que una observación cualquiera posea un error de magnitud comprendida dentro de un cierto rango, está dada por la integral de la función Distribución Normal Estandarizada, entre los límites establecidos por dicho rango.

Es decir:

$$\text{Prob} (a \leq x \leq b) = \int_a^b f(x) dx$$

En consecuencia, la probabilidad que una observación cualquiera de un conjunto de observaciones presente un error comprendido dentro del rango acotado por dos abscisas de la curva, está dada por el área encerrada bajo la curva y limitada lateralmente por dichas abscisas.

En particular, el área total encerrada bajo la curva de distribución normal estandarizado para valores de abscisas entre $-\infty$ y $+\infty$, es igual a 1 (100%). Dado que los límites señalados incluyen todas las magnitudes posibles de error, el evento de que la observación contenga un error de una magnitud cualquiera es un evento cierto, es decir, un evento con probabilidad de ocurrencia igual a 1 (100%).

Estos conceptos aplicados al total de observaciones realizadas establecen que el número de observaciones, expresado en porcentaje, que presentarán un error comprendido dentro del rango establecido en abscisas, será igual a la probabilidad, área encerrada bajo la curva entre dichas abscisas, expresada en porcentaje. El resto de las observaciones presentará errores fuera de los límites señalados.

Cabe hacer notar que la probabilidad de que una observación contenga un error de una magnitud específica determinada es igual a cero; ello fluye del análisis de la curva, por cuanto el área bajo la curva entre dos abscisas coincidentes es cero. En definitiva, el tratamiento probabilístico de los errores sólo puede concebirse a partir de rangos de error.

Como se dijo anteriormente, la magnitud del error de una observación tiene la misma probabilidad de ser positiva o negativa, de allí que en topografía se trabaja normalmente con rangos de error simétricos en torno al error nulo ($C = 0$).

La Tabla que aparece bajo la Figura c) de la Lámina 2.306.203(3).A presenta algunos valores particulares correspondientes al área comprendida bajo la curva entre las abscisas de magnitud $\pm C$. Estos valores se obtienen integrando numéricamente la función de Distribución Normal Estandarizada. Dicha integral aparece tabulada en todos los libros de estadística.

Algunos ejemplos permiten explicitar los conceptos expuestos precedentemente.

Supóngase que un ángulo se mide 10 veces con un instrumento topográfico que permite leer en forma cierta los 10cc y estimar 1cc (la última cifra significativa de las lecturas será aquella correspondiente a la estimación de los segundos).

Sean: α_i el valor de una observación cualquiera
 n el número de observaciones = 10

$\bar{\alpha} = (\sum \alpha_i)/n$ el promedio o valor más probable para el resultado de las 10 observaciones

$\nu = (\alpha_i - \bar{\alpha})$ error de una observación cualquiera

$\sigma = \pm \sqrt{\sum \nu^2/n - 1}$ la desviación estándar de una observación cualquiera, calculada a partir del conjunto de observaciones

El resultado de los cálculos dio:

$$\bar{\alpha} = 32,1634^g$$

$$\sigma = \pm 0,0003 \text{ o bien } \pm 3^{cc}$$

Si se desea saber cual es la probabilidad de que una observación cualquiera del conjunto tenga un error en magnitud menor o igual que $\pm 3^{cc}$, de la Lámina 2.306.203(3).A se obtiene:

$$C = \nu / \sigma = 3/\pm 3 = \pm 1$$

Entrando a la Tabla con $C = \pm 1$, se ve que el área bajo la curva entre dichas abscisas, área sombreada de la curva, es 68,27%. Es decir, la probabilidad de que una observación cualquiera discrepe del valor más probable en $\pm 3^{cc}$ ó menos, es de 68,27%. Desde el punto de vista del total de observaciones, lo anterior implica que 6 a 7 de ellas tendrán un error menor o igual a $\pm 3^{cc}$ y el saldo tendrá mayores a $\pm 3^{cc}$.

Si en el mismo ejemplo se quisiera saber cuál es el rango de error que puede contener 90% de las observaciones, basta plantear:

$$\nu = C\sigma \text{ con } C = 1,6449 \text{ (área} = 90\%)$$

$$\text{Luego: } \nu = 3 \times 1,6449 = 4,93^{cc} \approx \pm 5^{cc}$$

Es decir 9 de las 10 observaciones deberían tener un error respecto del promedio menor que 5^{cc} y sólo una debería tener un error mayor que 5^{cc} , o bien, existe 90% de probabilidad que una observación cualquiera presente un error menor o igual que 5^{cc} .

En rigor, si el número de observaciones fuera grande, las probabilidades serán muy cercanas a las citadas. Para un número limitado de observaciones, de 4 a 10, los resultados reales serán del orden de los valores teóricos, pero, por lo general, lo suficientemente aproximados como para trabajar con los valores teóricos. En general, para un número menor que 4 observaciones, las discrepancias entre la teoría y la realidad pueden ser significativas.

2.306.204 Cuantificación de Errores Accidentales

2.306.204(1) Aspectos Generales. La cuantificación de errores accidentales se expresa en función del indicador de precisión que fuera definido como desviación estándar (σ) en los numerales de 2.306.203.

Existen, básicamente, tres situaciones que deben distinguirse claramente al cuantificar los errores accidentales:

- a) **Error de una observación aislada.** Corresponde al error asociado a una observación cualquiera del conjunto de observaciones de igual precisión, realizadas para determinar la magnitud de un elemento, (una distancia, un ángulo, etc.).

Esta situación es fundamental al exponer el concepto de distribución de errores accidentales; sin embargo, no presenta mayor aplicación en la práctica. Como ya se vio la desviación estándar corresponde en este caso a:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{vi^2}{n-1}}$$

b) Error del valor más probable. Corresponde al error asociado al promedio de todas las observaciones realizadas para el elemento que se desea medir. Representa al caso más frecuente y de mayor aplicación en topografía.

La desviación estándar del valor más probable queda dada por:

$$\sigma_m = \pm \sqrt{\frac{vi^2}{n(n-1)}}$$

o por la expresión equivalente:

$$\sigma_m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

c) Error de un resultado. Corresponde al error asociado a un resultado en que se combinan los valores más probables de las magnitudes de varios elementos.

En este caso, la desviación estándar del resultado dependerá de las desviaciones estándar asociadas a los diferentes elementos que intervienen en el resultado.

Sea $R = f(a, b, c \dots)$, una función cualquiera en que intervienen los valores más probables de los elementos a, b, c, etc.

La desviación estándar del resultado queda dada por:

$$\sigma_r = \left[\left(\frac{\delta R}{\delta a} \sigma_a \right)^2 + \left(\frac{\delta R}{\delta b} \sigma_b \right)^2 + \left(\frac{\delta R}{\delta c} \sigma_c \right)^2 + \dots \right]^{1/2}$$

Esta expresión se aplica a los siguientes casos básicos:

i) El resultado se obtiene por suma o resta de los valores más probables de cada elemento:

$$R = a + b + c + \dots + i + \dots + n$$

$$\sigma_r = \pm (\sigma_a^2 + \sigma_b^2 + \sigma_c^2 + \dots + \sigma_i^2 + \dots + \sigma_n^2)^{1/2}$$

siendo σ_i la desviación estándar del valor más probable ($\sigma_{m,i}$) de cada uno de los n elementos.

En caso de que todas las medidas sean ejecutadas con igual (similar) precisión:

$$\sigma_m, a \cong \sigma_m, b \cong \dots \sigma_m, i \cong \sigma_m, n \qquad \sigma_r = \sigma_m, i \sqrt{n}$$

ii) El resultado se obtiene por multiplicación de los valores más probables de cada elemento.

$$R = A * B$$

en que A y B son los valores más probables determinados para cada elemento y σ_A , σ_B la desviación es estándar del valor más probable ($\sigma_{m,A}$; $\sigma_{m,B}$) de los elementos A y B.

2.306.204(2) Indicadores de Precisión. Para los tres casos consultados en el Numeral 2.306.204(1) se definirán los siguientes indicadores de precisión, todos ellos en función del parámetro σ , σ_m o σ_r , según corresponda. Para efectos de presentación se utilizará sólo el parámetro σ , resumiendo en la Tabla 2.306.204(2).A los diversos casos particulares.

- a) **Error estándar.** Llamado también error medio cuadrático, equivale a una desviación estándar e implica que la probabilidad de ocurrencia de un error de magnitud menor o igual que $\pm \sigma$ sea 68,27%.

$$E = \pm \sigma$$

En general, los fabricantes utilizan el error estándar para indicar la precisión del equipo.

- b) **Error probable.** Llamado también error de 50%, define un rango de error tal, que existe idéntica probabilidad de que el error cometido esté comprendido dentro de dicho rango o esté fuera de él.

$$E_o = \pm 0,6745 \sigma$$

Normalmente, se utiliza para especificar la precisión que debe alcanzarse al determinar el valor más probable de un elemento.

- c) **Error de x%.** Define un rango de error tal, que garantiza que el error cometido esté comprendido dentro de dicho rango, con una probabilidad de x%.

$$E_{x\%} = \pm C_x \sigma$$

C_x corresponde a algún valor de C, tal como los citados en la tabla de la Lámina 2.306.203(3).A, asociado a un área de x% bajo la curva normal estandarizada, probabilidad que se desee definir.

**TABLA 2.306.204(2).A
RESUMEN INDICADORES DE PRECISIÓN**

Situación por Controlar	Error Estándar	Error Probable	Error de X%
Una observación cualquiera	$E_1 = \pm \sigma$	$E_{0,1} = 0,6745 \sigma$	$E_{x,1} = C x\% \sigma$
Valor más probable	$E_m = \pm \sigma_m$	$E_{0,m} = 0,6745 \sigma_m$	$E_{x,m} = C x\% \sigma_m$
Un resultado	$E_r = \pm \sigma_r$	$E_{0,r} = 0,6745 \sigma_r$	$E_{x,r} = C x\% \sigma_r$

La denominación abreviada que se usará para los indicadores de error relativos al valor más probable de un elemento es:

Probabilidad de ocurrencia de un error menor o igual que $\pm \sigma$ m

E_m	= Error Estándar del Promedio o Error Medio Cuadrático	68,27%
$E_{0,m}$	= Error Probable del Promedio	50%
$E_{x,m}$	= Error x% del Promedio	x%

2.306.205 Rechazo o Eliminación de Observaciones. Se deben eliminar todas las observaciones que contengan faltas o equivocaciones, conservando todas las que tienen errores accidentales. La eliminación de medidas con errores accidentales constituye una alteración arbitraria del proceso de medición.

Con alguna frecuencia se establecen criterios de eliminación de medidas que aparezcan con errores superiores a cierta magnitud sobre el promedio. Un criterio de esta naturaleza tiene el peligro de eliminar errores accidentales junto con faltas o equivocaciones.

Se recomienda el uso del criterio de Chauvenet por dar aproximadamente los mismos resultados que métodos aceptados teóricamente, pero que resultan muy laboriosos.

Este criterio determina si el mayor error respecto del promedio de las medidas efectuadas es aceptable o no. Si esa medida se rechaza, se procede a determinar el mayor error de las restantes respecto del nuevo promedio y se determina si es aceptable. Así se continúa hasta que el mayor error sea aceptable, con lo que todas las medidas que restan son aceptadas.

El mayor error de las medidas bajo análisis se obtiene del listado de errores de las observaciones reales y se compara con el valor teórico del criterio de Chauvenet.

Sea el mayor error detectado.

$$v_i = (X_i - \bar{x})$$

Si $v_i > C_x \times \sigma$ se rechaza la observación X_i

Siendo el coeficiente de error C_x aquél asociado a la probabilidad $x\%$, que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$x\% = 100 \frac{2n-1}{2n}$$

en que n es el total de observaciones que se están considerando. El coeficiente C_x se obtiene de la tabla de la Lámina 2.306.203(3).A.

De ello se desprende que se aceptan errores propios de la precisión con que se está trabajando, que las discrepancias aceptables respecto del promedio son función de la propia precisión de las medidas que se obtienen, y que, si se requiere que el promedio por obtener sea más preciso, se deberán seguir efectuando observaciones hasta lograrlo.

Lo anterior constituye el criterio que primará en cuanto a número de medidas. Éstas deben ser las suficientes para lograr la precisión exigida. Si con determinado instrumental y metodología se requiere un número muy alto de medidas, se deberá cambiar el instrumental por otro de mayor precisión.

Para ilustrar el efecto que tiene el número de medidas por efectuar sobre la precisión del valor más probable o promedio, resulta conveniente analizar la Tabla 2.306.205.A, elaborada a partir de:

$$\sigma_m = \sigma/\sqrt{n}$$

Si las medidas sucesivas se ejecutan con similar precisión y, por tanto, σ se mantiene relativamente constante, se puede adoptar un valor de referencia $\sigma = 1$:

TABLA 2.306.205.A
VARIACIÓN DE σ_m EN FUNCION DE n

n	$\sigma_m = 1/\sqrt{n}$	n	$\sigma_m = 1/\sqrt{n}$
1	1,00	8	0,35
2	0,71	10	0,32
3	0,58	12	0,29
4	0,50	14	0,27
5	0,45	16	0,25
6	0,41	20	0,22

De la Tabla se desprende que con 4 observaciones se logra reducir el error probable del promedio en 50% respecto de una sola observación; con 8 observaciones, el error se reduce en 65% y con 16 observaciones, se reduce en 75%. Es decir, existe una clara disminución del rendimiento ya que de 4 a 8 sólo se gana 15% y de 8 a 16, sólo 10%, frente a 50% logrado en las primeras 4 observaciones.

En virtud de lo anterior, de 6 a 8 observaciones válidas sería un límite razonable para considerar en la mayoría de los casos.

Otro concepto que se debe tener presente al establecer el número de observaciones por realizar se deriva de la relación entre la exactitud especificada y la precisión del proceso de medida (instrumental y método utilizado).

Por ejemplo, si se necesita medir los tres ángulos de un triángulo con una exactitud (error de cierre respecto de 200^g) menor o igual que medio minuto (50^{cc}) y se cuenta con un instrumento que permita leer los 10^{cc} y estimar el segundo, bastará con dos lecturas por ángulo para cumplir con la exactitud requerida; incluso, en este caso la segunda lectura se necesita para comprobar que la primera de ellas no esté en falta y para compensar en algo los errores sistemáticos del instrumento.

Si bien en este caso sería lícito dar el resultado al segundo, última cifra significativa de cada lectura, en razón del limitado número de observaciones, un resultado expresado a la décima de minuto representa mejor la precisión real de la medida.

En definitiva, dentro de ciertos límites, procesos de medición en que se cuente con instrumental de una precisión muy superior a la exactitud requerida, pueden realizarse con un menor número de observaciones que las necesarias, en la medida que la precisión del instrumento se acerca a la exactitud especificada.

2.306.206 Cierre y Compensación de Errores. Todo trabajo topográfico debe cerrarse o comprobarse para verificar su exactitud. Sólo en el caso de que el cierre esté dentro de las tolerancias de exactitud especificadas, deberá procederse a repartir las discrepancias de cierre mediante el proceso denominado de compensación, aplicable a cada caso.

Un trabajo topográfico compensado debe ser, en su conjunto, más exacto que uno sin compensar, aun cuando algunos puntos o sectores de él puedan perder algo de la exactitud que poseían antes de la compensación.

SECCIÓN 2.307 REPLANTEO DE OBRAS VIALES

2.307.1 ASPECTOS GENERALES

2.307.101 Objetivos y Alcances. El replanteo topográfico corresponde al conjunto de operaciones destinadas a señalar en terreno la ubicación de obras de ingeniería, cuyas características físicas están contenidas en los planos e informes del Proyecto.

La estructura básica de una obra vial queda definida por el o los ejes de proyecto, cuya proyección en planta está constituida por un conjunto de alineaciones rectas enlazadas por curvas circulares o curvas de radio variable. En algunos sectores, el eje puede estar constituido por una sucesión de elementos curvos, pasando los elementos rectos a ser tangentes principales que, si bien ayudan a definir dicho eje, no constituyen parte de él, salvo en los puntos de tangencia.

Si bien el eje definido en los planos constituye un elemento continuo, su replanteo se ejecuta materializando una cierta cantidad finita de puntos. Para definir en terreno un alineamiento recto, basta, al menos teóricamente, el replanteo de dos puntos; para definir adecuadamente los elementos curvos se requerirá una sucesión de puntos, cuyo distanciamiento será función del radio de curvatura del elemento.

En general, las operaciones topográficas necesarias para el replanteo de elementos equivalentes a las usadas para ejecutar levantamientos, con la diferencia de que en un levantamiento el objetivo consiste en representar el terreno sobre un plano a escala reducida, en tanto que en el replanteo se trata de representar en terreno la definición geométrica de los elementos a escala 1:1.

2.307.102 Sistemas de Replanteo de una Obra Vial. Todos los elementos de proyecto que se requiera replantear y principalmente el eje del trazado, podrán ser replanteados desde las estaciones del STC definido en cada Estudio. Por tratarse de elementos que están vinculados directamente al STC, no se requieren operaciones de cierre para el conjunto del trabajo.

Especialmente en el caso de rectas, la densificación del eje podrá ejecutarse a partir de la estructura general ya replanteada.

Cuando no exista un STC materializado en terreno, se podrá abordar el replanteo materializando en primer término la poligonal definida por las alineaciones rectas y tangentes, que presenta la estructura general del eje del trazado. Es decir se replantea navegando con los datos del Cuadro de Rectas y Curvas, aunque siempre se requiere a lo menos una línea base de referencia de coordenadas.

Dicha poligonal constituye un sistema de transporte de coordenadas en sí, pero por el procedimiento empleado, poseerá una precisión reducida, debiendo verificarse, en el terreno mismo, que la poligonal replanteada represente realmente lo proyectado, es decir, que se emplace según lo proyectado, y que su estructura general posea un cierre razonable contra las Líneas Bases materializadas.

2.307.2 REPLANTEO DEL TRAZADO

2.307.201 Aspectos Generales. El replanteo del eje del trazado permite asegurar que lo que se ha diseñado en gabinete corresponda correctamente a las condiciones físicas del terreno. También es importante replantear los puntos de interés que definen el eje, para definir la línea de tierra longitudinal y transversal, con lo que se determinan las cubicaciones de movimiento de tierras de los proyectos.

En general, el replanteo de un diseño se requiere en etapas de estudios con características de detalle, donde se estaca el eje del trazado, de acuerdo con la posición determinada en etapas de anteproyectos y en caso de ser necesario, se introducen afinamientos de detalle, de acuerdo con la observación de terreno.

2.307.202 Elementos de Interés. En general, las tareas de replanteo se concentran en materializar los elementos que definen los alineamientos rectos del eje, los puntos de singularidades geométricas y puntos de densificación equidistante a lo largo del eje.

2.307.202(1) Vértices del Trazado. Para facilitar la interpretación de la ubicación del eje en terreno, a lo largo del tiempo y hasta que se ejecutan las obras proyectadas, los proyectos requieren materializar los alineamientos del eje a través del replanteo de los vértices del trazado. En caso de encontrarse en zonas inaccesibles, los vértices del trazado serán replanteados mediante vértices auxiliares que puedan ser efectivamente materializados en terreno y ubicados en la misma línea de proyección que definen los alineamientos rectos antes y después del vértice inaccesible.

2.307.202(2) Puntos Singulares. Para desarrollar la ingeniería de detalle se requiere ubicar en terreno los elementos que determinan puntos de interés de los trazados como son, entre otros:

a) Indicadores de curvatura. Interesa replantear y materializar los puntos de inicio y fin de curvas circulares, "PC" y "FC" respectivamente, y los puntos de entrada y salida de enlaces clotoidales, "KE" y "KS" respectivamente. En caso de utilizar clotoides de vértice, el punto de unión de éstas se señalará por "FK".

b) Obras de arte. Es de interés para un proyecto replantear y estacar los puntos de atraveso de obras de arte (OA) para el saneamiento transversal. Se debe materializar el punto de coincidencia entre el eje vial y el eje de diseño hidráulico de las obras de arte, lo que permite el correcto control de la línea de tierra longitudinal y transversal para el diseño de la OA.

c) Intersecciones. En caso de existir intersecciones proyectadas con diseños específicos de ejes geométricos, se deben materializar en terreno los puntos de conexión de estos ejes con el eje de la ruta en estudio. Estos puntos se identificarán como "I".

2.307.202(3) Estacado de Relleno. Como estacado de relleno se replantearán puntos en todas las posiciones de Dm múltiplos de 20 m; el replanteo se densificará en el caso de curvas horizontales, según se indica a continuación:

$100\text{ m} \geq R > 50$: posiciones de Dm múltiplos de 10 m
 $50\text{ m} \geq R$: posiciones de Dm múltiplos de 5 m

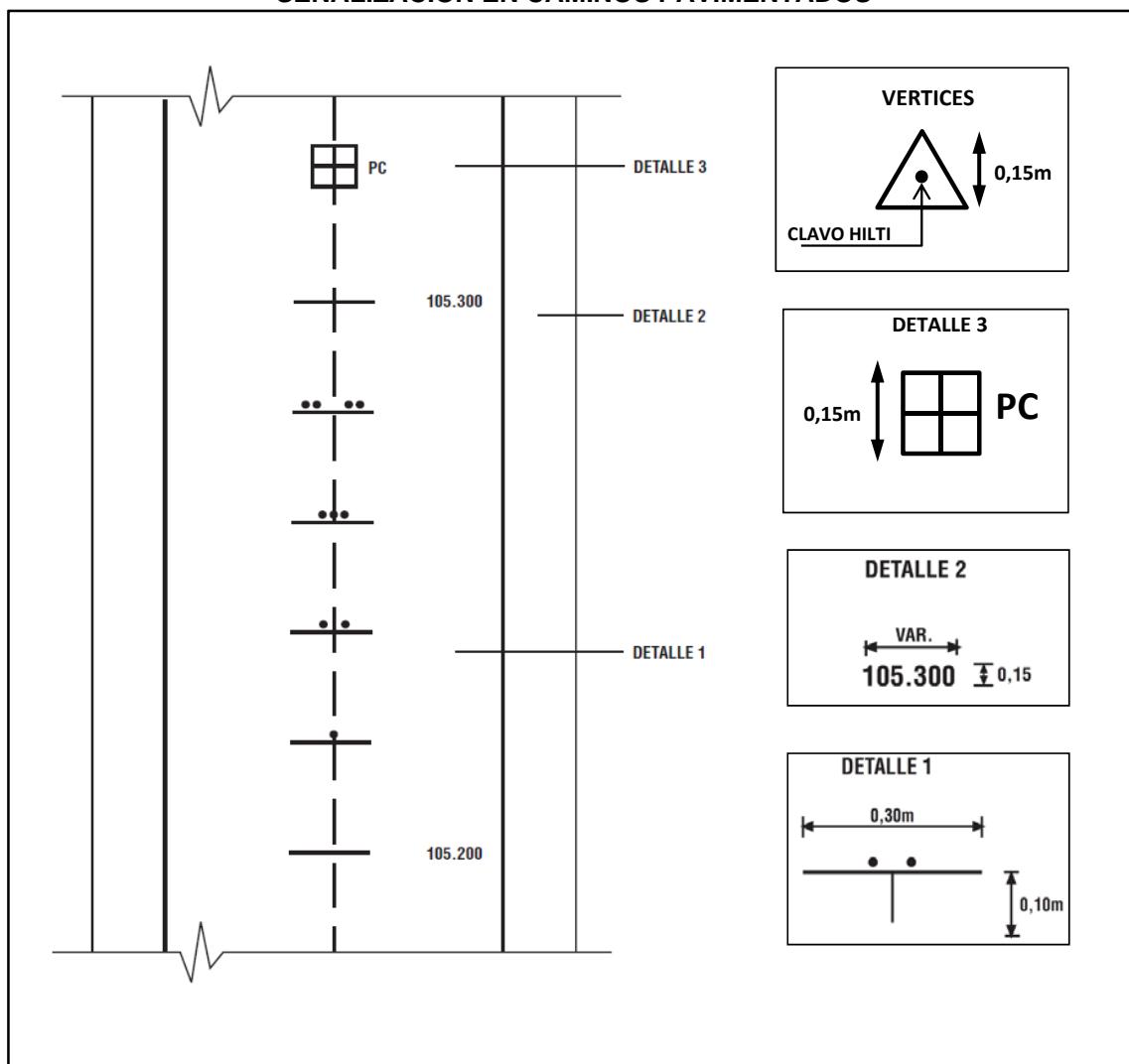
2.307.203 Materialización. Los elementos replanteados se materializarán ajustándose a las características del suelo, de acuerdo con lo que se señala a continuación. En casos especiales, el Consultor propondrá a la Inspección Fiscal, para su aprobación, alternativas de materialidad que en ningún caso baje la calidad de lo dispuesto en este Numeral.

2.307.203(1) Sobre Pavimentos. La materialización se establecerá con pinturas de demarcación de pavimento de color amarillo, de acuerdo con la Lámina 2.307.203.A. Los vértices del trazado se demarcarán con un triángulo pintado y clavo *Hilti*, y la señalización de hectómetro del eje se ubicará de preferencia en el centro de la pista de circulación; también puede ubicarse en la berma, en la medida que ésta se encuentre en buen estado y tenga regularidad de ancho, o bien, puede ubicarse en la pared vertical de soleras o cunetas revestidas en caso de que existan.

2.307.203(2) Sobre Plataformas Granulares. En estos casos, todos los elementos replanteados se materializarán con clavos rieleros o pernos coche de 3/8"x5", firmemente emplazados para que no se transforme en un elemento de riesgo para los usuarios de la ruta. Los vértices del trazado se podrán materializar con estacas de madera de 3"x3" de 30 cm de longitud, las que deben enterrarse bajo la línea de rasante. Todos los elementos serán acompañados de un poncho plástico de color anaranjado, que se distinga claramente sobre la plataforma.

2.307.203(3) Sobre Terreno Natural. En estos casos, el estacado del eje y los vértices del trazado se materializarán con estacas de madera de 2"x2" de 30 cm de longitud y poncho plástico de color anaranjado. En situaciones de terrenos muy densos en vegetación, el estacado debe acompañarse de varillas altas que sirvan de guía a la visual, con banderolas anaranjadas ubicadas cada 200 m como máximo.

LÁMINA 2.307.203.A
SEÑALIZACIÓN EN CAMINOS PAVIMENTADOS



Para los casos de obras de arte y e intersecciones [letras b) y c) anteriores], el balizado de los elementos del eje y señalización de vértices del trazado se ejecutará con pintura de color negro en fondo de color amarillo, sobre tablillas ubicadas verticalmente sobre cercos u horizontalmente con estacas a nivel de suelo fuera de las plataformas viales. Cuando existan cortes en roca, se podrá pintar directamente sobre ésta. Alternativamente, en sectores urbanizados se podrán pintar las paredes verticales de soleras o cunetas u otros elementos que permitan distinguir las balizas y cuidando de no afectar al entorno.

La precisión esperada para la posición horizontal de los puntos replanteados y materializados tiene una tolerancia de 10 cm.

2.307.3 REPLANTEO DESDE EL SISTEMA DE TRANSPORTE DE COORDENADAS

Para la generalidad de los trabajos de Consultoría y de ejecución de Obras, el replanteo de diseños se realizará por determinación de coordenadas desde el Sistema de Transporte del Estudio o la densificación que a partir de éste se establezca en etapas posteriores a su materialización original.

El proceso de replanteo de elementos de la geometría vial puede ser abordado de dos maneras, dependiendo del instrumental disponible (Estaciones Totales o Receptores GNSS de tiempo real). En ambos casos, todas las mediciones deben ser orientadas respecto del sistema de coordenadas del estudio, apoyándose en los monolitos de la RRP y poligonales del STC.

Los elementos a replantear pueden ser cargados directamente a las memorias de los instrumentos en formatos de listados de puntos. En algunos casos, los instrumentos pueden operar directamente con el eje de diseño, rasante y elementos de la sección transversal, definidos por sus parámetros geométricos, lo que permite replantear cualquier posición tridimensional y no solamente puntos discretos que son emitidos desde la oficina.

2.307.301 Replanteo con Estaciones Totales. En primer lugar, en el sector donde se requiere replantear los elementos del diseño, se deben ubicar al menos dos puntos con coordenadas conocidas e intervisibles, pertenecientes al STC del estudio. Uno de estos puntos se usará como base para la instalación del instrumento y el otro para fijar la orientación acimutal. Con esto se puede iniciar el replanteo con mediciones radiales a cada punto.

En busca de rendimientos óptimos, es importante que las estaciones totales sean instaladas en lugares que permitan visuales cómodas a los puntos replanteados; en este sentido, es posible que en algunos casos sea recomendable que la base de instalación se elija como una estación libre, no instalada en un monolito del STC, pero orientada a dos de ellos, que no necesariamente tengan intervisibilidad. Con los datos de las coordenadas conocidas de los puntos de orientación, más la lectura del ángulo en la base y las distancias a las dos referencias, trigonométricamente se determinan las coordenadas de la estación base. Algunos instrumentos disponen de este procedimiento dentro de sus menús de operación.

La precisión final del punto materializado tiene una tolerancia de 10 cm, por lo que la medición del replanteo debe asegurar una precisión de 3 cm. para la posición horizontal.

En casos especiales, donde no se cuente con visuales a ciertos sectores donde se deban replantear elementos del diseño, puede ser necesario establecer poligonales de densificación del STC. Para esto, se establecerán poligonales auxiliares de acuerdo con los procedimientos señalados en la Sección 2.303.

2.307.302 Replanteo con Instrumental GNSS. Por la velocidad y comodidad en la operación, los receptores GNSS son muy útiles para desarrollar las tareas de replanteo de diseños. Estos receptores deben permitir obtener soluciones en tiempo real con observación de fase portadora y en la medida que se tiene buena comunicación entre la estación base y el móvil, la ubicación se determina con pocos segundos de medición.

La estación base se elige en un monolito del STC o de la RRP, asegurando buena cobertura satelital y terreno despejado de interferencias que puedan afectar la comunicación con el receptor móvil.

Antes de iniciar las mediciones es importante configurar el equipo en el sistema coordinado del estudio, usando los parámetros que definen la proyección LTM-PTL del Proyecto. Con esto, se puede navegar por el sector, hasta encontrar, con la precisión esperada, los puntos coordinados que se quieren replantear.

La configuración de tolerancia del receptor validará una posición horizontal a un máximo de 3 cm.

2.307.4 REPLANTEO DESDE EL TRAZADO GEOMÉTRICO

En casos particulares, se podrá ejecutar el replanteo del eje geométrico desde el trazado, materializando los vértices de los alineamientos rectos y siguiendo la información de los cuadros de rectas y curvas del eje. Este procedimiento tiene precisiones menores que los métodos descritos en el Tópico 2.307.3.

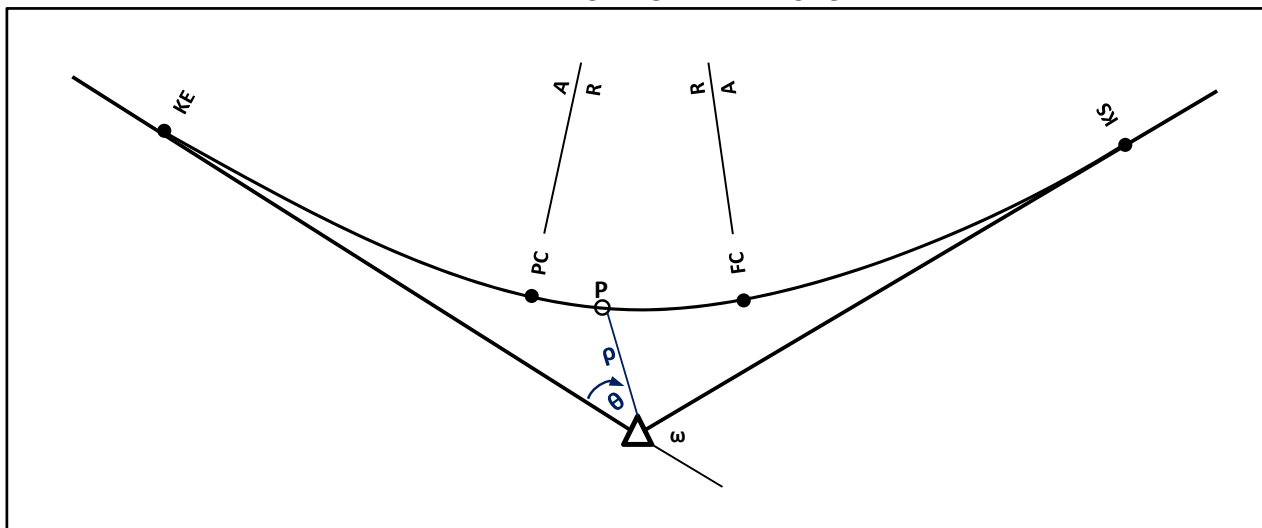
2.307.401 Replanteo de Rectas. La primera alineación debe ligarse al sistema general de transporte de coordenadas, de manera directa o a través de alguna poligonal auxiliar. A partir del primer vértice se pueden replantar los vértices consecutivos, fijando el ángulo horizontal, de acuerdo con la dirección acimutal requerida y replanteando la distancia horizontal, dada por la diferencia de coordenadas entre vértices.

Los puntos de relleno, de acuerdo con la equidistancia asignada, se pueden replantar entre los puntos singulares de las curvas, iniciando en el KS o PC, si existe o no clotoide de salida en la curva del vértice de la estación y terminando en el KE o PC, si existe o no clotoide en la curva del vértice siguiente. Las posiciones de éstos se calculan incorporando el dato de tangentes de las curvas, en relación con la posición de los vértices. Las distancias serán medidas desde la base con estación total, y en caso de pérdida de visual por condiciones del relieve, se debe materializar una estaca de alineamiento para cambio de base y fijando el ángulo horizontal en 200^g desde el vértice anterior.

2.307.402 Replanteo de Curvas. Las curvas horizontales se pueden replantar desde los vértices del trazado de manera radial o desde los puntos singulares, midiendo deflexiones, de acuerdo con las siguientes alternativas.

2.307.402(1) Desde Vértices. Instalado un instrumental de medición en el vértice de los alineamientos, se orienta la referencia inicial (ángulo 0^g) en la dirección del alineamiento (de preferencia a la izquierda respecto del lado interior de la curva), y desde ahí, determinar el ángulo de replanteo (θ) y la distancia (ρ) que le corresponda a cada punto (P), dado el Dm de posición del punto P (véase la Figura 2.307.402.A).

FIGURA 2.307.402.A
 REPLANTEO DESDE VÉRTICES



La dirección angular deberá imponerse en el instrumento y la distancia se medirá iterando hasta ubicar el punto replanteado con la precisión deseada. El error asociado a este método de replanteo es función directa del error de posición del vértice, del error en la medida de distancia y en la medida angular.

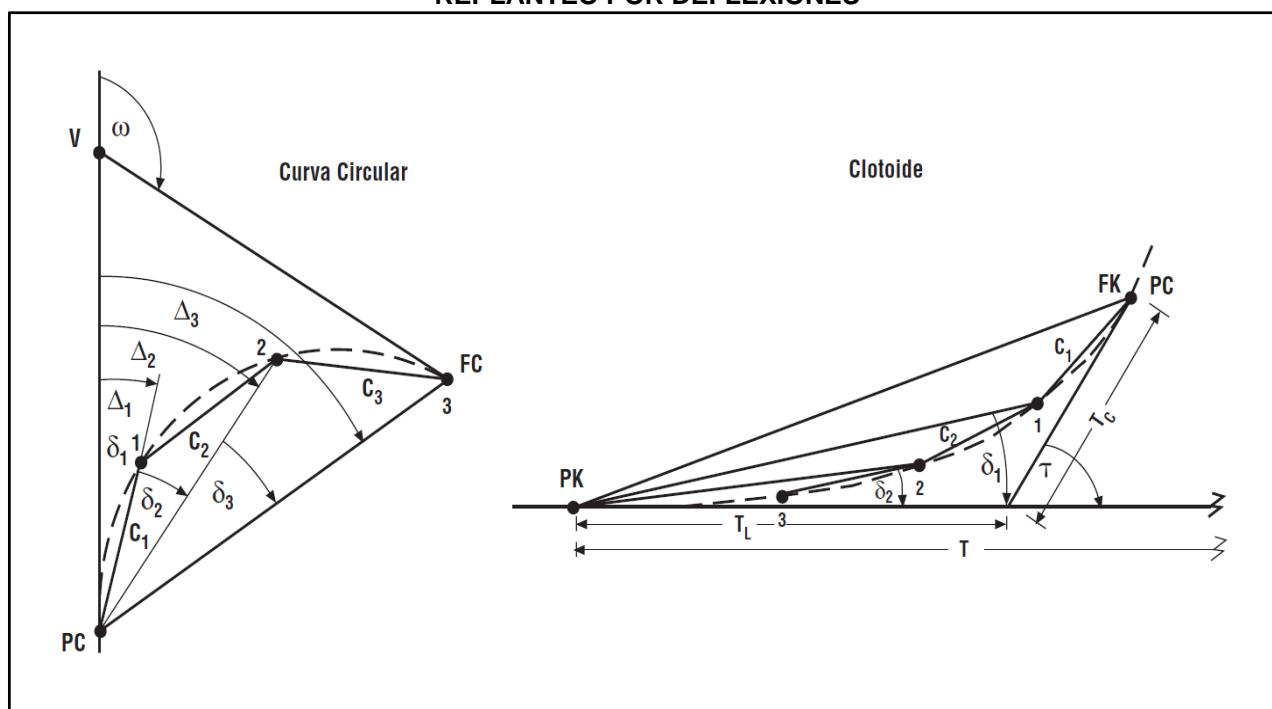
El punto por replantar puede encontrarse en posición de clotoide, de arco de círculo o ser un punto singular; en todos los casos, si se requiere determinar el ángulo y distancia de replanteo de manera analítica, basta con aplicar las propiedades geométricas correspondientes a cada elemento de las curvas horizontales.

2.307.203.B

Es recomendable llevar un registro, calculado analíticamente, que indique los ángulos horizontales y las distancias desde la estación, aunque normalmente las estaciones totales o las libretas electrónicas entregan directamente estos datos, ingresando la distancia acumulada del punto por replantear al que se asociarán en la memoria las coordenadas que le correspondan, o bien, ingresando directamente las coordenadas de la estación y del punto de interés.

2.307.402(2) Replanteo por Deflexiones. Se llama así al método en que el punto que se replantea se obtiene al encontrar el tercer vértice de un triángulo horizontal, del que se conoce la longitud de dos lados y el ángulo opuesto a uno de ellos. En este caso, dos de los vértices están materializados en terreno por sus estacas; en uno de ellos, se instala el instrumento desde donde se mide el ángulo y en el otro se tiene una cinta métrica para dar la longitud del otro lado conocido del triángulo, normalmente, una cuerda trazada entre dos puntos de un elemento curvo (véase Figura 2.307.402.B).

**FIGURA 2.307.402.B
 REPLANTEO POR DEFLEXIONES**



Se denomina ángulo de deflexión total al ángulo que se forma entre la visual al punto y la visual al punto de orientación inicial. Ángulo de deflexión parcial se llama al ángulo que se forma entre la visual al punto que se replantea, respecto de la visual al punto que le precedió en el replanteo. La distancia entre dos estacas sucesivas del replanteo corresponde a la longitud de una cuerda subtendida por el ángulo de deflexión parcial.

Cuando se usan puntos del eje del trazado como estaciones de replanteo, los cálculos auxiliares y la confección del registro de replanteo siguen el siguiente procedimiento:

- a) **Elementos principales del eje en el sector por replantear.** El elemento curvo que se replantea será tangente en el PC y en el FC a sendas alineaciones principales del trazado las que, en su punto de intersección, determinan el cambio de dirección entre las alineaciones que se enlazan. Esta información se obtiene de los datos de replanteo de las alineaciones principales del trazado y mediante el cálculo de los elementos principales de la curva, desarrollo y tangentes principales.
- b) **Cálculo de cuerdas, arcos y ángulos de deflexión.** Para cada punto del replanteo, se establece la distancia deseada, medida desde el punto que le precede, ya sea siguiendo el arco o la cuerda. El ángulo de deflexión se puede conocer por variados métodos, a partir de las características de la curva

que se replantea. Así, por ejemplo, en el caso de una curva circular, se aprovecha la relación que liga la cuerda (o el arco) con el ángulo al centro y el radio.

- c) *Confección del registro.*** Con los datos calculados, se confeccionará un registro con todos los puntos que se van a replantear desde una estación. Para cada punto se deben indicar el ángulo de deflexión parcial, el de deflexión total, la distancia entre puntos o distancia acumulada parcial y acumulada total, y la cuerda o distancia horizontal en recta entre puntos consecutivos. Es importante registrar la cuerda, ya que ésta es la distancia que realmente se puede medir, para lo que hay que calcular su diferencia con el arco.

La precisión del método es bastante sensible al ángulo de intersección bajo el que se cortan la visual y la cuerda. El ángulo debe ser menor que 50° , en términos del ángulo agudo, o bien, mayor que 150° en términos del obtuso. La distancia desde la estación al punto que se replantea no debe sobrepasar los 300 m. En curvas circulares, el cambio a una nueva estación de replanteo, constituida por uno de los puntos ya replanteados, permite seguir utilizando el mismo registro por el simple expediente de: visar desde la nueva estación a la anterior y calar 0° , transitar e imponer en el limbo horizontal el ángulo de deflexión total indicado en el registro para el próximo punto que se desea replantear. Este procedimiento requiere estar seguro que el instrumento no presenta error de colimación lateral.

SECCION 2.308 CUBICACIONES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

2.308.1 INTRODUCCIÓN

En proyectos viales, un importante objetivo de las labores topográficas es establecer las cubicaciones del movimiento de tierras de las obras proyectadas.

La determinación de los volúmenes de tierra está afecta a distintas fuentes de error. La principal de ellas, donde debe concentrarse el esfuerzo en alcanzar una precisión suficiente, es una correcta modelación de la superficie existente, sobre la base de una adecuada toma de datos topográficos. Contando con una topografía confiable, se podrá proyectar una obra sobre ésta y calcular los movimientos de tierra asociados.

Dependiendo del origen de los datos topográficos, se pueden utilizar distintos métodos para obtener cubicaciones con distintas de precisiones, que se considerarán adecuadas dependiendo del nivel de estudio para el que se desarrollen.

En proyectos viales, los métodos aceptados para determinar cubicaciones son dos. El más utilizado corresponde al cálculo de volúmenes de corte y terraplén entre perfiles transversales; el otro, es el cálculo de volúmenes por superposición o comparación de superficies modeladas digitalmente.

2.308.2 CUBICACIONES MEDIANTE SUPERPOSICIÓN DE MODELOS DIGITALES

En este método se requiere contrastar la superficie que representa al proyecto vial, con la superficie que representa topográficamente el terreno sobre el que se superpone.

La superficie de proyecto se define por la integración de todos los planos definidos por los elementos del diseño, como son la plataforma a nivel de subrasante, con sus respectivos peraltes, taludes de corte y terraplén, según corresponda, banquetas en cortes, entre otras definiciones de detalle de cada diseño. En general, estas superficies son logradas automáticamente por los *softwares* de diseño, los que disponen además de buenas visualizaciones en 3D para mejor comprensión.

Por otro lado, la superficie del terreno será resultado del proceso topográfico, de preferencia representado por una TIN (red irregular de triangulación, por sus sigla en inglés), en que cada nodo corresponde a un dato de terreno con coordenadas X, Y, Z, y donde el análisis incluye las líneas de quiebre de cada plano inclinado de relevancia para la modelación, como lo son, por ejemplo, las líneas de eje y bordes de la plataforma del camino). La precisión de las cubicaciones depende de la densidad de nodos y de la correcta definición de líneas de quiebre.

El origen de estos datos puede ser un levantamiento coordenado terrestre, un levantamiento por perfiles, un levantamiento con láser transportado, productos aerofotogramétricos, etc. (véase la Sección 2.304).

Una vez que ambas superficies hayan sido definidas adecuadamente, se calcularán los volúmenes de corte y terraplén contenidos entre las dos superficies y dentro de los límites que el usuario defina como contornos. Este proceso se logra de manera prácticamente automática, mediante el uso de alguno de los *softwares* que disponen de estas herramientas.

La cubicación total entre superficies superpuestas se determina por la sumatoria de todos los volúmenes parciales, los que se determinan por cada unidad de superficie triangulada. En este proceso se consigue calcular adecuadamente las cubicaciones en situación de secciones mixtas, ya que con subdivisiones de fronteras, se determinan las intersecciones entre las dos superficies (transición corte – terraplén).

2.308.3 CUBICACIONES MEDIANTE PERFILES TRANSVERSALES

2.308.301 Determinación de Superficies

En el método de perfiles transversales, normales al eje del camino o carretera, se calculan en primer lugar las superficies que corresponden a corte y a terraplén en cada uno de los perfiles que limitan la zona de cálculo de volumen.

En procesos digitales, los cálculos de superficies se resuelven automáticamente por la aplicación de algún software especializado, sin tener que recurrir a cálculos específicos de manera manual. Para efecto de comprobaciones, las representaciones gráficas de la línea de tierra transversal, junto con la sección tipo proyectada, pueden desplegarse en alguna plataforma CAD, para determinar las superficies de corte y terraplén, con las herramientas de cálculo de áreas propias de esas aplicaciones computacionales.

Sin apoyo computacional, si se conocen las coordenadas de los vértices de un polígono cerrado, su superficie se puede calcular a partir de la fórmula siguiente:

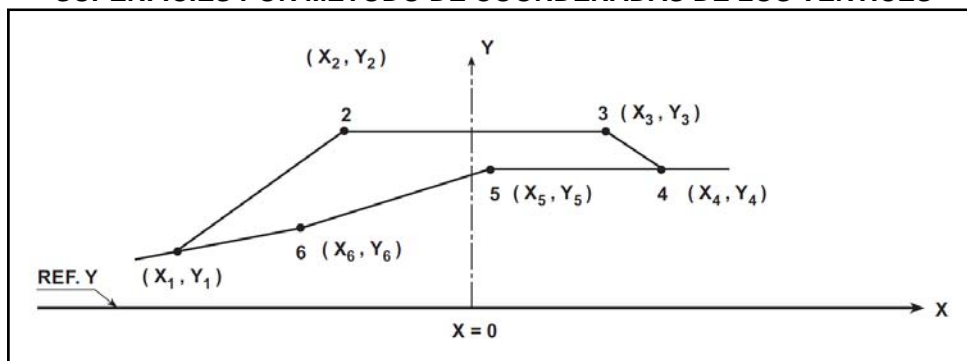
$$S = 1/2 [(X_2 - X_1) (Y_2 + Y_1) + (X_3 - X_2) (Y_3 + Y_2) + \dots + (X_{i+1} - X_i) (Y_{i+1} + Y_i) + (X_1 - X_n) (Y_1 + Y_n)]$$

en que:

- n = número de vértices
- X_i = Coordenada X del vértice i
- Y_i = Coordenada Y del vértice i

Los vértices deberán numerarse consecutivamente, tal como se señala en la Figura 2.308.301.A. El resultado obtenido presentará signo positivo o negativo dependiendo del sentido de recorrido con que se enumeran los vértices.

FIGURA 2.308.301.A
SUPERFICIES POR MÉTODO DE COORDENADAS DE LOS VÉRTICES



Las superficies medidas se expresarán en metros cuadrados, con dos decimales.

2.308.302 Determinación de Volúmenes

La determinación del volumen de tierras comprendido entre dos perfiles transversales consecutivos debe abordarse considerando las superficies de corte o terraplén que dichas secciones presentan y la distancia entre ellas.

Todos los métodos de cubicación suponen que el terreno mantiene su configuración entre dos perfiles transversales, o que las variaciones que presenta son moderadas y se producen de manera uniforme. De allí que, en general, no deben distar más de 20 m. Por el contrario, si el terreno presenta singularidades, resulta indispensable tomar perfiles intermedios, que permitan contar con secciones en que la hipótesis de variación moderada se cumpla.

A continuación se describen conceptos básicos para la determinación de cubicaciones. Los algoritmos disponibles en los *softwares* especializados realizan los cálculos automáticamente.

2.308.302(1) Conceptos Generales. Se denominarán secciones homogéneas aquéllas que presenten sólo corte o sólo terraplén y secciones mixtas aquéllas que presentan corte y terraplén.

Si se enfrentan secciones homogéneas del mismo tipo, corte-corte o terraplén-terraplén, la expresión de cálculo tradicional está dada por:

$$V = (S_1 + S_2) \cdot d / 2 \quad d : \text{la distancia entre las secciones consideradas.}$$

Esta fórmula simple corresponde a una aproximación de la expresión de cálculo del volumen del cuerpo denominado prismatoide (véase la Figura a) de la Lámina 2.308.302.A), que queda dado por:

$$V = 1/6 \times (S_1 + S_2 + 4 S_m) \cdot d$$

en que

- S_1 , S_2 y d corresponden respectivamente a las superficies y distancia antes definidas
- S_m corresponde a la superficie de la sección equidistante de S_1 y S_2 .

La expresión aproximada de V proviene de aceptar que $S_m = (S_1 + S_2)/2$, lo que constituye un caso particular, ya que para secciones S_1 y S_2 de diferente base y altura, tal como se ilustra en la figura a) de la Lámina 2.308.302.A, las dimensiones lineales de S_m equivalen a la semisuma de los elementos lineales que presentan las superficies extremas. Lo anterior significa que entre una y otra sección, la superficie varía según una función cuadrática y no según una función lineal, tal como se ilustra en la Figura b) de la Lámina 2.308.302.A. En ella, la curva que une S_1 con S_2 representa la función cuadrática o variación real de la superficie entre las dos secciones extremas, en tanto que la línea punteada representa el caso aproximado en que se acepta que la variación de la superficie corresponde a una función lineal.

La línea curva coincide con la recta sólo si $S_1 = S_2$; o bien:
 $S_1 \neq S_2$ con $h_1 \neq h_2$ y $b_1 = b_2$

En el caso de carreteras y caminos, la primera situación se da cuando las secciones extremas son idénticas en forma y dimensiones. El segundo caso no puede darse, ya que, si la inclinación de los taludes es constante, al ser $h_1 \neq h_2$, b_1 tiene que ser distinto de b_2 .

En la práctica, esto significa que la fórmula aproximada que acepta la variación lineal de la superficie entre secciones extremas, siempre estima volúmenes con un error por exceso, ya que $(S_1 + S_2)/2$ es mayor que S_m real, salvo en el caso particular en que S_1 y S_2 sean iguales en forma y dimensiones. No obstante, si la relación entre S_1 y S_2 se mantiene dentro de ciertos márgenes, el error que se comete es moderado y comparable con otros errores que se cometen al determinar la superficie de las secciones extremas, o al considerar la forma real del terreno entre secciones extremas.

Cuando se enfrentan secciones homogéneas del mismo tipo, se aceptará cubicar utilizando la fórmula aproximada:

$$V = (S_1 + S_2) \cdot d / 2 \quad \text{si } 0.33 \leq S_1/S_2 \leq 3$$

En los límites extremos del rango señalado, el error cometido, calculado teóricamente, fluctúa entre +2% y +5%, dependiendo de la relación b_1/b_2 . En la medida en que la relación S_1/S_2 tienda a 1, el error disminuye rápidamente.

Para valores de S_1/S_2 que queden fuera del rango especificado, se debería cubicar con la fórmula exacta del prismaoide, pero dado que la superficie de S_m no se conoce y su cálculo resulta engorroso en los casos reales, se procederá a aplicar la fórmula del tronco de pirámide, cuya expresión es algo más compleja que la fórmula aproximada de la semisuma, pero cuyos resultados son satisfactorios.

$$V_{tp} = \frac{1}{3}d*[S_1 + S_2 + (S_1*S_2)^{\frac{1}{2}}]$$

Esta fórmula tiende a evaluar la cubicación por defecto, pero su error es muy moderado, generalmente menor que 2%. Si una de las superficies es cero y todas las aristas del cuerpo se juntan en un punto, el tronco se transforma en una pirámide, cuyo volumen está dado por: $V=\frac{1}{3}d*S$ y el resultado es exacto. Si $S_1 = S_2$, el tronco de pirámide también da un resultado exacto y la fórmula se transforma en $V = S * d$. El único caso en que no se debe usar esta expresión corresponde a la situación en que una de las superficies extremas es nula y las aristas no concurren a un punto, sino que a una línea (es el caso de una línea de paso cuando se enfrentan superficies homogéneas de diferente tipo). En este caso, el error que se cometería es del orden de 30% a 35%.

2.308.302(2) Cubicación de Casos Particulares. Mediante ejemplos de casos particulares, que cubren prácticamente toda la gama de situaciones posibles, se ilustra la lógica utilizada en un proceso de cubicación.

La Lámina 2.308.302.B, Figura a), ilustra el caso en que se enfrentan secciones homogéneas del mismo tipo, que corresponde a la situación más corriente. Dicha situación fue utilizada para analizar el rango de validez de la fórmula simplificada. La Figura b) de la misma Lámina muestra el caso de secciones mixtas, en que el punto de corte entre el terreno y la plataforma se enfrentan.

La Lámina 2.308.302.C, Figura a), presenta el caso de secciones mixtas, en que el punto de corte entre el terreno y la plataforma está desplazado en una sección respecto de la otra. El método de cálculo utiliza la expresión del tronco de pirámide, lo que permite enfrentar directamente las secciones de un mismo tipo. Nótese que la línea de puntos y rayas trazada en el dibujo corresponde a la línea de paso real entre corte y terraplén para el volumen en su conjunto.

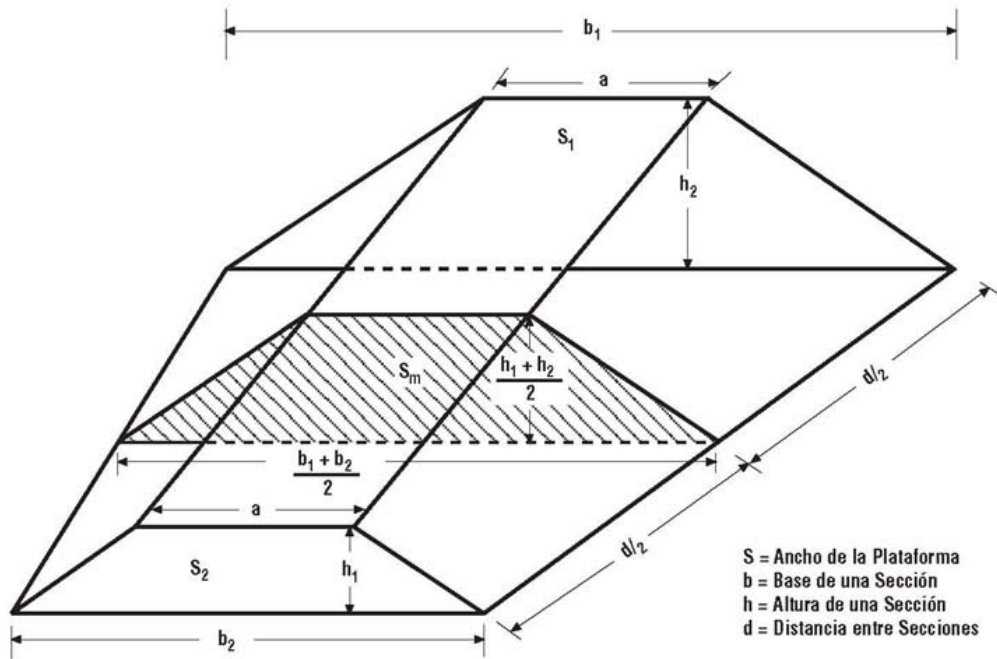
La Figura b) de la Lámina 2.308.302.C ilustra el caso en que se enfrenta una sección homogénea con una sección mixta. El método de cálculo enfrenta directamente las secciones del mismo tipo mediante la fórmula del tronco de pirámide y calcula la sección de distinto tipo, como una pirámide, cuya cúspide se ubica sobre la línea de paso general del volumen (línea de puntos y rayas). La distancia, d_c en la Figura, desde la sección en corte al punto de paso (cúspide de la pirámide), se determina en función de las alturas de corte y terraplén que se dan en el extremo de la plataforma.

La Lámina 2.308.302.D, Figura a), analiza el caso del enfrentamiento de secciones homogéneas de distinto tipo. El método de cálculo considera calcular la línea de paso, separando la superficie central de las superficies correspondientes a las zonas de taludes y calcula el volumen de éstas como pirámides.

La figura b) de la Lámina 2.308.302.D considera un caso poco frecuente, en que la plataforma corta el terreno natural en más de un punto. Esta situación debe abordarse trazando planos paralelos al eje por todos los puntos de intersección que se producen entre los respectivos perfiles de terreno y proyecto. Eventualmente, resulta necesario trazar planos por los bordes de la plataforma, cuando en la zona de taludes se enfrentan secciones de distinto tipo.

Entre planos paralelos se cumple que las bases de las secciones enfrentadas son iguales y, para cualquiera relación de S_1/S_2 , es lícito utilizar la expresión de la semisuma de las superficies enfrentadas si éstas son del mismo tipo, o bien, emplear el método de la línea de paso en función de las áreas, si las secciones son de distinto tipo. En la zona de taludes se aceptará el método de la semisuma, independientemente de la relación S_1/S_2 , si las secciones son del mismo tipo, ya que el volumen comprometido es sólo un porcentaje del volumen total. Si las secciones son de diferente tipo, se determinará el punto de paso en función de las alturas medidas en el extremo de la plataforma, para calcular los volúmenes de corte y terraplén, considerando las pirámides que allí se forman.

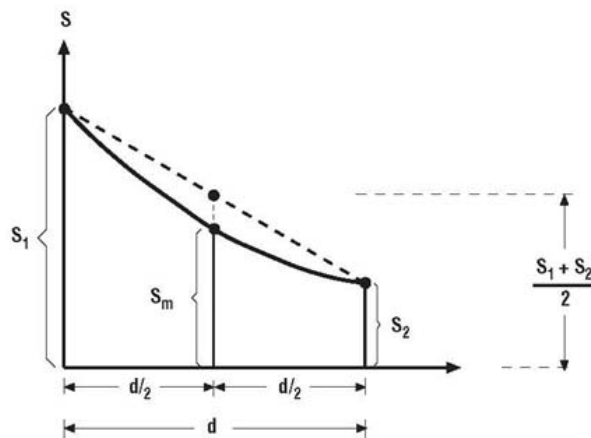
a) PRISMATOIDE



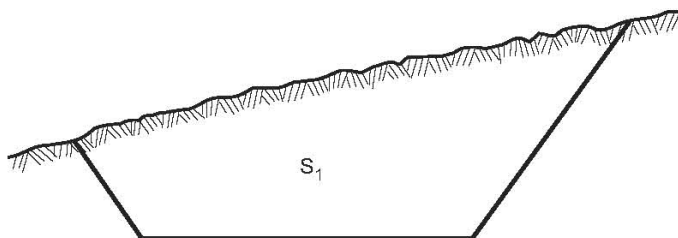
S = Ancho de la Plataforma
b = Base de una Sección
h = Altura de una Sección
d = Distancia entre Secciones

$$V_p = \frac{d}{6} (S_1 + S_2 + 4S_m)$$

b) VARIACION DE LA SUPERFICIE DE SECCIONES INTERMEDIAS



a) SE ENFRENTAN SECCIONES HOMOGENEAS DEL MISMO TIPO
CORTE-CORTE/TERRAPLEN-TERRAPLEN

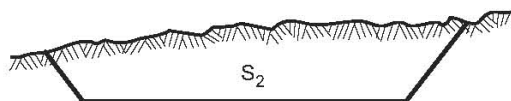


1) Si $0,33 \leq \frac{S_1}{S_2} \leq 3$

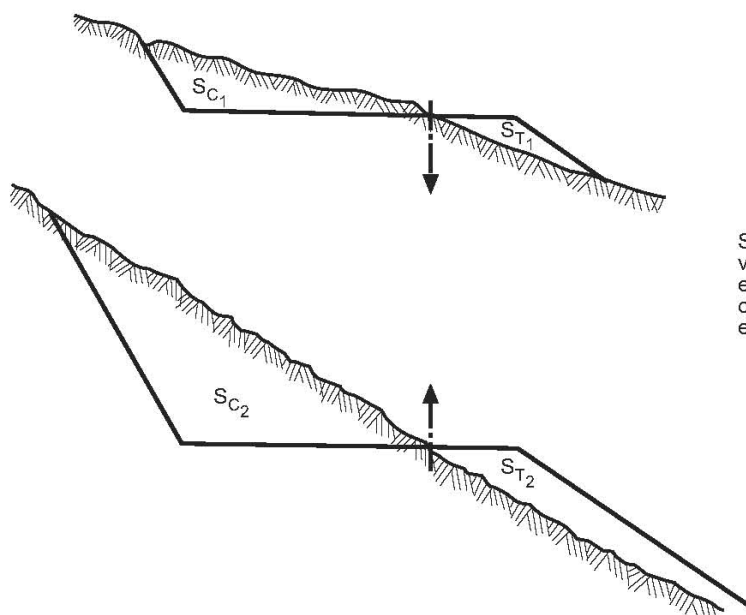
$$V = \frac{d}{2} (S_1 + S_2)$$

2) Si $\frac{S_1}{S_2}$ está fuera del rango señalado en 1)

$$V = \frac{d}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2})$$

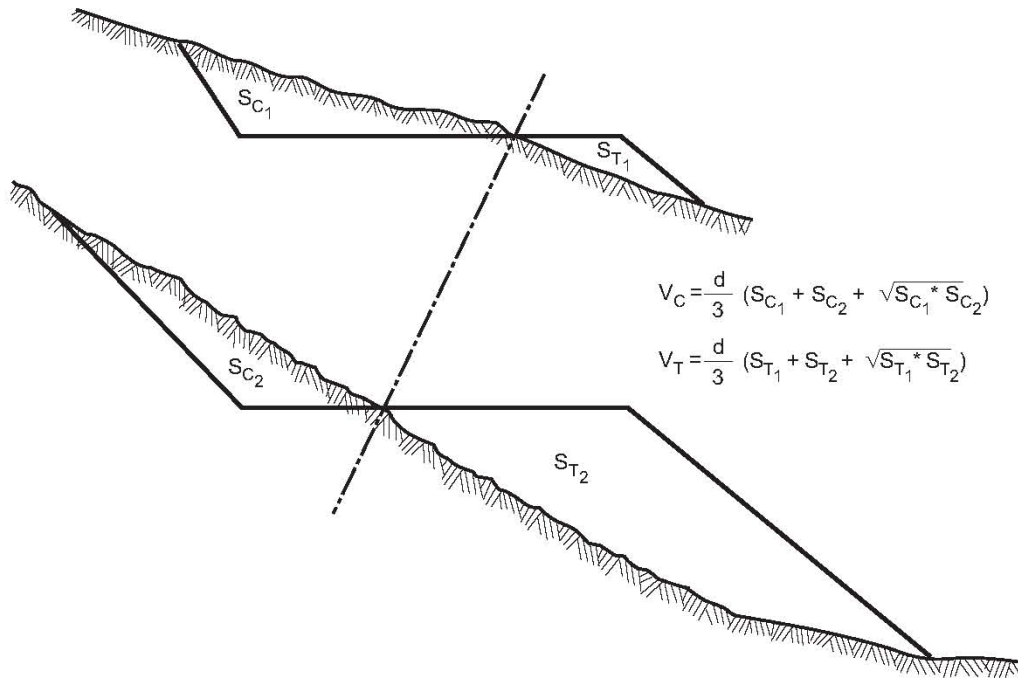


b) SECCIONES MIXTAS EN QUE LOS PUNTOS DE CORTE DEL PERFIL PROYECTO
CON EL TERRENO ESTÁN ENFRENTADOS

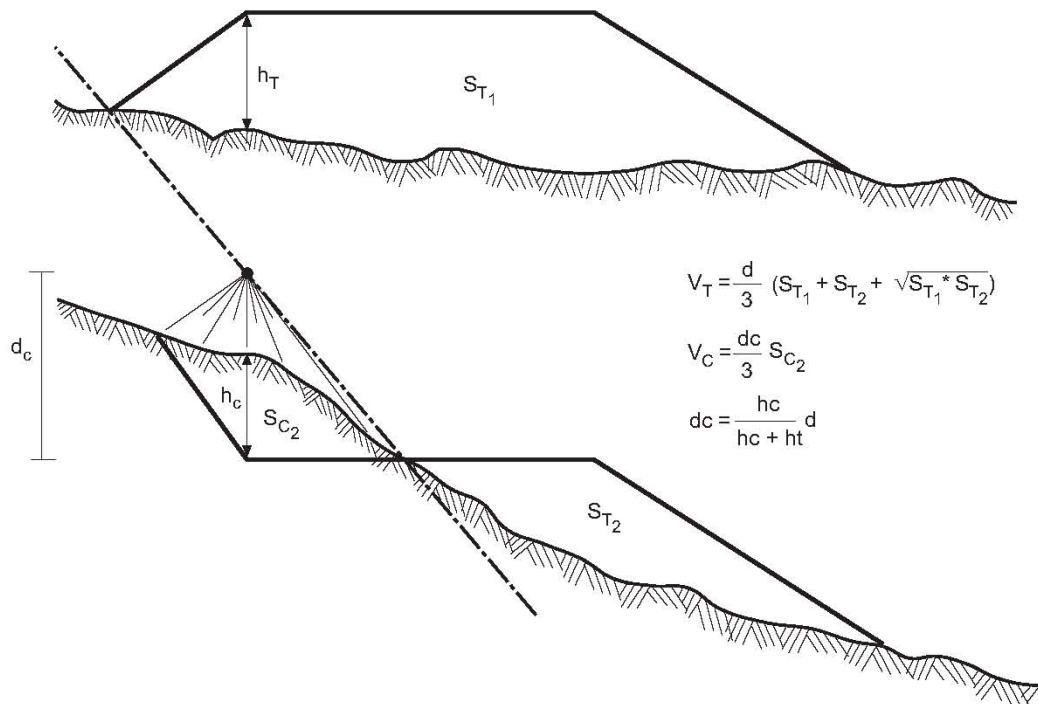


Se cubican independientemente los volúmenes de corte y terraplén, empleando la expresión que corresponda según lo especificado en a).

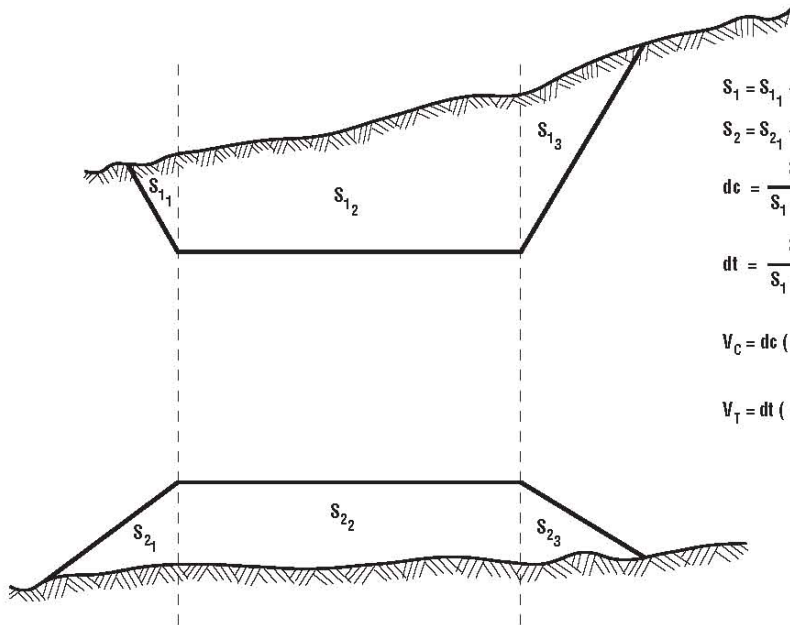
a) SECCIONES MIXTAS EN QUE LOS PUNTOS DE CORTE DEL PERFIL DE PROYECTO CON EL TERRENO ESTAN DESPLAZADOS



b) SECCIONES HOMOGENEAS ENFRENTADAS A SECCIONES MIXTAS



a) SE ENFRENTAN SECCIONES HOMOGÉNEAS DE DISTINTO TIPO



$$S_1 = S_{11} + S_{12} + S_{13}$$

$$S_2 = S_{21} + S_{22} + S_{23}$$

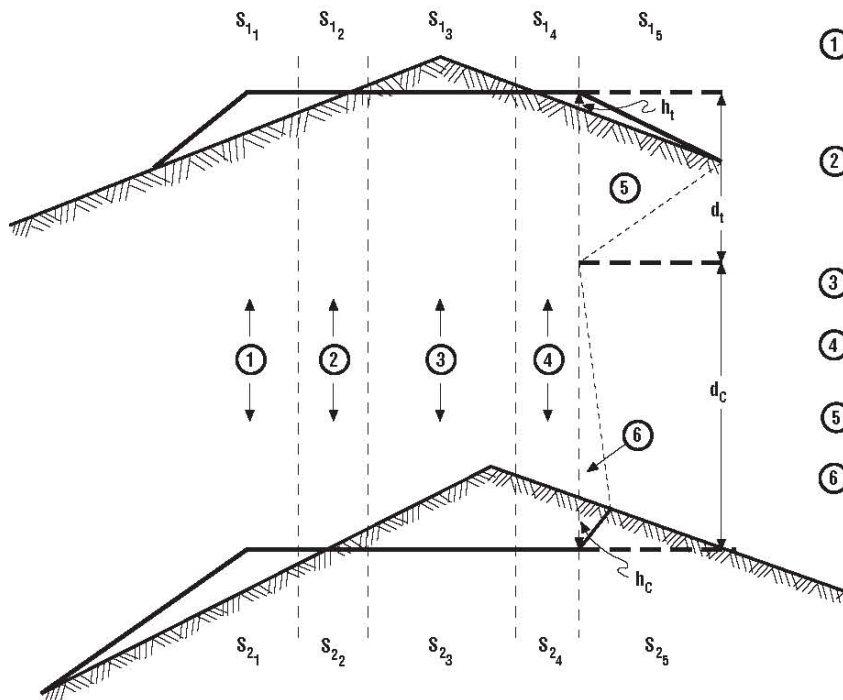
$$dc = \frac{S_1}{S_1 + S_2} d$$

$$dt = \frac{S_2}{S_1 + S_2} d$$

$$V_C = dc \left(\frac{S_{12}}{2} + \frac{S_{11} + S_{13}}{3} \right)$$

$$V_T = dt \left(\frac{S_{22}}{2} + \frac{S_{21} + S_{23}}{3} \right)$$

b) SECCIONES EN QUE EL PERFIL DE PROYECTO CORTA EL TERRENO MAS DE UNA VEZ



- ① $V_T = \frac{d}{2} (S_{11} + S_{21})$
- ② $V_T = \frac{S_{12}^2 \cdot d}{2 (S_{12} + S_{22})}$
- ③ $V_C = \frac{S_{22}^2 \cdot d}{2 (S_{12} + S_{22})}$
- ④ $V_C = \frac{d}{2} (S_{13} + S_{23})$
- ⑤ Igual tratamiento que caso ②
- ⑥ $V_T = \frac{1}{3} dt \cdot S_{15}$
- ⑦ $V_C = \frac{1}{3} dc \cdot S_{25}$

$$dt = \frac{ht}{ht + hc} d$$

$$dc = \frac{hc}{ht + hc} d$$

2.308.302(3) Cubicación de Sectores en Curva. Cuando el eje presente una curva de radio menor que 100 m, y se deban enfrentar secciones mixtas de grandes dimensiones, la distancia entre secciones correspondientes al lado exterior de la curva es mayor que la distancia medida por el eje; lo contrario sucede para la sección ubicada al interior de la curva.

Como los volúmenes por cubicar que presenta la sección mixta son de diferente tipo hacia el exterior y el interior de la curva, no existirá compensación. En estos casos, para evitar errores de consideración, puede resultar necesario determinar la distancia media real existente entre los centros de gravedad de las secciones de un mismo tipo.

Sea:

e : La excentricidad que presenta el centro de gravedad del volumen considerado respecto del eje del trazado.

C_e: El coeficiente para corregir la distancia real entre secciones de un mismo tipo.

$$C_e = \frac{(R \pm e)}{R}$$

En que:

R : radio de la curva.

e : positivo si corresponde al lado exterior de la curva, negativo en caso contrario.

En consecuencia, la distancia entre perfiles corregidos por excentricidad queda dada por:

$$d_e = d * C_e$$

Si bien lo anterior es efectivo para una curva en particular, en los trazados sinuosos el sentido de las curvas se va alternando, con lo cual se tendrá una compensación para el volumen total cubicado.

2.308.302(4) Cifras Significativas. Las cubicaciones de movimiento de tierras se expresarán en metros cúbicos, con un decimal.

SECCIÓN 2.309 CONTROL DE CALIDAD EN TRABAJOS DE TOPOGRAFÍA VIAL

2.309.1 ASPECTOS GENERALES

2.309.101 Objetivos y Alcances

La presente Sección está destinada a exponer criterios y métodos generales, para orientar las tareas de control de calidad en los trabajos de topografía vial. En términos generales, esta Sección será citada como referencia por las bases de licitación de los contratos de consultoría de diseño de ingeniería.

El profesional a quien se encomiende las tareas de control ejecutará los muestreos que corresponda según el trabajo topográfico de que se trate y emitirá un informe en que se consigne en forma cuantitativa o cualitativa lo observado en terreno y gabinete. Cualquiera sea el tipo de trabajo topográfico, el profesional a cargo de la revisión deberá efectuar en primer término un recorrido general del área en que se emplaza el estudio, para tener una visión de conjunto del trabajo por inspeccionar.

Por tratarse de una verificación por muestreo, el Consultor sigue siendo responsable del cumplimiento de las exigencias y tolerancias especificadas para la totalidad del trabajo, en conformidad con lo señalado en los documentos del contrato.

En el caso de trazados nuevos o de rectificación de trazados existentes, este instructivo presupone que los criterios de emplazamiento del eje y el diseño geométrico fueron revisados y aprobados en las etapas previas al estacado y, por ello, la verificación se refiere a la calidad del trabajo topográfico ejecutado. En consecuencia, el profesional que ejecute la verificación topográfica deberá anexar a su informe los comentarios que estime necesarios en relación con problemas del trazado o diseño geométrico, que eventualmente detectare al ejecutar la verificación topográfica.

2.309.102 Antecedentes Requeridos para la Revisión

Los antecedentes contractuales principales son:

- Manual de Carreteras - Volumen N°2 (MC-V2)
- Términos de Referencia (TdR) del Estudio y Circulares Aclaratorias
- Metodología propuesta por el Consultor

El MC-V2, los TdR del Estudio y las Circulares Aclaratorias priman sobre la Metodología propuesta por el Consultor. No obstante, es necesario conocer la metodología propuesta y los procedimientos empleados por el Consultor, pues ello puede orientar la planificación de las labores de revisión. Se debe tener presente que aun cuando el procedimiento empleado por el Consultor difiera de aquel recomendado en el MC-V2 y si los TdR no establecen taxativamente alguno en especial, el producto obtenido puede ser equivalente, en tanto cumpla con los objetivos y con las tolerancias exigidas.

2.309.103 Muestreo al Azar. En un proceso de muestreo es recomendable y equitativo seleccionar la muestra al azar; no obstante, dado que las características de la población no siempre son uniformes, resulta necesario introducir algunas reglas tendientes a conseguir que estén razonablemente representadas todas las sub-poblaciones presentes. Por ejemplo, la dificultad para lograr las precisiones exigibles son distintas en un terreno plano y despejado que en uno montañoso y con abundante vegetación; la importancia de una falta puede ser muy relevante en un sector de trazado con restricciones, como las que introducen sectores con volúmenes altos de movimiento de tierra, la existencia de un trazado ferroviario, canales etc., y menos relevante en uno con planta y alzado relativamente libre de restricciones.

2.309.104 Valor de Aceptación (VA). Las actividades de Control de Calidad en trabajos de topografía, permiten concluir a los encargados de un proyecto, un nivel de confianza respecto del conjunto de información disponible para el diseño y construcción de las Obras Viales. Es importante entonces que la verificación de las mediciones topográficas, concluya con una recomendación de aceptación o rechazo de la actividad controlada, que los encargados del proyecto deberán valorar y determinar si corresponde aprobar los trabajos, o bien, rechazar e indicar las tareas correctivas que requiera la actividad.

Para cada actividad controlada se define un Valor de Aceptación, determinado por la relación entre las mediciones dentro de la tolerancia admisible y el conjunto muestral verificado.

2.309.2 VERIFICACIÓN DE LA MONUMENTACIÓN Y BALIZADO

Se entenderá por “monumento” al elemento físico que materializa en terreno un punto específico considerado en el trabajo topográfico.

La señalización de un monumento está constituida por aquellos elementos que permitan reponerlo en caso de extravío o retiro momentáneo durante la construcción (amarras laterales, amarras por radiación o intersección desde monumentos inamovibles, etc.), y por aquéllos que permitan identificarlo fácilmente en terreno (tablillas, pintura en pavimento o estructuras).

A fin de apreciar en general la calidad de estos trabajos, se deberá atender a los siguientes aspectos:

- Apreciación general respecto de lo completo de la monumentación y señalización a todo lo largo del estudio.
- Apreciación general de la calidad de la señalización, atendiendo a su perduración en el tiempo.
- Apreciación general relativa a la calidad gráfica de la señalización (colores de norma, tamaño de caracteres).

Los aspectos antes mencionados se calificarán según el formulario de la Tabla 2.309.201.A, considerando los siguientes conceptos aplicados a la globalidad del trabajo:

- Adecuado (1): si se cumple con la normativa vigente para la monumentación y señalización.
- Aceptable (2): si se detectan algunos aspectos que se apartan de la normativa vigente, pero se cumple razonablemente bien con la función asignada a estos elementos.
- Insuficiente (3): si se aprecian diversos aspectos que no cumplen con la normativa vigente y se estima que la monumentación y señalización no cumple con la función asignada.

TABLA 2.309.201.A
FORMULARIO DE APRECIACIÓN GENERAL DE LA CALIDAD
DE LA MONUMENTACIÓN Y SEÑALIZACIÓN

ADECUADO = 1 ACEPTABLE = 2 INSUFICIENTE = 3

	TRAMO A	TRAMO B	TRAMO C	Observaciones
Apreciación respecto de lo completo de la monumentación y señalización				
Apreciación respecto de la perduración en el tiempo de los elementos				
Apreciación respecto de la calidad gráfica de la señalización				

- Califique cada aspecto según conceptos 1, 2 o 3.
- Si es necesario tramificar, identifique Dm de los tramos.

2.309.3 VERIFICACIÓN DE LAS DETERMINACIONES TOPOGRÁFICAS

2.309.301 Precisión y Exactitud en el Proceso de Verificación. Los términos “precisión” y “exactitud”

empleados tienen el significado y alcance definido en los Numerales 2.306.201(1) y 2.306.201(2). En aquellos casos en que la verificación verifique un cierre dentro de tolerancia y la compensación correspondiente, el valor así determinado podrá considerarse un “valor verdadero” o “patrón de comparación”, en el orden de las cifras significativas con que fue determinado. Por ejemplo, la determinación del desnivel entre dos PR, obtenida mediante una nivelación cerrada, cuyo cierre esté holgadoamente dentro de las tolerancias especificadas y tras compensar la discrepancia determinada, se considerará como valor verdadero o patrón de comparación para determinar la exactitud de la verificación.

Los procedimientos empleados para aumentar la precisión de las determinaciones, considerarán:

- Utilizar instrumental en buen estado, debidamente corregido, cuya precisión o resolución sea en lo posible mayor que la especificada para la determinación del elemento que se está verificando.
- Asegurar que la instalación del instrumento cumpla con todos los requerimientos exigidos.
- Instruir al personal auxiliar para que sea muy cuidadoso al instalar el bastón de prismas, jalones, plomadas o miras, exactamente en la señal correspondiente de un monumento, manteniendo además la verticalidad del elemento.
- Aumentar el número de determinaciones por sobre lo especificado como procedimiento habitual para el tipo de trabajo que se está verificando (si se especifican 3 reiteraciones o repeticiones, hacer al menos 4).
- Hacer de inmediato registros ordenados y completos de todas las determinaciones efectuadas que permitan en gabinete comprobar los cálculos, cierres y compensaciones.

2.309.302 Verificación de la Red de Referencia Principal (RRP)

- a) En primer término se procederá a estudiar la Memoria del trabajo ejecutado, con el objeto de verificar el cumplimiento de los aspectos que dicen relación con los métodos de trabajo empleados y las características de la figura formada por las líneas bases GNSS.
- b) Se debe verificar la monumentación de 100% de la RRP. Los aspectos que se deberán atender son:
 - Calidad de la monumentación en cuanto a materialidad, dimensiones, pintura e identificación.
 - Calidad del emplazamiento. Este debe permitir la permanencia en el tiempo, ubicándose adecuadamente fuera de la influencia de las futuras obras. En etapas iniciales de los estudios, es posible que no se cuente con definiciones de ejes de diseño, por lo que en ese caso, se debe presumir razonablemente la zona de influencia de las futuras obras.
- c) Verificación de la distancia horizontal de todas las LBG. Para cada una de ellas, la verificación se debe ejecutar con estación total instalada en uno de los puntos pertenecientes a la LBG, midiendo en 3 oportunidades la distancia horizontal hacia un prisma correctamente aplomado sobre el punto par de la LBG. La distancia promedio obtenida debe servir de patrón para comparar la distancia horizontal resultante de la diferencia de coordenadas de los puntos de la LBG en el sistema LTM definido para el estudio. La tolerancia es de 1:30.000.

Para cada una de las líneas bases GNSS (LBG), se detallarán las verificaciones enunciadas de acuerdo con el formulario la Figura 2.309.302.A.

FIGURA 2.309.302.A
FORMULARIO DE VERIFICACIÓN DE LA RED DE REFERENCIA PRINCIPAL

Línea Base LBG N° : ____

Fotografía Panorámica	Nombre Punto: <input style="width: 80%;" type="text"/> N: _____ E: _____	Nombre Punto: <input style="width: 80%;" type="text"/> N: _____ E: _____	Fotografía Panorámica				
Fotografía Detalle	ok / nc <input style="width: 40%;" type="text"/> <input style="width: 40%;" type="text"/> <input style="width: 40%;" type="text"/> <input style="width: 40%;" type="text"/> <input style="width: 40%;" type="text"/> <input style="width: 40%;" type="text"/>	Conformidad Materialidad Dimensiones Pintura Identificación Emplazamiento	Fotografía Detalle				
Distancia por diferencia de coordenadas: <input style="width: 80%;" type="text"/> Distancia promedio de control: <input style="width: 80%;" type="text"/>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Diferencia:</td> <td><input style="width: 90%;" type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Tolerancia:</td> <td><input style="width: 90%;" type="text"/></td> </tr> </table>		Diferencia:	<input style="width: 90%;" type="text"/>	Tolerancia:	<input style="width: 90%;" type="text"/>
Diferencia:	<input style="width: 90%;" type="text"/>						
Tolerancia:	<input style="width: 90%;" type="text"/>						
Observaciones:		Cumple (S/N): <input style="width: 50%;" type="text"/>					

2.309.303 Verificación de la Red de Referencia Altimétrica (PR)

a) Se debe verificar la monumentación de 100% de la red de PR. Véase el formulario de la Figura 2.309.303.A. Los aspectos que se deberán atender, son:

- Cantidad de monolitos. Se debe verificar que el número de puntos corresponda a más de 2 PR/km, ubicados a no más de 500 m de distancia recorrida entre ellos.
- Calidad de la monumentación, en cuanto a materialidad, dimensiones, pintura e identificación.
- Calidad del emplazamiento. Éste debe permitir la permanencia en el tiempo, ubicándose adecuadamente fuera de la influencia de las futuras obras. En etapas iniciales de los estudios, en caso de no contar con el replanteo de ejes, se debe asumir que en proyectos de cambio de estándar y recuperación de estándar, el emplazamiento debe materializarse en sectores alejados de la plataforma existente.

FIGURA 2.309.303.A
FORMULARIO DE VERIFICACIÓN DE MONUMENTACIÓN DE LA RED DE PR

Longitud del Proyecto: _____ Número Total de PR: _____
Cantidad Mínima Requerida: _____ Cumple

PR N°: _____ Dm. Ref.: _____ Lado: D / I

Fotografía Panorámica	Fotografía Detalle	Conformidad <input type="text" value="ok / nc"/>
		Materialidad <input type="text"/>
		Dimensiones <input type="text"/>
		Pintura <input type="text"/>
		Identificación <input type="text"/>
		Emplazamiento <input type="text"/>

Observaciones: Distancia entre PR:

PR N°: _____ Dm. Ref.: _____ Lado: D / I

Fotografía Panorámica	Fotografía Detalle	Conformidad <input type="text" value="ok / nc"/>
		Materialidad <input type="text"/>
		Dimensiones <input type="text"/>
		Pintura <input type="text"/>
		Identificación <input type="text"/>
		Emplazamiento <input type="text"/>

Observaciones: Distancia entre PR:

PR N°: _____ Dm. Ref.: _____ Lado: D / I

Fotografía Panorámica	Fotografía Detalle	Conformidad <input type="text" value="ok / nc"/>
		Materialidad <input type="text"/>
		Dimensiones <input type="text"/>
		Pintura <input type="text"/>
		Identificación <input type="text"/>
		Emplazamiento <input type="text"/>

Observaciones: Distancia entre PR:

Observaciones Generales:

b) Verificación de desniveles. Véase el formulario de la Figura 2.309.303.B. El procedimiento debe ejecutarse con nivelación geométrica cerrada, utilizando niveles ópticos o digitales, privilegiándose estos últimos. Los aspectos que se deberán atender son:

- El número de circuitos a verificar corresponderá al entero superior de 25% de los circuitos del estudio.
- La muestra debe comprender la variedad de tipos de terreno en que se desarrolle el estudio y privilegiando aquellos sectores con pendientes mayores y donde se prevea, a criterio de los diseñadores, mayores volúmenes de movimientos de tierra.
- Tanto la nivelación cerrada de control, como la comparación con los datos de nivelaciones del estudio, debe responder a una tolerancia de $T = 10 * K^{0.5}$, donde K es la distancia recorrida en el circuito de cierre, expresada en kilómetros, y T, la precisión tolerable expresada en milímetros.
- A la verificación le corresponde un valor de aceptación de: $VA = 100\%$

FIGURA 2.309.303.B
FORMULARIO DE VERIFICACIÓN DE DESNIVELES EN RED DE PR

Detalle de mediciones para cada circuito controlado

Desde	Hasta	Circuito Ida		Circuito Vuelta		Error de Cierre (m)
		L. Atrás	L. Adelante	L. Atrás	L. Adelante	
PR A						
	PR B					
Desnivel Control		$DNi = \sum L.Atrás - \sum L.Adel.$		$DNv = \sum L.Atrás - \sum L.Adel.$		DNI + DNv
Desnivel Promedio Control		$DN = (DNI - DNv) / 2$				
Desnivel Informe Topografía				Dist. Recorrida	Tolerancia	Cumple
Diferencia						S / N

Resumen

Nº Total de Circuitos del Estudio: _____

Nº de Circuitos Verificados: _____

% muestral: _____

% muestral Requerido: _____ Cumple:

Nº de Circuitos con diferencias dentro de tolerancia: _____ Porcentaje: _____

Observaciones:

2.309.304 Verificación de la Poligonal Principal del STC

- Se verificará la monumentación de 100% de la poligonal principal. Se deberá atender a la calidad de la monumentación en cuanto a materialidad, dimensiones, pintura e identificación. Los resultados se expondrán según el formulario de la Figura 2.309.304.A.
- Verificación del transporte de coordenadas. El procedimiento se debe ejecutar utilizando estación total, de las características señaladas en la TABLA 2.310.302.C. Los aspectos que se deberán atender, son:
 - La verificación se realizará por circuitos íntegros de poligonales.
 - De la totalidad de poligonales entre LBG que tenga el estudio, se seleccionará 25%, aumentado a su entero superior.

- Aceptando como fijas las coordenadas LTM de las LBG de inicio y fin de la poligonal, se procederá a medir ángulos y distancias para todos sus vértices, con al menos 4 reiteraciones y asegurando plomadas fijas en cada posición del prisma.
- El procedimiento a seguir es el indicado en el Tópico 2.303.2, Transporte de Coordenadas Mediante Poligonales Topográficas.
- El cálculo de coordenadas de la poligonal y su compensación se realizará de acuerdo con el Tópico 2.303.2, Transporte de Coordenadas Mediante Poligonales Topográficas, con mediciones de precisión 1:20.000.
- La comparación entre la poligonal del estudio y el patrón determinado por el control se realizará por diferencia de coordenadas LTM para cada vértice, verificando la diferencia de posición con una precisión mejor que 1:20.000.
- A la verificación le corresponde un valor de aceptación de: $VA = 100\%$
- En el informe de control de calidad se incluirán los resultados de acuerdo con los siguientes formularios:
 - Formulario de Figura 2.303.2.A, Formulario para el Cálculo de Coordenadas de Vértices del STC
 - Formulario de Figura 2.303.2.B, Formulario de Registro de Poligonal Topográfica del STC
 - Formulario de Figura 2.309.304.B, Formulario de Verificación del Transporte de Coordenadas

FIGURA 2.309.304.A
FORMULARIO DE VERIFICACIÓN DE MONUMENTACIÓN DE LA POLIGONAL PRINCIPAL

POLIGONAL N° : _____

POLIGONAL N° : _____													
Nombre de Vértice: _____	Dm. Ref.: _____												
<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> Fotografía </div>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Conformidad</td> <td style="width: 15%;"><input type="text" value="ok / nc"/></td> <td style="width: 55%;">Observaciones:</td> </tr> <tr> <td>Materialidad</td> <td><input type="text"/></td> <td rowspan="5" style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></td> </tr> <tr> <td>Dimensiones</td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Pintura</td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Identificación</td> <td><input type="text"/></td> </tr> </table>	Conformidad	<input type="text" value="ok / nc"/>	Observaciones:	Materialidad	<input type="text"/>		Dimensiones	<input type="text"/>	Pintura	<input type="text"/>	Identificación	<input type="text"/>
Conformidad	<input type="text" value="ok / nc"/>	Observaciones:											
Materialidad	<input type="text"/>												
Dimensiones	<input type="text"/>												
Pintura	<input type="text"/>												
Identificación	<input type="text"/>												
Nombre de Vértice: _____	Dm. Ref.: _____												
<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> Fotografía </div>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Conformidad</td> <td style="width: 15%;"><input type="text" value="ok / nc"/></td> <td style="width: 55%;">Observaciones:</td> </tr> <tr> <td>Materialidad</td> <td><input type="text"/></td> <td rowspan="5" style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></td> </tr> <tr> <td>Dimensiones</td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Pintura</td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Identificación</td> <td><input type="text"/></td> </tr> </table>	Conformidad	<input type="text" value="ok / nc"/>	Observaciones:	Materialidad	<input type="text"/>		Dimensiones	<input type="text"/>	Pintura	<input type="text"/>	Identificación	<input type="text"/>
Conformidad	<input type="text" value="ok / nc"/>	Observaciones:											
Materialidad	<input type="text"/>												
Dimensiones	<input type="text"/>												
Pintura	<input type="text"/>												
Identificación	<input type="text"/>												
Nombre de Vértice: _____	Dm. Ref.: _____												
<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> Fotografía </div>	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Conformidad</td> <td style="width: 15%;"><input type="text" value="ok / nc"/></td> <td style="width: 55%;">Observaciones:</td> </tr> <tr> <td>Materialidad</td> <td><input type="text"/></td> <td rowspan="5" style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></td> </tr> <tr> <td>Dimensiones</td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Pintura</td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Identificación</td> <td><input type="text"/></td> </tr> </table>	Conformidad	<input type="text" value="ok / nc"/>	Observaciones:	Materialidad	<input type="text"/>		Dimensiones	<input type="text"/>	Pintura	<input type="text"/>	Identificación	<input type="text"/>
Conformidad	<input type="text" value="ok / nc"/>	Observaciones:											
Materialidad	<input type="text"/>												
Dimensiones	<input type="text"/>												
Pintura	<input type="text"/>												
Identificación	<input type="text"/>												
Observaciones Generales:													

FIGURA 2.309.304.B
FORMULARIO DE VERIFICACIÓN DEL TRANSPORTE DE COORDENADAS

Poligonal entre Líneas Bases GNSS LBG N°: _____ LBG N°: _____

Punto Base GNSS de Inicio.

Nombre

Norte

Este

Vértice	Coord. Informe de Topografía		Coord. Resultados de Control		Distancia a la base	Comparación	Dif. N (m)	Dif. E (m)	Dif. Posición	Tolerancia	Cumple S/N
	Norte	Este	Norte	Este							
1	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>		<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>

Vértice	Coord. Informe de Topografía		Coord. Resultados de Control		Distancia a la base	Comparación	Dif. N (m)	Dif. E (m)	Dif. Posición	Tolerancia	Cumple S/N
	Norte	Este	Norte	Este							
2	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>		<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>

Vértice	Coord. Informe de Topografía		Coord. Resultados de Control		Distancia a la base	Comparación	Dif. N (m)	Dif. E (m)	Dif. Posición	Tolerancia	Cumple S/N
	Norte	Este	Norte	Este							
N	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>		<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>

Observaciones:

2.309.305 Verificación del Replanteo del Eje Geométrico

a) Verificación de la posición. El procedimiento para determinar la calidad en el replanteo del eje de diseño es el siguiente:

- Se deben levantar topográficamente las coordenadas planimétricas del estacado materializado en terreno.
- El levantamiento se ejecutará con mediciones distanciométricas mediante Estación Total, o bien, con mediciones GNSS en tiempo real, siempre referidas al sistema local establecido por la RRP y el STC del Estudio.
- La muestra comprobada debe representar a lo menos 20% de la longitud del trazado, tramificado por sectores representativos de las diferentes características que pueda presentar un Proyecto, en cuanto a sectores con mejoras geométricas, sectores urbanizados, sectores con mayores cubriciones de movimiento de tierras, entre otros criterios que puedan resultar de interés.
- Los resultados del levantamiento del eje estacado serán contrastados con las coordenadas de diseño, verificando que la diferencia en el valor de posición $\delta = (\Delta N^2 + \Delta E^2)^{0,5}$ no exceda una tolerancia T = 0,1 m.

b) Se deben verificar las características físicas del estacado en cuanto a materialidad e identificación.

- Para cada tramo controlado se informarán los resultados de acuerdo con el formulario de la Figura 2.309.305.A, Formulario de Verificación del Estacado del Eje.
- A la verificación le corresponde un valor de aceptación de: VA = 95%

FIGURA 2.309.305.A
FORMULARIO DE VERIFICACIÓN DEL ESTACADO DEL EJE

Tramo N°: _____ Dm. Inicio: _____ Dm. Fin: _____ % muestral:

Dm	Coordenadas de Diseño		Coord. Levantadas del Estacado		Comparación	
	Norte	Este	Norte	Este	Tolerancia:	Dif. Posición cumple (S/N)
					<input type="text"/>	

Observaciones respecto de las mediciones:

Fotografías representativas de la materialización del estacado:

Fotografía 1	Fotografía 2	Fotografía 3
--------------	--------------	--------------

Descripción general y Observaciones respecto de la materialización del estacado:

2.309.306 Verificación de Línea de Tierra. A estos efectos, se controlarán perfiles transversales y su respectiva cota en el eje estacado, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- La revisión se efectuará sobre 40% de la longitud del Proyecto, tramificando según sectores representativos de las diferentes características topográficas que se puedan presentar. Se deben priorizar aquellos sectores donde se proyecten mayores movimientos de tierras.
 - En los tramos seleccionados se medirán perfiles transversales a razón de 25 perfiles/km.
 - Se verificará la cota del eje estacado en la posición del perfil transversal, nivelando geométricamente desde la cota de la red de PR, con una precisión de a lo menos 1 cm.
 - El ancho del perfil transversal debe sobrepasar los límites de la superficie de obra proyectada.
 - La precisión en las mediciones de control dependerá del tipo de superficie a levantar:
 - Tipo 1: 1 cm en puntos sobre pavimento
 - Tipo 2: 5 cm en puntos sobre plataformas granulares
 - Tipo 3: 10 cm en puntos sobre terreno natural con un desnivel transversal moderado
 - Tipo 4: 25 cm en terreno natural con pendientes transversales altas
- Para lograr estas precisiones se recomienda el uso de niveles topográficos o estaciones totales que permitan mediciones sin prisma.
- Independientemente del número de puntos contenidos en cada perfil, se verificarán las precisiones señaladas a una muestra de 6 de esos puntos.

- Para cada tramo seleccionado, los resultados comparados se exponen de acuerdo con el formulario de la Figura 2.309.306.A. Gráficamente se elaborarán planos esc. 1:200 con los perfiles sobrepuestos, según se ilustra en la Figura 2.309.306.B.

**FIGURA 2.309.306.A
 FORMULARIO DE VERIFICACIÓN DE LA LÍNEA DE TIERRA**

Tramo N°: _____ Dm. Inicio: _____ Dm. Fin: _____ Longitud del Tramo:
 % muestral:

Características del Tramo:

N° de Perfiles Levantados en el Tramo: N° de Perfiles Requeridos: Cumple S/N

Línea de Tierra Longitudinal

N°	Dm.	Cota Estacado		Dif. (m)	Tolerancia (m): <input type="text"/>		Observaciones:
		Estudio	Control		Cumple (S/N)		
1							
2							
3							
4							
N-1							
N							

Observaciones generales:

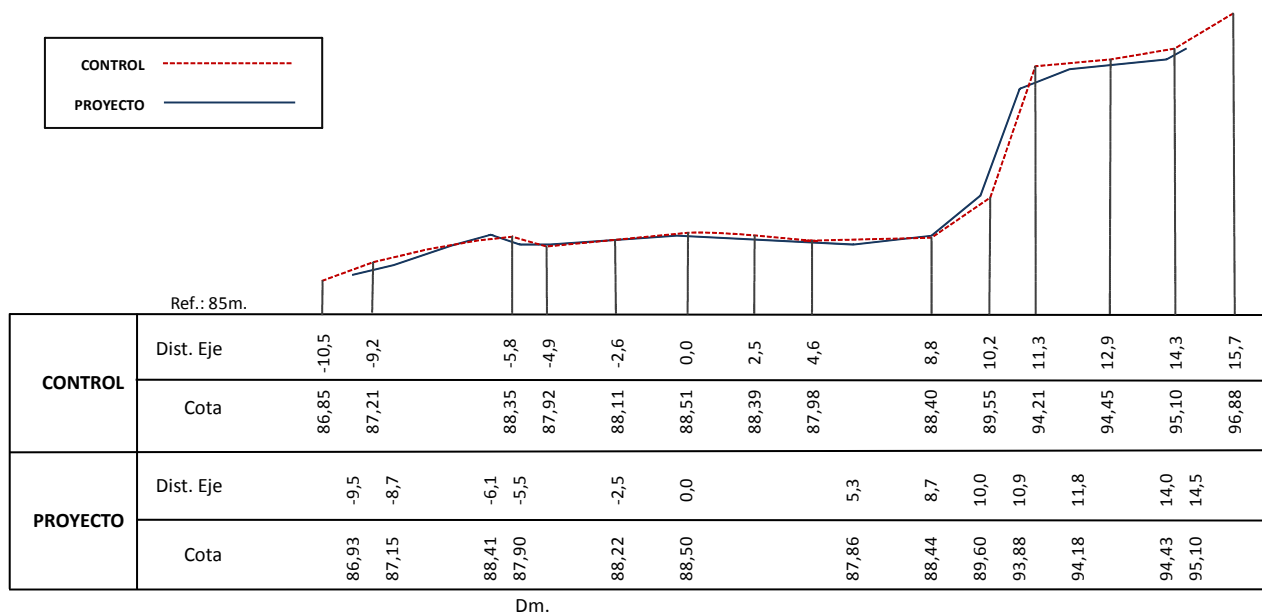
Línea de Tierra Transversal

N° puntos contrastados: _____ Puntos en tolerancia: _____ %: _____

Perfil N°	Dm.	Lado	Dist. al Eje	Cota Control	Cota Estudio	Tipo Sup. (1-4)	Tol. (m)	Dif. (m)	Cumple (S/N)	
1		IZQ								
		DER								
2		IZQ								
		DER								
N		IZQ								
		DER								

Observaciones Generales:

**FIGURA 2.309.306.B
COMPARACION PERFILES TRANSVERSALES**



2.309.307 Verificación de Levantamientos. Las actividades de control para levantamientos deben estar orientadas principalmente a:

- a) Control de la superficie topográfica o MDT, generada en los levantamientos aéreos o terrestres. El procedimiento recomendado es el siguiente:
 - Chequear la magnitud del área levantada, en relación con la superficie contratada.
 - En proyectos de recuperación o cambio de estándar, se deben seleccionar 4 puntos/km claramente identificables en posición (N, E) sobre el MDT. En estas posiciones se medirán secciones transversales a la ruta, con anchos mínimos de 40 m. Los perfiles transversales serán comparados con las secciones obtenidas desde el MDT en la misma posición.
 - En proyectos de nuevos trazados, se levantarán secuencias de puntos (*tracking*) con coordenadas X, Y, Z. y se comparará a manera de perfiles con el MDT. Se deberá levantar al menos un *track* por cada 40 há.
 - En la verificación se debe atender a la similitud en la forma de las secciones controladas, y las diferencias de cotas no deben exceder lo indicado en la Tabla 2.309.307.A.

**TABLA 2.309.307.A
PRECISIONES ALTIMÉTRICAS POR TIPO DE LEVANTAMIENTO Y ESCALAS**

TIPO DE LEVANTAMIENTO	Esc. 1:2.000	Esc. 1:1.000	Esc. 1:500
Aéreo	1,00 m	0,50 m	0,25 m
Terrestre	0,50 m	0,25 m	0,15 m

- Los resultados se representarán en planos esc. 1:200 con los perfiles sobrepuestos, según se ilustra en la Figura 2.309.306.B, en la que se reemplazará el concepto de "Dist. Eje" por "Dist. Acumulada", medida desde el primer punto de la muestra. Se elaborarán, además, planos de planta esc. 1:1000, con la ubicación de las líneas levantadas sobre el modelo de levantamiento topográfico y se informará la comprobación de precisiones de acuerdo con el formulario de la Figura 2.309.307.A.

FIGURA 2.309.307.A
FORMULARIO DE VERIFICACIÓN DE PRECISIONES DEL MDT

Identificación del Levantamiento: _____

Nº ha Contratadas: _____ Tolerancia en Cota: _____
 Nº ha Levantadas: _____ Nº Puntos Controlados: _____
 Cumple (S/N): _____ % Puntos en Tol.: _____

Perfil Nº	Dm.	Dist. Acumulada	Cota Control	Cota Estudio	Dif. (m)	Cumple (S/N)
1						
2						
n						

Observaciones:

b) Control de la posición planimétrica de elementos de interés para el Estudio.

- Las actividades de control se basan en medir una cantidad de puntos topográficos, con coordenadas N, E en el sistema de referencia definido para el estudio.
- Los elementos controlados serán fáciles de identificar en los planos del levantamiento, y en general, corresponderán a líneas duras o elementos de interés del estudio, como pueden ser losas de accesos a puentes, bordes de pavimentos, líneas de demarcación, muros de obras de arte, cruces con líneas férreas, coronamiento de cortes, pie de terraplenes, paraderos, entre otros.
- De acuerdo con la escala del plano, se seleccionará la cantidad de puntos de control como sigue:
 - 5 puntos/ha, en levantamientos esc. 1:2.000
 - 10 puntos/ha, en levantamientos esc. 1:1.000
 - 20 puntos/ha, en levantamientos esc. 1:500
- La comparación de los puntos de control con la información de los levantamientos deberá verificar las siguientes tolerancias para las diferencias en la posición horizontal:

TABLA 2.309.307.B
PRECISIONES PLANIMÉTRICAS POR TIPO DE LEVANTAMIENTO Y ESCALAS

TIPO DE LEVANTAMIENTO	Esc. 1:2.000	Esc. 1:1.000	Esc. 1:500
Aerofotogramétrico	1,00 m	0,50 m	0,25 m
Láser Aéreo	0,50 m	0,25 m	0,15 m
Coordenado Terrestre	0,40 m	0,20 m	0,10 m

- Los resultados se expondrán en planos a la escala que corresponde al levantamiento, indicando con una cruz de color rojo y un número de orden para cada uno de los puntos muestrales. Adicionalmente, se entregará una tabla de acuerdo con el formulario de la Figura 2.309.307.B.

FIGURA 2.309.307.B
FORMULARIO DE VERIFICACIÓN DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

Identificación del Levantamiento: _____

Tolerancia de Posición: _____

Nº Puntos Controlados: _____

% Puntos en Tol.: _____

Punto Nº	Identificador	Coordenadas Control		Dist. al Elemento (m)	Cumple Tol. (S/N)
		NL	EL		
1					
2					
n					

SECCIÓN 2.310 CONSIDERACIONES GENERALES PARA EJECUTAR TRABAJOS TOPOGRÁFICOS

2.310.1 PLANIFICACIÓN DE LOS TRABAJOS

2.310.101 Aspectos Generales. Este Volumen establece las características de los diversos tipos de trabajos topográficos que se requieren en los proyectos de Ingeniería Vial. El Proyectista deberá indicar en los documentos de la oferta, o bien, antes de iniciar los estudios, las metodologías y programas detallados para realizarlos. Durante su ejecución, dichos aspectos sólo podrán ser modificados con la autorización formal de la Dirección de Vialidad.

2.310.102 Metodología. Las metodologías por emplear serán aquellas establecidas en el presente Capítulo, con los alcances que eventualmente se hagan en los Términos de Referencia (TdR) del estudio encomendado. Dependiendo del plazo, personal e instrumental disponibles, el Consultor podrá seleccionar algunos de los procedimientos alternativos que aquí se exponen para dar cumplimiento a las exigencias técnicas y de plazo. Procedimientos distintos a los aquí expuestos deberán contar con la autorización expresa de la Dirección de Vialidad.

2.310.103 Programa de Trabajo. El programa deberá cubrir al menos los siguientes aspectos:

- Descripción del área que se abordará con los estudios.
- Plan de ejecución de las diversas actividades.
- Nómina del personal profesional y técnico que participará en la ejecución de los trabajos de terreno y gabinete.
- Cantidad y características de los equipos o instrumentos topográficos o geodésicos que se usarán (tipo, modelo, precisión).
- Certificados de calibración de los equipos a utilizar.
- Detalle de hardware y software utilizados en las actividades de gabinete.

2.310.2 PERSONAL PROFESIONAL Y TÉCNICO

Se exigirá al Consultor personal profesional y técnico competente para la dirección, planificación, ejecución, supervisión y autocontrol de los trabajos topográficos encomendados.

Las Bases de Concurso establecerán el personal mínimo necesario, cargos a ocupar, títulos requeridos y la experiencia a acreditar para un proyecto específico. El personal mínimo deberá ser nominado en la oferta del consultor. Por su parte, el personal de apoyo que el Consultor destine a la ejecución de los trabajos deberá ser presentado a la Dirección de Vialidad para su aceptación, antes del inicio de los trabajos. Cualquier cambio de personas deberá ser informado oportunamente a la Dirección de Vialidad, para su correspondiente aprobación.

2.310.3 INSTRUMENTOS DE CAMPO

2.310.301 Certificaciones. Afin de cumplir con las exigencias de los diferentes trabajos topográficos, es necesario utilizar el instrumental apropiado y verificar que éste se encuentre en adecuadas condiciones de funcionamiento. Se exigirá, junto con la programación de las faenas, un certificado de revisión que acredite el buen estado de funcionamiento y mantención de los equipos o instrumentos. Este certificado deberá ser emitido por un representante oficial del fabricante o bien por un especialista reconocido por la Dirección de Vialidad.

No obstante lo anterior, si en cualquier momento el personal autorizado de la Dirección de Vialidad comprueba deterioro en un instrumento dado, podrá exigir su inmediato retiro, hasta la presentación del certificado que acredite que, éste o el instrumento que lo reemplaza, está en óptimas condiciones para ejecutar el trabajo.

2.310.302 Tipos de Instrumentos. Los instrumentos o equipos topográficos tradicionales que se consideran adecuados para realizar los trabajos encomendados normalmente por la Dirección de Vialidad, se clasifican en: instrumental óptico, electrónico o una combinación de ambos.

2.310.302(1) Instrumental Óptico. A esta división corresponden los instrumentos tradicionales, provistos de anteojo topográfico, como es el caso de niveles automáticos, teodolitos y taquímetros. También se incluyen aquí instrumentos que, sin disponer necesariamente de un anteojo, permiten lanzar visuales para efectuar mediciones aproximadas, como es el caso de los eclímetros y telémetros.

2.310.302(2) Instrumental Electrónico. Se incluyen en esta clasificación los instrumentos que se han desarrollado para medir distancias sobre la base de dispositivos electrónicos, que emiten ondas luminosas, electromagnéticas, infrarrojas, láser, etc. Ejemplos de éstos son los dispositivos GNSS, ecosondas y sensores láser.

2.310.302(3) Instrumental Electro-Óptico. Se incluyen en esta clasificación instrumentos provistos de anteojo topográfico y dispositivos electrónicos que permiten emitir señales o registrar la información, como es el caso de niveles digitales, estaciones totales sistematizadas y robóticas.

A manera de referencia y orientación de la selección, en las Tablas 2.310.302.A, 2.310.302.B, 2.310.302.C y 2.310.302.D se señalan algunas características principales de los diferentes instrumentos y su campo de aplicación.

**TABLA 2.310.302.A
TIPOS DE RECEPTORES GNSS – CARACTERÍSTICAS – APLICACIÓN**

Hay disponibles numerosas clases de receptores, de la misma manera que sus aplicaciones. Los hay desde los más simples, hasta los geodésicos de tecnología avanzada de alto rendimiento.		
Tipo de receptor	Características	Aplicación
Navegación (portátiles de mano)	<ul style="list-style-type: none"> - Posición autónoma con código C/A - DGPS en tiempo real - Con pantalla - Funciones de navegación - No dispone seriales RTCM y/o NMEA 	Navegación marítima, aérea y terrestre, exploración para geología, localización de puntos de interés; reconocimiento en cartas e imágenes de satélites.
DGPS (precisión media y baja)	<ul style="list-style-type: none"> - Posición autónoma con código C/A - DGPS en tiempo real - Precisión DGPS métrico ~2 a 5 m - Precisión DGPS submétrico ~ 0,5 m 	Batimetría automatizada, navegación DGPS marítima, aérea y terrestre, generación de correcciones DGPS en tiempo real.
DGPS para levantamientos (SIG y replanteos aproximados)	<ul style="list-style-type: none"> - Precisión DGPS ~0,5 m - Grabación de posiciones y pseudo distancias - Colecta de atributos - Grabación de portadora L1 - Acoplamiento con sensores externos 	Catastros, replanteo, adquisición con sensor digital, como por ejemplo, ecosonda. Levantamientos en tiempo real.
Alta precisión L1 (topografía de precisión en proyectos de ingeniería y geodesia)	<ul style="list-style-type: none"> - Grabación de portadora L1 - Modos estáticos y cinemáticos - Solución de las ambigüedades enteras - Solución en tiempo real (RTK) - Monitoreo de la integridad de la señal 	Apoyo con precisión de 0,5 cm a 1 cm ± 1 a 2 ppm. Redes geodésicas y topografía en distancias hasta ±30 km. Replanteo de ejes y obras con precisión ±1 a 3 cm en el modo RTK. Obras civiles.
Alta precisión L1/L2 (topografía de precisión en proyectos de ingeniería y geodesia)	<ul style="list-style-type: none"> - Grabación de portadora L1 y L2 - Modos estáticos y cinemáticos - Solución de las ambigüedades enteras - Solución en tiempo real (RTK) - Monitoreo de la integridad de la señal - Solución On the Fly - Altas tasas de transmisión 	Redes geodésicas (>30km.) y topografía. Replanteo de ejes y obras con precisión ±1 a 3cm en el modo RTK. Apoyo fotogramétrico durante el vuelo. Monitoreo de placas tectónicas. Control de máquinas. Estaciones fijas activas.

**TABLA 2.310.302.B
CLASIFICACIÓN DE POSICIONAMIENTO GNSS**

Modo	Observable	(1)	(2)	Precisión	Aplicación
Autónomo	Código	Estac. o Movim.	PP o TR	±10 m (H) ±15 m (V)	Navegación Reconocimiento
Diferencial Relativo	Código	Estac.	PP	±2 a 5 m ⁽³⁾	Levantamiento de elementos lineales Catastro rural
			TR		Replanteo aproximado de puntos
		Movim.	PP	±0,5 m ⁽⁴⁾	Levantamiento de elementos lineales Catastro rural
			TR		Navegación DGPS; batimetría
	Portadora	Estac.	PP	0,5 a 1 cm + 1 a 2 ppm	Levantamientos estático y estático rápido Transporte de coordenadas Apoyo de levantamientos aéreos
			TR		Replanteo RTK de puntos
		Movim.	PP	1 a 5 cm	Levantamientos cinemáticos continuos
			TR		Navegación de alta precisión Replanteo RTK Control de maquinaria pesada.

- (1). Estacionario o en movimiento
(2). Postprocesado o en tiempo real
(3). DGPS métrico
(4). DGPS submétrico

**TABLA 2.310.302.C
CARACTERÍSTICAS REFERENCIALES DE ESTACIONES TOTALES**

Medición de Distancias (*)		Precisión de medición angular (H y V) (*)	Características disponibles
Distancias Máximas	Precisión		
Con Prisma	600m – 6.000m	1" – 7"	Memorias de almacenamiento de datos internas y externas Programas específicos a bordo Teclados y/o pantallas táctiles Pantallas LCD Sistemas robotizados de seguimiento de prismas Comunicaciones <i>bluetooth</i> y alámbricas Plomadas ópticas y láser
Sin Prisma	100m – 1.000m			0,8mm + 1ppm – 3mm + 2ppm
			2mm + 2ppm – 4mm + 2ppm

El uso de Estaciones Totales está destinado principalmente a control de redes planimétricas, medición de poligonales, levantamientos topográficos y replanteo de obras civiles.

(*) El rango de valores responde especificaciones particulares de cada fabricante y modelo de instrumento

TABLA 2.310.302.D
CARACTERÍSTICAS REFERENCIALES DE NIVELES

Tipo	Precisiones / km (*)	Características Principales	Aumento del antejo
Nivel Automático	1,0mm – 3,0mm	Lectura óptica Compensador automático	20x – 32x
Nivel Digital	0,3mm – 2,0mm	Lectura electrónica Compensador automático Memoria integrada Programas específicos a bordo	
El uso de niveles está destinado principalmente al control de redes altimétricas, replanteo y control de cotas en obras civiles.			

(*) El rango de valores responde a especificaciones particulares de cada fabricante y modelo de instrumento

2.310.4 PERMISOS

Para la realización de los trabajos de consultoría de terreno, que necesariamente deban ejecutarse en predios particulares, el Consultor deberá solicitar la autorización de ingreso respectiva a su propietario. Para estos efectos, se adjunta un modelo de "CERTIFICACIÓN PARA REQUERIR AUTORIZACIÓN DE INGRESO A PREDIOS PARTICULARES", que extiende la Dirección de Vialidad para facilitar su gestión. En caso de que no sea posible lograr el permiso del propietario, el Consultor podrá pedir el apoyo a la Dirección Regional de Vialidad, para que tal permiso se solicite en forma oficial, lo que incluye, si es necesario, la aplicación del Art. 83 del DFL MOP 850, de 1997, que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 15.840, Orgánica del Ministerio de Obras Públicas y del DFL 206, de 1960, Ley de Caminos.

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN DE VIALIDAD

**CERTIFICACIÓN PARA REQUERIR AUTORIZACIÓN
DE INGRESO A PREDIOS PARTICULARES**

SANTIAGO, [].

La Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, Servicio Fiscal de la Administración del Estado, oficina central de la ciudad de Santiago, calle Morandé N° 59, segundo piso, en adelante e indistintamente "Vialidad", CERTIFICA:

- 1.- Que la empresa [] se encuentra a cargo del estudio del proyecto [], contratado mediante Resolución [] de fecha [].
- 2.- Que, en dicha calidad, puede requerir en nombre y representación de Vialidad la autorización de ingreso a los terrenos particulares en que sea necesario realizar dichos estudios.
- 3.- Que para los efectos señalados, la empresa [] se considera delegataria de la Dirección de Vialidad.
- 4.- La presente certificación se extiende conforme con lo dispuesto en el artículo 83 del DFL MOP 850 de 1997, y es válida hasta el [].

FUNCIONARIO QUE SUSCRIBE

Nombre y sello de la Unidad que Certifica

2.310.5 ROCES

2.310.501 Aspectos Generales. En los trabajos topográficos, normalmente es necesario efectuar roces para dar visibilidad entre puntos de interés. Las faenas de roce serán de cargo del Consultor, debiendo observarse las disposiciones generales que se detallan en los próximos párrafos.

2.310.502 Despeje para la Ejecución de Labores Topográficas. El despeje y roce de elementos vegetales deberá ser el estrictamente indispensable para asegurar el éxito de las labores topográficas encomendadas. No se ejecutará el roce de árboles, plantaciones o renovales sin la autorización del propietario del predio. En caso de afectar especies o áreas protegidas o de alto valor ambiental, no se podrán ejecutar roces sin la autorización previa del organismo rector correspondiente, trámite que será de responsabilidad y cargo de Consultor

2.310.503 El Roce y la Prevención de la Erosión de Suelos. Si resultare necesario rozar plantaciones, bosques o renovales, en terrenos expuestos a la erosión, como laderas de cerros, se procurará dejar elementos vegetales que puedan recuperarse en el menor tiempo posible.

2.310.504 Acopio de Elementos Rozados. Los árboles cortados se acopiarán en lugares determinados de común acuerdo con el dueño del predio.

Si es necesario, a causa del peligro que representen o por compromiso con el dueño del predio, los arbustos, matorrales o malezas, una vez rozados, serán llevados a un lugar seguro seleccionado de común acuerdo, para ser allí depositados y, si fuere necesario, quemados previa obtención de los permisos ante los organismos que controlan esta materia en el país. Estos trabajos serán ejecutados bajo la absoluta responsabilidad y a entero costo del Consultor.

2.310.505 Roce a Fuego. El roce a fuego no estará permitido para ningún tipo de vegetación, pues representa riesgos imprevisibles y causa daños en áreas muy superiores que las que se requieren despejar para el trabajo topográfico.

2.310.506 Precauciones Especiales en el Roce. En general, los accidentes, los daños a terceros u otros que se produzcan al efectuar un roce, serán de la exclusiva responsabilidad del Consultor. Deberán tomarse las precauciones del caso cuando el roce se efectúe próximo a caminos, líneas eléctricas, líneas telefónicas, viviendas, canales, etc.

2.310.507 Uso de las Maderas Provenientes del Roce. En general se entenderá que las maderas provenientes del roce pertenecen al dueño del predio, por lo que el Consultor no podrá disponer de ellas.

MANUAL DE CARRETERAS

VOLUMEN N°2

PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIOS VIALES

CAPITULO 2.400 INGENIERIA BASICA ASPECTOS DE HIDROLOGIA, HIDRAULICA Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

**DIRECCION DE VIALIDAD
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
CHILE**

CAPITULO 2.400 INGENIERIA BASICA ASPECTOS DE HIDROLOGIA, HIDRAULICA Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

INDICE

SECCION 2.401 ASPECTOS GENERALES

- 2.401.1 ORGANIZACION DEL CAPITULO
- 2.401.2 OBJETIVOS Y ALCANCES
- 2.401.3 ESTUDIOS HIDROLOGICOS
- 2.401.4 ESTUDIOS HIDRAULICOS
- 2.401.5 EROSION DE SUELOS, ARRASTRE Y DEPOSITACION DE SEDIMENTOS
- 2.401.6 ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS
- 2.401.7 INFORMACION PERTINENTE CONTENIDA EN OTROS VOLUMENES DEL MANUAL

2.401.701 Volumen N° 3 - Instrucciones de Diseño.

2.401.702 Volumen N° 4 - Planos de Obras Tipo.

SECCION 2.402 PROCEDIMIENTOS Y TECNICAS HIDROLOGICAS

- 2.402.1 FACTORES QUE DETERMINAN EL ESCURRIMIENTO
- 2.402.2 METODOS PARA CALCULAR UNA CRECIDA DE DISEÑO

2.402.201 Consideraciones Generales.

2.402.202 Métodos Directos.

2.402.203 Métodos Regionales.

2.402.204 Modelos Precipitación-Escorrentía.

2.402.3 SEGURIDAD Y CONFIABILIDAD DEL DISEÑO

2.402.301 Riesgo del Diseño.

2.402.302 Período de Retorno de Diseño.

2.402.303 Otras Consideraciones.

2.402.4 ESTUDIOS DE FRECUENCIA

2.402.401 Modelos de Distribución.

2.402.401 (1) *Funciones de Probabilidad - Variable Discreta.*

2.402.401 (2) *Funciones de Probabilidad - Variable Continua.*

2.402.402 Estimación de Parámetros.

2.402.402 (1) *Método de Máxima Verosimilitud.*

2.402.402 (2) *Método de los Momentos.*

2.402.402 (3) *Método de Momentos Ponderados por Probabilidad.*

2.402.403 Selección de Modelos.

2.402.403 (1) *Métodos Gráficos.*

2.402.403 (2) *Métodos Cuantitativos.*

(a) *Test Chi-Cuadrado.*

(b) *Test de Kolmogorov-Smirnov.*

2.402.404 Precisión en la Estimación.

2.402.5 ANALISIS REGIONAL DE CRECIDAS

2.402.501 Método del U.S.G.S.

2.402.502 Método WAK - PWM.

- 2.402.6 **TORMENTAS DE DISEÑO**
- 2.402.601 Medición y Registros.
- 2.402.602 Características Principales de las Lluvias y de las Tormentas de Diseño.
 - (a) *Duración.*
 - (b) *Magnitud e Intensidad.*
 - (c) *Hietograma de la Tormenta.*
 - (d) *Variación Espacial.*
 - (e) *Probabilidad de Ocurrencia.*
- 2.402.7 **CURVAS INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA DE LLUVIAS**
- 2.402.701 Curvas IDF en Lugares Seleccionados.
- 2.402.702 Estimación a Partir de Datos de Lluvia Diarios .
- 2.402.8 **METODO RACIONAL**
- 2.402.801 Procedimiento Tradicional.
- 2.402.802 Método Racional Modificado.
- 2.402.9 **METODO DEL SCS**
- 2.402.901 Determinación del Volumen.
- 2.402.902 Estimación de la Forma y del Gasto Máximo.
- 2.402.10 **HIDROGRAMAS UNITARIOS**
- 2.402.1001 Hidrogramas Unitarios.
 - 2.402.1001(1) *Método Convencional.*
 - 2.402.1001(2) *Método Matricial.*
- 2.402.1002 Hidrogramas Unitarios Sintéticos.
- 2.402.11 **METODOS DGA**
- 2.402.12 **MODELOS DE SIMULACION**
- SECCION 2.403 PROCEDIMIENTOS Y TECNICAS HIDRAULICAS**
- 2.403.1 **ASPECTOS GENERALES**
- 2.403.2 **ESCURRIMIENTO CRITICO**
- 2.403.3 **ESCURRIMIENTO UNIFORME**
- 2.403.4 **FLUJO GRADUALMENTE VARIADO**
- 2.403.401 Planteamiento de las Ecuaciones.
- 2.403.402 Trazado del Eje Hidráulico.
 - 2.403.402(1) Puntos de Control y Puntos de Partida.
 - 2.403.402(2) Métodos de Cálculo para el Trazado del Eje Hidráulico.
 - (a) *Método Directo por Etapas.*
 - (b) *Método de Etapas Fijas.*
- 2.403.5 **SINGULARIDADES**
- 2.403.6 **ESTRUCTURAS ESPECIALES**
- 2.403.601 Restricciones y Obstrucciones.
- 2.403.602 Alcantarillas.
- 2.403.603 Puentes.

2.403.7 FENOMENOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS, PROCESOS FLUVIALES Y METODOS DE ANALISIS

- 2.403.701 Sistemas Fluviales y los Cauces Naturales.
- 2.403.701(1) *Cauces de Lechos Constituidos por Sedimentos Granulares Finos o Arenosos.*
- 2.403.701(2) *Cauces de Lechos Constituidos por Sedimentos Granulares Gruesos.*
- 2.403.701(3) *Cauces de Lechos Constituidos por Sedimentos Cohesivos.*
- 2.403.702 Fenómenos de Transporte de Sedimentos y Procesos Asociados.
- 2.403.702(1) *Procesos de Erosión y Sedimentación.*
- 2.403.702(2) *Procesos de Erosión-Sedimentación en los Suelos de una Cuenca.*
- 2.403.702(3) *Procesos de Socavación y Depositación en los Cauces Aluviales.*
- 2.403.702(4) *Movimiento Elemental de las Partículas y Modos de Transporte.*
- 2.403.703 Tipos de Análisis Hidráulicos-Mecánicos Fluviales.
- 2.403.703(1) *Modelación Teórica – Empírica.*
- 2.403.703(2) *Modelación Numérica.*
- 2.403.703(3) *Modelación Física.*

SECCION 2.404 ALCANCE DE LOS ESTUDIOS DE HIDROLOGIA Y DRENAJE EN PROYECTOS VIALES

2.404.1 PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS

- 2.404.101 Estudios Preliminares.
- 2.404.102 Anteproyecto.
- 2.404.103 Estudios Definitivos.

2.404.2 PROYECTOS DE RECUPERACION Y DE CAMBIO DE ESTANDAR

- 2.404.201 Recuperación del Estándar.
- 2.404.201(1) *Estudios Preliminares.*
- 2.404.201(2) *Ingeniería Básica, Anteproyecto y Estudio Definitivo.*
- 2.404.202 Cambios de Estándar.
- 2.404.202(1) *Estudios Preliminares.*
- 2.404.202(2) *Ingeniería Básica, Anteproyecto y Estudio Definitivo.*

SECCION 2.405 ILUSTRACION DE ALGUNOS PROBLEMAS TIPICOS DE ANALISIS HIDROLOGICO

2.405.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

2.405.2 FRECUENCIA DE LLUVIAS MAXIMAS DIARIAS

- 2.405.201 Ajuste Gráfico.
- 2.405.202 Ajuste Analítico.
- 2.405.203 Estimación para Distintos Períodos de Retorno.
- 2.405.204 Errores Estándares en los Estimados.
- 2.405.205 Intervalos de Confianza.
- 2.405.206 Ajuste de los Modelos.

2.405.3 CALCULO DE CAUDALES DE DISEÑO MEDIANTE EL HIDROGRAMA UNITARIO

- 2.405.301 Utilización del Hidrograma Unitario.
- 2.405.301(1) *Método Convencional.*
- 2.405.301(2) *Método Matricial.*
- 2.405.302 Utilización del Hidrograma Unitario Sintético.

SECCION	2.406 ILUSTRACION DE ALGUNOS PROBLEMAS TIPICOS DE DISEÑO HIDRAULICO
2.406.1	OBJETIVOS Y ALCANCES
2.406.2	ESCURRIMIENTO CRITICO
2.406.3	ESCURRIMIENTO UNIFORME
2.406.301	Cálculo de la Profundidad Normal y la Velocidad del Escurrimiento.
2.406.4	FLUJO GRADUALMENTE VARIADO
2.406.401	Método Directo por Etapas.
2.406.402	Método de Etapas Fijas.

CAPITULO 2.400 INGENIERIA BASICA ASPECTOS DE HIDROLOGIA, HIDRAULICA Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

SECCION 2.401 ASPECTOS GENERALES

2.401.1 ORGANIZACION DEL CAPITULO

El presente Capítulo describe los aspectos de hidrología y drenaje necesarios de considerar en el estudio de una obra vial. En él se incluyen los aspectos conceptuales y los fundamentos básicos sobre los cuales se sustentan los criterios y las recomendaciones de diseño específicas que el Manual entrega en el Capítulo 3.700 del Volumen N° 3. El Capítulo se organiza en seis secciones, que tratan: aspectos generales, procedimientos y técnicas hidrológicas, procedimientos y técnicas hidráulicas, alcance de los estudios de hidrología e hidráulica en las diversas etapas de un proyecto, e ilustración de algunos procedimientos específicos de diseño para casos típicos de análisis hidrológico y de diseño hidráulico.

2.401.2 OBJETIVOS Y ALCANCES

Los estudios de hidrología y de hidráulica en el proyecto de obras viales deben proporcionar al proyectista los elementos de diseño necesarios para dimensionar las obras que, técnica, económica y ambientalmente, cumplan con los siguientes fines:

- a) Salvar cauces naturales, lo cual determina obras importantes tales como puentes y alcantarillas de gran longitud o altura de terraplén.
- b) Restituir el drenaje superficial natural, el cual se ve afectado por la construcción de la vía. Ello debe lograrse sin obstruir o represar las aguas y sin causar daño a las propiedades adyacentes.
- c) Recoger y disponer de las aguas lluvias que se junten sobre la plataforma del camino o que escurren hacia ella, sin causar un peligro al tránsito.
- d) Eliminar o minimizar la infiltración de agua en los terraplenes o cortes, la que puede afectar las condiciones de estabilidad de la obra básica.
- e) Asegurar el drenaje subterráneo de la plataforma y base, de modo de no afectar adversamente las obras de la superestructura.
- f) Considerar el impacto ambiental que pueden tener las obras proyectadas.

Para cumplir con los fines anteriores el Proyectista requiere conocer y aplicar técnicas de hidrología y de hidráulica, que le permitan desarrollar los estudios definidos en la Sección 2.404 "Alcance de los Estudios de Hidrología y Drenaje en Proyectos Viales".

Los conocimientos de hidrología le permitirán estimar los escurrimientos superficiales en secciones específicas de quebradas, esteros, ríos y canales, en los puntos en que el camino cruza dichos cauces. Estos escurrimientos deben asociarse a la probabilidad de ocurrencia que ellos tienen, a fin de tener antecedentes probabilísticos sobre su comportamiento futuro. Igualmente, la hidrología permite calcular y estimar los escurrimientos de aguas lluvia sobre la faja del camino o en superficies vecinas y que fluyen superficialmente hacia ella, así como también las propiedades hidráulicas del sub-suelo y las condiciones de la napa freática bajo la plataforma.

La hidráulica permite predecir las velocidades y las alturas de escurrimiento en cauces naturales o artificiales; definir las dimensiones de las obras de drenaje transversal; calcular las dimensiones y espaciamiento de sub-drenes, diseñar los elementos del sistema de recolección y disposición de aguas lluvias, y definir las secciones y pendientes de fosos, contrafosos, cunetas y canales interceptores.

2.401.3 ESTUDIOS HIDROLOGICOS

Los estudios hidrológicos (Sección 2.402) relacionados con un proyecto vial tienen por objetivo definir las crecidas para el diseño de las obras de drenaje transversal, y los caudales que deben evacuar las obras de drenaje y saneamiento de la plataforma. La estimación o selección de las crecidas de diseño para una obra de infraestructura es un problema que requiere de conocimiento y experiencia. El problema no tiene un método único de solución y en cada caso particular el proyectista lo debe enfrentar sin reglas fijas ni predeterminadas, sino que recurriendo a su conocimiento y experiencia. Las reglas y normas deben ser suficientemente amplias y generales para dar cabida a un análisis del especialista en aquellos casos que se estime necesario.

Una crecida es un fenómeno que se presenta en un sector o zona de un río e involucra un aumento de caudal y altura de agua de relativa corta duración y de repentina aparición, que produce consecuencias adversas

para la población y sus bienes. Las definiciones usuales del fenómeno tienden a centrar la atención en algunos aspectos específicos de las crecidas, sin mencionar otros, entregando así acepciones aparentemente diferentes.

El fenómeno se puede caracterizar por diferentes magnitudes medibles, las cuales tienen su propia forma de afectar a la población y a sus bienes. Entre las magnitudes que se suelen usar están el caudal máximo, el nivel máximo de aguas en distintos sectores del cauce y de las zonas inundables, la velocidad del escurrimiento, la duración del fenómeno, la extensión del área afectada, el volumen de sólidos arrastrado o depositado, la frecuencia con que se produce la inundación y otras.

Las consideraciones anteriores hacen evidente la dificultad para tratar el problema, ya que la variable de interés no es siempre la misma y las consecuencias adversas son cambiantes en el tiempo, e incluso dependen de factores antrópicos totalmente ajenos a las causas del evento, como son, por ejemplo, las políticas de ocupación territorial.

En las últimas tres décadas han sucedido algunos acontecimientos que han influido sustancialmente en los métodos y técnicas disponibles para estimar crecidas de diseño. Los hechos principales se relacionan con uso generalizado de la computación que ha ocurrido en este tiempo, lo cual ha revolucionado tanto las posibilidades de recoger, manipular y tratar la información hidrológica, como también las alternativas de métodos y técnicas cada vez más complejas que hoy son posibles gracias al avance ocurrido en los métodos numéricos, a las facilidades de cálculo computacional y al acceso amplio, simple y económico de equipos y computadores cada vez más rápidos.

Desde la aparición en la década del 60 del Stanford Watershed Model (Crawford y Linsley, 1962), muchos otros investigadores han formulado modelos matemáticos del ciclo hidrológico que presentan una amplia variedad en cuanto a complejidad y requerimientos de información. Especialmente relevantes son el SWM ya mencionado y sus desarrollos posteriores, el modelo RORB (Laurenson y Mein, 1983) y el modelo SHE (Sistema Hidrológico Europeo) desarrollado en forma conjunta por el Institute of Hydrology de Wallingford (Inglaterra), SOGREAH (Grenoble-Francia) y el Instituto de Hidrología (Dinamarca) (Abbot et al., 1986 a y b).

Es importante también mencionar el aporte hecho al tema por el Natural Environment Research Council del Reino Unido, quien emprendió un amplio y completo estudio sobre los métodos para estimar crecidas en el Reino Unido, dando origen a un extenso programa de investigación que culminó con la publicación de un manual de consulta muy completo, que sirve como referencia y guía de diseño (NERC, 1975).

Los avances de la computación y de los métodos numéricos han abierto nuevas expectativas y posibilidades, tanto en relación a los métodos directos como también en el campo de los modelos precipitación-escurrimiento.

2.401.4 ESTUDIOS HIDRAULICOS

Los estudios hidráulicos (Sección 2.403) permiten abordar el dimensionamiento y/o verificar el comportamiento hidráulico de obras tales como puentes, alcantarillas, fosos, canales, cunetas y en general obras de conducción de aguas, que deban ser proyectadas o modificadas para el diseño del camino o carretera. Estos estudios también son necesarios para conocer el comportamiento de los cauces naturales que la obra vial debe salvar.

Los estudios hidráulicos son necesarios para el análisis y diseño de puentes y alcantarillas, para evaluar los efectos que tienen las obras por proyectar sobre la distribución de velocidades en los cauces, sobre las alturas de escurrimiento, sobre la estabilidad de los cauces, sobre el régimen del escurrimiento, sobre el arrastre de sedimentos y sobre la erosión. En general, los principios hidráulicos rigen el análisis y diseño de las obras de drenaje transversal, de las obras de drenaje subterráneo y las necesarias para asegurar un adecuado drenaje de la plataforma.

Los avances en computación y métodos numéricos ocurridos en las últimas décadas han abierto nuevas posibilidades para abordar el diseño en este campo, que tradicionalmente se apoyaba en muchos procedimientos de tipo empírico con técnicas gráficas. En particular distintas agencias del gobierno americano, tales como la Federal Highway Administration, el Bureau of Reclamation, el U.S. Corps of Engineers, el California Division of Highways y otras agencias estatales, han hecho importantes aportes, tanto metodológicos como de procedimientos y criterios de diseño.

2.401.5 EROSION DE SUELOS, ARRASTRE Y DEPOSITACION DE SEDIMENTOS

En el Tópico 2.403.7 se desarrolla el tratamiento conceptual de estas materias, cuyas técnicas y criterios de diseño se abordan en el MC-V3, Secciones 3.707 y 3.708.

La erosión es un proceso natural, por medio del cual, las partículas del suelo se desprenden debido a la lluvia y son arrastradas por el escurrimiento. Las variables principales que determinan este proceso son la intensidad, magnitud y duración de la lluvia, las características del escurrimiento, altura y velocidad, las características del terreno y las propiedades del suelo. El proceso natural de erosión se puede ver seriamente afectado por las operaciones de construcción de la obra vial.

Dado que la construcción de una obra vial moderna puede afectar grandes áreas de terreno, la consideración de los problemas de erosión, sedimentación y arrastre debe ser una preocupación central del diseño y planificación de las obras viales. Los estudios de erosión y arrastre deben permitir la construcción y materialización de las obras viales, manteniendo en niveles aceptables los efectos adversos relativos a estos problemas.

Aún cuando en estas materias también ha habido un avance en los últimos años, y se han desarrollado metodologías para abordar los problemas y se conocen medidas para aminorar los efectos, todavía se requiere de mayor investigación y datos de terreno para perfeccionar los procedimientos en uso. Los datos cuantitativos de terreno para caracterizar la erosión y para calcular el arrastre y depósito en corrientes de agua son escasos, y los métodos disponibles han sido desarrollados para condiciones de laboratorio o de campo con una ampliación y representatividad limitada. Problemas típicos de esta naturaleza en la ingeniería vial son la colmatación de alcantarillas, la socavación adyacente a las funciones de cepas y estribos en puentes y la socavación de taludes de terraplenes y riberas de cauces.

2.401.6 ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS

Los estudios hidrogeológicos tienen por objeto caracterizar el suelo y su comportamiento en relación al almacenamiento y movimiento de agua en el subsuelo, con el fin de analizar y diseñar las obras para proveer el drenaje necesario para el buen funcionamiento de la base y de la plataforma de las obras viales. Determinan este comportamiento las propiedades del suelo, las cargas hidráulicas existentes, las condiciones de borde del problema y la situación inicial del terreno. El drenaje subterráneo debe eliminar el exceso de agua en el suelo con el fin de garantizar la estabilidad de la base y de la plataforma del camino o carretera, o bien de los taludes del trazado. Los criterios de Diseño y el Cálculo Hidráulico del Drenaje Subterráneo se desarrollan en el Volumen N° 3, Sección 3.706 del Capítulo 3.700.

2.401.7 INFORMACION PERTINENTE CONTENIDA EN OTROS VOLUMENES DEL MANUAL

2.401.701 Volumen N°3 - Instrucciones de Diseño. El Capítulo 3.700 del Volumen N° 3 presenta recomendaciones y criterios de diseño para facilitar la labor del Ingeniero Proyectista y para uniformar los diseños. Debe tenerse presente que, en algunos casos, la solución de los problemas de drenaje y de saneamiento requiere del concurso de especialistas y, por lo tanto, esos problemas no podrán abordarse sólo con la recomendaciones del manual. El capítulo se encuentra dividido en las siguientes ocho secciones: Aspectos Generales, Hidrología, Drenaje Transversal de la Carretera, Drenaje de la Plataforma, Diseño de Canales en Régimen Uniforme, Drenaje Subterráneo, Procedimientos y Técnicas de Hidráulica y Mecánica Fluvial y Diseño de Obras de Defensa Fluviales.

La Sección 3.702, Hidrología, contiene recomendaciones específicas para aplicar los criterios que se desarrollan en este Capítulo 2.400, básicamente aquéllos para la selección de una probabilidad de diseño compatible con el riesgo de falla y con la vida útil de la obra, y los antecedentes necesarios para aplicar varios procedimientos para estimar los caudales superficiales producidos por una tormenta, según se detalla más adelante.

La Sección 3.703, Drenaje Transversal de la Carretera, contiene antecedentes generales sobre la disposición en planta y alineación de alcantarillas, criterios de instalación de estas obras y diseño para distintas condiciones de control hidráulico.

La Sección 3.704, Drenaje de la Plataforma, incluye el diseño de cunetas, canales longitudinales, bajadas de agua y el dimensionamiento de los elementos para la recolección de aguas lluvias.

La Sección 3.705, Diseño de Canales en Régimen Uniforme, trata el diseño de canales en régimen uniforme y de las normas sobre revestimientos y precauciones que es necesario tener presente en el traslado o modificación de canales existentes.

La Sección 3.706, Drenaje Subterráneo, describe los tipos de drenes y el diseño hidráulico de subdrenes y sus condiciones de instalación.

La Sección 3.707, Procedimientos y Técnicas de Hidráulica y Mecánica Fluvial, aborda las definiciones y conceptos básicos en sistemas fluviales con lechos de distintas características, el fenómeno de transporte de sedimentos y los tipos de análisis hidráulicos - mecánico fluviales.

La Sección 3.708, Diseño de Obras de Defensas Fluviales, define los distintos tipos de obras fluviales, los elementos constructivos básicos, los componentes de las obras y finalmente aborda los procedimientos y técnicas de diseño hidráulico de los distintos tipos de defensas de ribera.

2.401.702 Volumen N° 4 - Planos de Obras Tipo. El Volumen N° 4 del Manual en sus Capítulos 4.100 “Drenaje y Protección de la Plataforma”, 4.500, “Obras de Protección Fluvial” y 4.600 “Puentes y Pasarelas”, incluye planos de obras tipo para alcantarillas de tubos de acero corrugado, tubos circulares de hormigón armado, alcantarillas de cajón simple y doble de distintas dimensiones, alcantarillas de arco, losas de concreto armado, estribos para losas, badenes, bajadas de agua, sumideros de rejillas, condiciones de instalación de sub-drenes, cámaras de entrada y salida de sifones y puentes de un tramo.

SECCION 2.402 PROCEDIMIENTOS Y TECNICAS HIDROLOGICAS

2.402.1 FACTORES QUE DETERMINAN EL ESCURRIMIENTO

El escurrimiento proveniente de una cuenca pequeña depende en forma importante de las condiciones del terreno y vegetación de la cuenca, en cambio, en una cuenca grande el efecto de atenuación y almacenamiento en la red hidrográfica juega un rol significativo. Las cuencas de tamaño importante están usualmente controladas por estaciones de medida de caudal, en tanto que en las pequeñas es necesario recurrir a métodos aproximados para la estimación de escurrimientos. Sin embargo, el tamaño no es el único factor que define el comportamiento de la cuenca en el sentido mencionado y, por consiguiente, es difícil dar una definición cuantitativa de lo que se entiende por cuenca pequeña. En general, se supondrá que ella es de un tamaño tal, que su respuesta ante tormentas intensas de corta duración depende primordialmente de factores topográficos y de manejo de suelo, pero no de las características del sistema hidrográfico. En cada uno de los métodos que se incluyen más adelante se indica, en forma general, el rango de validez del procedimiento.

El escurrimiento de una cuenca es el resultado de dos grupos de factores: aquéllos que dependen del clima y aquéllos que representan la fisiografía de la cuenca.

Los factores climatológicos incluyen los efectos de la lluvia, nieve y evapotranspiración y, generalmente, exhiben un comportamiento estacional. En la precipitación en forma de lluvia es necesario considerar la intensidad, magnitud (total de agua caída), duración, distribución en el tiempo, distribución espacial y probabilidad de ocurrencia de la tormenta. En el caso de la nieve, adicionalmente a los anteriores, hay que incluir elementos tales como densidad del manto, acumulación y reflectividad. En la evaporación influyen factores climatológicos (temperatura, humedad, radiación solar, viento), estado de crecimiento de los cultivos y tipos de vegetación.

Entre los factores fisiográficos de la cuenca se distinguen aquéllos que son características de la cuenca y los que representan el sistema hidrográfico. La cuenca influye en el escurrimiento a través de su geometría (tamaño, forma, pendiente, densidad de drenaje, distribución de alturas) y a través de factores físicos, tales como, uso de suelo, condiciones de infiltración, tipo de suelo, características geológicas, etc. Las principales características del sistema hidrográfico que determinan el escurrimiento son su capacidad de conducción (sección, forma, pendiente, rugosidad) y su capacidad de almacenamiento, presencia de lagos, cauces, lagunas, embalses, etc.

Todos los elementos anteriores tienen variaciones tanto en el espacio como en el tiempo y, por consiguiente, es difícil conseguir relaciones simples que permitan estimar el escurrimiento con precisión si sólo se consideran algunos de los factores más importantes. Por lo tanto, se considera conveniente aplicar criterio técnico en las metodologías y emplear varios procedimientos de estimación si fuese posible, a fin de tomar las decisiones adecuadas.

2.402.2 METODOS PARA CALCULAR UNA CRECIDA DE DISEÑO

2.402.201 Consideraciones Generales. Existen varios procedimientos alternativos para definir la crecida de diseño para una obra hidráulica, los cuales son más o menos pertinentes en distintas situaciones, dependiendo de la información hidrológica disponible y de las características de la cuenca. Todos ellos tienen un mayor o menor grado de subjetividad y suponen distintas hipótesis.

Una política aconsejable en un caso particular, es usar varios métodos independientes y agregar un análisis de sensibilidad de los resultados ante cambios en los parámetros o en las condiciones iniciales. Así se obtiene una estimación del comportamiento hidrológico del caudal máximo en varios escenarios, para, posteriormente, emplear la experiencia y un criterio adecuado en la selección del valor de diseño apropiado para el caso en estudio.

El objetivo del cálculo de la crecida de diseño es asociar una probabilidad de ocurrencia a las distintas magnitudes de la crecida. Para lograr este fin se cuenta con procedimientos directos, regionales e indirectos. Los primeros requieren valores de caudales máximos observados en el punto de interés; los segundos se utilizan cuando no existen observaciones o existen pocas observaciones de caudales en el lugar del estudio, y se justifican las decisiones analizando los datos de otros lugares similares, y los últimos estiman las crecidas en base a la relación que existe entre la precipitación u otras variables explicativas y el escurrimiento.

Cualquiera sea el método que se emplee, es conveniente tener presente que para conseguir el fin buscado se requiere contar con información relevante, adecuada y precisa. La calidad del resultado de los cálculos está ligada estrechamente a la información hidrológica empleada. Por ello es importante verificar la representatividad, consistencia y precisión de los datos usados.

2.402.202 Métodos Directos. La utilización de los llamados métodos directos requiere contar con observaciones de caudales o niveles de agua en el punto de interés. Los registros permiten hacer un análisis de frecuencia de la variable de interés y entregar como resultado una relación entre la magnitud de la crecida y su probabilidad de ocurrencia o, en otras palabras, asociar a cada valor de crecida una probabilidad. Para lograrlo existen métodos gráficos y analíticos.

Los métodos gráficos o empíricos requieren definir una posición de trazado para cada valor de la muestra en un gráfico entre la crecida y el período de retorno, ya que al dibujar el valor de la crecida en función, del período de retorno o la probabilidad se cumple el objetivo buscado. Varios investigadores, apoyándose en los estadígrafos de orden, han sugerido posiciones de trazado. Entre los más conocidos están los propuestos por Hazen, Weibull, Gringorten y el llamado método de California. Una de las fórmulas preferidas es la de Weibull, que asocia a cada valor de crecida un período de retorno calculado como la razón entre el tamaño de la muestra más uno y el número de orden del valor en un ordenamiento decreciente en magnitud. Una vez asociado un período de retorno a cada valor, se acostumbra a graficar el resultado en un papel de rayado especial, llamado de probabilidades, el cual permite linealizar la función distribución acumulada con el objeto de facilitar la extrapolación de la muestra histórica.

El procedimiento analítico se basa en ajustar a la muestra un determinado modelo probabilístico, ya que el modelo es justamente una función matemática que asocia una probabilidad a cada valor de la variable aleatoria. (Precipitación máxima en 24 horas, caudal máximo instantáneo, etc.). El ajuste de un modelo probabilístico a la muestra requiere elegir un modelo y luego estimar los parámetros del modelo elegido. La elección del modelo es un problema que puede tener varias soluciones y no existen reglas definidas y únicas, pudiéndose decir que el modelo se elige tanto por razones teóricas, prácticas como por decisiones de orden administrativo, como es el caso de las recomendaciones del Interagency Committee on Water Resources de Estados Unidos.

Los modelos usuales son el Normal, Log-normal de dos y tres parámetros, el Gama de dos y tres parámetros y la Distribución de Valores Extremos. Existen argumentos teóricos que apoyan a veces la distribución de valores extremos, aun cuando ellos no son concluyentes en todos los casos, y la elección continúa siendo un problema de criterio y de conveniencia que debe ser resuelto por el proyectista en cada caso particular.

El segundo problema, una vez seleccionado el modelo, es estimar sus parámetros, aspecto que también puede abordarse por diferentes métodos según sea el criterio estadístico para medir la bondad del estimador. Los procedimientos más utilizados son el Método de los Momentos, el Método de Máxima Verosimilitud y el Método de Momentos Ponderados por Probabilidad. El primero se basa en un teorema de la teoría de muestreo, que establece que un buen estimador de los momentos del modelo o población son los momentos de la muestra. El segundo método selecciona el estimador que maximiza la función de verosimilitud que representa la función de probabilidad conjunta de la muestra, dado el valor de los parámetros del modelo. Este método tiene mejores propiedades asintóticas que el de momentos cuando el tamaño de la muestra tiende a infinito, pero puede entregar estimadores sesgados en el caso de muestras reducidas. Por último, el método de momentos ponderados por probabilidad constituye una generalización del primero, en el cual cada punto de la muestra se pondera por su probabilidad de excedencia o de no excedencia y entrega estimadores adecuados para muestras de tamaño finito.

2.402.203 Métodos Regionales. A menudo se cuenta con escasos datos observados y puede ocurrir que no existan registros de caudal en el punto de interés, no siendo posible entonces recurrir a los procedimientos directos. En este caso se pueden extender los registros cercanos al punto en cuestión, apoyándose en los llamados métodos regionales, los cuales tienen como objetivo derivar una curva de frecuencia de crecidas aplicable a cualquier punto dentro de una región hidrológicamente homogénea. Los enfoques más conocidos son los elaborados por el U.S. Geological Survey y el National Environment Research Council del Reino Unido.

El análisis regional tiene las siguientes ventajas: analiza en forma integrada una base de información, compatibilizándola espacial y temporalmente; permite extraer y estudiar la estructura y dependencia espacial del fenómeno; disminuye la incertidumbre y los errores que puedan existir en registros individuales; complementa registros puntuales con observaciones de lugares hidrológicamente similares y permite inferir estimaciones de variables en lugares sin información.

En esencia, el método consiste en derivar una curva de frecuencia de crecidas adimensional, dividiendo cada una de las crecidas observadas en los puntos con información por la crecida media anual de la estación correspondiente y, posteriormente, ocupar algún criterio de promedio para llegar a definir una sola curva regional. Logrado esto, se establece una relación para estimar la crecida media anual en función de propiedades de la cuenca (tamaño, pendiente, proporción de área impermeable, etc.) y de la lluvia (lluvia anual, máxima diaria, máxima en cinco días, etc.). La curva de frecuencia de crecidas en un punto sin registro, ubicado dentro de la región hidrológicamente homogénea, se obtiene estimando la crecida media anual del lugar, en función de las variables explicativas y posteriormente utilizando dicho valor para convertir las razones de la curva de frecuencia regional en valores de crecidas.

2.402.204 Modelos Precipitación-Escorrentía. Los métodos indirectos para el estudio de crecidas son procedimientos que permiten transformar la precipitación efectiva en escorrentía. Esta herramienta permite al ingeniero aprovechar la mayor cantidad de información de precipitación, para extender registros más escasos de caudal y mejorar así los métodos para estimar crecidas en aquellos puntos que no cuentan con información o bien, ésta es escasa. Dentro del ámbito de los modelos precipitación-escorrentía existe gran variabilidad entre los procedimientos disponibles, pues ellos abarcan desde relaciones empíricas muy simples hasta complejos modelos de simulación que representan las variaciones espaciales y temporales del proceso de transformación. A medida que aumenta la complejidad del método se incrementan también las necesidades de información básica para aplicarlo.

Estos métodos son determinísticos y en consecuencia no incorporan el concepto del riesgo asociado a los resultados. Para calcular la crecida de diseño requieren adicionalmente que se defina la tormenta de diseño y la precipitación efectiva, ya que el método implica solamente una transformación y por ello surge un nuevo problema. No siendo posible describir extensamente las distintas alternativas en este capítulo conviene al menos mencionar algunas ideas con respecto a tres procedimientos: el método racional, el hidrograma unitario y los métodos hidrometeorológicos.

El método racional es ampliamente usado y tiene la ventaja de ser aparentemente muy simple, ya que expresa que el caudal máximo es proporcional a la lluvia caída en el área multiplicada por un coeficiente que se denomina coeficiente de escurrimiento. Es apropiado para ser usado en áreas pequeñas, preferentemente impermeables. Sus limitaciones principales se relacionan con el hecho de suponer un coeficiente de escorrentía constante independiente de las condiciones de humedad de la cuenca y la hipótesis de igualar el período de retorno de la tormenta al de la crecida.

El hidrograma unitario propuesto por Sherman en 1932, fue el hito que marcó el nacimiento de la hidrología moderna y es un método que en la actualidad se usa extensamente. Es bastante intuitivo, simple de aplicar y supone una linealidad entre el estímulo y el resultado. Su aplicación es confiable en cuencas relativamente pequeñas. En los casos en que los datos de caudales son escasos se puede recurrir a los métodos de hidrogramas unitarios sintéticos para estimar las características principales del hidrograma en función de propiedades geomorfológicas de la cuenca.

Finalmente, los métodos hidrometeorológicos se utilizan para estimar las crecidas de diseño de obras cuya falla acarrearía efectos desastrosos y en las cuales sería necesario definir obras asociadas a períodos de retorno muy superiores a la longitud de los registros observados, siendo entonces muy poco precisa la extrapolación. El método consiste en estimar la crecida máxima probable (CMP) aplicando las técnicas de análisis hidrológico usuales a la precipitación máxima probable (PMP).

La PMP se deriva analizando los factores que inciden en las mayores tormentas registradas y ajustando las condiciones de humedad ambiental, movimiento de masas de aire y secuencias posibles de ocurrir para obtener la envolvente superior de las tormentas hidrológicas y meteorológicamente posibles. Posteriormente se transforma esta tormenta, mediante el hidrograma unitario o algún otro modelo lluvia-escorrentía para producir la crecida máxima probable. Los problemas principales de este método son la falta de estandarización de los procedimientos y la dificultad para asociar una probabilidad de ocurrencia a la crecida resultante.

Los modelos precipitación-escorrentía requieren la definición de una tormenta de diseño, lo cual es un problema complejo que se caracteriza por la dificultad de precisar y definir cuantitativamente las propiedades de la tormenta. El hidrólogo enfrenta este problema en uno de dos escenarios. A veces, se cuenta con información pluviográfica representativa de la zona de interés y del análisis de los registros se pueden seleccionar uno o varios episodios de lluvias adecuados para una situación de diseño. En otros casos, no existen registros adecuados y representativos y el proyectista debe recurrir a procedimientos aproximados que simulen tormentas parecidas a los escasos registros del área.

Una tormenta es un conjunto de intervalos de lluvia que ocurren en un lugar debido a una determinada situación meteorológica y presenta una intensidad de lluvia esencialmente variable en el espacio y en el tiempo. La tormenta queda caracterizada para el propósito del diseño por su duración, magnitud, intensidad, variaciones de la intensidad en el tiempo y en el espacio, y la probabilidad de ocurrencia de la tormenta. Conviene también tener presente, que aun cuando se seleccionen valores para todos los parámetros que caracterizan una tormenta, existirán varios temporales con iguales características pero que presenten otras diferencias que pueden dar origen a escurrimientos bastante distintos entre sí.

No existen criterios claros para definir las propiedades de los temporales de diseño, pero sin embargo existen antecedentes que demuestran la trascendencia de cada uno de los factores nombrados en la onda de la crecida. La dificultad de contar con información adecuada para abordar el problema en forma precisa, hace recomendable analizar el comportamiento de la cuenca frente a distintas situaciones y posteriormente seleccionar una tormenta o una crecida de diseño, teniendo en vista los resultados obtenidos y la sensibilidad de la respuesta frente a cambios en la tormenta.

Un asunto muy ligado a éste, es la obtención de la lluvia efectiva una vez definida la tormenta total. Los métodos para calcular las pérdidas por infiltración son muy variados; prácticamente no existe información de terreno para definir los parámetros del suelo que se requieren y tampoco es posible validar los resultados, sino que en forma muy global. Estos factores dificultan enormemente las decisiones y nuevamente es necesario recurrir a un conocimiento adecuado y a la experiencia.

2.402.3 SEGURIDAD Y CONFIABILIDAD DEL DISEÑO

En el proceso de selección de la crecida de diseño se pueden distinguir tres etapas bien características. Primero, es necesario identificar la confiabilidad de la obra o el nivel de riesgo que se considera aceptable para el problema en estudio. Segundo, se debe calcular el período de retorno o probabilidad de ocurrencia de la magnitud de la variable de diseño, compatible con el riesgo elegido y con la vida útil de la obra y, finalmente, se debe estimar la magnitud de la crecida asociada al período de retorno seleccionado. A continuación se analizan en mayor detalle cada uno de estos aspectos.

2.402.301 Riesgo del Diseño. El riesgo aceptable en cada caso particular se determina considerando la seguridad de funcionamiento que es necesario garantizar para la obra, y las consecuencias que acarrea una eventual falla. Los diversos efectos que ocurren cuando falla una obra se pueden clasificar en sociales, económicos, políticos y ambientales. La importancia relativa de cada tipo de efecto dependerá del criterio del análisis y del caso particular.

Entre los efectos sociales se pueden mencionar las pérdidas de vidas humanas, la erradicación de habitantes de sus viviendas, los daños psicológicos asociados a la pérdida de familiares y/o a la destrucción de bienes. Estos efectos negativos son muy importantes y difícilmente evaluables en términos económicos y, en consecuencia, es complejo incorporarlos en una evaluación cuantitativa. Sin embargo, siempre deben ser considerados en el análisis del riesgo.

Los efectos económicos incluyen los costos directos de reposición de las obras destruidas y los costos asociados a los daños adicionales producidos en los bienes públicos y privados. Normalmente se generan también costos indirectos, producto de las consecuencias que tiene la falla de la obra sobre la vida económica del área afectada.

Dentro de los aspectos políticos se incluyen el deterioro de la imagen del gobierno o de las instituciones públicas responsables de la obra, los problemas estratégicos o de seguridad nacional que se generan, los costos e inconvenientes asociados a los cambios en los planes de inversión pública para hacer frente a las soluciones de emergencia, lo que ocasiona que ciertas inversiones programadas sean atrasadas o bien dejadas de lado.

La falla de una obra puede en ocasiones tener efectos ecológicos y ambientales impredecibles y extremadamente difíciles de cuantificar y aún, en ciertos casos, imposibles de reparar. Estas características dificultan enormemente su consideración en un análisis cuantitativo y obligan al proyectista a un análisis exhaustivo de las posibles consecuencias ambientales ante una eventual falla, para que ellas sean consideradas al menos en términos cualitativos para fijar la seguridad aceptable de la obra.

Una vez evaluados los efectos anteriormente nombrados, en lo posible en forma cuantitativa, se puede fijar la seguridad de la obra y por lo tanto obtener un riesgo de falla que se considera aceptable.

2.402.302 Período de Retorno de Diseño. Elegido el valor adecuado para la probabilidad de falla de la estructura o riesgo, y fijada la vida útil de la obra, es posible relacionar ambos conceptos con el fin de determinar el período de retorno de la crecida de diseño. Para determinar la magnitud de la crecida de diseño, normalmente se utiliza la llamada serie anual de datos hidrológicos, constituida al elegir del registro de información observada o simulada el mayor evento ocurrido en cada año. Es pues razonable suponer, o bien elegir, la información de modo que cada uno de los puntos de la muestra, sea probabilísticamente independiente, y suponer también que las características de la serie observada son invariables en el tiempo. Aceptando las dos hipótesis anteriores, se aplican conceptos probabilísticos para relacionar períodos de retorno, vida útil y riesgo de falla.

Un evento de una magnitud dada tiene un período de retorno de n años, si este evento, en promedio, es igualado o superado una vez cada n años. Es importante tener presente que la noción de período de retorno y su inverso, la probabilidad de excedencia, es un valor medio, vale decir, el suceso con período de retorno de n años será excedido en promedio una vez cada n años si la serie se repite un número grande de veces. Así entonces, la probabilidad de excedencia en un año cualquiera, para un evento con período de retorno de 10 años es 0,1 y, en consecuencia, la probabilidad que el suceso no sea excedido es 0,9. Al considerar la independencia entre lo que ocurre en un año con lo que sucede en el siguiente, se puede establecer que la probabilidad que este mismo suceso no sea excedido en una serie de 10 años es 0,9 elevado a 10, o sea 0,35. Quiere decir entonces que la probabilidad de excedencia de un suceso de período de retorno de 10 años en el transcurso de 10 años es 0,65, lo que implica que es bastante probable que dicha magnitud sea sobrepasada una o más veces en el período.

Extendiendo la idea anterior a un número cualquiera de años, se puede establecer que la probabilidad que la variable sea mayor que un cierto valor (Q) asociado a un período de retorno (T) en el transcurso de una vida útil de n años, que es lo que se denomina riesgo de falla, puede calcularse con la expresión siguiente:

$$\text{Prob}(x > Q) = \text{Riesgo} = 1 - (1 - 1/T)^n$$

A modo ilustrativo algunos valores calculados con la expresión anterior se encuentran tabulados en la Tabla 2.402.302.A :

TABLA 2.402.302.A
PERIODO DE RETORNO PARA DISTINTA VIDA UTIL Y RIESGO DE FALLA

Riesgo Falla	Vida Util de la Obra (años)				
	10	20	30	50	100
0,25	35	70	105	174	348
0,10	95	190	285	475	950
0,05	195	390	585	975	1950
0,01	995	1990	2985	4977	9953

La Tabla indica, por ejemplo, que si se considera aceptable tener un riesgo de 0,05 para una obra que tiene una vida útil de 50 años, entonces la crecida de diseño para esta estructura debe estar asociada a un período de retorno de 975 años. Por otra parte, si se trabaja con un período de retorno igual a la vida útil de la obra, la expresión anterior establece que el riesgo de falla es aproximadamente 64% para vidas útiles en el rango entre 5 y 100 años.

Calculado el período de retorno que se debe usar en el diseño para tener un riesgo compatible con la importancia y vida útil de la obra, queda la última fase del proceso, que consiste en cuantificar la magnitud de la crecida asociada al período de retorno seleccionado. Este paso constituye lo que se conoce como análisis de frecuencia de crecidas y se cuenta con varios métodos para realizarlo.

2.402.303 Otras Consideraciones. La estimación de crecidas en algunas situaciones tiene toda la complicación que se ha descrito e incluso otras adicionales, que se deben a factores propios de la situación geográfica y económica del lugar. Algunos factores que complican el problema se deben a la gran variabilidad climática que se presenta en ciertos casos, a las condiciones topográficas y geológicas propias de las zonas de montaña y al nivel de información hidrológica que normalmente se dispone.

Chile, por ejemplo, debido a su gran extensión presenta zonas con climas que varían de desérticos a lluviosos. Cada una de estas situaciones requiere de metodologías con características propias e idealmente de un grado de información diferente. Por ejemplo, las características áridas o de semi-aridez de un extenso sector del territorio, con escasos temporales durante el año, hace especialmente difícil la estimación de las condiciones de infiltración que pueden presentarse durante un temporal. Por otra parte, en la zona sur, con lluvias más distribuidas a lo largo del año, las variables hidrológicas, que son aleatorias, tienden a ser menos asimétricas con respecto a los valores medios y en consecuencia los métodos hidrológicos se comportan mejor.

La mayoría de las cuencas tiene parte o toda su superficie en zonas montañosas y presentan un gran desnivel. Esta condición incide fuertemente en el tamaño del área aportante, en la naturaleza de la precipitación que la cuenca recibe, en el arrastre y depósito de sedimentos y en la heterogeneidad espacial de las precipitaciones. El ideal para estas condiciones es contar con abundante información hidrológica y con estaciones de mediciones ubicadas a distintas alturas. Lamentablemente estas condiciones no se dan usualmente e incluso la única información disponible es normalmente representativa sólo de la parte baja de la cuenca y, generalmente, no se cuenta con antecedentes confiables para extrapolar la información hacia las áreas altas de la cuenca. Adicionalmente, los métodos para estimar crecidas de diseño en cuencas nivales o nivopluviales no están tan desarrollados como los aplicables a cuencas pluviales y además requieren de mayor información.

El tercer elemento que es necesario tener en cuenta en el caso chileno, es el volumen de información disponible. En la actualidad se cuenta con aproximadamente 400 estaciones fluviométricas, 622 estaciones pluviométricas y 67 estaciones pluviográficas. Aun más, la mayoría de las estaciones de medición son de instalación reciente. A la fecha, sólo existen 110 estaciones fluviométricas con más de 40 años de registro y sólo 280 estaciones pluviométricas con igual longitud de registro. Todos los registros pluviográficos son de corta extensión, salvo pocas excepciones.

En consecuencia, las características de la información existente sumado a las condiciones particulares de clima y topografía convierten al caso chileno en una prueba exigente tanto para los procedimientos disponibles como también para el juicio acertado del proyectista.

2.402.4 ESTUDIOS DE FRECUENCIA

El objetivo del análisis de frecuencia de cualquier variable aleatoria es asociar a cada valor de la variable una probabilidad de ocurrencia. Ello se logra representando la variable con un determinado modelo probabilístico y estimando los parámetros de dicho modelo. Logrado este objetivo se ha construido un modelo probabilístico del fenómeno, pudiendo obtenerse estimados de los valores de la variable asociados a cualquier probabilidad de ocurrencia.

Sin embargo el estimado del valor asociado a un período de retorno o probabilidad, es también una variable aleatoria, por ser una función de variables aleatorias y, por consiguiente, se puede asociar a dicha estimación no sólo un valor puntual, sino también un error de estimación y un intervalo de confianza.

En los siguientes párrafos se describen los principales modelos probabilísticos, los procedimientos para estimar sus parámetros, la elección del tipo de modelo más adecuado para representar una muestra y el cálculo de la precisión de los valores estimados para diferentes períodos de retorno. Un ejemplo aplicado a la estimación de las lluvias máximas diarias se ilustra en el Tópico 2.405.2.

2.402.401 Modelos de Distribución.

2.402.401(1) Funciones de Probabilidad - Variable Discreta. Un modelo probabilístico de un experimento requiere asociar un valor de probabilidad a cada punto del espacio muestral. En el caso de las variables aleatorias discretas, la función que asocia una probabilidad a la variable se denomina función de probabilidad de masa (FPM), y se designa por $p_X(x_0)$. Esta función representa la probabilidad que el valor experimental de la variable aleatoria X sea igual a x_0 en la realización del experimento. Usualmente, la función de probabilidad de masa se representa por un gráfico de barras para cada valor de la variable aleatoria.

Cualquier función matemática es una posible función probabilidad de masa siempre que cumpla las siguientes dos propiedades, que se derivan directamente de los axiomas de probabilidad. En primer lugar, su valor debe estar comprendido entre 0 y 1, ya que representa una probabilidad y, en segundo término, la sumatoria para todos los posibles valores de x debe ser unitaria (evento universal).

Se define función distribución acumulada (FDA), a la función que establece la probabilidad que la variable aleatoria X tome valores menores o iguales a un valor dado en la realización del experimento.

$$\text{Prob}(X \leq x_0) = P_X(x_0) = \sum_{\forall x} p_X(x_0)$$

Esta función es siempre positiva, está comprendida entre 0 y 1 y es creciente, debido a los axiomas de probabilidad y a las propiedades de la función probabilidad de masa.

El valor esperado de una función bi-unívoca de una variable aleatoria X es la sumatoria para todos los posibles valores de X del producto de la función por la FPM evaluada en el mismo punto que la función.

$$E\{g(X)\} = \sum_{\forall x} g(x_0) \cdot p_X(x_0)$$

En particular, son importantes algunos casos especiales de la función g(x), como ser el valor esperado de potencias enteras de x, los cuales se denominan momentos de x. Se puede definir también la potencia centrada con respecto al valor esperado o momento central n-ésimo de x. El primer momento de x se conoce también como valor esperado o promedio de x (E(x)) y el segundo momento central se conoce como varianza de x (S_x^2):

$$E(X^n) = \sum_{\forall x} x^n \cdot p_X(x_0)$$

$$E(X) = \sum_{\forall x} x_0 \cdot p_X(x_0)$$

$$S_x^2\{E(X) - E(X)\} = \sum_{\forall x} (x_0 - E(X))^2 \cdot p_X(x_0)$$

2.402.401(2) Funciones de Probabilidad - Variable Continua

Para definir las funciones de probabilidad para la variable continua se procede en forma idéntica al caso discreto, salvo que las sumas son reemplazadas por integrales.

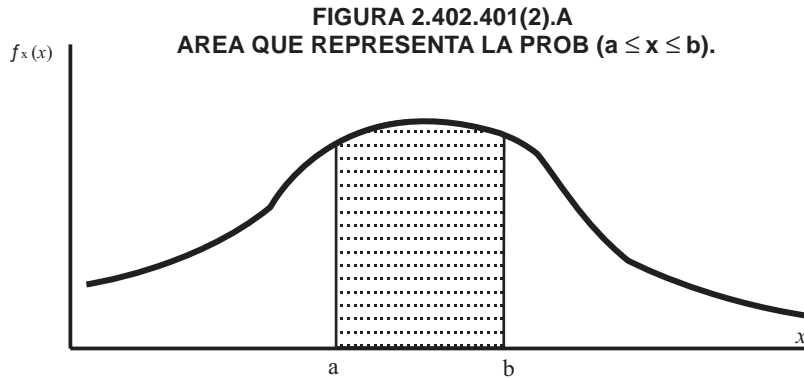
La probabilidad asociada a una variable continua, está representada por la función densidad de probabilidades (fdp). Si X es una variable aleatoria continua en el rango $-\infty$ a $+\infty$ se define:

$$\text{Prob}(a \leq x \leq b) = \int_a^b f_X(x) dx$$

en que: $f_X(x)$ = la función densidad de probabilidades.

La integral representa el área marcada en la Figura 2.402.401.(2).A, la cual es igual a la probabilidad que el valor de la variable aleatoria x esté comprendido en el intervalo a, b . Esta función tiene la propiedad de ser positiva y de encerrar un área unitaria bajo ella. Es decir, se cumple que:

$$0 \leq f_x(x) \leq +\infty \quad \text{y} \quad \int_{-\infty}^{+\infty} f_x(x) dx = 1$$



Es importante recalcar que en este caso la probabilidad de un evento está asociada al área bajo la curva de la función densidad de probabilidades y no al valor de la función, lo cual implica que siendo X una variable continua, la probabilidad asociada a un valor específico es nula y sólo se puede hablar de probabilidad asociada a un intervalo de la variable.

Se define función de distribución acumulada (FDA) de la variable X a la probabilidad de que la variable aleatoria sea menor o igual a un valor dado:

$$\text{Prob}(x \leq x_0) = F_X(x_0) = \int_{-\infty}^{x_0} f_x(x) dx$$

La función distribución acumulada mide la probabilidad que en una realización cualquiera de un experimento el valor de la variable sea menor o igual al valor x_0 y tiene las siguientes propiedades:

$$F_X(+\infty) = 1 \quad F_X(-\infty) = 0$$

$$\text{Prob}(a \leq x \leq b) = F_X(b) - F_X(a)$$

$$F_X(b) \geq F_X(a) \quad \text{para } b \geq a$$

$$\frac{dF_X(x)}{dx} = f_x(x)$$

Los valores esperados y los momentos se calculan mediante la integración del producto de la función densidad de probabilidades por la función para todo el rango de la variable aleatoria.

$$E(g(x)) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(x) f_x(x) dx$$

En la Tabla 2.402.401(2).B se resumen las expresiones para las funciones densidad de probabilidades o funciones de distribución acumulada para los modelos de uso habitual en los estudios hidrológicos.

TABLA 2.402.401(2).B
FUNCIONES DENSIDAD Y PROBABILIDAD ACUMULADA

Distribución	Función densidad de probabilidades $f(x)$ o Función distribución acumulada $F(x)$	Rangos de variable aleatoria y parámetros
Valores Extremos Tipo I (Gumbel o EV1)	$F(x) = \exp\{-e^{-\alpha(x-\beta)}\}$ $f(x) = \alpha \cdot \exp\{-\alpha(x-\beta) - e^{-\alpha(x-\beta)}\}$	$-\infty \leq x \leq \infty$ $\alpha > 0$
Pearson Tipo III	$f(x) = \frac{\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}}{|\alpha|\Gamma(\beta)} \exp\left\{-\frac{x-\gamma}{\alpha}\right\}$	$\gamma \leq x, \text{ si } \alpha > 0$ $x \leq \gamma, \text{ si } \alpha < 0$
Gama o Pearson Tipo III con $\gamma = 0$	$f(x) = \frac{(x/\alpha)^{\beta-1}}{|\alpha|\Gamma(\beta)} \exp\left(-\frac{x}{\alpha}\right)$	$\gamma \leq x, \text{ si } \alpha > 0$ $x \leq 0, \text{ si } \alpha < 0$
Exponencial o Pearson Tipo 3 con $\beta = 1$	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left(-\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)$	$\gamma \leq x$
Lognormal-2 (LN2)	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\beta}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2\right\}$	$0 < x$
Lognormal-3 (LN3)	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\beta \cdot (x-\gamma)}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-\gamma) - \alpha}{\beta}\right)^2\right\}$	$\gamma < x$
Wakeby (WAK)	$x = m + a\left[1 - (1 - F(x))^b\right] - c\left[1 - (1 - F(x))^{-d}\right]$	

2.402.402 Estimación de Parámetros. Los modelos probabilísticos, constituyen herramientas matemáticas para manejar variables aleatorias y para asociar probabilidades a los distintos valores de ellas. El hidrólogo al trabajar con registros observados requiere elegir el modelo más adecuado para representar la muestra y además debe estimar los parámetros del modelo seleccionado. Una vez elegido el tipo de modelo a emplear, se debe estimar, utilizando los registros observados, los parámetros del modelo. Las metodologías usuales para ello son el método de máxima verosimilitud, el método de los momentos, y últimamente se ha aconsejado usar el método de momentos ponderados por probabilidad. La estimación de los parámetros mediante el método de los momentos, se ilustra en el Numeral 2.405.202.

2.402.402 (1) Método de Máxima Verosimilitud. Se define como función de verosimilitud de n variables aleatorias $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ a la función densidad de probabilidad conjunta de las n variables, $g(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, Q)$. La función de verosimilitud entrega entonces la probabilidad que las variables aleatorias tomen valores particulares x_1, x_2, \dots, x_n . En particular, si x_1, x_2, \dots, x_n es una muestra aleatoria de la función densidad $f(x, Q)$ entonces, la función verosimilitud es:

$$L(Q) = g(x_1, x_2, \dots, x_n, Q) = f(x_1, Q) f(x_2, Q) \dots f(x_n, Q)$$

Si Θ es el valor de Q que maximiza L(Q) entonces, se dice que Θ es el estimador de máxima verosimilitud de Q.

El estimador de máxima verosimilitud es la solución de la ecuación que anula la primera derivada de la función de verosimilitud con respecto al parámetro. Para facilitar la búsqueda del parámetro, se aprovecha la condición que las funciones L(Q) y ln L(Q) tienen sus máximos para el mismo valor de Q, ya que en algunos casos es más simple encontrar el máximo del logaritmo de la función. El procedimiento de máxima verosimilitud tiene ventajas teóricas para la estimación de los parámetros de un modelo, cuando las muestras son de tamaño grande. Sin embargo, es usual que el álgebra involucrada en el cálculo de los parámetros por este método sea más complicado.

El cálculo de los parámetros de los modelos por este procedimiento es más complejo que por otros métodos, pues generalmente se debe resolver la ecuación resultante por métodos iterativos. El cálculo de los parámetros requiere estimar el valor de los parámetros que maximizan la función logarítmica presentada. Este cálculo requiere resolver el sistema de ecuaciones que se forma al igualar a cero la primera derivada de la función de verosimilitud o del logaritmo de dicha función, con respecto a cada uno de los parámetros. En la Tabla 2.402.402(1).A se muestran las expresiones para el logaritmo de la función de verosimilitud de varios modelos probabilísticos.

**TABLA 2.402.402(1).A
 LOGARITMO DE LAS FUNCIONES DE VEROSIMILITUD**

Modelo	Logaritmo natural de la función
Log-normal-2	$-n \ln \sqrt{2\pi} - n \ln \beta - \sum_{i=1}^n \ln x_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\ln x_i - \alpha}{\beta} \right)^2$
Log-normal-3	$-n \ln \sqrt{2\pi} - n \ln \beta - \sum_{i=1}^n \ln(x_i - \gamma) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\ln(x_i - \gamma) - \alpha}{\beta} \right)^2$
Valores Extremos I	$n \ln \alpha - \alpha \sum_{i=1}^n (x_i - \beta) - \sum_{i=1}^n \exp(-\alpha(x_i - \beta))$
Gama	$-n \ln \Gamma(\alpha) - n \alpha \ln \beta + (\alpha - 1) \sum_{i=1}^n \ln x_i - \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\beta}$
Pearson Tipo III	$-n \ln \Gamma(\alpha) - n \alpha \ln |\beta| + (\alpha - 1) \sum_{i=1}^n \ln(x_i - \gamma) - \sum_{i=1}^n \frac{x_i - \gamma}{\beta}$

2.402.402 (2) Método de los Momentos Este método se apoya en un teorema fundamental de la teoría de muestreo que expresa que los momentos de la muestra son buenos estimadores de los momentos de la población o universo. En consecuencia, este método establece que dado un conjunto de observaciones x_1, x_2, \dots, x_n de la variable aleatoria x , un buen estimador del promedio del universo es el promedio de la muestra:

$$xbar = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (x \text{ bar} = \text{promedio } x)$$

Análogamente, el estimador de la varianza σ^2 es la varianza de la muestra S^2 es :

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - xbar)^2$$

Se pueden encontrar ecuaciones similares para los momentos de orden superior, siendo los dos primeros momentos suficientes para las distribuciones de dos parámetros. No siempre se cumple, que los parámetros de una distribución sean exactamente iguales a los dos primeros momentos. Sin embargo, los parámetros son siempre funciones de los momentos y puede resolverse el sistema de ecuaciones resultante para encontrar los parámetros.

En general la estimación de los parámetros de una muestra utilizando el procedimiento de los momentos es el más sencillo, pues requiere obtener de la muestra los estimadores de tantos momentos como parámetros tenga el modelo de distribución. En seguida se forma un sistema de ecuaciones igualando los estimadores calculados de la muestra con los correspondientes momentos del universo o población. Así se forma un sistema de tantas ecuaciones como parámetros hay que estimar. En la Tabla 2.402.402.(2).A se muestran las expresiones para calcular los parámetros de varios modelos probabilísticos usando el método de los momentos. Las expresiones están en función del promedio de la muestra ($xbar$), la desviación estándar (σ), el coeficiente de variación Cv y el coeficiente de asimetría (g). En que:

$$Cv = \sigma/x \text{ bar}$$

$$g = \left[\frac{n}{(n-1)(n-2)} \right] \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{x_i - xbar}{s} \right)^3$$

**TABLA 2.402.402(2).A
 PARAMETROS DE LOS MODELOS DE DISTRIBUCION
 POR METODO DE MOMENTOS**

Modelos	Parámetro α	Parámetro β	Parámetro γ
Normal	xbar	$\frac{\sigma}{\sqrt{2}}$	
Log-normal-2	$\mu_y = \ln(\text{xbar}) - 1/2 \ln(1 + C_v^2)$	$\sigma_y = \sqrt{\ln(1 + C_v^2)}$	
Log-normal-3	$\mu_y = \ln(\sigma/z) - 1/2 \ln(1 + z^2)$	$\sigma_y = \sqrt{\ln(1 + z^2)}$	$a = \text{xbar}(1 - C_v/z)$ $w = 1/2 (-g + \sqrt{g^2 + 4})$ $z = (1 - w^{2/3})/w^{1/3}$
Valores Extremos I	$\alpha = 1,2825/\sigma$	$\beta = \text{xbar} - 0,45005\sigma$	
Gama-2	$\alpha = \text{xbar}/s^2$	$\beta = \text{xbar}^2 / s^2$	
Pearson III	$\alpha = s / \sqrt{\beta}$	$\beta = (2/g)^2$	$\gamma = \text{xbar} - s\sqrt{\beta}$

En el caso del modelo Gumbel o Valores Extremos Tipo I se puede incorporar una corrección por el tamaño de la muestra. Si se supone que la muestra es de tamaño grande o infinito, los parámetros se estiman con las expresiones indicadas en la Tabla. Si se quiere incorporar una corrección debido al tamaño de la muestra se ocupan las siguientes relaciones en función de los estadígrafos anteriores y del valor medio (ybar) y desviación estándar (σ_n) de la variable reducida:

$$\alpha = \sigma_n / \sigma$$

$$\beta = \text{xbar} - \frac{\text{ybar}}{\sigma_n} \sigma$$

Los valores promedio ybar y desviación estándar σ_n de la variable reducida se calculan a partir de la variable ym ordenada de mayor a menor:

$$Y_m = - \ln (-\ln((n + 1 - m)/(n + 1)))$$

En el caso de la distribución Pearson III se recomienda corregir el valor del coeficiente de asimetría en el caso de muestras pequeñas, introduciendo la siguiente corrección en función del tamaño de la muestra (N):

$$g_1 = g \frac{\sqrt{N(N-1)}}{N-2} \left(1 + \frac{8,5}{N}\right)$$

En el Numeral 2.405.202, se ilustra el empleo del método de los momentos para estimar los parámetros de las distribuciones Log-normal-2, Valores Extremos Tipo I y Pearson III.

2.402.402(3) Método de Momentos Ponderados por Probabilidad. Greenwood y otros autores (1979) recomiendan estimar los parámetros de diversas distribuciones mediante el método de momentos ponderados por probabilidad (MPP), ya que este procedimiento tiene características preferibles al de máxima verosimilitud o de momentos convencionales cuando el tamaño de la muestra es limitado. Los momentos ponderados por probabilidad se definen como el valor esperado del producto de tres términos: la variable aleatoria (x), la función de distribución acumulada (F(x)) y el complemento de esta función. De esta forma el MPP de orden i, j, k se calcula mediante la siguiente expresión:

$$M_{i,j,k} = E(x^i F^j (1-F)^k) = \int_0^1 x^i F^j (1-F)^k dF$$

Los momentos convencionales constituyen un caso especial de los MPP, ya que en ellos el exponente i es unitario y los otros dos exponentes son nulos.

Para facilitar el cálculo de los MPP se usan valores particulares para los exponentes. Por ejemplo, para la distribución Wakeby se recomienda usar un valor unitario para el exponente i y nulo para el exponente j . En este caso se denomina $M_{1,0,k}$ al MPP de orden k , y se designa simplemente por M_k (Greenwood et al., 1979). Para las distribuciones de valores extremos generalizados y tipo I se recomienda un exponente unitario para i y nulo para k .

Landwehr y otros autores (1979) recomiendan calcular estimadores de los MPP a partir de la muestra, utilizando la siguiente expresión, que entrega MPP sesgados para k positivo, en función del tamaño de la muestra (n), de los valores de caudales ordenados en forma creciente (x_i) y del número de orden (i) de cada valor en la lista:

$$M_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ((n-i+0,35)/n)^k$$

Los autores nombrados también exploraron el empleo de estimadores insesgados para los MPP. Sin embargo, reportan que los estimadores moderadamente sesgados proporcionan mejores resultados, particularmente al estimar los valores de los cuantiles superiores, lo cual es especialmente relevante en el contexto del análisis de frecuencia de crecidas.

Para encontrar estimadores con este método, se debe establecer una igualdad entre los momentos ponderados del modelo y los correspondientes de la muestra, formándose un sistema de ecuaciones con tantas ecuaciones como parámetros hay que estimar. En el caso de la distribución EV1 se forma un sistema de 2 ecuaciones igualando los momentos de la muestra y del modelo para $j=0$ y $j=1$. En el caso de distribución Wakeby se forma un sistema de 5 ecuaciones para $K=0 \dots K=4$, procediendo de igual modo.

Los momentos de la muestra se calculan ponderando cada valor por la probabilidad F_i :

$$F_i = \frac{i-0,35}{N}$$

El índice i representa el número de orden de cada valor de la muestra ordenada en valores crecientes, es decir, cuando i vale uno se tiene el valor más pequeño. Los momentos se estiman por las expresiones siguientes (Hosking et al., 1985):

$$\hat{M}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n F_i^j x_i$$

o bien

$$\hat{M}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (1-F_i)^k x_i$$

Los momentos ponderados del universo o población dependen del modelo probabilístico que se emplee. A continuación se incluyen en la Tabla 2.402.402(3).A las expresiones para diferentes modelos.

TABLA 2.402.402(3).A
MOMENTOS PONDERADOS POR PROBABILIDAD

Distribución	Distribución inversa y fórmula de MPP
Valores Extremos Tipo I	$x = \beta + \alpha (-\ln(-\ln F))$, $F = \text{Prob}(X \leq x)$ $M_{1,j,0} = \frac{\beta}{1+j} + \frac{\alpha \{ \ln(1+j) + 0,57721 \}}{1+j}$
Wakeby	$x = m + a [1 - (1-F)^b] - c [1 - (1-F)^d]$ $M_{10k} = \frac{m}{1+k} + \frac{a-c}{1+k} - \frac{a}{1+k+b} + \frac{c}{1+k-d}$

2.402.403 Selección de Modelos. El único procedimiento para verificar el comportamiento de un modelo matemático, ya sea probabilístico o determinístico, es comparar las predicciones efectuadas por el modelo con observaciones de la realidad. Si el modelo fuese determinístico, y no existiese error experimental, entonces la comparación con los valores observados sería simple y concluyente. Sin embargo, en el caso de modelos probabilísticos, debido a la naturaleza misma del modelo, las observaciones son sólo una muestra de la realidad y, en consecuencia, una repetición del ensayo puede dar un resultado diferente. Resulta pues, poco probable encontrar una correspondencia exacta entre modelo y realidad, aún cuando las hipótesis sean válidas. Por ello, es necesario definir la magnitud de la discrepancia que puede obtenerse sin que sea necesario desechar la hipótesis estudiada. Al ser la variable observada una variable aleatoria, pueden producirse grandes diferencias, aun cuando ello sea poco probable. Por otro lado, una correspondencia entre la predicción y la observación tampoco es suficiente para garantizar que la hipótesis sea cierta.

En la elección de un modelo probabilístico, es conveniente considerar todo el conocimiento que se tenga sobre la variable. Por ejemplo, puede haber ciertas limitantes físicas que hagan imposible la existencia de valores negativos, valores límites, etc. Si el modelo no concuerda con estas limitantes, cabe preguntarse si esas discrepancias son o no importantes al adoptar un determinado modelo. Otra medida cualitativa sobre la bondad del modelo es su facilidad de tratamiento matemático u operativo, la cual también conviene considerar.

Fuera de estas nociones cualitativas deben considerarse ciertos aspectos cuantitativos. A saber, pueden calcularse los momentos de orden superior de la distribución y compararlos con los valores calculados a partir de la muestra. Sin embargo, es preciso tener presente que el error medio cuadrático cometido en la estimación de dichos momentos, aumenta al incrementar el orden de momento y por ello disminuye la precisión en los estimadores. También se recomienda comparar las probabilidades observadas con las calculadas con el modelo.

Entre los métodos para seleccionar modelos probabilísticos se distinguen los procedimientos gráficos y los analíticos.

2.402.403(1) Métodos Gráficos. Para verificar el modelo propuesto, se recurre usualmente a comparaciones gráficas entre el modelo y los datos, ya sea utilizando la función densidad de probabilidad, o bien, la distribución acumulada. En ambos casos la comparación gráfica permite una visualización rápida del ajuste del modelo, e indica las zonas en las cuales el ajuste es deficiente. Ello permite decidir sobre la bondad del ajuste, estimar los distintos percentiles de la distribución y los parámetros del modelo.

Una etapa útil en el análisis es dibujar los datos en forma de un gráfico de barras. Al graficar las frecuencias observadas para cada intervalo de la variable se obtiene el histograma, en el cual la altura de cada barra es proporcional al número de observaciones en ese intervalo. Este gráfico entrega al ingeniero un cuadro inmediato de las frecuencias observadas en cada intervalo y su comparación con el modelo propuesto.

Para estudiar el ajuste de los datos al modelo, se procede a graficar la curva de distribución acumulada. Para facilitar la decisión se acostumbra a usar un papel especial de modo que el modelo probabilístico se representa en él por una recta. Para ello se deforma la escala de las abscisas de modo de estirar los extremos de la distribución. Existen papeles de probabilidad para los modelos de distribución Normal, Log-Normal y Valores Extremos.

Para preparar un gráfico de probabilidades para un conjunto de valores se sigue el siguiente procedimiento:

- i) Se obtiene un papel especial, llamado papel de probabilidades, diseñado para el modelo en estudio, siempre que éste exista.
- ii) Se ordenan las observaciones en orden creciente en magnitud.
- iii) Se grafican las observaciones en el papel de probabilidades, asignándole a cada una, una probabilidad o posición de ploteo. Existen varias posiciones de ploteo. En la actualidad una de las preferidas es la propuesta por Weibull, que entrega un estimador no sesgado de probabilidad. En este caso la probabilidad se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{Prob}(x \leq X) = \frac{m}{n + 1}$$

en que : m = número de orden en ordenamiento creciente.
n = número de datos.

Se utiliza también el concepto de período de retorno que se define como el tiempo para el cual en promedio se produce un evento igual o superior al considerado.

Es decir,

$$T_r = \frac{1}{1 - \text{Prob}(x \leq X)}$$

o bien,

$$T_r = \frac{n + 1}{n - m}$$

iv) Si los puntos graficados se ajustan a una recta, entonces el modelo elegido representa un buen ajuste y se traza la recta en forma visual. Si los puntos no representan una tendencia lineal, entonces el modelo elegido no es adecuado. Una desviación sistemática indica un ajuste pobre.

Las Láminas 3.702.3(1).A y B del MC-V3 presentan papeles de probabilidad para modelos normal y de valores extremos, respectivamente. Un ejemplo aplicado a la estimación de las lluvias máximas diarias se ilustra en Numeral 2.405.201.

2.402.403(2) Métodos Cuantitativos. Los métodos anteriores permiten juzgar en forma gráfica la bondad del ajuste de los datos a un determinado modelo probabilístico. Sin embargo, en ciertas ocasiones es preferible contar con procedimientos cuantitativos que permitan una decisión objetiva sobre el ajuste. A continuación se describen dos procedimientos cuantitativos: el test chi-cuadrado y el test Kolmogorov-Smirnov.

Los tests de hipótesis sobre modelos de distribución cuentan con las siguientes etapas generales: Primero, se calcula un estadígrafo a partir de los datos observados. Luego, se calcula la probabilidad de obtener el estadígrafo calculado, en el supuesto que el modelo sea correcto. Esto se realiza refiriéndose a una tabla probabilística que entregue los percentiles del modelo de distribución del estadígrafo. Finalmente, si la probabilidad de obtener el valor del estadígrafo calculado es baja, se concluye que el modelo supuesto no provee una adecuada representación de la muestra.

Debe hacerse notar que este procedimiento permite rechazar un modelo por no ser adecuado, pero no permite probar que el modelo probabilístico elegido sea el correcto.

(a) Test Chi-Cuadrado. Es el test más usado para medir la bondad de ajuste de un modelo y es aplicable estrictamente a cualquier tipo de distribución, siempre que los parámetros de ella hayan sido estimados mediante el método de máxima verosimilitud. No obstante, para aplicaciones prácticas de hidrología, es posible utilizar este test, aunque los parámetros de la distribución hayan sido estimados por otros métodos, como por ejemplo, el método de los momentos. El test consiste en comparar, en intervalos previamente definidos de la variable aleatoria, el número de casos observados en ese intervalo con el teórico, el cual es función del modelo probabilístico en estudio.

Si O_1, O_2, \dots, O_k son las frecuencias absolutas observadas y E_1, E_2, \dots, E_k son las frecuencias teóricas, en cada una de las clases, se define un estadígrafo.

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

La variable X^2 tiende a tener una distribución chi-cuadrado con $K-S-1$ grados de libertad, siendo K el número de clases o intervalos definidos y S el número de parámetros estimados en el modelo.

Para que el ajuste de la distribución a la muestra sea aceptable, se requiere que el valor chi-cuadrado sea menor o, a lo sumo, igual al valor teórico que toma la distribución chi-cuadrado para un cierto nivel de significación (normalmente 5%). Las tablas de la distribución chi-cuadrado permiten conocer el valor teórico de chi en función de los grados de libertad y del nivel de probabilidad deseado.

Se recomienda elegir un número reducido de clases de modo que el valor teórico de casos observados en cada clase sea por lo menos igual a 5.

Un ejemplo de la aplicación del test de chi-cuadrado en la estimación de las lluvias máximas diarias, se ilustra en el Numeral 2.405.206.

(b) Test de Kolmogorov-Smirnov. Este procedimiento es un test no paramétrico que permite probar si dos muestras provienen del mismo modelo probabilístico. Como caso particular se puede usar para determinar si un modelo probabilístico se ajusta a una muestra.

El test se basa en calcular el estadígrafo D definido como el valor máximo de la diferencia absoluta entre la función distribución acumulada empírica ($G_n(a)$) y la función distribución del modelo calculada para cada punto de la muestra ($F_n(a)$). En general, el estadígrafo se calcula usando las distribuciones empíricas de las muestras, de la siguiente manera :

$$D = \max_{-\infty < a < \infty} \{ |F_n(a) - G_n(a)| \}$$

La d6cima es rechazar la hip6tesis nula si D es mayor o igual que un valor cr6tico que depende de n y del nivel de significancia. Se cuenta con tablas de los valores cr6ticos (Hollander y Wolfe, 1973). Una de ellas se incluye en la Tabla 2.402.403(2).A.

TABLA 2.402.403(2).A
VALORES CRITICOS PARA EL TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

Tamaño Muestra	Nivel de Significancia				
	0,20	0,15	0,10	0,05	0,01
n	0,20	0,15	0,10	0,05	0,01
1	0,90	0,93	0,95	0,98	0,99
2	0,68	0,73	0,78	0,84	0,93
3	0,57	0,60	0,64	0,71	0,83
4	0,49	0,53	0,56	0,62	0,73
5	0,45	0,47	0,51	0,56	0,67
6	0,41	0,44	0,47	0,52	0,62
7	0,38	0,41	0,44	0,49	0,58
8	0,36	0,38	0,41	0,46	0,54
9	0,34	0,36	0,39	0,43	0,51
10	0,32	0,34	0,37	0,41	0,49
11	0,31	0,33	0,35	0,39	0,47
12	0,30	0,31	0,34	0,38	0,45
13	0,28	0,30	0,33	0,36	0,43
14	0,27	0,29	0,31	0,35	0,42
15	0,27	0,28	0,30	0,34	0,40
16	0,26	0,27	0,30	0,33	0,39
17	0,25	0,27	0,29	0,32	0,38
18	0,24	0,26	0,28	0,31	0,37
19	0,24	0,25	0,27	0,30	0,36
20	0,23	0,25	0,26	0,29	0,35
25	0,21	0,22	0,24	0,26	0,32
30	0,19	0,20	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,19	0,21	0,23	0,27
40	0,17	0,18	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,17	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,16	0,17	0,19	0,23
n>50	1,07/√n	1,14/√n	1,22/√n	1,36/√n	1,63/√n

2.402.404 Precisi6n en la Estimaci6n. El promedio y la varianza de la muestra son, a su vez, variables aleatorias y, como tales, puede estudiarse su valor medio, su varianza y su distribuci6n. En especial, es importante la relaci6n entre ellos y el valor esperado de la variable x. Se puede demostrar, utilizando el teorema del l6mite central, que el valor esperado del promedio de la muestra es igual al promedio de la variable aleatoria x, y que la varianza del promedio o error medio cuadr6tico es σ^2/n . Una estimaci6n puntual de un par6metro es a veces poco conveniente, ya que rara vez coincide con el par6metro, por esta raz6n se prefiere, a veces, realizar una estimaci6n mediante un intervalo (i, s) en el cual i es el l6mite inferior y s es el l6mite superior del intervalo. Este intervalo se denomina intervalo de confianza o de significaci6n del estimador.

Las estimaciones puntuales asociadas a cualquier per6odo de retorno T se pueden expresar en funci6n del llamado factor de frecuencia (K), introducido por Chow (1964), el promedio (m_1) y la desviaci6n est6ndar (m_2) de la variable:

$$x_T = m_1 + K \sqrt{m_2}$$

La expresi6n anterior es una forma general de expresar el valor asociado a un per6odo de retorno T, siendo el factor de frecuencia una funci6n del per6odo de retorno y de los par6metros del modelo seleccionado. El error est6ndar del estimado representa la falta de precisi6n en la estimaci6n, proveniente del hecho que los par6metros del modelo de

probabilidad no se conocen con certeza, sino que sólo se cuenta con un valor estimado de ellos, calculado en base a una muestra de longitud limitada de la variable aleatoria. La obtención de la varianza del estimado, se puede alcanzar expresando la varianza de una función de variables aleatorias como la suma de las varianzas y de las covarianzas de las variables. En general, si el valor asociado a un cierto período de retorno es función de k momentos centrados y del período de retorno, se tiene (Kite, 1978):

$$x_T = f(m_1', m_2, m_3 \dots m_k, T)$$

Dado que T no es una variable, la varianza de x_T está dada por:

$$S_T^2 = \sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial x_T}{\partial m_i}\right)^2 \text{var}(m_i) + 2 \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \left(\frac{\partial x_T}{\partial m_i}\right) \left(\frac{\partial x_T}{\partial m_j}\right) \text{cov}(m_i, m_j)$$

Esta expresión entrega un valor para el error estándar o la varianza del estimado en función de los momentos centrados, de funciones de ellos y del factor de frecuencia. El cálculo de la varianza del estimado dependerá del método empleado para estimar los momentos de la distribución. En general se acostumbra a expresar S_T en función de un coeficiente, de la varianza de la variable aleatoria y del tamaño de la muestra, de acuerdo con la expresión siguiente (Kite, 1978):

$$S_T = \delta \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

En el Numeral 2.405.204 se ilustra la estimación del error estándar para tres distribuciones de probabilidad.

Finalmente, el intervalo de confianza del estimado se obtiene, usualmente, bajo el supuesto que la variable estimada se distribuye normalmente y se expresa según la relación siguiente en función de la estimación puntual, del error estándar del estimado y de una variable estandarizada normal correspondiente al nivel de significancia del intervalo. Cuando se especifica el intervalo de confianza correspondiente a una significancia del 95%, el valor de z es 1,96.

$$IC = x_T \pm zS_T$$

En la Tabla 2.402.404.A se indica el valor de δ para diferentes períodos de retorno para los modelos normal, log-normal y valores extremos tipo I, suponiendo en este último caso que el tamaño de la muestra es infinito.

TABLA 2.402.404.A
VALORES DEL COEFICIENTE DELTA (Kite,1978)

Per Retorno T	5	10	20	50	100
N y LN	1,1638	1,3497	1,5340	1,7634	1,9249
VE1	1,54568	2,087798	2,637346	3,36841	3,95469

En la Tabla 2.402.404.B se muestran los valores de δ para la distribución Pearson Tipo III para diferentes períodos de retorno y valores del coeficiente de asimetría. En tanto, en el Numeral 2.405.205 se ilustra el cálculo de los intervalos de confianza para tres distribuciones de probabilidad.

TABLA 2.402.404.B
VALORES DE DELTA PARA LA DISTRIBUCION PEARSON III
PERIODO DE RETORNO

Coef Asim	5	10	20	50	100
0	1,1698	1,3748	1,6845	2,1988	2,6363
0,2	1,2309	1,4989	1,8815	2,4986	3,0175
0,4	1,2905	1,6227	2,0915	2,8423	3,4724
0,6	1,3492	1,7441	2,3094	3,2209	3,9895
0,8	1,4082	1,8609	2,5303	3,6266	4,5595
1,0	1,4699	1,9714	2,7492	4,0522	5,1741
1,2	1,5382	2,0747	2,9613	4,4896	5,8240
1,4	1,6181	2,1711	3,1615	4,9301	6,4992
1,6	1,7157	2,2627	3,3455	5,3644	7,1881
1,8	1,8374	2,3541	3,5100	5,7827	7,8783
2,0	1,9888	2,4525	3,6536	6,1755	8,5562

2.402.5 ANALISIS REGIONAL DE CRECIDAS

2.402.501 Método del U.S.G.S. El método regional de frecuencia de crecidas, desarrollado por el Geological Survey, requiere calcular dos relaciones básicas, que se suponen válidas para todos los puntos ubicados dentro de una región hidrológicamente homogénea. La primera es una curva de frecuencia de crecidas, expresada en forma adimensional y aplicable a los puntos dentro de la zona hidrológicamente homogénea. Esta curva expresa la relación entre una crecida índice o adimensional y el período de retorno, expresando las crecidas máximas como la razón entre la crecida y la crecida media anual. La segunda relación indica la variación de la crecida media anual en función del área de drenaje, o de otras características significativas de la cuenca. En el método del USGS los períodos de retorno de las crecidas se estiman con la expresión propuesta por Weibull y se utiliza el modelo de valores extremos tipo I, ajustando las curvas gráficamente. En este caso la crecida media anual está definida como el valor correspondiente a un período de retorno de 2,33 años. El procedimiento exige verificar que los registros usados puedan considerarse hidrológicamente homogéneos. Este procedimiento se encuentra detallado por Dalrymple en el Manual de Hidrología del US Geological Survey (Dalrymple, 1960).

2.402.502 Método WAK - PWM. Para aplicar el método WAK-PWM (distribución Wakeby con parámetros calculados mediante momentos ponderados) en una región homogénea, es necesario calcular los cinco primeros momentos de las series anuales de crecidas en cada sitio; normalizar los momentos, dividiendo cada uno de ellos por el primero (crecida media); obtener un estimador regional para los momentos, ponderando los momentos estandarizados de cada sitio por el número de datos de cada uno y, finalmente, estimar los parámetros regionales de la distribución Wakeby válida para la región, utilizando el método de momentos ponderados por probabilidad para los estimadores regionales estandarizados.

Los parámetros son estimados resolviendo el sistema de ecuaciones que se obtiene al igualar los primeros cinco momentos de la muestra a los cinco primeros momentos expresados en función de los parámetros de la distribución.

Una vez que la distribución de probabilidades regional ha sido calculada, para la estimación de frecuencia de crecidas se requiere del uso de la distribución regional y de una estimación de la crecida media en el sitio. Esta estimación, generalmente se obtiene estableciendo una ecuación de regresión entre la crecida media anual en los lugares con información hidrológica en función de variables explicativas, tales como el área de la cuenca aportante, la pendiente del cauce principal, la lluvia máxima en 24 horas, la latitud, la longitud, la altura media y otras.

2.402.6 TORMENTAS DE DISEÑO

2.402.601 Medición y Registros. La precipitación, expresada como altura de agua, se mide en forma continua en pluviógrafos o nivógrafos y en forma esporádica en pluviómetros. Los instrumentos son básicamente recipientes estandarizados que recogen la precipitación y la miden por unidad de área en términos de altura. Aquéllos que entregan un registro continuo están equipados con un sistema que indica en forma mecánica o electrónica la precipitación acumulada en función del tiempo. En Chile la mayor parte de los datos se recogen en pluviómetros que miden la lluvia acumulada entre las 8 de la mañana del día anterior y las 8 de la mañana del día de la lectura.

La mayoría de las estaciones existentes son de propiedad de la Dirección General de Aguas, de la Dirección Meteorológica de Chile y de ENDESA. Estas instituciones cuentan con listados de los registros, los cuales normalmente indican la ubicación de la estación y las características principales de ellos. Fuentes útiles de información son las siguientes publicaciones:

- Dirección General de Aguas(1991), Precipitaciones Máximas en 1, 2 y 3 días, Ministerio de Obras Públicas.
- Dirección General de Aguas (1989), Catastro de Estaciones Hidrometeorológicas, Ministerio de Obras Públicas.
- Dirección General de Aguas (1989), Balance Hídrico de Chile, Ministerio de Obras Públicas.
- CORFO (1971), Pluviometría de Chile. Departamento de Recursos Hidráulicos.

Previo a usar la información recogida en una de las estaciones es indispensable asegurarse que los registros sean precisos, representativos y confiables. Es necesario ser conscientes que la lluvia medida es una muestra recogida en una pequeña superficie y sujeta a problemas de viento, y exposición debido a la posible obstrucción por árboles, edificios u otros elementos, así como a la precisión intrínseca de los instrumentos utilizados para su recolección y registro. Quien usa la información debe emplear un criterio adecuado y las técnicas recomendadas para asegurar que la información cumpla algunos requisitos mínimos para asegurar su representatividad. La recolección y análisis preliminar de la información de lluvias representa una proporción importante del tiempo dedicado al estudio hidrológico.

2.402.602 Características Principales de las Lluvias y de las Tormentas de Diseño. Una tormenta es un conjunto de intervalos de lluvia producido por una situación meteorológica favorable; el número de horas sin lluvia que separa una tormenta de otra es un valor arbitrario, pero típicamente se supone que lapsos del orden de seis a ocho horas sin lluvia determinan eventos diferentes. Las características principales de este episodio, desde la perspectiva de usar la información para diseñar sistemas de drenaje urbano o rural, son su duración, magnitud total, variación de la intensidad en el tiempo y variación de la lluvia en el espacio.

(a) Duración. Una de las primeras decisiones del proyectista es escoger la duración de la tormenta por utilizar, entendiendo por duración al total de intervalos de lluvia. La importancia de la duración de la lluvia es evidente ya que la intensidad media de la tormenta decrece con la duración y el área aportante de la cuenca crece al aumentar la duración de la tormenta.

La selección de la duración de la tormenta de diseño está influenciada por factores del clima de la región en cuestión y por aspectos propios del área aportante, tales como su tamaño, pendiente y rugosidad superficial.

Es usual que la duración de diseño sea igual al tiempo de concentración del área aportante, definido como el tiempo necesario para que la gota más alejada llegue a la salida. Otros criterios tienden a seleccionar duraciones de tormentas más o menos largas, en el rango entre 24 horas y 48 horas, ya que es usual que las crecidas importantes ocurran en temporales de duraciones significativas. Sin embargo, en este caso es necesario tener presente que implícitamente se está incluyendo la probabilidad de ocurrencia de dicha tormenta, valor que se desconoce.

(b) Magnitud e Intensidad. Una vez establecida la duración total del temporal se debe tomar una decisión sobre la magnitud de la lluvia, o total de agua caída durante el temporal. Existe una relación entre duración, magnitud y probabilidad de ocurrencia, la cual normalmente se estudia y se representa en familias de curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) o precipitación-duración-frecuencia (PDF).

El efecto de la magnitud de la tormenta se ve enormemente influenciado por la variación temporal y espacial que presenta la intensidad de la lluvia. Es difícil definir lo que se entiende por intensidad representativa, ya que se puede hablar de intensidades máximas, medias, u otros valores que la representen.

(c) Hietograma de la Tormenta. La distribución en el tiempo de la lluvia total caída durante un temporal es, sin lugar a dudas, un factor primordial en la determinación del escurrimiento de respuesta de la cuenca y, en consecuencia, debe ser considerado en la definición de una tormenta de diseño. Sin embargo, aún cuando es conocida la influencia del hietograma en la forma y magnitud de la onda de crecida, es usual que se proceda utilizando hipótesis bastante simplificadas.

Algunos estudios que se pueden consultar para definir distribuciones en el tiempo para las tormentas de diseño son los siguientes:

- Benítez, A. y Verni F. (1985) Distribución Porcentual de las Precipitaciones de Duraciones entre 12 y 72 Horas. VII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica, Soc. Chilena de Ingeniería Hidráulica, 7-9 Noviembre, Concepción.
- Camaño, G, García M. y Dasso, M. (1999) Hietograma Puntual de Diseño. Correspondencia entre la Estimación y la Distribución de la Altura de Lluvia. XIV Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, Soc. Chilena de Ingeniería Hidráulica, 3-5 Noviembre, Santiago.
- Espíldora y Echavarría (1979) Metodología para Caracterizar la Distribución Temporal de las Precipitaciones de Santiago y su Aplicación en la Selección de Precipitaciones de Diseño para el Estudio de Crecidas. Informe CHR79-16-I, Centro de Recursos Hidráulicos, Universidad de Chile.
- Huff, F.A. (1967) Time distribution of rainfall in heavy storms. Water Resources Research, vol 3, 1007-1019.
- National Environment Research Council (1975) Flood Studies Report. Whitefriars Press, Londres.
- Stappung, C (1999) Lluvias de Diseño de Sistemas de Aguas Lluvias en Chile. XIV Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, Soc. Chilena de Ingeniería Hidráulica, 3-5 Noviembre, Santiago.
- Varas, E. (1985) Hietogramas de Tormentas de Diseño. VII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica, Soc. Chilena de Ingeniería Hidráulica, 7-9 Noviembre, Concepción.
- Varas, E. (1990) Modelación de Lluvias, Apuntes de Ingeniería, N° 38, 43-60.

(d) Variación Espacial. La distribución espacial de la tormenta es también un factor de gran importancia en la definición de la tormenta de diseño. Los estudios al respecto han tomado dos enfoques. En algunos casos se han encontrado curvas de igual precipitación considerando como origen el centro de la tormenta y en otros se ha estudiado la variación dentro un área definida. Sin embargo, la obtención de información en relación a la distribución espacial requiere de una red pluviográfica densa.

En Chile hay muy pocos antecedentes sobre estudios de esta índole y en general la red de estaciones no es lo suficientemente densa para poder abordarlos. Más aún, el problema se ve complicado por la influencia de la topografía en la precipitación. Esta complicación adicional permite eso sí, suponer una variación espacial definida a través de aplicar una relación entre precipitación y altura.

Una consideración adicional en torno a este punto, particularmente compleja y difícil de cuantificar es la incidencia del problema nival. Algunas tormentas ocurren como lluvias en las partes bajas de la cuenca y la precipitación se deposita como nieve en las zonas altas. Este hecho complica enormemente el análisis de la variación espacial y es sumamente difícil de abordar y resolver.

e) Probabilidad de Ocurrencia. La probabilidad de ocurrencia de una tormenta de diseño es un problema muy difícil de resolver, pues es complejo asociar una probabilidad de ocurrencia a un fenómeno que presenta una variabilidad importante en el espacio y en el tiempo. Adicionalmente, desde el punto de vista del diseño, interesa también relacionar la frecuencia de la tormenta de diseño con la probabilidad de la crecida resultante.

Por lo dicho anteriormente, es difícil contar con la información necesaria para caracterizar y describir cuantitativamente la tormenta de diseño. Al analizar y estudiar el registro de lluvias es poco probable que se encuentren situaciones similares que permitan definir probabilidades de ocurrencia. Prácticamente todas las tormentas difieren en la distribución espacial, en la variación de la intensidad, magnitud, duración, etc.

El segundo problema es también muy complejo porque inciden en él las condiciones de humedad de la cuenca, y sobre este punto se tienen sólo valores índices que describen situaciones en forma cualitativa.

Sin embargo, en situaciones de diseño se acostumbra a asociar la probabilidad a la magnitud de la lluvia y suponer que la frecuencia de la crecida es igual a la frecuencia de la lluvia que la origina. Esta suposición adquiere mayor realidad a medida que se alcanzan condiciones de saturación en el área aportante y, por lo tanto, representa una situación conservadora desde la perspectiva del diseño.

En consecuencia, la definición de la tormenta de diseño es un problema complejo que se caracteriza por la dificultad de precisar y definir cuantitativamente las características del temporal, de la cuenca, la asignación de probabilidades a la tormenta y a la crecida resultante. El hidrólogo se enfrenta a este problema en uno de dos escenarios.

Se cuenta con registros pluviográficos representativos del área de interés y del análisis de dichos registros se pueden seleccionar tormentas que representen situaciones adecuadas para el diseño.

La otra situación es bastante usual y corresponde a aquélla en la cual no existen registros adecuados y representativos, y el ingeniero debe simular tormentas que tengan características similares a los escasos registros del área.

2.402.7 CURVAS INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA DE LLUVIAS

El diseño hidráulico de las obras de drenaje requiere el uso de las llamadas curvas intensidad-duración-frecuencia de lluvias (IDF). Estas relaciones presentan la variación de la intensidad de la lluvia de distintas duraciones, asociadas a diferentes probabilidades de ocurrencia, y son necesarias para estimar indirectamente el escurrimiento provenientes de cuencas pequeñas esencialmente impermeables, en función de la lluvia caída.

Para determinar estas curvas se necesita contar con registros pluviográficos de lluvia en el lugar de interés y seleccionar la lluvia más intensa de diferentes duraciones en cada año, con el fin de realizar un estudio de frecuencia con cada una de las series así formadas. Es decir, se deben examinar los hietogramas de cada una de las tormentas ocurridas en un año y de estos hietogramas elegir la lluvia correspondiente a la hora más lluviosa, a las dos horas más lluviosas, a las tres horas más lluviosas y así sucesivamente. Con los valores seleccionados se forman series anuales para cada una de las duraciones elegidas. Estas series anuales están formadas eligiendo, en cada año del registro, el mayor valor observado correspondiente a cada duración, obteniéndose un valor para cada año y cada duración. Cada serie se somete a un análisis de frecuencia, asociando modelos probabilísticos según lo descrito en 2.402.2. Así se consigue una asignación de probabilidad para la intensidad de lluvia correspondiente a cada duración, la cual se acostumbra a representar en un gráfico único de intensidad vs. duración, teniendo como parámetro la frecuencia o período de retorno.

Debe destacarse que formar las series anuales es un proceso largo y laborioso, que involucra el examen cuidadoso de los rollos pluviográficos, la lectura de los valores, la digitación de la información, la contrastación y verificación de los valores leídos con los registros pluviométricos cercanos y el análisis de las tormentas registradas para encontrar los máximos valores registrados para cada una de las duraciones seleccionadas.

2.402.701 Curvas IDF en Lugares Seleccionados. Debido a lo anterior y para facilitar el trabajo del Proyectista, el presente Tópico incluye una amplia recopilación de la información pluviográfica disponible en Chile. La información pluviográfica analizada corresponde a 36 estaciones cuyas características principales se indican en la Tabla 2.402.701. A. En total la sumatoria de los años analizados en las 36 estaciones comprende los registros de 848 años, con un mínimo por estación de 12 años, un máximo de 82 años y una media del orden de 24 años. En la Lámina 2.402.701.A se ilustra gráficamente la localización de las 36 estaciones.

Siguiendo el procedimiento descrito previamente, en cada lugar se obtuvo el registro pluviográfico y se realizó un análisis de frecuencia de los valores horarios, habiéndose efectuado previamente un análisis crítico de la información. Para obtener la familia de curvas IDF en cada lugar, se seleccionó de cada tormenta registrada la mayor

intensidad de lluvia observada en 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 18, 24, 36 y 48 horas para formar las series anuales de estos valores, eligiendo el mayor valor observado en cada año para cada una de las duraciones nombradas. A las muestras obtenidas en cada duración se ajustó un modelo de valores extremos tipo I, el cual ha sido utilizado con éxito para representar este tipo de muestras. El ajuste se probó con el test chi cuadrado, obteniéndose buenos resultados, para las distintas duraciones, en casi todos los casos para un nivel de significancia del 5%.

Los resultados se resumen en la Tabla 2.402.701.B que presenta para cada lugar las intensidades de lluvia asociadas a 10, 25, 50 y 100 años de período de retorno, para duraciones de 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 18 y 24 horas.

2.402.702 Estimación a Partir de Datos de Lluvia Diarios. La obtención de esta familia de curvas necesita de registros pluviográficos continuos, los cuales son escasos y pocos extensos. Lo corriente es contar con bastantes registros pluviométricos, los cuales sólo entregan observaciones de lluvias diarias. Por ello, varios autores se han preocupado de estudiar la relación existente entre la lluvia caída y su duración, como una forma de obtener una estimación para las lluvias de duración menor a 24 horas en función de las lluvias diarias.

Bell (1969) estudió las razones entre lluvias de distintas duraciones e igual frecuencia o períodos de retorno y también la razón entre lluvias de diferentes períodos de retorno e igual duración, utilizando datos de un gran número de estaciones ubicadas en una extensa zona geográfica, que incluyó Estados Unidos de América, Hawaii, Australia, Rusia, Alaska, Puerto Rico y Africa. Los resultados obtenidos son válidos para lluvias provenientes de tormentas de tipo convectivo con duraciones entre 10 minutos y 2 horas. Las conclusiones obtenidas indican que las razones, entre lluvias de distinta duración o distinto período de retorno, llamadas coeficientes de duración y coeficientes de frecuencia respectivamente, son muy constantes para todos los puntos indicados y el autor propuso su aplicación en otras zonas para tormentas convectivas.

Los coeficientes de duración y de frecuencia propuestos por Bell cumplen la siguiente relación, válida para duraciones de lluvia entre 5 minutos y dos horas y para períodos de retorno entre 2 y 100 años.

$$P_t^T = (0,21 \ln T + 0,52)(0,54 t^{0,25} - 0,5) P_{60}^{10}$$

En que: P_t^T = Lluvia en mm de duración t minutos y T años de período de retorno.
 T = Período de retorno en años.
 t = Duración de la lluvia en minutos.

Siguiendo una concepción similar, se analizaron los registros pluviográficos de las 36 estaciones pluviográficas de la Tabla 2.402.702 A. Los resultados se presentaron como familias de curvas IDF adimensionales, los cuales permiten, en base a un valor de lluvia diario conocido, estimar las lluvias o intensidades de lluvia asociadas a otras duraciones y a otras probabilidades de ocurrencia.

Para ello, se definió un coeficiente de duración como la razón entre la lluvia caída en una duración cualquiera y la lluvia caída en 24 horas, ambas con un período de retorno de diez años. Los coeficientes de duración (CD) calculados para todas las duraciones se presentan en la Tabla 3.702.403.A del MC-V3. Los coeficientes de duración para una hora varían en general entre 0,08 y 0,43. Un análisis de estos resultados orientado a la aplicación de los coeficientes se presenta en el Numeral 3.702.403 del MC-V3.

Análogamente, se definió un coeficiente de frecuencia como la razón entre la lluvia asociada a un cierto período de retorno y la lluvia de igual duración para un período de retorno de 10 años. En relación a los coeficientes de frecuencia (CF), se observó que ellos eran bastante independientes de la duración, por lo que se propuso utilizar un sólo CF, cualquiera sea la duración de las lluvias correspondientes a cada estación. Los coeficientes de variación de estos valores son del orden del 5%, lo cual confirma su pequeña variabilidad. Estos coeficientes, que se presentan en la Tabla 3.702.403 B del MC-V3, coinciden en buena medida con los sugeridos por Bell (1965).

La información anterior puede utilizarse para estimar las curvas IDF en un lugar, en base a la lluvia máxima diaria de acuerdo a la siguiente expresión:

$$P_t^T = K * CD_t * CF_T * P_{24}^{10}$$

En que: P_t^T = Lluvia con período de retorno de " T " años y duración " t " horas.
 K = Coeficiente de corrección para la lluvia máxima P10/24 medida entre 8 AM y 8 AM respecto de las 24 Hrs más lluviosas de la tormenta, para el cual según el análisis efectuado en el Numeral 3.702.404 del MC-V3, se adopta un valor K = 1,1.
 CD_t = Coeficiente de duración para t horas.
 CF_T = Coeficiente de frecuencia para T años de período de retorno.

$$P_{24}^{10} = \text{Lluvia máxima diaria (8 AM a 8 AM) de 10 años de período de retorno (Estación Pluviométrica)}$$

TABLA 2.402.701.A
ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS UTILIZADAS

Estación pluviográfica	Región	Control	Latitud (S)	Longitud (W)	Altura (m)	Proceso 1982			Proceso 2000			
						Período	S/I	Registro útil	Período	S/I	Registro útil	Registro total
Putre	I	DGA	18°12	69°35	3.530	-	-	-	1976-1998	E7	16	16
Lequena	I	DGA	21°39	68°40	3.320	-	-	-	1978-1994	-	17	17
Toconce	II	DGA	22°16	68°11	3.350	-	-	-	1981-1998	C6	12	12
Rivadavia	IV	DGA	29°58	70°34	850	-	-	-	1976-1997	1995	21	21
La Paloma	IV	DGA	30°41	71°02	430	1963-1981	1968	18	1982-1999	-	18	36
Illapel	IV	DGA	31°38	71°11	290	-	-	-	1976-1999	1991	23	23
La Tranquilla	IV	DGA	31°54	70°40	975	-	-	-	1976-1999	-	24	24
Quillota	V	DGA	32°54	71°13	130	-	-	-	1979-1999	B6	15	15
Rungue	RM	DGA	33°01	70°54	750	-	-	-	1979-1998	A4	16	16
Lago Peñuelas	V	DGA	33°09	71°32	360	1974-1985	1980	11	1986-1999	D4	10	21
Los Panguiles	RM	DGA	33°26	71°01	250	-	-	-	1986-1999	-	14	14
Santiago-Q. Normal	RM	DMC	33°27	70°42	520	1917-1962	-	46	1963-1999	1963	36	82
Santiago en San Joaquín	RM	PUC	33°30	70°37	554	-	-	-	1978-1999	-	21	21
Pirque	RM	DGA	33°40	70°35	670	-	-	-	1972-1998	75-92-97	23	23
Melipilla	RM	DGA	33°42	71°13	200	-	-	-	1976-1998	-	23	23
Rapel	VI	ENDESA	33°57	71°52	50	1961-1982	1980	21	-	-	-	21
Llallauquén	VI	ENDESA	34°15	71°26	113	-	-	-	1983-1999	90-94-95	14	14
San Fernando	VI	ENDESA	34°35	70°59	350	1963-1982	1973	19	1983-1999	-	17	36
Curicó	VII	DMC	34°58	71°14	228	-	-	-	1979-1999	79-89-92	18	18
Colbún en Colorado	VII	ENDESA	35°41	71°21	340	1969-1980	-	12	-	-	-	12
Armerillo	VII	ENDESA	35°42	71°05	470	1962-1982	-	21	1983-1999	-	17	38
Chillán	VIII	DGA	36°37	72°07	140	1974-1981	1975	7	1982-1998	82-93	15	22
Concepción	VIII	DMC	36°50	73°03	10	1961-1981	E4	17	1982-1999	86-88	16	33
Polcura en Balseadero	VIII	ENDESA	37°19	71°32	740	1959-1982	78-79	22	1983-1999	1996	16	38
Quilaco	VIII	DGA	37°41	71°59	250	1965-1981	69-78-82	15	1983-1998	83-88	14	29
Temuco	IX	DMC	38°45	72°35	114	1966-1981	1976	15	1982-1999	89-93-96	15	30
Pullinque	X	ENDESA	39°35	73°13	145	1963-1982	1966	19	-	-	-	19
Valdivia	X	DMC	39°37	73°05	19	-	-	-	1979-1999	1985	20	20
Osorno	X	DMC	40°36	73°03	65	-	-	-	1980-1999	81-82	18	18
Ensenada	X	ENDESA	41°12	72°32	51	1963-1982	-	20	-	-	-	20
Puerto Montt	X	DMC	41°25	73°05	85	1973-1981	1974	8	1982-1999	1986	17	25
Lago Chapo Desag.	X	ENDESA	41°26	72°35	247	-	-	-	1983-1999	1995	16	16
Canutillar en Portezuelo	X	ENDESA	41°31	72°23	452	1966-1984	-	19	-	-	-	19
Chaitén	X	DMC	42°55	72°43	3	-	-	-	1979-1999	92-93	19	19
Puerto Aysén	XI	DMC	45°24	72°40	11	-	-	-	1985-1999	-	15	15
Punta Arenas	XII	DMC	53°00	70°51	37	-	-	-	1979-1999	-	21	21

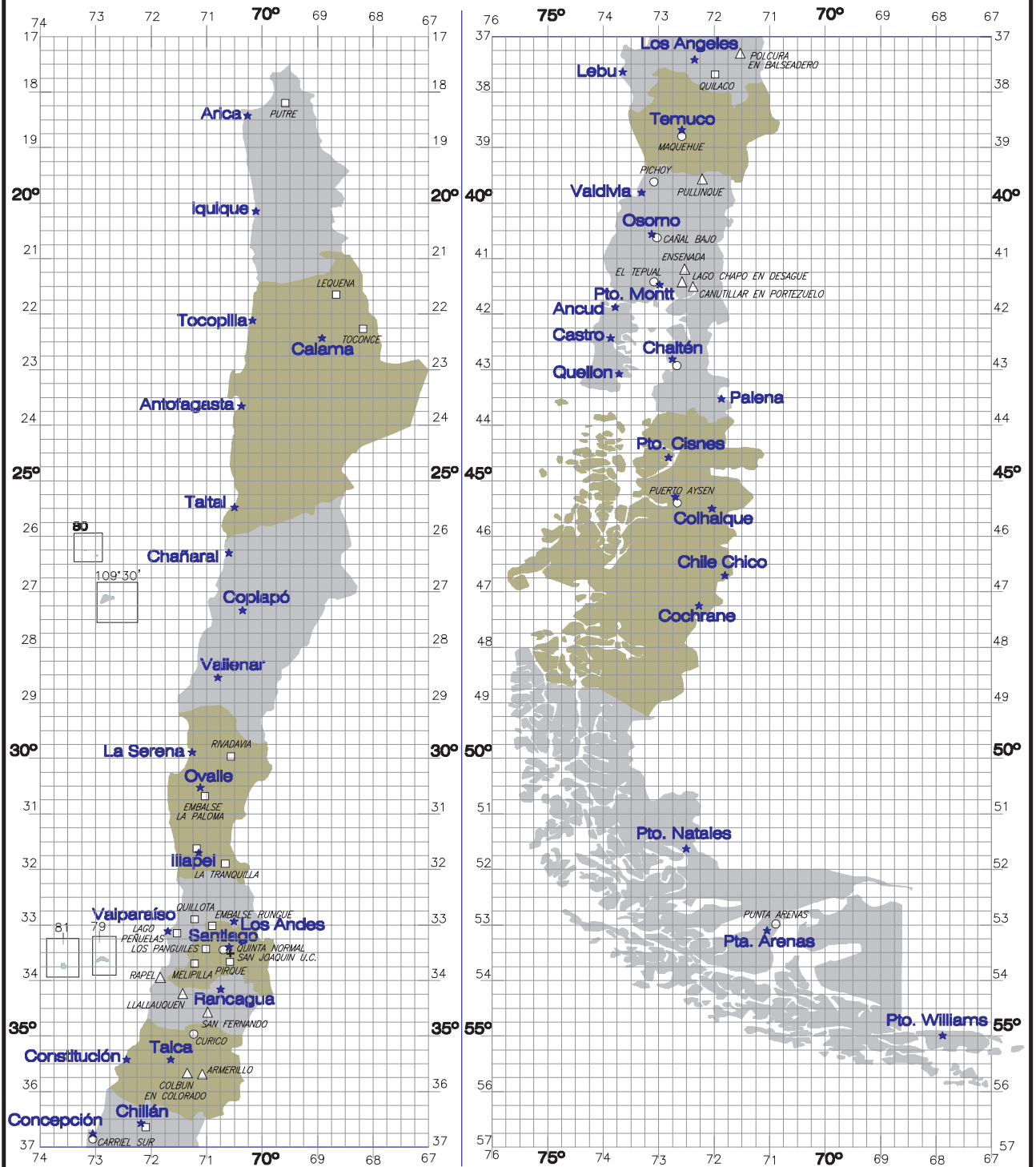
A= Años 1981-1982-1983-1985

B= Años 1981-1994-1995-1996-1997-1998

C= Años 1991-1992-1993-1994-1995-1996

D= Años 1986-1992-1994-1998

E= Años 1964-1965-1968-1969



ESTACIONES METEOROLOGICAS PERTENECIENTES A:

DIRECCION GENERAL DE AGUAS MOP. □
 DIRECCION METEOROLOGICA DE CHILE ○
 ENDESA △

UNIVERSIDAD CATOLICA +
 CIUDADES PRINCIPALES ★

TABLA 2.402.701.B
INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO (mm/h)

Estación Pluviográfica	Período de retorno (años)	Duración (horas)									
		1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Putre	10	12,19	8,66	5,14	3,62	2,85	2,30	1,94	1,66	1,37	1,17
	25	15,38	10,62	6,16	4,35	3,40	2,72	2,28	1,94	1,62	1,38
	50	17,75	12,08	6,92	4,88	3,81	3,03	2,54	2,15	1,80	1,54
	100	20,09	13,53	7,68	5,41	4,21	3,34	2,79	2,36	1,99	1,69
Lequena	10	8,25	6,38	4,57	3,52	2,82	2,28	1,94	1,66	1,25	1,02
	25	9,96	7,79	5,72	4,45	3,59	2,90	2,46	2,12	1,58	1,29
	50	11,22	8,83	6,57	5,13	4,15	3,36	2,85	2,45	1,83	1,50
	100	12,47	9,87	7,41	5,81	4,72	3,81	3,24	2,79	2,07	1,71
Toconce	10	15,25	11,22	7,80	5,95	4,62	3,72	3,11	2,68	2,13	1,65
	25	18,81	13,80	9,71	7,44	5,77	4,64	3,88	3,34	2,64	2,05
	50	21,45	15,70	11,12	8,54	6,62	5,32	4,46	3,83	3,03	2,34
	100	24,07	17,60	12,53	9,63	7,47	6,00	5,03	4,32	3,41	2,64
Rivadavia	10	9,73	8,35	7,10	6,49	6,03	5,55	5,05	4,53	3,92	3,38
	25	11,97	10,30	8,78	8,08	7,55	6,96	6,35	5,70	4,96	4,29
	50	13,62	11,74	10,03	9,26	8,68	8,01	7,32	6,57	5,73	4,96
	100	15,27	13,18	11,28	10,43	9,80	9,06	8,28	7,44	6,49	5,63
La Paloma	10	11,65	9,87	8,04	7,16	6,31	5,73	5,18	4,69	3,96	3,24
	25	14,34	12,13	9,96	8,95	7,92	7,22	6,55	5,94	5,04	4,16
	50	16,33	13,81	11,39	10,28	9,11	8,33	7,57	6,87	5,85	4,83
	100	18,31	15,47	12,80	11,59	10,30	9,44	8,58	7,79	6,64	5,51
Illapel	10	10,46	9,21	7,68	6,73	6,12	5,46	4,88	4,44	3,79	3,09
	25	12,90	11,34	9,46	8,35	7,65	6,83	6,11	5,57	4,78	3,92
	50	14,71	12,93	10,78	9,56	8,78	7,85	7,02	6,41	5,51	4,53
	100	16,51	14,50	12,09	10,76	9,90	8,86	7,93	7,24	6,23	5,14
La Tranquilla	10	8,95	8,02	6,52	5,67	5,19	4,79	4,53	4,37	4,11	3,53
	25	10,93	9,79	7,98	6,99	6,43	6,02	5,74	5,60	5,35	4,63
	50	12,41	11,10	9,07	7,96	7,36	6,92	6,64	6,51	6,26	5,44
	100	13,87	12,40	10,15	8,93	8,28	7,82	7,53	7,41	7,17	6,25
Quillota	10	9,92	8,52	7,15	6,27	5,45	5,04	4,67	4,27	3,64	3,10
	25	11,86	10,17	8,55	7,53	6,53	6,09	5,70	5,24	4,52	3,88
	50	13,30	11,39	9,59	8,47	7,33	6,87	6,47	5,96	5,16	4,46
	100	14,72	12,60	10,62	9,40	8,12	7,64	7,23	6,67	5,81	5,04
Rungue	10	14,14	13,12	11,57	10,84	9,87	9,31	8,57	7,83	6,98	6,21
	25	16,88	15,79	14,17	13,43	12,26	11,64	10,74	9,82	8,81	7,92
	50	18,92	17,76	16,10	15,35	14,04	13,36	12,35	11,30	10,17	9,18
	100	20,94	19,73	18,01	17,26	15,80	15,08	13,95	12,76	11,51	10,44
Lago Peñuelas	10	25,10	22,17	19,30	17,34	15,74	14,42	13,35	12,32	10,76	8,79
	25	30,33	27,06	23,85	21,55	19,59	17,95	16,69	15,44	13,50	10,95
	50	34,21	30,69	27,22	24,68	22,44	20,57	19,16	17,75	15,53	12,55
	100	38,06	34,30	30,56	27,78	25,27	23,17	21,62	20,05	17,55	14,14
Los Panguiles	10	14,45	12,39	9,59	8,50	7,60	7,24	6,43	5,67	4,63	3,86
	25	18,26	15,66	12,18	10,88	9,77	9,39	8,32	7,33	5,95	4,98
	50	21,09	18,09	14,11	12,65	11,39	10,99	9,73	8,56	6,94	5,81
	100	23,90	20,50	16,02	14,41	12,99	12,57	11,13	9,78	7,92	6,64
Santiago-Q. Normal	10	11,2	9,1	7,4	6,6	5,8	5,2	4,7	4,4	3,8	3,1
	25	12,8	10,3	8,5	7,7	6,9	6,1	5,7	5,1	4,4	3,7
	50	14,1	11,3	9,5	8,5	7,7	6,9	6,2	5,8	5,0	4,1
	100	15,2	12,2	10,3	9,3	8,5	7,7	6,9	6,5	5,5	4,7

TABLA 2.402.701.B
INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO (mm/h)(CONT.)

Estación pluviográfica	Período de retorno (años)	Duración (horas)									
		1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Santiago- San Joaquín	10	11,38	8,91	6,96	6,25	5,53	5,04	4,31	4,19	3,71	3,04
	25	13,46	10,40	8,15	7,37	6,58	6,06	5,18	5,09	4,56	3,77
	50	15,00	11,51	9,03	8,21	7,36	6,81	5,83	5,76	5,20	4,31
	100	16,52	12,60	9,90	9,04	8,14	7,57	6,47	6,43	5,83	4,85
Pirque	10	10,50	8,58	7,43	6,56	6,02	5,58	5,14	4,80	4,43	4,04
	25	12,18	9,84	8,57	7,55	7,01	6,55	6,08	5,68	5,34	4,96
	50	13,43	10,78	9,42	8,28	7,75	7,28	6,77	6,34	6,02	5,65
	100	14,67	11,71	10,25	9,01	8,48	8,00	7,46	6,99	6,69	6,33
Melipilla	10	11,65	10,36	8,63	7,76	6,86	6,22	5,64	5,31	4,81	4,11
	25	14,34	12,66	10,51	9,48	8,39	7,64	6,95	6,57	6,01	5,16
	50	16,34	14,37	11,90	10,76	9,52	8,69	7,91	7,50	6,90	5,94
	100	18,33	16,07	13,28	12,02	10,65	9,73	8,87	8,43	7,78	6,71
Rapel	10	15,09	11,90	8,69	8,04	7,19	6,57	6,16	5,70	5,22	4,26
	25	17,56	13,84	9,98	9,42	8,42	7,75	7,33	6,84	6,38	5,20
	50	19,40	15,28	10,94	10,43	9,34	8,62	8,20	7,68	7,23	5,90
	100	21,22	16,71	11,89	11,44	10,25	9,49	9,06	8,52	8,08	6,60
Llallauquén	10	14,24	11,09	8,87	7,38	6,38	5,72	5,20	4,82	4,25	3,68
	25	17,34	13,14	10,48	8,69	7,56	6,84	6,26	5,84	5,17	4,55
	50	19,64	14,66	11,67	9,67	8,42	7,67	7,05	6,59	5,85	5,19
	100	21,93	16,17	12,85	10,63	9,29	8,50	7,83	7,34	6,53	5,82
San Fernando	10	18,43	15,98	13,11	11,34	10,23	9,53	8,87	8,24	7,37	6,51
	25	22,13	19,03	15,60	13,47	12,15	11,37	10,63	9,90	8,93	7,98
	50	24,88	21,30	17,45	15,04	13,58	12,74	11,94	11,14	10,08	9,07
	100	27,61	23,55	19,28	16,60	14,99	14,10	13,24	12,36	11,23	10,16
Curicó	10	14,91	11,24	8,86	7,65	6,91	6,44	6,02	5,67	5,02	4,20
	25	17,83	13,09	10,19	8,79	7,96	7,47	7,00	6,63	5,89	4,95
	50	20,00	14,47	11,19	9,64	8,74	8,23	7,72	7,34	6,54	5,50
	100	22,16	15,83	12,17	10,48	9,52	8,98	8,44	8,05	7,19	6,04
Colbún en Colorado	10	26,3	20,7	15,7	14,5	13,9	12,6	12,1	11,1	9,8	8,9
	25	31,7	24,6	18,7	17,4	16,9	15,2	14,6	13,3	11,9	10,9
	50	35,8	27,6	20,9	19,6	19,1	17,1	16,5	14,9	13,4	12,5
	100	39,8	30,5	23,1	21,7	21,3	19,0	18,3	16,6	14,8	13,9
Armerillo	10	26,20	23,32	20,65	19,43	18,41	17,56	16,60	15,54	14,36	12,96
	25	29,89	26,49	23,58	22,38	21,38	20,48	19,44	18,20	16,92	15,45
	50	32,63	28,85	25,75	24,58	23,57	22,65	21,54	20,18	18,83	17,30
	100	35,35	31,18	27,91	26,75	25,75	24,80	23,63	22,14	20,71	19,13
Chillán	10	17,46	14,36	11,26	9,38	8,26	7,41	6,81	6,58	6,24	5,53
	25	19,99	16,42	12,99	10,76	9,43	8,50	7,82	7,66	7,42	6,66
	50	21,87	17,94	14,28	11,78	10,30	9,31	8,56	8,45	8,29	7,49
	100	23,73	19,45	15,55	12,80	11,16	10,11	9,31	9,25	9,16	8,33
Concepción	10	19,90	15,58	10,25	8,41	7,44	6,71	6,12	5,64	5,17	4,33
	25	23,56	18,32	11,57	9,51	8,43	7,64	7,04	6,53	6,09	5,10
	50	26,28	20,34	12,54	10,31	9,16	8,33	7,72	7,19	6,78	5,68
	100	28,97	22,35	13,51	11,12	9,89	9,01	8,40	7,85	7,45	6,25
Polcura en Balseadero	10	17,78	14,65	12,44	11,04	10,10	9,31	8,72	8,26	7,42	6,56
	25	20,19	16,49	14,06	12,42	11,38	10,53	9,89	9,39	8,46	7,54
	50	21,98	17,86	15,26	13,44	12,33	11,43	10,76	10,23	9,22	8,27
	100	23,75	19,21	16,45	14,45	13,27	12,33	11,62	11,06	9,99	8,99

TABLA 2.402.701.B
INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO (mm/h) (CONT.)

Estación pluviográfica	Período de retorno (años)	Duración (horas)									
		1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Quilaco	10	20,40	15,72	11,32	9,21	8,19	7,46	6,83	6,42	5,93	5,04
	25	23,95	18,26	12,99	10,56	9,45	8,65	7,96	7,50	7,01	6,01
	50	26,58	20,15	14,23	11,57	10,38	9,54	8,79	8,30	7,81	6,73
	100	29,19	22,02	15,47	12,56	11,31	10,41	9,62	9,10	8,60	7,44
Temuco	10	16,74	13,13	10,27	8,11	6,84	5,94	5,38	4,91	4,14	3,40
	25	19,66	15,29	11,97	9,36	7,90	6,86	6,24	5,71	4,81	3,96
	50	21,82	16,88	13,24	10,29	8,68	7,54	6,87	6,29	5,31	4,38
	100	23,97	18,47	14,50	11,21	9,46	8,22	7,51	6,88	5,80	4,80
Pullinque	10	16,34	13,38	10,81	9,34	8,21	7,56	7,08	6,72	6,11	5,41
	25	18,30	15,20	12,36	10,77	9,42	8,68	8,18	7,80	7,15	6,38
	50	19,75	16,55	13,51	11,83	10,31	9,52	8,99	8,61	7,91	7,10
	100	21,19	17,90	14,66	12,88	11,20	10,35	9,80	9,41	8,67	7,82
Valdivia	10	15,51	10,96	9,34	8,65	7,93	7,18	6,72	6,34	5,90	4,95
	25	18,14	12,12	10,42	9,78	9,10	8,29	7,81	7,42	7,00	5,92
	50	20,09	12,98	11,22	10,63	9,97	9,11	8,63	8,23	7,81	6,65
	100	22,03	13,84	12,02	11,47	10,83	9,93	9,43	9,02	8,61	7,37
Osorno	10	15,90	13,24	9,89	7,92	6,45	5,51	5,00	4,67	4,04	3,29
	25	18,79	15,78	11,82	9,37	7,54	6,40	5,84	5,50	4,79	3,94
	50	20,94	17,66	13,24	10,44	8,35	7,07	6,46	6,11	5,35	4,42
	100	23,06	19,53	14,66	11,51	9,15	7,73	7,08	6,72	5,91	4,89
Ensenada	10	21,30	15,04	11,25	9,95	8,66	7,80	7,30	6,84	6,16	5,35
	25	25,05	17,32	12,87	11,58	10,08	9,06	8,51	7,99	7,27	6,39
	50	27,83	19,00	14,07	12,79	11,14	10,00	9,40	8,84	8,10	7,16
	100	30,60	20,67	15,27	13,99	12,19	10,92	10,29	9,69	8,91	7,93
Puerto Montt	10	15,36	12,54	8,46	7,29	6,40	5,79	5,40	5,11	4,54	3,85
	25	17,85	14,61	9,61	8,37	7,42	6,77	6,35	6,04	5,41	4,63
	50	19,70	16,15	10,47	9,18	8,18	7,49	7,05	6,73	6,06	5,21
	100	21,54	17,67	11,32	9,98	8,93	8,21	7,74	7,42	6,70	5,79
Lago Chapo	10	15,24	12,81	11,13	10,01	9,27	8,84	8,51	8,12	7,51	6,59
	25	17,32	14,43	12,69	11,45	10,69	10,33	10,05	9,65	9,08	8,01
	50	18,87	15,63	13,85	12,51	11,75	11,43	11,20	10,78	10,23	9,07
	100	20,41	16,82	15,00	13,57	12,80	12,53	12,33	11,91	11,38	10,12
Canutillar en Portezuelo	10	20,87	19,47	16,19	14,27	13,06	12,09	11,05	10,32	8,91	8,04
	25	23,67	22,38	18,40	16,23	14,86	13,81	12,58	11,75	10,07	9,23
	50	25,75	24,54	20,04	17,68	16,20	15,09	13,72	12,82	10,92	10,11
	100	27,82	26,68	21,67	19,12	17,53	16,36	14,85	13,88	11,78	10,98
Chaitén	10	20,96	17,02	12,17	9,82	8,84	7,99	7,30	6,73	5,87	4,84
	25	25,00	20,25	14,25	11,43	10,38	9,32	8,48	7,80	6,83	5,68
	50	28,00	22,64	15,80	12,62	11,51	10,31	9,37	8,60	7,55	6,30
	100	30,97	25,02	17,34	13,80	12,64	11,30	10,24	9,39	8,27	6,92
Puerto Aysén	10	10,87	8,72	7,41	6,54	5,79	5,47	5,14	4,78	4,16	3,18
	25	12,59	9,89	8,41	7,43	6,55	6,25	5,95	5,57	4,88	3,71
	50	13,88	10,75	9,15	8,10	7,11	6,83	6,54	6,16	5,42	4,10
	100	15,15	11,61	9,89	8,76	7,67	7,40	7,14	6,74	5,95	4,49
Punta Arenas	10	8,58	6,97	5,19	4,34	3,94	3,47	3,07	2,79	2,32	1,79
	25	10,52	8,43	6,23	5,21	4,76	4,19	3,70	3,37	2,79	2,14
	50	11,95	9,52	7,00	5,87	5,36	4,72	4,17	3,79	3,15	2,40
	100	13,38	10,60	7,76	6,51	5,97	5,25	4,63	4,22	3,50	2,66

Esta expresión es válida para lluvias de 1 a 24 horas de duración en la zona estudiada. La aplicación del método sólo requiere realizar un análisis de frecuencia de las lluvias diarias, para calcular la lluvia máxima con 10 años de período de retorno y seleccionar los coeficientes de duración y de frecuencia que sean aplicables al lugar de interés. El procedimiento es utilizable en la zona central y sur de Chile y entrega estimaciones de lluvia razonables para diseños hidráulicos en áreas con información escasa. Igualmente, se puede hacer uso de los mapas preparados por la Dirección General de Aguas, para estimar las lluvias máximas diarias con 10 años de período de retorno en el lugar. En todo caso para los estudios definitivos se debe realizar un estudio de frecuencia de lluvias específicas, incluyendo la información estadística actualizada.

2.402.8 METODO RACIONAL

2.402.801 Procedimiento Tradicional. Este método, propuesto por Mulvaney en 1850, ha tenido y tiene bastante aplicación para estimar el caudal de diseño en cuencas urbanas y rurales pequeñas, debido a su evidente lógica, aún cuando tiene limitaciones teóricas. Ha sido recomendado para cuencas del orden de 1.000 há, (10 km²) pero se reportan casos de aplicación a cuencas del orden de 3.000 há (30 km²); en consecuencia, la aplicación de este método se limitará a cuencas cuyas áreas no superen las 2.500 há (25 km²). Si el área de la cuenca supera los 15 km² se recomienda subdividir el área aportante en zonas homogéneas como se ilustra en la Sección 3.702 del Volumen N° 3. Este método establece que el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y el tamaño de la cuenca aportante. Es decir el caudal máximo asociado a un determinado período de retorno se calcula con la siguiente expresión:

$$Q = CiA/3,6$$

En que:

- Q = caudal en m³/s
- C = coeficiente de escorrentía
- i = intensidad de la lluvia de diseño en mm/hr
- A = área aportante en km²

A pesar de la aparente facilidad y simplicidad del método la determinación adecuada del coeficiente de escurrimiento y de la intensidad de la lluvia de diseño, implica un cuidadoso y juicioso análisis en cada caso.

La intensidad de la lluvia de diseño corresponde a aquélla con una duración igual al tiempo de concentración del área y con una frecuencia o período de retorno compatible con la importancia y trascendencia de la obra. El tiempo de concentración se define como el tiempo que demora el agua hidráulicamente más alejada en llegar al punto de salida. Su estimación se realiza en base a fórmulas empíricas, desarrolladas para distintos casos particulares. Es usual que estas expresiones empíricas al ser aplicadas a una situación particular produzcan resultados bastante diferentes, y el proyectista deberá usar su experiencia y criterio para seleccionar el valor más adecuado. En la Sección 3.702 del Volumen N° 3 se entregan tablas de coeficientes para condiciones rurales y urbanas, algunas de las cuales se presentan aquí en la Tabla 2.402.801.A.

Adoptado una frecuencia o período de retorno y seleccionada la duración de diseño, puede estimarse la intensidad de la lluvia recurriendo a la familia de curvas IDF representativas del lugar de interés.

El coeficiente de escorrentía depende de las características del terreno, uso y manejo del suelo, condiciones de infiltración y otros factores difíciles de cuantificar. Para elegir el valor más apropiado se recurre a tablas y a la experiencia y criterio del proyectista.

Al aplicar este procedimiento es preciso tener presente sus hipótesis y limitaciones. El método supone que el coeficiente de escurrimiento es constante para las distintas tormentas, lo cual es más valedero para tormentas intensas donde una gran parte de la superficie tiende a saturarse y a comportarse como área impermeable. Se supone que la frecuencia de la lluvia de diseño es igual a la frecuencia del escurrimiento máximo, lo cual supone que el coeficiente de escorrentía es constante. Se supone que la situación de lluvia más crítica es aquélla con duración igual al tiempo de concentración. La importancia de esta restricción puede analizarse simulando los caudales estimados para varias situaciones. La estimación del tiempo de concentración mediante fórmulas empíricas extrapoladas a situaciones diferentes a las condiciones en que ellas se derivaron, puede originar errores significativos.

TABLA 2.402.801.A
TIEMPOS DE CONCENTRACION

Autor	Expresión	Observaciones
California Culverts Practice (1942)	$T_c=56,867(L^3/H)^{0,385}$	Cuencas de montaña
Izzard (1946)	$T_c=525,28(0,0000276i+c)L_s^{0,33}/(i^{0,667} \cdot S^{0,333})^{(1)}$	Experimentos de laboratorio
Federal Aviation Agency (1970)	$T_c=3,26(1,1-C)L^{0,5}(100S)^{0,33}$	Aeropuertos
Morgali y Linsley (1965)	$T_c=7L_s^{0,6}n^{0,6}/(i^{0,4}S^{0,3})^{(1)}$	Flujo superficial
SCS(1975)	$T_c=258,7L^{0,8}((1000/CN)-9)^{0,7}/1900S^{0,5}$	Cuencas rurales

Notación:

- T_c = tiempo de concentración (min)
- L_s = longitud de escurrimiento superficial (m)
- L = longitud cauce (km)
- S = pendiente (m/m)
- H = diferencia de alturas en cuenca (m)
- i = intensidad de lluvia (mm/h)
- C = coeficiente de escurrimiento
- CN = curva número
- n = rugosidad superficial de Manning

1. Ref: Viessman et al. (1977), California Highway Manual (1997)

2.402.802 Método Racional Modificado. Este método es una extensión del procedimiento racional para lluvias que tengan una duración mayor que el tiempo de concentración del área, y tiene como objetivo contar con un hidrograma y no sólo con una estimación del gasto de punta. De esta forma, se puede emplear el procedimiento racional en situaciones que necesitan hidrogramas, tales como para dimensionar embalses de detención de las aguas lluvias.

Se supone que la forma del hidrograma es trapezoidal con rectas de ascenso y de recesión con duraciones iguales al tiempo de concentración. De esta manera el hidrograma aumenta linealmente hasta alcanzar el gasto máximo para el tiempo igual al de concentración. Luego el caudal permanece constante hasta el instante en que termina la lluvia. La última rama es lineal y el caudal disminuye hasta un valor nulo. Procediendo de esta manera se calculan hidrogramas para diferentes duraciones de lluvia, dado que para cada duración se utiliza la intensidad de lluvia correspondiente a dicha duración seleccionada de la curva IDF. Cuando la duración elegida es igual al tiempo de concentración el hidrograma se transforma en un triángulo isósceles.

2.402.9 METODO DEL SCS

Otro procedimiento recomendable para estimar los gastos máximos en cuencas rurales y urbanas, así como la forma del hidrograma correspondiente, es el desarrollado por el Soil Conservation Service de Estados Unidos, método conocido como procedimiento de la curva número. Esta metodología cuenta con dos etapas o pasos: calcular el volumen escurrido o lluvia efectiva y estimar el caudal máximo y la forma del hidrograma de la crecida.

2.402.901 Determinación del Volumen. El volumen escurrido, expresado en unidades de altura de agua (pulg), o lluvia efectiva (Q), se calcula en función de la lluvia (P), del potencial máximo de retención de agua (S) y de las pérdidas iniciales (I_a), las cuales se estiman en un 20% del potencial máximo, por medio de la siguiente expresión:

$$Q = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S}$$

El potencial máximo de retención de agua es función de la curva número y se calcula como sigue:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

El factor CN o curva número depende del tipo de suelo, de la naturaleza y cobertura del suelo y las condiciones previas de humedad. El Soil Conservation Service ha publicado extensas y amplias investigaciones sobre este factor y presenta tablas para seleccionar el valor más representativo de cada situación. La Tabla 2.402.901.A incluye las condiciones rurales y urbanas más corrientes.

(1) En estos casos se debe resolver el sistema de ecuaciones para "T_c" e "i", con "i" a partir de la Curvas IDF del lugar, en que la frecuencia "T" es un dato del problema.

TABLA 2.402.901.A
VALORES DE CURVAS NUMERO PARA AREAS RURALES Y URBANAS

Cobertura superficie	% impermeable	Grupo de suelo			
		A	B	C	D
Desarrollado :					
Prados y parques					
pasto < 50%		68	79	86	89
pasto 50%-75%		49	69	79	84
pasto > 75%		39	61	74	80
Areas impermeables:					
Estacionamientos pavimentados		98	98	98	98
Calles y caminos:					
Pavimentados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89
Zonas rurales:					
Praderas		68	79	86	89
Arbustos y pastos naturales		48	67	77	83
Cultivos en hileras		67	78	85	89
Bosques y praderas		43	65	76	82
Residencial:					
sitios 500 m ² o menor	65	77	85	90	92
sitios 1000 m ²	38	61	75	83	87
sitios 2000 m ²	25	54	70	80	85
sitios 5000 m ²	20	51	68	79	84
sitios 10000 m ²	12	46	65	77	82
Areas urbanas en desarrollo:					
Areas nuevas poca vegetación		77	86	91	94

Ref: Soil Conservation Service (1972).

La infiltración del terreno varía bastante en función de la permeabilidad del suelo y las condiciones de la superficie. El método distingue 4 tipos de suelos (A, B, C y D). El suelo de tipo A corresponde a suelos arenosos o limo-arenosos con bajo potencial de escurrimiento. Son suelos con buen drenaje y conductividades hidráulicas del orden de 7 mm/h. Los suelos tipo B tienen tasas de infiltración moderadas y son de tipo limoso. Sus conductividades hidráulicas son del orden de 3 a 6 mm/h. Los suelos C tienen baja capacidad de infiltración cuando están saturados y son limos arcillosos con algo de arena. Finalmente los suelos tipo D tienen un alto potencial de escurrimiento y pequeña infiltración. Están formados fundamentalmente por suelos finos arcillosos o limosos, con conductividades hidráulicas del orden de 1 mm/h.

2.402.902 Estimación de la Forma y del Gasto Máximo. El SCS propone también el uso de un hidrograma triangular que se asemeja a una curva de hidrograma adimensional derivado a partir de muchos hidrogramas calculados. Esta simplificación permite estimar el valor máximo del caudal, el tiempo de base y el tiempo al máximo, lo cual define totalmente la forma del hidrograma y su valor máximo. Este hidrograma tiene una zona de ascenso que corresponde aproximadamente al 37% del volumen escurrido. El tiempo de base y el tiempo al máximo se pueden estimar en base al tiempo de concentración de la cuenca. Las expresiones propuestas son las siguientes:

$$q_p = 0,75Q/T_p = 1,12Q/T_c$$

$$T_b = 2,67T_p = 1,8T_c$$

$$T_p = 0,67T_c$$

en que:

q_p	=	caudal máximo
T_c	=	tiempo de concentración
T_b	=	tiempo de la base del hidrograma
T_p	=	tiempo al máximo
Q	=	volumen escurrido expresado en altura de aguas

Las expresiones anteriores permiten calcular la forma del hidrograma conocido el volumen escurrido y el tiempo de concentración.

2.402.10 HIDROGRAMAS UNITARIOS

2.402.1001 Hidrogramas Unitarios. Se denomina hidrograma a la curva que expresa la variación del caudal con el tiempo. Esta curva sintetiza la respuesta de la cuenca frente a la acción conjunta de las características geomorfológicas y climatológicas sobre ella. Este hidrograma de escurrimiento puede dividirse en dos componentes principales, la respuesta rápida, o escurrimiento directo, y la respuesta lenta, asociada al agua subterránea. El primero representa el agua que escurre superficialmente hacia el cauce natural, la cual se incorpora rápidamente al río poco después de la lluvia. El segundo constituye el aporte del agua subterránea a la sección del río que define la cuenca y representa la escorrentía que se mantiene durante el período sin lluvias.

Hidrograma unitario es el escurrimiento superficial resultante de una lluvia efectiva de magnitud unitaria (1 mm), de intensidad constante, uniformemente distribuida sobre toda la cuenca y de una duración dada. El concepto fue propuesto por Sherman en 1932 y a la fecha sigue siendo un procedimiento ampliamente utilizado en los estudios hidrológicos. Supone una respuesta lineal de la cuenca frente a distintos estímulos de lluvia y constituye una metodología indirecta y determinística para estimar la escorrentía superficial que produce una lluvia efectiva conocida.

En la determinación del hidrograma unitario uno de los mayores problemas es estimar la lluvia efectiva, o sea, la cantidad de agua que realmente escurre y, por consiguiente, calcular la proporción de la lluvia que se infiltra. Para ello es necesario definir la capacidad de infiltración o cantidad máxima de agua por unidad de tiempo, que el suelo es capaz de absorber bajo ciertas condiciones, la cual, en general, disminuye con el tiempo para una lluvia dada. Un suelo inicialmente seco tiene una alta capacidad de infiltración, y al humedecerse la capacidad de infiltración disminuye, tendiendo a un valor constante.

Para estimar la escorrentía a partir de la lluvia se utilizan métodos indirectos, constituidos por tres etapas secuenciales de transformación, cada una de las cuales representa un fenómeno físico del proceso. La primera representa el proceso de infiltración para estimar la lluvia efectiva a partir de la precipitación total, la segunda corresponde a la transformación de la lluvia efectiva en escorrentía directa o superficial, y la tercera requiere estimar la escorrentía subterránea o base para agregar al escurrimiento directo y obtener el hidrograma total.

En este contexto el hidrograma unitario es un modelo determinístico del escurrimiento, y constituye un operador que transforma la lluvia efectiva que cae sobre la cuenca para producir el hidrograma de escurrimiento superficial.

Las hipótesis principales del método del hidrograma unitario son las siguientes. En primer lugar, supone que el hidrograma de la crecida correspondiente a una cierta lluvia, refleja todo el conjunto de características físicas de la cuenca (forma, tamaño, pendiente, suelos, vegetación, etc.), las cuales se suponen invariantes en el tiempo. En segundo lugar, supone una distribución homogénea de la lluvia tanto en el espacio como en el tiempo. Por último, supone la constancia del tiempo base del hidrograma unitario para lluvias efectivas de la misma duración, así como la proporcionalidad entre las ordenadas del hidrograma y el volumen escurrido.

Las hipótesis anteriores no se satisfacen plenamente en las condiciones reales. En primer lugar, hay una variación estacional de la vegetación que puede cambiar la infiltración sustancialmente. El mismo efecto tiene el manejo del suelo en zonas agrícolas. La variación espacial de la lluvia efectiva puede producir cambios apreciables en la forma del hidrograma resultante y, por consiguiente, los hidrogramas unitarios para lluvias de la misma duración, distribución en el tiempo y magnitud, pero de distribución espacial distinta, son diferentes. En cuencas con régimen de precipitación principalmente orográfico, aunque la distribución espacial de la lluvia no sea uniforme, la configuración general se mantiene constante de una tormenta a otra y ello minimiza estos efectos. Lo anterior lleva a limitar la aplicación del método a cuencas con áreas menores de 4.000 km² (Linsley, 1977), con el fin de conseguir minimizar el efecto de los inconvenientes señalados.

En relación a la tercera hipótesis es conveniente, desde el punto de vista práctico, desarrollar hidrogramas unitarios seleccionando tormentas de corta duración, ya que éstas serán en general más intensas y con mayores posibilidades de uniformidad temporal. Al variar la intensidad de la lluvia efectiva en forma importante, tienden a producirse cambios y distorsiones en la forma del hidrograma unitario.

La cuarta hipótesis establece que el tiempo base del hidrograma de escorrentía directa es prácticamente constante para lluvias efectivas de la misma duración. Es importante recalcar, sin embargo, que el tiempo base de un hidrograma de escorrentía directa es difícil de determinar exactamente, ya que depende del método empleado para separar los componentes del hidrograma. El tiempo base de un hidrograma unitario variará directamente con la duración de la lluvia efectiva, a una mayor duración de la lluvia corresponderá un menor gasto máximo para el mismo volumen unitario de escorrentía. Por ello, teóricamente, es necesario calcular un hidrograma unitario para cada duración posible de lluvia efectiva. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, el efecto de las variaciones de duración no es tan significativo y se puede aceptar una tolerancia de + - 25% en la duración establecida para el hidrograma unitario, es decir, si se tiene un hidrograma unitario de una duración de 4 horas, el mismo hidrograma puede ser usado para lluvias efectivas con duraciones comprendidas entre 3 y 5 horas (Espíldora, 1987).

La quinta hipótesis se refiere al principio de linealidad o superposición. La teoría del hidrograma unitario supone que las cuencas se comportan como sistemas lineales, es decir, las ordenadas homólogas o correspondientes de los hidrogramas de escorrentía directa, son directamente proporcionales a los correspondientes volúmenes de precipitación efectiva. Un hidrograma unitario corresponde, por lo tanto, a un operador lineal que actúa sobre una lluvia efectiva de cierta duración, distribución espacial y temporal, para transformarla linealmente en el hidrograma de escorrentía directa. Esta hipótesis de transformación lineal en estricto rigor no tiene por qué cumplirse, ya que la complejidad y heterogeneidad de las cuencas y su comportamiento variable frente a distintas características del régimen de lluvias, producen en la realidad una transformación no lineal de la lluvia efectiva en escorrentía directa.

Desde un punto de vista teórico, las únicas hipótesis necesarias para la teoría general del hidrograma unitario son las de linealidad y las de invariabilidad, no siendo las demás hipótesis tan esenciales al método. Como las características físicas de la hoya hidrográfica se suponen constantes, (hipótesis de invariabilidad) se puede esperar que tormentas semejantes den origen a hidrogramas unitarios parecidos.

Si se calcula el hidrograma unitario en base a una sola tormenta existe una incertidumbre en la estimación, por lo cual es aconsejable promediar varios hidrogramas unitarios provenientes de tormentas que tengan la misma duración. Por ello, para obtener el hidrograma unitario representativo de la cuenca, se calcula el caudal máximo como el promedio de los valores máximos de los hidrogramas unitarios elegidos y el tiempo promedio de los máximos de los hidrogramas unitarios, dibujándose un hidrograma unitario promedio siguiendo la forma de los otros hidrogramas y pasando por el punto máximo calculado.

Este párrafo describe dos procedimientos para calcular el hidrograma unitario. El primero supone una tormenta de intensidad constante en el tiempo y el segundo es apropiado para tormentas con intensidad variable en el tiempo. Una dificultad para la aplicación de ambos métodos es la obtención de la lluvia efectiva, la cual es esencialmente variable en el espacio y en el tiempo, no contándose normalmente con información suficiente para estimarla adecuadamente.

2.402.1001(1) Método Convencional. El procedimiento convencional, supone que el hidrograma de escurrimiento proviene de una tormenta uniforme de intensidad constante. Por consiguiente, basta con restar del hidrograma de escurrimiento total el flujo base y, posteriormente, calcular el volumen escurrido, representado por el área bajo la curva del hidrograma. Una vez calculado el volumen, se expresa como milímetros escurridos, dividiendo el volumen total escurrido superficialmente por el área de la cuenca aportante y se expresa en mm. El hidrograma unitario se obtiene dividiendo cada una de las ordenadas del hidrograma total por el número de mm escurridos.

En el Numeral 2.405.301(1), a través de un ejemplo, se ilustra el empleo del método convencional.

2.402.1001(2) Método Matricial. Una buena estimación de las ordenadas del hidrograma unitario puede derivarse del sistema de ecuaciones que minimiza la suma de los cuadrados de las desviaciones entre las ordenadas del escurrimiento superficial y las calculadas mediante la aplicación del hidrograma unitario a la lluvia efectiva en los distintos intervalos. El procedimiento se puede plantear en forma matricial y las ordenadas del hidrograma unitario se obtienen como solución de un sistema de ecuaciones, análogo al denominado ecuaciones normales del problema de regresión por mínimos cuadrados. Adicionalmente, en este caso, a la matriz de coeficientes se suma a una matriz identidad amplificada por un factor, con el objeto de amortiguar las oscilaciones que tienden a producirse.

Cuando se tienen valores para tiempos discretos de la precipitación efectiva, del caudal superficial observado y de las ordenadas del hidrograma unitario, la relación de convolución se expresa mediante la siguiente sumatoria:

$$Q_j = \sum p_i u_{j-i+1} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

En que:

Qj = caudal observado en instante j
 pi = precipitación efectiva en instante i
 uj = ordenada del hidrograma unitario en instante j

Esta relación da origen a un conjunto de ecuaciones lineales para determinar las ordenadas del hidrograma unitario, conociendo la lluvia efectiva y el caudal superficial observado. Las ecuaciones pueden presentarse en una forma matricial para facilitar la solución del sistema de ecuaciones (Bruen y Dooge, 1984).

En estricto rigor, el número de elementos del vector que representa las ordenadas del hidrograma unitario, debe ser igual al número de ordenadas del caudal superficial observado menos el número de intervalos de lluvia efectiva más uno. Así la base del hidrograma unitario será consistente con la duración del hidrograma de lluvia efectiva y con el tiempo base del hidrograma superficial observado.

En la práctica, el cálculo de las ordenadas del hidrograma unitario se complica debido a errores inherentes a la medición de lluvias y caudales, y debido a las aproximaciones e incertidumbre de los métodos para estimar la lluvia efectiva y para calcular el escurrimiento superficial a partir de los registros observados. Si el sistema de ecuaciones fuese absolutamente consistente, bastaría con seleccionar un sub-conjunto de ecuaciones para encontrar todas las componentes del vector incógnita. Sin embargo, por las razones mencionadas, es necesario contar con un número mayor de ecuaciones y formular un problema de optimización sin restricciones.

Una forma típica de obtener una solución a este problema es imponer la condición de minimizar la suma de los cuadrados de los errores entre el caudal superficial observado y el calculado. De esta manera, el vector solución se puede obtener multiplicando el inverso de la matriz $P^T P$ por el vector $P^T Q$.

Es frecuente que la matriz $P^T P$ tenga una condición numérica poco adecuada, lo que tiende a producir inestabilidades y valores negativos en el vector solución, hecho sin una realidad física. Para amortiguar este problema y eliminar las oscilaciones y valores negativos, Kunchment (1967) sugirió incorporar un factor amortiguador en las ecuaciones normales y obtener una solución sesgada, pero estable, de modo que las ordenadas del hidrograma son la solución del siguiente sistema de ecuaciones:

$$u = (P^T P + KI) - P^T Q$$

En general, existen rutinas de cálculo que resuelven el problema y entregan las ordenadas del hidrograma unitario.

A través de un ejemplo, en el Numeral 2.405.301(2) se ilustra el empleo del método matricial.

2.402.1002 Hidrogramas Unitarios Sintéticos. Ante la ausencia de registros fluviométricos, pueden determinarse las características del hidrograma unitario estableciendo una analogía con otras zonas con registros. Así, se han derivado expresiones empíricas para estimar las propiedades del hidrograma unitario en función de la geometría y topografía de la cuenca.

Las relaciones aplicables a cuencas chilenas ubicadas en la zona central y sur, con áreas comprendidas entre 80 km² y 4.500 km² son las siguientes:

Zona Aconcagua - Maule

$$t_p = 0,386 \left(\frac{L \cdot l_g}{\sqrt{S}} \right)^{0,397}$$

$$q_p = 355 t_p^{-1,22}$$

$$B = 2,7 t_p^{1,104}$$

Zona Itata - Chamiza

$$t_p = 1,315 \left(\frac{L \cdot l_g}{\sqrt{S}} \right)^{0,241}$$

$$q_p = 171,3 t_p^{-0,829}$$

$$B = 5,45 t_p^{0,714}$$

en que:

t_p	=	tiempo de retraso en horas.
q_p	=	valor máximo de hidrograma unitario de una lluvia efectiva de 1 mm en l/s/km ² .
B	=	base del hidrograma en horas.
L	=	longitud del cauce principal en km.
l_g	=	longitud desde el centroide de la cuenca al punto del control en km.
S	=	pendiente media de la cuenca en por uno.

El valor de la pendiente media de la cuenca se ha definido con la expresión siguiente:

$$S = \frac{h}{A} \left[\frac{l_2}{2} + \left(\sum_{i=1}^{n-1} l_i \right) + \frac{l_n}{2} \right]$$

en que:

- S = pendiente en por uno (m/m)
- A = área de la cuenca (m²)
- h = altura en metros entre las curvas de nivel
- li = longitud de la curva de nivel i en metros

Estos valores pueden obtenerse de las cartas a escala 1:250.000 ó 1:50.000 publicadas por el Instituto Geográfico Militar.

Las relaciones anteriores son válidas para hidrogramas unitarios correspondientes a lluvias de duración en horas iguales a 0,18 veces el tiempo de retraso de la cuenca. Este se define como el lapso transcurrido entre el centroide de la cuenca y el tiempo para el cual se produce el máximo del hidrograma. Para otras duraciones de lluvia el tiempo de retraso se corrige, agregándole un cuarto de la diferencia entre la nueva duración de lluvia y la anteriormente calculada. Este tiempo de retraso corregido se usa para determinar los valores máximos y la base del hidrograma.

Las expresiones mencionadas permiten calcular el caudal máximo, el instante en que éste se produce y el tamaño de la base del hidrograma. Para estimar la forma completa de la curva pueden utilizarse los coeficientes de distribución de la Tabla 2.402.1002.A, que expresan la razón entre el caudal en cualquier instante y el máximo en función de la razón entre el tiempo considerando y el tiempo de retraso.

TABLA 2.402.1002.A
COEFICIENTES DE DISTRIBUCION PARA EL
HIDROGRAMA UNITARIO SINTETICO

Razón t/t _p	Razón q/q _p
0	0
0,30	0,2
0,50	0,4
0,60	0,6
0,75	0,8
1,00	1,0
1,30	0,8
1,50	0,6
1,80	0,4
2,30	0,2
2,70	0,1

Una vez determinado el hidrograma unitario, el escurrimiento proveniente de cualquier tormenta de duración igual a la correspondiente al hidrograma, puede obtenerse amplificando las ordenadas del hidrograma por el valor de la lluvia efectiva asociada al periodo de retorno de diseño expresada en mm. En el Numeral 2.405.302, a través de un ejemplo, se ilustra el empleo del hidrograma unitario sintético.

2.402.11 METODOS DGA

La Dirección General de Aguas presenta en el Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica (DGA, Agosto 1995) tres procedimientos para estimar crecidas en cuencas pluviales. Ellos corresponden a los métodos denominados DGA-AC, fórmula de Verni-King y al Método Racional Modificado.

El método DGA-AC es un procedimiento regional de crecidas para eventos pluviales, basado en el análisis de series anuales de caudales máximos diarios y máximos instantáneos registrados en 234 estaciones fluviométricas, ubicadas entre la III y la IX Región con áreas comprendidas entre 20 y 10.000 km². El procedimiento incluye expresiones empíricas para estimar las crecidas medias anuales, curvas adimensionales de frecuencia y factores para transformar las crecidas medias diarias en valores máximos instantáneos. El procedimiento a seguir consiste en estimar la crecida media

anual, seleccionar la curva adimensional que corresponda dependiendo de la ubicación del punto de interés y aplicar los factores de conversión para transformar los valores máximos diarios en valores máximos instantáneos. Es aplicable a crecidas con períodos de retorno menores a 100 años. Por ser el rango inferior de aplicación de 20 km², quedan fuera la gran mayoría de las cuencas en que basta con diseñar alcantarillas.

El procedimiento de Verni-King es una modificación al procedimiento propuesto originalmente por estos autores y sigue, en líneas generales, una metodología similar al procedimiento descrito y establece relaciones empíricas para estimar las crecidas medias anuales en función de la lluvia diaria y el área pluvial aportante. Al método original se ha agregado un coeficiente empírico variable con el período de retorno para ajustar los resultados a las crecidas registradas en 130 estaciones pluviométricas. El rango de variación de este coeficiente para la zona estudiada es de 0,027 a 0,89. También en este caso el método fue calibrado para cuencas extensas que superan el rango normal de las cuencas en que basta con diseñar alcantarillas y dicha mayor extensión puede ser la razón que justifique coeficientes de escorrentía tan bajos como 0,027.

En relación al método racional, se proponen coeficientes de escurrimiento en las distintas regiones para 10 años de período de retorno y coeficientes para adecuarlo a otras frecuencias. En este caso, para mantener la homogeneidad de criterios de diseño de las obras viales, el empleo del Método Racional se hará usando los coeficientes de escorrentía que figuran en las Tablas 3.702.403.A y B del MC-V3.

El Manual de la DGA sólo entrega antecedentes con relación al rango de tamaño de las cuencas usadas para encontrar los coeficientes empíricos de las fórmulas (entre 20 y 10.000 km²). Siendo este rango tan amplio, y dado que el tamaño es sólo uno de los factores que inciden en el volumen del escurrimiento y su distribución en el tiempo, según lo descrito en el Tópico 2.402.1, la generalización basada en coeficientes empíricos, en condiciones diferentes a las usadas en su desarrollo, puede llevar a estimaciones que podrían ser poco precisas en ciertas aplicaciones. En consecuencia, debido a la gran variedad de situaciones que se presentan al estimar las crecidas de diseño en las obras viales, pudiendo ser los casos particulares diferentes a las condiciones usadas para desarrollar las expresiones propuestas, es aconsejable que el empleo de estos procedimientos se reserve para hacer estimaciones preliminares, las que deberán ser verificadas en las etapas avanzadas del estudio, mediante los procedimientos recomendados en los Capítulos 2.400 y 3.700 de los Volúmenes N°2 y N° 3, respectivamente, de este Manual.

2.402.12 MODELOS DE SIMULACION

En las últimas décadas han aparecido muchos modelos de simulación del ciclo hidrológico de variado grado de complejidad. El rango va desde el método racional hasta el modelo SHE (Sistema Hidrológico Europeo) desarrollado como un esfuerzo conjunto de grupos de investigación daneses, ingleses y franceses. Este modelo incluye ecuaciones de flujo no permanente en la zona saturada y no saturada del suelo para representar el flujo superficial, y permite reflejar las variaciones espaciales de la precipitación, de la evaporación y de las características de infiltración del suelo. Lamentablemente, por su misma complejidad, requiere información detallada de terreno, la cual normalmente no está disponible.

Con el desarrollo y la divulgación de Internet algunas agencias estatales han colocado a disposición de la comunidad profesional y científica los modelos hidrológicos desarrollados, por lo cual la disponibilidad y accesibilidad de ellos ha aumentado en forma significativa. Algunos de los modelos más conocidos se describen brevemente a continuación.

HYDRAIN, modelo desarrollado en forma conjunta por la Federal Highway Administration y algunas agencias de diferentes Estados Unidos de Norteamérica. El modelo tiene módulos para estimar el escurrimiento de áreas rurales y urbanas. Cuenta para zonas rurales con el método racional, el modelo log-Pearson III, métodos basados en ecuaciones de regresión múltiple y del National Resource Conservation Service.

HEC-1 es un modelo desarrollado por el US Corps of Engineers que simula el escurrimiento superficial de una cuenca proveniente de un evento aislado de precipitación. El modelo puede calibrarse si se cuenta con eventos observados de lluvia y escorrentía. Entrega la respuesta de la cuenca, representada por un conjunto de componentes hidráulicos e hidrológicos.

HSP es un modelo del ciclo hidrológico que ha sido desarrollado a partir del modelo de Stanford, uno de los primeros modelos del ciclo hidrológico. Necesita como datos de entrada los registros de precipitación horaria y datos diarios de evaporación y caudales medios diarios para fines de calibración. Las versiones más recientes simulan también el transporte de sedimentos, la erosión y el transporte de contaminantes en los ríos.

TR-20 y TR-55 son modelos desarrollados por el National Resource Conservation Service de Estados Unidos de Norteamérica, que calculan el escurrimiento en una cuenca. Los modelos están basados en procedimientos del tipo de la curva número, descrito previamente en el Tópico 2.402.8.

2.402.13 CAUDAL DETRÍTICO

En el desarrollo de los estudios hidrológicos de cauces naturales, sean estos ríos, esteros o quebradas pertenecientes a una cuenca de la que se tenga conocimiento, antecedentes o registros de haber presentado un comportamiento aluvional ante crecidas de sus cauces o ante parámetros geomorfológicos que evidencien un comportamiento aluvional o de remoción en masa, es conveniente que el proyectista, realice además de los desarrollos que correspondan considerando el fenómeno como puramente hidrológico, hidráulico y geomorfológico otros análisis con modificaciones, adecuaciones, extrapolaciones, asociaciones y/o recomendaciones que procedan para el mismo escenario esta vez considerando el fenómeno de remoción en masa, como tamaño de cuenca de aporte al punto en estudio (cambios de isoterma cero), tipo y magnitud posible de oferta sedimentológica y/o de sólidos flotantes desde barro, ramas, árboles a rocas de varias toneladas de peso, cambios topográficos que el mismo evento induce al tramo de llegada a la estructura que se proyecta, tipo de solicitaciones distintas a la simplemente hidráulica que se prevean como impactos de sólidos, obstrucción total o parcial por acumulación de barro, troncos, etc., determinando la proposición de dimensiones, medidas no estructurales y modificaciones que proponga en sus diseños en cuanto a revancha, longitud de un puente, presencia de pilas dentro del cauce activo, estribos fuera del cauce, etc., cotas de terraplenes, dimensiones y composición de obras de defensa, faenas de canalización, etc.

Para lo anterior, es conveniente realizar una estimación de la concentración de sólidos que la cuenca aporte al escurrimiento basado en las características granulométricas, geomorfológicas, alimentación o agradación presente de sedimentos, cobertura vegetal, etc.

En base a esto, una forma de estimación es mediante las siguientes relaciones:

$$Q_D = Q_L + Q_S$$

$$Q_D = \frac{Q_L}{1 - Cv}$$

Donde,

Q_D = Caudal detrítico

Q_L = Caudal líquido

Q_S = Caudal sólido

Cv = Concentración volumétrica

2.402.14 LÍNEA DE NIEVE EN CUENCAS ALUVIONALES

En el diseño de estructuras que se emplacen en medios o cuencas que presenten un comportamiento aluvional y/o su geomorfología evidencie la factibilidad de un comportamiento aluvional o de remoción en masa, es importante estimar el rango de variación de la Línea de Nieve o isoterma cero, que impacta en la magnitud de la cuenca de aporte.

Estructuras como puentes, terraplenes, defensas fluviales, etc, originan expectativas de seguridad que generan pautas o condiciones al uso del suelo circundante; esto requiere especial atención en zonas con riesgo aluvional o de remoción en masa, donde es importante reconocer las trayectorias más probables para no emplazar en ellas estructuras sensibles, ni incentivar asentamientos humanos en terrenos con riesgos aluvional o de inundación

Para la determinación de caudales y volúmenes de escorrentía, el proyectista deberá considerar un análisis de sensibilidad que contemple diversos escenarios de Línea de Nieve en el rango en que ésta haya sido registrada en los últimos 10 años. Podrá consultar tanto en el Ministerio de Obras Públicas (MOP) o en el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin) si cuentan con estudios o antecedentes de la cuenca en análisis.

SECCION 2.403 PROCEDIMIENTOS Y TECNICAS HIDRAULICAS

2.403.1 ASPECTOS GENERALES

La mayor parte de las estructuras hidráulicas que se presentan en una carretera o camino tienen una condición de flujo en conductos abiertos. Este tipo de escurrimiento se caracteriza por tener una superficie libre, es decir sujeta a presión atmosférica como uno de los bordes del escurrimiento. Este hecho complica la solución de los problemas hidráulicos, debido a que la velocidad, altura de agua y caudal son funciones de la pendiente de fondo y de la superficie libre.

El escurrimiento en canales o en contornos abiertos se puede clasificar desde diferentes puntos de vista. Dependiendo si las características del escurrimiento (alturas, presiones, velocidades, caudales) varían o no en el tiempo, se habla de escurrimientos permanentes o escurrimientos no permanentes o transientes. Dependiendo de la variación de dichas características en el espacio o a lo largo de la canalización se habla de escurrimientos uniformes y variados. Por último, las variaciones pueden ser graduales o rápidas. Debido a que las variables tiempo y espacio son independientes, las clasificaciones anteriores pueden combinarse y tenerse, por ejemplo, un escurrimiento permanente gradualmente variado.

Adicionalmente, dependiendo de la razón entre las fuerzas de inercia, las de gravedad y las viscosas, se pueden distinguir otros tipos de comportamiento. Al considerar la razón entre las fuerzas debidas a la viscosidad del fluido y las inerciales puede definirse el número de Reynolds, y hablarse de flujos laminares, de transición o turbulentos. La mayor parte de los flujos que se producen en las obras viales son turbulentos. Por último si se considera la razón entre las fuerzas de gravedad y las de inercia, se puede definir el llamado número de Froude, dado por $Q^2L/g\Omega^3$ según se define más adelante, parámetro que permite distinguir entre los flujos de río o sub-críticos ($F < 1,0$), los críticos ($F = 1,0$) y los torrenciales o super críticos.

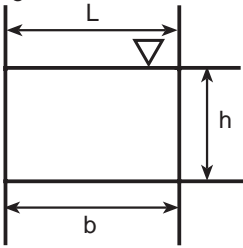
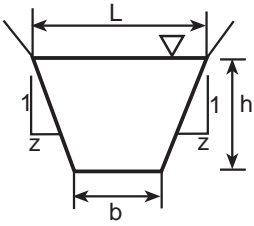
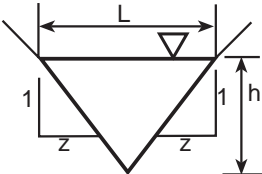
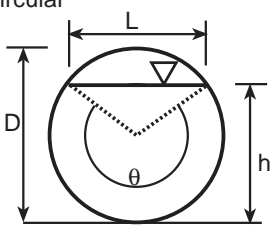
De acuerdo a su origen los cauces pueden ser naturales o artificiales. Los primeros tienen una sección recta irregular y los segundos son normalmente de sección geoméricamente regular, prismáticos y tienen una sección recta de forma rectangular, trapecial, triangular, circular o parabólica. Para calcular las propiedades del escurrimiento en un cauce se deben calcular o expresar algunas características geométricas en función de la altura de agua, o distancia vertical desde el punto más bajo de la sección recta a la superficie libre. Las características de interés son el área (Ω , superficie de la sección recta medida normalmente al flujo), el ancho superficial (L , ancho de la sección recta en la superficie libre), el perímetro mojado (χ , longitud de la intersección de la superficie mojada en el lecho con la sección recta), el radio hidráulico (R , razón entre el área y el perímetro mojado), y la profundidad media o profundidad hidráulica (D , razón entre el área y el ancho superficial). La Tabla 2.403.1.A resume las expresiones para calcular las magnitudes anteriores en función de la altura de agua (h) y de parámetros que definen la geometría de la sección recta, tales como el ancho (b), taludes ($1/z$, V/H), diámetro (D), ángulo al centro (θ), ancho superficial (l). En las corrientes naturales las magnitudes anteriores deben calcularse en función de las coordenadas que definen la sección recta del escurrimiento. Las características de secciones en forma de arco, herradura u ovoides pueden obtenerse de Domínguez (1974).

Es usual considerar que la distribución de presiones en la sección recta obedece a la ley de la estática de fluidos, es decir la presión varía linealmente con la profundidad. Este resultado es estrictamente válido cuando las líneas de flujo del escurrimiento son rectas y paralelas. Por otra parte, debido a la presencia de la superficie libre y a la existencia de roce o fricción en el fondo de la canalización, la distribución de las velocidades en la sección recta no es uniforme. La influencia de la falta de uniformidad en la distribución de velocidades, normalmente se toma en consideración introduciendo los coeficientes de Coriolis en la ecuación de energía y de Boussinesq en la ecuación de cantidad de movimiento. Sin embargo, es usual que se suponga que ambos coeficientes tienen un valor unitario.

2.403.2 ESCURRIMIENTO CRITICO

Este tipo de flujo se caracteriza por las siguientes propiedades: la energía específica es mínima para un caudal dado (energía por unidad de peso referida al fondo); el caudal es un máximo para un nivel de energía específica dado; la altura de velocidad ($V^2/2g$) es igual a la mitad de la profundidad hidráulica; la velocidad media del flujo es igual a la velocidad de propagación de ondas elementales de traslación y el número de Froude es unitario. En general, la presencia del escurrimiento crítico se refiere a una sección recta específica de la canalización, o sección crítica, sin embargo en ciertos casos se puede dar que un tramo del canal escurra con flujo crítico. El escurrimiento cerca de la condición de energía mínima es inestable y un pequeño cambio en la energía específica provoca un cambio significativo en la altura de aguas, y por consiguiente, en la velocidad del escurrimiento. Por ello, se recomienda que los diseños estén alejados al menos en 10% de la condición de crisis.

TABLA 2.403.1.A
ELEMENTOS GEOMETRICOS EN SECCIONES DE ESCURRIMIENTO

Sección	Area Ω	Perímetro Mojado χ	Radio Hidráulico R	Ancho Superficial L
Rectangular 	$b \cdot h$	$b + 2 \cdot h$	$\frac{b \cdot h}{b + 2 \cdot h}$	b
Trapecial 	$(b + z \cdot h) \cdot h$	$b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + z \cdot h) \cdot h}{b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2 \cdot z \cdot h$
Triangular 	$z \cdot h^2$	$2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + z^2}$	$\frac{z \cdot h}{2 \cdot \sqrt{1 + z^2}}$	$2 \cdot z \cdot h$
Circular 	$\frac{1}{8} \cdot (\theta - \text{sen } \theta) \cdot D^2$	$\frac{1}{2} \cdot \theta \cdot D$	$\frac{1}{4} \left\{ 1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta} \right\} \cdot D$	$\left[\text{sen} \left(\frac{\theta}{2} \right) \right] \cdot D$ o $2 \cdot \sqrt{h \cdot (D - h)}$

Ref. Chow (1959).

No obstante lo anterior, el escurrimiento crítico tiene importantes aplicaciones en la medición del caudal y en el control del flujo. Se aprovecha el escurrimiento crítico para medir el caudal, porque existe una relación bi-unívoca entre la altura del escurrimiento y el caudal. Adicionalmente, cuando se produce escurrimiento crítico la sección aísla el escurrimiento de variaciones que se produzcan hacia aguas abajo, ya que la crisis separa los escurrimientos de río de los de torrente.

En el escurrimiento crítico, las alturas de agua y las velocidades medias están ligadas por la condición de que el número de Froude sea unitario, lo cual implica que se cumplan las relaciones siguientes entre el caudal (Q), el ancho superficial (L), el área de sección (Ω) y la aceleración de gravedad (g):

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{\Omega}{2L}$$

$$\frac{Q^2}{\Omega^2 g} = \frac{\Omega}{L}$$

Luego
$$\frac{Q^2 L}{g \Omega^3} = 1$$

Dado que el área y el ancho superficial son funciones de la altura de aguas, la expresión anterior entrega una relación entre la altura de aguas y el caudal. Las condiciones críticas se obtienen al establecer la relación anterior para las diversas secciones analizadas en la Tabla 2.403.1.A.

En el Tópico 2.406.2, se ilustra a través de dos ejemplos el cálculo del escurrimiento crítico.

2.403.3 ESCURRIMIENTO UNIFORME

El flujo uniforme se desarrolla cuando las fuerzas de fricción en el lecho de la canalización, que son aquéllas que se oponen al movimiento, se equilibran con la componente paralela al fondo de las fuerzas de gravedad, que son aquéllas que producen el movimiento. En estos casos la velocidad media y la altura de agua permanecen inalteradas a lo largo de la canalización y la pendiente de la línea de energía es paralela al fondo del conducto. Por consiguiente el flujo uniforme se caracteriza por cumplir con las siguientes propiedades:

- a) La profundidad, área de la sección recta, velocidad media y caudal son constantes en cada sección del canal.
- b) La línea de energía, la pendiente del eje hidráulico y la pendiente de fondo son paralelas.

El escurrimiento uniforme se puede dar en canales prismáticos y en flujo permanente. En estricto rigor es raro que se produzca en canales naturales por las variaciones de la sección recta, pero se alcanzan estas condiciones en forma aproximadamente.

En el escurrimiento uniforme la velocidad media (V), cumple la llamada ecuación de Manning con el área de la sección (Ω), el radio hidráulico (R), la pendiente de fondo (i) y el coeficiente de rugosidad de Manning (n):

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2}$$

La elección del coeficiente de rugosidad adecuado requiere de experiencia y del conocimiento de los factores que influyen en este valor. Influyen el tamaño y forma de las partículas del fondo del lecho, la vegetación, la sinuosidad del cauce, el arrastre de sólidos, los obstáculos al escurrimiento, la forma y tamaño de la sección, la altura de aguas y el gasto. Existen tablas y referencias que ayudan al proyectista a elegir el valor más adecuado (ver Tabla 3.705.1.A del MC-V3), (Chow, 1964).

Una vez seleccionado el coeficiente de rugosidad, conocido el caudal y la forma de la sección recta, la expresión anterior permite calcular la altura de aguas y las demás propiedades de la sección

En el Tópico 2.406.3 se ilustra a través de un ejemplo el cálculo del escurrimiento uniforme.

2.403.4 FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

2.403.401 Planteamiento de las Ecuaciones. Se entiende por movimiento permanente gradualmente variado (MPGV) aquél en el cual las condiciones de escurrimiento (sección, velocidad media) son constantes en el tiempo, pero varían en forma paulatina a lo largo de la canalización, de modo que rija la ley hidrostática en cada sección. Las principales hipótesis para establecer las ecuaciones que rigen este tipo de escurrimiento son:

- Las pérdidas de carga (o la pendiente de la línea de carga) se puede estimar como si el movimiento fuera uniforme, utilizando las fórmulas de Chezy, Manning u otros. Aún cuando este hecho no está demostrado, la práctica y la validación experimental han confirmado su uso.
- El cauce es prismático, siendo, en consecuencia, constante la forma y alineación del lecho.
- Pendiente del canal pequeña, lo que implica que la vertical y la altura de agua coinciden, por lo tanto no hay factores de corrección para la presión ni incorporación de aire en el escurrimiento.
- La forma de la distribución de velocidades en las distintas secciones es constante, de modo que el coeficiente de energía cinética o de Coriolis se mantiene constante.
- El factor de rugosidad es constante y no depende de la altura de agua.

Considerando el coeficiente de Coriolis constante y una pendiente de fondo pequeña, de modo que la altura de agua medida verticalmente sea igual a la altura perpendicular al fondo, se puede expresar la energía por unidad de peso y su variación a lo largo de la canalización. En este caso, la variación de la carga total (energía por unidad de peso) según la dirección del flujo referida a un plano horizontal es:

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{d(d \cos \theta)}{dx} + \frac{d}{dx} \left(a \frac{V^2}{2g} \right)$$

Esta derivada es igual, con signo negativo, a la pérdida de carga por unidad de longitud, y corresponde a la pendiente de la línea de carga (J). Reemplazando en la expresión anterior la variación del fondo en función de la pendiente (i) y la variación de la velocidad en función de variaciones en el caudal (Q), se obtiene la ecuación básica que, una vez integrada, entrega las variaciones de la altura de agua (h) con la dirección del flujo. Interviene en la ecuación además el área (Ω), el ancho superficial (l) y la aceleración de gravedad (g).

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i - J}{1 - \frac{Q^2 L}{g \Omega^3}}$$

2.403.402 Trazado del Eje Hidráulico. Consiste en integrar la ecuación del movimiento permanente gradualmente variado de tal forma de conocer, en cualquier punto de la corriente, la altura de agua con que ésta escurre para un gasto dado, en un lecho de forma conocida. Para el trazado de un eje hidráulico se acostumbra seguir la siguiente pauta:

- Dibujar el perfil longitudinal del canal distorsionando las escalas vertical y horizontal. Dado que un canal es una obra esencialmente lineal se deberá tener una escala vertical mucho mayor que la horizontal, para hacer apreciables las fluctuaciones del eje hidráulico.
- En el perfil longitudinal se deben diferenciar los distintos tramos que se presentan, calculándose las respectivas alturas normales y críticas y procediéndose a graficarlas en el perfil. Estos tramos deberán ser suficientemente largos, de tal manera que no constituyan una singularidad.
- Ubicar posibles secciones de control, entendiéndose como tales aquellas secciones donde la altura de agua depende de consideraciones distintas a las del movimiento gradualmente variado, y que determinan puntos conocidos del eje hidráulico. Para los tramos en pendiente fuerte se ubicarán controles de agua arriba, y para tramos en pendiente suave se ubicarán controles de aguas abajo.
- Una vez separados los tramos, se traza cualitativamente el eje hidráulico, pues se conocerá el tipo de perfil en cada caso ayudándose de los puntos de control.

- Cálculo propiamente tal. En esta etapa, por alguno de los métodos que se verán a continuación, se calculan en cada tramo las alturas de agua asociadas a cada punto para un gasto dado. Para el cálculo del eje hidráulico se han desarrollado diversos métodos, los que se pueden clasificar como métodos gráficos, de integración directa y numéricos.

2.403.402(1) Puntos de Control y Puntos de Partida. Los puntos de control y de partida constituyen condiciones de borde para la integración de las ecuaciones. Las secciones de control o puntos de control, son aquellas secciones en que la altura de agua se calcula por consideraciones distintas a la ecuación del movimiento gradualmente variado. Los puntos de partida inicial son aquellas secciones de control en que independiente de lo que pase aguas arriba o aguas abajo producen una altura conocida del eje hidráulico, es decir representan los únicos puntos desde los cuales puede comenzar el cálculo. Los puntos de partida secundarios son puntos de control, en los cuales su comportamiento hidráulico depende del eje hidráulico en otros puntos y que, en consecuencia, se transforman en puntos de partida una vez que se conocen las condiciones que influyen en su funcionamiento (Por ejemplo, existe una compuerta con resalto rechazado o ahogado).

En general, los puntos de control están ligados a singularidades en el cauce. Estas imponen al escurrimiento un comportamiento especial, afectando las alturas de agua en las inmediaciones. Comparadas con el canal tienen longitudes despreciables y para los efectos del eje hidráulico representan un punto en el perfil y su comportamiento hidráulico se rige por consideraciones distintas a la del MPG. Entre las situaciones más típicas pueden citarse los ensanches y angostamientos ya sean bruscos o paulatinos, las compuertas, los vertederos, o cualquier obra especial que resulte de la combinación de varias de ellas.

Uno de los tipos de secciones de control interesantes, y que no constituyen una singularidad propiamente tal, son las secciones donde se producen el cambio de pendiente, o rugosidad del lecho, o ambas, entre dos tramos consecutivos del canal de idéntica forma. Desde el punto de vista hidráulico, en estas secciones solo se produce un cambio en la altura normal al pasar de un tramo a otro. Se define pendiente suave cuando la altura normal es mayor que la altura crítica. Pendiente fuerte es aquella cuya altura normal es menor que la altura crítica.

Si se supone que los tramos que siguen y anteceden a la sección de cambio son lo suficientemente largos como para que no existan otras interferencias, se pueden presentar los siguientes casos:

- de pendiente suave a más suave;
- de pendiente suave a menos suave;
- de pendiente suave a fuerte;
- de pendiente fuerte a menos fuerte;
- de pendiente fuerte a más fuerte, y
- de pendiente fuerte a suave.

Para determinar la altura que impone una sección de este tipo basta considerar el hecho que los ríos dependen de aguas abajo y los torrentes sólo de aguas arriba. De tal manera que cuando en el primer tramo hay una pendiente suave la altura de agua en la sección control la impone el tramo de aguas abajo. Cuando en el segundo tramo hay una pendiente fuerte la altura la impone el tramo de aguas arriba.

2.403.402(2) Métodos de Cálculo para el Trazado del Eje Hidráulico. Existen varios procedimientos para calcular el trazado de un eje hidráulico una vez que se ha analizado su forma general y determinado los puntos de control y partida. Estos métodos pueden ser analíticos, gráficos o numéricos. Sin embargo, hoy en día prevalecen los enfoques numéricos para integrar la ecuación diferencial.

Existen diversos métodos que permiten integrar en forma numérica la ecuación del MPG. La aplicabilidad o conveniencia de cada uno depende de las características de la situación particular a resolver. Los métodos de integración numérica más utilizados son el directo por etapas y el método por etapas fijas.

(a) Método Directo por Etapas. Este método es especialmente aplicable al caso de canalización de características regulares, con pendiente y sección transversal constante, que es el caso típico de los canales. Básicamente en él se trata de obtener en cada etapa del cálculo la distancia a la cual se produce una altura de aguas determinada.

Si se considera un tramo de canal con dos secciones separadas entre sí una distancia D_x , las pérdidas por fricción en el tramo se evalúan multiplicando la distancia entre las secciones consideradas por la pendiente promedio de la línea de energía en el tramo. En consecuencia, la diferencia entre las energías por unidad de peso entre las dos secciones está relacionada con la distancia entre ellas, la caída del fondo (i) y la caída promedio de la línea de energía (J_m):

$$\Delta x = \frac{H_2 - H_1}{i - J_m}$$

Ecuación que permite calcular la distancia Δx , desde una sección con características conocidas hasta otra en que se produce una altura de agua también conocida (h_2).

El procedimiento por seguir consiste en lo siguiente:

- Comenzar el cálculo en una sección cuyas características del escurrimiento sean conocidas (sección control) y avanzar hacia donde esa sección control ejerce su influencia.
- Calcular en esa sección la energía específica requerida al fondo, H_1 , y la pendiente de la línea de energía, según la ecuación de Manning (J_1).
- Darse una altura de agua arbitraria de acuerdo a la tendencia del eje hidráulico y calcular para esa altura la energía específica, H_2 , y la pendiente de la línea de energía J_2 .
- Calcular la pendiente de la línea de energía promedio en el tramo, (J_m).
- Encontrar la distancia entre las dos secciones mediante la ecuación:

$$\Delta x = \frac{H_2 - H_1}{i - J_m}$$

Si la distancia es positiva se habrá avanzado hacia aguas abajo y si es negativa hacia aguas arriba.

En general, para variaciones pequeñas de la altura de agua, el cálculo ΔH es inherentemente impreciso, ya que corresponde a una pequeña diferencia entre números relativamente grandes ($H_1 - H_2$) y por lo tanto es conveniente calcularla como el producto de la diferencia entre las alturas de agua y el número de Froude promedio en el tramo.

En el Numeral 2.406.401, se ilustra a través de un ejemplo el cálculo del eje hidráulico mediante el método directo por etapas.

(b) Método de Etapas Fijas. Este método básicamente consiste en calcular la cota de agua que tiene el eje hidráulico a una distancia determinada y fija de una sección conocida. En estas condiciones es un método que se adapta fundamentalmente al cálculo de ejes hidráulicos en canalizaciones de sección irregular y en cauces naturales, donde sólo se conocen las propiedades de las secciones ubicadas a distancias fijas y determinadas. Es corriente en los lechos naturales tener información de las características de la sección en algunas estaciones, y suponer que ellas son representativas del cauce en esa zona. Para estos casos en lugar de calcular la altura de agua en cada sección es preferible determinar la cota del eje hidráulico referida a un sistema horizontal fijo.

El problema básico se puede plantear en los siguientes términos: para un gasto dado se conoce en una sección del cauce la cota del eje hidráulico y se desea conocer la de una sección contigua. En todas las secciones es posible calcular el área, perímetro, perímetro mojado y radio hidráulico en base a la información del perfil transversal. Se supone conocido también el coeficiente de rugosidad del lecho.

El procedimiento es por aproximaciones sucesivas siguiendo el siguiente esquema general:

- En la sección inicial (1) se conocen las características del escurrimiento y, por lo tanto, la cota de la línea de energía (H_1) y su pendiente (J_1)

$$H_1 = z_1 + h_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$J_1 = \frac{V_1^2 n^2}{R_1^{4/3}}$$

- Darse un valor de prueba para la cota del eje hidráulico en la sección 2, ($z_2 + h_2$) con el cual es posible calcular las propiedades del escurrimiento en esa sección en base a la información del perfil correspondiente. Se calcula:

$$H_2 = z_2 + h_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$J_2 = \frac{V_2^2 n^2}{R_2^{4/3}}$$

- Calcular y comprobar los valores de la cota de la línea de energía en base a la altura de agua y en base a la pérdida de energía en el tramo.

$$H_2 = z_2 + h_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$H_2 = H_1 + \frac{\Delta x}{2} (J_1 + J_2)$$

- Si ambos valores coinciden el cálculo es el correcto, si no se debe probar con otro valor para la cota del eje hidráulico en la sección 2.

Con el objeto de evitar demasiados tanteos hasta dar con el valor correcto (aquél para el cual las energías coinciden) Henderson (1966) propone calcular la corrección de la altura de agua en la segunda sección en función del error de las energías (H_e) el número de Froude en la sección 2 (F_2), la distancia entre las secciones, el radio hidráulico (R_2) y la pendiente de la línea de energía (J_2) en la segunda sección.

$$\Delta h_2 = \frac{H_e}{1 - F_2^2 + \frac{3J_2 \Delta x}{2R_2}}$$

En el Numeral 2.406.402, se ilustra a través de un ejemplo el cálculo del eje hidráulico mediante el método de etapas fijas.

2.403.5 SINGULARIDADES

Las singularidades en conductos abiertos constituyen un caso de flujo rápidamente variado. En este tipo de flujo existe una curvatura pronunciada de las líneas de flujo. Se producen cambios importantes en la altura de aguas y en la velocidad en un corto trecho, caracterizándose en general este tipo de escurrimiento por una gran turbulencia.

El escurrimiento rápidamente variado se caracteriza por:

- La curvatura de las líneas de flujo es pronunciada, por lo que no se puede suponer que exista una distribución hidrostática de presiones en la sección recta.
- Los cambios de velocidad y altura ocurren en una pequeña longitud, por lo cual los efectos de fricción en el lecho no son importantes y generalmente no se consideran en el análisis.
- Las características del flujo quedan básicamente determinadas por la geometría de la transición y por el tipo de flujo.
- Los coeficientes de Coriolis y de Boussinesq son en general mayores que uno, dado que las velocidades varían bruscamente, pero no se pueden determinar con exactitud.
- Las zonas de separación, torbellinos y vórtices que se producen, tienden a distorsionar el flujo y los perfiles de velocidad. En algunos casos fijan los límites del escurrimiento, independientemente de los bordes físicos.
- Las mayores pérdidas de energía se producen en situaciones donde hay una desaceleración de la corriente y no en los casos de aceleración o aumento de la velocidad.

En los métodos de análisis del flujo rápidamente variado se pueden distinguir tres casos: se aplica el principio de conservación de energía en aquellos casos en que es posible determinar las pérdidas de energía; se usa el principio de cantidad de movimiento o el de momenta cuando es posible calcular las fuerzas externas aplicadas sobre el volumen de control y, por último, muchos casos se resuelven por métodos experimentales que se generalizan aplicando los principios de análisis dimensional y semejanza hidráulica.

Los principales casos de flujo rápidamente variado incluyen los resaltos hidráulicos en lechos rectangulares, trapeziales y circulares en pendientes horizontales con y sin cambio de pendiente; los vertederos de pared delgada, gruesa, laterales y curvos; las compuertas planas, de sector o laterales; los cambios de sección, ya sea de forma, ensanches, angostamientos bruscos o paulatinos, los ensanches bruscos o paulatinos, las gradas de bajada o subida, etc.

El tratamiento de los múltiples casos que pueden presentarse escapan al alcance de este Manual, pero se pueden consultar en los libros de Domínguez (1974), Chow (1959) y Henderson (1966), además de algunos manuales de diseño preparados por el Bureau of Reclamation y el Corps of Engineers de Estados Unidos de Norteamérica.

2.403.6 ESTRUCTURAS ESPECIALES

2.403.601 Restricciones y Obstrucciones. Estas singularidades consisten en una reducción brusca del ancho de la sección recta, similar a la que puede producirse con las pilas o machones de un puente. La obstrucción es similar al concepto anterior, pero se producen dos o más secciones parciales. El efecto que tiene esta reducción de la sección en el escurrimiento depende de la geometría de la singularidad, del caudal que escurre y del tipo de flujo. El fenómeno no tiene una solución analítica, pero se han encontrado soluciones particulares por medios experimentales. Cuando el flujo es tranquilo, de río o sub-crítico la restricción de la sección produce un remanso que se desarrolla hacia aguas arriba de la singularidad. En la sección contraída del escurrimiento puede o no existir una sección control con escurrimiento crítico, dependiendo de la relación entre la energía específica normal y la crítica. Cuando el escurrimiento es de torrente, la constricción afecta solamente en la zona cercana a la singularidad. En este tipo de singularidades las mayores pérdidas de energía se concentran en la zona donde la sección se expande, posteriormente a la restricción. Chow (1959) y Domínguez (1974) entregan gráficos para resolver diferentes geometrías y casos particulares de restricciones de sección.

2.403.602 Alcantarillas. Las alcantarillas constituyen casos especiales de restricción de la sección recta, y cuentan además con un contracción de la sección a la entrada. El flujo en una de estas estructuras es complejo y depende de la geometría de la entrada, de la forma de la alcantarilla, del largo, de la pendiente y rugosidad, de las condiciones del escurrimiento a la entrada y a la salida. Por ello existen experiencias de laboratorio y de terreno para determinar las condiciones del flujo. Diversos investigadores americanos como Yarnell, Nagler, Woodward, Mavis, Straub, Morris, Shoemaker, Clayton y otros, han estudiado numerosos casos que cubren la mayoría de las situaciones de la práctica.

El escurrimiento en una alcantarilla ocurre a boca llena cuando la salida está sumergida, o bien cuando la carga a la entrada es alta y la alcantarilla es larga. El escurrimiento será con sección parcial cuando la carga a la entrada es menor que un valor crítico, siempre que la salida no esté sumergida. Este valor crítico es del orden de 1,2 o 1,5 veces la dimensión de la altura total de la alcantarilla.

Para efectos prácticos se acostumbra a distinguir 6 casos o tipos de escurrimiento diferentes. Salida sumergida (tipo 1), salida no sumergida, con carga a la entrada mayor que el valor crítico y alcantarilla larga (tipo 2); salida no sumergida, carga a la entrada mayor que el valor crítico y alcantarilla corta (tipo 3); carga a la entrada menor que el valor crítico con altura de aguas a la salida mayor que la altura crítica (tipo 4); carga a la entrada menor que el valor crítico con altura de aguas a la salida menor que la altura crítica en pendiente suave (tipo 5) y carga a la entrada menor que el valor crítico con altura de aguas a la salida menor que la altura crítica con pendiente fuerte (tipo 6).

Los primeros dos casos constituyen situaciones de flujo a presión o en conducto cerrado y los otros son casos de escurrimiento en conductos abiertos. En el tipo 3 la alcantarilla actúa como un orificio, con un coeficiente de gasto que varía entre 0,45 y 0,75. En los últimos tres casos la alcantarilla actúa como un vertedero con coeficientes de gasto entre 0,75 y 0,9 dependiendo de las condiciones a la entrada. Tanto el USGS como la Federal Highway Administration (FHWA) han desarrollado procedimientos de cálculo que se describen detalladamente en el Capítulo 3.700 del Volumen N° 3 del Manual.

La FHWA ha desarrollado técnicas analíticas y experimentales para ayudar al proyectista en el análisis y diseño hidráulico de las alcantarillas, las cuales se encuentran resumidas en el manual de uso del programa HYDRAIN que puede obtenerse en la siguiente dirección de Internet <http://fhinter.fhwa.dot.gov>. El USGS cuenta también con el programa CAP (Culvert Analysis Program), debidamente documentado el cual puede obtenerse de <http://water.usgs.gov/software/Cap.html>.

2.403.603 Puentes. El flujo bajo un puente constituye también un caso de restricción de la sección, el cual ha sido estudiado experimentalmente por diversos investigadores. Yarnell ha efectuado un cuidadoso análisis de la literatura técnica al respecto y ha efectuado también numerosos experimentos en laboratorio. Las expresiones más utilizadas son las de Nagler y las de D'Aubuisson. La fórmula de Nagler entrega el caudal (Q) en función de un coeficiente empírico, el ancho de la sección contraída (b_2) la altura de aguas abajo (y_3), la velocidad de aguas abajo (V_3), la pérdida de energía (h_3), la velocidad aguas arriba (V_1) y dos coeficientes empíricos (β , θ). El coeficiente empírico θ disminuye cuando la contracción disminuye, normalmente tiene un valor del orden de 0,3. El coeficiente β varía con la razón de angostamiento (b_2/b_1). La expresión de Nagler es la siguiente:

$$Q = K_N b_2 \sqrt{2g} (y_3 - \theta \frac{V_3^2}{2g}) \sqrt{(h_3 - \beta \frac{V_1^2}{2g})}$$

La expresión propuesta por D'Aubuisson es:

$$Q = K_A b_2 y_3 \sqrt{(2gh_3 + V_1^2)}$$

Algunos valores para los coeficientes K_N y K_A se muestran en la Tabla 2.403.603.A

TABLA 2.403.603.A
COEFICIENTES DE CONTRACCIÓN K_N y K_A

Forma de la pila	Razón de angostamiento					
	0,9		0,8		0,7	
	K_N	K_A	K_N	K_A	K_N	K_A
Rectangular	0,91	0,96	0,87	1,02	0,86	1,02
Extremos Semi-circulares	0,94	0,99	0,92	1,13	0,95	1,2
Extremos Triangulares	0,95		0,94		0,92	
Par de cilindros	0,91		0,89		0,88	
Forma Lenticular	0,95	1,00	0,94	1,14	0,97	1,22

Información complementaria respecto de los diseños hidráulicos en cauces fluviales se tratan en detalle en la Sección 3.707 "Procedimientos y Técnicas de Hidráulica y Mecánica Fluvial", del Capítulo 3.700 del MC-V3.

2.403.7 FENOMENOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS, PROCESOS FLUVIALES Y METODOS DE ANALISIS

El desarrollo de este tema tiene como objetivo definir la terminología, y establecer las definiciones y conceptos básicos utilizados comúnmente en los estudios de transporte de sedimentos y de hidráulica y mecánica fluvial. En lo específico, se aborda la caracterización de los sistemas fluviales y cursos naturales atendiendo a la identificación y clasificación de los distintos tipos de cauces, lo cual depende de su morfología y del material del cual está constituido su lecho. Además se incluye la descripción de los fenómenos de transporte de sedimentos y procesos asociados que ocurren tanto a nivel de cuenca, como aquéllos que se originan debido a la interacción directa entre el material constitutivo del lecho y el escurrimiento. Se caracterizan asimismo los procesos de erosión y sedimentación de los suelos de una cuenca, y los fenómenos de transporte de sedimentos y los procesos asociados de socavación y deposición que se verifican en un cauce. Finalmente se incluyen descripciones detalladas de los diferentes tipos de enfoques y métodos utilizados para el estudio de los fenómenos de transporte de sedimentos, acompañados de comentarios de cada uno y comparaciones entre ellos.

Todo lo que se presenta en esta sección constituye el fundamento conceptual general que sustenta los procedimientos y técnicas de hidráulica y mecánica fluvial que se describen en el Volumen N° 3 Sección 3.707 de este Manual.

2.403.701 Sistemas Fluviales y los Cauces Naturales

Se define a continuación la terminología y se plantean las definiciones básicas utilizadas para caracterizar los distintos tipos de cauces, dependiendo de su pendiente y del material constitutivo de su lecho, sea éste sedimento granular, grueso o fino, o sedimento cohesivo. Se incluyen en estas definiciones algunas de las características geomorfológicas más comunes asociadas a cada uno de los tipos de cauces.

Los materiales que conforman los lechos de los ríos son en general sedimentos que abarcan un amplio rango de tamaños en variadas proporciones, incluyendo: arcillas, limos, arenas, gravas, bolones y fragmentos de roca. A lo largo de los cauces estos materiales tienden a distribuirse ordenados espacialmente por rangos de tamaños dominantes, generalmente con una tendencia hacia la disminución de dichos tamaños y un aumento de la redondez de sus partículas en la medida que aumenta la distancia desde las cabeceras a la desembocaduras. En Chile, por ejemplo, los sedimentos que dominan típicamente en las desembocaduras de los ríos en el mar son las arenas y limos, en cambio en sectores montañosos y conos de deyección dichos sedimentos abarcan tamaños mayores y de mayor dispersión granulométrica, desde fragmentos de roca y gravas angulosas hasta arenas y finos, con un tamaño medio más cercano al representativo de las fracciones gruesas de la distribución.

En general pueden diferenciarse tres zonas según el comportamiento sedimentológico de los ríos. Una primera zona corresponde a la de producción de los sedimentos, la cual se ubica en la zona de la cabecera de la cuenca, en donde tanto el cauce principal como los afluentes poseen pendientes altas y alta capacidad de arrastre de los sedimentos; morfológicamente estos cauces pueden ser de sinuosidad baja a media, dependiendo de la constitución geológica de los suelos. La segunda es una zona de transferencia de los sedimentos, la cual se caracteriza por pendientes intermedias con lechos escasamente sinuosos o bien trenzados cuando existe una tendencia a formar depósitos inestables de material, como en los conos de deyección. La tercera corresponde a la zona de almacenamiento o acumulación de los sedimentos en donde las pendientes y velocidades del escurrimiento son más bajas, por lo que el material fino tiende a depositarse aquí. Son cauces de sinuosidad media a alta que pueden derivar en la formación de meandros.

Atendiendo al material predominante del cual están constituidos sus lechos y a las características morfológicas asociadas, para fines de la ingeniería los cauces pueden ser descritos como sigue:

2.403.701(1) Cauces de Lechos Constituidos por Sedimentos Granulares Finos o Arenosos. Corresponden a cursos naturales que se desarrollan en zonas de llanura de baja pendiente o sectores cercanos a desembocaduras al mar o a lagos costeros que influyen el escurrimiento hacia aguas arriba, por lo que el flujo se desarrolla peraltado y a bajas velocidades. Debido a esto el material fino tiende a depositarse formando bancos de arena e islas, siendo este tipo de material característico de estos sectores. El cauce presenta en general riberas bajas y poco definidas, y planicies aluviales que son inundadas durante crecidas.

Ejemplos de cauces que presentan lechos constituidos por sedimentos finos en algunos tramos son: el río Maipo en el sector de Lillole ($D_{50} \approx 0,25$ mm), el río Aconcagua en el sector de Concón ($D_{50} \approx 0,3$ mm); el río Maule en Constitución ($D_{50} \approx 0,2$ mm) el río Bío-Bío entre Chiguayante y Concepción ($D_{50} \approx 0,6$ mm); el río Máfí en el sector de la Ruta 5 Sur ($D_{50} \approx 0,25$ mm); el río Relbún en el sector de la junta con el río Diguillín ($D_{50} \approx 1,4$ mm); el río Laja en el sector de la junta con el estero Chillico ($D_{50} \approx 0,4$ mm) y el río Rahue en Osorno ($D_{50} \approx 2,9$ mm), por nombrar algunos.

Los lechos arenosos son lechos móviles que se caracterizan por deformarse con el paso del agua generando ondulaciones de fondo, cuya formas y características dependen del tamaño del sedimento, de las propiedades físicas del agua (densidad y viscosidad) y de las propiedades mecánicas del escurrimiento (velocidad, altura, etc). La presencia de las ondas sedimentarias en un lecho arenoso es determinante en el comportamiento hidráulico y mecánico fluvial, pues condiciona la resistencia al escurrimiento del lecho y, por lo tanto, la pérdida de carga. Los cauces con lechos móviles se denominan cauces aluviales.

En algunos cauces, producto de las bajas pendientes de las llanuras y de la constitución geológica de los suelos en que se desarrollan, se generan meandros los que se caracterizan por una sucesión de curvas más o menos regulares y periódicas, conectadas por tramos relativamente rectos conocidos como cruces o atraviesos. En las curvas el escurrimiento tiende a socavar la orilla externa, produciéndose un avance natural de la curva tanto hacia aguas abajo como hacia afuera. El material socavado es depositado, en una proporción importante, en los cruces o en el lado interno de la siguiente curva, formándose de este modo dunas o barras que tienden a avanzar hacia el interior del cauce y hacia aguas abajo, todo lo cual se traduce en un proceso de migración del meandro.

2.403.701(2) Cauces de Lechos Constituidos por Sedimentos Granulares Gruesos. Corresponden a los cursos naturales que se desarrollan en las zonas de cabecera y medias de las cuencas. Poseen mayores pendientes que los cauces arenosos, por lo que las velocidades del escurrimiento son más altas y los sedimentos constitutivos del lecho son típicamente de granulometría extendida, con predominio de las fracciones de material más grueso incluyendo fragmentos de roca, bloques, bolones y ripio grueso con partículas más angulosas en la medida que se alcanzan las zonas de cabecera. Debido a las altas velocidades que desarrolla el escurrimiento, el material más fino (gravas finas, arenas, limos y arcillas) es arrastrado con mayor facilidad hacia las zonas más bajas, produciéndose una tendencia a mantener en el lecho el material de mayor tamaño, el cual normalmente forma una capa de material uniforme y grueso conocida como coraza. Por lo anterior, los sectores de pendientes altas corresponden a sectores generadores o productores de sedimentos, y los sectores de pendientes medias corresponden a sectores de transferencia.

Ejemplos de cauces con lechos constituidos por sedimentos gruesos, nombrados de norte a sur son: el río Elqui en el sector de cruce con la Ruta 5 Norte ($D_{50} \approx 25$ mm); el río Choapa en el sector de Salamanca ($D_{50} \approx 50$ mm); el río Aconcagua en los sectores de la junta con el río Colorado, Los Andes y la Ruta 5 Norte, con diámetros medios aproximados de 80 mm, 50 mm y 30 mm, respectivamente; el río Maipo en el sector de San José de Maipo ($D_{50} \approx 500$ mm) y en el sector del puente Los Morros ($D_{50} \approx 60$ mm); el río Itata en el sector de la Ruta 5 Sur ($D_{50} \approx 230$ mm); el río Diguillín en el sector de la Ruta 5 Sur ($D_{50} \approx 580$ mm); el río Laja en el sector de Tucapel ($D_{50} \approx 90$ mm) y el Río Rubens en el cruce con la Ruta 9 en Punta Arenas ($D_{50} \approx 15$ mm), entre otros.

Los lechos con sedimentos gruesos se deforman en barras o se mantienen relativamente planos, por lo que la pérdida de carga está determinada principalmente por la aspereza de los granos de sedimento. Cuando la altura del agua relativa al tamaño del sedimento es pequeña se está en presencia de un flujo macrorrugoso. Esto sucede típicamente en los torrentes de montaña. Los cauces con este tipo de lechos pueden considerarse cauces aluviales o cauces de lecho fijo dependiendo de la inestabilidad del lecho.

Estos cauces pueden presentarse con escasa sinuosidad para los niveles de aguas máximas, confinados por riberas rocosas o de alta resistencia a la erosión. Para niveles bajos se desarrollan barras que hacen que la línea de máxima profundidad de las secciones (thalweg) oscile a lo ancho del lecho. En general, los cauces rectos constituyen un estado transicional que precede a los cauces con meandros o a los cauces trezados. Los cauces no confinados tienden a desarrollar brazos con facilidad y a evolucionar hacia un cauce trezado.

Un cauce trezado se caracteriza principalmente por la anchura de sus secciones de escurrimiento, la indefinición de sus orillas y la inestabilidad general del lecho, ocasionada por los cambios rápidos y aleatorios que se producen especialmente durante las crecidas. El escurrimiento se desarrolla en varios brazos, los que tienden a converger y diverger en forma repetida a lo largo del valle.

2.403.701(3) Cauces de Lechos Constituidos por Sedimentos Cohesivos. Los suelos constituidos por materiales cohesivos que forman el cauce de un curso natural se caracterizan por formar conglomerados consolidados, en que las fuerzas de unión entre partículas son principalmente de origen electroquímico. Los cauces que poseen lechos de este tipo admiten inicialmente flujos con mayores velocidades (antes de que las fuerzas de roce rompan la estructura del suelo), en comparación a velocidades equivalentes que movilizan material granular de granulometría fina o gruesa. Sin embargo, una vez que la estructura del suelo cede, éste colapsa en forma abrupta y masiva.

Los cauces donde el lecho presenta material cohesivo se ubican generalmente en depósitos glaciares (morrenas) y en desembocaduras o entradas de agua afectas a mareas. En nuestro país es poco frecuente la presencia de suelos cohesivos en los lechos de ríos.

Algunos ejemplos de este tipo de cauce, poco común en Chile, son el río Huequén en el cruce con la Ruta 5 Sur ubicado en las cercanías de Angol, el cual presenta un estrato altamente cementado a una profundidad aproximada de 1,5 m del lecho formado por una matriz areno-limoso; el río Pudeto en la zona del puente del mismo nombre en Ancud, presenta estratos con sedimento cohesivo en su lecho y el río Las Minas en Punta Arenas, donde en un sector ubicado a 5 km aguas arriba de esta ciudad el lecho presenta material cohesivo denominado arcillolita.

Al estudiar el comportamiento de materiales cohesivos desde el punto de vista del transporte hidráulico, interesan fundamentalmente las propiedades relacionadas con las partículas en conjunto y no individualmente. Quedan incluidas dentro de esta categoría la adhesión entre partículas, la resistencia al corte del material, la composición granulométrica de la fracción gruesa, la composición mineral del aglutinante y el índice de plasticidad.

Adicionalmente a la clasificación de cauces arriba descrita se han propuesto diversas otras clasificaciones que enfatizan algunos aspectos más específicos y que, por lo mismo, permiten establecer diversas subcategorías de ríos atendiendo a distintos aspectos. Entre éstas cabe mencionar la de Culbertson, Young y Price, la cual considera aspectos como los siguientes:

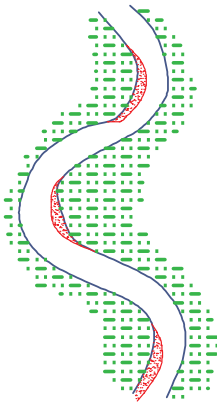
- Variabilidad del ancho de cauces.
- Complejidad del trenzamiento.
- Sinuosidad general del cauce.
- Lagunas remanentes de meandros en planicies de inundación.
- Desplazamiento lateral del cauce o avance de meandros.
- Altura de bordes o riberas.
- Rellenos ribereños naturales.
- Planicies aluviales.
- Cobertura vegetal de orillas.

En las Láminas 2.403.701(3).A, B y C se han graficado las formas típicas de ríos, clasificadas de acuerdo con los aspectos arriba citados.

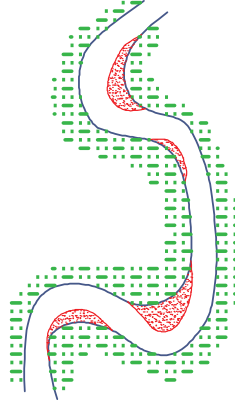
2.403.702 Fenómenos de Transporte de Sedimentos y Procesos Asociados. En el presente párrafo se describe la mecánica del transporte de sedimentos vinculada a los fenómenos de erosión o sedimentación, y socavación o depositación. El objetivo de esta descripción es mostrar las diferentes formas que caracterizan la remoción, transporte y depositación de los sedimentos en los suelos de una cuenca y en sus cursos de drenaje.

2.403.702(1) Procesos de Erosión y Sedimentación. Los procesos relacionados con la erosión y sedimentación pueden tener gran importancia en obras hidráulicas. En efecto, existen dispositivos, obras y sistemas hidráulicos en los que el sedimento juega un rol fundamental, pues muchas veces éste no sólo determina su diseño y dimensionamiento, sino además tiene incidencia directa en su operación. Por este motivo resulta importante disponer en la práctica de medios que permitan cuantificar el volumen de sedimento a que darán origen procesos naturales o acelerados de erosión y/o sedimentación

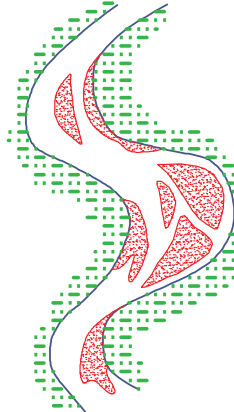
a) Variabilidad del ancho



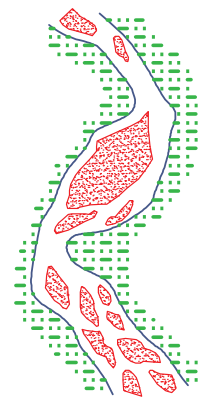
Canal sinuoso
de ancho uniforme



Canal sinuoso con
bancos aislados

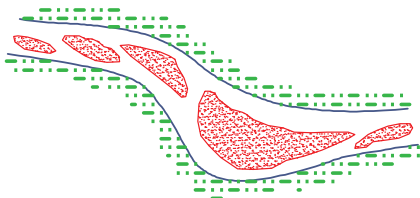


Canal con meandros
y bancos aislados

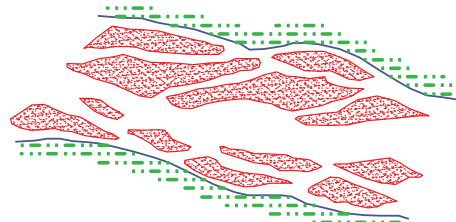


Islas y bancos
trezados

b) Complejidad del trenzamiento



Bancos e islas únicos

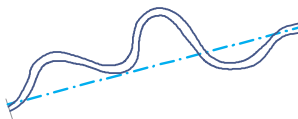


Bancos e islas múltiples

c) Sinuosidad



Baja

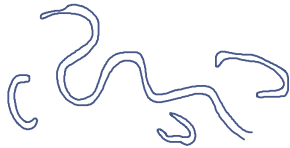


Moderada



Alta

d) Lagunas remanentes de meandros



Varias

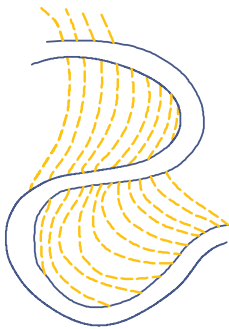


Pocas



Escasas o ausentes

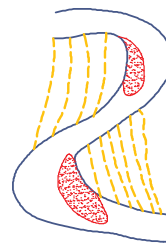
e) Desplazamientos laterales de meandros



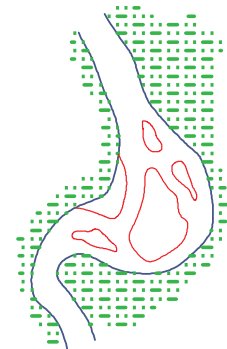
Avance concéntrico, regular



Avance leve disminuido por vegetación

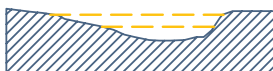


Pequeño avance irregular y tipo banco

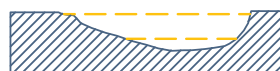


Sin avance y trenzamiento

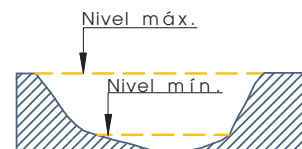
f) Alturas de riberas



Baja : 1,5m para esteros-3m para ríos



Moderada : 1,5m-3m esteros; 3-6m ríos



Alta : Mayor a 3m para esteros y mayor a 6m para ríos

g) Rellenos laterales o bordes naturales



Sin bordes

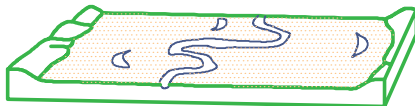


Bordes principal-
mente en orilla
cóncava

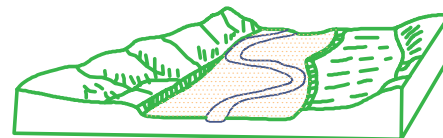


Bordes en ambas
orillas

h) Planicies aluviales



Anchas en relación al
ancho del río

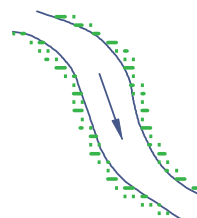


Angostas, confinadas por
terrazas o laderas del valle

i) Cobertura vegetal ribereña



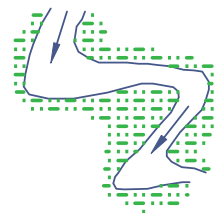
Muy poca



Franja angosta a lo
largo de ambas riberas



Cobertura en lado
interno de curvas



Cobertura densa en
ambos lados

Se utiliza el término sedimentación para denominar genéricamente los procesos de erosión, transporte y depositación que caracterizan el desprendimiento y movimiento natural de sedimentos en una cuenca o en un curso natural. Dado que el proceso erosivo constituye el origen mismo de la sedimentación, es usual muchas veces utilizar como sinónimo de sedimentación también la palabra erosión. De este modo, se entiende tácitamente que en ausencia de erosión los restantes procesos, y por lo tanto la sedimentación misma, son inexistentes.

En términos generales, la erosión es el desprendimiento o arranque de partículas del suelo y su movilización a lugares distintos de los de origen, por efecto aislado o combinado de las fuerzas asociadas al escurrimiento del agua, al viento o a la gravedad. Al superar las fuerzas resistentes al movimiento del sedimento a las fuerzas motrices que lo solicitan, se produce el depósito de las partículas, las que pueden mantenerse en el lugar donde quedaron o ser nuevamente removidas y transportadas. En el primer caso, al permanecer un tiempo largo inmóviles, el conjunto de partículas experimenta un proceso de compactación o densificación paulatina debido a la acción del peso de otras partículas o del mismo fluido. Un proceso típico de compactación ocurre en los embalses donde el sedimento depositado se va acumulando a lo largo del tiempo.

La erosión puede ser natural o acelerada. En el primer caso existe un equilibrio dinámico caracterizado por una tasa de formación del suelo por descomposición de rocas similar a la tasa de remoción, siendo este proceso relativamente lento. La erosión acelerada, en cambio, se caracteriza por un rompimiento de este equilibrio natural lo que se manifiesta a través de una pérdida creciente de suelo que no se ve compensada por la formación de nuevo suelo.

En problemas que atañen más propiamente a la ingeniería fluvial, los sedimentos se clasifican atendiendo a su origen en dos grupos, que desde el punto de vista de su remoción y transporte presentan diferentes comportamientos: sedimentos que tienen su origen directo en los suelos de la cuenca y sedimentos que provienen directamente del cauce aluvial.

2.403.702(2) Procesos de Erosión-Sedimentación en los Suelos de una Cuenca. Los sedimentos que provienen de la superficie de la cuenca aparecen en los cursos naturales junto con la escorrentía superficial. Corresponden a materiales finos, usualmente en el rango de arenas finas, limos y arcillas, que se encuentran presentes en el lecho sólo en cantidades menores. Se ha sugerido utilizar el límite 10% (en peso) para diferenciar estos materiales de los propiamente constitutivos del lecho. En la terminología del arrastre de sedimentos se utiliza el término inglés "washload" o carga de sedimento asociada al lavado de los suelos de la cuenca, para denotar al material que proviene de la erosión de la cuenca.

Entre los factores que condicionan los procesos de erosión, transporte y depositación a nivel de cuenca, se incluyen la pendiente del terreno, el régimen de precipitaciones, la cobertura vegetal, las formaciones superficiales y los factores antrópicos, o sea, factores ligados a la actividad del hombre, tales como actividad agrícola, pecuaria, industrial, minera, etc.

Desde el punto de vista de los principales agentes que intervienen en él, es posible distinguir tres grandes procesos en la naturaleza: el hídrico, el eólico y el de remoción en masa. El primero dice relación con la acción fundamental que ejerce el agua y puede subdividirse a su vez en erosión pluvial, erosión por escurrimiento difuso, erosión por escurrimiento difuso intenso, erosión laminar y erosión por escurrimiento concentrado o lineal. El segundo proceso está vinculado a la acción del viento, en tanto el tercero a la acción combinada de la gravedad y del agua, principalmente.

La erosión pluvial se debe al impacto de las gotas de lluvia que desprenden partículas de suelo, dejándolas disponibles para el transporte; este impacto también produce una compactación e impermeabilización parcial del suelo por sellado de los poros superficiales.

La erosión por escurrimiento difuso está asociada a la formación de hilillos de agua que siguen cursos convergentes y divergentes los cuales producen desprendimiento local de material y su posterior transporte a cortas distancias. Ocurre incluso bajo la cubierta vegetal, pero en este caso su capacidad de remoción de suelo es limitada.

La erosión por escurrimiento difuso intenso corresponde a una intensificación del proceso anterior, en el cual los hilillos se convierten en pequeños cursos que recorren distancias mayores, llegando incluso a profundizarse con lluvias posteriores.

La erosión laminar se produce cuando el suelo se encuentra saturado o impermeabilizado en forma de una lámina. Se genera en zonas desprovistas de cubierta vegetal, preferentemente en regiones de clima semiárido, y su acción se traduce en un raspado casi uniforme de la superficie del suelo.

La erosión por escurrimiento concentrado o lineal ocurre cuando los hilos de agua tienen capacidad de arrastre suficiente como para transformarse en surcos o cárcavas que se profundizan con cada lluvia. Contrariamente a lo que sucede con la erosión difusa, la erosión concentrada aporta gran cantidad de material y de variada granulometría.

Los procesos de erosión eólica ocurren en regiones muy secas durante períodos suficientemente largos que permiten que las partículas pierdan su cohesión, o en suelos granulares no cohesivos, como en el caso de dunas en zonas costeras o desérticas. En general la existencia de una cobertura vegetal aminora o impide la erosión eólica.

Los procesos de remoción en masa corresponden a desplazamientos o movilizaciones masivas de material debido

a la acción sísmica o a la gravedad, sobre suelos saturados o semi-saturados que han perdido resistencia. Los procesos de remoción en masa incluyen movimientos rápidos (aluviones, lahares, flujos de barro y detritos, derrumbes, desprendimientos, desplomes, aludes y otros) y movimientos lentos (reptación y soliflujión).

2.403.702(3) Procesos de Socavación y Depositación en los Cauces Aluviales. Los sedimentos que provienen del lecho y del cauce de inundación son movilizados por el agua, proceso que va íntimamente asociado con las características hidráulicas del curso. Estos materiales son el resultado de la continua interacción entre el lecho móvil y el escurrimiento. Por su origen, en la literatura inglesa se ha adoptado el término “bed material load” o “bed load” para denotar la carga de sedimento o gasto sólido de fondo que tiene su origen en el material movilizado por el flujo desde el lecho, el cual da origen a los procesos de socavación y depositación de cauces aluviales.

Se define como socavación al descenso local que experimenta un lecho móvil con respecto a su nivel natural, debido a un desbalance localizado entre la capacidad erosiva de una corriente y el suministro de sedimento en una zona específica. Este descenso afecta a pilas y estribos de puentes, como asimismo a toda estructura cuya fundación esté inserta en un lecho móvil en que se produzca este desbalance.

Los tipos principales de socavación pueden agruparse en las siguientes categorías:

- Socavación general en angostamientos naturales o artificiales durante el paso de una crecida. Estos angostamientos se pueden producir en la sección de emplazamiento de un puente (por la presencia de terraplenes de acceso y estribos), en obras de encauzamiento o bien en secciones naturalmente más angostas de un río.
- Socavación local al pie de obras como, por ejemplo, pilas, estribos, punta de espigones o muros guidores, barreras, etc.
- Socavación natural localizada debido a variaciones en las condiciones de escurrimiento, asociadas con los procesos fluviales naturales como transporte de sedimentos, migración de ondas sedimentarias (dunas, rizos, etc.) y desplazamiento lateral de cauces.
- Degradación del lecho debido a alteraciones en el equilibrio sedimentológico de un río, por ejemplo por la interrupción del arrastre desde aguas arriba causada por la implantación de una presa o una barrera.

La socavación local debida a la presencia de un puente puede ocurrir por las siguientes causas:

- Debido a la contracción local causada por los estribos y cepas del puente que significan mayores velocidades locales del escurrimiento y, por lo tanto, mayor capacidad localizada de arrastre. Esta mayor capacidad es suplida por el material proveniente del lecho en las vecindades de la contracción, lo cual se traduce en socavación de la sección (socavación general).
- Por la obstrucción que representan para el escurrimiento los estribos y cepas, lo cual genera torbellinos locales que aumentan la capacidad erosiva del flujo en torno a estas estructuras.
- Por la obstrucción producida por enrocados u obras destinadas a proteger localmente estructuras contra la socavación. La práctica de amontonar roca suelta en torno a pilas, como elementos de protección, puede resultar contraproducente al generarse grandes hoyos de socavación, en particular en las cercanías de las pilas.
- Debido a alteraciones en el patrón local del escurrimiento (cambios de dirección y aceleramiento), producidas por las pilas, los estribos o los terraplenes de acceso al puente. Estas alteraciones son características de cauces inestables con tendencias a la oscilación transversal, los cuales por no haber sido encauzados mediante obras especiales tienden a ser modificados por la presencia de puentes.

Como ya se mencionó, los cauces aluviales experimentan descensos locales de su lecho o la erosión de sus riberas, lo que constituyen fenómenos atribuibles a procesos fluviales naturales. Entre los fenómenos de socavación natural más importantes cabe citar los siguientes:

- Socavación en curvas y angostamientos. Durante el paso de las crecidas tiende a producirse un mayor arrastre de material en el lado exterior de las curvas y en las secciones más angostas; al no existir una alimentación desde aguas arriba compatible con este mayor arrastre, se origina una profundización localizada del lecho, es decir, socavación local.
- Avance de ondas sedimentarias. Producto del transporte de los sedimentos, los lechos móviles se deforman en ondas cuasi-periódicas las cuales presentan características que dependen del tamaño del sedimento y de las condiciones físicas del agua y mecánicas del escurrimiento. Estas ondas tienen distintas formas y comportamientos y han sido identificadas como rizos, dunas, rizos sobre dunas, antidunas, sistemas formados por sucesiones de pozas y rápidos, y barras alternadas. La migración de estas ondas hace aparecer localmente al lecho como descendiendo, una vez que ha pasado la cresta de la onda.

- Socavación de riberas y migración lateral de cauces. Pese a que localmente estos fenómenos pueden aparecer como aleatorios, muchas veces los cambios que experimenta el cauce obedecen a procesos de largo plazo como formación de valles, migración de meandros, etc. El problema se presenta agudizado en ríos jóvenes, con cauces trenzados e inestables que escurren en pequeños y múltiples canales sin deformación significativa durante los períodos de estiaje, pero que tienden a migrar u oscilar lateralmente en forma brusca durante las crecidas.

Se entiende por degradación al descenso paulatino que experimenta un lecho aluvial cuando se producen alteraciones en el equilibrio sedimentológico de un río. Las siguientes son posibles causas de degradación:

- Implantación de una presa. Cuando se construye una presa, conjuntamente con el embalse de agua se atrapa sedimento. Al realizar entregas controladas de agua al río, la capacidad de arrastre del agua limpia descargada genera un déficit que es suplido por sedimento proveniente del lecho que no se repone, lo cual conduce a una profundización del cauce. Dependiendo de los caudales en el río, de la morfología del cauce y de la granulometría del sedimento, el proceso puede tomar varios años o decenas de años hasta que se vuelve a una nueva situación de equilibrio.
- Entrega o restitución localizada de caudales. Si en una sección de un río se realizan entregas concentradas de caudal, a partir de ese punto se aumenta la capacidad de arrastre de ese río. Si los aportes de sedimento de aguas arriba al punto de entrega no aumentan, se genera una profundización gradual o degradación que cambia la pendiente del lecho.
- Explotación de áridos. La explotación no controlada o no planificada puede producir degradación tanto hacia aguas arriba como hacia aguas abajo de la zona de extracción de material.
- Remoción de un control natural de niveles del lecho. El perfil de equilibrio de un río puede ser alterado durante faenas de regularización de cauces, por ejemplo cuando se elimina un afloramiento rocoso o se modifica un control natural del lecho. En ese caso puede producirse degradación aguas arriba del control o socavación retrógrada.
- Modificación en las secciones de la desembocadura de un río, producida por ejemplo por el descenso permanente de los niveles de agua de un lago que influyen las condiciones del escurrimiento hacia aguas arriba.

2.403.702(4) Movimiento Elemental de las Partículas y Modos de Transporte. El sedimento que transporta una corriente se compone de material de diversos orígenes. Desde un punto de vista mecánico se acostumbra a diferenciarlos atendiendo a su forma de transporte en dos grupos: sedimentos transportados en suspensión y sedimentos transportados por el fondo. Los materiales más finos son transportados en suspensión por fluctuaciones turbulentas del escurrimiento, proceso que se caracteriza matemáticamente como uno de difusión. Los sedimentos gruesos, en cambio, son transportados por arrastre de la corriente manteniendo un contacto continuo, aunque intermitente, con el lecho.

Tal como lo indica su nombre, en el transporte de sedimentos en suspensión las partículas más finas tienden a permanecer suspendidas dentro del medio fluido en movimiento, debido a la acción de fuerzas de origen turbulento, cuyas magnitudes son suficientes como para contrarrestar el peso sumergido de dichas partículas. La velocidad que adquieren las partículas en su movimiento en suspensión es prácticamente la velocidad local del flujo en todo punto.

Por otra parte, en el transporte de sedimentos por el fondo las partículas tienden a mantener un contacto continuo e íntimo con el lecho granular. Se da en general para las partículas de mayor tamaño, en las que el peso sumergido sobrepasa a las fuerzas hidrodinámicas de sustentación. El movimiento se efectúa por la acción de fuerzas hidrodinámicas de arrastre, que son preferentemente en la dirección del escurrimiento. Este movimiento se caracteriza por ser intermitente; las partículas se mueven y se detienen continuamente. Los períodos de reposo son en general mucho mayores que los de movimiento. Sin embargo, a medida que aumenta la capacidad de arrastre del flujo, estos períodos de reposo se van haciendo cada vez menores. En general, la velocidad media de movimiento de las partículas es mucho menor que la del flujo, por lo que puede despreciarse frente a esta última.

En este modo de transporte se distinguen tres tipos de movimientos básicos o elementales: rodante, resbalante o deslizante, y saltante.

El movimiento rodante consiste en el avance de las partículas por medio de una rotación en torno a un punto de contacto, lo cual es generado por un torque local.

El movimiento resbalante ocurre cuando las partículas al ser movilizadas se encuentran apoyadas sobre una superficie suficientemente plana de modo que no existe un punto de apoyo en torno al cual rotar.

El tercer tipo corresponde a lo que se denomina saltación; en este tipo de movimiento las partículas son elevadas transitoriamente desde el lecho por la turbulencia del flujo para luego volver a él, lo que se traduce en saltos intermitentes que alcanzan unos pocos diámetros de partícula. Es un movimiento que se da principalmente en flujos gaseosos o de aire pero siempre se da en flujos de agua bajo ciertas condiciones. En el caso de corrientes de agua, el transporte de saltación se observa en los escurrimientos a superficie libre llamados macrorrugosos, donde el tamaño del

sedimento es grande en relación a altura de la corriente, lo cual es característico de los flujos torrenciales en lechos pedregosos.

En la práctica, los movimientos descritos anteriormente no se presentan aisladamente sino en forma combinada, resultando altamente improbable que una partícula movilizada por la corriente tenga solamente uno de los tipos de movimiento indicados, siendo la forma principal o predominante del movimiento el de saltación.

En el caso de partículas en suspensión, la trayectoria de las partículas es en gran medida aleatoria, puesto que su movimiento depende de las fluctuaciones turbulentas del flujo. Por otro lado, si las partículas se mueven rodando, resbalando sobre el lecho o saltando, su trayectoria también es de naturaleza aleatoria, pero ello tiene relación también con los choques con otras partículas del lecho. En el caso de la saltación está trayectoria además es balística.

La distinción entre los movimientos por el fondo y suspensión es compleja y difícil de hacer, especialmente cuando se trata de las partículas de menor tamaño. Desde el punto de vista matemático sin embargo, es importante hacer una diferenciación en tal sentido, puesto que el transporte de fondo constituye una condición de borde de las ecuaciones diferenciales que describen el movimiento en suspensión de las partículas sólidas.

El aporte del sedimento en suspensión más el de arrastre de fondo, generalmente no excede más del 10 % de la concentración volumétrica de sólidos en el escurrimiento de un cauce natural.

2.403.703 Tipos de Análisis Hidráulicos - Mecánicos Fluviales. En lo que sigue se describen los distintos tipos de modelamiento utilizados en la actualidad para representar y reproducir los procesos mecánico e hidráulico fluviales que tienen interés en ingeniería civil.

En general puede señalarse que los ríos aluviales (con lecho móvil) son de naturaleza variable y que, en lapsos relativamente cortos, pueden experimentar cambios significativos en su profundidad, ancho, alineamiento y estabilidad. Los mayores cambios en un río se deben en general a fenómenos como la degradación, depositación y migración lateral.

Tanto la naturaleza, con los fenómenos antes señalados, como el hombre, a través de la intervención de cauces y riberas, generan frecuentemente cambios en un río que pueden dar inicio a respuestas que se propagan en tiempos variables, a distancias importantes tanto hacia aguas arriba como hacia aguas abajo del punto de intervención.

Un desarrollo apropiado del uso de los ríos y de sus recursos de agua requiere de un conocimiento completo y profundo del sistema y de los procesos que lo afectan. Estos objetivos pueden ser alcanzados mediante una comprensión adecuada de los procesos físicos que gobiernan las respuestas de un cauce a través de la utilización de técnicas de modelación.

Básicamente es posible distinguir tres tipos de análisis de los fenómenos relacionados con la hidráulica y mecánica fluvial: aquéllos basados en la modelación teórica-empírica, en la modelación numérica y en la modelación física.

2.403.703(1) Modelación Teórica - Empírica. Este tipo de modelación se refiere a la utilización de fórmulas o métodos de cálculo desarrollados a partir de un análisis teórico, semi-empírico o empírico, de fenómenos específicos relacionados con el transporte de sedimentos y la hidráulica de cauces naturales o canales aluviales. El cálculo que se deriva de este tipo de análisis está destinado a estimar las magnitudes que toman las variables que caracterizan el fenómeno en estudio.

La mayor parte de las fórmulas o métodos de cálculo se pueden evaluar sin necesidad de recurrir al uso de recursos computacionales costosos, pero en algunos casos es conveniente programar los métodos para agilizar los cálculos. En ningún caso se requiere resolver ecuaciones diferenciales.

Por otro lado, la mayoría de las fórmulas y métodos de cálculo, principalmente aquéllos más antiguos, son exclusivamente empíricos, lo cual hace necesario poner atención a las condiciones para las cuales fueron desarrollados con el fin de evitar su aplicación a condiciones muy distintas. En general, se recomienda desconfiar de fórmulas o métodos que no trabajen en términos de parámetros adimensionales.

Es común que modelos alternativos para un mismo fenómeno entreguen magnitudes de las variables que lo describen extremadamente distintas. Los modelos más recientes son casi todos del tipo semi-teóricos. Es decir, tienen una base teórica sólida, pero requieren de la calibración de ciertos parámetros o coeficientes a partir de resultados obtenidos en estudios de laboratorio o de terreno. Por tal motivo para estos modelos resulta conveniente verificar que los rangos de las variables para las cuales el modelo fue desarrollado, coincidan o no difieran significativamente con aquéllos de las condiciones para las cuales se requiere aplicarlo.

Dentro de los fenómenos que pueden cuantificarse utilizando este tipo de modelación pueden mencionarse fenómenos relacionados con aspectos hidráulicos tales como:

- Coeficiente de rugosidad y pérdida de carga en cauces bajo condiciones de lecho fijo, rugoso y macrorrugoso.
- Pérdidas de carga y propiedades del flujo en torno a singularidades tales como pilas y estribos de puente, estrechamientos y expansiones, gradas y obras hidráulicas en general.

También se emplean modelos semi-teóricos en la cuantificación de fenómenos relacionados con aspectos de transporte de sedimentos, tales como:

- Condiciones de arrastre incipiente o de iniciación del arrastre o arrastre crítico.
- Estabilidad de cauces aluviales.
- Estabilidad de enrocados.
- Resistencia hidráulica de cauces aluviales (lecho móvil) con presencia de ondas sedimentarias.
- Condiciones de incorporación de sedimento en suspensión o suspensión incipiente.
- Tasas de arrastre de sedimento: gasto sólido en suspensión, gasto sólido de fondo y gasto sólido total.
- Socavación generalizada en cauces.
- Socavación local en torno a obras hidráulicas: en pilas y estribos de puente, al pie de radières, compuertas, vertederos, saltos de esquí, descargas de canales y alcantarillas, etc.
- Degradación de cauces y socavación o erosión retrógrada.
- Sedimentación de cauces y de obras de embalse y de retención de sedimentos.

2.403.703(2) Modelación Numérica. Este tipo de modelación se refiere a la utilización de ecuaciones diferenciales para describir las variaciones espaciales y/o temporales de las características del flujo y/o de la geometría del lecho en cauces naturales, ante condiciones permanentes o transitorias de la corriente. Prácticamente en todos los casos las ecuaciones diferenciales deben resolverse recurriendo a métodos numéricos, tales como diferencias finitas, elementos finitos, volúmenes finitos, etc.

Los modelos numéricos utilizados pueden ser en una, dos o tres dimensiones y son aplicables a condiciones sólo permanentes, o bien permanentes y transitorias. Los modelos numéricos pueden considerar condiciones de lecho fijo o móvil (cauce aluvial).

- Modelos Numéricos Unidimensionales:

Los modelos unidimensionales se utilizan en cauces bien definidos, relativamente rectos, donde sólo interesa describir la variación longitudinal a lo largo del tramo de cauce analizado, del flujo y/o la elevación del lecho. Los modelos unidimensionales para el flujo resultan de promediar las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento en la sección de escurrimiento. Se plantean a partir de las llamadas ecuaciones de Saint-Venant, que son fundamentalmente ecuaciones de onda larga, las cuales requieren una relación de cierre que corresponde a una ley de resistencia del flujo. Con este objeto se suele utilizar la ecuación de Manning, la cual se supone válida también para condiciones de flujo gradualmente variado no obstante haberse desarrollado para flujo uniforme. En casos de lechos con sedimentos gruesos o de rugosidad relativa alta, puede ser necesario considerar explícitamente la influencia de dicha rugosidad para determinar la resistencia hidráulica, lo cual ocurre usualmente en cauces de montaña. En lechos arenosos (cauces aluviales) la resistencia hidráulica está determinada por las ondas sedimentarias del tipo de rizos, dunas o antidunas. En estos casos se deben incluir en el cálculo de la pérdida de carga relaciones de resistencia apropiadas. En la actualidad uno de los programas más utilizados para calcular ejes hidráulicos, es el desarrollado por el Corp of Engineers de Estados Unidos denominado HEC-RAS.

- Modelos Numéricos Bidimensionales:

Los modelos bidimensionales pueden ser de dos tipos: los que permiten resolver la ecuaciones que gobiernan el flujo en un plano vertical orientado longitudinalmente, es decir, describen la estructura vertical del flujo, y aquellos otros que lo hacen en las direcciones transversal y longitudinal, promediando las propiedades locales del flujo en la vertical.

Los modelos bidimensionales que se aplican al estudio de la estructura vertical del flujo, se emplean cuando se requiere conocer la distribución de velocidades en torno a obras hidráulicas u obstáculos que presentan homogeneidad transversal. También se utilizan en casos en que el flujo es impulsado por los esfuerzos de corte inducidos por el viento en la superficie libre o en que el flujo se presenta estratificado en la vertical, por ejemplo en el caso de estuarios. Estos modelos requieren un modelo de cierre de la turbulencia para estimar el valor de los esfuerzos turbulentos de Reynolds. Eventualmente, estos modelos pueden usarse en conjunto con la ecuación unidimensional de continuidad de sedimento para modelar problemas de socavación local al pie de obras u obstáculos con homogeneidad transversal.

Los modelos bidimensionales aplicados al estudio de la estructura transversal del flujo, se utilizan en cauces anchos con características no homogéneas en la dirección transversal. Es el caso, por ejemplo, de cauces trenzados con presencia de islas, o cauces con variabilidad alta del ancho y de la geometría de las secciones transversales. Es el caso también de flujos en torno a obstáculos u obras hidráulicas que usan parte de la sección de escurrimiento, como por ejemplo, espigones, estribos de puentes, etc. Este tipo de modelos se utiliza cuando se requiere conocer la distribución en la transversal de las velocidades medias del flujo, la distribución de caudales asociada, las corrientes de circulación horizontal existentes, etc.

La Inspección Fiscal podrá exigir este tipo de modelos en proyectos o estudios hidráulicos, sin perjuicio que, el proyectista advierta una condición fluvial a representar compleja, que estime ameriten el uso de estas herramientas, como en desembocaduras, confluencias de cauces, cauces meándricos, sinuosidades o singularidades, ante escurrimientos que no presenten líneas de flujo preferente o permanente, condiciones de borde variables, etc.

Modelos bidimensionales pueden ser considerados:

- Cuando las obras que intervienen el cauce presenten una configuración compleja, por ejemplo, en estructuras donde su emplazamiento tenga un esviaje respecto al cauce, cepas y estribos de puentes no alineados con el escurrimiento, estructuras que no se encuentren alineadas con otras obras contiguas, etc.
- Al requerir mayor precisión respecto a la georreferenciación de elementos y resultados, por ejemplo, obtener velocidades y líneas de inundación alejadas del cauce principal, o donde los modelos unidimensionales generen ambigüedades o imprecisiones en su estimación.
- Cuando la obra en estudio sea de una envergadura relevante en términos de inversión o conectividad, por ejemplo, cuando un puente, viaducto o pasarela sobre un cauce supere los 500 m de longitud, o cuando las obras sean diseñadas para un periodo de retorno igual o mayor a la crecida $T=200$ años.

- Modelos Numéricos Tridimensionales:

Los modelos tridimensionales resuelven las ecuaciones de Reynolds en tres dimensiones (ecuaciones de Navier-Stokes y de continuidad promediadas sobre la turbulencia). Ello requiere modelar los esfuerzos turbulentos o de Reynolds, para lo cual existen varias alternativas. La más usual es recurrir a modelos que estiman dichos esfuerzos a partir de la viscosidad de remolinos, la cual se determina mediante la resolución de ecuaciones de transporte para la energía cinética turbulenta y la tasa de disipación de dicha energía.

Los modelos anteriores son modelos promediados sobre la turbulencia. No obstante, existen también modelos que permiten resolver totalmente la turbulencia o, al menos, parte de su espectro. Estos modelos son los llamados de Simulación Numérica Directa y de Simulación de Grandes Vórtices. Este último permite resolver sólo parte del espectro de la turbulencia, por lo que es menos demandante en

cuanto a recursos computacionales que el primero. Si bien la Simulación Directa no tiene aún aplicaciones ingenieriles, la Simulación de Grandes Vórtices está comenzando a ser aplicada en problemas relevantes para la ingeniería civil y es probable que en el futuro se convierta en la generación siguiente a los modelos k- e en la simulación numérica en hidráulica fluvial.

La calibración de un modelo numérico involucra la evaluación y modificación de relaciones complementarias a las ecuaciones básicas, basadas en datos de terreno y/o en datos teóricos, por ejemplo, para lograr que el modelo reproduzca la comportamiento histórico del sistema o río modelado.

- Modelos Numéricos de Flujo Detrítico

Los flujos de detritos están constituidos por una mezcla de agua y sólidos que presentan una granulometría variada que comprende desde partículas finas hasta bloques de rocas de distintas dimensiones. Los sedimentos controlan el flujo y el componente agua pierde importancia. El movimiento es generado por la colisión de bloques o partículas en movimiento. Generalmente los flujos son turbulentos de dos fases. La fase líquida (agua y partículas finas) y la fase sólida (partículas gruesas).

Existen programas computacionales bidimensionales que simulan flujos de detritos. Entre ellos cabe mencionar algunos de código abierto, tales como:

- El software TITAN-2D (<https://github.com/TITAN2D/titan2d/releases>)
- El simulador de detritos KANAKO (<http://www.stc.or.jp/10soft/003Epage.html>).

Para el uso de estos modelos, el proyectista deberá considerar su génesis, investigar rigurosamente las condiciones de borde bajo las cuales fueron desarrollados y analizar si son coherentes y proporcionadas al caso a resolver, para justificar su aplicación. El uso de estas herramientas tiene también como requisito el disponer, para el medio en que se pretende aplicar de información, coeficientes geomorfológicos y parámetros estadísticos locales.

Existen también programas computacionales bidimensionales que simulan flujos de avenida, hiperconcentrados y/o flujos detríticos como los señalados en el Tópico 3.702.1.

2.403.703(3) Modelación Física. Este tipo de modelación se refiere al estudio experimental en modelos físicos a escala de obras hidráulicas. En el pasado, antes del advenimiento de la modelación numérica tridimensional en el ámbito ingenieril, la modelación física constituía la única forma de afinar los diseños de obras hidráulicas complejas.

Desde el punto de vista del diseño de obras hidráulicas, los modelos físicos se utilizan para perfeccionar el diseño de obras de importancia, cuando dichas obras presentan una complejidad en su geometría o en cuanto a sus condiciones de operación, tal que los métodos de cálculo tradicionales no permiten realizar el diseño con seguridad. Los estudios en modelos físicos son relativamente caros y de larga duración y, por lo tanto, su utilización se justifica cuando el presupuesto del estudio en modelo es una fracción pequeña del presupuesto de construcción de la obra prototipo.

La selección de la escala de un modelo físico es el aspecto más importante en este tipo de estudios. Desde el punto de vista de la economía del estudio (disponibilidad de espacio de laboratorio, caudales de alimentación y facilidad en la operación del modelo), conviene seleccionar una escala tal de lograr un modelo lo más pequeño posible. Por otro lado, desde el punto de vista de la semejanza dinámica que debe cumplir el modelo, la escala debe propender al modelo de mayor tamaño posible. La selección de la escala se realiza primero identificando en el prototipo las principales fuerzas que determinan el comportamiento del flujo, lo cual implica identificar los principales parámetros adimensionales que gobiernan el problema en estudio. La semejanza dinámica se logra si en el modelo y en el prototipo dichos parámetros adimensionales conservan el mismo valor. Debe comprobarse además que el flujo ocurra en el mismo régimen hidrodinámico en el modelo y en el prototipo, evitando por ejemplo que en el modelo los efectos viscosos y de tensión superficial alcancen una importancia relativa alta si en el prototipo ellos son despreciables. En el caso de modelos físicos de obras en cauces naturales, lo usual es utilizar la semejanza del número de Froude, verificando que el régimen de escurrimiento en el modelo sea turbulento e hidrodinámicamente rugoso.

Los modelos pueden ser geoméricamente similares o distorsionados. En este último caso se introduce un factor de distorsión entre las escalas horizontales y verticales, de manera de ampliar las variaciones verticales de los perfiles transversales del cauce. La distorsión se introduce principalmente en el caso de cauces muy anchos, con relaciones entre la altura de escurrimiento y el ancho del cauce muy pequeñas.

Por otro lado, los modelos pueden ser de contorno fijo o de lecho móvil. En el caso de modelos con contorno fijo, un problema importante lo constituye la semejanza de la resistencia hidráulica, particularmente la reproducción a escala de la rugosidad originada por las partículas de sedimentos. Aún cuando se logre reproducir el tamaño del sedimento a escala, no es posible conseguir la semejanza de la resistencia hidráulica, dado que ella no sigue la condición de semejanza de Froude. Por este motivo, es necesario agregar elementos de rugosidad adicionales al lecho, lo que implica realizar una calibración de manera de reproducir la relación caudal-nivel de escurrimiento existente en el prototipo. Para ello se debe contar con mediciones de terreno de dicha relación, las cuales son normalmente complementadas con resultados de modelación numérica de ejes hidráulicos, de modo de extrapolar los resultados de terreno hacia condiciones de crecida no medidas en el prototipo.

Los modelos de lecho móvil o con transporte de sedimento orientados al estudio de cauces aluviales, pueden ser de dos tipos: (1) de contorno fijo y con alimentación de sedimento de modo de formar un lecho de pequeño espesor; (2) de contorno completamente móvil formado por un lecho de material granular. En el último caso, la modelación es compleja dado que en la naturaleza las riberas del cauce tienden a tener propiedades geomecánicas distintas a las del lecho, las cuales les dan una mayor estabilidad y resistencia a la erosión. Desde este punto de vista, es casi imposible realizar modelos con el contorno completamente móvil y en la práctica se opta por rigidizar al menos las riberas, de modo de fijar el cauce de acuerdo a la topografía del prototipo.

La reproducción a escala de los fenómenos de transporte de sedimento es otro problema de los modelos físicos con lecho móvil, dado que la reproducción a escala de la curva granulométrica no asegura en si semejanza del transporte de sedimento. Ello debido a que dichos procesos de transporte no necesariamente siguen la semejanza de Froude, a menos que las partículas en el prototipo sean suficientemente gruesas de modo que los procesos viscosos sean despreciables, tal como ocurre usualmente en el prototipo, con excepción del caso de lechos muy finos. Más allá de ello, incluso en lechos de granulometría gruesa no es posible reproducir a escala las fracciones más finas de la curva granulométrica, las cuales en ríos de montaña corresponden a el 20% en peso o más del material del lecho. Esto dificulta la adecuada reproducción en el modelo de la interacción de los distintos tamaños de partículas que conforman el lecho. Por lo mismo, los procesos de transporte de sedimentos en suspensión son prácticamente imposibles de reproducir adecuadamente en el modelo. En el caso de lechos de sedimento fino siempre es necesario recurrir a una distorsión en el tamaño del sedimento, dado que es imposible conseguir sedimento granular no cohesivo extremadamente fino. Dicha distorsión usualmente se compensa utilizando material granular con una densidad inferior a la del sedimento natural.

Un análisis dimensional, un razonamiento físico y una inspección del problema son acercamientos esenciales para la selección de los criterios de similitud que gobiernan el problema si el uso de más de un criterio resulta necesario. Para establecer las similitudes entre un prototipo y un modelo físico a escala deben cumplirse dos condiciones básicas:

- Para cada punto, tiempo y proceso en el prototipo, debe corresponder un único punto, tiempo y proceso en el modelo.
- La razón de correspondencia entre magnitudes físicas del prototipo y el modelo es constante para cada tipo de variable.

Si el prototipo es grande puede ser necesario usar un modelo distorsionado. En un modelo distorsionado la escala vertical del modelo es usualmente más pequeña que la escala horizontal y en tal caso la rugosidad del modelo debe ser mucho más grande que la del prototipo, en orden de disipar una cantidad relativamente más grande de energía en un río.

Basado en todo lo anteriormente expuesto, puede decirse que la modelación física es una herramienta muy útil para el diseño de obras hidráulicas insertas en cauces naturales pero, tal como en la modelación numérica, hay que tener conciencia que ella representa sólo una aproximación a la realidad.

Desde el punto de vista de las propiedades del flujo, el estudio en modelos físicos entrega, en la mayoría de los casos, resultados suficientemente precisos, que permiten diseñar adecuadamente las obras hidráulicas analizadas. Por otro lado, desde el punto de vista de los procesos de transporte de sedimento, sin embargo, la precisión de los resultados de un modelo físico es probablemente inferior, lo cual significa que los resultados que pueden obtenerse con él tienen un valor más bien cualitativo, pero que sin embargo pueden contribuir significativamente a mejorar el diseño de las obras estudiadas. Dada la dificultades de la modelación numérica en este tipo de problemas, la modelación física sigue siendo una herramienta importante y valiosa para el diseño de obras hidráulicas complejas o de importancia insertas en cauces naturales con lecho móvil.

SECCION 2.404 ALCANCE DE LOS ESTUDIOS DE HIDROLOGIA Y DRENAJE EN PROYECTOS VIALES

En esta sección se describe en detalle el alcance que deben tener los estudios de hidrología y drenaje en los distintos niveles del estudio, ya sea en proyectos de nuevos trazados o en los de recuperación y cambio de estándar. En las Láminas 2.404.A y 2.404.B se han resumido los distintos resultados que deben obtenerse en cada etapa, tanto en términos de los estudios hidrológicos como también en el dimensionamiento hidráulico de las obras.

2.404.1 PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS

2.404.101 Estudios Preliminares. En esta etapa los estudios de hidrología y drenaje contribuyen a valorizar en forma preliminar las rutas posibles y aportan antecedentes que permiten descartar rutas no factibles, ya sea técnica o económicamente, ayudando al Proyectista a precisar y limitar el número de las rutas por estudiar a nivel de anteproyecto.

Para cumplir estos propósitos el Proyectista tendrá disponibles: la cartografía existente (generalmente a escala 1:50.000), fotos aéreas y un reconocimiento de terreno. En esta etapa se debe indagar sobre la existencia, ubicación y registros disponibles en estaciones pluviométricas y fluviométricas, que puedan ser de interés para aportar información hidrológica pertinente a etapas posteriores del estudio (Ver Sección 2.005). La cantidad de antecedentes existentes definirá la extensión del trabajo hidrológico que se deberá realizar y será un antecedente adicional para la selección del método por emplear. Los datos relativos a I-D-F que se consignan en 2.402.7 resultan especialmente útiles en esta etapa.

Los resultados que deben lograrse en esta etapa son: identificar los cauces de mayor importancia y su ubicación relativa respecto de la ruta; cuantificar en forma aproximada los caudales de estos cauces; señalar las zonas pantanosas que puedan requerir de drenaje subterráneo para ser saneadas; y precisar los problemas hidrológicos e hidráulicos que será necesario abordar durante las etapas posteriores del estudio.

En este nivel del estudio sólo se realizarán estimaciones de magnitudes de caudal en forma preliminar para los cauces importantes con los antecedentes disponibles, sin efectuar cálculos hidrológicos ni hidráulicos detallados.

Una vez definidas las características generales de la obra vial y sus rutas aproximadas, se deberá realizar un reconocimiento de terreno. En esta visita es aconsejable preparar una monografía detallada de los cauces naturales de cierta importancia que cruzará el camino, su ubicación aproximada, identificar estos cauces con los indicados en la cartografía, medir la magnitud de su sección recta en la zona del cruce, y realizar un cálculo estimativo del caudal y de la pendiente longitudinal del cauce. Se deberá anotar también cualquier obstrucción o singularidad en el cauce que pueda repercutir al agua. En la monografía se indicarán los sectores que, de acuerdo con la inspección visual, requieran saneamiento para eliminar el exceso de agua subterránea o deprimir la napa freática, cuantificando en forma aproximada la magnitud del problema.

Posteriormente, en el gabinete, con los antecedentes cartográficos y con los datos recogidos en terreno, pueden cuantificarse los caudales previstos en los cauces principales. A nivel de los estudios preliminares sólo cabe preocuparse de la estimación de los caudales en las cuencas importantes, es decir ríos, esteros y cuencas con un área aportante mayor de 5 km² pues son los costos de las obras de cierta envergadura los que pueden definir las preferencias por una u otra alternativa. En esta etapa del estudio puede suponerse que el costo de las obras menores de drenaje será similar en todas las alternativas.

2.404.102 Anteproyecto. El estudio a nivel de anteproyecto tiene como meta definir, con buena aproximación, las características y costos de cada alternativa de trazado, y reunir la información necesaria para seleccionar la mejor de ellas. En este contexto, los aspectos de hidrología y drenaje deben permitir dimensionar, mediante métodos aproximados, los puentes y alcantarillas mayores; establecer los caudales de diseño de las obras de drenaje transversal de cada alternativa; y definir las obras de saneamiento de las zonas pantanosas.

Para cumplir con los fines anteriores se requiere complementar los antecedentes reunidos en la etapa de estudios preliminares, en los siguientes aspectos:

- a) Recopilar la información de caudales máximos diarios y máximos instantáneos, en todos aquellos puntos que puedan ser útiles como base de la metodología de estimación que se proponga usar en los puntos de interés. Se deben tomar las precauciones necesarias para asegurar la representatividad, consistencia y precisión de la información recopilada.
- b) Recopilar la información pluviométrica o pluviográfica de lluvias máximas en 24 horas o de lluvias horarias, en estaciones representativas de las áreas que recorre el trazado, a fin de calcular las curvas intensidad-duración-frecuencia de las precipitaciones de diseño, ya sea mediante cálculo directo, o bien, usando coeficientes de duración y de frecuencia. Para ello debe seguirse la metodología expuesta en el Tópico 2.402.7 y en el Numeral 3.702.404 del Volumen N° 3 del Manual.

- c) Realizar las pruebas de terreno necesarias para estimar la permeabilidad y conductividad hidráulica de las zonas pantanosas, y reunir los antecedentes geológicos y de suelos que permitan definir las obras de saneamiento necesarias para drenarlas en cada alternativa.

A nivel de anteproyecto el estudio hidrológico debe ser definitivo en cuanto a los caudales de diseño de las obras en cauces de cierta importancia y en cuanto al estudio de las precipitaciones que definirán el tamaño de las alcantarillas menores del camino. Una discusión general de los procedimientos disponibles se presenta en el Tópico 2.402.2.

Los caudales de diseño para las obras de drenaje transversal se calcularán en gabinete, utilizando los antecedentes cartográficos, hidrológicos y datos recogidos en terreno. En la estimación de caudales pueden distinguirse varios procedimientos que se aplican a situaciones distintas. Como regla general es conveniente realizar las estimaciones de caudal por varios métodos, a fin de compatibilizar estimaciones, o bien, utilizar la experiencia y criterio del Proyectista para seleccionar el valor más apropiado. En las metodologías se distinguen, básicamente, dos casos: cauces que drenan cuencas mayores de 3.000 ha y cauces que drenan cuencas pequeñas. En cuencas mayores, si el cauce tiene registros de caudales, es necesario efectuar un estudio de frecuencia de ellos para encontrar el valor de diseño que corresponda a un período de retorno concordante con la vida útil de la obra y con su importancia (Ver Tópico 3.702.3 del Volumen N° 3).

Si no se cuenta con registros observados en el punto de interés, es necesario estimar los caudales de diseño en base a los valores registrados en estaciones pluviométricas cercanas que controlen cuencas de características similares, o bien, utilizar hidrogramas unitarios sintéticos que pueden calcularse en base a las características geográficas y topográficas de la cuenca. Si se establece una correspondencia entre cuencas similares, es preciso afectar los caudales observados por factores que tomen en consideración las diferencias de tamaño, de precipitación, y, si es posible, de características geomorfológicas y de vegetación, que puedan tener ambas cuencas. Si se usan las técnicas del hidrograma unitario sintético, es necesario recopilar información pluviográfica a fin de estimar una tormenta de diseño, a la cual se aplica el hidrograma calculado. En general, este último procedimiento es más elaborado y se aconseja preferir el primero, salvo en aquellos casos en los cuales no se tienen cuencas similares con caudales registrados.

Otra técnica, en general apropiada para casos con información escasa, es el análisis regional de crecidas, pues permite extrapolar información de zonas hidrológicamente similares. El Numeral 3.702.402 del Volumen N° 3 y el Tópico 2.402.5 entregan una descripción somera de esta metodología.

En las cuencas con superficies aportantes del orden de 3.000 ha y menores, es muy poco frecuente encontrar observaciones de caudales que permitan calcular valores de diseño. En estos casos se recurre, por lo general, al método racional (Ver Tópico 2.402.8 y Numeral 3.702.404 del Volumen N° 3). Este procedimiento implica estimar un coeficiente de escurrimiento, el área aportante y la intensidad de la lluvia de diseño. El coeficiente de escurrimiento se puede seleccionar con las recomendaciones contenidas en el párrafo mencionado y de las observaciones y notas efectuadas durante la visita a terreno. El área aportante se mide de la cartografía disponible. La lluvia de diseño corresponde a la intensidad de lluvia con frecuencia de ocurrencia compatible con la obra y con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca. Ella puede estimarse en base a las curvas intensidad-duración-frecuencia de las precipitaciones.

Esta familia de curvas se calcula realizando un estudio de frecuencia de tormentas de distintas duraciones, representativas de la zona del estudio (Ver 2.402.7 y 3.702.404). La duración de la lluvia de diseño es igual al tiempo de concentración de la cuenca, el cual se estima en base a relaciones empíricas en función del tamaño del área, pendiente de la cuenca y longitud del cauce.

Los caudales preliminares de diseño para las alcantarillas del camino, en esta etapa del estudio, se obtienen con el método racional, agrupando las cuencas con características similares (2.402.8).

A nivel de anteproyecto será necesario diseñar hidráulicamente los puentes, losas y obras mayores del drenaje, pues son estas obras las que pueden influir en la elección de una u otra alternativa de trazado. En la estimación de alturas de aguas máximas y de velocidades en la sección del puente, se deberá considerar la singularidad que introduce la estructura, estimándose el peralte por la contracción de la sección libre. Es probable que en esta etapa se necesite analizar el comportamiento hidráulico de varias estructuras alternativas y definir las características de la solución más recomendable desde el punto de vista hidráulico. Se debe también efectuar un análisis preliminar de posibles problemas de socavación y/o protección de riberas que sean necesarios. Estos estudios se ejecutarán a partir del plano de levantamiento disponible para el estudio del trazado, el que debe cubrir un área, por lo general más amplia en la zona de emplazamiento de puentes.

El cálculo y dimensionamiento de los sub-drenes, que eliminan el exceso de agua en zonas con napas superficiales, debe abordarse con las recomendaciones de la Sección 3.706 del Volumen N° 3 del Manual. En general, la solución de este problema es compleja y necesitará del concurso de especialistas en hidrogeología y en mecánica de suelos. El espaciamiento de los drenes depende del tipo de suelo y de la profundidad a la cual ellos se ubiquen.

2.404.103 Estudios Definitivos. En esta etapa se afinan y complementan los cálculos realizados para la alternativa final seleccionada.

La determinación y cálculo de caudales de diseño se efectuó, en el nivel de anteproyecto, para las obras de drenaje transversal más importantes. Corresponde en el estudio definitivo calcular los caudales que evacuarán las obras de drenaje de la plataforma, alcantarillas menores, canales longitudinales y cunetas. Para determinar estos caudales se recomienda el uso del método racional. La lluvia de diseño se determinará de las curvas intensidad-duración-frecuencia, calculadas en el anteproyecto. Para las obras de drenaje de la plataforma y para los fosos y contrafosos, se utilizará una lluvia de diseño de 10 minutos de duración con período de retorno según lo indicado en la Tabla 3.704.102.A, salvo que las áreas aportantes a canales longitudinales sean de una magnitud tal, que según el Tc calculado justifiquen el uso de un tiempo de concentración mayor.

En cuanto al cálculo hidráulico de las obras de drenaje transversal, en esta etapa es necesario dimensionar las alcantarillas menores que no se calcularon a nivel de anteproyecto y completar los cálculos efectuados para las obras mayores, incorporando cualquier cambio que hubiera sufrido la alternativa seleccionada.

En esta etapa se debe realizar un levantamiento topográfico especial en los cauces donde se proyectarán puentes y losas mayores. Este levantamiento entregará una planta, y permitirá obtener un perfil longitudinal y perfiles transversales hacia aguas arriba y aguas abajo de la sección del puente. El sector abarcado por el levantamiento tendrá las características que se especifican en el Capítulo 3.1000, "Puentes y Obras Afines", Tópico 3.1002.3 del Volumen N° 3. El Ingeniero Especialista podrá en cada caso precisar la extensión y características específicas del levantamiento. Estos antecedentes se requieren para calcular el eje hidráulico correspondiente al gasto de diseño, lo que permitirá elaborar el proyecto hidráulico definitivo de la estructura, considerando las socavaciones y protección de riberas.

Las condiciones que deben cumplir las alcantarillas propiamente tales desde el punto de vista hidráulico son tres: la capacidad de la obra debe ser igual o superior al gasto de diseño; la carga hidráulica a la entrada de la obra debe ser menor que la carga máxima admisible; la velocidad media a la salida debe ser inferior a los máximos admisibles en los distintos tipos de terreno. Los valores máximos se incluyen en la Tabla 3.703.301.A del MC-V3. El cálculo hidráulico se encuentra detallado en el Tópico 3.703.3 del MC-V3. El cálculo es diferente, dependiendo del régimen hidráulico del escurrimiento, hecho no fácilmente previsible de antemano. Por ello, se acostumbra calcular estas obras suponiendo escurrimiento con control de entrada y con control de salida, adoptando, posteriormente, como valor de carga a la entrada de la obra el mayor valor determinado.

Se debe proceder calculando primero suponiendo control hidráulico de entrada y verificando que la carga hidráulica a la entrada de la obra sea menor que el valor admisible. Posteriormente se debe verificar que la velocidad a la salida no supere los valores máximos permitidos. Enseguida se calcula la obra suponiendo control hidráulico en la sección de salida, lo que implica, en primer lugar, calcular la altura de agua de salida. Este nivel puede corresponder a la altura normal en el cauce aguas abajo de la obra, a la altura crítica en el conducto, o bien a una altura de aguas definidas por el cálculo de eje hidráulico desde aguas abajo. Por lo general, el cauce hacia aguas abajo es de mayor capacidad que el conducto de la alcantarilla y, por consiguiente, la obra funciona en una condición de salida no sumergida y se puede suponer la existencia de la altura normal a la salida. Una vez determinada la altura de agua en la salida, se calcula la carga necesaria para que el conducto pueda llevar el gasto de diseño. La altura de aguas a la entrada de la obra queda definida por la altura de aguas a la salida de la obra, por la carga hidráulica necesaria y por la longitud y pendiente de fondo del conducto.

Las dimensiones de fosos, contrafosos y canales interceptores, se obtienen diseñándolos para condiciones de escurrimiento uniforme y eligiendo, de acuerdo con su longitud y trazado, una pendiente de fondo adecuada. En ellos se deberá comprobar que las velocidades se mantengan en los límites admisibles para cada tipo de terreno (véase Tabla 3.703.301.B del MC-V3). En caso contrario, se tomarán las precauciones para evitar la erosión del cauce. El método detallado de diseño se indica en la Sección 3.705 del MC-V3.

En los planos de drenaje del trazado se indicarán los fosos, contrafosos y canales interceptores, incluyendo su trazado hasta los puntos de descarga en cauces naturales u obras de drenaje transversal. Se incluirán secciones tipo que muestren las dimensiones y formas de cada una de estas obras, autorizándose, en aquellos casos en que el terreno presenta pendiente uniforme y la obra tiene una sección media $\leq 0,70 \text{ m}^2$, su cubicación por metro lineal, sobre la base de una sección media representativa. La memoria de cálculo consignará las hipótesis adoptadas para verificar la capacidad, velocidad de escurrimiento, etc. Para Secciones Medias $> 0,70 \text{ m}^2$ o cuando la pendiente general del terreno es menor que 1,0% o, por el contrario, cuando se trata de terreno escarpado con cambios bruscos de pendiente, se deberán incluir el perfil longitudinal y los perfiles transversales para justificar el diseño y las cubicaciones.

2.404.2 PROYECTOS DE RECUPERACION Y DE CAMBIO DE ESTANDAR

2.404.201 Recuperación de Estándar

2.404.201(1) Estudios Preliminares. Los estudios preliminares para esta categoría de proyectos pueden tener énfasis diferentes, dependiendo del tipo de recuperación de estándar que se pretenda realizar: recuperación de la calzada, complementación o recuperación del sistema de saneamiento y drenaje o recuperación de sectores dañados por fallas en la infraestructura básica.

En cualquier caso, el primer paso en estos estudios será realizar un diagnóstico del problema. Para ello se deberá realizar una inspección en terreno, preparando una monografía con la ubicación, características y estado de conservación de las obras de drenaje transversal y de drenaje de la plataforma. En esta monografía se deben anotar los problemas de funcionamiento que se detecten y las causas probables que originan el mal funcionamiento de las obras. La monografía permitirá efectuar un diagnóstico de la situación y aclarará los pasos a seguir en el desarrollo del estudio de drenaje. Especial cuidado debe ponerse para detectar los problemas de drenaje que hayan ocasionado fallas a la calzada o a la infraestructura del camino. Se deberá precisar, en lo posible, si las causas del mal funcionamiento corresponden a problemas de limpieza y mantención de las obras y cauces, o bien a insuficiencias de capacidad.

Es imprescindible realizar una cuidadosa inspección de las obras en terreno, pues ello determinará las obras que es necesario verificar. La inspección de terreno debe complementarse con la experiencia de la Dirección de Vialidad en lo relativo a la conservación del trazado.

Dentro del estudio preliminar se debe seleccionar el período de retorno por usar en el diseño o en la verificación de las obras. También se debe examinar si las hipótesis de diseño empleadas en el proyecto original son aún válidas, o si existen nuevos antecedentes que aconsejen un cambio en los criterios de diseño. En todo caso, se contará con nuevos datos hidrológicos que pueden corroborar y complementar la información utilizada en el proyecto original.

2.404.201(2) Ingeniería Básica, Anteproyecto y Estudio Definitivo. La secuencia y contenido de los estudios posteriores depende, en gran medida, de las características específicas del proyecto de recuperación. Sin embargo, el estudio hidrológico debe cubrir aquellos aspectos no abordados en el Estudio Preliminar, y descritos en el nivel de Anteproyecto y Estudio Definitivo en proyectos de nuevos trazados. (2.404.102 y 2.404.103). El objetivo del estudio hidrológico es proporcionar caudales de diseño para todas aquellas obras con algún problema de funcionamiento. Se considera indispensable verificar sólo aquellas obras que han presentado problemas de funcionamiento, o que, potencialmente, pudieran tenerlos en el futuro por haber cambiado las condiciones existentes al momento de diseño. En estudios de recuperación de estándar no se considera necesario realizar estudios hidrológicos especiales para aquellas obras para las cuales no han cambiado las condiciones de diseño y que, además, han presentado un buen comportamiento durante su vida útil.

El estudio hidrológico debe definir las curvas intensidad-duración-frecuencia para el área de interés y los caudales de diseño para las alcantarillas y obras de drenaje de la plataforma. Asimismo, debe definir las necesidades de sub-drenes y los caudales de diseño de ellos.

Se deberá verificar el cálculo hidráulico de todas las obras menores de drenaje transversal o de la plataforma que hayan presentado problemas en el pasado, o bien cuyas condiciones de diseño hayan cambiado.

Se verificará la capacidad hidráulica y el estado de conservación de fosos, contrafosos, canales interceptores y cunetas, especificándose, expresamente, las medidas de conservación necesarias para restituir a estas obras su capacidad de diseño.

2.404.202 Cambio de Estándar

2.404.202(1) Estudios Preliminares. El cambio de estándar implica alguna o varias de las siguientes situaciones: rectificación de la geometría en un camino existente a fin de conseguir un diseño homogéneo, o bien elevar el estándar a una categoría superior; el ensanche de la calzada o la adición de una segunda calzada, rectificando o no el trazado, y la pavimentación del camino, rectificando o no el trazado.

Por consiguiente, el alcance de la hidrología y drenaje en este nivel de estudios dependerá de la importancia de los cambios. En aquellos casos en los cuales los cambios de trazado impliquen nuevas obras o afecten en forma importante a las obras existentes, el alcance de los estudios deberá ser similar a lo descrito a nivel de anteproyecto y de estudio definitivo de nuevos trazados. En los casos en que los cambios sean marginales el alcance será similar a lo descrito en los estudios de recuperación de estándar.

MANUAL DE CARRETERAS	ASPECTOS DE HIDROLOGIA, DRENAJE E HIDRAULICA FLUVIAL EN TRAZADOS NUEVOS SEGUN NIVEL DE ESTUDIO	2.404.A
VOL. N° 2		Diciembre 2001
NIVEL ESTUDIO	ASPECTOS HIDROLOGICOS	ASPECTOS HIDRAULICOS
ESTUDIO PRELIMINAR	<p>SELECCION PERIODO DE RETORNO SEGUN CARACTERISTICAS DEL PROYECTO Y TIPO DE OBRAS</p> <p>ANALISIS DE LAS DIVERSAS RUTAS PROPUESTAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identificación cauces principales(1) - Estimación caudales según las características hidrológicas de área y geométrica del cauce - Detección de zonas con evidencia de napas superficiales <p>(1) Ríos, Esteros, Cuencas con $A \geq 5 \text{ km}^2$</p>	<p>PRIMERA ESTIMACION DE SECCIONES LIBRES REQUERIDAS POR PUENTES Y OBRAS DE ARTE PRINCIPALES (Caudales según Métodos en Función de Area)</p>
	<p>ESTABLECER METODOLOGIAS Y ALCANCE DE LOS ESTUDIOS PARA LA ETAPA SIGUIENTE (TRE)</p>	
ANTE-PROYECTO	<p>ESTUDIO HIDROLOGICO DEFINITIVO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Precipitaciones de diseño - Caudales de diseño en cauces principales <p>CALCULO AFINADO DE CAUDALES DE DISEÑO EN PUENTES Y ALCANTARILLAS PRINCIPALES</p> <p>CALCULO DE CAUDALES DE ALCANTARILLAS MENORES MEDIANTE METODOS APROXIMADOS (Función del Area)</p>	<p>CALCULO AFINADO DE ALTURAS DE AGUA Y VELOCIDADES MAXIMAS CONSIDERANDO EL EFECTO DE POSIBLES ESTRUCTURAS ALTERNATIVAS. ESTIMACIONES DE SOCAVACION</p> <p>DIMENSIONAMIENTO AFINADO DE OBRAS DE ARTE (Alcantarillas, losas, etc.)</p> <p>(Cálculo y Dimensionamiento Afinado dependerá básicamente de la escala de los planos disponibles)</p>
	<p>ESTABLECER METODOLOGIAS Y ALCANCE DE LOS ESTUDIOS PARA LA ETAPA SIGUIENTE (TRE)</p>	
ESTUDIO DEFINITIVO	<p>DETERMINACION FINAL DE CAUDALES DE DISEÑO EN PUENTES Y OBRAS DE ARTE</p> <p>CAUDALES DE DISEÑO EN OBRAS DE DRENAJE DE LA PLATAFORMA.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Canales interceptores - Fosos y Contrafosos - Cunetas <p>EVENTUALES PRUEBAS DE CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA EN ZONAS CON EVIDENCIA DE NAPA SUPERFICIAL</p> <p>CAUDALES DE DISEÑO EN SUBDRENES</p>	<p>DISEÑO HIDRAULICO Y FLUVIAL DETALLADO EN PUENTES</p> <p>DISEÑO HIDRAULICO DETALLADO DE ALCANTARILLAS</p> <p>DISEÑO HIDRAULICO DE CANALES INTERCEPTORES, FOSOS, CONTRAFOSOS, CUNETAS Y OBRAS DE SANEAMIENTO</p> <p>DIMENSIONAMIENTO DE SUBDRENES</p>
	<p>ESTABLECER METODOLOGIAS Y ALCANCE DE LOS ESTUDIOS PARA LA ETAPA SIGUIENTE (TRE)</p>	

MANUAL DE CARRETERAS		ASPECTOS DE HIDROLOGIA , DRENAJE E HIDRAULICA FLUVIAL EN PROYECTOS DE RECUPERACION Y DE CAMBIO DE ESTANDAR	2.404.B
VOL. N° 2			Diciembre 2001
NIVEL ESTUDIO		ASPECTOS HIDROLOGICOS	ASPECTOS HIDRAULICOS
RECUPERACION DE ESTANDAR	ESTUDIO PRELIMINAR	<p>SELECCION PERIODO DE RETORNO DIAGNOSTICO - Análisis de antecedentes existentes - Ubicación de las obras</p>	<p>DIAGNOSTICO - Características de las obras - Detección problemas y causas</p>
	ING. BASICA Y ESTUDIO DEFINITIVO	<p>DETERMINACION DE CAUDALES DE DISEÑO EN OBRAS PRINCIPALES SEGUN PERIODO DE RETORNO.</p> <p>DETERMINACION DE LLUVIAS DE DISEÑO EN OBRAS MENORES.</p> <p>CAUDALES DE DISEÑO EN OBRAS MENORES SEGUN PERIODO DE RETORNO CONSIDERADO.</p> <p>CAUDALES DE DISEÑO PARA: - Canales interceptores - Fosos, contrafosos - Obras de saneamiento CAUDALES DE DISEÑO EN SUB-DRENES.</p>	<p>VERIFICACION HIDRAULICA SEGUN PERIODO DE RETORNO DE AQUELLAS OBRAS QUE EVIDENCIAN PROBLEMAS (SECCION, SOCAVACION, PROTECCION RIBERAS).</p> <p>VERIFICACION DIMENSIONES DE OBRAS MENORES SEGUN PERIODO DE RETORNO.</p> <p>DISEÑO DE OBRAS COMPLEMENTARIAS QUE RESULTEN NECESARIAS DE LA VERIFICACION</p> <p>DISEÑO DE SUB DRENES</p>
CAMBIO DE ESTANDAR	ESTUDIO PRELIMINAR	<p>SELECCION PERIODO DE RETORNO DIAGNOSTICO - Análisis de antecedentes existentes - Ubicación de las obras</p>	<p>DIAGNOSTICO DE FALLAS Y RECOMENDACIONES DE DISEÑO</p> <p>PRIMERA ESTIMACION DE SECCIONES LIBRES REQUERIDAS POR NUEVOS PUENTES Y ALCANTARILLAS MAYORES. DETECCION DE POSIBLES PROBLEMAS DE SOCAVACION Y PROTECCION DE RIBERAS.</p>
	ANTEPROYECTO (ING. BASICA) Y ESTUDIO DEFINITIVO	<p>DETERMINACION DE CAUDALES DE DISEÑO EN OBRAS PRINCIPALES SEGUN PERIODO DE RETORNO.</p> <p>DETERMINACION DE LLUVIAS DE DISEÑO EN OBRAS MENORES.</p> <p>CAUDALES DE DISEÑO EN OBRAS MENORES SEGUN PERIODO DE RETORNO CONSIDERADO.</p> <p>CAUDALES DE DISEÑO PARA: - Canales interceptores - Fosos, contrafosos - Obras de saneamiento CAUDALES DE DISEÑO EN SUB-DRENES.</p>	<p>DISEÑO HIDRAULICO DETALLADO EN NUEVAS OBRAS MAYORES Y VERIFICACION DE LAS EXISTENTES.</p> <p>DISEÑO HIDRAULICO DE NUEVAS ALCANTARILLAS.</p> <p>DISEÑO HIDRAULICO DE NUEVOS CANALES INTERCEPTORES, FOSOS, CONTRAFOSOS Y CUNETAS.</p> <p>DISEÑO DE MODIFICACIONES REQUERIDAS POR OBRAS DE ARTE EXISTENTES.</p> <p>DISEÑO HIDRAULICO DE SUB-DRENES.</p>

No obstante, el estudio preliminar incluirá un diagnóstico de la situación que provea información para seleccionar los criterios de diseño y período de retorno de las obras nuevas y para verificar las existentes. En esta etapa se preparará una monografía con las características y ubicación de las obras existentes y descripción de las obras nuevas en las variantes del trazado. Esta monografía será similar a la descrita en el Numeral 2.404.101 en los casos en que el cambio de estándar defina variantes al trazado actual, o bien seguirá lo descrito en el Numeral 2.404.201 para cambio de estándar.

2.404.202(2) Ingeniería Básica, Anteproyecto y Estudio Definitivo. Análogamente a lo expresado en los estudios de recuperación de estándar, las secuencias en las etapas posteriores del estudio dependen, en gran medida, de las características específicas de los cambios de estándar.

En cuanto al trazado y a las obras existentes, los estudios en esta etapa seguirán las líneas generales de lo descrito en el párrafo sobre recuperación de estándar.

En el caso de obras nuevas que se proyecten en variantes al trazado, el alcance de los estudios debe corresponder a lo descrito en 2.404.102 Anteproyecto y 2.404.103 Estudio Definitivo de proyectos de nuevos trazados.

SECCION 2.405 ILUSTRACION DE ALGUNOS PROBLEMAS TIPICOS DE ANALISIS HIDROLOGICO

2.405.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

Este tópicu ilustra dos procedimientos descritos en la Sección 2.402, con ejemplos tomados de situaciones reales: el análisis de frecuencia de una variable hidrológica y el método del hidrograma unitario. En la primera parte se presenta un detalle de los cálculos por realizar para ajustar un modelo probabilístico, determinar su bondad de ajuste, estimar los parámetros del modelo, estimar a través del uso del modelo un estimador puntual de la variable asociada a un determinado nivel de probabilidad de ocurrencia, y calcular el error estándar de la estimación puntual y los intervalos de confianza para un cierto nivel de significancia. En el Tópico 2.405.3 se ilustra el cálculo de caudales mediante el método del hidrograma unitario.

En los estudios hidrológicos es usual que el proyectista enfrente situaciones en que la información estadística sea escasa o deba aplicar metodologías de cálculo en condiciones algo diferentes a las consideradas en su deducción. Por ello, cada uno de los ejemplos presentados incluye una breve discusión con el fin de enfatizar la necesidad de analizar y sopesar los resultados obtenidos, previo a recomendar soluciones y valores de diseño.

2.405.2 FRECUENCIA DE LLUVIAS MAXIMAS DIARIAS

Al proyectista le interesa, en general, la lluvia máxima diaria asociada a algún período de retorno. Para ello, forma la serie anual de lluvias máximas diarias, eligiendo del registro el mayor valor diario observado en cada año y con esta muestra realiza el análisis de frecuencia. El análisis de frecuencia de lluvias máximas diarias tiene por objeto asociar a cada valor de lluvia diaria, una probabilidad de ocurrencia o un período de retorno.

Este análisis se efectúa, ya sea analíticamente, ajustando a la muestra un modelo probabilístico, o bien, gráficamente. Ambos procedimientos son sencillos de usar y sus resultados son satisfactorios. Sin embargo, el primero implica la aceptación de la hipótesis de ajuste o de representatividad del modelo y el segundo no permite una extrapolación de los resultados a frecuencias fuera del rango observado.

A continuación se ilustran ambos enfoques con las lluvias máximas diarias registradas en la localidad de Melipilla (Latitud S 33°42', Longitud W 70°13', Altura 200 m). En la Tabla 2.405.2.A se incluye la serie anual de precipitaciones máximas diarias observadas en Melipilla, para el registro disponible entre los años 1971 y 1998.

TABLA 2.405.2.A
SERIE ANUAL DE LLUVIAS MAXIMAS DIARIAS EN MELIPILLA

FECHA	LLUVIA	FECHA	LLUVIA
	mm		mm
06.10.71	30,3	11.08.87	96,8
08.06.72	44,7	18.08.88	33,0
26.09.76	19,5	25.07.89	50,0
09.07.77	42,2	16.07.90	29,0
19.07.78	61,0	19.06.91	51,9
26.07.79	48,8	05.05.92	86,8
29.09.80	46,7	16.04.93	31,0
11.05.81	86,0	26.04.94	49,0
26.06.82	70,0	13.08.95	43,0
20.06.83	51,0	12.06.96	25,0
04.07.84	74,0	16.08.97	55,0
28.07.85	27,5	05.06.98	13,5
27.05.86	51,7		
PROMEDIO = 48,70 mm. DESVIACION ESTANDAR = 21,36 mm. COEFICIENTE DE ASIMETRIA = 0,611 TAMAÑO DE LA MUESTRA = 25 Estadígrafos calculados de acuerdo a las relaciones indicadas en el Numeral 2.402.402.			

2.405.201 Ajuste Gráfico. El método se describe en el Numeral 2.402.403(1) y consiste en asignar a cada lluvia máxima diaria de la serie anual un período de retorno en forma empírica. En la Tabla 2.405.201.A se entregan los valores de lluvia máxima diaria ordenados en forma decreciente y asociados a un período de retorno y a una probabilidad de no excedencia, calculados con la expresión propuesta en el Numeral mencionado.

El resultado del ajuste gráfico se presenta en la Lámina 2.405.201.A, donde debido a la definición de la escala del papel, el modelo se representa por una recta.

Un gráfico de este tipo permite apreciar visualmente el ajuste de la muestra al modelo seleccionado, o bien, definir una curva que represente las frecuencias empíricas asignadas. En este ejemplo se observa que los puntos de la muestra se encuentran alineados y siguen la tendencia de la recta que representa el ajuste analítico del modelo de distribución de Valores Extremos Tipo I, no obstante, existen tramos que se alejan de la recta que representa al modelo analítico. La Lámina ilustra también la dificultad de extrapolar el ajuste gráfico, pues los mayores errores en la asignación de períodos de retorno se producen en los valores más altos, sobre todo en muestras de poca longitud.

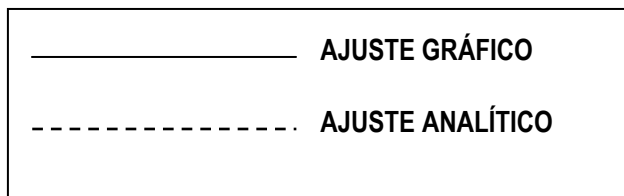
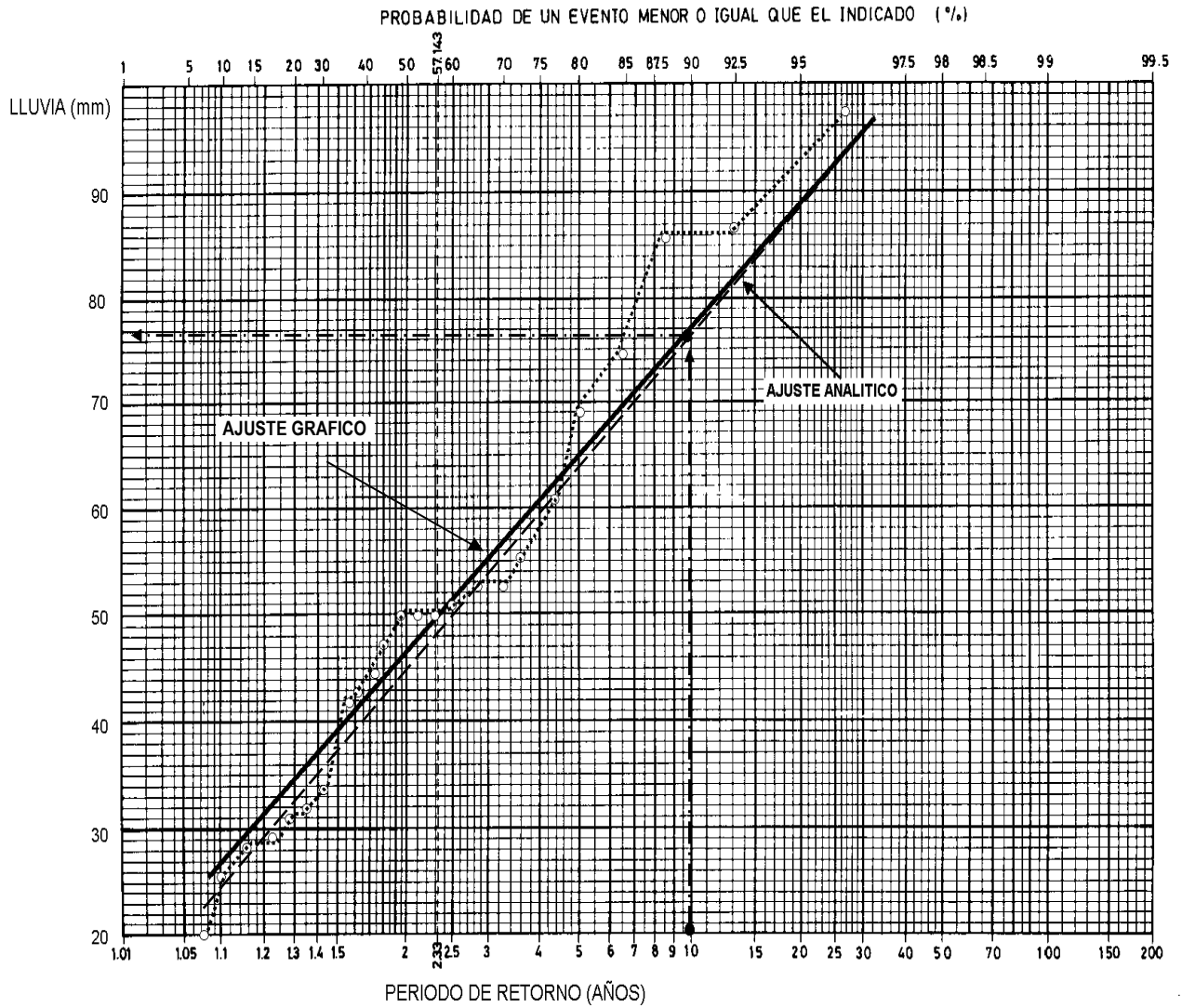
Es una práctica sana y recomendable el examinar el ajuste de la muestra a más de un modelo probabilístico y seleccionar el más adecuado a la luz de los resultados obtenidos, de consideraciones teóricas, de los test estadísticos para probar la hipótesis de ajuste y de la comparación gráfica de las distribuciones con las frecuencias empíricas. Así se contará con antecedentes más completos para definir los valores de diseño asociados a distintos períodos de retorno.

TABLA 2.405.201.A
AJUSTE GRAFICO PARA LLUVIAS MAXIMAS DIARIAS EN MELIPILLA
 $T = (n+1)/m$

NUMERO DE ORDEN "m"	LLUVIA (mm)	PERIODO DE RETORNO T (años)	PROBABILIDAD DE NO EXCEDENCIA
1	96,8	26,00	0,962
2	86,8	13,00	0,923
3	86,0	8,67	0,885
4	74,0	6,50	0,846
5	70,0	5,20	0,808
6	61,0	4,33	0,769
7	55,0	3,71	0,731
8	51,9	3,25	0,692
9	51,7	2,89	0,654
10	51,0	2,60	0,615
11	50,0	2,36	0,577
12	49,0	2,17	0,538
13	48,8	2,00	0,500
14	46,7	1,86	0,462
15	44,7	1,73	0,423
16	43,0	1,63	0,385
17	42,2	1,53	0,346
18	33,0	1,44	0,308
19	31,0	1,37	0,269
20	30,3	1,30	0,231
21	29,0	1,24	0,192
22	27,5	1,18	0,154
23	25,0	1,13	0,115
24	19,5	1,08	0,077
25	13,5	1,04	0,038

n = Tamaño de la muestra.

m= Número de orden de la lluvia máxima diaria, ordenando la serie anual según magnitudes decrecientes.



2.405.202 Ajuste Analítico. El ajuste analítico puede realizarse empleando uno o varios de los modelos probabilísticos propuestos en el Tópico 2.402.4. La conveniencia de utilizar más de un modelo se analiza más adelante.

A continuación se ilustra el procedimiento ajustando al registro observado de lluvias máximas diarias en Melipilla, tres modelos probabilísticos: Log Normal de dos parámetros, Valores Extremos Tipo I y Pearson III.

El procedimiento para la estimación de los parámetros de las distintas distribuciones de probabilidad se describe en el Numeral 2.402.402. Utilizando el método de los momentos, se pueden determinar los parámetros de las principales distribuciones de probabilidad que caracterizan la serie de precipitaciones máximas diarias en la localidad de Melipilla. Los parámetros así estimados se indican en la Tabla 2.405.202.A.

**TABLA 2.405.202.A
 PARAMETROS DE LOS MODELOS DE DISTRIBUCION POR EL METODO DE LOS MOMENTOS**

Modelos	Parámetro α	Parámetro β	Parámetro γ
Log Normal-2	$\mu_y = 3,80$	$\sigma_y = 0,42$	
Valores Extremos Tipo I	$\alpha = 0,060$	$\beta = 39,08$	
Pearson III	$\alpha = 6,53$	$\beta = 10,72$	$\gamma = -21,24$

A modo de ejemplo, se describe con mayor detalle, la estimación de los parámetros del modelo de Valores Extremos Tipo I, los cuales son función del promedio (\bar{X}) y de la desviación estándar de la muestra (S_x); del valor esperado (\bar{Y}_n) y de la desviación estándar (S_n) de la variable reducida. Los dos últimos factores son función sólo del tamaño de la muestra. En el Numeral 2.402.402 se presentan las expresiones y tablas necesarias para el cálculo de los parámetros del modelo.

Para la muestra de 25 valores, la Tabla 2.405.2.A indica que $\bar{X} = 48,70$ mm y $S = 21,36$ mm. Los parámetros α y β de la distribución de valores extremos se calculan con las siguientes expresiones:

$$\alpha = \frac{1,2825}{S} = 0,060 \qquad \beta = \bar{X} - 0,45005 \cdot S = 39,08$$

Estos parámetros definen completamente la expresión de la función distribución acumulada del modelo de distribución de valores extremos, función que asocia a cada valor de la variable la probabilidad de obtener valores menores o iguales que dicho valor, de la siguiente manera:

$$F_x(X) = \exp(-\exp^{-\alpha(x-\beta)})$$

en que:

- $F_x(X)$ = Función distribución acumulada del modelo, o probabilidad que la variable tome valores menores o iguales a X.
- α, β = Parámetros del modelo.
- x = Variable aleatoria.

Utilizando la relación existente entre el concepto de período de retorno y la función distribución acumulada, se puede calcular el valor de la lluvia máxima diaria asociado a cualquier período de retorno.

$$F_x(X) = 1 - \frac{1}{T} = \exp(-\exp^{-\alpha(x-\beta)})$$

en que:

T = Período de retorno en años.

El modelo así ajustado se presenta graficado en la Lámina 2.405.201.A, utilizando papel de distribución de valores extremos. Debido a la definición de la escala del papel, el modelo se representa por una recta. En dicha Lámina se presentan también los resultados del ajuste gráfico.

2.405.203 Estimación para Distintos Períodos de Retorno. De acuerdo al modelo probabilístico seleccionado, utilizando los parámetros indicados en la Tabla 2.405.202.A se pueden estimar las lluvias máximas diarias para distintos períodos de retorno, las cuales se indican en la Tabla 2.405.203.A. En el caso particular de los valores de precipitación

máxima diaria ,con 10 años período de retorno, se puede observar que, en este ejemplo, las estimaciones realizadas mediante distintos modelos resultan ser muy parecidas, del orden de 76 mm. Sin embargo, ya sea en la Tabla 2.405.203.A o en la Lámina 2.405.203.A, se puede observar que las diferencias varían a medida que aumenta el período de retorno para el que se hace la estimación. Así por ejemplo, para T = 10 la estimación realizada con el modelo Pearson III es 0,9% mayor que la realizada usando el modelo Log Normal-2; sin embargo, para T = 100, la estimación realizada con el primer modelo es 8,9% menor que la realizada con el segundo.

TABLA 2.405.203.A
LLUVIA MAXIMA DIARIA EN MELIPILLA SEGUN MODELO PROBABILISTICO Y PERIODO DE RETORNO

	Lluvia Máxima Diaria (mm)					
	Período de Retorno (T, años)					
	5	10	20	25	50	100
Log Normal-2	63,5	76,3	88,9	92,9	105,5	118,3
Valores Extremos Tipo I	64,1	76,6	88,6	92,4	104,1	115,7
Pearson III	65,7	77,0	87,1	90,2	99,2	107,8

2.405.204 Errores Estándares en los Estimados. Tal como se describe en el Numeral 2.402.404, en la estimación de un valor asociado a cualquier período de retorno o probabilidad, no sólo se puede determinar un valor puntual, sino que también es posible dimensionar la falta de precisión en la estimación. Esta varianza, o error de estimación, entrega un valor para el error estándar o la varianza del estimado en función de los momentos centrados, de funciones de ellos y del factor de frecuencia.

Siguiendo con el ejemplo de las precipitaciones máximas diaria en Melipilla (Tabla 2.405.2.A), y de acuerdo al procedimiento descrito en el Numeral 2.402.404, se presenta en la Tabla 2.405.204.A el cálculo de los errores estándares de los estimados, de acuerdo a distintas distribuciones y períodos de retorno. En este caso, para un período de retorno de 10 años, la distribución Pearson III estima el valor de precipitación máxima diaria con el menor error estándar. En el otro extremo, la distribución Log Normal de dos parámetros, realiza la estimación con el mayor error, un 30% superior al obtenido con la distribución Pearson III.

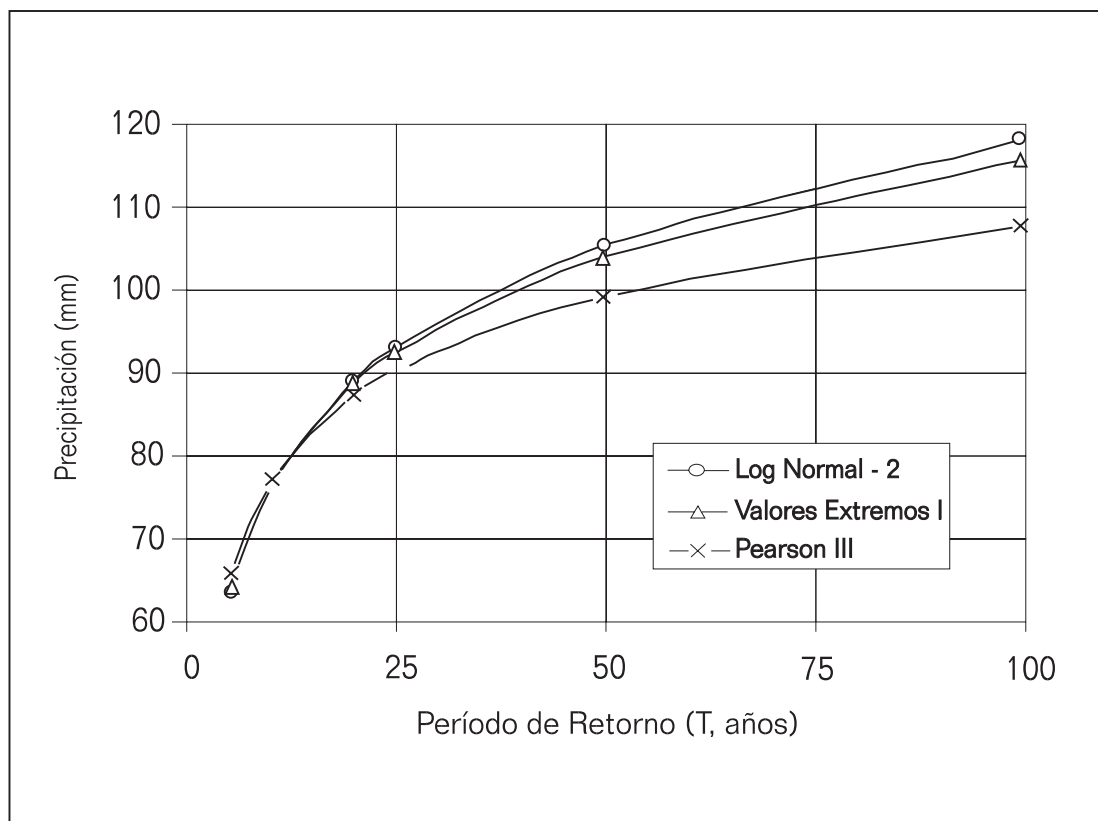
TABLA 2.405.204.A
ERRORES ESTANDAR DE LA PRECIPITACION MAXIMA DIARIA EN MELIPILLA SEGUN MODELO PROBABILISTICO Y PERIODO DE RETORNO

	Período de Retorno (T, años)					
	5	10	20	25	50	100
Log Normal-2	6,95	9,73	12,58	13,51	16,43	19,42
Valores Extremos Tipo I	6,60	8,92	11,27	12,03	14,39	16,76
Pearson III	5,78	7,48	9,91	10,80	13,82	17,11

La diferencia observada en la precisión con la cual se estiman los valores, ya sea en términos de las distribuciones o los períodos de retorno, se debe a que la varianza del estimado depende del método empleado para estimar los momentos de la distribución. Además, se debe tener en cuenta que dependiendo de esta última, el cálculo del término S_T se realiza en función de un coeficiente delta, de la varianza de la variable aleatoria y del tamaño de la muestra.

2.405.205 Intervalos de Confianza. Debido a que el estimado del valor asociado a cualquier período de retorno es una variable aleatoria, también se puede asociar a dicha estimación un intervalo de confianza. La determinación del intervalo permite definir el rango en el cual se encuentra el valor asociado a la estimación de x_T , de acuerdo a un cierto nivel de confianza o certeza en la estimación realizada.

El intervalo de confianza del estimado, se obtiene usualmente bajo el supuesto que la variable estimada se distribuye normalmente y se expresa, según la relación descrita en el Numeral 2.402.401, en función de la estimación puntual, del error estándar del estimado y de una variable estandarizada normal correspondiente al nivel de significancia del intervalo.

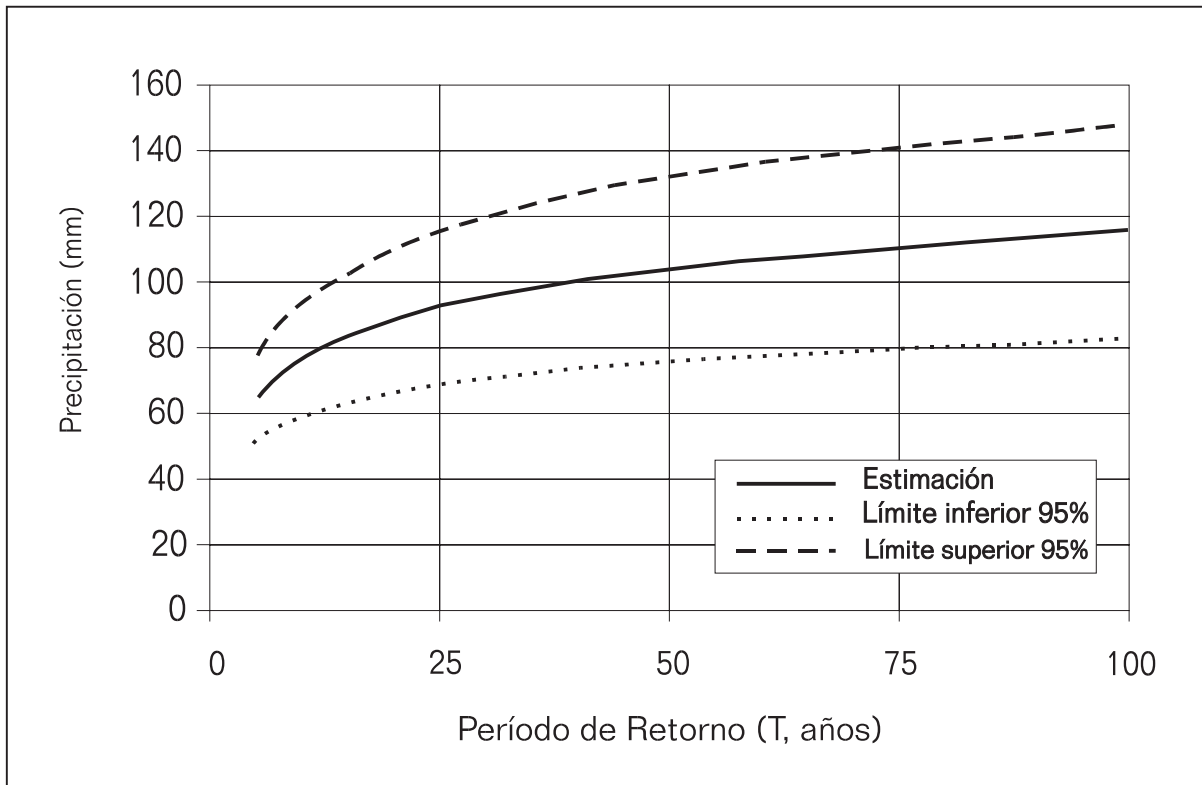


Dependiendo del tipo de distribución ajustada, el intervalo de confianza se puede calcular mediante el procedimiento descrito en el Numeral 2.402.404. De acuerdo a éste, los intervalos calculados para las distintas distribuciones empleadas en el ejemplo se indican en la Tabla 2.405.205.A, con un nivel de confianza del 95%. Para el caso particular de la estimación realizada a través de la distribución de Valores Extremos Tipo I, se incluye una comparación gráfica en la Lámina 2.405.205.A. En todos los casos es posible apreciar que el intervalo de confianza para los distintos períodos de retorno es bastante amplio, lo que indica la dificultad de poder estimar valores asociados a períodos de retorno altos. Es decir, la Tabla indica que existe una probabilidad de 0,95 que la lluvia máxima diaria en Melipilla, asociada a 100 años de período de retorno, esté comprendida entre 83 mm y 149 mm si las lluvias se representan con un modelo de Valores Extremos tipo I.

Cuando se especifica el intervalo con un 95% de confianza, el valor de z empleado en el cálculo es 1,96; en tanto que cuando se trabaja con un grado de confianza igual al 90%, z adopta el valor de 1,64.

TABLA 2.405.205.A
INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LA PRECIPITACION MAXIMA DIARIA EN MELIPILLA SEGUN MODELO
PROBABILISTICO Y PERIODO DE RETORNO
(95% de Confianza)

	Período de Retorno (T, años)					
	5	10	20	25	50	100
Log Normal - 2						
Límite inferior (mm)	50	57	64	66	73	80
Límite superior (mm)	77	95	114	119	138	156
Valores Extremos Tipo I						
Límite inferior (mm)	51	59	66	69	76	83
Límite superior (mm)	77	94	111	116	132	149
Pearson III						
Límite inferior (mm)	54	62	68	69	72	74
Límite superior (mm)	77	92	107	111	126	141



2.405.206 Ajuste de los Modelos

Tal como se indica en el Numeral 2.402.403, en relación a la selección de un modelo probabilístico para representar el comportamiento de una variable aleatoria, el único procedimiento para verificar el comportamiento de un modelo matemático, es comparar las predicciones efectuadas por el modelo con las observaciones provenientes de la realidad. Dentro de los métodos para seleccionar modelos probabilísticos se distinguen los procedimientos gráficos y los analíticos.

El procedimiento gráfico se aborda en el Numeral 2.405.201, y consiste en el análisis visual del ajuste de los datos graficados, en un papel de probabilidad especialmente elaborado para el modelo elegido.

Los procedimientos analíticos, a diferencia de los anteriores, permiten juzgar a través de un criterio cuantitativo la bondad de ajuste de los datos a un determinado modelo probabilístico. A continuación, a modo de ejemplo, se emplea el test de chi-cuadrado para evaluar el ajuste de las precipitaciones máximas diarias en Melipilla, a una distribución de Valores Extremos Tipo I. El fundamento teórico sobre el cual descansa este tipo de prueba se indica en el Numeral 2.402.403(2).

El procedimiento para utilizar el test de chi-cuadrado se ilustra en las Tablas 2.405.206.A, B y C, donde se emplea para evaluar la bondad de ajuste de las distribuciones Log Normal de dos parámetros, Valores Extremos Tipo I y Pearson III, respectivamente. Utilizando los parámetros de las distribuciones correspondientes, se pueden calcular los valores indicados en la columna 5 de cada tabla. La probabilidad incremental del modelo, indicada en la columna 6, se determina calculando la diferencia entre los valores de la columna 5, obteniendo de esta forma la serie E_i . Por último, se calcula el valor de X^2 , el cual distribuye con $k-s-1$ grados de libertad, donde k es el número de clases o intervalos definidos y s es el número de parámetros estimados por el modelo.

En este caso, al 5% de significancia, el valor de tabla para un X^2 con $5 - 2 - 1$ grados de libertad, es 5,99; y es 3,84 para un X^2 con $5 - 3 - 1$ grados de libertad.

Ya que en el caso de la distribución Log Normal de dos parámetros, 5,99 es mayor que 4,64; en la distribución de Valores Extremos Tipo I, 5,99 es mayor que 2,74 y en la distribución Pearson III, 3,84 es mayor que 1,93, la hipótesis nula no puede ser rechazada en ninguno de los casos ilustrados. Esto significa que la información de precipitaciones no contiene información que indique que la hipótesis de la distribución deba ser rechazada.

TABLA 2.405.206.A
ILUSTRACION DEL TEST DE CHI CUADRADO PARA LA DISTRIBUCION LOG NORMAL - 2

Rango (mm)	Límite	Número de observaciones	Frecuencia relativa empírica O_i	Frecuencia acumulada teórica	Probabilidad incremental teórica E_i	X^2
0 - 20	20	2	0,08	0,028	0,03	2,42
20 - 40	40	6	0,24	0,398	0,37	1,14
40 - 60	60	11	0,44	0,760	0,36	0,41
60 - 80	80	3	0,12	0,918	0,16	0,23
80 o más	100	3	0,12	1,000	0,08	0,45
		25	1,00		$X^2 =$	4,64

TABLA 2.405.206.B
ILUSTRACION DEL TEST DE CHI CUADRADO PARA LA DISTRIBUCION VALORES EXTREMOS TIPO I

Rango (mm)	Límite	Número de observaciones	Frecuencia relativa empírica O_i	Frecuencia acumulada teórica	Probabilidad incremental teórica E_i	X^2
0 - 20	20	2	0,08	0,04	0,04	0,79
20 - 40	40	6	0,24	0,39	0,35	0,80
40 - 60	60	11	0,44	0,75	0,36	0,40
60 - 80	80	3	0,12	0,92	0,17	0,32
80 o m.s	100	3	0,12	1,00	0,08	0,44
		25	1,00		$X^2 =$	2,74

TABLA 2.405.206.C
ILUSTRACION DEL TEST DE CHI CUADRADO PARA LA DISTRIBUCION PEARSON III

Rango (mm)	Límite	Número de observaciones	Frecuencia relativa empírica O_i	Frecuencia acumulada teórica	Probabilidad incremental teórica E_i	X^2
0 - 20	20	2	0,08	0,057	0,06	0,23
20 - 40	40	6	0,24	0,340	0,28	0,16
40 - 60	60	11	0,44	0,698	0,36	0,47
60 - 80	80	3	0,12	0,904	0,21	0,90
80 o m.s	100	3	0,12	1,000	0,10	0,16
		25	1,00		$X^2 =$	1,93

En el ejemplo desarrollado, el test chi-cuadrado no permite rechazar la hipótesis de distribución de ninguno de los tres modelos. Esta situación se presenta con frecuencia y es usual que exista más de un modelo que permita representar adecuadamente la muestra. En esta ocasión, los tres modelos dan una representación similar para todo el rango de períodos de retorno.

El proyectista puede por otras razones preferir uno de los modelos, por ejemplo, en este caso particular se puede optar por el modelo de Valores Extremos Tipo I, basado en el hecho que la muestra está formada por los valores de precipitación máxima diaria. Adicionalmente, dados los valores de los parámetros, el modelo de Valores Extremos y el log-normal tienen muy poca diferencia. Se puede apreciar también que los estimadores puntuales, cualquiera sea el modelo se encuentran incluidos en los intervalos de confianza definidos.

2.405.3 CALCULO DE CAUDALES DE DISEÑO MEDIANTE EL HIDROGRAMA UNITARIO

2.405.301 Utilización del Hidrograma Unitario. Tal como se describe en el Numeral 2.402.1001, el hidrograma unitario es el escurrimiento superficial resultante de una lluvia efectiva de magnitud unitaria (1 mm), de intensidad constante, uniformemente distribuida sobre toda la cuenca y de una duración dada. En otras palabras, el hidrograma unitario corresponde al operador lineal que actúa sobre una lluvia efectiva de cierta duración, distribución espacial y temporal, para transformarla linealmente en el hidrograma de escorrentía directa.

En este Numeral se ilustra la aplicación de dos procedimientos para calcular el hidrograma unitario. El primero supone una tormenta de intensidad constante en el tiempo, y el segundo es apropiado para tormentas de intensidad variable. El desarrollo conceptual de ambos métodos se aborda en los Numerales 2.402.1001(1) y 2.402.1001(2).

Para ilustrar ambos procedimientos se emplean los registros de precipitación y gasto registrados en la estación Claro en San Carlos, durante la crecida del 17 de junio de 1974. La hoya del río Claro se encuentra ubicada entre los paralelos 35°31' y 35°42' S y los meridianos 70°43' y 71°04' W. Forma parte de la cuenca del río Maule y drena una zona cordillerana con una superficie de 335 km² hasta la sección en San Carlos. La Tabla 2.405.301.A muestra la distribución temporal de la tormenta y la crecida utilizada.

TABLA 2.405.301.A
DISTRIBUCION TEMPORAL DE LA TORMENTA Y LA CRECIDA REGISTRADA EN LA ESTACION CLARO EN SAN CARLOS EL 17 DE JUNIO DE 1974

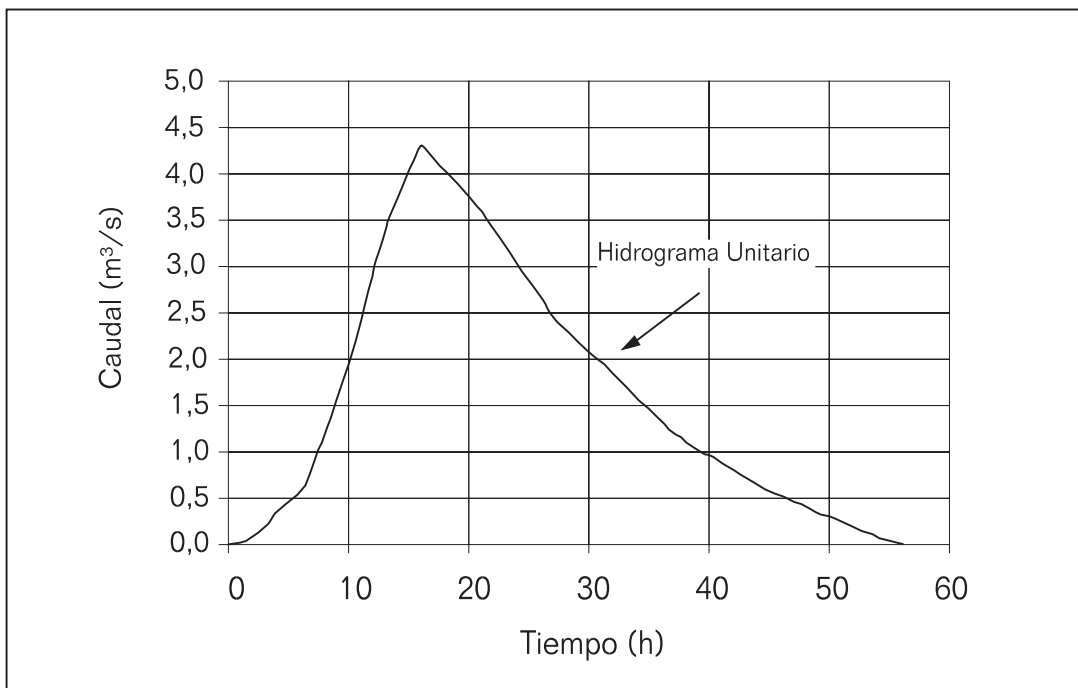
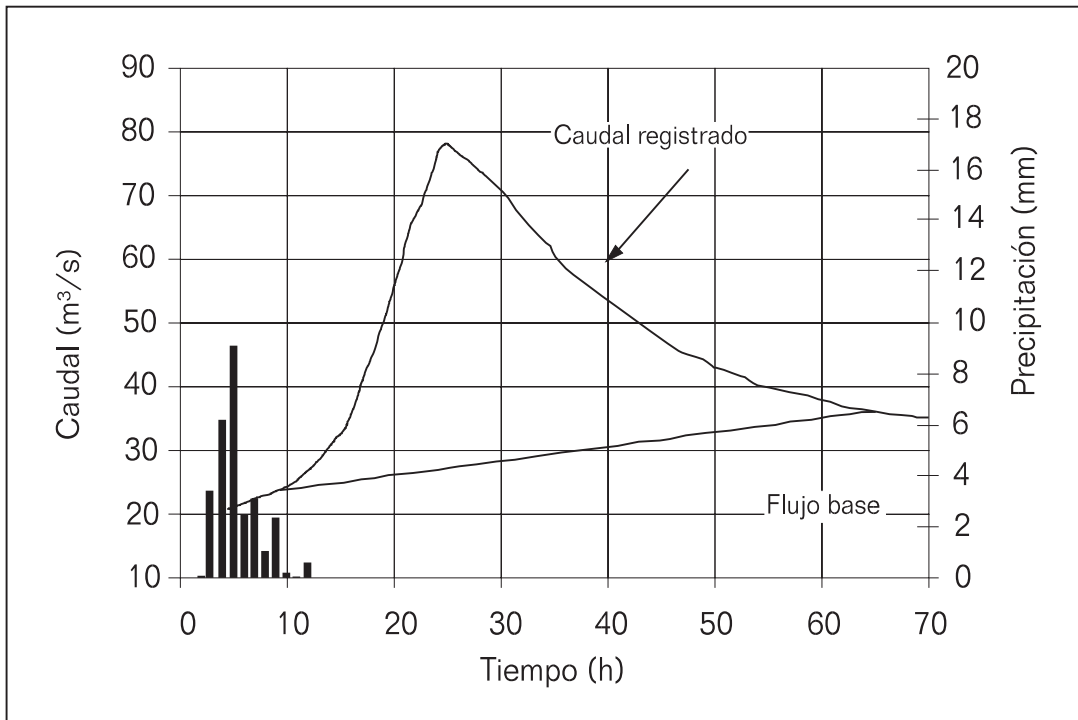
DIA	HORA	PRECIPITACION mm	GASTO (m3/s)	FLUJO BASE m3/s	ESCORRENTIA DIRECTA m3/s	DIA	HORA	PRECIPITACION mm	GASTO m3/s	FLUJO BASE m3/s	ESCORRENTIA DIRECTAm3/s
17	23	0,0				19	8		65,0	29,2	35,8
	24	0,1					9		63,0	29,4	33,6
18	1	3,4					10		60,9	29,6	31,3
	2	6,2					11		58,9	29,8	29,1
	3	9,1	20,9				12		57,5	30,1	27,4
	4	2,5	21,5				13		56,2	30,3	25,9
	5	3,0	22,1				14		55,0	30,5	24,5
	6	1,1	22,7				15		53,7	30,7	23,0
	7	2,4	23,3				16		52,5	30,9	21,6
	8	0,2	23,9	23,9	0,0		17		51,2	31,1	20,1
	9	0,1	24,5	24,1	0,4		18		50,0	31,4	18,6
	10	0,6	25,8	24,3	1,5		19		48,7	31,6	17,1
	11		27,5	24,6	2,9		20		47,5	31,8	15,7
	12		29,3	24,8	4,5		21		46,2	32,0	14,2
	13		31,0	25,0	6,0		22		45,4	32,2	13,2
	14		32,8	25,2	7,6		23		44,7	32,5	12,2
	15		36,7	25,4	11,3		24		44,0	32,7	11,3
	16		40,9	25,7	15,2	20	1		43,3	32,9	10,4
	17		45,1	25,9	19,2		2		42,6	33,1	9,5
	18		50,4	26,1	24,3		3		41,9	33,3	8,6
	19		55,9	26,3	29,6		4		41,2	33,6	7,6
	20		61,4	26,5	34,9		5		40,5	33,8	6,7
	21		66,4	26,8	39,6		6		40,1	34,0	6,1
	22		70,6	27,0	43,6		7		39,6	34,2	5,4
	23		74,8	27,2	47,6		8		39,2	34,4	4,8
	24		78,3	27,4	50,9		9		38,8	34,7	4,1
19	1		76,9	27,6	49,3		10		38,4	34,9	3,5
	2		75,6	27,9	47,7		11		37,9	35,1	2,8
	3		74,2	28,1	46,1		12		37,5	35,3	2,2
	4		72,8	28,3	44,5		13		37,1	35,5	1,6
	5		71,0	28,5	42,5		14		36,8	35,8	1,0
	6		69,0	28,7	40,3		15		36,5	36,0	0,5
	7		67,0	29,0	38,0		16		36,2	36,2	0,0

2.405.301(1) Método Convencional. El método convencional supone que el hidrograma se obtiene a partir de una tormenta de intensidad uniforme. El procedimiento se ilustra en la Tabla 2.405.301(1).A y en la Lámina 2.405.301(1).A.

Para obtener el hidrograma unitario mediante el método convencional es necesario, en primer término, separar el flujo base de escorrentía directa. Luego de lo cual las ordenadas del hidrograma de escorrentía directa se dividen por el volumen escurrido, expresado en mm. De esta manera, las ordenadas así ajustadas conforman el hidrograma unitario.

TABLA 2.405.301(1).A
ILUSTRACION DE LA CONSTRUCCION DEL HIDROGRAMA UNITARIO MEDIANTE EL METODO CONVENCIONAL

DIA	HORA	ESCORRENTIA DIRECTA m3/s	HIDROGRAMA UNITARIO		DIA	HORA	ESCORRENTIA DIRECTA m3/s	HIDROGRAMA UNITARIO
18	8	0,0	0,00		19	12	27,4	2,32
	9	0,4	0,03			13	25,9	2,20
	10	1,5	0,13			14	24,5	2,08
	11	2,9	0,25			15	23,0	1,95
	12	4,5	0,38			16	21,6	1,83
	13	6,0	0,51			17	20,1	1,71
	14	7,6	0,64			18	18,6	1,58
	15	11,3	0,96			19	17,1	1,45
	16	15,2	1,29			20	15,7	1,33
	17	19,2	1,63			21	14,2	1,20
	18	24,3	2,06			22	13,2	1,12
	19	29,6	2,51			23	12,2	1,03
	20	34,9	2,96			24	11,3	0,96
	21	39,6	3,36		20	1	10,4	0,88
	22	43,6	3,70			2	9,5	0,81
	23	47,6	4,04			3	8,6	0,73
	24	50,9	4,32			4	7,6	0,64
19	1	49,3	4,18			5	6,7	0,57
	2	47,7	4,05			6	6,1	0,52
	3	46,1	3,91			7	5,4	0,46
	4	44,5	3,78			8	4,8	0,41
	5	42,5	3,61			9	4,1	0,35
	6	40,3	3,42			10	3,5	0,30
	7	38,0	3,22			11	2,8	0,24
	8	35,8	3,04			12	2,2	0,19
	9	33,6	2,85			13	1,6	0,14
	10	31,3	2,66			14	1,0	0,08
	11	29,1	2,47			15	0,5	0,04
						16	0,0	0,00



2.405.301(2) Método Matricial. Cuando no se dispone de tormentas ideales en los registros, el procedimiento convencional no resulta ser el más adecuado. En este caso es recomendable utilizar el procedimiento matricial descrito en el Numeral 2.402.1001(2), dando solución a la relación de convolución.

Para ello, es necesario estimar los volúmenes de escorrentía directa, Q_1, Q_2, \dots, Q_n en períodos sucesivos durante la tormenta, y relacionarlos en forma matricial con las precipitaciones registradas en los intervalos de tiempo definidos.

Con el fin de ilustrar el empleo del método matricial, se utiliza a continuación el procedimiento para calcular el hidrograma unitario a partir de la crecida registrada en la estación Claro en San Carlos (Tabla 2.405.301.A). En este caso, para calcular la lluvia efectiva se han supuesto dos tipos de pérdidas, una pérdida inicial, de 1 mm, y una pérdida constante por infiltración, de 1 mm/h. Eso hace que se tengan 7 intervalos de lluvia efectiva. De esta forma, el número de ordenadas del caudal superficial es de 57, el número de intervalos de lluvia es 11, por lo tanto el número de elementos del vector que representa las ordenadas del hidrograma unitario es igual a 51 ($57 - 7 + 1$).

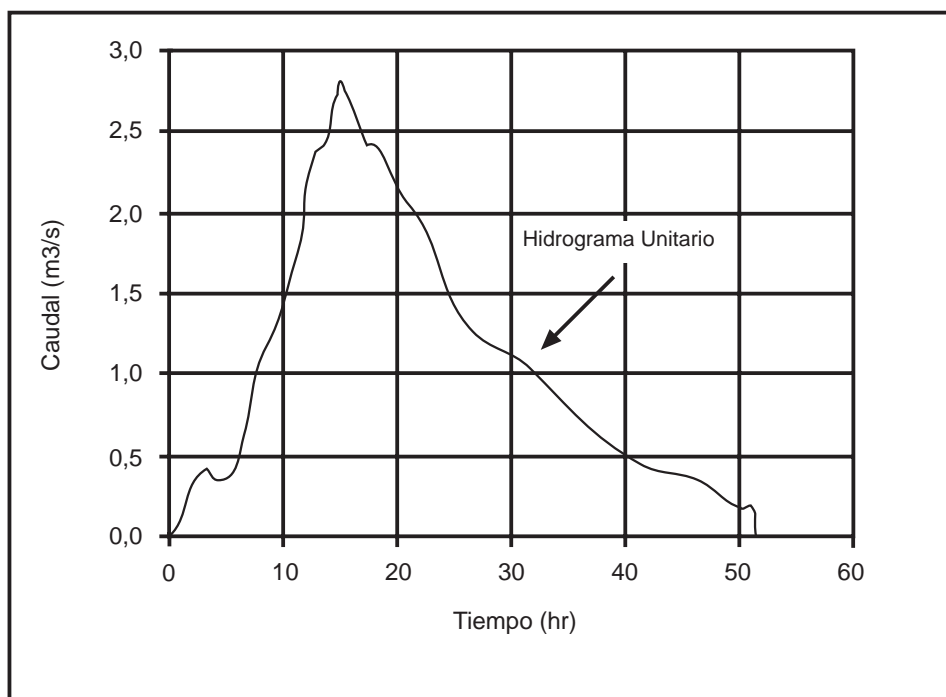
De igual forma, para reducir la condición numérica poco adecuada, asociada a la inestabilidad y valores negativos en el vector solución, en las ecuaciones normales se ha incorporado un factor amortiguador de valor 1. Esta decisión genera una solución sesgada, pero estable de acuerdo a la realidad física.

Resolviendo el sistema de matrices así planteado, se puede calcular el vector del hidrograma unitario, cuyo resultado se presenta en la Tabla 2.405.301(2).A. Estos valores dan origen al hidrograma presentado en la Figura 2.405.301(2).A.

TABLA 2.405.301(2).A
VECTOR DEL HIDROGRAMA UNITARIO OBTENIDO MEDIANTE EL METODO MATRICIAL

HORAS DESPUES DEL COMIENZO	HIDROGRAMA UNITARIO	HORAS DESPUES DEL COMIENZO	HIDROGRAMA UNITARIO
0	0,00	27	1,35
1	0,05	28	1,28
2	0,14	29	1,22
3	0,23	30	1,15
4	0,36	31	1,08
5	0,33	32	1,01
6	0,52	33	0,93
7	0,82	34	0,84
8	0,95	35	0,79
9	1,23	36	0,69
10	1,55	37	0,64
11	1,80	38	0,61
12	2,08	39	0,56
13	2,28	40	0,52
14	2,35	41	0,47
15	2,80	42	0,43
16	2,64	43	0,38
17	2,37	44	0,31
18	2,33	45	0,31
19	2,22	46	0,26
20	2,10	47	0,23
21	2,04	48	0,23
22	1,90	49	0,16
23	1,77	50	0,13
24	1,68	51	0,17
25	1,57	52	0,00
26	1,43		

FIGURA 2.405.301(2).A
CONSTRUCCION DEL HIDROGRAMA UNITARIO MEDIANTE EL METODO MATRICIAL



Una vez determinado el hidrograma unitario, se puede utilizar para calcular los hidrogramas de escorrentía directa y de caudal, a partir de un hietograma de exceso de lluvia. Para ello se emplea la relación de convolución señalada en el Numeral 2.402.1001(2). El intervalo de tiempo utilizado para definir las ordenadas del hietograma de exceso de lluvia debe ser el mismo que el especificado para el hidrograma unitario.

2.405.302 Utilización del Hidrograma Unitario Sintético. No en todas las ocasiones el proyectista dispone de registros para construir el hidrograma unitario. En ese caso, debe recurrir a otro tipo de métodos en aquellas cuencas en las cuales no se dispone de mediciones. Para ello puede hacer uso de relaciones ya existentes entre las características físicas de la cuenca y el hidrograma resultante, las cuales constituyen la base conceptual del hidrograma unitario sintético. Para mayor detalle en relación a su desarrollo, se recomienda consultar el Numeral 2.402.1002.

Para ilustrar el cálculo, se presenta a continuación un ejemplo en el cual se utiliza el método del hidrograma unitario sintético en una cuenca de la zona Maipo - Maule. En este caso se desea calcular el hidrograma unitario de la cuenca del río Alhué en Quilamuta (Lámina 2.405.302.A).

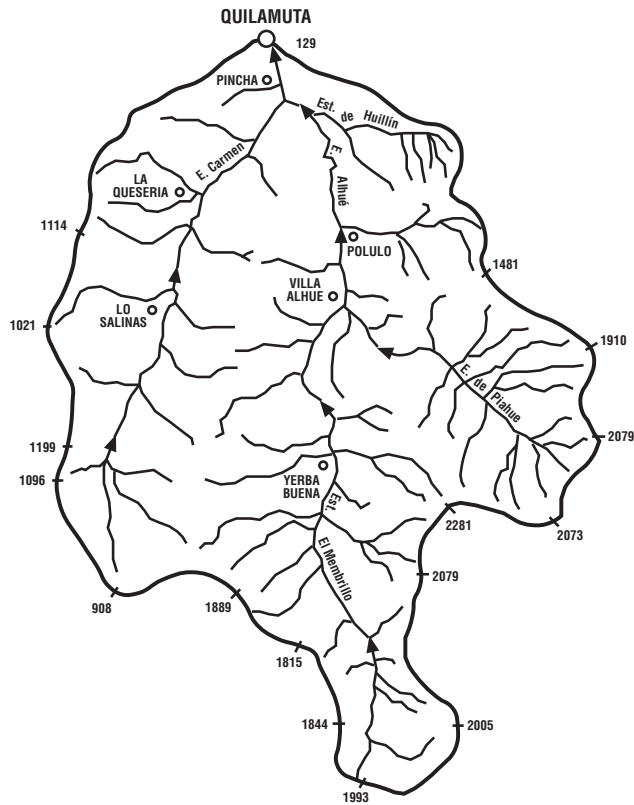
Trabajando con un mapa a escala 1:250.000, se mide el área de la cuenca aportante (A), la que en este caso es de 788 km². De la misma carta se pueden obtener las longitudes del cauce principal (L) y la longitud desde el centroide de la cuenca al punto de control (lg). En este caso sus valores son 50,5 y 25,5 km, respectivamente. Por último, trabajando con los valores de las curvas de nivel, y empleando la expresión descrita en el Numeral 2.402.1002, se calcula la pendiente media de la cuenca (S), que para esta cuenca tiene un valor de 0,300 (m/m).

Con esta información, y las relaciones presentadas en el Numeral 2.402.1002, se pueden realizar los siguientes cálculos:

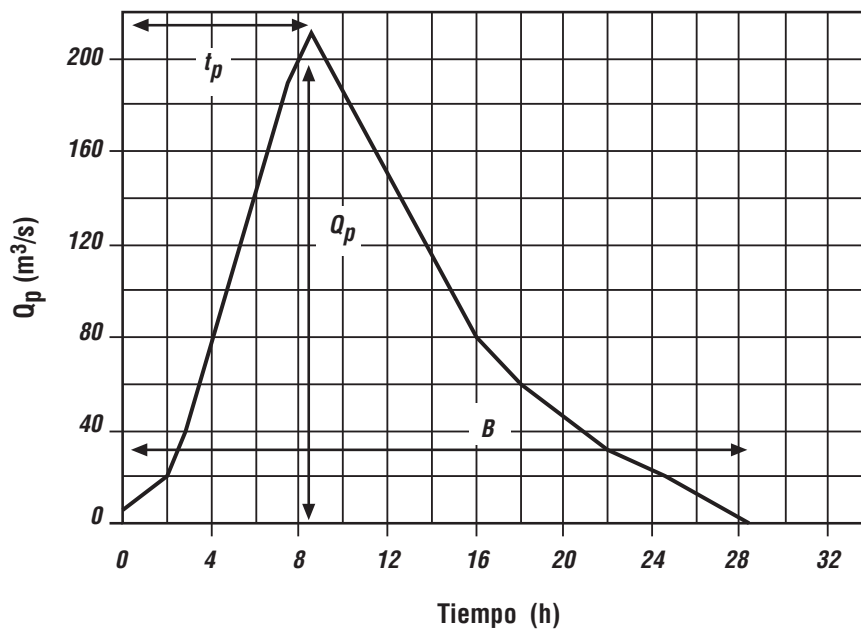
Tiempo de retraso (t_p):

$$t_p = 0,386 \cdot \left(\frac{L \cdot lg}{\sqrt{S}} \right)^{0,397} = 0,386 \cdot \left(\frac{50,5 \cdot 25,5}{\sqrt{0,300}} \right)^{0,397} = 8,4 \text{ h}$$

a) CUENCA RIO ALHUE



b) CONSTRUCCION DEL HIDROGRAMA UNITARIO SINTETICO



Tiempo unitario (t_u):

$$t_u = 0,18 \cdot t_p = 0,18 \cdot 8,4 = 1,5 \text{ h}$$

Valor máximo del hidrograma unitario (q_p):

$$q_p = 3552 \cdot t_p^{-1,22} = 3552 \cdot 8,4^{-1,22} = 264 \text{ l/s/km}^2$$

Caudal máximo instantáneo (Q_p):

$$Q_p = A \cdot q_p = 788 \cdot 264 = 208 \text{ m}^3/\text{s}$$

Base del hidrograma (B):

$$B = 2,70 \cdot t_p^{1,104} = 2,7 \cdot 8,4^{1,104} = 28 \text{ h}$$

Estas expresiones permiten calcular el caudal máximo, el instante en que se produce y el tamaño de la base del hidrograma. Para estimar la forma completa de la curva se utilizan los coeficientes presentados en la Tabla 2.402.1002.A A, que expresan la razón entre el caudal en cualquier instante y el máximo en función de la razón entre el tiempo considerado y el tiempo de retraso.

En la Figura b) de la Lámina 2.405.302.A se ilustra en forma gráfica la construcción del hidrograma unitario sintético para la cuenca del río Alhué en Quilamuta, para una lluvia efectiva de 1 mm, con una duración de 1,5 h. Se indican también los parámetros anteriormente calculados.

Este ejemplo fue desarrollado considerando la totalidad de la cuenca que da origen al río Alhué, procedimiento razonable para un nivel de Estudio Preliminar. Sin embargo, para un Estudio Definitivo, dado que dicha cuenca presenta tres subcuencas principales (Estero Carmen, Estero El Membrillo y Estero de Piahue), sería recomendable analizar separadamente cada una de las subcuencas.

**SECCION 2.406 ILUSTRACION DE ALGUNOS PROBLEMAS
 TIPICOS DE DISEÑO HIDRAULICO**

2.406.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

Esta sección ilustra los cálculos hidráulicos necesarios para dimensionar las obras de drenaje usuales, tales como canales, cunetas, alcantarillas y puentes. Con este objetivo se aborda el cálculo del escurrimiento crítico, el escurrimiento uniforme y el escurrimiento gradualmente variado, a fin de trazar con propiedad el eje hidráulico. El fundamento teórico de los procedimientos aquí presentados se desarrolla en la Sección 2.403, Procedimientos y Técnicas Hidráulicas.

2.406.2 ESCURRIMIENTO CRITICO

El procedimiento para determinar el escurrimiento crítico pasa por el cálculo de la profundidad crítica y la velocidad cuando la descarga y la sección de la obra son conocidas. A continuación se ilustra un método numérico para su determinación. En fundamento teórico del cálculo se puede revisar en el Tópico 2.403.2.

Para un ducto o una alcantarilla de sección geométrica simple, el escurrimiento crítico se puede determinar algebraicamente utilizando la condición de crisis:

$$\frac{Q^2 \cdot L}{g \cdot \Omega^3} = 1$$

en que:

- Q = Caudal.
- L = Ancho superficial.
- g = Aceleración de gravedad.
- Ω = Area de la sección.

Para ilustrar el procedimiento, se desarrolla el cálculo de la profundidad crítica (h_c) y la velocidad del escurrimiento en una alcantarilla de sección trapecial, que evacua un caudal de 0,5 m³/s. La base de la alcantarilla (b) es de 1 m, y los taludes laterales están en la razón de 2:1 (h:v).

Utilizando las relaciones entregadas en la Tabla 2.403.1.A, la sección trapecial se puede caracterizar en función de la altura de agua (h) y el talud (z), de la siguiente forma:

$$\Omega = h \cdot (1 + 2 \cdot z \cdot h)$$

$$L = 1 + 2 \cdot z \cdot h$$

Dado que la solución del problema pasa por un procedimiento de tanteo, es conveniente elaborar una tabla para las distintas iteraciones. Con ese fin se ha confeccionado la Tabla 2.406.2.A.

**TABLA 2.406.2.A
 CALCULO DEL ESCURRIMIENTO CRITICO EN UNA SECCION TRAPECIAL**

(1)	(2)	(3)	(4)
h	Ω	L	$Q^2 L/g \Omega^3$
0,600	1,320	3,400	0,038
0,300	0,480	2,200	0,507
0,250	0,375	2,000	0,967
0,248	0,371	1,992	0,994
0,247	0,369	1,988	1,000

En la primera columna se indica el valor tentativo de h. Con este valor, y empleando la ecuación antes citada, se calcula tanto el valor del área en la columna 2, como el ancho superficial de la columna 3. A partir de estas dos columnas se calcula el número de Froude indicado en la columna 4. Dado que en este caso se busca la altura de agua que provoca la condición de crisis, se debe intentar hallar el valor de h que permita obtener un valor lo más cercano a la unidad en la columna 4. Si en el primer intento no se logra, se debe probar nuevamente con otro valor de h, hasta alcanzar el grado de precisión deseado en la estimación.

En este ejemplo, el proceso de iteración se inicia con un $h = 0,600$ m, con el cual se obtiene un número de Froude igual a 0,038; el cual es menor que uno, lo que indica una condición sub-crítica o de río. Luego, la altura de agua debe disminuir para aumentar el número de Froude y acercarse a la condición de crisis. De esta forma, al cabo de 5 pasos se obtiene un valor de 1,000 en la columna 4. Por lo tanto, la altura crítica es de 0,247 m y se produce cuando el escurrimiento se desplaza a una velocidad media de 1,36 m/s.

En el caso de las secciones circulares, la mayoría de los elementos geométricos son función del ángulo, θ , que se proyecta desde el centro de la sección a los bordes del perímetro mojado. Para ilustrar el cálculo de la profundidad crítica en este tipo de condiciones, se determina a continuación el valor de h_c en una alcantarilla circular de 1,0 m de diámetro, que evacua un caudal de 0,6 m³/s.

Utilizando las relaciones contenidas en la Tabla 2.403.1.A, es posible caracterizar la sección circular de la siguiente forma:

$$L = \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) \cdot D_o$$

$$\Omega = \frac{D_o^2}{8} \cdot (\theta - \sin\theta)$$

donde el término D_o corresponde al diámetro de la sección.

Empleando estas relaciones se construye la Tabla 2.406.2.B. En este caso es conveniente utilizar como variable de entrada el ángulo θ , calculando el valor de L en la columna 2 y de Ω en la columna 3. Con los valores de L y Ω se calcula el número de Froude. Si con el valor de θ empleado no se logra un valor cercano a la unidad en la última columna, el procedimiento de repite con un nuevo valor de θ , hasta alcanzar un grado de precisión aceptable.

TABLA 2.406.2.B
CALCULO DEL ESCURRIMIENTO CRITICO EN UNA SECCION CIRCULAR

(1)	(2)	(3)	(4)
θ	L	Ω	$Q^2 L/g \Omega^3$
100	0,766	0,0951	32,74
120	0,866	0,1535	8,78
140	0,940	0,2251	3,03
160	0,985	0,3063	1,26
164	0,990	0,3233	1,08
165	0,991	0,3276	1,04
166	0,993	0,3319	1,00

En el ejemplo el tanteo se inicia con un valor de $\theta = 100$, con el cual se obtiene un número de Froude igual a 32,7. Como en este caso, el valor del número de Froude es mayor que uno, se debe aumentar el ángulo del centro con el fin de incrementar la altura de agua y disminuir el número de Froude para acercarse a la condición de crisis.

De esta forma, y luego de sucesivos tanteos, se llega a que un ángulo de 166° permite alcanzar la máxima precisión en la estimación del Froude. La altura de agua que genera ese ángulo se obtiene mediante la siguiente relación:

$$h = \frac{D_o}{2} \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right)$$

Por lo tanto, la altura crítica es de 0,436 m, y se produce cuando el escurrimiento tiene una velocidad media de 1,81 m/s.

En el caso de las secciones complicadas o cauces naturales, se puede utilizar el mismo procedimiento de tanteo calculándose para cada altura el área, el radio hidráulico y las demás propiedades geométricas de la sección, usando las coordenadas de los puntos que la definen.

2.406.3 ESCURRIMIENTO UNIFORME

Tal como se indica en el Tópico 2.403.3, el escurrimiento uniforme es aquél que toma lugar cuando las fuerzas de fricción en el lecho de la canalización se equilibran con la componente paralela al fondo de las fuerzas de gravedad, que son aquéllas que producen el movimiento.

En la práctica, gran parte de los cálculos que se desarrollan en relación a este tipo de escurrimiento apuntan a determinar la profundidad normal y la velocidad de escurrimiento, o las pendientes a las cuales se produce el escurrimiento normal. Por este motivo, y con fines de diseño, a continuación se aborda el cálculo de dichas variables.

En el cálculo del escurrimiento uniforme se puede emplear la ecuación de Manning, para la cual existe abundante información en relación al coeficiente n .

2.406.301 Cálculo de la Profundidad Normal y la Velocidad del Escurrimiento. Al momento de evaluar o diseñar una determinada obra, habitualmente el proyectista debe estimar la profundidad a la cual va a escurrir el agua y la velocidad con la cual se va a desplazar. El procedimiento a seguir para dicha estimación se describe a continuación.

En el caso de las obras con secciones geoméricamente simples el cálculo se puede realizar en forma directa, a través de la resolución algebraica de la ecuación de Manning. El empleo de este procedimiento se ilustra con el siguiente ejemplo.

A fin de dimensionar la obra, se necesita determinar la altura normal y la velocidad en un foso revestido de sección triangular y taludes 1:1 ($h:v$). La obra debe evacuar un caudal de $0,075 \text{ m}^3/\text{s}$, con una pendiente longitudinal de $0,004$, y un n de $0,020$.

Utilizando las relaciones presentadas en la Tabla 2.403.A, el radio hidráulico (R) y el área de una sección triangular (Ω) se expresan en términos de la profundidad de la siguiente manera:

$$R = \frac{z \cdot h}{2 \cdot \sqrt{1+z^2}}$$

$$\Omega = z \cdot h^2$$

Por otra parte, la velocidad queda definida por la siguiente expresión:

$$V = \frac{Q}{\Omega} = \frac{Q}{z \cdot h^2}$$

Utilizando los valores de diseño y reemplazando las expresiones anteriores en la fórmula de Manning, se llega a la siguiente relación:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

$$\frac{Q}{z \cdot h^2} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{z \cdot h}{2 \cdot \sqrt{1+z^2}} \right)^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

$$\frac{0,075}{1 \cdot h^2} = \frac{1}{0,020} \cdot \left(\frac{1 \cdot h}{2 \cdot \sqrt{1+1^2}} \right)^{2/3} \cdot 0,004^{1/2}$$

Despejando h de la ecuación anterior se obtiene que $h = 0,04743^{3/8}$. Por lo tanto, $h_n = 0,319 \text{ m}$, siendo esta la profundidad normal. El área asociada a esta profundidad es de $\Omega_n = 0,102 \text{ m}^2$, y la velocidad normal es de $V_n = 0,075/0,102 = 0,735 \text{ m/s}$.

2.406.4 FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

El cálculo del flujo gradualmente variado se realiza básicamente para conocer, en cualquier punto de la corriente, la altura de agua con que esta escurre para un caudal dado, en una sección de forma conocida. Para ello, se pueden emplear procedimientos numéricos, tales como el método directo por etapas y el método de etapas fijas. El empleo de ambos procedimientos y la conveniencia de utilizar uno u otro de acuerdo al tipo de diseño, se ilustra a continuación. Mayor detalle en términos de los fundamentos matemáticos sobre los cuales descansa cada método y los supuestos normalmente empleados, se puede encontrar en el Tópico 2.403.4.

2.406.401 Método Directo por Etapas. Tal como se indica en el Numeral 2.403.402(2), este método es especialmente recomendado para el caso de canalizaciones de características regulares, con pendiente y sección transversal constante. El método permite obtener en cada etapa de cálculo la distancia a la cual se produce una altura de agua determinada. Su empleo se ilustra a través del siguiente ejemplo.

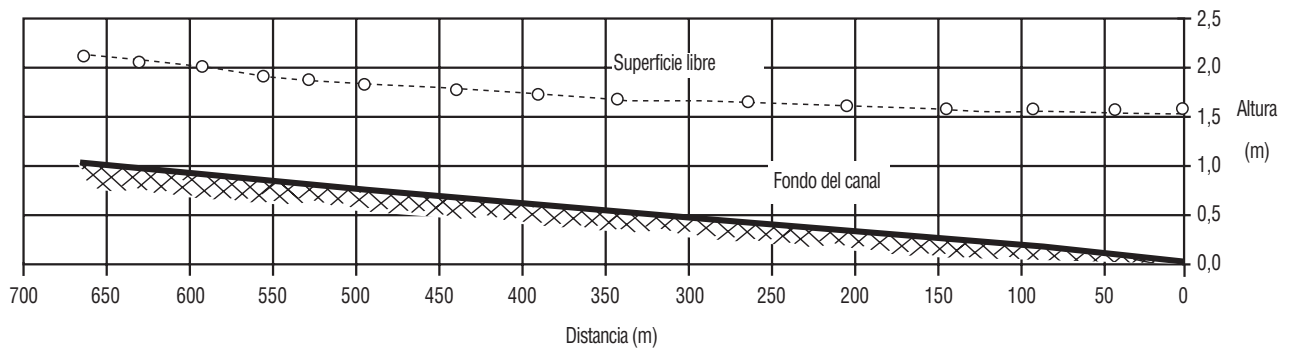
Un canal trapecial de 6 m de base y taludes 2:1 (h:v), debe conducir un gasto de 11 m³/s. El coeficiente de Manning tiene un valor de $n = 0,025$ y la pendiente de fondo es uniforme e igual a $i = 0,0016$. Con fines de diseño, se debe calcular el eje hidráulico en el tramo de influencia de un dique que mantiene el agua a una profundidad de 1,52 m inmediatamente aguas arriba de la obra.

Con el fin de desarrollar los cálculos por etapas es conveniente construir un cuadro, como el que se indica en la Tabla 2.406.401.A, empleando los datos del ejemplo. Los valores en cada columna se explican a continuación.

- Columna 1: Altura de agua, h , asignada arbitrariamente.
- Columna 2: Área de la sección, Ω , correspondiente a la altura de agua h en la columna 1.
- Columna 3: Perímetro mojado, χ , correspondiente al área Ω en la columna 2.
- Columna 4: Radio hidráulico, R , correspondiente a h en la columna 1.
- Columna 5: Velocidad media, V , obtenida dividiendo el caudal por el área correspondiente en la columna 2.
- Columna 6: Altura de velocidad, $V^2/2g$.
- Columna 7: Energía específica referida al fondo, H , obtenida sumando la altura de velocidad en la columna 6 con la altura de agua en la columna 1.
- Columna 8: Número de Froude al cuadrado, $F^2 = ((Q^2 L/g \Omega^3))^2$, calculado en función de la velocidad media en la columna 5, la altura de agua en la columna 1 y la geometría de la sección.
- Columna 9: Promedio del Número de Froude al cuadrado, F_{medio}^2 , calculado como la media aritmética entre el valor calculado en la columna 8 y aquél en el paso previo.
- Columna 10: Diferencia de energía específica referida al fondo entre ambas secciones, ΔH , calculada como $\Delta H = \Delta h(1 - F_{\text{medio}}^2)$.
- Columna 11: Pendiente de la línea de energía, $J = V^2 n^2 / R^{4/3}$, calculada según la ecuación de Manning.
- Columna 12: Pendiente promedio de la línea de energía en el tramo, J_{media} , igual a la media aritmética de la pendiente de la línea de energía calculada en la columna 11 y la de la etapa previa.
- Columna 13: Diferencia entre la pendiente de fondo y la pendiente media de la línea de energía, $i - J_{\text{media}}$.
- Columna 14: Longitud del tramo entre ambas secciones, Δx .
- Columna 15: Distancia acumulada desde la sección de origen del cálculo, $\sum \Delta x$.

TABLA 2.406.401.A
CALCULO DEL EJE HIDRAULICO POR EL METODO DIRECTO POR ETAPAS

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
h	Ω	χ	R	V	$V^2/2g$	H	F^2	F^2_{medio}	ΔH	J	J media	i- J media	Δx	$\Sigma \Delta x$
1,520	13,74	12,80	1,07	0,801	0,0327	1,5527	0,0575			0,00036				0
1,463	13,06	12,54	1,04	0,842	0,0362	1,4992	0,0657	0,0616	-0,0535	0,00042	0,00039	0,00121	-44	-44
1,402	12,34	12,27	1,01	0,891	0,0405	1,4426	0,0761	0,0709	-0,0566	0,00049	0,00046	0,00114	-50	-94
1,341	11,64	12,00	0,97	0,945	0,0455	1,3866	0,0888	0,0825	-0,0559	0,00058	0,00054	0,00106	-53	-146
1,280	10,96	11,73	0,93	1,004	0,0514	1,3315	0,1043	0,0965	-0,0551	0,00069	0,00063	0,00097	-57	-203
1,219	10,29	11,45	0,90	1,069	0,0583	1,2775	0,1232	0,1138	-0,0540	0,00082	0,00076	0,00084	-64	-267
1,158	9,63	11,18	0,86	1,142	0,0665	1,2247	0,1468	0,1350	-0,0527	0,00099	0,00091	0,00069	-76	-344
1,128	9,31	11,04	0,84	1,181	0,0712	1,1989	0,1607	0,1537	-0,0258	0,00110	0,00104	0,00056	-46	-390
1,097	8,99	10,91	0,82	1,223	0,0763	1,1736	0,1763	0,1685	-0,0253	0,00121	0,00115	0,00045	-57	-447
1,082	8,83	10,84	0,82	1,245	0,0791	1,1611	0,1849	0,1806	-0,0125	0,00127	0,00124	0,00036	-35	-482
1,067	8,68	10,77	0,81	1,268	0,0819	1,1487	0,1939	0,1894	-0,0124	0,00134	0,00131	0,00029	-42	-524
1,058	8,58	10,73	0,80	1,282	0,0837	1,1414	0,1996	0,1968	-0,0073	0,00138	0,00136	0,00024	-31	-555
1,049	8,49	10,69	0,79	1,296	0,0856	1,1341	0,2055	0,2026	-0,0073	0,00143	0,00140	0,00020	-37	-592
1,042	8,43	10,66	0,79	1,305	0,0869	1,1293	0,2096	0,2076	-0,0048	0,00146	0,00144	0,00016	-31	-622
1,036	8,37	10,63	0,79	1,315	0,0881	1,1245	0,2138	0,2117	-0,0048	0,00149	0,00147	0,00013	-38	-660



2.406.402 Método de Etapas Fijas. Este procedimiento de etapas fijas permite calcular la profundidad de agua que presenta el escurrimiento a una determinada distancia, lo que resulta especialmente conveniente para el cálculo de ejes hidráulicos en canalizaciones de sección irregular y cauces naturales. En estos casos, la única información disponible es el perfil de la sección recta a distancias fijas, por ello, en lugar de calcular la profundidad de agua en cada sección es preferible determinar la cota del eje hidráulico referida a un sistema horizontal fijo.

El procedimiento es por aproximaciones sucesivas y se ilustra mediante el siguiente ejemplo.

Calcular el eje hidráulico solicitado en el ejemplo del Numeral 2.406.401 por el método de Etapas Fijas. Suponga que los puntos de interés a lo largo del canal están fijados a las distancias determinadas en la solución del ejemplo.

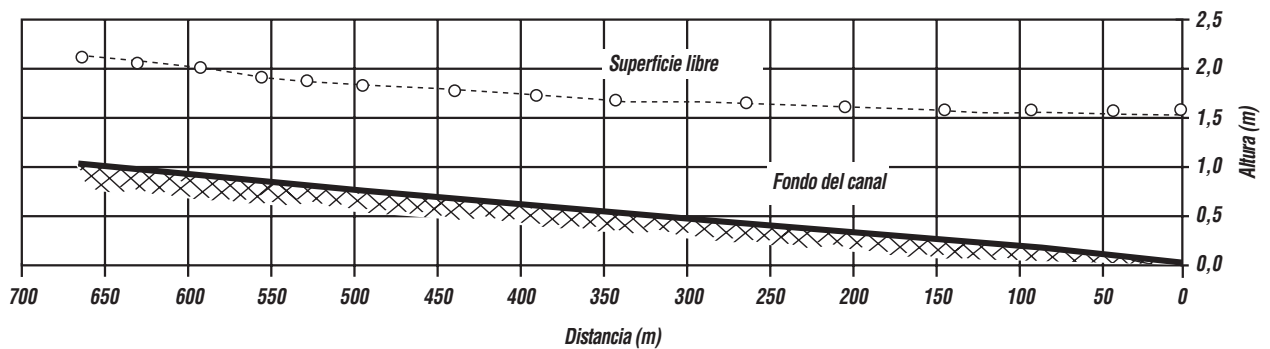
Siguiendo el procedimiento descrito en el Numeral 2.403.402(2), para desarrollar el cálculo se ha confeccionado la Tabla 2.406.402.A. El significado de cada columna es el siguiente.

- Columna 1: Distancia desde la sección de origen del cálculo al punto de interés, x , según ejemplo Numeral 2.406.401.
- Columna 2: Elevación de la superficie del agua en la sección de interés, Z . Un valor de tanteo es ingresado primero en esta columna, el cual será verificado o rechazado sobre la base de las comparaciones hechas en las restantes columnas de la Tabla. Para el primer paso esta elevación debe ser dada o supuesta. Cuando el valor de tanteo en el segundo paso ha sido verificado, se constituye en la base para la verificación del valor de tanteo en el próximo paso, y así sucesivamente. A modo de ejemplo, se presentan en la Tabla los valores tentativos empleados para Z ($x = 44$). El primer tanteo se realizó con un valor $Z = 1,525$, con el cual se obtiene un valor $H' = 1,562$ y $H'' = 1,571$. Luego de la quinta iteración se logra igualar los valores de H' y H'' .
- Columna 3: Altura de agua, h , correspondiente a la elevación de la superficie del agua en la columna 2.
- Columna 4: Área mojada de la sección, Ω , correspondiente a h en la columna 3.
- Columna 5: Velocidad media, V , igual al caudal dado dividido por el área mojada en la columna 4.
- Columna 6: Altura de velocidad, $V^2/2g$, calculada a partir de la velocidad indicada en la columna 5.
- Columna 7: Altura total, H' , igual a la suma de Z en la columna 2 y la altura de velocidad en la columna 6.
- Columna 8: Perímetro mojado, χ , correspondiente al área de la sección dado en la columna 4.
- Columna 9: Radio hidráulico, R , correspondiente a h en la columna 3.
- Columna 10: Pendiente de la línea de energía, $J = V^2 n^2 / R^{4/3}$, calculada según la ecuación de Manning.
- Columna 11: Pendiente promedio de la línea de energía en el tramo, J_{media} , aproximadamente igual a la media aritmética de la pendiente de la línea de energía calculada en la columna 10 y aquella en el paso previo.
- Columna 12: Longitud del tramo entre las secciones, Δx .
- Columna 13: Pérdida de carga por fricción en el tramo, J_{12} , igual al producto de los valores en las columnas 11 y 12.
- Columna 14: Altura de la línea de energía, H'' , el cual se calcula adicionando el valor de J_{12} calculado en la columna 13 a la elevación en el extremo inferior del tramo, al cual se encuentra en la columna 14 del tramo anterior.

Si el valor así obtenido en la columna 14 no concuerda con el encontrado en la columna 7, se debe emplear un nuevo valor para la elevación de la superficie del agua, y así sucesivamente, hasta obtener un nivel de ajuste adecuado. El valor que conduce a un ajuste adecuado es la elevación correcta de la superficie del agua y entonces se puede proceder al cálculo del próximo paso.

TABLA 2.406.402.A
CALCULO DEL EJE HIDRAULICO POR EL METODO DE ETAPAS FIJAS

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
x	z	h	Ω	V	$V^2/2g$	H'	χ	R	J	J_{media}	Δx	J_{12}	H''
0	1,520	1,520	13,74	0,801	0,0327	1,553	12,80	1,07	0,00036				1,553
44	1,525	1,454	12,95	0,849	0,0368	1,562	12,50	1,04	0,00043	0,00040	44	0,018	1,571
	1,527	1,456	12,98	0,848	0,0366	1,564	12,51	1,04	0,00043	0,00040	44	0,018	1,571
	1,531	1,460	13,03	0,845	0,0364	1,567	12,53	1,04	0,00042	0,00039	44	0,017	1,571
	1,533	1,462	13,05	0,843	0,0362	1,569	12,54	1,04	0,00042	0,00039	44	0,017	1,570
	1,534	1,463	13,06	0,842	0,0362	1,570	12,54	1,04	0,00042	0,00039	44	0,017	1,570
94	1,552	1,402	12,34	0,891	0,0405	1,593	12,27	1,01	0,00049	0,00046	50	0,023	1,593
146	1,575	1,341	11,64	0,945	0,0455	1,621	12,00	0,97	0,00058	0,00054	53	0,028	1,621
203	1,606	1,280	10,96	1,004	0,0514	1,658	11,73	0,93	0,00069	0,00063	57	0,036	1,658
267	1,647	1,219	10,29	1,069	0,0583	1,706	11,45	0,90	0,00082	0,00076	64	0,048	1,706
344	1,708	1,158	9,63	1,142	0,0665	1,775	11,18	0,86	0,00099	0,00091	76	0,069	1,775
390	1,752	1,128	9,31	1,181	0,0712	1,824	11,04	0,84	0,00110	0,00104	46	0,049	1,824
447	1,812	1,097	8,99	1,223	0,0763	1,889	10,91	0,82	0,00121	0,00115	57	0,065	1,889
482	1,853	1,082	8,83	1,245	0,0791	1,933	10,84	0,82	0,00127	0,00124	35	0,043	1,933
524	1,905	1,067	8,68	1,268	0,0819	1,988	10,77	0,81	0,00134	0,00131	42	0,055	1,988
555	1,945	1,058	8,58	1,282	0,0837	2,029	10,73	0,80	0,00138	0,00136	31	0,042	2,029
592	1,996	1,049	8,49	1,296	0,0856	2,082	10,69	0,79	0,00143	0,00140	37	0,052	2,082
622	2,038	1,042	8,43	1,305	0,0869	2,126	10,66	0,79	0,00146	0,00144	31	0,044	2,126
660	2,092	1,036	8,37	1,315	0,0881	2,181	10,63	0,79	0,00149	0,00147	38	0,055	2,181



Aún cuando el método de etapas fijas es conceptualmente simple, en la práctica el proceso iterativo puede llegar a ser limitante en el diseño de obras complejas. Debido a esto, y a las herramientas computacionales hoy disponibles, se describe a continuación un procedimiento alternativo para utilizar este método.

De acuerdo a la deducción presentada en el Numeral 2.403.401, la ecuación diferencial que rige el escurrimiento gradualmente variado es del siguiente tipo:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i-J}{1 - \frac{Q^2 L}{g \Omega^3}} \quad (1)$$

en que:

h	=	Altura de agua.
x	=	Distancia en el sentido del escurrimiento.
i	=	Variación del fondo en función de la pendiente.
J	=	Pendiente de la línea de carga.
Q	=	Caudal.
L	=	Ancho superficial.
g	=	Aceleración de gravedad.
Ω	=	Area de la sección.

La resolución numérica de esta ecuación diferencial se puede plantear como un problema de valor inicial, en el cual se conocen las condiciones del escurrimiento en un punto de partida y se necesita caracterizar su comportamiento aguas arriba o aguas abajo. De esta forma, el trazado del eje hidráulico se puede abordar con un método de resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias, por ejemplo, el método de Euler.

El método de Euler permite obtener una estimación del valor de h en cada paso (Δx), en función del valor actual de h y de una estimación de la pendiente, de la siguiente forma:

$$h_{i+1} = h_i + \Delta x \cdot \frac{dh}{dx} \quad (2)$$

La condición inicial de esta relación esta dada por $h(x_0) = h_0$, la cual es un dato de partida.

Para ilustrar el método de Euler se emplea el mismo ejemplo anterior, pero en esta ocasión en vez de utilizar un procedimiento de tanteo, se utiliza directamente este método numérico.

Con el objetivo de facilitar el cálculo, es conveniente desarrollar el siguiente manejo algebraico. De acuerdo a la ecuación de Manning, la pendiente de la línea de energía es la siguiente:

$$J = \frac{Q^2 \cdot n^2}{\Omega^2 \cdot R^{4/3}} \quad (3)$$

Por otra parte, las principales funciones geométricas de la sección trapezoidal son las siguientes:

Area

$$\Omega = (b + z \cdot h) \cdot h \quad (4)$$

Perímetro Mojado

$$\chi = b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1+z^2} \quad (5)$$

Radio Hidráulico

$$R = \frac{(b + z \cdot h) \cdot h}{b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1+z^2}} \quad (6)$$

Ancho Superficial

$$L = b + 2 \cdot z \cdot h \quad (7)$$

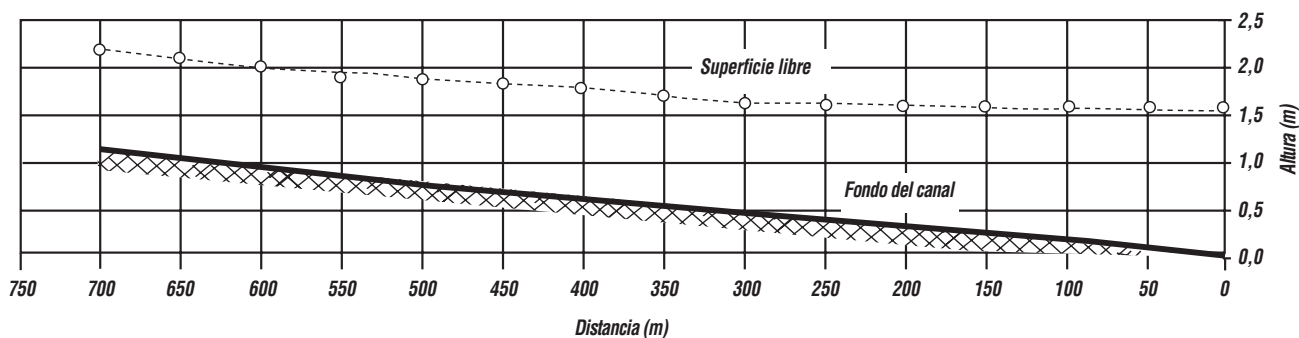
Reemplazando entonces las ecuaciones (3) a la (7) en la ecuación del escurrimiento gradualmente variado (1), es posible expresar la función dh/dx exclusivamente en términos de h, y trabajar con esa única variable. Al respecto es necesario recordar que cuando el análisis del eje hidráulico se realiza hacia agua abajo (condición de torrente), el valor de Δx debe llevar signo positivo. De igual forma, cuando se realiza hacia aguas arriba (condición de río), se debe utilizar un signo negativo. En este caso, se ha adoptado un valor de $\Delta x = -50$ m.

Para desarrollar el cálculo se ha confeccionado la Tabla 2.406.402.B. El significado de cada columna es el siguiente.

- Columna 1: Distancia desde la sección de origen del cálculo al punto de interés, x , según ejemplo Numeral 2.406.401.
- Columna 2: Altura de agua, h , correspondiente a la sección indicada en la columna 1. El primer valor ingresado en esta columna corresponde al dato inicial, según el cual se estiman el resto de los valores de la fila. El siguiente valor de h proviene entonces del resultado de la multiplicación del valor de la columna 13 por el Δx empleado, y así sucesivamente hasta alcanzar la distancia o la profundidad de interés.
- Columna 3: Área mojada de la sección, Ω , correspondiente a h en la columna 2.
- Columna 4: Velocidad media, V , igual al caudal dado dividido por el área mojada en la columna 3.
- Columna 5: Altura de velocidad, $V^2/2g$, correspondiente a la velocidad en la columna 4.
- Columna 6: Ancho superficial, L , correspondiente a h en la columna 2.
- Columna 7: Perímetro mojado, χ , correspondiente al área de la sección dado en la columna 3.
- Columna 8: Radio hidráulico, R , correspondiente a h en la columna 2.
- Columna 9: Pendiente de la línea de energía, J , calculada según la ecuación de Manning.
- Columna 10: Diferencia entre la pendiente de fondo y la pendiente media de la línea de energía, $i - J$.
- Columna 11: Valor del número de Froude, $F = Q^2 L / g \Omega^3$, calculado en función de la información contenida en las columnas previas.
- Columna 12: Valor de la función dh/dx calculada a partir de la ecuación 1, utilizando la información contenida en las columnas previas.
- Columna 13: Estimación del valor de la relación $\Delta x(dh/dx)$, proveniente de la multiplicación del Δx , en este caso -50, con el valor de la columna 12. Esta cifra, sumada al correspondiente valor de h de la misma fila, da origen al nuevo h para el paso siguiente. De esta forma, el proceso se reinicia a partir del nuevo valor de h presentado en la columna 2.

TABLA 2.406.402.B
CALCULO DEL EJE HIDRAULICO POR EL METODO DE ETAPAS FIJAS Y METODO DE EULER

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
x	h	Ω	V	$V^2/2g$	l	χ	R	J	i-J	$Q^2 L/g \Omega^3$	dh/dx	$\Delta x \cdot dh/dx$
0	1,52	13,79	0,798	0,0324	12,10	12,82	1,08	0,00036	0,00124	0,0569	0,00131	-0,06570
-50	1,46	13,00	0,846	0,0365	11,83	12,52	1,04	0,00043	0,00117	0,0664	0,00126	-0,06291
-100	1,40	12,27	0,897	0,0410	11,58	12,24	1,00	0,00050	0,00110	0,0774	0,00119	-0,05955
-150	1,34	11,58	0,950	0,0460	11,34	11,97	0,97	0,00059	0,00101	0,0900	0,00111	-0,05555
-200	1,28	10,96	1,004	0,0514	11,12	11,73	0,93	0,00069	0,00091	0,1042	0,00102	-0,05086
-250	1,23	10,40	1,058	0,0570	10,92	11,50	0,90	0,00080	0,00080	0,1198	0,00091	-0,04547
-300	1,18	9,91	1,110	0,0629	10,74	11,29	0,88	0,00092	0,00068	0,1362	0,00079	-0,03950
-350	1,14	9,49	1,160	0,0686	10,58	11,12	0,85	0,00104	0,00056	0,1529	0,00066	-0,03314
-400	1,11	9,14	1,204	0,0739	10,45	10,97	0,83	0,00116	0,00044	0,1689	0,00053	-0,02674
-450	1,08	8,86	1,242	0,0786	10,34	10,85	0,82	0,00126	0,00034	0,1834	0,00041	-0,02068
-500	1,06	8,65	1,272	0,0825	10,26	10,76	0,80	0,00135	0,00025	0,1957	0,00031	-0,01533
-550	1,05	8,49	1,296	0,0856	10,19	10,69	0,79	0,00143	0,00017	0,2055	0,00022	-0,01094
-600	1,04	8,38	1,313	0,0879	10,15	10,64	0,79	0,00148	0,00012	0,2129	0,00015	-0,00754
-650	1,03	8,30	1,325	0,0895	10,12	10,61	0,78	0,00152	0,00008	0,2182	0,00010	-0,00507
-700	1,03	8,25	1,333	0,0906	10,10	10,58	0,78	0,00155	0,00005	0,2218	0,00007	-0,00334



BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

1. Abbot, M. B., Bathurst, J. C., Cunge, J. A., O'Connell, P. E y Rasmussen, J. 1986a. An introduction to the European Hydrological System-Systeme Hydrologique Europeen, SHE, 1. History and Philosophy of a Physically-based, distributed modelling system, *Journal Hydrology*, 87, 45-59.
2. Abbot, M. B., Bathurst, J. C., Cunge, J. A., O'Connell, P. E y Rasmussen, J. 1986b. An introduction to the European Hydrological System-Systeme Hydrologique Europeen, SHE, 2. Structure of a Physically Based, Distributed Modelling System. *Journal Hydrology*, 87, 61-77.
3. Bell, F. C. 1969. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. *Journal of the Hydraulics Division of ASCE*, 95, N°HY1, 311-327.
4. Benítez, A. y Verni F. 1985. Distribución Porcentual de las Precipitaciones de Duraciones entre 12 y 72 Horas. VII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica, Soc. Chilena de Ingeniería Hidráulica, 7-9 Noviembre, Concepción.
5. Bruen, M. y Dooge, J. C. 1984. An efficient and Robust Method for Estimating Unit Hydrograph Ordinates. *Journal of Hydrology*, vol. 37, 47-66.
6. California Highway Manual. 1997. California, USA.
7. CORFO. 1971. Pluviometría de Chile. Departamento de Recursos Hidráulicos. Chile.
8. Crawford, N. H. y Linsley, R. K. 1962. Digital Simulation in Hydrology. Stanford Watershed model IV. Techn. Rep. N°39, Stanford University. California.
9. Chow, V. T. 1959. Open Channel Hydraulics. Mc Graw Hill Book Co. New York.
10. Chow, V. T. 1964. Handbook of Hydrology. McGraw-Hill. New York.
11. Dalrymple, T. 1960. Flood Frequency Analyses. Manual of Hydrology, Geological Survey Water Supply Paper 1543-A.
12. Dirección General de Aguas. 1989. Balance Hídrico de Chile, Ministerio de Obras Públicas. Chile.
13. Dirección General de Aguas. 1989. Catastro de Estaciones Hidrometeorológicas, Ministerio de Obras Públicas. Chile.
14. Dirección General de Aguas. 1991. Precipitaciones Máximas en 1, 2 y 3 días, Ministerio de Obras Públicas. Chile.
15. Domínguez, F. J. 1974. Hidráulica. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
16. Espíldora, B. 1987. Planteamiento general de los Métodos de cálculo de crecidas de diseño. *Revista de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica*, vol. 2, N°1, 3-21.
17. Espíldora, B. y Echavarría, A. 1979. Metodología para Caracterizar la Distribución Temporal de las Precipitaciones de Santiago y su Aplicación en la Selección de Precipitaciones de Diseño para el Estudio de Crecidas. Informe CHR79-16-I, Centro de Recursos Hidráulicos, Universidad de Chile.
18. Greenwood, J. A. Landwehr, J. M. y Wallis, J. R. 1979. Probability Weighted Moments: definitions and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. *Water Resources Research*, vol 15, N°5, 1049-1054
19. Henderson, F. M. 1966. Open Channel Flow. Mc Millan and Co., New York.
20. Hollander y Wolfe, 1973. Non parametric statistical methods. John Wiley. New York.
21. Hosking J. R. M., Wallis, J-R. y Wood, E. F. 1985. Estimation of the Generalized Extreme Value Distribution by the Method of Probability Weighted Moments. *Technometrics*, vol 27, N° 3, 251-261.
22. Huff, F. A. 1967. Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research*, vol 3, 1007-1019.
23. Kite, G. W. 1978 Frequency and Risk Analysis in Hydrology. Water Resources Publications, Fort Collins, Co. USA.
24. Kunchment, L. S. 1967. Solution of Inverse Problems for Linear Flow Models. *Soviet Hydrology*, Selected Papers 2, 194-199.
25. Landwehr, J. M., Matalas, N. C. y Wallis, J. R. 1979. Estimation of Parameters and Quantiles of Wakeby Distributions. *Water Resources Research*, vol 15, 1361-1379.
26. Laurenson, E. y Mein, R. 1983. RORB, versión 3 Runoff Routing Program Dept. of Civil Engineering, Monash University. Australia.
27. Linsley, R. K, Kohler M. A., y Paulhus, J. L. 1977. Hidrología para Ingenieros. Editorial McGraw Hill Latinoamericana, Bogotá, Colombia.
28. National Environmental Research Council. 1975. Flood Studies Report. Whitefriars Press Ltd. London.
29. Ramírez, E. 1974 Análisis Probabilístico y Estadísticas de Precipitaciones Máximas en 24 Horas. CORFO, Publicación 236. Santiago, Chile.
30. Sherman, L. K. 1932. Streamflow from Rainfall by the Unit-Graph Method. *Eng. News-Rec.*, vol 108, 501-505.
31. Soil Conservation Service. 1972. National Engineering Handbook. Section 4, Hydrology. U.S. Department of Agriculture. Washington, D. C.
32. USBR. 1965. Design of Small Dams. U.S. Bureau of Reclamation, Washington, D.C.
33. Varas, E. 1985. Hietogramas de Tormentas de Diseño. VII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica, Soc. Chilena de Ingeniería Hidráulica, 7-9 Noviembre, Concepción.
34. Varas, E. y Farías, M. 2000. Estudio Comparativo de Relaciones Intensidad-Duración- Frecuencia. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Asoc. Internacional de Investigaciones Hidráulicas, 22-27 de Octubre, Córdoba, Argentina.
35. Varas, E. y Sánchez, S. 1983. Relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia Generalizadas. VI Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica, Soc. Chilena de Ingeniería Hidráulica, 20-22 Octubre, Santiago, Chile.
36. Varas, E. y Sánchez, S. 1984. Curvas Generalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia de Lluvias. *Apuntes de Ingeniería*, N° 38, 73-90.
37. Viessman, W., Knapp, J. W. y Lewis, G. L. 1977. Introduction to Hydrology. Harper & Row Publishers, New York.

Direcciones Internet:

1. Federal Highway Administration-Manual de Uso del Programa HYDRAIN: <http://fhinter.fhwa.dot.gov>.
2. United States Geodetic Service-Programa CAP (Culvert Analysis Program): <http://water.usgs.gov/software/Cap.html>.

MANUAL DE CARRETERAS

VOLUMEN N°2

PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIOS VIALES

CAPITULO 2.500 INGENIERIA BASICA ASPECTOS GEOTECNICOS

**DIRECCION DE VIALIDAD
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
CHILE**

CAPITULO 2.500 INGENIERIA BASICA - ASPECTOS GEOTECNICOS

INDICE

SECCION 2.501 ASPECTOS GENERALES

2.501.1 INFORMACION CONTENIDA EN OTROS VOLUMENES DEL MANUAL

2.501.2 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL CAPITULO

SECCION 2.502 ESTUDIOS DE GABINETE EN BASE A ANTECEDENTES EXISTENTES

2.502.1 ASPECTOS GEOTECNICOS EN EL ESTUDIO PRELIMINAR DE NUEVOS TRAZADOS

2.502.101 Recopilación y Análisis de Antecedentes.

2.502.101(1) Antecedentes Cartográficos.

2.502.101(2) Antecedentes Geológicos.

2.502.101(3) Análisis Fotointerpretativo.

(a) Drenaje Superficial.

(b) Textura.

(c) Humedad.

2.502.101(4) Planos Agrológicos.

2.502.102 Nombres Locales de Algunos Suelos y Rocas.

2.502.2 ASPECTOS GEOTECNICOS EN EL ESTUDIO PRELIMINAR DE RECUPERACION Y DE CAMBIO DE ESTANDAR

2.502.3 ETAPAS AVANZADAS DE LOS ESTUDIOS GEOTECNICOS

SECCION 2.503 ESTUDIOS EN TERRENO

2.503.1 RECONOCIMIENTO DE SUPERFICIE

2.503.101 Aspectos Generales.

2.503.102 Medios de Reconocimiento.

2.503.103 Registro Geológico Geotécnico de la Ruta.

2.503.103(1) Definición de Prospecciones para el Diseño.

2.503.103(2) Presentación de Resultados.

2.503.2 RECONOCIMIENTO DEL PERFIL ESTRATIGRAFICO

2.503.201 Aspectos Generales.

2.503.202 Calicatas y Zanjas.

2.503.202(1) *Campo de Aplicación.*

2.503.202(2) *Métodos de Excavación.*

2.503.202(3) *Estratigrafía Visual.*

2.503.202(4) *Muestreo.*

a) *Muestras Perturbadas.*

b) *Muestras Inalteradas .*

2.503.202(5) *Ensayes en Sitio .*

2.503.202(6) *Presentación de la Información .*

2.503.203 Sondajes en Suelos.

2.503.203(1) *Campo de Aplicación.*

2.503.203(2) *Métodos de Perforación y Equipos.*

2.503.203(3) *Ensayes dentro de la Perforación.*

2.503.203(4) *Toma de Muestras.*

2.503.203(5) *Presentación del Informe.*

2.503.204 Sondajes en Roca.

- 2.503.204(1) *Campo de Aplicación.*
- 2.503.204(2) *Métodos de Perforación y Equipamiento.*
- 2.503.204(3) *Ensayes dentro de la Perforación.*
- 2.503.204(4) *Toma de Muestras.*
- 2.503.204(5) *Presentación del Informe.*
- 2.503.205 *Ensaye de Cono Dinámico.*
- 2.503.206 *Ensaye de Cono Portátil de Penetración Dinámica.*
- 2.503.207 *Ensaye de Penetrómetro Estático.*
- 2.503.208 *Ensaye de Expansión con Presiómetro de Menard.*

- 2.503.3 **ENSAYES EN SITIO**

- 2.503.301 *Pruebas de Carga con Placas.*
- 2.503.302 *Razón de Soporte.*
- 2.503.303 *Permeabilidad en Sitio.*
- 2.503.304 *Macro Granulometría.*

- 2.503.4 **MEDICION DE DEFLEXION**

- 2.503.401 *Aspectos Generales.*
- 2.503.402 *Viga Benkelman.*
- 5.203.403 *Deflectómetro Lacroix.*
- 2.503.404 *Deflectómetro de Impacto.*

- 2.503.5 **PROSPECCION GEOFISICA**

- 2.503.501 *Aspectos Generales.*
- 2.503.502 *Metodología y Procedimientos.*
- 2.503.502(1) *Método de Refracción Sísmica.*
 - a) *Ondas Sísmicas.*
 - b) *Hipótesis del Método Sísmico.*
- 2.503.502(2) *Sísmica de Detalle (Microsísmica) y Módulos Elásticos.*
 - a) *Módulos Elásticos.*
 - b) *Equipamiento y Disposición en Terreno.*
 - c) *Presentación de la Información.*
- 2.503.502(3) *Otras Técnicas Sísmicas.*
- 2.503.502(4) *Métodos Geoelectrónicos.*
 - a) *Resistividades y Equivalencia Litológica.*
 - b) *Método de Sondajes Eléctricos Verticales (SEV).*
 - c) *Interpretación.*
 - d) *Perfiles Dipolo-Dipolo.*

- SECCION **2.504 ENSAYES DE LABORATORIO**

- 2.504.1 **NORMAS DE PROCEDIMIENTO**

- 2.504.2 **PROPIEDADES INDICES**

- 2.504.201 *Análisis Granulométrico.*
- 2.504.202 *Límites de Consistencia*
- 2.504.203 *Densidad de Partículas Sólidas.*
- 2.504.204 *Densidad Natural.*
- 2.504.205 *Contenido de Humedad y Grado de Saturación.*
- 2.504.206 *Clasificación de Suelos.*
- 2.504.207 *Composición Química.*

- 2.504.3 **DENSIFICACION**

- 2.504.301 *Relación Humedad - Densidad (Ensaye Proctor).*

2.504.302 Densidad Relativa.

2.504.4 PROPIEDADES MECANICAS E HIDRAULICAS

2.504.401 Capacidad de Soporte C.B.R.

2.504.402 Consolidación.

2.504.403 Resistencia a la Compresión Simple.

2.504.404 Corte Directo.

2.504.405 Triaxial.

2.504.406 Expansividad.

2.504.407 Permeabilidad.

2.504.408 Susceptibilidad a las heladas

2.504.5 CANTIDADES DE MUESTRAS

SECCION 2.505 ESTUDIOS GEOTECNICOS ESPECIALES

2.505.1 YACIMIENTOS

2.505.2 PUENTES Y OBRAS DE ARTE MAYORES

2.505.3 CORTES

2.505.4 TERRAPLENES

SECCION 2.506 ALCANCE DE LOS ESTUDIOS GEOTECNICOS SEGUN NIVEL Y CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

2.506.1 PROYECTO DE NUEVOS TRAZADOS

2.506.101 Estudio Preliminar.

2.506.102 Anteproyecto.

2.506.103 Estudio Definitivo.

2.506.2 PROYECTO DE RECUPERACION Y DE CAMBIO DE ESTANDAR

2.506.201 Recuperación de Estándar.

2.506.201(1) Estudio Preliminar.

a) Recuperación de Sectores Dañados por Fallas de Estabilidad en la Obra Básica.

b) Recuperación de la Calzada - Repavimentaciones.

2.506.201(2) Ingeniería Básica.

2.506.201(3) Estudio Definitivo.

2.506.202 Cambio de Estándar.

2.506.202(1) Pavimentación de un Camino Existente.

2.506.202(2) Rectificación de la Geometría de un Camino Existente.

CAPITULO 2.500 INGENIERIA BASICA - ASPECTOS GEOTECNICOS

SECCION 2.501 ASPECTOS GENERALES

2.501.1 INFORMACION CONTENIDA EN OTROS VOLUMENES DEL MANUAL

El MC-V3 presenta, en el Capítulo 3.600 «Diseño Estructural de la Obra Básica y de la Plataforma», cuatro Secciones íntimamente relacionadas con las materias que se abordan en este Capítulo, las que son:

Sección 3.602 DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA

Sección 3.603 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

Sección 3.604 DISEÑO DE PAVIMENTOS NUEVOS

Sección 3.605 REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS

Estas secciones relativas al diseño de la obra básica y de los pavimentos, plantean las situaciones y problemas a que se enfrenta habitualmente el proyectista de carreteras, suponiendo conocidas las características geotécnicas del área específica en que se emplaza el proyecto.

Las materias contenidas en el presente Capítulo, que dicen relación con el reconocimiento y determinación de las características geotécnicas del área de emplazamiento resultan, pues, absolutamente complementarias e indispensables para abordar la etapa de diseño.

También contienen materias relacionadas con el presente Capítulo, los Capítulos 3.800 Túneles y 3.1000 Puentes y Estructuras del MC-V3.

El MC-V5, Especificaciones Técnicas Generales de Construcción, establece las características de los materiales por ser usados en los proyectos (bandas granulométricas, índices de consistencia, etc.), así como los métodos de control que se exigirán durante la construcción. En algunos casos la consideración de estos aspectos ayudará a programar el estudio geotécnico.

2.501.2 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL CAPITULO

Desde las primeras fases del estudio de una obra vial, el Proyectista de Carreteras deberá trabajar en forma coordinada con el ingeniero especialista en Geotecnia. En efecto, ya en la etapa de identificación de rutas posibles, la oportuna detección de zonas conflictivas desde el punto de vista geotécnico, puede aconsejar que se abandone una ruta que pudiera parecer atrayente por consideraciones de trazado.

En los diversos niveles de estudio el ingeniero especialista irá detectando con grados de precisión creciente, aspectos tales como:

- Identificación de sectores específicos con características geotécnicas desfavorables.
- Sectorización de la zona de emplazamiento del trazado, definiendo el perfil estratigráfico pertinente y sus propiedades. Todo ello orientado a establecer la capacidad de soporte del terreno natural, así como los taludes seguros para terraplenes y cortes, asociados a los distintos materiales.
- Condiciones de fundación de estructuras, obras de arte y obras anexas.
- Aspectos de drenaje incidentes en el problema geotécnico.
- Disponibilidad de yacimientos de materiales.

Las características geotécnicas de los materiales que pueden presentarse a lo largo del emplazamiento de una carretera son variadas, pudiendo experimentar cambios radicales entre sectores muy próximos. No es posible, por lo tanto, definir a priori un procedimiento de estudio de tipo general. En consecuencia, deberá ser el ingeniero especialista quien vaya definiendo, en las diversas etapas, los estudios específicos que deberán ejecutarse.

En consideración a lo anterior, el contenido del Capítulo está orientado a describir las distintas etapas de un estudio geotécnico, con el fin de familiarizar al proyectista de carreteras con los procedimientos más usuales que utilizará el ingeniero especialista. Se desea por otra parte homogeneizar la nomenclatura y forma de presentar los resultados y, por último, se especifican los procedimientos que la Dirección de Vialidad estima los más adecuados para la ejecución de los diferentes ensayos, ya sea en sitio o en el laboratorio. Dichos procedimientos corresponden a los establecidos en el MC-V8, Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control.

En la Sección 2.506 se especifica el alcance que deberán tener los estudios geotécnicos según niveles y características de los proyectos, sin embargo, por lo dicho anteriormente no es posible especificar cuantitativamente las prospecciones y ensayos por realizar, pudiendo sólo señalarse la calidad de la información que deberá obtenerse en cada etapa. Una estimación cuantitativa de las prospecciones y ensayos que serán necesarios sólo se puede establecer en la etapa de Estudios Preliminares, cuando ya se conoce el terreno y las características generales del proyecto.

Como referencia sobre procedimientos para la investigación del subsuelo, puede considerarse la norma AASHTO T-86 y lo expuesto en las Secciones 2.503 "Estudios en Terreno" y 2.504 "Ensayos de Laboratorio", de este Capítulo.

SECCION 2.502 ESTUDIOS DE GABINETE EN BASE A ANTECEDENTES EXISTENTES

2.502.1 ASPECTOS GEOTECNICOS EN EL ESTUDIO PRELIMINAR DE NUEVOS TRAZADOS

Tan pronto como el equipo a cargo del estudio de los trazados haya definido en primera aproximación, sobre Cartas IGM de pequeña escala (1:25.000 ó 1:50.000), el corredor o corredores alternativos, sobre los cuales se estima posible diseñar una obra que cumpla con la función y el estándar asignado a la ruta, se entregará copia de este documento al Ingeniero Especialista en Geotécnica o al Geólogo Geotécnico que componga(n) el equipo de esta especialidad, para que proceda(n) al estudio de gabinete previo al reconocimiento del terreno.

En algunas oportunidades el Jefe de Proyecto puede estimar conveniente realizar una primera visita a terreno, incluso antes de los estudios de gabinete, y ello constituirá un antecedente adicional que orientará incluso el estudio de corredores en las cartas de pequeña escala. En cualquier caso, ello no limita el desarrollo de los estudios de gabinete que se describen a continuación.

2.502.101 Recopilación y Análisis de Antecedentes. El Consultor procederá a la recopilación de toda la información geológico geotécnica representativa de la zona de emplazamiento de los corredores seleccionados.

2.502.101(1) Antecedentes Cartográficos. El análisis de las cartas de pequeña escala en que se definieron los corredores permitirá establecer aspectos morfológicos, los cuales orientan respecto a la calidad de los terrenos. Por otra parte el modelaje superficial que se observa permite tipificar cuales han sido los elementos generadores de estas formas, deduciendo así cuales han sido los principales agentes de erosión. En una etapa más avanzada del Estudio Preliminar se contará con una Restitución Aerofotogramétrica 1:10.000 ó 1:5.000, pero ella se usará para detallar el análisis de los terrenos adyacentes a los ejes de los trazados, una vez ejecutado un reconocimiento en terreno de los corredores.

2.502.101(2) Antecedentes Geológicos. El documento de mayor cobertura es el Mapa Geológico de Chile, en escala 1:1.000.000, preparado por el Instituto de Investigaciones Geológicas, actual Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), edición 1982. En dicho mapa se inserta un recuadro en el cual se muestra la cartografía utilizada para su preparación, que va desde levantamientos en escala 1:10.000 hasta 1:250.000. Dichos levantamientos parciales pueden ser de circulación restringida o pública. Si bien el Mapa Geológico no ha sido editado nuevamente, SERNAGEOMIN posee numerosas actualizaciones y complementaciones que pueden ser obtenidos en dicho servicio.

En caso de existir en el área otros proyectos u obras de infraestructura ya construidas, se procurará obtener los antecedentes relativos a los estudios geotécnicos de dichas obras.

2.502.101(3) Análisis Fotointerpretativo. El análisis o estudio fotointerpretativo se basará en el estudio de fotos aéreas y fotos satelitales del área donde se emplazan los corredores.

El estudio fotogeológico estudiará la distribución de unidades geológicas, su localización y contactos, zonas de alteración y/o meteorización, presencia de lineamientos que eventualmente puedan corresponder a zonas de fallas. El estudio definirá la presencia de zonas de riesgo geológico representadas por deslizamientos, avalanchas, subsidencias. Estas zonas colapsadas serán posteriormente catastradas y evaluadas para definir la o las posibles causas de su origen, con el objeto de establecer la potencialidad de nuevas ocurrencias del o de los fenómenos que han sido la causa de estas situaciones.

La fotogeología tiene como apoyo el análisis geomorfológico que se efectúa en las cartas topográficas, dado que es posible comprobar la presencia de formas y definir la influencia de aspectos geológicos en estas formas. Como parte final del estudio es posible predecir el comportamiento de zonas o la potencialidad de sectores de ser afectados por situaciones de riesgo, así mismo puede predecirse el grado de potencialidad de la reactivación de fenómenos de remoción bajo ciertas condiciones específicas. Las conclusiones del estudio fotointerpretativo se integrarán con la evaluación de la información existente, lo que permitirá optimizar la fase de reconocimiento del terreno y orientará de manera especial el requerimiento de prospecciones.

En adición a lo expuesto precedentemente, el análisis estereoscópico de la fotografía aérea permite también obtener información sobre los siguientes aspectos:

a) Drenaje Superficial. La disposición y frecuencia de los cauces superficiales dan pautas cualitativas sobre las características del sistema de drenaje. A manera de ejemplo, puede anotarse que una malla finamente dividida en zonas de

alta pluviometría es evidencia de que los suelos son impermeables.

b) Textura. La textura o granulometría de los suelos superficiales queda bien reflejada en las trazas de erosión expuestas. El análisis de las formas de la sección, inclinación de las paredes y longitud, permite definir cualitativamente la textura.

c) Humedad. La humedad natural de los suelos se relaciona básicamente con dos aspectos que se observan en las fotos. El primero de ellos dice relación con los tonos de negro, que en el caso de tonalidades ligeras (gris suave) se asocian con suelos granulares bien drenados, en que la napa de agua está por debajo de la superficie; en el caso de tonalidades fuertes (gris oscuro) normalmente se trata de depósitos de suelos finos impermeables, con napa de agua casi en superficie. El segundo aspecto dice relación con la densidad y dimensiones de la vegetación, lo que constituye un buen indicador de la cantidad de agua presente en el subsuelo.

Las fotografías aéreas y ortofotos disponibles del territorio nacional pueden obtenerse de alguna de las fuentes citadas en el Capítulo 2.000, Tópico 2.005.5.

2.502.101(4) Planos Agrológicos. El Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), elabora la información descrita en 2.005.505, dentro de la cual se cuenta con estudios agrológicos, que puede definirse como un estudio de recursos agrícolas basado, fundamentalmente, en foto-interpretación complementadas con visitas a terreno.

De esa información, la que más relevancia tiene para el aspecto geotécnico son las ortofotos con clasificación de los terrenos de acuerdo a la capacidad de uso agrícola. Estos planos son en escala 1:20.000 y cubren la zona agrícola del territorio comprendido entre las latitudes sur 32°40' (Aconcagua) y 41°40' (Puerto Montt), más las zonas agrícolas de los valles transversales de la IV Región que están en escala 1:10.000.

Para realizar una interpretación detallada de estos planos es necesario recurrir a las pautas dadas en la Publicación del CIREN relativa a los "Materiales y Símbolos" del Proyecto Aerofotogramétrico CHILE/OEA/BID. A cada una de las unidades de suelo identificadas en los planos de capacidad de uso, se les asocian tres números o fórmulas denominados "Geomorfología", "Suelos y Factores Limitantes" y "Capacidad de uso".

La fórmula relativa a "Geomorfología" es la que presenta un mayor interés desde el punto de vista geotécnico. Está compuesta de cuatro elementos que tienen el siguiente significado:

- Números del 1 al 9, que indican el tipo de topografía (plana, ondulada, montañosa...)
- Letras mayúsculas de la A a la Y, que indican la unidad geomorfológica (terracea fluvial, cono, terracea marina, duna, pantano...).
- Letras minúsculas que indican los materiales componentes del suelo (grava, arena, arcilla...), diferenciándolos entre transportados y no transportados.
- Números del 1 al 8, que indican la litología dominante de materiales transportados.

Debe tenerse presente que la información relativa a las características de los suelos representa en general al estrato superficial y por lo tanto desde un punto de vista geotécnico entrega información muy preliminar.

2.502.102 Nombres Locales de Algunos Suelos y Rocas. En algunas zonas del país, ciertos suelos de características específicas adoptan nombres locales. Se describen a continuación algunos de ellos, con su respectiva clasificación USCS y sus principales características físicas y de comportamiento.

- **Chuca:** Se encuentra en la I y II Regiones. Suelo de origen marino con clasificación USCS tipo ML. Normalmente se encuentra mezclada con sulfatos. Suelos de grano fino y liviano.

En estado natural tienen bajísimo poder de soporte, baja a nula humedad y ninguna cohesión de las partículas. Entre otros, constructivamente presenta problemas para estabilizarlos por el alto contenido de agua que requiere su compactación (en una zona donde el agua es escasa) y las dificultades que tiene la maquinaria para trabajar sobre ellos.

- **Suelos Sulfatados:** Se encuentran depositaciones en las Regiones I, II y III; preferentemente en las primeras dos. Hay dos tipos principales; el sulfato de calcio y el sulfato de sodio. El sulfato de calcio presenta alta concentración de minerales no metálicos y una muy baja solubilidad en agua.

Cuando se encuentran en estado puro son de grano fino, altos límites de Atterberg y mediano a bajo peso específico, clasificándose como suelos del tipo CH o MH. Al estar mezclados con suelo disminuye la plasticidad.

Por estar ubicado en una zona desértica, presenta bajo contenido de humedad y un valor de CBR inalterado medio a alto, disminuyendo el CBR si se ensaya remoldeado y con la humedad óptima de compactación.

En estado natural puede estar cementado, tener alto poder de soporte y frecuentemente presentar grietas que están rellenas con arena. Se ubica en sectores muy localizados, en mantos o yacimientos, es propio de los salares. Hacia la Cordillera de Los Andes aumenta la concentración del ión sulfato y disminuye en dirección a la costa.

Los depósitos de sulfato de sodio no están focalizados como el sulfato de calcio. Es soluble en agua y se presenta como cristales en forma de aguja de color blanco o transparente. Al secarse se endurece cementándose y forma una costra salina (salar de Pintados).

Entre otros componentes presenta cloruros, nitratos, yodo, grava dispersa, arena y minerales. Tiene un alto valor de soporte pero, se afecta severamente en presencia del agua por disolución de sales, perdiendo su cementación y estabilidad.

- **Pumacita:** Existen depósitos en el sector poniente de la ciudad de Santiago, y en algunos depósitos aluviales al poniente de la capital, hasta la provincia de Melipilla.

Corresponde a una ceniza volcánica, sin plasticidad, de grano anguloso y liviano. En el sistema USCS clasifica como SM principalmente, hasta limo arenoso cuando está mezclada con otros suelos, incluso pudiendo tener plasticidad baja.

Excelente para ser usada como material para fundaciones y terraplenes, ya que por su trabazón mecánica genera gran resistencia al corte, y por su bajo peso específico disminuye o elimina la posibilidad de asentamientos en suelos consolidables.

La pumacita compactada al 95% de la DMCS del Proctor Modificado, tiene CBR > 40% a 0,2" de penetración, ángulo de fricción interna $\approx 40^\circ$ y cohesión $\approx 0,10 \text{ kg/cm}^2$. Cuando el % de finos bajo malla Nº 200 es alto, estos valores disminuyen.

Su único inconveniente es ser fácilmente erosionable por la acción del agua o del viento. En terraplenes es conveniente cubrir el talud con suelo fino o capa vegetal.

En ocasiones se encuentra en forma de lente fuertemente cementado, cementación que no es afectada por la acción del agua. Los lugareños la conocen con el nombre genérico de "Tosca".

- **Trumaos:** Son suelos de origen volcánico que se encuentran principalmente en la IX y X Región. Habitualmente se encuentran altamente hidratados por las abundantes precipitaciones locales. Con clasificación USCS de tipo ML o MH, de grano fino, semiangulo, alargados, planos y fracturables.

Pese a que normalmente presenta elevados límites de Atterberg y alta humedad (fácilmente puede sobrepasar el 100%), en estado natural tiene una estructura razonablemente estable habida consideración del tipo de suelo, pero al ser removido se transforma comportándose como una arcilla de alta plasticidad y alto contenido de humedad (pese a ser limo). En el proceso de remoldeo expulsa agua en gran cantidad.

En terreno no es posible reconstituir la estructura natural mediante procesos mecánicos de densificación, por el alto contenido de agua que contiene, tampoco es posible secarlos a costos razonables hasta obtener la humedad óptima de compactación, en especial considerando que el clima de la zona presenta precipitaciones abundantes casi todo el año.

Al ensayar el CBR en Laboratorio, algunos de estos suelos sufren la molienda de las partículas, lo que se traduce en la obtención de menor valor de CBR en el molde de 56 golpes que el de 25 golpes.

Como estos suelos son muy sensibles, los resultados que entregan los ensayos CBR que se efectúan en laboratorio son poco representativos.

- **Maicillos:** Se ubican preferentemente en la Cordillera de la Costa en su sector Centro Sur.

Suelo que proviene de la desintegración o meteorización de la roca granítica. Dependiendo del grado de descomposición, se encuentran desde arenas gruesas a finas, con variados porcentajes de finos, con o sin plasticidad. En general son muy erosionables.

Presenta granos angulares y fracturables. Lo último incide grandemente en la granulometría y poder de soporte, ya que al ser removido sufre la disgregación de sus granos, aumentando el % de finos y la plasticidad, al tiempo que disminuye

el CBR. En ocasiones estos depósitos presentan planos de debilidad generados por las diaclasas de la roca madre, lo que reduce significativamente la resistencia al corte del conjunto.

- **Fierrillo:** Se encuentra preferentemente en la X Región y corresponde a una grava arenosa estratificada, fuertemente cementada y con un altísimo valor de CBR en estado natural. Es impermeable al agua y su resistencia no es afectada.

Si se remueve, no es posible restablecer su cementación y estabilidad y pierde la impermeabilidad. En el sistema USCS se clasifica como una grava tipo GP o (GP - GM) a (GM).

- **Mazacote:** Se encuentra en la XII Región, correspondiendo a depositaciones lacustres de un suelos con alto % de finos bajo malla ASTM N° 200, elevados límites de Atterberg y humedad, que clasifica en el sistema USCS como MH o CH.

En estado natural es denso, muy suave al tacto y de colores vívidos, en la gama de los azules o verdosos. Presenta una baja capacidad de soporte, una altísima sensibilidad al remoldeo, falla plástica, baja permeabilidad y fluye con facilidad.

- **Tosca:** Corresponde al nombre genérico dado a los suelos duros de excavar, con cementación, llegándose incluso al nombre de estructura toscosa. Son suelos con elevado poder soportante en estado natural, una vez removidos baja enormemente su capacidad soportante.

En algunos puntos de las VII y VIII Regiones se da este nombre a una roca de origen metamórfico del tipo gneiss o esquistos.

- **Cancagua:** Nombre dado a una roca blanca llamada limolita, que es dura, con alto poder de soporte; extraída se muele con facilidad comportándose como un suelo del tipo MH, con alto contenido de humedad y perdiendo sus cualidades soportantes, es decir, tiene gran margen de variación en sus propiedades físicas. Se localiza principalmente en la X Región, es más fácil de cortar que de trabajar con explosivos.

2.502.2 ASPECTOS GEOTECNICOS EN EL ESTUDIO PRELIMINAR DE RECUPERACION Y DE CAMBIO DE ESTANDAR

En este tipo de estudios corresponde en primer término visitar el terreno a fin de establecer qué tipo de antecedentes existentes pueden ser de utilidad y cuales serán los estudios complementarios requeridos.

En general en las Recuperaciones de Estándar no se tratará de definir alternativas de trazado, sino de reparar fallas localizadas de la obra básica de la ruta, o bien de reforzar o rediseñar la superestructura de ella. En consecuencia, si bien los procedimientos de análisis extensivo descritos en 2.502.1 siguen siendo válidos, ellos deben ser complementados por estudios intensivos.

En el caso de las fallas de la obra básica, se tendrá a la vista el tipo y extensión del fenómeno, pero su dimensionamiento detallado requerirá de levantamientos en escalas que puedan fluctuar entre 1:1.000 y 1:200. Los estudios fotogeológicos pueden ayudar a establecer hipótesis respecto de las relaciones causa-efecto, o diagnóstico, pero serán en definitiva los reconocimientos detallados del terreno, y los ensayos en terreno y laboratorio los que permitirán apoyar los diseños tendientes a reparar y controlar el fenómeno.

Corresponde en el Estudio Preliminar establecer las hipótesis de falla, definir los levantamientos o controles topográficos y los ensayos de terreno y laboratorio que se requerirán en los niveles siguientes de estudio, para lo cual el Estudio Preliminar debe concluir con la elaboración de los Términos de Referencia Específicos (TRE) correspondientes.

En los casos de Recuperación de la Calzada, Repavimentaciones, corresponde también un Diagnóstico del Problema, Definición de Alternativas de Solución y Programa de Prospecciones y Ensayes por realizar en la próxima etapa de estudio.

Los Cambios de Estándar que, en general, comprenden los casos de Pavimentación de un Camino Existente y los de Rectificación de la Geometría con o sin ensanche de la sección transversal, pueden asimilarse desde un punto de vista geotécnico a los de las repavimentaciones si la obra se desarrolla sobre una plataforma existente en que no se consultan variantes; si ellas existen, son aplicables los procedimientos descritos para nuevos trazados.

2.502.3 ETAPAS AVANZADAS DE LOS ESTUDIOS GEOTECNICOS

Las Secciones de este Capítulo:

2.503 Estudios en Terreno

2.504 Ensayes de Laboratorio

describen los diversos procedimientos y metodologías que apoyan la labor de los especialistas del área y la coordinación que siempre deberá existir con el Jefe de Proyecto.

La Sección 2.505 "Alcances de los Estudios Geotécnicos Según Nivel y Características de los Estudios", resume en términos generales el alcance de estos estudios y el tipo de informes que deberán emitirse, los que en oportunidades deberán tener alcances específicos que van más allá de lo allí expuesto, de acuerdo a lo especificado en los TRE del estudio.

SECCION 2.503 ESTUDIOS EN TERRENO

2.503.1 RECONOCIMIENTO DE SUPERFICIE

2.503.101 Aspectos Generales. Después de cumplidas las etapas descritas en 2.502, todo estudio geotécnico debe contar con un reconocimiento detallado del terreno, en el que participarán el Jefe de Proyecto y los Especialistas del área.

El objetivo principal de este reconocimiento es comprobar y complementar los antecedentes geotécnicos obtenidos en los estudios previos, aportando antecedentes que ayuden a seleccionar las rutas que deben pasar a la etapa de anteproyecto y posibilitando una mejor programación de la exploración que se realizará en etapas posteriores.

Mediante la observación de cortes naturales y/o artificiales producidos por erosión o deslizamiento será posible, en general, definir las principales unidades o estratos de suelos superficiales. Para obtener el máximo provecho de estos reconocimientos será siempre conveniente disponer de los planos topográficos pertinentes y, ojalá, la ubicación aproximada de los posibles ejes asociados a diversas rutas, en lo posible con kilometrajes de referencia. Lo anterior permite individualizar con sus dimensiones verdaderas los principales problemas del trazado.

Especial importancia debe darse en esta etapa a la identificación de zonas vedadas o poco recomendables para emplazar un trazado, tales como zonas de deslizamientos activos, laderas rocosas con fracturamiento según planos paralelos a las superficies de los cortes, zonas pantanosas difíciles de drenar, zonas expuestas a inundaciones, zonas con problemas ambientales, etc.

2.503.102 Medios de Reconocimiento. Dependiendo del grado de detalle que se quiera obtener en estas visitas de reconocimiento, así como de las características de transitabilidad del terreno podrá optarse por alguno de los medios siguientes:

- Visita por vía terrestre (vehículo motorizado, caballo o a pie).
- Visita por vía aérea (empleando helicóptero).

2.503.103 Registro Geológico Geotécnico de la Ruta. Basado en los antecedentes que el Consultor ha obtenido de la revisión de antecedentes, así como de los estudios básicos de interpretación llevados a cabo en fotos aéreas del o los corredores y sus posibles alternativas, se procederá a ejecutar la etapa de terreno para la identificación de las condiciones geológicas y geotécnicas, precisando sus condiciones, características y riesgos asociados.

Los estudios de Registro Geotécnico de las Rutas serán aplicables a todo trazado que implique alternativas (Estudio Preliminar o Anteproyecto) que ya esté definido y se requiera su estudio de detalle. Por ello resulta necesario contar con planos que definan los corredores y ejes propuestos en los Estudios Preliminares, en lo posible escala 1:5.000 ó 1:10.000 y de escalas mayores en los niveles más avanzados de estudio. Obviamente los ejes deben contar con indicación de las Distancias acumuladas "Dm" que permitan una adecuada sectorización, así como de Perfiles Longitudinales que ilustren la altura de Cortes y Terraplenes y de Secciones Transversales representativas.

La interacción entre los Especialistas en Geotécnica, Trazado, Drenaje y Medio Ambiente, permitirá una evaluación constante hasta lograr el trazado óptimo en cuanto a localización y conocimiento de los parámetros de diseño.

El recorrido de terreno tiene por objeto definir un Plano de Sectorización Geológica Geotécnica el cual indicará las condiciones del terreno orientado a la finalidad perseguida, la cual básicamente consiste en establecer la funcionalidad del terreno respecto de los cortes que se deberán efectuar en él, los taludes de estos cortes y la calidad de los materiales para efectos de remoción y soportación. También este estudio permitirá conocer la potencialidad de riesgo geológico geotécnico que afectaría al trazado, su recurrencia y magnitud esperada así como eventuales medidas mitigatorias.

El Plano de Sectorización Geológica Geotécnica abarcará un ancho mínimo de unos 100 m hacia ambos lados de lo que será un primer trazado consolidado. Este ancho generará una franja que permitirá desplazamientos de ajuste del eje del trazado. En caso de ajustes mayores, que escapen fuera de la zona mapeada, se procederá a la ampliación de ésta lo suficiente para cubrir los nuevos requerimientos de información. Resulta conveniente consignar lo observado en terreno en un documento como la "Ficha de Registro Geológico-Geotécnico" que se presenta en 2.503.103(2).

En aquellos sectores especiales o singulares, tales como obras de arte, puentes pasos de quebradas o áreas geológicas o geotécnicamente especiales, se procederá a levantamientos especiales a escalas adecuadas al nivel de estudio que se esté desarrollando, y a la problemática que se deba resolver o aclarar. Estos levantamientos geológicos especiales permitirán definir sectores de prospecciones específicas las que se orientarán para estudiar el subsuelo y conocer sus

condiciones geotécnicas a modo de definir las soluciones de diseño que se requieran.

El reconocimiento corresponderá a lo que se indica a continuación, de acuerdo a situaciones geológico geotécnicas específicas:

Rocas. Se procederá al reconocimiento de rocas precisando para ello su origen, tipo y estructuras principales que contiene. Las rocas serán descritas basándose en su litología y condiciones geotécnicas. Se privilegiará el aspecto de análisis geotécnico y estructural, como modo de definir las características propias de los materiales que deben ser removidos así como su capacidad de soporte de taludes y necesidades de soportación.

Estructuras. Se indicarán las principales estructuras las que pueden corresponder a fallas mayores o sistemas de diaclasas. En el caso específico de fallas se procederá a indicar su espesor, relleno y disposición espacial. Para los sistemas de diaclasas se indicarán el número de diaclasas o fracturas de cada juego, sus rellenos, características de su caras y disposición espacial.

Las estructuras menores, del tipo diaclasas, serán representadas en redes tipo Schmidt con el objeto de establecer la estabilidad de cortes frente a la posibilidad de generación de cuñas que puedan deslizar. El sistema descrito permitirá conocer sectores que requerirán soportación especial o, alternativamente, cortes con diseño más tendido o más parado. En todo corte, dependiendo de su altura, el balance entre el ángulo del corte versus la soportación que se requiere para asegurar su estabilidad, se resuelve fundamentalmente por las condiciones geotécnicas de los materiales involucrados.

Alteración y Descomposición. Se describirá el grado de alteración basado en la escala de la International Society of Rock Mechanics (ISRM), la cual considera 6 grados de alteración. La alteración, junto a las estructuras, es uno de los factores de mayor influencia en la calidad de la roca para los efectos de su capacidad de remoción y para la definición de los taludes de corte que se requieren.

Suelos. Se reconocerán las diferentes unidades de suelos, entendiendo por ello unidades geológicas de materiales modernos no consolidados y los suelos residuales, producto de descomposición de la roca. Se definirán sus diferentes orígenes los cuales indican a su vez condiciones del material. Cada unidad será identificada en cuanto a origen, espesor, características geotécnicas, aspectos hídricos, excavabilidad y taludes de corte que son capaces de soportar. Al igual que las zonas de rocas, se debe evaluar en cada caso la relación que existe entre la altura de los cortes, el ángulo de corte y la soportación requerida para asegurar su estabilidad. El balance de estos parámetros debe entregar soluciones de diseño estables a un costo razonable.

Riesgos. Serán analizados y evaluados todos los riesgos que se determine que pueden afectar la zona del trazado, junto a su potencialidad de ocurrencia y su área y magnitud de compromiso. Estos riesgos ya han sido determinados en forma preliminar por el estudio fotogeológico que se ha realizado en etapas previas de los estudios.

2.503.103(1) Definición de Prospecciones para el Diseño. Las conclusiones del reconocimiento indicarán la necesidad de exploraciones requeridas, a su vez incluirá toda la información del subsuelo que exista en el área la cual puede provenir de cortes naturales, exploraciones pasadas, proyectos anteriores, etc.

Básicamente las exploraciones que se programen en el trazado de la Ruta corresponderán a la necesidad de definir las características geológico geotécnicas de las unidades presentes en el trazado y a conocer parámetros de diseño para obras especiales, tales como grandes cortes, fundaciones de Obra de Arte, de Puentes, etc. En general estas prospecciones se efectuarán de preferencia en las unidades de suelos o materiales no consolidados modernos mediante calicatas y, eventualmente, sondajes. Los sectores de roca, para efectos de los diseños requeridos en la Ruta, serán evaluados con reconocimiento directo mediante golpes de martillo (alteración), brújula (estructuras), prospecciones sísmicas (reconocimiento en profundidad). Para el caso de Túneles ver 3.803.3 del Capítulo 3.800 "Túneles" del MC-V3.

2.503.103(2) Presentación de Resultados. Los resultados del reconocimiento efectuado y su evaluación serán presentados en planos de planta a escala adecuada la que se estima corresponde a 1:5.000 ó 1:10.000 para Estudios Preliminares y en escala 1:2.000 en Anteproyecto o Proyecto Definitivo. Sin embargo se podrán efectuar levantamientos especiales de detalle a escala 1:1.000. Los planos de planta tendrán perfiles explicativos de subsuperficie en aquellos sitios que lo requieran, así como apoyo de notas de terreno explicativas.

Junto a estos planos de planta se entregará una "Ficha de Registro Geológico Geotécnico de la(s) Ruta(s)", la que contiene las siguientes observaciones e indicaciones [véase Tabla 2.503.103(2).A]:

TABLA 2.503.102(2).A
FICHA DE REGISTRO GEOLOGICO - GEOTECNICO

RECONOCIO:		FECHA:	RUTA:				
Dm	Dm	LONG. (m)	CARACTERIZACION GEOLOGICA - GEOTECNICA	CONDICION HIDRICA	EXCAVABILIDAD	TALUDES CORTE	OBSERVACIONES

- **Distancia Acumulada (Dm):** Identifica el tramo analizado.
- **Longitud:** Se señala la longitud del tramo en metros.
- **Características Geológico-Geotécnicas:** Se indican las características geológico geotécnicas de cada tramo destacando unidades presentes, meteorización, espesores, otras.
- **Condición Hídrica:** En esta columna se indica la alternativa de presencia de nivel freático su profundidad, posibilidad de cauces esporádicos o permanentes, otros.
- **Excavabilidad:** Se indicará la estimación en porcentaje de la excavabilidad del material en el tramo la cual se separará entre material común, ripeable y removible con explosivo o roca de buena calidad geotécnica.
- **Taludes de Corte Recomendados:** Se entregarán los taludes de corte que se considera adecuados a la estabilidad del material para la altura de corte que corresponde al tramo.
- **Observaciones:** En esta columna se indicarán aspectos especiales de cada tramo tales como prospecciones requeridas, ejecutadas, perfiles explicativos, descripción de riesgos, otros.

La Ficha de Registro permitirá establecer las principales condiciones para el diseño, evaluación, cubicación y valorización de un diseño seguro y en un rango económico aceptable.

En los Tópicos siguientes de esta Sección, se presentan los procedimientos y Métodos de exploración de subsuperficie, para suelos y rocas, a saber:

2.503.2	Reconocimiento del Perfil Estratigráfico
2.503.3	Ensayes en Sitio
2.503.4	Mediciones de Deflexión
2.503.5	Prospección Geofísica

De los procedimientos y métodos anteriores, la Prospección Geofísica y en particular, el método de refracción sísmica, en general debe incorporarse en los estudios; al menos en aquellos donde se presuma presencia de roca de cierta importancia, como un complemento a los otros métodos de exploración.

2.503.2 RECONOCIMIENTO DEL PERFIL ESTRATIGRAFICO

2.503.201 Aspectos Generales. El reconocimiento del perfil estratigráfico se realiza por tres razones: para determinar las distintas masas o estratos de suelo o roca existentes en las áreas de fundación o de yacimiento que interesa estudiar, para precisar las dimensiones de los diferentes estratos o depósitos; y para conocer aproximadamente las propiedades geotécnicas que presentan los diferentes suelos o rocas que forman el perfil estratigráfico.

En el proceso de formación del suelo deben distinguirse tres factores que, en general, se encuentran asociados. El primero se refiere a la desintegración que corresponde a la separación en fragmentos de la roca debido a agentes físicos, tales como expansiones, contracciones térmicas, acción de los hielos, erosión por viento y agua, etc. El segundo es la descomposición que corresponde a los procesos químicos de oxidación, hidratación, acción de los ácidos orgánicos, etc. Finalmente, la transportación que corresponde al traslado desde su punto de origen por uno o más de los siguientes agentes naturales: gravedad, agua, viento o hielo. Si el suelo permanece en su punto de origen, es decir, no ha estado sujeto a transportación, se denomina suelo residual. En caso contrario, suelo transportado.

Una adecuada programación de la exploración, que conduzca al reconocimiento del perfil estratigráfico, debe realizarse después de haber efectuado los estudios de gabinete respectivos y el reconocimiento detallado de la zona en estudio, con el objeto de obtener la mejor programación de los trabajos de exploración.

El programa de exploración que se elija deberá tener la suficiente flexibilidad para poder adaptarse a los imprevistos geotécnicos que se presentan con frecuencia. Debe tenerse presente que no existe un método de reconocimiento o exploración que sea de uso universal, para todos los tipos de suelo o rocas existentes y para todas las estructuras u obras que suelen estudiarse, por lo que, con frecuencia, debe recurrirse al uso de más de un procedimiento de exploración de subsuperficie.

En todo caso, al programar una exploración deben considerarse las siguientes pautas generales:

- Ubicar puntos de prospección a distancias aproximadamente iguales, para luego densificar la exploración si se estima pertinente.

- Prospeccionar aquellas zonas en que se tienen cortes de importancia, ubicando los puntos de cambio de la rasante de corte a terraplén para conocer el material a nivel de la subrasante.
- Prospeccionar aquellos sectores que soportarán rellenos o terraplenes de importancia y aquellos en que la rasante se ubica muy próxima al terreno natural ($h < 0.6$ m).
- Reconocer el subsuelo en aquellos puntos en que se ubican obras de arte y estructuras importantes.
- Identificar la existencia de suelos susceptibles a las heladas, en zonas sometidas a ciclos de hielo – deshielo
- Los métodos más usados para los estudios de superficie que permiten establecer el perfil estratigráfico del suelo son:
 - Calicatas y Zanjas.
 - Sondajes.
 - Ensaye de Cono Dinámico.
 - Ensaye de Cono Portátil de Penetración Dinámica.
 - Prueba de Carga.
 - Perfiles de Refracción Sísmica.

2.503.202 Calicatas y Zanjas

2.503.202(1) Campo de Aplicación. Las calicatas y zanjas permiten la inspección directa del suelo que se desea investigar y por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa. Las zanjas de reconocimiento son de uso poco frecuente y se reservan al estudio de laderas o cortes conflictivos.

Los métodos de exploración directa son los más recomendables cuando lo permite el espesor de la sobrecarga, la napa de agua y el costo. En suelos con grava es el único método de exploración que puede entregar información confiable.

La profundidad de las calicatas y zanjas está determinada por los requerimientos de la investigación, pero es usual que pueda quedar determinada por la posición de la napa de agua. En esta última circunstancia, el costo de una calicata puede subir de tal forma, a causa de la necesidad de entibación y agotamiento, que sea preferible adoptar otro sistema de exploración.

2.503.202(2) Métodos de Excavación. Las calicatas y zanjas pueden realizarse ya sea mediante excavación manual o mecanizada. En todo caso, el método que se utilice debe ser tal que deje una perforación de dimensiones mínimas en planta, no inferiores a $0,8 \times 1,0$ m a fin de permitir una adecuada inspección de las paredes. En el caso de excavación mecanizada deberá dejarse al menos una de las paredes lo menos remoldeada y contaminada posible, de modo que represente fielmente el perfil estratigráfico real del pozo.

Si las paredes de la excavación se presentaran inestables, situación que se da con frecuencia en los suelos granulares, debe recurrirse a entibaciones confiables que aseguran la integridad del personal que trabaje en el interior de la calicata o zanja. En excavaciones profundas es recomendable entibar al menos los 0.5 m superiores, aún en el caso de que éstas comprometan suelos-cohesivos, a fin de retener los desprendimientos de suelos superficiales que son frecuentes.

2.503.202(3) Estratigrafía Visual. En cada calicata o zanja deberá realizarse una descripción visual o registro de la estratigrafía comprometida. Esta labor podrá ser realizada por personal técnico de experiencia orientado por el ingeniero especialista responsable del estudio.

Se estima recomendable utilizar como pauta las definiciones y recomendaciones contenidas en la norma ASTM D2488, denominada «Descripción de Suelos (Procedimiento Visual-Manual)».

Estas descripciones visuales deberán contener como mínimo los siguientes antecedentes:

- a) Identificación de la calicata o zanja mediante un número, especificando su ubicación respecto del kilometraje del eje o sus coordenadas, nombre del inspector y fecha de la inspección.
- b) Profundidad total.
- c) Profundidad de la napa de agua, referida al nivel del terreno natural, y fecha de observación.
- d) Profundidades entre las que se extiende el estrato por describir, referidas al nivel de terreno natural.
- e) Descripción del suelo empleando la terminología que se da en las Tablas 2.503.202(3).A y 2.503.202(3).B, según se trate de suelos gruesos o finos, respectivamente.
- f) Cantidad y tipo de las muestras tomadas en la calicata.
- g) Observaciones y otras características relevantes.

La Lámina 2.503.202(3).A presenta un formulario tipo para consignar en terreno los datos del reconocimiento visual de una calicata.

TABLA 2.503.202(3).A
TERMINOLOGIA PARA LA DESCRIPCION DE SUELOS GRUESOS

Nº	MATERIA	TERMINOS
1.	- Tamaño máximo de partículas y porcentaje de bolones.	- Anotar el tamaño máximo visible y, en el caso de que sea superior al tamiz 80 mm (3"), anotar el porcentaje estimado de partículas superiores a dicho tamiz (bolones) referido al total del suelo.
2.	- Distribución de tamaños.	- Anotar el porcentaje aproximado en peso de grava, arena y finos para la fracción de suelo que pasa por el tamiz 80 mm (3").
3.	- Color.	- Utilizar como máximo dos colores, o bien, la notación Munsell; anotar presencia de manchas y/o bandas.
4.	- Olor.	- Ninguno, térreo u orgánico.
5.	- Graduación.	- Bien Graduada o Pobremente Graduada (Uniforme); anotar para las gravas y arenas el tamaño predominante, con uno de los siguientes adjetivos: gruesa, media o fina.
6.	- Plasticidad.	- Anotar plasticidad de la fracción fina. (Ninguna, baja, media o alta).
7.	- Forma de Partículas.	- Angular, subangular, subredondeado o redondeado.
8.	- Contenido de humedad.	- Seco, húmedo, mojado o saturado.
9.	- Compacidad natural.	- Suelta, media o alta.
10.	- Estructura.	- Anotar la estructura dominante: estratificado, homogéneo, etc.
11.	- Cementación.	- Débil o fuerte; verificar con HCl si es debida a carbonatos.
12.	- Origen.	- Precisar el origen del suelo (residual, transportado, relleno artificial).
13.	- Materia orgánica.	- Sin indicios, mediana o abundante.
14.	- Símbolo del Grupo.	- De acuerdo a la clasificación USCS y AASHTO.
15.	- Nombre del suelo.	- Nombre típico, seguido del nombre local (si lo tiene).

TABLA 2.503.202(3).B
TERMINOLOGIA PARA LA DESCRIPCION DE SUELOS FINOS

Nº	MATERIA	TERMINOS
1.	- Tamaño máximo de partículas y porcentaje de bolones.	- Anotar el tamaño máximo visible y, en el caso de que sea superior al tamiz 80 mm (3"), anotar el porcentaje estimado de partículas superiores a dicho tamiz (bolones) referido al total del suelo.
2.	- Distribución de tamaños.	- Anotar el porcentaje aproximado en peso de grava, arena y finos para la fracción de suelo que pasa por el tamiz 80 mm (3").
3.	- Color.	- Utilizar como máximo dos colores, o bien, la notación Munsell; anotar presencia de manchas y/o bandas.
4.	- Olor.	- Ninguno, térreo u orgánico.
5.	- Dilatancia*.	- Ninguna, lenta o rápida.
6.	- Resistencia seca*.	- Ninguna, muy baja, baja, media, alta o muy alta.
7.	- Plasticidad.	- Ninguna, baja, media o alta.
8.	- Contenido de humedad.	- Seco, húmedo, mojado o saturado; puede referirse también respecto al límite plástico, indicando si es mayor o menor que ese porcentaje de humedad.
9.	- Consistencia.	- Muy blanda, media, firme, muy firme y dura; estimarla en base a la facilidad para penetrar el dedo pulgar, el índice o un lápiz.
10.	- Estructura.	- Anotar la estructura dominante: estratificado, laminado, homogéneo, vesicular, poroso, etc.
11.	- Cementación.	- Débil o fuerte; verificar con HCl si es debida a carbonatos.
12.	- Origen.	- Precisar el origen del suelo (residual, transportado, relleno artificial).
13.	- Materia orgánica.	- Sin indicios, mediana o abundante.
14.	- Símbolo del Grupo.	- De acuerdo a la clasificación USCS.
15.	- Nombre del suelo.	- Nombre típico, seguido del nombre local (si lo tiene).

* Procedimientos manuales complementarios que pueden utilizarse para definir la clasificación del suelo en casos límites. Consignar el dato en la zona destinada a observaciones en el formulario 2.503.202(3).A, cuando sea pertinente.

2.503.202(4) Muestreo. Desde las paredes y piso de las calicatas y zanjas deben obtenerse las muestras que serán llevadas a laboratorio. Las cantidades de muestras serán las especificadas en la Sección 2.504.

Todas las muestra que se obtengan deberán ser perfectamente identificadas, incluyendo a lo menos los siguientes datos: Nombre del Proyecto (Palabra Clave); identificación de la calicata o zanja; profundidad a la que fue tomada; nombre de la persona que la tomó y fecha de obtención.

Se distinguen dos tipos de muestras por obtener:

a) Muestras Perturbadas. Son muestras que retienen la composición íntegra del suelo, aunque no su estructura. Se obtienen en general de las paredes de los pozos y comprometen estratos determinados o bien la suma de algunos de ellos, como es el caso de la investigación de yacimientos. Estas muestras deben guardarse en bolsas o sacos impermeables y de resistencia adecuada. Cada bolsa o saco debe identificarse clara e indeleblemente.

b) Muestras Inalteradas. Son muestras que, además de representar la composición del suelo, conservan la estructura interna del mismo. Este tipo de muestra se recorta de las paredes de los pozos y compromete a estratos bien definidos. Después de cortadas deben revestirse con una capa de parafina sólida aplicada con brocha, alternativamente pueden envolverse con varias capas de film plástico deformable, como el que se usa para envolver alimentos.

Es conveniente agregar alrededor de un 30% de cera virgen a la parafina sólida, con el objeto que la capa protectora sea menos rígida. Si la consistencia de la muestra es relativamente blanda debe rodearse de gasa y recubrir una vez más con parafina sólida y cera. Una vez dado el tratamiento anterior debe colocarse en cajas de madera con aserrín u otro producto que actúe como amortiguador de golpes.

Las muestras inalteradas deberán tomarse apenas excavadas las calicatas o zanjas, en especial cuando se trate de suelos cuya estructura se ve afectada por los cambios de humedad. En todo caso, al tomar una muestra inalterada debe elegirse la pared de la calicata menos expuesta al sol y debe retirarse el espesor superficial que haya sido afectado por los cambios de humedad.

No deben escatimarse esfuerzos en el embalaje adecuado de las muestras, ya que el grado de perturbación que se le ocasione a una muestra inalterada es irrecuperable, y lleva a resultados erróneos.

2.503.202(5) Ensayes en Sitio. En las calicatas, incluso en las zanjas, es posible realizar ensayes en sitio tales como pruebas de carga con placa, CBR, permeabilidades, medidas de densidad, etc. Las pruebas de carga pueden realizarse contra el fondo de la perforación o contra las paredes de la misma.

Las pruebas de permeabilidad pueden ser del tipo de agotamiento si la perforación tiene su fondo bajo el nivel estático de la napa, y de infiltración si el nivel del agua subterránea está bajo el fondo de la perforación.

Cada vez que sea necesario realizar un ensaye en sitio en una calicata o zanja, la excavación deberá realizarse considerando este hecho, dado que este tipo de prueba obliga a tomar medidas especiales que determinan la forma de la excavación. Es así como la toma de densidades en sitio obliga a realizar éstas a medida que la excavación se realiza o bien es necesario dejar bancos intermedios.

Otros tipos de ensayes que también pueden clasificarse como «en sitio», son los que se realizan con los instrumentos manuales conocidos bajo el nombre de «penetrómetro de bolsillo» y «veleta». Estos instrumentos son de uso sencillo y se aplican exclusivamente a suelos finos con alto contenido de agua. El primero de ellos indica aproximadamente la resistencia a la compresión no confinada y el segundo, aproximadamente la resistencia no drenada o cohesión aparente. Los resultados obtenidos deben considerarse como cualitativos y pueden ser correlacionados con valores obtenidos sobre muestras no perturbadas en laboratorio.

MANUAL DE CARRETERAS		DESCRIPCION VISUAL DE POZOS DE EXPLORACION				2.503.202(3).A	
VOL. N° 2						Diciembre 2001	
PROYECTO : ----- POZO N° ----- Dm ----- , A LA IZQ. DEL EJE ----- m PROF. TOTAL ----- DE ----- PROF. NAPA DE AGUA ----- m ----- FECHA ----- RECONOCIO ----- HOJA ----- DE -----							
PROFUNDIDAD	DESDE (m)						
	HASTA (m)						
GRANULOMETRIA ESTIMADA	T. Máx. (PULGADAS)						
	BOLONES (% > 3")						
	GRAVA (%)						
	ARENA (%)						
	FINO (%)						
FRACCION MENOR QUE TAMIZ 80 mm							
COLOR EN ESTADO NATURAL / OLOR							
GRADUACION							
PLASTICIDAD							
FORMA DE PART. (DE LA GRAVA)							
HUMEDAD							
CONSISTENCIA O COMPACIDAD							
ESTRUCTURA / CEMENTACION							
ORIGEN							
MATERIA ORGANICA O RAICES							
SIMBOLO DEL GRUPO USCS							
NOMBRE LOCAL DEL SUELO							
MUESTREO	N° / PROFUNDIDAD						
	CANTIDAD (Kg o Lt)						
OBSERVACIONES :							

2.503.203(6) Presentación de la Información. A cada calicata o zanja deberá realizarse un registro adecuado que pasará a formar parte del informe respectivo. La descripción visual de los diferentes estratos se presentará en el formato que figura en la Lámina 2.503.202(6).A y deberá contener, como mínimo, toda la información que allí se solicita. Las columnas «Profundidad» y «Perfil Gráfico» no necesariamente se deben presentar a escala, por cuanto la «Descripción del Suelo» puede requerir mayor espacio que el espesor del estrato representado a escala.

La estratigrafía gráfica se debe presentar mediante la simbología que muestra la Lámina 2.503.202(6).B, agregando, cuando estén disponibles, una síntesis de los resultados de los ensayos de Laboratorio, que se presentarán en Anexos.

La totalidad de los resultados de los ensayos de laboratorio y en sitio deben ser incluidos en anexos complementarios, consignando toda la información que se obtiene al aplicar la norma respectiva y en conformidad con lo solicitado en los Tópicos 2.503.3 y 2.504.

2.503.203 Sondajes en Suelos

2.503.203(1) Campo de Aplicación. Este método de exploración debe usarse en aquellos casos en que el reconocimiento del perfil estratigráfico necesario por estudiar no pueda ser realizado mediante calicatas, ya sea porque se requiere muestrear estratos compresibles bajo el nivel de la napa, o reconocer el perfil en una profundidad que supera los 6 m. En los estudios viales este tipo de exploración se limita, generalmente, al estudio de fundaciones de estructuras principales.

Los suelos finos, exentos de gravas, pueden ser bien estudiados mediante sondajes. La información que puede obtenerse de sondajes realizados en suelos con gravas es generalmente incompleta y deficiente, pero en determinados casos resulta ser la única posible de realizar.

2.503.203(2) Métodos de Perforación y Equipos. En general se consideran aceptables como sistemas de perforación de sondajes los métodos por rotación, percusión, rotopercusión, lanza de agua y los que hacen uso de posteadores manuales. El uso: de lanzas de agua, percusión y rotopercusión, en las zonas próximas a las áreas de muestreo es objetable y no aceptable.

La elección del método de perforación por emplear queda limitada, por una parte, por la necesidad de no alterar los suelos que se pretende muestrear y, por otra, asegurarse que se podrán alcanzar las profundidades previstas.

Otro factor que incide en la elección del método de perforación, son los ensayos en sitio que se deseen realizar. Es así como un ensayo de permeabilidad mediante bombeo requiere de un sondaje de diámetro relativamente grande, que obliga a realizarlo por el método de percusión. Por otra parte la necesidad de tomar muestras poco perturbadas de suelos cementados obliga a recurrir a muestreadores doble o triples tubo (tipo HQ3), lo que hace aconsejable realizar la perforación mediante el método de rotación.

El uso de lodo bentonítico para mantener las paredes de la perforación sin tener que recurrir a revestimiento es aceptable y recomendable en todas las situaciones, salvo cuando se contemple realizar ensayos de permeabilidad en el interior de la perforación.

2.503.203(3) Ensayes dentro de la Perforación. En la perforación de un sondaje en suelo es habitual realizar ensayos de penetración y ensayos de permeabilidad.

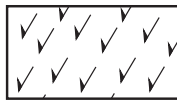
Los ensayos de penetración persiguen determinar las características mecánicas de los suelos que éstos comprometen. El ensayo de penetración más usado es el de penetración estándar (cuchara normal o «SPT»), que se encuentra descrito por la norma AASHTO T206, y que permite además obtener una muestra perturbada del suelo que compromete. Este ensayo, que es aplicable a suelos arenosos exentos de grava que supere un tamaño superior a 12 mm (1/2”), está desarrollado especialmente para ser usado en arenas, dado que hay buenas correlaciones entre la densidad relativa de éstas y los resultados de la prueba. Las correlaciones existentes entre este ensayo y los suelos finos, tales como limos o arcillas, presentan dispersiones importantes que obligan a usar sus resultados con cautela.

En el caso de puentes y terraplenes altos fundados en arenas con napa freática alta, el ensayo SPT entrega antecedentes para analizar la posibilidad de licuación de las arenas, materia que se trata en la Sección 3.602 del MC-V3.

MANUAL DE CARRETERAS	PRESENTACION DE LA ESTRATIGRAFIA SEGUN DESCRIPCION VISUAL DE POZOS DE EXPLORACION	2.503.202(6).A
VOL. N° 2	Diciembre 2001	

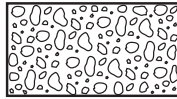
PROYECTO : ----- SECTOR / TRAMO -----
POZO N° ----- UBICACION : Dm ----- ; ----- m A LA IZQ. DEL EJE
DER
COTA BOCA : ----- m FECHA INSPECCION ----- INSPECTOR -----
HOJA ----- DE ----- NAPA DE AGUA (FECHA) ----- (-----)

PROFUNDIDAD (m)	PERFIL GRAFICO	CLASIFICACION USCS ESTIMADA	DESCRIPCION DEL SUELO



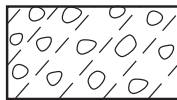
CUBIERTA VEGETAL

-



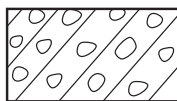
GRAVAS

GP o GW



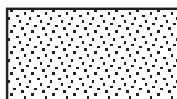
GRAVA LIMOSA

GM



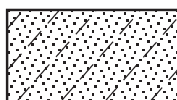
GRAVA ARCILLOSA

GC



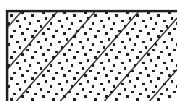
ARENAS

SP o SW



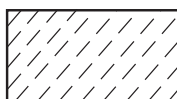
ARENA LIMOSA

SM



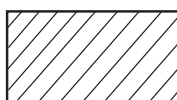
ARENA ARCILLOSA

SC



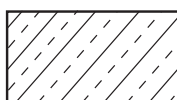
LIMOS

ML o MH



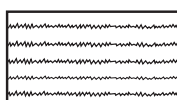
ARCILLAS

CL o CH



ARCILLA LIMOSA

-



TURBA

PT

NOTA : Aun cuando en algunos casos se especifica un símbolo gráfico común para dos clasificaciones, en la columna "Clasificación USCS Estimada", de la Lámina 2.503.202.(6).A, se anotará el símbolo de clasificación que corresponda según la apreciación del Inspector

Los ensayos de permeabilidad que se realizan en los sondajes pueden ser tanto de agotamiento como de infiltración. El ensayo de agotamiento o prueba de bombeo presenta ventajas evidentes frente al de infiltración, dado que en él no se produce el fenómeno de colmatación o bloqueo de las paredes de la perforación afectada por el escurrimiento, fenómeno que se da con frecuencia en los ensayos de infiltración. En estos ensayos es fundamental (obligatorio) hacer uso de agua limpia.

2.503.203(4) Toma de Muestras. En la programación de una exploración en base a sondajes que comprometan suelos, debe tenerse presente que es posible obtener muestras sin o parcialmente perturbadas sólo en suelos finos cohesivos de consistencia media o blanda. Muestras perturbadas se podrán obtener en suelos exentos de gravas o con escasa gravilla o grava fina. Las muestras que puedan obtenerse de suelos con grava son francamente perturbadas e incluso en la mayoría de los casos no son adecuadas para conocer la granulometría del suelo que tratan de representar.

El muestreo en un sondaje se realiza a medida que avanza la perforación, extrayendo testigos a niveles predeterminados según instrucciones del ingeniero especialista. Para tener un buen registro del perfil estratigráfico, es generalmente suficiente extraer una muestra cada metro de profundidad o cada vez que cambie el tipo de suelo que se está perforando.

En los suelos finos cohesivos de consistencia blanda o media, el muestreo se acostumbra a realizar hincando tubos de pared delgada, denominados tubos «Shelby», del mayor diámetro disponible para que la muestra que se tome sea lo menos perturbada posible; mientras mayor sea el diámetro del tubo y la razón entre el diámetro del tubo y el espesor de pared, tanto menor será la perturbación de la muestra. El procedimiento de toma de muestras mediante tubos de pared delgada deberá realizarse ajustándose a la norma AASHTO T207 («Thin-Wall Tube Sampling of Soils»).

Para el caso de arenas y suelos cohesivos de consistencia firme, en que no sea posible hincar tubos de pared delgada, el muestreo se acostumbra realizar mediante el hincado controlado de la cuchara normal o SPT, trabajo que se realiza ajustándose a la norma AASHTO T206 («Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils»). Este ensayo, además de entregar una muestra perturbada, permite en la mayoría de los casos formarse una idea de tipo cualitativo de las propiedades mecánicas de los suelos que compromete.

El muestreo de suelos cementados, en los que no penetra la cuchara normal, se deberá realizar el ensayo con muestreadores giratorias de doble tubo o triple tubo, (tipo HQ3) o similar.

La obtención de muestras representativas en suelos con un contenido apreciable de grava, sólo es posible recurriendo a sondajes rotatorios de gran diámetro (mayor que 150 mm).

2.503.203(5) Presentación del Informe. Para cada sondaje que se realice, se deberá efectuar un registro que incluya, al menos, los siguientes antecedentes:

- Antecedentes de Perforación:
 - Proyecto, N° Sondaje.
 - Ubicación, cota.
 - Máquina o Sonda.
 - Tipo de herramienta empleado en el avance.
 - Pérdidas de fluido de perforación (agua o lodo bentonítico).

 - Niveles de agua en el interior de la perforación al iniciar el turno de perforación.
 - Diámetro de perforación.
 - Revestimiento de la perforación.
- Antecedentes de Muestreo:
 - Niveles de muestreo.
 - Equipo usado en el muestreo.
 - Recuperación de muestra.
- Descripción de los suelos perforados, la que deberá ser hecha por el Ingeniero especialista o un Geólogo Geotécnico.

Como base de este registro deberá tenerse la información que entregará el contratista o ejecutor de los sondajes, al que se le impondrá que entregue oportunamente toda la información requerida.

De ser posible, en el mismo registro deberán incluirse los resultados de los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras que se hayan tomado a diferentes niveles del sondaje, como también los resultados que se obtengan de los ensayos realizados en el interior de la perforación. Si estos antecedentes no pudieran quedar incorporados en su totalidad al registro, ellos deberán adjuntarse al mismo como anexo, dejando en aquél la constancia de la existencia del anexo que incluye la información.

2.503.204 Sondajes en Roca

2.503.204(1) Campo de Aplicación. Los sondajes en roca se reservarán para conocer las características de las rocas en profundidad, cuando éstas interesan al proyecto y se requiera precisar la estratigrafía y propiedades geotécnicas a diferentes niveles. En los estudios viales este tipo de exploración se reserva, fundamentalmente, para el estudio de fundaciones de obras de arte, estabilidad de taludes de cortes y túneles.

2.503.204(2) Métodos de Perforación y Equipamiento. La perforación de un sondaje en roca puede hacerse por rotación, percusión o rotopercusión. En el caso de que se exija muestreo, sólo podrá realizarse por el método de rotación.

Los equipos que se utilicen deben garantizar que alcanzarán las profundidades con los diámetros especificados.

Como fluido de perforación podrá usarse lodo bentonítico, salvo en los casos en que se contemple realizar pruebas de agua en el sondaje.

Los equipos de perforación y accesorios que se usen deben estar en buenas condiciones mecánicas. El uso de equipos en mal estado y con desgaste excesivo se traduce en bajos rendimientos y en la obtención de testigos alterados o fracturados artificialmente.

Los sondajes en roca se perforan normalmente en diámetros que van desde 47,6 mm (NQ) a 63,5 mm (HQ), excepcionalmente se podrán especificar diámetros hasta de 100 mm (H).

Para los sondajes por rotación se debe tener presente la norma AASHTO T-225.

2.503.204(3) Ensayes dentro de la Perforación. En las perforaciones en roca es frecuente realizar ensayos de permeabilidad, infiltrando agua a presión.

El ensaye de permeabilidad que se usa con más frecuencia es el ensaye Lugeon, el que se realiza sobre un tramo de sondaje no mayor de 5 m, inyectando agua a presiones que alcanzan a 10 kg/cm² y midiendo el caudal de agua que admite la roca. Una unidad Lugeon corresponde a la admisión de 1 litro de agua por minuto en un metro de sondaje, a la presión de 10 kg/cm².

El ensaye Lugeon, además de cuantificar la permeabilidad de la roca, da una idea de tipo cualitativo de su grado y tipo de fracturamiento.

2.503.204(4) Toma de Muestras. A las profundidades en que se especifica muestreo, éste se hace tomando testigo corrido de la roca que se corta mediante corona de diamante.

La toma de muestras debe hacerse con barriles de doble o triple tubo, NQ2 o NQ3.

En lo posible deben tomarse sólo testigos de un diámetro próximo a los 50 mm, dado que la mayoría de las relaciones que existen entre las propiedades del macizo rocoso y la información que se obtiene de los testigos de roca extraídos, están correlacionadas para dicho diámetro.

En general, se obtienen muestras de mejor calidad cuando se usan sondas equipadas con el sistema «wire line». Cuando se trata de sondajes profundos, este sistema presenta ventajas tanto técnicas como económicas frente al sistema convencional.

Los testigos de roca deben almacenarse en cajas metálicas o de madera, debidamente identificadas. Es usual utilizar cajas de 1 m de largo, los que deberán fotografiarse.

2.503.204(5) Presentación del Informe. Para cada sondaje que se realice, se deberá efectuar un registro que incluya, al menos, los siguientes antecedentes:

- Descripción litológica de la roca, la que debe ser realizada por un geólogo.
- Porcentaje de recuperación de testigo en las zonas en que se muestree la roca, expresado como la relación entre la suma de todos los trozos de roca recuperados y la longitud total perforada.
- R.Q.D. («Rock Quality Designation») de los testigos recuperados, expresado como la relación entre la suma de los trozos de roca de más de 10 cm de largo y la longitud total perforada.
- Equipo de perforación usado y diámetro de la perforación.
- Es deseable incluir el Índice de Calidad Q (Clasificación de Barton).

Además, en los casos que se hayan efectuado pruebas de permeabilidad, deberán incluirse la totalidad de los antecedentes que éstas entreguen, ya sea en el mismo registro o en un anexo. En igual forma debe procederse en los casos en que se hayan efectuado ensayos de laboratorio.

Como base de este registro deberá tenerse la información que entregará el contratista o ejecutor de los sondajes, al que se le impondrá contractualmente la obligación de entregar oportunamente toda la información requerida.

2.503.205 Ensaye de Cono Dinámico. El ensaye de cono dinámico, que consiste en el hincado controlado de un cono mediante golpes de una masa de peso determinado, que cae libremente de una altura preestablecida, es usado para tener una idea cualitativa de la compacidad o consistencia de un suelo, o para extrapolar en forma confiable la información que pueda obtenerse de un sondaje convencional.

Es frecuente realizar estos ensayos que son similares al de la cuchara normal (SPT), pero con conos de 50 mm de diámetro y un ángulo de 60° en la punta, seguido por un cilindro o fuste del mismo diámetro y 10 mm de altura, contabilizando el número de golpes necesarios para hincar el cono en 30 cm. La masa es de 140 lbs de peso y cae libremente desde 75 cm de altura. El registro que se lleva es de carácter continuo.

Es conveniente, en la mayoría de los casos, calibrar este ensaye con el ensaye de penetración estándar, definido por la norma AASHTO T206, realizando, en un punto convenientemente elegido de manera tal que sea representativo del conjunto, un ensaye de penetración con cono tan cerca como sea posible de un ensaye de penetración estándar. En general este procedimiento permite establecer correlaciones de relativa confiabilidad.

2.503.206 Ensaye de Cono Portátil de Penetración Dinámica. Este ensaye consulta el hincamiento de una punta cónica de 20mm de diámetro mediante golpes de un martinete de 8 kg de peso en caída libre desde 57,5 cm de altura. Se registra y grafica en profundidad el avance del cono en cada golpe, obteniéndose trazos lineales cuya pendiente es un índice de la capacidad de soporte dentro de todo el espesor de estrato homogéneo. El índice D (mm/golpe) es la pendiente del trazo lineal y está relacionado con el valor CBR por una ecuación de regresión de la forma:

$$\text{CBR} = 411 / D^{1,235} \quad (\%)$$

Esta relación ha sido desarrollada en base a valores CBR de terreno e índices D de muchos sitios y diferentes tipos de suelos, recopilados por el US Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg, Mississippi (1992). Los coeficientes específicos de la relación que aquí figura corresponden al promedio de curvas propuestas por varios autores, entre los que se cuentan los investigadores chilenos Ponce, Guzmán y Guzmán.

El ensaye tiene la ventaja de medir condiciones naturales del suelo en terreno, representando por lo tanto la verdadera estructura interna del suelo. En el caso de los suelos finos con alta saturación en agua, el índice D es un dato objetivo de más alto valor que el CBR deducido de la curva densidad - CBR de laboratorio. Por esta principal razón es que cabe preferirlo respecto del método tradicional en Chile de la estimación del valor CBR a partir de la densidad de terreno.

Otra ventaja del penetrómetro de cono es que entrega un registro continuo hasta 1,5 - 2 m de profundidad, permitiendo discriminar entre estratos que la mayoría de las veces aparecen como iguales a la inspección visual de la calicata. La limitación principal del ensaye es que no cabe aplicarlo en suelos gravosos o suelos finos con humedad baja alejada de la saturación.

La relación $CBR = f(D)$ puede verse alterada debido a la humedad del suelo al momento de ejecutar la medida de la penetración. Por ésta razón, su aplicación debe orientarse a la delimitación de sectores homogéneos, información que servirá de complemento al modulo resiliente. Además puede aplicarse en sectores en que no se prevean cambios de humedad en el suelo (por ejemplo terraplenes altos). Resulta adecuado también para prospectar la profundidad y extensión de sectores en zonas pantanosas, siempre que la profundidad del estrato que recubre un suelo de mayor poder de soporte no supere la longitud de la(s) barra(s) portacono.

En la Lámina 2.503.206.A se ilustra esquemáticamente el penetrómetro de cono portátil.

2.503.207 Ensaye de Penetrómetro Estático. En ensaye de penetrómetro estático, que consiste en el hincado en el terreno de un cono mediante presión estática, es usado para evaluar cuantitativamente la consistencia o compacidad de suelos finos o arenas que no presenten gravas.

El cono que se utiliza normalmente es de 2 pulgadas de diámetro y tiene 60° en su punta, además es frecuente que inmediatamente detrás del cono se tenga un manguito de aproximadamente 200 mm de largo, que puede desplazarse independiente del cono. Los equipos que se utilizan permiten registrar en forma continua la resistencia que opone el suelo al hincado del cono y al desplazamiento del manguito.

En la literatura técnica hay bastante información confiable que relaciona la resistencia de punta del cono y también la que se desarrolla en el fuste del manguito con las propiedades de corte del suelo, y es una herramienta muy valiosa para el diseño de pilotes en arenas y suelos finos, dado que permite determinar en forma fácil y sencilla la resistencia de punta y la de adherencia que es capaz de ejercer el suelo sobre éste. (Ref: Norma ASTM D3441-98 "Standard Test Method for Deep, Quasi-Static, Cone and Friction-Cone Penetrometer") "El Penetrómetro y el Reconocimiento de los Suelos" G. Sanglerat. Servicio de Publicaciones del MOP-Madrid 1967.

2.503.208 Ensaye de Expansión con Presiómetro de Menard. Su invención se debe al ingeniero Louis Menard. En esencia es una sonda cilíndrica de goma que se introduce hasta la profundidad del ensaye, bien ajustada dentro de un sondaje o perforación previamente hecha. Se llena la sonda de líquido y se aplica presión, la cual se transmite al suelo. La deformación radial se mide indirectamente por el cambio de volumen ΔV del líquido contenido en la sonda.

En el presiómetro de Menard, cuyos rasgos esenciales se muestran en la Lámina 3.1002.405 del Capítulo 3.1000 Puentes del MC-V3, se emplean tres celdas, todas las que se inflan con la misma presión. Los esfuerzos y deformación alrededor de las celdas extremas, llamadas "celdas de protección o de guarda" son tridimensionales, en tanto que en el suelo alrededor de la celda central o "celda de medición" los esfuerzos y deformaciones son bidimensionales. La "Unidad de Control" que controla la presión aplicada y la deformación resultante se ubica en la superficie del terreno cerca de la perforación. La fuente de presión es un balón de gas comprimido. Con los resultados del ensaye es posible construir la curva de incrementos radiales de Presión vs. Deformación y obtener la presión límite o presión de ruptura del suelo alrededor de la celda de medición y obtener también un módulo radial que está relacionado con el módulo de elasticidad. El presiómetro descrito se aplica a una amplia variedad de suelos, desde blandos a compactos; para suelos duros o roca existen otros diseños especialmente adaptados. Para suelos gravosos es previsible que su aplicabilidad esté algo restringida, principalmente por las dificultades de ejecutar la perforación previa y luego acomodar la membrana de goma a una superficie que puede ser excesivamente irregular e incluso llegar a romperla.

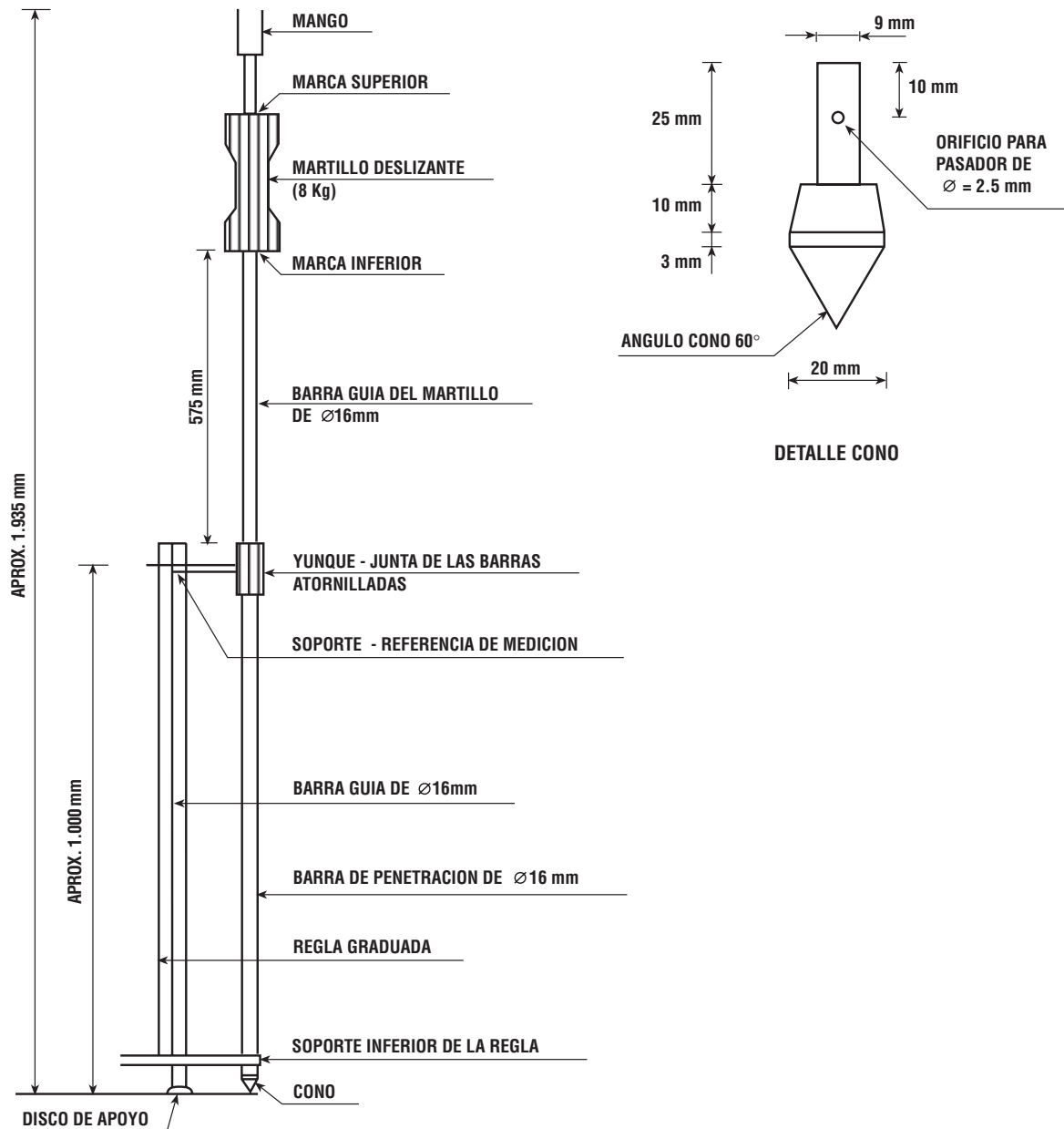
El método del presiómetro tiene grandes ventajas respecto de otros ensayos de terreno como el de veleta de corte y penetrómetros. A diferencia de ellos, el presiómetro mide propiedades de deformación del suelo además de resistencia, lo cual es una considerable ventaja en el campo de la ingeniería de fundaciones. Como ventaja adicional cabe mencionar que los resultados de un ensaye de expansión como el del presiómetro involucra un volumen de suelo relativamente grande, mucho mayor que en los ensayos de penetración, con el consecuente mérito de una mayor representatividad. El presiómetro tiene la ventaja practica de servir para todo tipo de suelos, incluyendo rocas.

La ejecución del ensaye está normado según ASTM D 4719-87 (Reapproved 1994) bajo el título "Standard Test Method for Pressuremeter Testing in Soils".

2.503.3 ENSAYES EN SITIO

2.503.301 Pruebas de Carga con Placas. Las pruebas de carga con placas se hacen para evaluar la capacidad soportante o módulo de reacción de las subrasantes, subrasantes mejoradas mediante subbases y bases y, eventualmente, de

(DIBUJO NO A ESCALA)



NOTA:
TAMBIEN SE PUEDE USAR UN CONO ATORNILLADO
A LA BARRA DE PENETRACION

la totalidad de la estructura de un pavimento flexible. Se utilizan fundamentalmente en el diseño de pavimentos rígidos, empleando placas de diámetro 762 mm (30").

En los métodos 8.102.13 y 8.102.14 del MC-V8, se indica la forma de realizar estas pruebas. La primera de las normas señala la forma de realizar pruebas de cargas repetidas, mientras que la segunda se refiere a pruebas de carga con esfuerzos no repetidos.

Al interpretar una prueba de carga deben considerarse todas las correcciones pertinentes, tales como temperatura, deformación de la placa y saturación si corresponde.

2.503.302 Razón de Soporte. La resistencia a la penetración o capacidad de soporte de un suelo depende de numerosos factores, la mayoría de los cuales quedan bien representados por el ensaye de laboratorio que define el Método 8.102.11 Método de Ensaye CBR (Razón de Soporte de California) del MC-V8. Hay otros factores, tales como: preconsolidación natural, estructura del suelo, cementación natural, estratificación, etc., que no pueden reproducirse con muestras remoldeadas de suelo ni con muestras supuestamente inalteradas que se ensayen en laboratorio. Para estos casos, el ensaye de CBR en sitio puede dar una valiosa información, siempre que en el terreno natural, al momento de realizar la prueba, se den las condiciones más críticas de saturación que se puedan producir durante la vida útil de la obra.

El procedimiento que se sigue en esta prueba es similar al establecido para la prueba que se realiza en laboratorio y que se rige por el Método 8.102.11 del MC-V8, con la diferencia que, en este caso, la muestra no está confinada en un molde.

Es condición que en el lugar que se realice el ensaye no existan partículas superiores al tamiz 20 mm (3/4"). La preparación del terreno requiere enrasar y nivelar un área de 30 cm de diámetro, para posteriormente colocar las sobrecargas estipuladas.

El informe final de la prueba deberá incluir, además del CBR determinado, la curva presión-penetración, la humedad, peso específico y densidad natural del suelo ensayado, antecedentes que pueden obtenerse del suelo inmediatamente vecino al que afectó el ensaye CBR.

2.503.303 Permeabilidad en Sitio. Cada vez que se requiera cuantificar con relativa precisión el coeficiente de permeabilidad del terreno natural, debe recurrirse a la realización de "pruebas de permeabilidad en sitio", salvo que los suelos a ensayar sean suelos homogéneos de los que puedan obtenerse muestras sin perturbar, representativas para ensayes de laboratorio. Debe tenerse en cuenta que, desde el punto de vista de permeabilidad, los suelos tienen tendencia a presentar heterogeneidades importantes que afectan en forma significativa la permeabilidad del conjunto.

Este tipo de pruebas debe realizarse cada vez que sea necesario efectuar excavaciones bajo la napa de agua, que requieran la programación de agotamientos importantes, tales como fundaciones, estribos y cepas de puente, como también para el diseño de sistemas de drenaje que permitan deprimir o captar la napa, en los que sea necesario cuantificar con precisión los caudales de agua que deban evacuarse.

Las pruebas de permeabilidad en sitio pueden ser pruebas de agotamiento o de infiltración, pudiendo efectuarlas en calicatas y/o sondajes.

En los casos en que el suelo a ensayar quede bajo el nivel estático de la napa se recomienda recurrir a pruebas de agotamiento, dado que éstas se realizan extrayendo agua de la calicata o sondaje, lo que elimina el peligro de colmatación de la zona filtrante que es la principal fuente de error de las pruebas de infiltración.

En los sondajes en suelo es frecuente recurrir a pruebas de infiltración a medida que avanza la perforación. En los casos de obras muy importantes, en que se requiera conocer con gran precisión el coeficiente de permeabilidad, puede ser necesario recurrir a pruebas de agotamiento o bombeo en sondajes realizados con ese único objetivo.

Por razones de facilidad de interpretación es conveniente que, tanto las pruebas de agotamiento (bombeo) como de infiltración se realicen a gasto constante.

La interpretación de estas pruebas está muy influenciada por las condiciones de borde existente, por lo que no cabe la posibilidad de establecer un procedimiento o método único de obtención del coeficiente de permeabilidad del acuífero afectado, a partir del gasto de agua bombeado o inyectado y del nivel que alcanza el agua en la perforación. Cada

prueba realizada debe ser analizada por separado, considerando las condiciones de borde que le son propias y usando los métodos o procedimientos de interpretación que se entregan en la literatura especializada. Al respecto cabe mencionar, entre otras, las siguientes publicaciones:

- «Ground Water Manual» U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation.
- «Theory and Problems of Water Percolation» U.S. Bureau of Reclamation, Eng. Monograph Nº 8 C.N. Zangar.

2.503.304 Macro Granulometría. Los ensayos granulométricos que se realizan en laboratorio afectan, normalmente, a la fracción del suelo con tamaño de partículas inferiores al tamiz 80 mm (3"). En general, cuando el suelo presenta partículas de tamaño superior al tamiz 80 mm (3"), la fracción de tamaño inferior es la que suele fijar las propiedades del conjunto y es la que se estudia en detalle. También hay situaciones en que se requiere conocer la distribución granulométrica de las partículas de suelos que superan el tamiz 80 mm (3"), o el porcentaje de partículas que superan un determinado tamaño. Situaciones de esta naturaleza se dan en aquellos casos en que se necesita conocer la granulometría del material del lecho de un río, a fin de estudiar los problemas de socavación; cuando se precise cuantificar el porcentaje de rechazo que puede derivarse de la explotación de un yacimiento que presente sobretamaño, etc.

Las macrogranulometrías deben comprometer un volumen de suelo que será función del tamaño máximo del material que se analiza. En la tabla siguiente se dan los valores de peso mínimo que deben tener las muestras que se ensayan. Se recomienda recurrir a muestras del mayor tamaño posible.

Si la macrogranulometría se ejecuta para estudiar fenómenos de mecánica fluvial (erosión, socavación, etc.), el ensaye se debe ejecutar por capas de espesores del orden de 0,5 m a fin de detectar la variación granulométrica con la profundidad.

Tamaño máximo del material (tamices de abertura cuadrada)	Peso Mínimo de la Muestra por Analizar (kg)
600 mm (24")	6.000
300 mm (12")	3.000
150 mm (6")	400

En terreno el material deberá cortarse en el tamiz de 80 mm (3"), pesando tanto la fracción de suelo que queda retenida sobre dicho tamiz como también la que lo pasa. La fracción que pasa el tamiz de 80 mm (3") será cuarteada en sitio para proceder a la obtención de una muestra de al menos 30 kg de peso, la que será enviada a laboratorio a fin de hacerle ensaye granulométrico y de humedad.

A la totalidad del suelo retenida en el tamiz 80 mm (3"), se le hará una granulometría en sitio separando las piedras en diferentes fracciones. Es frecuente hacer las separaciones en 100mm (4"), 150 mm (6"), 300 mm (12") y 600 mm (24"). Para los efectos de separar las piedras por tamaño, se recurre con frecuencia al uso de marcos metálicos que presentan la abertura correspondiente y que sirven para ir midiendo partícula por partícula, con lo que se consigue clasificarlas en la fracción correspondiente.

El peso de las piedras mayores, que no pueden levantarse manualmente, suele determinarse mediante el uso de un trípode, teclé y dinamómetro.

El informe final de resultados debe entregar la curva granulométrica total, que englobe los resultados de los ensayos de laboratorio y los en sitio, convenientemente corregidos en lo que a humedad se refiere, a fin de considerar en los resultados los pesos del suelo seco. Es normal considerar que la fracción de suelo sobre el tamiz 80 mm (3"), tiene una humedad despreciable, no sucede lo mismo con la fracción de suelo que pasa dicho tamiz, para la que debe determinarse la humedad.

En el informe debe indicarse claramente el peso total de la muestra analizada.

2.503.4 MEDICION DE DEFLEXION

2.503.401 Aspectos Generales. Existen variados métodos relacionados con la medición de deflexión, siendo los más usuales la viga Benkelman, el Deflectómetro Lacroix y el Deflectómetro de Impacto (FWD).

Se ha estado usando en forma creciente el FWD, para obtener medidas de la cuenca de deflexiones y deformaciones máximas. Existen varios métodos, tales como el del Instituto del Asfalto, el de California, el Canadiense, etc., que utilizan los valores de deflexión de Viga Benkelman para diseñar recapados sobre pavimentos asfálticos.

2.503.402 Viga Benkelman. La viga Benkelman fue desarrollada por A. C. Benkelman en conexión con el WASHO Road Test. Es un brazo de palanca que pivotea colgado de un bastidor de referencia, en el cual va montado un dial de medida y que registra en el extremo opuesto el desplazamiento de la punta de la viga. Normalmente se usa una razón de 2:1 entre la distancia desde la punta de la viga al punto de giro y desde el punto de giro a la posición del dial de medida.

Para medir la deflexión se utiliza una regla metálica la que, utilizando un sistema de palancas, magnifica la deformación que ocasiona sobre el pavimento la carga estática originada por la rueda doble de un eje de 81,75 kN (18.000 lb) de peso estático.

La rueda doble que normalmente se utiliza es la del eje trasero de un camión cargado. Los neumáticos deben ser de dimensiones 1.000 x 20,00 de 12 telas e inflados con una presión de 550 k Pa (80 psi). La distancia entre los puntos medios de ambos neumáticos debe ser de 0,32 m.

Existe abundante literatura relativa a la forma de medición e interpretación de resultados, siendo las más completas las de "CANADIAN GOOD ROADS ASSOCIATION, PAVEMENT DESIGN AND EVALUATION".

2.503.403 Deflectómetro Lacroix. El principio de la viga Benkelman ha sido mecanizado, de manera de obtener un gran número de lecturas a medida que se desplaza un vehículo con una carga normalizada sobre el eje trasero.

La diferencia principal entre la viga Benkelman y el Deflectómetro Lacroix está en la obtención de la deflexión máxima. En la VB la deflexión máxima se puede obtener por el método WHASHO, en que la punta de la viga está delante (1,20 m) del par de ruedas y se hace avanzar el camión hasta sobrepasar la punta de la viga hasta que el dial se detiene, o con el método Canadiense en que se mide el rebote de la viga, la punta de la cual se coloca entre las ruedas y se hace avanzar el camión registrándose el rebote máximo y la deflexión residual. Existen adecuadas relaciones entre los valores obtenidos por la Viga Benkelman y el Deflectómetro Lacroix.

2.503.404 Deflectómetro de Impacto. (usualmente conocido como Falling Weight Deflectometer). El deflectómetro de impacto (FWD) es un equipo (recomendado por el Strategic Highway Research Program - SHRP y por AASHTO) para la medición de deflexiones en pavimentos viales (urbanos e interurbanos) y de aeropuertos, tanto rígidos como flexibles. Es una medición no destructiva que permite: calcular módulos elásticos de los componentes de la estructura de un pavimento, evaluar la eficiencia de la transferencia de carga en la juntas y grietas en pavimentos rígidos, y determinar la ubicación y extensión de vacíos existentes debajo de las losas de hormigón.

El método AASHTO de Diseño fue desarrollado en base a ensayos de laboratorio o ensayos estáticos en terreno. En cambio, el FWD realiza un ensayo no destructivo en terreno, que aplica una carga de impacto al pavimento proporcionando información que representa el comportamiento real del pavimento en terreno bajo el efecto de una carga de un vehículo. La influencia de los terraplenes en la resistencia estructural del suelo de fundación no fue considerado en el método AASHTO 1993, lo cual subestima la capacidad del suelo de fundación en algunos pavimentos chilenos, ya que comúnmente se utilizan terraplenes en su construcción.

El componente principal de este sistema de medición está montado en un carro de arrastre, que es remolcado por un vehículo. La carga se traduce en un cuenco de deflexión en la superficie del pavimento. Tanto la carga como la deflexión resultante son medidas con gran precisión; para la primera se utilizan celdas de carga, las cuales son colocadas debajo del plato; mientras que para las segundas se usan transductores de alta velocidad (geófonos).

Todo el ensayo es controlado desde el asiento del chofer del vehículo, a través del teclado de un computador. Variando el peso y la altura de la caída del equipo se pueden generar diferentes cargas de impacto. La operación normal consiste en trasladar el equipo al lugar en que se desea realizar el ensayo, bajar cuidadosamente el plato de carga y los geófonos a la superficie del pavimento. Se completa el ensayo dejando caer el peso calibrado desde la(s) altura(s) deseada(s). Una vez terminada esta secuencia, se levanta el plato de carga y los sensores, y se traslada el equipo al próximo lugar de ensayo. La ventaja principal de estos equipos es su mecanismo de carga, ya que permite modelar bastante bien tanto la magnitud como la duración de una carga móvil real.

La información proporcionada por las mediciones permiten obtener lo siguiente:

- a) Identificación de las secciones del pavimento que son estructuralmente uniformes.
- b) Identificación de las zonas débiles o que se encuentran deterioradas.
- c) Cálculo de la capacidad estructural.
- d) Predicción de la vida remanente.
- e) Selección de la estrategia apropiada para la rehabilitación.
- f) Diseño de recarpeteos.
- g) Caracterización de la subrasante para el diseño de repavimentaciones.
- h) Control de calidad en la etapa de construcción.
- i) Recepción final de pavimentos.
- j) Antecedentes para investigaciones especiales tales como detección de vacíos bajo losas de hormigón, transferencia de cargas en juntas, etc.

2.503.5 PROSPECCION GEOFISICA

2.503.501 Aspectos Generales. Los métodos geofísicos de prospección tienen un amplio espectro de aplicación, tanto en la búsqueda de minerales e hidrocarburos, como en aquellos estudios aplicados a obras civiles.

En obras civiles, los métodos más empleados son el sísmico y el eléctrico, sin embargo para su correcta y exacta interpretación requieren del apoyo de otras exploraciones hechas en base a sondajes mecánicos u otro medio de exploración directa.

Los métodos sísmicos normalmente entregan estimaciones cualitativas de la calidad mecánica de los estratos, especialmente en el caso de la roca basal, siempre que se den las condiciones de borde que exige una adecuada interpretación de sus resultados, como son, entre otras, las de contrastes significativos e importantes en las velocidades de propagación de ondas entre los diferentes estratos.

En la interpretación de los métodos eléctricos debe tenerse en cuenta que existen infinitas soluciones y para discriminar en la búsqueda de la solución real es absolutamente necesario hacer suposiciones previas, que exigen un conocimiento del suelo de fundación que sólo puede conseguirse con una investigación previa en base a exploraciones directas o estudios previos efectuados por especialistas. Si las suposiciones previas que se hagan no se ajustan a la realidad, los resultados que pueden esperarse de la interpretación de un perfil eléctrico quedarán también alejados de la realidad.

2.503.502 Metodología y Procedimientos

2.503.502(1) Método de Refracción Sísmica

En la investigación del subsuelo de sitios en que se proyecta la construcción de obras civiles, tales como túneles, tranques, represas, etc., se hace cada vez más corriente el uso de los métodos geofísicos para complementar y programar los estudios que definen los sectores con mejores condiciones geodinámicas para su emplazamiento.

El método geofísico aplicado con mayor frecuencia es el de Refracción Sísmica. Este método permite diferenciar los estratos del subsuelo de acuerdo a las velocidades de propagación de ondas elásticas de compresión dentro de ellos. Asimismo, permite calcular la profundidad a las diversas interfaces y el posible buzamiento de horizontes refractores.

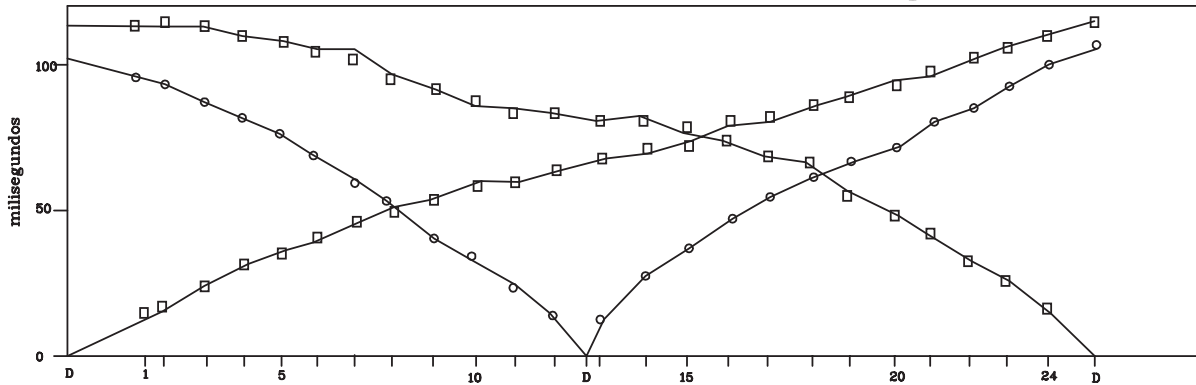
a) Ondas Sísmicas

La técnica consiste en generar ondas elásticas mediante explosiones o golpes en la superficie y medir el tiempo que demora la energía en propagarse desde la fuente u origen a cada uno de una serie de detectores o geófonos ubicados a lo largo de una línea. Conocido el arreglo geométrico fuente-detectores y el tiempo de viaje de las ondas compresionales, es posible construir los Diagramas «Camino-Tiempo», que constituyen la base de la interpretación posterior.

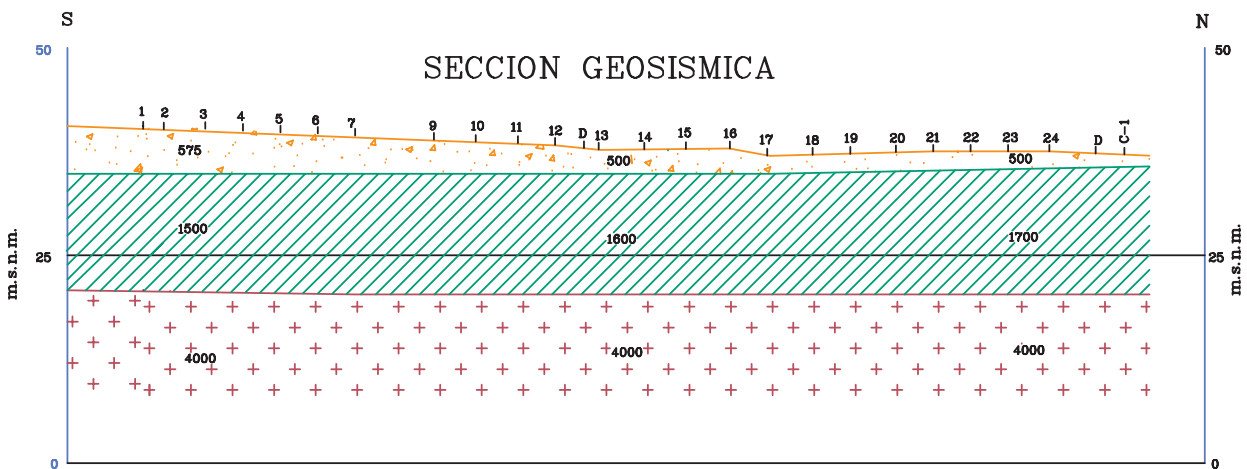
Para una mejor resolución del subsuelo, en especial cuando las interfaces no son paralelas, se generan explosiones o golpes en ambos extremos del perfil y en puntos intermedios.

A partir de las curvas «Camino-Tiempo», se elige el modelo que mejor se ajusta al conjunto de datos de terreno y se afina la interpretación, considerando las condiciones topográficas y geológicas de superficie. Se obtiene así una interpretación en forma de corte o perfil a lo largo de la línea investigada, en la que se muestran las capas del subsuelo y sus espesores. Además se sugiere una correlación probable con estratos geológicos [véase Lámina 2.503.502(1).A].

GRAFICO SISMICO " Distancia vs. Tiempo "



SECCION GEOSISMICA



LEYENDA

- SEDIMENTOS POCO CONSOLIDADOS
- ROCA DESCOMPUESTA
- ROCA BASAL
- 500 VELOCIDAD SISMICA EN m/seg.
- GEOFONOS
- DISPARO

REFRACCION SISMICA
ESTUDIO GEOFISICO
ENLACE CARRETERO RUTA 68 - QUINTAY
V REGION
PERFILES SISMICOS PS-1

Sin embargo, es importante destacar que el método de refracción sísmica en si mismo sólo diferencia capas de acuerdo a las velocidades de propagación de ondas elásticas en ellas. La correlación geológica se establece posteriormente, en lo posible, con información adicional tal como sondajes y reconocimiento geológico superficial.

Las informaciones de profundidad que da el método deben entenderse como distancias a las interfaces determinadas y no son, por lo tanto, necesariamente verticales.

La Tabla 2.503.502(1).A entrega una correlación entre velocidad de propagación de ondas sísmicas compresionales y tipo de formación.

TABLA 2.503.502(1).A
RELACION ENTRE VELOCIDAD DE PROPAGACION DE ONDAS SISMICAS COMPRESIONALES
Y FORMACIONES CORRESPONDIENTES

Vp (m/s)	Tipo de Material
100 - 700	suelos sueltos y rellenos
700 - 1.800	suelos compactación mediana
1.400 - 1.550	agua y suelos saturados
2.000 - 2.500	suelos compactos
1.500 - 2.500	roca descompuesta y muy fracturada
2.000 - 3.500	roca de calidad regular a buena
3.500 y más	roca de buena calidad geotécnica

b) Hipótesis del Método Sísmico. Para el éxito de una prospección sísmica es necesario que las características del subsuelo sean lo más aproximadas a las siguientes hipótesis consideradas por el método:

- El subsuelo está dividido en capas planas de cualquier inclinación.
- La velocidad de propagación de las ondas elásticas es constante dentro de cada capa.
- Las velocidades de capas sucesivamente más profundas son sucesivamente mayores.
- Las capas son de un espesor suficiente para poder apreciar las ondas refractadas en ellas. (Aproximadamente mayores que un 10% de la profundidad alcanzada)

Los resultados de un estudio de refracción sísmica serán tanto más confiables, cuanto mejor se cumplan las hipótesis postuladas. En general, la precisión del método varía entre un 80% y un 90%.

La teoría del método y los diversos procedimientos de interpretación se encuentran suficientemente difundidos en las publicaciones especializadas por lo que no se entra en el detalle de esta materia.

2.503.502(2) Sísmica de Detalle (Microsísmica) y Módulos Elásticos. Además de las medidas clásicas con explosivos usando ondas compresionales, es posible para perfiles cortos combinar éstas con medidas de ondas sísmicas de corte. Con estas medidas se pueden obtener, una vez adoptado un valor para la densidad del medio, los módulos elásticos dinámicos.

a) Módulos Elásticos. El conocimiento de las velocidades de las ondas de corte y de compresión y de la densidad del material permite el cálculo de la razón de Poisson, del Módulo de Corte y del Módulo de Young, parámetros que definen el comportamiento dinámico del subsuelo.

Para ello se emplean las siguientes expresiones:

Módulo de Poisson
$$\sigma = \frac{(V_p / V_s)^2 - 2}{2(V_p / V_s)^2 - 2} \quad (1)$$

Módulo de Young $E = 2 G (1 + \sigma)$ (2)

Módulo de Corte $G = \rho (V_s)^2$ (3)

En que: V_p = Velocidad Sísmica Compresional

V_s = Velocidad Sísmica de Corte

ρ = Densidad de la formación

En la Tabla 2.503.502(2).A se entregan antecedentes obtenidos para el cálculo de estos parámetros en diversos estudios.

TABLA 2.503.502(2).A

MATERIAL Y ZONA	Vp m/s	Vs m/s	Dens. g/cm ³	Módulo de Poisson	Módulo de Young MPa	Módulo de Corte G MPa
GRAVAS SANTIAGO	1.380	716	2,17	0,32	2.930	1.110
GRAVAS SANTIAGO	1.410	680	2,31	0,35	2.880	1.070
GRAVAS SANTIAGO	1.160	620	2,31	0,30	2.310	890
GRAVAS SANTIAGO	1.290	655	2,14	0,33	2.435	920
GRAVAS SANTIAGO	1.260	625	2,23	0,34	2.330	870
GRAVAS SANTIAGO	1.080	540	2,05	0,33	1.595	595
COLUVIO SECTOR LAS						
TORTOLAS PELDEHUE	1.050	532	2,20	0,33	1.650	620
COLUVIO	945	580	2,20	0,20	1.770	740
COLUVIO	1.540	700	2,20	0,37	2.995	1.080
SECTOR EMBALSE PIRQUE						
GRAVAS SECAS	1.125	680	2,20	0,21	2.465	1.015
GRAVAS SECAS	1.500	800	2,20	0,38	3.665	1.410
GRAVAS SECAS	1.160	650	2,20	0,27	2.365	930
SECTOR PLANTA-CERRO LA						
COIPA (GRANITO ALTERADO)	2.060	1.150	2,00	0,27	6.735	2.645
SECTOR SAN ISIDRO-QUILLOTA						
RELLENO FLUVIAL	1.420	650	2,00	0,37	2.310	845
RELLENO FLUVIAL	1.660	560	2,00	0,44	1.800	625

b) Equipamiento y Disposición en Terreno. En estas técnicas los equipos normalmente empleados corresponden a sistemas de grabación digital de 12 o 24 canales. Son equipos modernos que tienen convertidores análogos digitales de 24 bits y registros de a lo más 1 milisegundo de separación en el tiempo.

Como detectores se usan geófonos verticales cuya separación varía entre 5 y 30 metros dependiendo de la densidad de información requerida. Para los estudios de onda de corte se usan geófonos sensibles a los movimientos horizontales.

Los disparos y/o golpes deben estar sincronizados en forma exacta con los registros, y para distancias mayores a 20 metros se recomienda siempre el uso de explosivos.

En general la penetración del método depende de la extensión del perfil. Este debe ser entre 3 y 5 veces la profundidad que investiga y depende del contraste de velocidades esperados.

c) Presentación de la Información.

La presentación de los resultados se entrega en secciones a lo largo del perfil en que se coloca la estratificación y velocidad de propagación de las ondas sísmicas en cada estrato. Se debe acompañar además un plano de planta.

La interpretación de los resultados no es trivial y normalmente la hace un geofísico a partir de las curvas camino tiempo. Es necesario colocar en los planos todos los accidentes del terreno, posible geología superficial y una interpretación primera de la geología en profundidad, en base a la experiencia en correlación entre velocidad de propagación de ondas sísmicas compresionales y formaciones geológicas.

2.503.502(3) Otras Técnicas Sísmicas. Existen otras técnicas sísmicas, como sísmica de reflexión y CMP (Common Mid Point). Estas se está empezando a ocupar cada vez más frecuentemente en estudios con más detalle que los de sísmica de refracción.

Estos métodos requieren de mayor número de disparos y mucho más proceso, y, por lo tanto, tienen mayor costo. Si bien entregan mayor detalle en la estratificación, no entregan con la misma calidad las velocidades de propagación de ondas sísmicas. En la Lámina 2.503.502(1).A se muestra un ejemplo de solución de trabajos sísmicos en que se han correlacionado valores de velocidad de ondas sísmicas compresionales con formaciones geológicas.

2.503.502(4) Métodos Geoeléctricos. Dentro de los diversos métodos geoeléctricos usados en geofísica, los más aplicados a estudios de ingeniería de detalle como obras viales, corresponden a los sondajes eléctricos verticales y perfiles de dipolo-dipolo.

Si bien existen numerosos métodos adicionales, sobre todo electromagnéticos, éstos no siempre entregan información superficial como se requiere en caminos.

Todos los métodos eléctricos de corriente continua usan un sistema de doble electrodos, en que un par de electrodos (AB) introduce corriente "I" al suelo y el segundo (MN), lee los voltajes "ΔV" generados por esta corriente.

A partir de estos parámetros, se define la resistividad "ρ" a través de la expresión.

$$\rho = \frac{K \Delta V}{I}$$

En que:

K = constante que depende de la configuración geométrica de electrodos usados.

Normalmente ρ se expresa en (Ω·m) y tiene características propias para cada medio según se indica en el punto siguiente.

a) Resistividades y Equivalencia Litológica. La resistividad de los medios no depende en general de los agregados sólidos que lo componen, ya que normalmente los minerales constitutivos de las rocas, tales como silicatos, son perfectamente aislantes.

La excepción a este caso general la constituyen los minerales conductores tales como algunos sulfuros, metales nativos, grafito y, en cierta medida, las arcillas por fenómenos de polarización de las moléculas de agua adheridas.

Sin embargo, todos los medios geológicos presentan mayor o menor porosidad y/o fracturamiento, que al estar rellenas con electrolitos les dan un carácter conductor. A su vez, el aumento de la concentración de sales disueltas en los fluidos que ocupan los poros, aumenta considerablemente el carácter conductor de las rocas.

Es por ello que en general la resistividad de un medio estará asociada a su porosidad, contenido de electrolitos y/o arcillas.

La lista siguiente, muestra los rangos normales de resistividades que se encuentran en las formaciones que se señalan:

Suelos	Resistividades en $\Omega\cdot m$
Margas	1 - 10^2
Arcillas	1 - 10^2
Limos	10 - 10^2
Arenas	10 - 10^3
Gravas	10 - 10^4
Agua Dulce	30 - 10^3
Agua Salada	0,1 - 1
Rocas Consolidadas	10^3 - 10^5

Como se aprecia de la tabla anterior el rango de diferentes suelos se traslapa y la correlación entre litología y resistividad dependerá del conocimiento de la geología y las características propias de cada zona.

b) Método de Sondajes Eléctricos Verticales (SEV). El método de Sondajes Eléctricos Verticales es el más usado en este tipo de trabajos. Básicamente consiste en aumentar el largo de los electrodos de corriente (AB) y medir la resistividad para cada apertura de ellos. Dentro de los Sondajes Eléctricos Verticales, se consideran normalmente la disposición Wenner y Schlumberger. Esta última, dada la facilidad de medida, es la más usada en la actualidad. Normalmente estos SEV se representan como una distribución vertical de resistividades bajo el punto central del dispositivo usado. La condición ideal para la aplicación del método de Sondajes Eléctricos es que el subsuelo corresponda a una formación de capas homogéneas y, además, planas y paralelas entre sí y al suelo superficial. Experimentalmente se demuestra, sin embargo, que la respuesta es adecuada incluso para aplicaciones de hasta 30 grados.

Con las medidas de los sondajes eléctricos se generan curvas de resistividad aparente versus apertura de los electrodos AB/2. Estos puntos se ajustan a un modelo que hoy en día se efectúa computacionalmente. La Lámina 2.503.502(4).A ilustra este proceso.

c) Interpretación. La interpretación de los Sondajes Eléctricos Verticales siempre debe considerar la información adicional de sondajes mecánicos o de pozos existentes, esto último permite buenos resultados.

Básicamente el párrafo anterior, se explica por el hecho que las soluciones a los puntos de los Sondajes Eléctricos Verticales no siempre son únicas, y muchas veces la solución mejor en términos de modelación teórica, no es la mejor en cuanto a sentido físico. Por lo tanto, se recomienda que los trabajos se hagan por personal especializado y en contacto con el contratista. La Figura a) de la Lámina 2.503.502(4).B muestra un ejemplo de Sección Geoeléctrica y su posible correlación geológica.

d) Perfiles Dipolo-Dipolo. En algunos casos en que se requiere levantar perfiles en línea, se usa el sistema dipolo-dipolo, en que se mantiene fijo el dipolo de corriente y se avanza con el de potencial, los resultados se entregan en secciones verticales que corren por la línea de dipolos [Figura b) de la Lámina 2.503.502(4).B]. La resistividad aparente es la misma de la ecuación 2.503.502(4), y por costumbre, se coloca en líneas que se intersectan a 45° desde el centro de los dipolos de corriente y potencial.

La interpretación de estas calicatas tampoco es única, pero permite zonificar sectores con mayor o menor resistividad en una línea. Estas pueden ser definitivamente calibradas con el método de Sondajes Eléctricos Verticales.

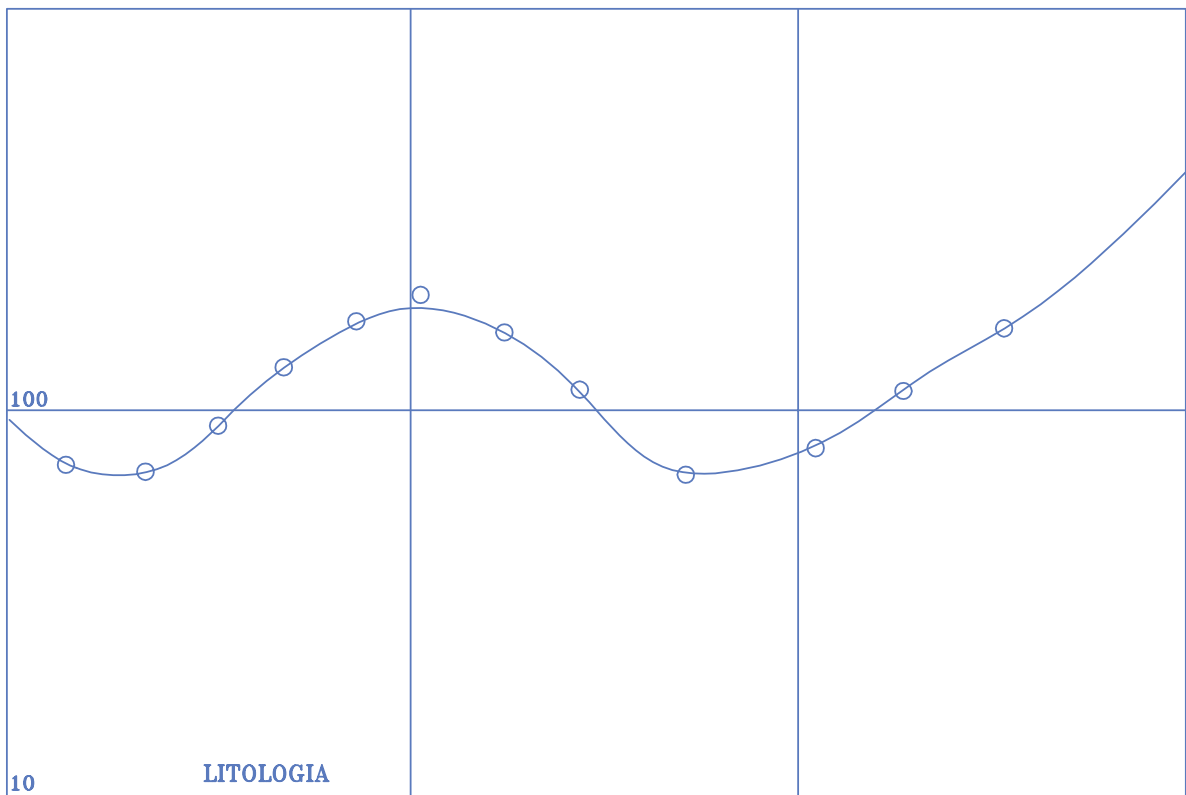
PROYECTO CARRETERA SUR – GAIA

S. E. V.

Resist.	Espesor	Cota	Profund.	Cota Supe.		
110	0.6	-0.6	0.6	0.0	N	6.325.233,25
40	0.7	-1.3	1.3	-55.3	E	325.987,23
250	7.0	-9.3	8.3			
45	47.0	-55.3	55.3			
1000	Infinito					
				Espes.Tot.		55.3

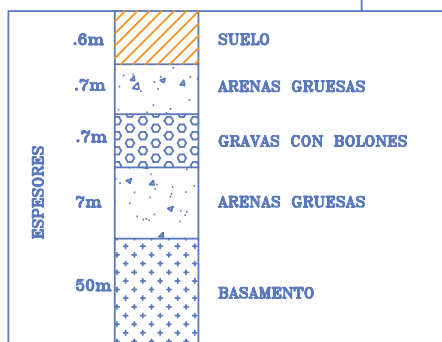
10

1000



10

LITOLOGIA



AB/2

1

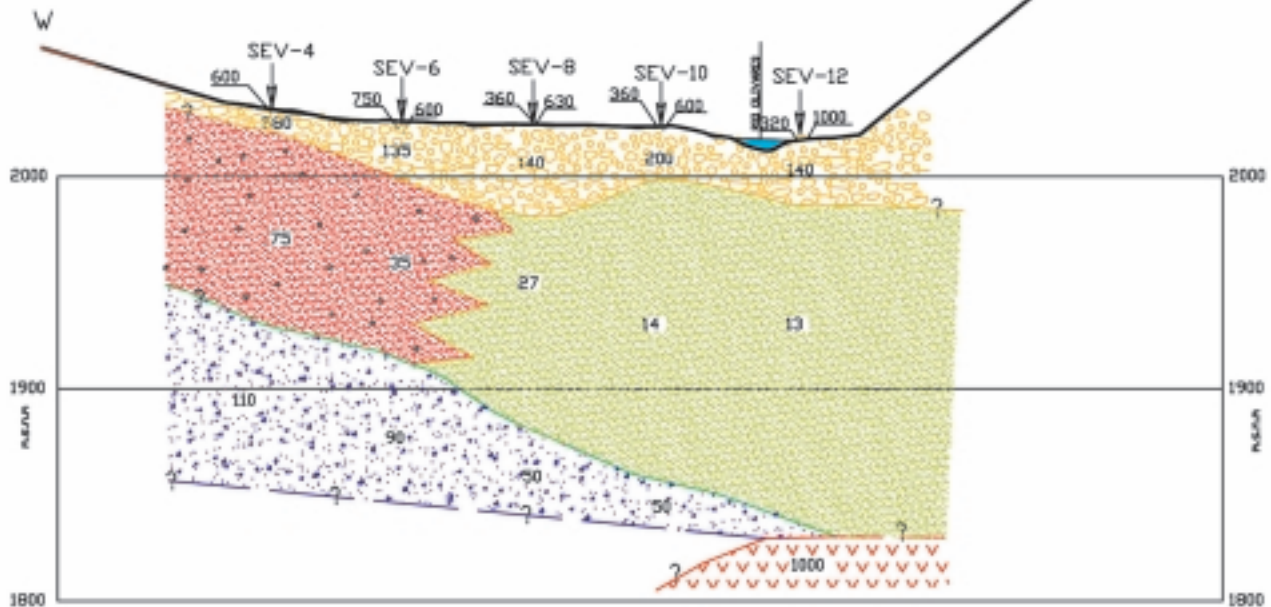
10

100

1000

GE

PERFIL MODELO A

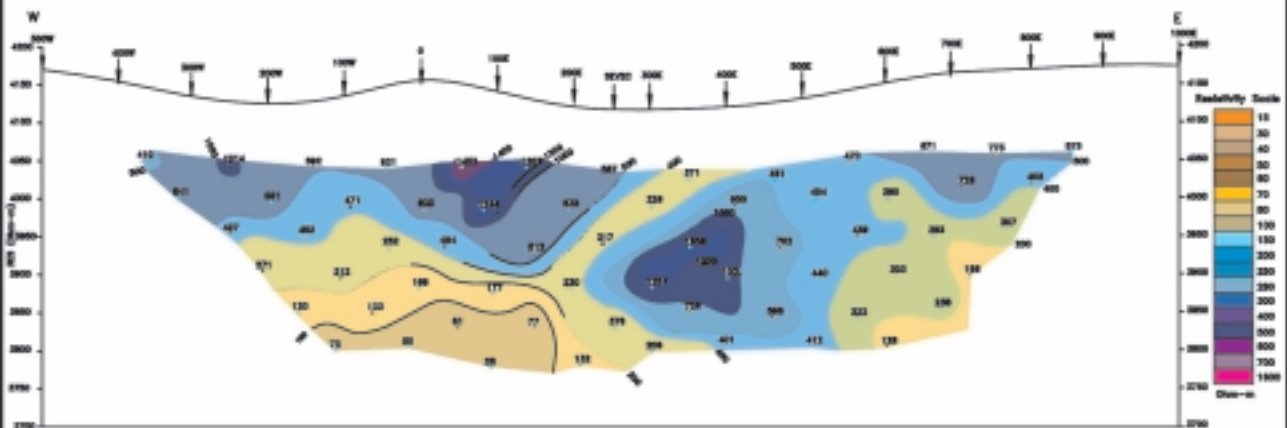


110 RESISTIVIDAD EN Ohm-m



ESTUDIO RESISTIVIDAD
SONDAJES ELECTRICOS VERTICALES SEV
REGION METROPOLITANA

RESISTIVITY SECTION L2-C



LEGEND

- 140 RESISTIVITY VALUES IN Ohm-m
- 4.5 INDUCED POLARIZATION VALUES IN m.secs.

ESTUDIO RESISTIVIDAD DEL SUB-SUELO
DETERMINACION ESTRATIGRAFICA
PROYECTO CARRETERO REGIONAL - II REGION
AISEN

SECCION 2.504 ENSAYES DE LABORATORIO

2.504.1 NORMAS DE PROCEDIMIENTO

Todos los ensayos de laboratorio por realizar sobre muestras de suelo deben efectuarse de acuerdo a la normativa vigente, contenida en el MC-V8, Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control. Si para un determinado ensayo no existiera en este documento el procedimiento correspondiente, se cumplirá con las Normas NCh (Normas Chilenas Oficiales). En el caso que el método de ensayo requerido no se encontrase en ninguna de las normativas antes citadas, se deberá adoptar la norma AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials) correspondiente. Ahora, si tampoco existiera en esta última el procedimiento de ensayo buscado, se utilizarán las normas ASTM (American Society for Testing Materials).

Las normas MC-V8, NCh, AASHTO y ASTM que se empleen deben corresponder a la última versión vigente. En caso contrario, se deberá justificar técnicamente.

2.504.2 PROPIEDADES INDICE

2.504.201 Análisis Granulométrico. El caso más frecuente de ensayo granulométrico, es aquél en que se desea determinar la graduación del suelo a través de la distribución por tamaños de las partículas mayores que 0,08 mm, mediante tamizado.

El procedimiento que se usa en este caso viene descrito en 8.102.1 del MC-V8, la que debe aplicarse en conjunto con 8.202.3 del MC-V8.

En los casos que se necesite conocer la distribución o tamaño de las partículas que pasan el tamiz 0.08 mm, el procedimiento que debe usarse está descrito en la norma AASHTO T88, la que contempla, además del tamizado, un análisis hidrométrico.

Lo normal es realizar el ensayo granulométrico a la fracción de suelo que pasa bajo el tamiz 80 mm, usando una muestra de masa no inferior a la mínima que exige la norma, la que depende del tamaño máximo del material.

La serie mínima de tamices por considerar en un ensayo granulométrico es la siguiente:

NCh (mm)	80	50	25	20	10	5	2	0,5	0,08
U.S. Standards	3"	2"	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200

2.504.202 Límites de Consistencia. Existe una serie de relaciones empíricas que permiten medir la capacidad de un suelo para absorber humedad sin cambiar su estado de consistencia. Estos indicadores son básicamente mediciones indirectas de la característica básica de superficie específica. Los más usados son el límite plástico y el límite líquido, desarrollados por Albert Atterberg y conocidos como límites de Atterberg. Estos índices se determinan en suelos remoldeados o suelos que han perdido su estructura por amasado.

Límite Plástico es el contenido de humedad sobre el cual las partículas de suelo están bien lubricadas y pueden ser moldeadas en una masa plástica. Una menor cantidad de agua lleva al suelo a un estado semi-sólido, quebradizo, en el cual se evidencian características granulares. Por otra parte, una mayor cantidad de agua hace al suelo más plástico como resultado de una disminución de su cohesión. El límite plástico es el menor contenido de agua para el cual el suelo mantiene características plásticas.

Límite Líquido representa el menor contenido de agua necesario para reducir la masa de suelo a una condición de semi-fluido, con una cohesión insignificante. En este sentido, dicho contenido de humedad puede considerarse como un límite de saturación.

La capacidad de un suelo de absorber agua sin perder su cohesión o pasar al estado semi-fluido queda expresada por la diferencia entre los límites líquido y plástico, y recibe el nombre de Índice de Plasticidad IP.

El ensayo de límite líquido debe ajustarse a 8.102.3 del MC-V8. Se debe usar el método mecánico (curva

de flujo) con tres puntos como mínimo. La determinación del límite líquido por el método de un punto se reservará sólo para control.

El ensaye de límite plástico debe ajustarse al Método 8.102.4 del MC-V8.

Dentro de los límites de consistencia es habitual incluir el límite de contracción, el que es conveniente realizar en algunas ocasiones. La método que rige este ensaye es el 8.102.5 del MC-V8. Las muestras de suelo para estos ensayes no deben secarse al horno.

2.504.203 Densidad de Partículas Sólidas. En el caso de las partículas mayores que 5 mm se utiliza el Método 8.202.20 del MC-V8, el que además de cuantificar la absorción de agua del material permite determinar la densidad neta, la que considera sólo el volumen de los poros inaccesibles de las partículas y la densidad real, que considera tanto los poros accesibles como los inaccesibles de las partículas.

2.504.204 Densidad Natural. En general, la densidad natural de un suelo debe determinarse en terreno siguiendo un procedimiento como el fijado por el Método 8.102.9 del MC-V8 método Cono de Arena.

En el caso de suelos cohesivos, en que puedan recortarse muestras sin que éstas se deterioren, es posible determinar la densidad de la muestra sin perturbar siguiendo el procedimiento de la norma AASHTO T233, protegiendo el suelo con parafina sólida a fin de que no varíe su humedad al sumergirlo en agua. Este procedimiento obliga a corregir los resultados para tener en cuenta el efecto de la parafina sólida, haciendo necesario además determinar la humedad del material a fin de expresar los resultados como densidad seca.

La densidad natural debe expresarse siempre como densidad seca. En caso de entregarse el resultado como densidad húmeda, deberá indicarse la humedad del material.

Para medidas de densidad en terreno y, en especial, en control de grado de compactación, podrán usarse además los métodos "Rubber Balloon" (AASHTO T205) y "Nuclear" (Método 8.502.1).

2.504.205 Contenido de Humedad y Grado de Saturación. La determinación del contenido de humedad de un suelo, que corresponde a la razón entre la masa del agua contenida en el suelo y la masa seca del mismo, se hace frecuentemente secando la muestra al horno a una temperatura de 110° C, siguiendo un procedimiento como el establecido en el Método 8.102.2. En el caso de suelos con alto contenido de materia orgánica el secado debe efectuarse a 60°C.

El grado de saturación, que corresponde a la razón entre el volumen de agua contenido en el suelo y el volumen de huecos que éste presenta, se calcula una vez conocida la humedad del suelo, su densidad de partículas sólidas y su densidad natural seca, haciendo uso de la expresión:

$$S_r = \frac{\omega}{\frac{1000}{\rho_d} - \frac{1000}{\rho_s}}$$

en que:

- Sr = grado de saturación (%)
- ω = contenido de humedad del suelo (%)
- ρ_d = densidad natural seca (kg/m³)
- ρ_s = densidad de partículas sólidas (kg/m³)

2.504.206 Clasificación de Suelos. Para clasificar un suelo se requiere realizar previamente un ensaye granulométrico y uno de límites de consistencia del mismo.

Las clasificaciones de suelo que se usan con más frecuencia y de uso más universal corresponden a las definidas por las siguientes normas:

- AASHTO M 145 "The Classification of Soil Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes"
- ASTM D 2487 "Classification of Soils for Engineering Purposes". (USCS)

La primera de estas clasificaciones divide a los suelos en 7 grupos generales, mientras que la segunda lo hace en 15. La clasificación definida por la norma ASTM (USCS) está orientada a cualquier tipo de obra, y se utilizará para informar la estratigrafía visual de pozos de reconocimiento. La norma AASHTO está reservada, preferentemente, para obras viales y se utilizará para informar la clasificación efectuada a partir de los ensayos de Laboratorio.

2.504.207 Composición Química. A partir de la roca de origen y tan pronto como es expuesta a la influencia del clima, se inicia la formación del suelo con la fragmentación a través de los planos más débiles y la meteorización de los componentes minerales. Este proceso de degradación termina con la formación de un suelo de graduación muy fina.

Cuando un material es extraído de un pozo o de un corte y es usado en una obra vial, el proceso de degradación se acelera debido a la acción de la compactación y del tránsito.

La composición química como factor en el desarrollo de la formación del suelo y en su comportamiento como material de construcción debe ser considerada como una importante característica.

En este sentido, existen adecuados indicadores de la naturaleza química que pueden ser aplicados al comportamiento de los suelos. Dentro de éstos se pueden mencionar principalmente la razón sílice-sesquióxidos y la concentración de iones hidrógeno.

En general debe evitarse el uso de materiales de bases y/o subbases en los que el factor acidez-razón sesquioxido (S_a) sea mayor que 1,5, en que.

$$S_a = R + A$$

$$R = \text{Si O}_2 / \text{R}_2 \text{O}_3$$

$$A = [\text{antilog (pH-7)}]^{0.5}$$

Los términos R y pH se definen a continuación.

Razón sílice-sesquióxidos ($R = \text{Si O}_2 / \text{R}_2 \text{O}_3$). Se define como la relación entre la sílice (Si O_2) y la suma de los óxidos de hierro ($\text{Fe}_2 \text{O}_3$) y de aluminio ($\text{Al}_2 \text{O}_3$), llamados comúnmente sesquióxidos ($\text{R}_2 \text{O}_3$), que se encuentran presentes en la fracción de suelo cuyas partículas son menores que un micrón. La restricción del tamaño a un micrón es necesaria para excluir a las partículas de cuarzo que son estables, inertes y de mayores dimensiones.

Aquellos suelos que tienen una razón sílice-sesquióxidos menor que 0,5, no tienen plasticidad y su desintegración mecánica es lenta. Para valores comprendidos entre 0,5 y 1,0 se está en presencia de suelos de plasticidad baja y desintegración mecánica media. Los suelos cuyo valor de la razón sílice-sesquióxidos es de 1,0 a 2,5 son de alta plasticidad y rápida degradación.

Concentración de iones hidrógeno. La relativa acidez o alcalinidad de un suelo se mide en términos de la concentración de iones hidrógeno tomando como referencia el agua pura.

En el agua existe una proporción muy pequeña de moléculas que se han dissociado en iones hidrógeno (H^+) e iones hidroxilo (OH^-). El producto de la concentración de estos iones dividido por la concentración de moléculas de agua es constante. Resultados experimentales basados en la conductividad eléctrica del agua pura han establecido que el valor de esta constante es de 10^{-14} . Las concentraciones de H^+ y OH^- son iguales y, por lo tanto, la concentración de iones hidrógeno es igual a 10^{-7} . A fin de simplificar los cálculos se designa este valor con el símbolo «pH» que se define como el exponente negativo, en base 10, del valor de la concentración de iones hidrógeno. En relación a la acidez, un valor «pH» igual a 7 indica una solución neutra. Valores menores que 7 suponen una mayor proporción de iones hidrógeno H^+ y una solución ácida. Para valores mayores que 7 la solución es alcalina.

pH < 7 Solución ácida

pH = 7 Solución neutra

pH > 7 Solución alcalina

Clasificación química de los suelos. Dependiendo principalmente de la influencia del clima, los suelos se clasifican de acuerdo a su composición química en:

Suelos Podzólicos, se desarrollan en zonas frías de gran humedad y en un ambiente ácido. El agua arrastra, desde las capas superiores hacia abajo, los óxidos de hierro y aluminio (sesquióxidos). En estos suelos la sílice no se ha descompuesto y se mantiene como integrante del suelo. La naturaleza química de estos suelos se expresa por la razón entre la sílice y los sesquióxidos ($\text{Si O}_2 / \text{R}_2 \text{O}_3 < 2$).

Suelos Lateríticos, se desarrollan en zonas húmedas y cálidas. Se caracterizan por una rápida descomposición de las materias orgánicas que son consumidas por las bacterias del suelo, dejando pocos ácidos orgánicos que puedan reaccionar con los minerales del suelo. El ambiente alcalino permite la formación de soluciones de sílice que son lavadas más fácilmente que los sesquióxidos ($\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3 > 2$).

Suelos Pedocales, se desarrollan en zonas de lluvias muy restringidas lo que permite una alta concentración de minerales solubles en su superficie (Norte de Chile).

2.504.3 DENSIFICACION

2.504.301 Relación Humedad - Densidad (Ensaye Proctor). Este ensaye tiene por finalidad determinar la densidad máxima y la humedad óptima que puede alcanzar un suelo cuando se compacta con una energía por unidad de volumen determinada.

Los procedimientos más usados corresponden a los ensayes de compactación por impacto, conocidos con el nombre de ensayes Proctor, los que se encuentran descritos en el MC-V8 por los métodos:

- 8.102.6 Relación Humedad-Densidad. Ensaye Proctor Normal que considera pisón de 2,5 kg y 305 mm de caída libre .
- 8.102.7 Relación Humedad-Densidad. Ensaye Proctor Modificado, que considera pisón de 4,5 kg y 460 mm de caída libre.

La preparación de las muestras por ensayar requiere un especial cuidado, en particular en lo que a los ajustes de humedad se refiere. En suelos finos de alta o mediana plasticidad, en los que suele ser difícil homogeneizar la humedad del suelo, se puede llegar a afectar la estructura del mismo si la muestra se somete a un secado considerable, aún cuando éste se realice al aire. Para estos suelos sensibles es conveniente trabajar las muestras con humedades que no sean inferiores a las que presenta el suelo en su estado natural, y no someterlas a secados prolongados.

2.504.302 Densidad Relativa. Este ensaye es aplicable a suelos granulares de libre drenaje, en los que suele conseguirse una máxima densidad cuando se compactan totalmente saturados.

La densidad relativa es el mejor índice para estimar la compacidad de un suelo granular no cohesivo.

El Método 8.102.8 define la forma de realizar este ensaye y como presentar sus resultados.

El ensaye obliga a determinar la densidad del suelo en sitio, para lo cual puede usarse el procedimiento que fija el Método 8.102.9 o los métodos que mejor se adapten a las condiciones del terreno. En laboratorio se determinan las densidades máxima y mínima del suelo remoldeado. La densidad relativa queda dada por la expresión:

$$DR = \frac{\rho_{\text{máx}} (\rho_d - \rho_{\text{mín}})}{\rho_d (\rho_{\text{máx}} - \rho_{\text{mín}})} \times 100$$

en que:

- DR = densidad relativa (%)
- ρ_d = densidad natural seca en sitio (kg/m^3)
- $\rho_{\text{máx}}$ = densidad máxima de laboratorio (kg/m^3)
- $\rho_{\text{mín}}$ = densidad mínima de laboratorio (kg/m^3)

2.504.4 PROPIEDADES MECANICAS E HIDRAULICAS

2.504.401 Capacidad de Soporte C.B.R. Para estimar la capacidad de soporte de un suelo, mediante la determinación de su resistencia a la penetración, se recurre con frecuencia al ensaye C.B.R. («The California Bearing Ratio»), el que aparece descrito en el Método 8.102.11 (LVN 92-85) y que se ha desarrollado para ensayar una muestra de suelo que se ha compactado previamente en un molde metálico. Sin sacar la muestra del molde y después de haberla saturado durante un tiempo bien definido, se procede a su penetración mediante un pistón y una prensa adecuada.

Se debe informar la razón de soporte (C.B.R.) para penetraciones de 2,5; 5,0 y 7,5 mm, para cada una de las tres compactaciones realizadas, así como el valor de la razón de soporte para el grado de compactación o densidad que el proyectista empleará. Se informará además el grado de saturación de cada una de las probetas ensayadas.

Se podrá considerar una razón de soporte o C.B.R. como representativa de un grupo de muestras, siempre que se cumplan las siguientes tolerancias y exigencias:

- Las muestras correspondan a un mismo sector o zona.
- Tengan la misma clasificación general.
- Pertenezcan a uno de los siguientes rangos de índice de grupo (IG): entre 0 y 2, 3 y 7, 8 y 15, 16 y 25 y sobre 25.
- La comparación de sus granulometrías no presente discrepancias superiores a:

tamiz 20 mm (3/4" U.S.)	: ± 12%
tamiz 5 mm (Nº 4 U.S.)	: ± 8%
tamiz 2 mm (Nº 10 U.S.)	: ± 6%
tamiz 0.08 mm (Nº 200 U. S.)	: ± 4%, si pasa menos que un 35%
	: ± 6%, si pasa más que un 35%

- El índice de plasticidad no debe discrepar más de:

Si IP < 10	: ± 2
Si 10 < IP < 20	: ± 3
Si IP > 20	: ± 4

Este ensaye también puede aplicarse a muestras inalteradas, siempre que se cuide de colocarlas en el molde sin perturbarlas y que, además, se rellene con parafina sólida u otro material similar el espacio que quede entre la muestra y las paredes del molde. Hay suelos en que este trabajo presenta dificultades insalvables, lo que hace necesario recurrir a la realización de un ensaye de C.B.R. en sitio. El suelo ensayado no debe contener partículas mayores que el tamiz 20 mm.

2.504.402 Consolidación. Cada vez que se necesite cuantificar con precisión la compresibilidad total o la deformabilidad en el tiempo de un suelo fino, debe recurrirse a ensayes de consolidación o de compresión confinada. La norma AASHTO T216 describe la forma de realizar, calcular e informar este ensaye. En estos ensayes es conveniente hacer uso de probetas del mayor diámetro posible, él que, en ningún caso, podrá ser inferior a 50 mm.

2.504.403 Resistencia a la Compresión Simple El principal objetivo de este ensaye es obtener un valor cuantitativo, de carácter aproximado, de la resistencia a la compresión uniaxial de suelos que poseen suficiente cohesión para permitir ensayarlos sin confinamiento lateral. A partir de la resistencia medida es posible inferir la cohesión del suelo.

Este ensaye da resultados seguros y confiables en suelos finos de carácter arcilloso, con un grado de saturación próximo al 100%, cuando se pretende cuantificar la resistencia al corte del suelo en condiciones no drenadas. Es fundamental que la muestra que se ensaye sea homogénea y no presente planos de debilidad. Su uso en arcillas fisuradas carece de todo sentido.

La resistencia a la compresión simple se suele utilizar como medida de la sensibilidad de la estructura del suelo, comparando los valores obtenidos en los estados inalterado y remoldeado para un mismo suelo. La pérdida de resistencia entre ambos estados, expresada como el cociente entre la resistencia de la muestra inalterada y la remoldeada se denomina «Sensibilidad» (St).

La norma AASHTO T208 describe la forma de realizar el ensaye.

2.504.404 Corte Directo. El ensaye de corte directo sirve para determinar la resistencia al corte en suelos bajo condiciones drenadas. No es posible realizar ensayes de corte directo confiables bajo condiciones sin drenaje.

No es recomendable usar este ensaye en suelos muy densos o firmes, dado que en éstos la falla que se desarrolla podría ser progresiva, lo que subestimaría su resistencia al corte.

La norma AASHTO T236 describe la forma de realizar e informar el ensaye.

2.504.405 Triaxial Los ensayos triaxiales se usan para estimar la resistencia al corte y para establecer relaciones tensión-deformación de suelos bajo diferentes condiciones de drenaje. Están normalizados por ASTM bajo las designaciones D4767-88 y D2850-95.

En líneas generales los ensayos triaxiales se pueden dividir en tres grupos:

- Ensayes Q (Sin consolidar y sin drenaje). En estos ensayos tanto la presión de confinamiento como el esfuerzo desviador se aplican sin permitir el drenaje de la muestra. Se usan para estimar las propiedades mecánicas de suelos relativamente impermeables, que puedan verse sometidos a cargas o esfuerzos aplicados en forma rápida.
- Ensayes R (Consolidado y sin drenaje). En estos ensayos, después de haber consolidado la muestra bajo la presión de confinamiento, se aplica el esfuerzo desviador sin permitir el drenaje de la muestra. Estos ensayos se realizan frecuentemente con medida de presión de poros, lo que permite determinar presiones efectivas, hecho que los hace muy adecuados para estimar parámetros de corte en suelos relativamente impermeables. El suelo debe estar saturado.
- Ensayes S (Consolidado y Drenado). En estos ensayos, la muestra se consolida previamente con la presión de confinamiento y luego se aplica el esfuerzo desviador con una velocidad tal, que en la muestra no se desarrollen presiones de poro. Con estos ensayos se obtienen parámetros de corte efectivos, que representan bien la resistencia al corte de un suelo a largo plazo. Se reservan para suelos relativamente permeables, ya que sólo en éstos el ensaye tiene una duración aceptable. En suelos impermeables el ensaye puede durar varios días. Es usual medir la variación de volumen que experimenta la probeta durante el ensaye. El suelo debe estar saturado.

Los ensayos triaxiales deben ser hechos por laboratorios que dispongan del equipo adecuado y el personal entrenado en este tipo de pruebas. Los procedimientos de ensayos que se usen deben ajustarse a las recomendaciones que dan las publicaciones especializadas. Se aconseja recurrir a procedimientos como los indicados en la publicación «The Triaxial Test» de Bishop y Henkel.

2.504.406 Expansividad. Cada vez que se prevea que un suelo pueda ser de carácter expansivo y dicha característica pueda tener influencia en la o las estructuras por proyectar, deben realizarse ensayos de expansividad, los que se pueden efectuar ajustándose a la norma AASHTO T258. Un criterio que permite tener una primera idea de la expansividad de un suelo se incluye en la Tabla 2.504.406.A, que hace uso de los siguientes parámetros: límite líquido (L_w), índice de plasticidad (IP) e índice de contracción (S.I. = Límite Líquido - Límite de Contracción).

TABLA 2.504.406.A

GRADO DE EXPANSIVIDAD	IP	S.I.	L_w
Bajo	< 12	< 15	20 - 35
Medio	12 - 23	15 - 30	35 - 50
Alto	23 - 32	30 - 60	50 - 70
Muy Alto	> 32	> 60	70 - 90
Extraordinariamente Alto	> 32	> 60	> 90

2.504.407 Permeabilidad. Los ensayos de permeabilidad en laboratorio se reservan para estimar el coeficiente de permeabilidad de suelos naturales muy homogéneos y de rellenos compactados. La norma AASHTO T215 describe un ensaye de permeabilidad a carga constante, que es aplicable a suelos granulares con un porcentaje de fino que no supere el 10% y que, por lo tanto, son relativamente permeables.

Para suelos menos permeables es conveniente recurrir a ensayos de permeabilidad de carga variable, los que permiten una mejor estimación del coeficiente de permeabilidad cuando los gastos que escurren a través de la muestra son pequeños.

También es posible determinar coeficientes de permeabilidad a partir de los registros deformación versus tiempo, obtenidos en ensayos de consolidación.

2.504.408 Susceptibilidad a las heladas. En zonas sometidas a frecuentes ciclos de hielo – deshielo, se deberá determinar si los suelos bajo la estructura del pavimento del camino presentan características que los identifiquen como susceptibles a las heladas (suelos heladizos). Ello se realizará al menos en la profundidad estimada de penetración de las heladas, a partir de la rasante proyectada. Este análisis sólo se podrá omitir si el Proyectista puede asegurar que en la zona del proyecto no existirán fuentes de agua (como napas, infiltraciones, mal drenaje, etc.) que alimenten la formación y crecimiento de lentes de hielo bajo el pavimento.

Para clasificar el grado de susceptibilidad de los suelos a las heladas existen diversos criterios que apuntan en general a controlar el tipo y contenido de finos presentes en su composición. Entre ellos se puede mencionar el criterio de Casagrande basado en la granulometría complementada con análisis de Bouyoucos, el sistema de clasificación del Cuerpo de Ingenieros de EEUU, el ensaye de hinchamiento por congelamiento CRREL I estadounidense, o el procedimiento del Laboratorio Central de Puentes y Caminos (LCPC) de Francia.

En este Manual de Carreteras, el criterio general para determinar el grado de susceptibilidad de un suelo, que lo amerite como para ser removido y reemplazado por otro, está descrito en el numeral 5.201.305 del MC-V5. Casos especiales serán estudiados por el proyectista.

Cuando el proyecto prevea la remoción de suelos susceptibles a las heladas, el material de reemplazo será francamente no heladizo, para cuyo efecto deberá cumplir con los requisitos señalados en el numeral 5.205.202 del MC-V5. El mismo requisito se exigirá para los terraplenes nuevos que se construyan, dentro de la profundidad de penetración de las heladas.

2.504.5 CANTIDADES DE MUESTRAS

Con el objeto de precisar las cantidades de muestras que deben ser tomadas en terreno para realizar los ensayes de laboratorio, debe recurrirse a lo indicado en cada una de las normas pertinentes en cuanto a dimensión de la probeta. A manera de ejemplo, se anotan a continuación los requerimientos de cantidades de muestra expresados en peso de suelo seco para los ensayes más usuales:

ENSAYE	NORMA	MASA MINIMA DE MUESTRA (kg)	OBSERVACION
- Granulometría Ø máximo menor que tamiz 80 mm Ø máximo menor que tamiz 25 mm Ø máximo menor que tamiz 10 mm	8.102.1	32 10 4	
- Límite de Consistencia	8.102.3 8.102.4 (8.102.5)	0,15	fracción menor que tamiz 0.5 mm
- Densidad de Partículas Sólidas Fracción mayor que tamiz 5 mm	8.202.20	4 8 20	Si Ø máx. = 40 mm Si Ø máx. = 50 mm Si Ø máx. = 80 mm
Fracción menor que tamiz 5 mm	8.102.10	0,03	
- Proctor Modificado	8.102.7	15 30	Métodos A y C Métodos B y D
- CBR	8.102.11	56	Fracción de Material bajo tamiz 20 mm

Para definir el tamaño de las muestras de suelo a tomar en terreno destinadas a ser ensayadas en laboratorio, se deberá tener en cuenta lo que se indica a continuación:

- Ensayes que se han programado ejecutar.
- Tamaño máximo de las partículas.
- Reutilización de las muestras en ensayes de compactación.

A manera informativa se anotan a continuación los tamaños de muestra requeridos para diferentes casos:

ENSAYES	DIMENSION	OBSERVACIONES
- Clasificación	35,0 kg	Tamaño máximo = 80 mm
- Clasificación	12,0 kg	Tamaño máximo = 25 mm
- Clasificación	2,0 kg	Tamaño máximo = 5 mm
- CBR, incluida compactación	75,0 kg	Tamaño máximo = 80 mm
- Proctor	50,0 kg	Tamaño máximo = 20 mm
- Consolidación	cubo de 20 cm de arista	
- Compresión simple	cubo de 20 cm de arista	

SECCION 2.505 ESTUDIOS GEOTECNICOS ESPECIALES

2.505.1 YACIMIENTOS

En todo proyecto que considere la realización de rellenos, ya sea de terraplenes, subbases o bases, y pavimentos, deberá efectuarse un estudio de los yacimientos que se requieran. Este estudio debe incluir también aquellos materiales provenientes de las excavaciones que sea necesario realizar en otras partes de la obra, salvo que se trate de materiales ciertamente no aptos.

Generalmente las prospecciones que se realizan en los yacimientos se hacen en base a calicatas, de las que se obtienen muestras para los análisis de laboratorio. A todas las muestras se les realiza ensayos de clasificación, en tanto que a un número reducido de ellas se les efectúa el de compactación y los que permiten determinar las propiedades mecánicas y de deformabilidad. Es conveniente, en algunos casos, realizar macrogranulometrías cuando el yacimiento presenta porcentajes importantes de material sobre el tamiz 80 mm (3"). La exploración que se realice debe cubrir en forma adecuada un área de yacimiento que asegure un volumen de material útil explotable del orden de 1,5 veces las necesidades del proyecto.

El informe geotécnico de yacimientos debe entregar, al menos, la siguiente información:

- Identificación: nombre, ubicación y rol de propiedad.
- Potencialidad del yacimiento.
- Condiciones de explotación, tales como nivel freático, accesos, escarpes, etc.
- Características índices de los materiales que pueden obtenerse.
- Características y propiedades de los materiales para definir su aptitud como agregados para hormigón, asfalto, bases, rellenos, etc.
- Limitaciones o condicionantes constructivas que puedan restringir su utilización (p. ej.: condiciones de humedad, sobretamaño, etc.).

En la Lámina 2.505.1.A se indica la forma de resumir la información relativa a yacimientos.

2.505.2 PUENTES Y OBRAS DE ARTE MAYORES

El estudio geotécnico de toda obra de arte de mediana a gran importancia debe realizarse apoyándose en una exploración de subsuperficie adecuada.

La programación de esta exploración va a depender del tipo de obra que se estudie y el suelo que la soportará. Cada obra debe ser analizada por separado.

La exploración debe cubrir la totalidad del espesor de suelo que se verá afectado por la obra. Para ello suele recurrirse a la realización de calicatas y/o sondajes, de los que se extraen muestras para análisis de laboratorio y/o se realizan ensayos en sitio.

El informe geotécnico que se realice para cada obra de arte, debe entregar todos los antecedentes geotécnicos necesarios para el proyecto estructural de la obra. Como mínimo debe incluirse la cota de fundación, presiones de contacto admisibles entre suelo y fundación, asentamientos probables del subsuelo comprometido, empujes sobre estructuras enterradas, antecedentes geotécnicos necesarios para estimar socavaciones, etc.

Lo expuesto precedentemente debe complementarse con el contenido del Tópico 3.1002.4 del Capítulo 3.1000 "Puentes y Estructuras Afines" del MC-V3.

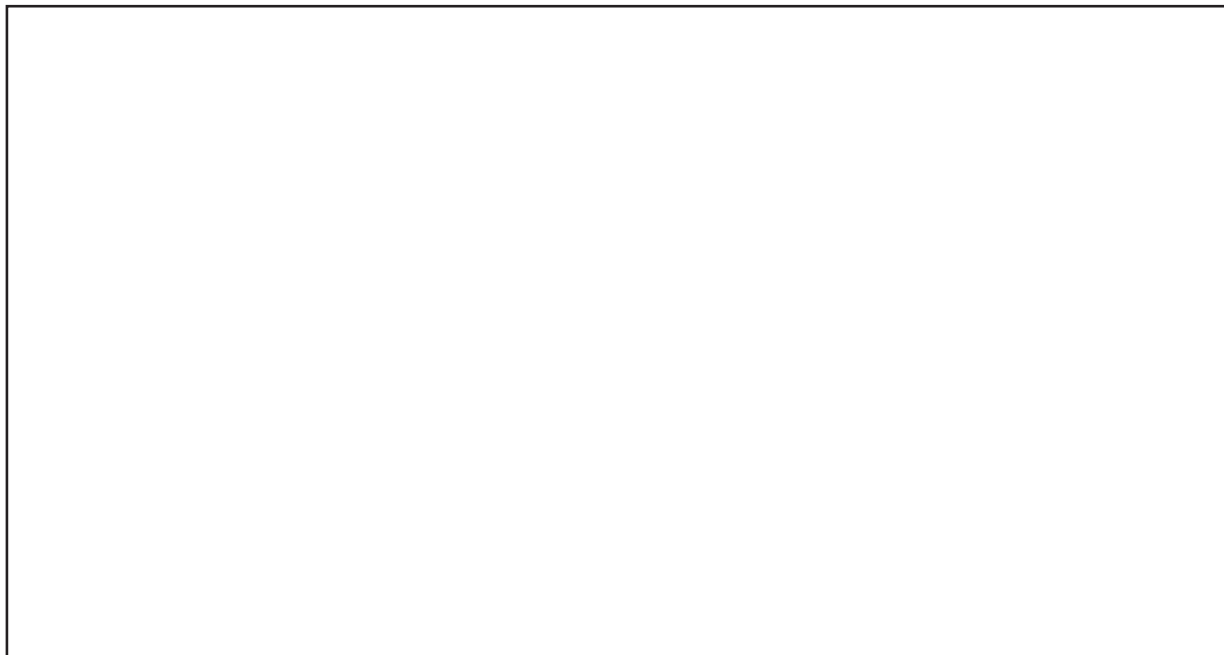
2.505.3 CORTES

El estudio geotécnico para cortes importantes debe enfocarse para obtener al menos los siguientes antecedentes:

- Definición de los tipos de materiales que comprometerán las excavaciones y las dificultades de excavación que éstos presentarán.
- Propiedades mecánicas de los suelos naturales que formarán los taludes permanentes del corte, a fin de definir la pendiente que éstos deberán tener, materia que se trata en la Sección 3.602 del MC-V3.

PROYECTO :
NOMBRE EMPRESTITO :
UBICACION :
DISTANCIA :

CROQUIS DE UBICACION



PROPIEDAD :
ESTADO ACTUAL :
CAMINO DE ACCESO :
ALTURA APROVECHABLE :
ESCARPES :
VOLUMEN ESTIMADO :
TIPO MATERIAL :
TAMAÑO MÁXIMO :
RENDIMIENTO DEL POZO :

(estimado)

Material sobre 6" = %
Material entre 3" y 6" = %
Material bajo 3" = %
Material tamaño arena = %

OBSERVACIONES:

- Erosionabilidad de los suelos que quedarán expuestos en los taludes y necesidad de protección de los mismos.
- Otros factores que puedan afectar la estabilidad del talud, tales como: escurrimientos subterráneos, alterabilidad de los suelos o la roca con el tiempo, etc.

Estos antecedentes deben obtenerse apoyándose en un levantamiento geológico y en una exploración que contemple la realización de calicatas y/o sondajes de los que puedan extraerse muestras para análisis de laboratorio y de ensayos en sitio. Los perfiles de refracción sísmica suelen ser, en algunos casos, una herramienta valiosa en este tipo de estudios, dado que, junto con permitir extrapolar una exploración hecha en base a calicatas y sondajes, dan una idea de carácter cualitativo de las dificultades de excavación que pueda presentar un suelo o roca.

2.505.4 TERRAPLENES

El estudio geotécnico de terraplenes importantes debe orientarse a la obtención de los siguientes antecedentes:

- Definición de las características del suelo de fundación que soportará al terraplén y determinación del espesor de los escarpes necesarios de realizar, materias que se tratan en la Sección 3.602 del MC-V3.
- Definición de los yacimientos que proporcionarán los materiales para los rellenos del terraplén.
- El estudio del yacimiento deberá realizarse de acuerdo a lo indicado en el Tópico 2.505.1.

Toda esta información debe ser suficiente para realizar un adecuado estudio de la estabilidad de los taludes del terraplén y pronosticar los asentamientos que se desarrollarán a través del tiempo.

La exploración para el reconocimiento del suelo comprometido por el terraplén se realiza habitualmente mediante calicatas y sus respectivos ensayos de laboratorio. En el caso de tener suelos saturados de gran espesor, es usual recurrir a sondajes.

SECCION 2.506 ALCANCE DE LOS ESTUDIOS GEOTECNICOS SEGUN NIVEL Y CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

2.506.1 PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS

2.506.101 Estudio Preliminar. Para el estudio preliminar, la información geotécnica necesaria puede obtenerse en base a estudios de gabinete complementados por reconocimientos de superficie realizados por un ingeniero civil especialista en geotécnica o un geólogo geotécnico. Dentro de los estudios de gabinete se tienen la cartografía, fotos aéreas, mapas agrológicos y estudios o levantamientos geológicos.

En general no será necesario recurrir a prospecciones, salvo en aquellos casos en que existan dudas o se presenten interrogantes que pongan en peligro la factibilidad del trazado por emplazar en una cierta ruta, ya sea desde el punto de vista técnico como del económico.

El informe correspondiente a esta etapa debe comprender, a lo menos, los siguientes aspectos:

- a) Descripción geológica y morfológica del área.
- b) Identificación de sectores de características desfavorables para emplazar una carretera, y riesgos previsibles en caso que el trazado no pueda evitarlos.
- c) Apreciaciones preliminares sobre la calidad del terreno natural en cuanto a su capacidad soportante. Estimación de los taludes de corte y terraplén que deberían adoptarse según los principales tipos de suelo y roca identificados.
- d) Apreciación de los posibles problemas relativos a la fundación de puentes y obras de arte mayores, en base a las características generales del área, materiales visibles en los cauces, etc.
- e) Identificación de zonas susceptibles de ser explotadas como yacimientos de materiales para terraplenes, bases y hormigones
- f) Programación del tipo y densidad aproximada de las prospecciones por ejecutar en las etapas siguientes del estudio, lo que deberá ser redactado como proposición de Términos de Referencia Específicos (TRE).

2.506.102 Anteproyecto. El estudio a nivel de anteproyecto, incluido el estudio de alternativas de trazado, debe contemplar un exhaustivo análisis de la información geológico-geotécnica existente y de otros estudios similares realizados en el área, a la que debe sumarse un reconocimiento de superficie detallado que deberá realizar el ingeniero especialista, y una exploración de subsuperficie menor que vaya tras definir en líneas generales el perfil estratigráfico. En esta etapa se contará con planos de planta y perfil longitudinal de las diversas alternativas, los que permitirán identificar con buena aproximación el emplazamiento del trazado.

Para la exploración bastará con excavar aquellas calicatas programadas en el estudio preliminar, que comprometan los estratos superficiales de los suelos más característicos, de los que se obtendrán muestras para realizar en laboratorio ensayos de clasificación. Los parámetros geotécnicos de diseño podrán obtenerse a partir de los resultados de los ensayos de clasificación, haciendo uso de correlaciones conocidas. Por lo general, no será necesario recurrir a ensayos en sitio o ensayos de laboratorio tendientes a determinar propiedades tensión - deformación de los suelos, salvo en los casos en que sea necesario conocer estos parámetros con precisión para poder seleccionar la alternativa más conveniente, ya sea desde el punto de vista técnico como del económico.

El informe correspondiente a esta etapa deberá comprender, a lo menos, los siguientes aspectos:

- a) Cuando sea pertinente deberá incluirse una complementación de los puntos a) y b) solicitados en el Estudio Preliminar, pero referida específicamente a las alternativas en estudio.
- b) Presentación de los resultados obtenidos en la exploración de subsuperficie mediante calicatas de reconocimiento general, y de las prospecciones y ensayos especiales cuando ellos se hubieren ejecutado. Sectorización del trazado por alternativa en función de los antecedentes disponibles.
- c) Explicitación de parámetros geotécnicos de diseño, derivados con una precisión compatible con la etapa de anteproyecto mediante los métodos señalados precedentemente.
- d) Calificación de los materiales que se excavarán en relación con su posible uso en la construcción de terraplenes.
- e) Cubicación aproximada de los diversos yacimientos de materiales y apreciación de la calidad de los mismos según el uso que pretenda dársele.

f) Programa de prospecciones y ensayos por ejecutar en la etapa de Estudio Definitivo, lo que será redactado como proposición de Términos de Referencia Específicos (TRE).

2.506.103 Estudio Definitivo. La información geotécnica necesaria para un estudio definitivo, provendrá tanto de los estudios realizados en etapas anteriores como de los resultados del programa de prospecciones que se realice en esta etapa.

Las prospecciones por realizar deberán ser tales, que permitan definir con precisión suficiente el perfil estratigráfico de los suelos que soportarán al camino y sus obras o estructuras anexas.

El programa de prospecciones incluirá, como mínimo, la ejecución de dos calicatas por kilómetro, de 1,5 a 2,0 m de profundidad, para el reconocimiento de la faja, y de no menos de una calicata, sondaje u otro estudio en profundidad, para puentes, obras de arte de importancia o sectores con dificultades geotécnicas mayores. Sobre muestras provenientes de las calicatas se realizarán todos los ensayos necesarios para definir las propiedades de clasificación, mecánicas y deformabilidad. Deberán realizarse todos los ensayos en sitio que se requieran.

Debe tenerse presente que las prospecciones que se realizan en esta etapa son las últimas, ya que se trata del estudio definitivo.

El informe correspondiente a esta etapa deberá comprender, a lo menos, los siguientes aspectos:

- a) Un resumen de los antecedentes recopilados y conclusiones obtenidas en las dos etapas anteriores, que sigan siendo válidas y pertinentes a la alternativa que se desarrolla a nivel de Estudio Definitivo.
- b) Presentación de la información relativa al reconocimiento del perfil estratigráfico, en conformidad con lo señalado en el Tópico 2.503.2, incluyendo los resultados de los ensayos de laboratorio ejecutados en conformidad con lo expuesto en la Sección 2.504.
- c) Presentación de los ensayos en sitio, si los hubiera, en conformidad con lo expuesto en el Tópico 2.503.3.
- d) Sectorización del trazado en tramos de características homogéneas, basado en los resultados obtenidos en b) y c), considerando también como variable la topografía del sector (laderas, zonas planas, montaña, etc.).
- e) Explicitación de parámetros definitivos de diseño para la obra básica y de parámetros asociados a estructuras, estabilidad de cortes y terraplenes mayores según se especifica en 2.505.2; 2.505.3 y 2.505.4, respectivamente.
- f) Recomendaciones relativas al drenaje subterráneo de la obra básica.
- g) Espesores medios de escarpe recomendados en áreas de fundación de terraplenes.
- h) Informe sobre yacimientos de materiales en conformidad con lo establecido en 2.505.1.
- i) La localización de las prospecciones señaladas en b) y c) se ilustrará a escala en el perfil longitudinal del Proyecto, indicando su verdadera posición respecto del terreno natural y el número de pozo o kilometraje que lo identifica, de modo que, al examinar el plano conjuntamente con los datos de las Estratigrafías de Pozos de Reconocimiento [Lámina 2.503.202(6).A], se pueda tener una visión de conjunto de la prospección geotécnica.

2.506.2 PROYECTOS DE RECUPERACION Y DE CAMBIO DE ESTANDAR

2.506.201 Recuperación de Estándar

2.506.201(1) Estudio Preliminar. En los casos de recuperación de obras existentes, el enfoque del estudio preliminar se debe orientar de acuerdo con el problema específico que se requiere resolver, pudiendo distinguirse dos casos principales.

a) Recuperación de Sectores Dañados por Fallas de Estabilidad en la Obra Básica. En estos casos la multiplicidad y complejidad de los problemas impide establecer a priori el tipo de estudio por realizar, sin embargo, el informe deberá, como mínimo, consultar los siguientes aspectos:

- Diagnóstico del Problema.
Se deberán establecer, claramente, los límites de la zona fallada y grado de compromiso para la estabilidad general de la obra. En estos casos es particularmente importante intentar establecer la correlación causa efecto, a fin de orientar desde un principio los estudios en la dirección adecuada.

- Definición Preliminar de Alternativas de Solución.
El contenido de este punto debe servir para orientar a la Dirección de Vialidad en cuanto al costo aproximado de las obras requeridas y los plazos necesarios para desarrollar los estudios de detalle y la materialización de proyectos.
- Programa de Prospecciones y Estudios por Realizar en los Sigüientes Niveles.
Se deberá especificar el tipo de estudios de Ingeniería Básica a realizar en la próxima etapa, los que podrán consistir en:
 - Levantamientos Topográficos de Detalle.
 - Perfiles de Terreno en Secciones Específicas.
 - Nivelaciones de Precisión para Controlar Fenómenos Activos.
 - Calicatas, Sondajes, Perfiles Geosísmicos.
 - Estudios de Napas Subterráneas.
 - Programa de Ensayes en Terreno.
 - Programa de Ensayes en Laboratorio.

b) Recuperación de la Calzada - Repavimentaciones. El informe debe consultar, como mínimo, los siguientes aspectos:

- Diagnóstico del Problema
La etapa de diagnóstico debe precisar, mediante un proceso de inspección visual, el tipo de fallas que pueden ser atribuidas a factores geotécnicos y establecer, en primera aproximación, las causas que las motivaron. Si existen antecedentes de la prospección geotécnica utilizada para el diseño, el diagnóstico debe tratar de correlacionar las fallas con la información disponible.
- Definición Preliminar de Alternativas de Solución.
Si el diagnóstico de las causas indica una falla prematura, atribuible en importante medida a problemas geotécnicos, se deberán plantear en esta etapa alternativas de solución que permitan diseñar el programa de prospecciones y estudios por realizar en la etapa siguiente.
- Programa de Prospecciones y Ensayes por Realizar en la Etapa Sigüiente.
Según sea el tipo de información geotécnica existente y la confiabilidad que ella merezca en conformidad con el análisis de correlación efectuado en la etapa de diagnóstico, se establecerá el programa de prospecciones y ensayos por realizar. Habitualmente en estos casos se acostumbra especificar un promedio de 4 calicatas por kilómetro, cantidad que puede variar según la incidencia atribuida a los aspectos geotécnicos en el grado de fallamiento de la calzada. En situaciones especiales podrán requerirse sondajes o alguno de los otros métodos de prospección indicados en la Sección 2.503.

2.506.201(2) Ingeniería Básica. En los Proyectos de Recuperación de Estándar el nivel de Anteproyecto se denomina con mayor propiedad Estudio de Ingeniería Básica. El informe de esta etapa deberá incluir, como mínimo:

- a) Presentación de los resultados de las prospecciones y ensayos realizados en sitio o en laboratorio, El material debe presentarse acompañado de su representación gráfica en planos y/o esquemas que permitan una fácil apreciación de conjunto.
- b) En el caso de repavimentaciones se elaborará una sectorización de la carretera en tramos que presenten características homogéneas desde el punto de vista geotécnico.
- c) Explicitación de los parámetros geotécnicos que intervendrán en el diseño de las obras de recuperación, ya sea que se trate de una recuperación de la obra básica o de una repavimentación.
- d) Identificación de yacimientos de materiales adecuados a las necesidades del proyecto de recuperación.
- e) Proposición de Términos de Referencia Específicos en cuanto a las prospecciones y estudios geotécnicos que deberán abordarse en el Estudio Definitivo.

2.506.201(3) Estudio Definitivo. Cuando se trata de recuperación de fallas de la obra básica, el alcance del estudio definitivo es imposible de definir en tanto no se conozcan las características específicas del problema, por lo tanto, recién en el Estudio Preliminar será posible delinear las características y exigencias que deben imponerse a este nivel de estudio, según lo expuesto en la letra e) del numeral anterior.

En las recuperaciones de la calzada el ingeniero especialista en geotécnica deberá asesorar al especialista en diseño de pavimentos, pero el grueso de su aporte corresponde a la etapa de Ingeniería Básica. En caso de existir, además, diseños para recuperar fallas de la obra básica, sucede lo mismo expuesto precedentemente.

2.506.202 Cambio de Estándar. En los Cambios de Estándar, se deben distinguir dos casos:

2.506.202(1) Pavimentación de un Camino Existente. Si la pavimentación se ejecuta sobre la plataforma existente, sin variantes, el estudio preliminar y fases siguientes del estudio geotécnico deberán cumplir con lo especificado para el caso de repavimentaciones. Obviamente no existe la etapa de análisis de fallas del pavimento, pero sí deben analizarse las posibles fallas de la obra básica, tales como asentamientos, deslizamientos, etc.

La capacidad soportante de la subrasante, capa existente, debe determinarse preferentemente mediante ensayos directos tales como pruebas de carga mediante placas u otros métodos adecuados a la situación particular que se enfrente.

Si la pavimentación incluye variantes al trazado los estudios preliminares y etapas siguientes deben responder, en las zonas de variante, a lo especificado en 2.506.1 (Nuevos Trazados).

2.506.202(2) Rectificación de la Geometría de un Camino Existente. Este caso presentará, desde el punto de vista geotécnico, problemas similares a los descritos en los casos de recuperación de la calzada, cuando el proyecto se mantenga sobre el trazado existente, y problemas asociados a trazados nuevos cuando la alternativa en estudio se ubique en variante.

En consideración a lo anterior los informes correspondientes a los distintos niveles de estudio, deberán incluir, como mínimo, todos aquellos aspectos que sean pertinentes y que están descritos en 2.506.1 (Nuevos Trazados) y 2.506.201 (1) b, (2) y (3) (Recuperación de la calzada).

Las rectificaciones de la geometría en los proyectos de Recuperación o de Cambio de Estándar, pueden dar origen a problemas geotécnicos de consideración cuando se requiera ensanchar o modificar terraplenes o cortes de altura considerable. Para esas situaciones se deberá cumplir con etapas de estudio muy similares a las descritas en 2.506.201 (1) a) (Recuperación de Sectores Dañados por Fallas en la Obra Básica).

MANUAL DE CARRETERAS

VOLUMEN N°2

PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIOS VIALES

CAPITULO 2.600 INGENIERIA BASICA DEMANDA CARACTERISTICAS DE TRANSITO

**DIRECCION DE VIALIDAD
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
CHILE**

**CAPITULO 2.600 INGENIERIA BASICA
DEMANDA Y CARACTERISTICAS DEL TRANSITO**

I N D I C E

SECCION	2.601 ASPECTOS GENERALES
2.601.1	OBJETIVOS Y ALCANCES
2.601.2	INFORMACION CONTENIDA EN OTROS VOLUMENES DEL MANUAL
2.601.201	Información Contenida en el Tomo II del Volumen N° 1.
2.601.202	Información Contenida en el Volumen N° 3.
2.601.202(1)	<i>Vehículo Tipo y sus Características.</i>
2.601.202(2)	<i>Consideraciones Generales sobre el Tránsito .</i>
SECCION	2.602 TRANSITO USUARIO DE UN PROYECTO VIAL
2.602.1	ASPECTOS GENERALES
2.602.2	MODELACION
	a) <i>Generación y Atracción de Viajes.</i>
	b) <i>Distribución de Viajes.</i>
	c) <i>Partición Modal.</i>
	d) <i>Asignación de Viajes.</i>
	e) <i>Localización.</i>
2.602.3	TIPOLOGIA DE PROYECTOS
2.602.4	COMPONENTES DE LA DEMANDA A NIVEL DE ARCOS
2.602.401	Tránsito Normal.
2.602.402	Tránsito Desviado.
2.602.403	Tránsito Transferido.
2.602.404	Tránsito Inducido.
SECCION	2.603 VOLUMEN DE TRANSITO Y SUS CARACTERISTICAS
2.603.1	VOLUMEN DE TRANSITO
2.603.2	COMPOSICION DEL TRANSITO
2.603.3	VARIACIONES CICLICAS DEL TRANSITO
2.603.301	Variaciones Estacionales.
2.603.302	Variaciones Diarias.
2.603.303	Variaciones Horarias.
2.603.4	MEDICIONES DE TRANSITO
2.603.401	Estadísticas Existentes.
2.603.402	Conteos de Tránsito.
2.603.403	Encuestas de Origen y Destino.
2.603.404	Determinación de Estratigrafías de Pesos por Eje.
2.603.5	PROYECCIONES DE TRANSITO
2.603.6	VOLUMEN DE DISEÑO
2.603.7	SOLICITACIONES PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS

SECCION	2.604 ALCANCE DE LOS ESTUDIOS DE TRANSITO SEGUN NIVELES Y CARACTERISTICAS DEL PROYECTO
2.604.1	ASPECTOS GENERALES
2.604.2	PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS
2.604.3	PROYECTOS DE RECUPERACION DE ESTANDAR Y DE CAMBIO DE ESTANDAR

CAPÍTULO 2.600 INGENIERÍA BÁSICA - DEMANDA Y CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO

SECCIÓN 2.601 ASPECTOS GENERALES

2.601.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

Con el objeto de facilitar al Proyectista Vial (jefe de Proyecto y especialista en trazado) la comprensión del tema Demanda y Características del Tránsito, se ha juzgado conveniente incorporar el presente Capítulo. En él se incluyen elementos generales respecto de demanda vial y se describen las situaciones y variables que se manejan en los análisis de demanda, según se expresa detalladamente en el Tomo II del MC-V1, Evaluación de Proyectos Viales Interurbanos.

El Tomo de Evaluación de Proyectos Viales Interurbanos contiene los procedimientos de modelación para simular el comportamiento del sistema de transporte, ya sea que éste se mantenga inalterado o cuando se modifica mediante la incorporación de un determinado proyecto, materias que abordará el analista en estrecha coordinación con el jefe de Proyecto.

El presente Capítulo desarrolla, de manera general, los aspectos relacionados con los estudios de tránsito vinculados a las distintas clases de Proyectos y niveles o características de Estudio que se contemplan en el presente Volumen, sin ahondar en las metodologías específicas para alcanzar los resultados requeridos, las que se encuentran ampliamente desarrolladas en el Tomo II del MC-V1.

En conformidad con lo expuesto en el Capítulo 2.100, los niveles de estudio consultan las etapas de Idea, Perfil, Estudio Preliminar↔Estudio de Prefactibilidad, Anteproyecto↔Estudio de Factibilidad y Estudio Definitivo. En los cuatro primeros, las variables asociadas a la demanda son determinantes para definir las alternativas que pasan al nivel siguiente de estudio, así como el estándar de diseño que le corresponde al proyecto.

A diferencia del analista evaluador de proyectos viales, cuya función se orienta a buscar la más adecuada solución de equilibrio entre la oferta vial y la demanda por transporte al interior de una red, con la finalidad de establecer beneficios y costos del proyecto, el Proyectista estará interesado en conocer las características de la demanda (flujos clasificados por arco y flujos clasificados direccionales en intersecciones) en el arco que le corresponda diseñar con la finalidad de dimensionar sus dispositivos físicos. No obstante lo anterior, la finalidad del Estudio en su conjunto requiere una estrecha coordinación entre ambos equipos, a fin de alcanzar soluciones que conjuguen los aspectos funcionales del diseño con los relativos a la rentabilidad del proyecto.

2.601.2 INFORMACIÓN CONTENIDA EN OTROS VOLÚMENES DEL MANUAL

2.601.201 Información Contendida en el Tomo II del Volumen N° 1. Este Tomo del Manual de Carreteras cubre la totalidad de los aspectos relativos a la modelación y evaluación de los proyectos de inversión en carreteras y caminos en áreas rurales. Considera una clasificación de los proyectos basada en el impacto que, en cada caso, el proyecto ejerce sobre el sistema de transporte y sobre el sistema de actividades en su área de influencia. Esta clasificación responde adecuadamente a los efectos de modelación y evaluación, en tanto que la clasificación de los proyectos considerada para diseño (nuevos trazados, recuperación de estándar y c de estándar) se orienta mejor al tratamiento de los problemas de diseño.

Como se estableció en el Capítulo 2.100, cada clasificación cumple con los objetivos que le corresponden y en definitiva, se complementan mutuamente.

En particular, del proceso de modelación se obtienen las solicitudes de tránsito (flujos clasificados) en los diferentes arcos de la red y, entre éstos, las del arco o tramo que es objeto del Estudio de Ingeniería del que se encarga el Proyectista.

2.601.202 Información Contendida en el Volumen N° 3.

2.601.202(1) Vehículo Tipo y sus Características. La Sección 3.005, Vehículos Tipo, y el Tópico 3.102.8, Capacidad y Niveles de Servicio, entregan antecedentes sobre los siguientes aspectos de los vehículos que forman parte del flujo:

- Dimensiones de Vehículos Livianos; Dimensiones y Radios de Giro Mínimos correspondientes a Vehículos Pesados. En el caso de Vehículos Livianos las dimensiones que se señalan son representativas de los vehículos de origen norteamericano; en tanto que las dimensiones que se dan para Vehículos Pesados corresponden a las que figuran

en la Resolución N° 1, de 3 de enero de 1995, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, y sus modificaciones.

- Pesos Máximos por Eje y Peso Bruto Total, de acuerdo con el DS N° 158 de 1980 y sus modificaciones, y Res. DV N° 519 de 30.07.96.
- Análisis somero de los efectos producidos por las distintas categorías de vehículos sobre la velocidad de operación y restricciones que éstos imponen al diseño, derivadas de sus particulares características.

2.601.202(2) Consideraciones Generales sobre el Tránsito. El Capítulo 3.100, Controles Básicos de Diseño, incluye, en sus diversas secciones, los siguientes aspectos atinentes a Tránsito:

- Consideraciones generales sobre demanda y características del volumen de tránsito, velocidades de Proyecto y Operación, Velocidad Percentil 85%, Velocidad Específica y aspectos varios sobre control de acceso.
- Demanda horaria y volumen horario de Diseño.
- Reseña de los aspectos principales sobre Capacidad y Nivel de Servicio, según la teoría expuesta en el Manual de Capacidad de Carreteras, publicado por el Highway Research Board (HRB) de los EEUU de NA. Se incluyen, además, algunas tablas que ilustran los conceptos de Capacidad y Nivel de Servicio, mediante la presentación de algunos casos particulares correspondientes a diversas condiciones prevalecientes del camino y del tránsito.

SECCION 2.602 TRANSITO USUARIO DE UN PROYECTO VIAL

2.602.1 ASPECTOS GENERALES

Un antecedente básico para establecer la categoría de una carretera lo constituye el tránsito que deberá servir a lo largo de todo el horizonte de proyecto. Asimismo, los parámetros del diseño geométrico, tanto de la calzada principal como de las intersecciones, al igual que la estructura del pavimento de las vías consideradas, dependerán en buena medida del volumen y características del tránsito usuario.

El Volumen de Tránsito corresponde al número de vehículos que atraviesa una sección de carretera en un lapso dado. Para una vía determinada tanto el volumen como la composición del tránsito son variables en el tiempo. En general, la cantidad de viajes muestra un crecimiento sostenido a lo largo de los años, razón por la cual tanto el proyecto de nuevas carreteras como el de mejoramiento de las existentes, debe basarse no sólo en los antecedentes de Tránsito Actual (el que se observa en el momento del estudio), sino que también tomar en cuenta el tránsito que se espera utilizará la vía en el horizonte de proyecto.

2.602.2 MODELACION

El Modelo Clásico de Transporte (MCT) favorece la adecuada comprensión de la interacción entre el sistema de transporte (diversos modos) y el sistema de actividades, en el proceso de alcanzar el flujo de equilibrio entre la oferta y la demanda por transporte, en el marco de una red de transporte.

El Tomo II del Volumen N° 1, interpreta la ejecución de un proyecto vial como una alteración del sistema de transporte (modificación de la oferta). Clasifica los proyectos a través de su impacto sobre el sistema de transportes y el de actividades, en su área de influencia. Para esta clasificación se recurre al MCT de cinco etapas, en virtud del cual se considera que los usuarios, ya sean viajeros o despachadores de cargas, toman decisiones en relación a dónde realizar diversas actividades, cuántas veces viajar, qué modo de transporte utilizar y cuál ruta utilizar para ello. A continuación se describe brevemente cada una de las cinco etapas aludidas:

a) Generación y Atracción de Viajes. La generación de viajes consiste en modelar la cantidad de viajes que sale de una zona dada. Por su parte, la atracción de viajes se refiere a modelar la cantidad de viajes que llega a una zona dada. Ambas son función de las actividades localizadas en las zona que se considera.

b) Distribución de Viajes. Consiste en modelar la forma en que los viajes originados en una zona dada se distribuyen entre los diferentes destinos posibles, y la forma en que los viajes atraídos por una zona dada se distribuyen entre los diversos orígenes posibles. Este proceso es función de los atributos de la oferta de transporte entre zonas. Entrega como resultado una matriz de origen-destino de viajes.

c) Partición Modal. Consiste en modelar el reparto o partición de los viajes desde un origen dado a un destino dado, entre los diversos modos de transporte disponibles para viajar de uno a otro.

d) Asignación de Viajes. Consiste en modelar el proceso de elección de ruta por dónde canalizar los viajes que se realizan entre un par de zonas dado en un modo de transporte dado. En el caso de modos de transporte público, equivale a asignar pasajeros a las diversas líneas o servicios existentes. Entrega como resultado los flujos en cada arco de la red.

e) Localización. Consiste en modelar la localización o distribución espacial de actividades y uso del suelo como función, entre otros factores, de los atributos del sistema de transporte.

2.602.3 TIPOLOGIA DE PROYECTOS

A continuación se presenta la Tipología de Proyectos establecida en el Tomo II del Volumen N° 1:

- **Proyectos Tipo I.** Son aquéllos proyectos en que, como consecuencia de la ejecución del proyecto, se espera que los flujos en cada arco de la red vial en análisis no se modifiquen en el horizonte de análisis.
- **Proyectos Tipo II.** Se presentan cuando la matriz origen-destino de viajes del modo vial no cambia como consecuencia de la ejecución del proyecto. Los únicos efectos que se producirán, por lo tanto, serán reasignaciones de flujos de un arco a otro de la red.
- **Proyectos Tipo III.** Son aquéllos en que se espera que sólo los flujos en uno o más arcos de la red vial cambien como consecuencia de la ejecución del proyecto, debido a la aparición de viajes que no serían realizados de no ejecutarse éste.

Esta situación se produce, por ejemplo, en el caso de cambio de estándar de vías que constituyen el único acceso a una zona o valle, lo cual posibilita el desarrollo de producción adicional.

- **Proyectos Tipo IV.** Aparecen en una situación en la cual se espera que los flujos en uno o más pares de la matriz origen-destino del modo vial cambien como consecuencia de la ejecución del proyecto, debido a la aparición de viajes que no serían realizados de no ejecutarse éste. Al mismo tiempo, algunos viajes preexistentes al proyecto, que se realizaban por vías alternativas, elegirán canalizarse por él aprovechando su mejoramiento relativo a las demás rutas disponibles. Este es probablemente el caso asociado a modificaciones sustanciales en la red vial de un área amplia. En general, un proyecto de esta magnitud afectará la partición modal, por lo cual para poder clasificarlo en esta categoría deberá demostrarse que dicho impacto es poco significativo, o que en el área de influencia del proyecto no existen modos alternativos.
- **Proyectos Tipo V.** Aparecen en una situación en la cual se espera impactos sobre la partición modal de los viajes, la cual puede o no ser acompañada por los otros dos impactos (asignación, generación). Constituyen el caso más general y, por lo tanto, es la opción de clasificación por defecto para un proyecto cuyos impactos se desconozcan.

2.602.4 COMPONENTES DE LA DEMANDA A NIVEL DE ARCOS

No obstante que el estudio debe desarrollar paralelamente el análisis correspondiente a diseño y el asociado a la evaluación económica, el Proyectista empleará en los diseños el volumen y clasificación del tránsito que utilizará la ruta cuyo diseño debe abordar. En esta circunstancia, más que el análisis del tránsito a nivel de toda la red afectada, solamente le interesarán los flujos clasificados que demandarán el arco de su interés.

Para facilitar la adecuada comprensión de la demanda a nivel del arco desde un punto de vista cualitativo por parte del Proyectista, resulta funcional contar con un listado de todas las componentes de tránsito que podrán estar presentes al momento de proyectar un nuevo arco o mejorar un arco existente, aún cuando como ya se estableció el análisis formal del problema debe abordarse desde el punto de vista de la red afectada.

2.602.401 Tránsito Normal. Sólo se presenta en el caso de proyectos de mejoramiento de vías existentes, ya sean del tipo Recuperación de Estándar (RED) y eventualmente en los Cambios de Estándar (CED) (de vías que no influyen en el resto de la red). Corresponde al tránsito que existirá sobre la carretera en estudio independiente de la ejecución del proyecto. Los proyectos que canalizan exclusivamente Tránsito Normal, corresponden a los Proyectos Tipo I que se describen en el Tomo II del Volumen N° 1 del Manual de Carreteras.

2.602.402 Tránsito Desviado. Representa el flujo de tránsito que en la situación sin proyecto se realizaba por otras vías u otros modos y que, como consecuencia del proyecto, empezará a utilizar (se asignará a) la vía en estudio, pero manteniendo el Origen/Destino (O/D) anterior a la materialización del proyecto. La modelación de los proyectos cuyo efecto pueda ser desviar tránsito, queda cubierta por alguno de los siguientes Tipos de Proyecto: Tipo II (Asignación pura), Tipo IV (Asignación y Generación) y, eventualmente, Tipo V (si existe impacto por Asignación).

2.602.403 Tránsito Transferido. Corresponde al tránsito que cambia su O/D como resultado de la ejecución del nuevo proyecto. El hecho de que la accesibilidad a una zona resulte favorecida como efecto del mejoramiento o habilitación de una vía, se traduce en una reestructuración de la Matriz O/D anterior al proyecto, la que mostrará en aquellas zonas de accesibilidad mejorada un incremento de tránsito, en detrimento del tránsito hacia/desde otras zonas.

El volumen de tránsito transferido, que existe con anterioridad al proyecto, estará relacionado con las ventajas o atractivos que la nueva vía pone al alcance del público. Un caso típico queda representado por un Camino de acceso a un nuevo balneario que pasa a competir con otros balnearios preexistentes. Conforme a la Tipología de Proyectos, este tipo de tránsito puede presentarse en los proyectos Tipo III, IV o V.

2.602.404 Tránsito Inducido. Corresponde a tránsito inexistente en la situación sin proyecto, que se incorpora como respuesta a la disminución del costo de viaje o que resulta de la presencia de nuevas actividades que se hacen posibles como consecuencia de la ejecución del proyecto. Según la Tipología de Proyectos del Manual de Carreteras, Volumen N° 1, este tránsito puede estar presente en los Proyectos Tipo III, IV o V.

La clasificación del tránsito por tipo de vehículo cumple también un importante rol en la definición de las características de la obra y se asocia directamente a la función que ha de cumplir la vía. En casos de obras que servirán tránsito que preexistía a su ejecución (Tránsito Normal, Desviado o Transferido), la composición de éste podrá ser determinada directamente a partir de información existente o de mediciones efectuadas en la red, durante la etapa de estudio. Cuando se trata de Tránsito Generado por la obra, su volumen y composición podrá modelarse basándose en lo establecido en 1.204.102; 1.205.102 ó 1.206.102 del Tomo II del Volumen N° 1, en caso de no disponer de un Estudio de Preinversión.

SECCION 2.603 VOLUMEN DE TRANSITO Y SUS CARACTERISTICAS

2.603.1 VOLUMEN DE TRANSITO

A medida que el volumen de tránsito aumenta se observa una creciente interacción entre los vehículos componentes del flujo. Esta fricción vehicular se manifiesta como un deterioro del nivel de servicio de la vía. Ante volúmenes de tránsito bajos es dable esperar flujos expeditos, en tanto volúmenes elevados presentarán grados crecientes de congestión. A la fricción vehicular causada por la magnitud del volumen de tránsito debe agregarse la resultante de su composición. En efecto, la presencia de vehículos comerciales (locomoción colectiva y camiones) presentará una sensible influencia en el nivel de servicio de la vía.

El indicador de volumen de tránsito más frecuentemente utilizado en los estudios de carreteras es el Tránsito Medio Diario Anual (TMDA), que representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año, en una sección dada de la vía.

El TMDA y su composición es capaz de entregar una idea general de las condiciones operacionales de la vía, y esto le permite constituirse en uno de los parámetros que controla la categoría de la solución vial por proyectar (Ver Tabla 3.103.3.A del MC-V3).

La componente de vehículos pesados del TMDA (buses y camiones) en las situaciones sin y con proyecto, presenta especial importancia en la modelación del comportamiento esperado y en el diseño de los elementos de una carretera, en que cuenta el efecto repetitivo de las cargas sobre la estructura. El TMDA, en cambio, no resulta apropiado para fijar la capacidad de las vías, ya que un volumen diario promedio no es capaz de representar ciertos períodos punta que resultan de las variaciones cíclicas del tránsito.

2.603.2 COMPOSICION DEL TRANSITO

La composición del tránsito de una vía está estrechamente ligada a la función que ésta cumple. Se deberán considerar las siguientes categorías de vehículos:

- Automóviles (incluyen: Automóviles, Station Wagon, Jeeps y VAN)
- Camionetas hasta 1.500 kgs.
- Locomoción Colectiva: Buses Rurales e Interurbanos.
- Camiones: Unidad Simple para Transporte de Carga.
- Semirremolques y Remolques: Unidad Compuesta para Transporte de Carga.

En términos unitarios, los vehículos comerciales: locomoción colectiva y unidades de transporte de carga, limitan la capacidad y velocidad de operación de una vía muy por encima de la limitación que le imponen las unidades livianas (Automóviles, Station Wagon y Camionetas hasta 1.500 kgs). La clasificación anterior diferencia las Camionetas de hasta 1.500 kgs, solo para efectos de Costo de Operación. Los vehículos comerciales inducen las solicitudes que controlan el diseño de la superestructura vial. Por su parte, los vehículos livianos establecen las velocidades máximas por considerar en el diseño, y determinan los requerimientos mínimos en cuanto a distancias de visibilidad de parada y adelantamiento de la vía estudiada.

El tránsito usuario de las Autopistas, Autorrutas, Primarios y Colectores está constituido por todo tipo de vehículos, incluyendo los tres primeros un alto porcentaje de camiones pesados. En los Colectores, en cambio, ya se observa una componente significativa de camiones medianos. Los caminos del tipo local sirven básicamente a vehículos livianos y camiones medianos, siendo ocasionalmente utilizados por camiones pesados. En caminos del tipo Desarrollo, el tránsito está fuertemente determinado por la actividad a que sirven; pudiendo ser ésta del tipo turístico, agrícola, minero, etc., lo que determinará el tipo de vehículo que por él circula.

2.603.3 VARIACIONES CICLICAS DEL TRANSITO

Con el objeto de establecer el Tránsito Actual, el Proyectista se enfrenta a menudo con la necesidad de interpretar estadísticas de tránsito existentes, y/o elaborar programas de conteos en terreno. Para ello, debe estar familiarizado con las variaciones cíclicas propias de los flujos de tránsito y los factores que las motivan. Un desarrollo detallado sobre variaciones cíclicas del tránsito, se encuentra en el Tomo II del Volumen N° 1, Sección 1.404, "Periodización y Zonificación".

Las variaciones cíclicas del volumen y composición del tránsito responden, básicamente, a la función prestada por el camino. Dichas variaciones pueden presentar un carácter estacional, semanal o diario. Las demandas máximas extraordinarias o volúmenes de punta asociados a ciertos días u horas del año, sirven de base para establecer los volúmenes de diseño descritos en 2.603.6.

2.603.301 Variaciones Estacionales. Una variación típica de carácter estacional es la que se observa en caminos que prestan servicio al turismo. En efecto, en períodos de vacaciones de verano el volumen de tránsito servido por estos caminos presenta un incremento significativo. De manera semejante, aquellas rutas que sirven tránsito que viaja a centros recreacionales de invierno, verán aumentados sus flujos en esta estación. En cuanto a composición del tránsito, serán los vehículos livianos y buses interurbanos los que muestren un mayor incremento en situaciones como las descritas.

En caminos que sirven de manera especial a la actividad productiva, suelen observarse variaciones en el volumen de tránsito que responden a los ciclos productivos. Especial notoriedad revisten los incrementos de volumen asociados a las épocas de cosecha, que se observan en caminos que dan servicio a la agricultura.

2.603.302 Variaciones Diarias. Corresponden a variaciones del volumen asociadas a los diversos días de la semana. El carácter de este tipo de variaciones difiere en las distintas carreteras, dependiendo del servicio por ellas prestado. En general, las carreteras que sirven tránsito mixto (que no presentan una componente preponderante), muestran un aumento del volumen de tránsito los días Viernes y una disminución los Domingos y festivos, salvo en épocas de turismo, en las cuales el tránsito suele elevarse los días viernes y sábado en el sentido hacia el área turística y el domingo en el sentido opuesto. Los días a mitad de semana (Miércoles, Jueves) suelen mostrar volúmenes de tránsito en el orden del promedio diario semanal, el cual puede ser representativo, a su vez, del promedio diario mensual.

2.603.303 Variaciones Horarias. Si se observa un gráfico que incluya en abscisas las horas del día y en ordenadas los volúmenes de tránsito controladas en dichas horas, se identificarán variaciones significativas en el tránsito horario a lo largo del día. En general, se puede establecer que el volumen de tránsito aumenta en las horas de luz natural y, en especial, en aquellas horas correspondientes a viajes de ida y retorno a centros de empleo, comercio y escuelas.

Otro aspecto que debe tenerse presente, es el que dice relación con el sentido del flujo impuesto por la localización de actividades. En aquellos casos en que una carretera presenta tránsito local asociado a viajes entre núcleos residenciales y de actividad productiva o servicios, se observará que durante la mañana la dirección con volumen de tránsito predominante tendrá origen en el núcleo residencial, situación que se invierte en horas de la tarde.

2.603.4 MEDICIONES DE TRANSITO

2.603.401 Estadísticas Existentes. En el Capítulo 2.000, Tópico 2.005.8 «Tránsito y Estadísticas Afines», se mencionan las principales fuentes de información y las características generales de la estadística que las diversas instituciones elaboran. Por su parte, el Tomo II del Volumen Nº 1 incorpora en la Sección 1.004, Tópicos 1.004.1 a 1.004.8, un amplio listado y resumen de fuentes de información vinculadas al tema Tránsito y Sistema de Actividades.

Es posible que en oportunidades no exista información específica relativa al proyecto en estudio, sin embargo, la estadística existente en caminos asimilables al del proyecto permitiría derivar valiosos antecedentes relativos a variaciones cíclicas del tránsito, clasificación del tránsito, estratigrafías de pesos por eje, etc.

2.603.402 Conteos de Tránsito. En aquellos casos en que se requiera información del TMDA y su composición en puntos no incluidos en el Plan Nacional de Censos (P.N.C.), o bien, se desee complementar esta información (Ver 2.005.801), será necesario efectuar muestreos que permitan la determinación de dichos indicadores.

En los Estudios de carreteras suelen utilizarse los Censos Clasificados Horarios, que corresponden a conteos clasificados de los vehículos que pasan en lapsos de una hora y que, habitualmente, se realizan durante períodos de 12 ó 24 horas consecutivas, entre 7 y 19 ó 0 y 24 horas, respectivamente. En el caso de muestreos de 12 horas, el P.N.C., provee coeficientes de expansión deducidos para diferentes tipos de caminos.

Cuando el punto de Control corresponde a una intersección se complementa el Censo Clasificado Horario indicando la dirección desde donde llega el vehículo al punto de control y la dirección hacia donde se dirige, es decir, el tránsito de paso y los giros en la intersección. Este tipo de censo se denomina Censo Direccional Horario.

La determinación de los volúmenes de tránsito se realiza, generalmente, a partir de muestras cuyos resultados se corrigen para representar el comportamiento en períodos de interés. Esta situación exige cuidar la representatividad de la muestra escogida, razón por la cual, en la etapa de planificación del muestreo, deberán tomarse en cuenta los efectos de las variaciones cíclicas, a la vez que programar la cantidad, oportunidad y duración de los muestreos, acorde con la precisión requerida en el nivel de estudio que se está desarrollando.

Por otra parte se cuidará la representatividad espacial del lugar en que se ejecutan los muestreos. Debe tenerse en cuenta que conteos realizados en la cercanía de ciudades muestran una gran cantidad de tránsito local, que podría ser representativo solamente de un reducido sector. Conteos realizadas fuera del ámbito de influencia de centros poblados captarán básicamente tránsito interurbano. Las diferencias entre ambos casos pueden ser significativas, por lo cual tiene especial importancia la localización del lugar de conteo.

En el Tomo II del Volumen Nº 1, Tópico 1.303.4, están contenidas las descripciones de los diversos métodos de medición de flujo, al mismo tiempo que las metodologías para su programación, ejecución y expansión.

2.603.403 Encuestas de Origen y Destino. Permiten determinar un número importante de las características cualitativas de los viajes, entre las que destacan su Origen y Destino, y su motivación. En base a estos antecedentes es posible identificar necesidades y preferencias de los usuarios, aspectos que prestan gran utilidad en la estimación de los flujos desviados como efecto de la ejecución de un proyecto vial.

Las encuestas usualmente utilizadas en los estudios de carreteras se realizan a los conductores, y se efectúan directamente en la vía. Permiten elaborar la Matriz O/D que se utiliza para determinar los volúmenes de Tránsito Desviado y Transferido que deben esperarse como resultado de la habilitación o mejoramiento de una vía.

A continuación se señala el tipo de información que habitualmente se obtiene de estas encuestas:

- Origen y Destino del Viaje.
- Motivo del Viaje.
- Estratificación Socio-Económica del Conductor y/o Pasajeros.
- Número de Pasajeros.
- Clasificación del Vehículo.
- Marca y Año de Fabricación (Ayuda a definir los vehículos tipo representativos).
- Capacidad de Carga, Tipo de Carga y Tonelaje Transportado.

Al igual que los Conteos de Tránsito, las Encuestas de O/D se toman sobre una muestra, razón por la cual deberán cuidarse todos los aspectos que aseguren su adecuada expansión.

En el Tomo II del MC-V1, Tópico 1.303.5, están contenidas las descripciones de los diversos métodos de levantamiento de Encuestas Origen/Destino, al mismo tiempo que las metodologías para su programación, ejecución y expansión.

2.603.404 Determinación de Estratigrafías de Pesos por Eje. Todos aquellos Estudios que incluyen el diseño de pavimento superior requieren contar con información sobre pesos por eje solicitantes (véase Numeral 3.603.202 del MC-V3).

Para estimaciones preliminares y en ausencia de mediciones hechas en la vía en estudio, podrán utilizarse los valores de ejes equivalentes por vehículo correspondientes a las plazas de pesaje [véase Tabla 3.603.202(2).C del MC-V3]. Obviamente, para emplear estos datos, se deberá analizar que plaza de pesaje presente similitud en cuanto al tipo de vehículos pesados, respecto de los que circulan en el camino en estudio.

En estudios avanzados en que no se disponga de esta información, se deberán programar las mediciones que permitan elaborar una estratigrafía de pesos por eje confiable, sobre la cual podrá basarse la proyección de las solicitudes a que será sometida la estructura, a lo largo de su vida de diseño.

2.603.5 PROYECCIONES DE TRANSITO

Escapa al alcance de este Volumen recomendar o reseñar metodologías específicas para proyectar tránsito. En la Sección 1.408, Tomo II del MC-V1, realiza un tratamiento detallado del tema.

Cabe consignar que prever la demanda de tránsito asociada a una obra vial, exige plantear posibles comportamientos futuros en base a los comportamientos históricos observados.

2.603.6 VOLUMEN DE DISEÑO

Estrechamente ligado a las variaciones en el Volumen de Tránsito, se encuentra la selección del Volumen de

Diseño, que regirá, en conjunto con otros factores, las características geométricas por otorgar a la vía en estudio. Una carretera que supera ciertos niveles de tránsito, diseñada para servir el TMDA, obviamente se vería congestionada durante gran parte del año. Surge así la necesidad de identificar un volumen de tránsito que represente de manera más apropiada las condiciones de operación de la vía. Para este fin se considera el período de una hora y se define el Volumen Horario de Diseño (VHD), el que deberá proyectarse al año horizonte.

En el Volumen N° 3, Numeral 3.102.304 se describe la manera de determinar el VHD equivalente al volumen horario de demanda máxima normal que, para la mayoría de los caminos con tránsito mixto, coincide con el volumen asociado a la trigésima hora de mayor demanda. Para aquellos casos en que no se dispone de información estadística sobre volúmenes horarios, en el mismo Numeral antes señalado se propone el uso de la siguiente fórmula empírica que relaciona el TMDA con el VHD,

$$\text{VHD año } i = 0,12 \sim 0,18 \text{ TMDA año } i \quad (\text{año } i = \text{año horizontal considerado})$$

Coeficientes del orden de 0,12 se aplican, por lo general, a carreteras de tránsito mixto con variaciones estacionales moderadas. Coeficientes cercanos a 0,18 se asocian a carreteras con variaciones estacionales marcadas, provocadas habitualmente por componentes de tipo turístico. Por lo general, si el sistema de actividades de la red a la que pertenece la ruta no se modifica en el tiempo, la expresión anterior se mantiene válida por largos períodos.

En cuanto a la composición por categoría de vehículos, se deberá tener presente que normalmente los volúmenes horarios máximos se producen por incremento de los vehículos livianos, y en los casos en que éste responde a tránsito turístico, se observará que coincide con una baja en el volumen de camiones. En definitiva, el VHD presentará una composición porcentual diferente a la observada para el TMDA, situación que deberá analizarse en cada caso particular. En todo caso siempre se deberá verificar la situación que se enfrenta para el VHD de la hora 100, en que la composición porcentual por tipo de vehículo será más parecida a la del TMDA, es decir aún cuando el flujo horario será menor, el porcentaje de vehículos pesados será mayor que en la hora 30 y, consecuentemente, el volumen de vehículos equivalentes puede llegar a superar el de la hora 30, en especial en tramos en pendientes sobre 4% de longitud significativa.

2.603.7 SOLICITACIONES PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS

La determinación de las solicitudes para diseño de pavimentos (estratigrafía de peso por eje), debe considerar las proyecciones de tránsito según tipo de vehículos pesados, en conformidad con lo señalado en 3.603.202, y considerar los posibles cambios tecnológicos en el equipo de transporte o en la utilización del parque, como, por ejemplo, uso más intensivo de camiones remolques o semiremolques en lugar de camiones de dos ejes.

SECCION 2.604 ALCANCE DE LOS ESTUDIOS DE TRANSITO SEGUN NIVELES Y CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

2.604.1 ASPECTOS GENERALES

En esta sección se plantean algunas situaciones generales a que el Proyectista pudiera verse enfrentado al realizar un Estudio de Ingeniería que no cuenta con un previo Estudio de Preinversión o para el cual, eventualmente, no se considere su ejecución y deba abordar la estimación del tránsito solicitante de la ruta de interés. En esta circunstancia, el estudio de Demanda por efectuar tendrá un carácter simplificado, debiendo corresponder su desarrollo al establecido para la Etapa de Perfil, descrita en el Tomo II del Volumen N° 1 del Manual de Carreteras.

2.604.2 PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS

En aquellos casos particulares en que el Proyectista no cuente con un estudio de Preinversión, pueden darse dos tipos de situaciones: Se unen dos zonas actualmente desarrolladas, en que el proyecto viene a proveer una mejor alternativa a las existentes, y casos en que se unen zonas actualmente aisladas mediante la cual será posible extraer nueva producción agrícola, minera, forestal, etc.. En la primera situación, el tránsito en el nuevo trazado estará conformado por el tránsito existente que será atraído, más el tránsito transferido o inducido cuyo número dependerá tanto del diferencial de costo de viaje entre las situaciones sin y con proyecto, como de las actividades socio-económicas afectadas. En la segunda situación, a través de hipótesis productivas realistas será posible estudiar el tránsito resultante sobre el nuevo trazado.

Cualquiera sea el caso en estudio, si la demanda calculada, más o menos la variación determinada mediante análisis de sensibilidad, determina una demanda en el entorno de un punto de cambio de categoría de diseño (velocidad de proyecto, sección transversal, tipo de estructura), los estudios debieran afinarse hasta lograr levantar la indeterminación.

2.604.3 PROYECTOS DE RECUPERACION DE ESTANDAR Y DE CAMBIO DE ESTANDAR

En estos proyectos prácticamente no existen las etapas de identificación de rutas y alternativas mayores de trazado. Por el contrario, los estudios se realizan en torno a las obras de la carretera disponible. Así, la demanda principal estará determinada en buena medida por el Tránsito Normal siendo necesario, en todo caso, también examinar la magnitud de eventuales componentes de Tránsito Desviado, Transferido e Inducido; las cuales serán función del grado de mejoramiento y del impacto del proyecto sobre las actividades socio-económicas del área de influencia.

MANUAL DE CARRETERAS

VOLUMEN N°2

PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIOS VIALES

CAPITULO 2.700 INGENIERIA BASICA ASPECTOS AMBIENTALES

**DIRECCION DE VIALIDAD
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
CHILE**

CAPITULO 2.700 INGENIERIA BASICA – ASPECTOS AMBIENTALES

I N D I C E

SECCION 2.701 ASPECTOS GENERALES

SECCION 2.702 ASPECTOS AMBIENTALES EN OTROS VOLUMENES DEL MANUAL DE CARRETERAS

SECCION 2.703 MARCO LEGAL

SECCION 2.704 CONCEPCION AMBIENTAL DE LOS PROYECTOS VIALES

CAPITULO 2.700 INGENIERIA BASICA – ASPECTOS AMBIENTALES

SECCION 2.701 ASPECTOS GENERALES

En el pasado, los moderados niveles de demanda y las restricciones en cuanto a disponibilidad de recursos, generalmente hacían que la geometría de los caminos se adaptara en forma ceñida a la topografía del terreno y que la faja del camino fuera relativamente estrecha. Consecuentemente las alteraciones que los proyectos viales imponían sobre el medio ambiente eran mínimas. El incremento de la demanda derivado del crecimiento de la población, del desarrollo económico y de los avances tecnológicos, ha impuesto mayores exigencias de capacidad, seguridad y confort, lo que ha redundado en que la geometría de los trazados en planta y alzado sea más amplia, con lo que en las etapas de construcción y operación de un camino, se alteran en menor o mayor medida las condiciones ambientales prevalecientes en el corredor en que la ruta se emplaza.

Consciente de ello, la Dirección de Vialidad desde hace varios años, viene incorporando la variable ambiental durante el desarrollo de los proyectos viales en sus distintas etapas, de manera de que los proyectos fueran ambientalmente viables. Se han estructurado y desarrollado los criterios y metodologías que han sido incorporadas en los estudios respectivos.

Es importante destacar que de acuerdo con estudios realizados en países desarrollados, la incorporación de la variable ambiental en la toma de decisiones, ha significado no sólo mitigar y neutralizar los impactos negativos que producen los caminos, sino que, en determinados casos, ha contribuido a mejorar el medio donde se emplazan, a conservar y aprovechar racionalmente los recursos naturales renovables en beneficio de la población local y a desarrollar el potencial recreativo y turístico del área.

Otro aspecto importante que se debe tener en cuenta con la inclusión de la dimensión ambiental, es que incorpora elementos de juicio que permiten seleccionar una alternativa óptima del emplazamiento del camino, de tal forma de generar un proyecto vial en armonía con el entorno, lo cual no implica, necesariamente, estar en la disyuntiva de construir o no construir un camino. La integración armónica del proyecto con el entorno se entiende como un estado de equilibrio en donde los posibles impactos negativos se evitan o mitigan, controlando de esta manera el deterioro del medio ambiente.

Un ejemplo que ilustra la inconveniencia de no considerar oportunamente la variable ambiental, dice relación con el eventual emplazamiento de un camino en zonas que presentan una geomorfología inestable, ya que, al modificar la geodinámica, se puede llegar a generar un desequilibrio que propicie asentamientos y deslizamientos de masas de materiales que se depositarían sobre la plataforma del camino, con la consiguiente interrupción del tránsito (impacto sobre el proyecto) o pueden deslizarse aún más allá de ésta, contaminando cauces que conducirán los acarrees para sedimentarlos en los lugares menos propicio (impacto sobre el medio). Todo esto involucra que durante la etapa de operación y mantenimiento del camino se tengan que invertir recursos tanto para reparar la vía como para reparar el daño ambiental provocado.

Estos aspectos ambientales son abordados detalladamente en el MC-V9 “Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales”, donde se abordan el marco legal ambiental general, la estructura para elaborar términos de referencia ambientales, el marco general para estudios ambientales, las consideraciones ambientales adicionales en estudios de proyectos de nuevo trazado, de cambio de estándar y recuperación de estándar; además de las consideraciones ambientales durante la construcción, el mantenimiento y la explotación de obras viales.

El objetivo del presente Capítulo es entregar al proyectista una presentación del tema ambiental y su relación con el MC-V9.

SECCION 2.702 ASPECTOS AMBIENTALES EN OTROS VOLUMENES DEL MANUAL DE CARRETERAS

Siendo el tema ambiental, un aspecto transversal en los proyectos viales, éste tiene presencia durante todo el ciclo de vida del proyecto, desde la Fase de Estudio a la Fase de Mantenimiento, Operación y Explotación.

Los aspectos ambientales deben abordarse según el tipo de proyecto y la fase en que éste se encuentre, acorde a lo establecido en la Sección 2.101 Conceptos Básicos, del Capítulo 2.100 Sistemas de Clasificación y Niveles de Estudio del presente volumen.

Con relación al tema ambiental, en los otros volúmenes del Manual de Carreteras, fundamentalmente se tiene lo siguiente:

En el MC-V1 Tomo II “Evaluación de Proyectos Viales Interurbanos” se indican los procedimientos, cuantificación, contenido, técnicas de análisis, evaluación y criterios de calificación de impactos en el tema ambiental, teniendo presente lo establecido en el MC-V9 “Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales”.

En el MC-V3 “Instrucciones y Criterios de Diseño”, Capítulo 3.100 “Controles Básicos de Diseño”, se establecen los criterios generales que se deberán tener presentes en el diseño en relación con las materias socioeconómicas y ambientales.

En el MC-V4 “Planos de Obras Tipo” se presentan láminas de Obras Tipo, donde se pueden destacar algunos elementos de protección para prevenir la erosión como disipadores de energía y revestimiento con mampostería de piedra en el fondo de cauces, obras de arte para dar continuidad a los cauces superficiales y obras de protección fluvial, como gaviones y enrocados, entre otros.

En el MC-V5 “Especificaciones Técnicas Generales de Construcción” se establecen Consideraciones Ambientales Generales y Especificaciones Técnicas Ambientales acorde con lo establecido en el MC-V9.

En el MC-V7 “Mantenimiento Vial” se establecen consideraciones ambientales durante el mantenimiento de obras viales, como también ciertas operaciones ambientales, teniendo presente lo establecido en el MC-V9.

En el MC-V8 “Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control” se indican fundamentalmente las especificaciones de los materiales utilizados en las obra viales y los métodos de ensaye utilizados para establecer dichas características; algunas de éstas corresponden a requerimientos medioambientales, como por ejemplo el nivel de emisiones al ambiente de los asfaltos cortados o las características químicas de los estabilizadores.

En el MC-V9 se indica, entre otras materias, cómo valorar los impactos ambientales para efectos de evaluación del Proyecto, además de consideraciones ambientales a tener presente en el diseño, construcción, mantenimiento, operación y explotación de obras viales; ello debe ser considerado en conjunto con lo establecido en los volúmenes MC-V1, MC-V3, MC-V5 y MC-V7.

SECCION 2.703 MARCO LEGAL

El Marco Legal Ambiental a tener presente en los estudios viales, se indica en el Capítulo 9.100 Marco Legal Ambiental General del MC-V9 “Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales”. Allí se presentan los aspectos legales que se deben tener en consideración para la planificación, estudio, diseño, construcción, mantenimiento, operación y explotación de los proyectos viales, tanto en carreteras o caminos, existentes o nuevos, reconocidos como caminos públicos.

En el Capítulo 9.100 mencionado se abordan los siguientes temas: Legislación ambiental general, Aplicabilidad de la legislación ambiental a los proyectos viales, Cumplimiento y fiscalización de la legislación, y Legislación que define áreas protegidas.

SECCION 2.704 CONCEPCION AMBIENTAL DE LOS PROYECTOS VIALES

La concepción ambiental de los proyectos viales, en su fase de estudio, debe tratarse de acuerdo con lo establecido en el MC-V9 "Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales", fundamentalmente en lo abordado en los capítulos siguientes:

- Capítulo 9.300 Marco General para Estudios Ambientales en Proyectos Viales
- Capítulo 9.400 Consideraciones Ambientales Adicionales en Estudios de Proyectos de Nuevo Trazado
- Capítulo 9.500 Consideraciones Ambientales Adicionales en Estudios de Proyectos de Cambio de Estándar
- Capítulo 9.600 Consideraciones Ambientales Adicionales en Estudios de Proyectos de Recuperación de Estándar

MANUAL DE CARRETERAS

VOLUMEN N°2

PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIOS VIALES

CAPITULO 2.800 PROCEDIMIENTOS DE TERRENO Y GABINETE PARA EL DESARROLLO DE ESTUDIOS VIALES

**DIRECCION DE VIALIDAD
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
CHILE**

**CAPITULO 2.800 PROCEDIMIENTOS DE TERRENO Y GABINETE PARA
EL DESARROLLO DE ESTUDIOS VIALES**

I N D I C E

SECCION	2.801 CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS BASICOS
2.801.1	PROCEDIMIENTOS GENERALES APLICABLES A DIVERSOS NIVELES DE ESTUDIO
2.801.2	CONTROLES DEL TRAZADO
2.801.201	Controles Primarios Obligados.
2.801.202	Controles de Diseño.
2.801.203	Identificación de Puntos de Control.
2.801.204	Procedimientos para el Análisis de Controles Geomorfológicos.
2.801.204(1)	Reconocimiento de Rutas.
2.801.204(2)	Trazado de Líneas de Pendiente. a) Trazado de Líneas de Pendiente sobre un Plano. b) Trazado de Líneas de Pendiente en la Pantalla del Computador. c) Trazado de Líneas de Pendiente en Terreno.
2.801.204(3)	Perfiles del Terreno. a) Obtención del Perfil Longitudinal del Terreno. b) Obtención de los Perfiles Transversales del Terreno.
2.801.3	CRITERIOS GENERALES RELATIVOS A LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS
2.801.4	TRAZADO DE EJES EN PLANTA Y RASANTE
2.801.401	Aspectos Generales.
2.801.402	Trazados sobre Cartas de Escala Pequeña.
2.801.402(1)	Objetivos y Alcances.
2.801.402(2)	Trazados en Terrenos Planos.
2.801.402(3)	Trazados en Terrenos Ondulados.
2.801.402(4)	Trazados en Terrenos Montañosos.
2.801.402(5)	Afinamiento del Eje.
2.801.402(6)	Cartas Digitales de Pequeña Escala.
2.801.403	Trazados sobre Levantamientos Topográficos o Aerofotogramétricos.
2.801.403(1)	Objetivos y Alcances.
2.801.403(2)	Trazado en Planta en Terrenos Planos.
2.801.403(3)	Trazado en Planta en Terrenos Ondulados.
2.801.403(4)	Trazado en Planta en Terrenos Montañosos.
2.801.403(5)	Trazado de la Rasante.
2.801.403(6)	Afinamiento del Eje.
2.801.403(7)	Ejemplo de Aplicación.
2.801.404	Trazado de Calzadas Unidireccionales.
2.801.5	CARACTERIZACION DE MONOGRAFIAS EN PROYECTOS VIALES
2.801.501	Caracterización de Monografías en Proyectos Viales Interurbanos.
2.801.502	Caracterización de Monografías en Proyectos Viales Urbanos.
2.801.502(1)	Monografía de Semáforos y Señalización Vial Existente
2.801.502(2)	Monografía de Servicios.
2.801.502(3)	Monografía de Pavimento Existente.
2.801.502(4)	Monografía de Drenajes.
SECCION	2.802 ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS
2.802.1	ASPECTOS GENERALES
2.802.2	DEFINICION PRELIMINAR DE LAS CARACTERISTICAS Y PARAMETROS DE DISEÑO
2.802.3	IDENTIFICACION DE RUTAS POSIBLES
2.802.301	Estudios de Gabinete.

- 2.802.302 Reconocimiento de Terreno.
- 2.802.303 Anteproyecto Preliminares sobre Planos a Escala Intermedia.
- 2.802.304 Selección de Rutas que Pasan al Nivel de Anteproyecto.

- 2.802.4 ELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA QUE SE UTILIZARA EN LOS SIGUIENTES NIVELES DE ESTUDIO

- 2.802.5 INFORME FINAL DEL ESTUDIO PRELIMINAR PARA NUEVOS TRAZADOS

- SECCIÓN 2.803 ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE RECUPERACIÓN Y DE CAMBIO DE ESTÁNDAR

- 2.803.1 ASPECTOS GENERALES

- 2.803.2 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

- 2.803.201 Análisis de los Antecedentes Existentes.
- 2.803.202 Trabajos de Terreno.
- 2.803.202(1) Reconocimiento General de la Obra.
- 2.803.202(2) Monografías.
 - a) Monografías de la Geometría del Camino.
 - b) Monografías de la Calzada.
 - c) Monografía de Drenaje y Saneamiento.

- 2.803.202(3) Estudios Topográficos Especiales

- 2.803.3 DEFINICIÓN PRELIMINAR DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
- 2.803.301 Recuperación de la Calzada.
- 2.803.302 Recuperación del Sistema de Drenaje y Saneamiento.
- 2.803.303 Recuperación de Sectores Dañados por Fallas de Estabilidad en la Obra Básica.
- 2.803.304 Cambios de Estándar por Modificación de la Geometría.
- 2.803.305 Cambio de Estándar por Aumento del Número de Pistas.
- 2.803.306 Cambio de Estándar por Pavimentación de un Camino Existente.

- 2.803.4 ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD PARA PROYECTOS DE RECUPERACIÓN Y DE CAMBIO DE ESTÁNDAR

- 2.803.5 ELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA QUE SE UTILIZARA EN LOS SIGUIENTES NIVELES DE ESTUDIO

- 2.803.501 Recuperación del Estándar.
- 2.803.502 Cambio de Estándar.

- 2.803.6 INFORME FINAL DEL ESTUDIO PRELIMINAR PROYECTOS DE RECUPERACIÓN Y DE CAMBIO DE ESTÁNDAR

- SECCIÓN 2.804 ANTEPROYECTO (ANT)

- 2.804.1 ASPECTOS GENERALES

- 2.804.2 SECUENCIA Y PROCEDIMIENTOS EN UN ANTEPROYECTO

- 2.804.201 Objetivos y Alcances.
- 2.804.202 Estudios de Ingeniería Básica.
- 2.804.202(1) Aspectos Topográficos.
 - a) Sistema de Referencia y Transporte de Coordenadas.
 - b) Monumentación de las Referencias Topográficas.
 - c) Levantamiento Topográficos.
- 2.804.202(2) Aspectos de Hidrología y Drenaje.
- 2.804.202(3) Aspectos Geotécnicos.
- 2.804.202(4) Demanda y Características del Tránsito.
- 2.804.202(5) Aspectos Socioeconómicos y Ambientales.

- 2.804.203 Definición de los Parámetros de Diseño.
- 2.804.204 Estudio del Trazado Optimo en cada Ruta.
- 2.804.204(1) Antecedentes y Procedimientos de Estudio.
 - a) Controles del Trazado (2.801.2).
 - b) Procedimientos para el Análisis de Controles Geomorfológicos (2.801.204).
 - c) Trazado de Ejes en Planta y Rasante (2.801.4).
 - d) Estudios Complementarios (2.808).
 - e) Proyectos Especiales (2.808.2).
- 2.804.204(2) Recomendaciones Generales para el Trazado.
- 2.804.205 Selección de la Mejor Alternativa.
- 2.804.206 Planos y Documentos del Anteproyecto.
- 2.804.206(1) Memoria.
 - a) Resumen y Conclusiones del Estudio.
 - b) Desarrollo del Informe.
- 2.804.206(2) Planos.

SECCION 2.805 ESTUDIO DEFINITIVO EN NUEVOS TRAZADOS

- 2.805.1 ASPECTOS GENERALES
- 2.805.2 ESTUDIO DEFINITIVO CON ESTACADO TOTAL(EDET)
 - 2.805.201 Objetivos y Alcances.
 - 2.805.202 Revisión de Antecedentes.
 - 2.805.203 Trabajos de Terreno.
 - 2.805.203(1) Replanteo de los Elementos Principales del Trazado.
 - 2.805.203(2) Estacado de Relleno.
 - 2.805.203(3) Nivelación del Perfil Longitudinal de Terreno.
 - 2.805.203(4) Perfiles Transversales.
 - 2.805.203(5) Levantamientos Complementarios.
 - 2.805.203(6) Prospección del Perfil Estratigráfico.
 - 2.805.203(7) Expropiaciones.
 - 2.805.204 Trabajo de Gabinete Metodología EDET.
 - 2.805.204(1) Cálculo de Coordenadas de los Vértices.
 - 2.805.204(2) Elaboración del Plano Horizontal.
 - 2.805.204(3) Rasante Final y Plataforma del Proyecto.
 - 2.805.204(4) Diseño Final de Estudios Complementarios.
 - 2.805.204(5) Diseño Final de Proyectos Especiales.
 - 2.805.204(6) Especificaciones Técnicas del Proyecto.
 - 2.805.204(7) Cubicaciones y Presupuestos.
 - 2.805.205 Planos y Documentos del Estudio Definitivo
 - 2.805.205(1) Memoria
 - a) Resumen y Conclusiones del Estudio
 - b) Desarrollo del Informe.
 - 2.805.205(2) Planos.
- 2.805.3 ESTUDIO DEFINITIVO CON ESTACADO PARCIAL (EDEP)
 - 2.805.301 Objetivos y Alcances.
 - 2.805.302 Revisión de Antecedentes.
 - 2.805.303 Primera Etapa de Terreno Metodología EDEP.
 - 2.805.303(1) Levantamiento a Gran Escala.
 - 2.805.303(2) Aspectos de Hidrología y Drenaje.
 - 2.805.303(3) Aspectos Geotécnicos.
 - 2.805.303(4) Demanda y Características del Tránsito.
 - 2.805.303(5) Aspectos Ambientales y Socioeconómicos.

- 2.805.303(6) Proposición Final de Parámetros de Diseño.
- 2.805.304 Primera Etapa de Gabinete Metodología EDEP.
- 2.805.305 Segunda Etapa de Terreno Metodología EDEP.
- 2.805.305(1) Densificación de la Red de Replanteo.
- 2.805.305(2) Replanteo Referencial del Eje Proyectoado.
- 2.805.305(3) Replanteo de los Puntos Principales en Zonas Específicas.
- 2.805.305(4) Estacado de Relleno en Sectores Específicos.
- 2.805.305(5) Reconocimiento del Perfil Estratigráfico.
- 2.805.306 Segunda Etapa de Gabinete Metodología EDEP.
- 2.805.306(1) Cálculo y Dibujo del Eje en Planta.
- 2.805.306(2) Rasante Final y Plataforma de Proyecto.
- 2.805.306(3) Estudios y Diseños Finales.
- 2.805.306(4) Información para el Replanteo.
- 2.805.307 Planos y Documentos Metodología EDEP.

SECCION 2.806 ESTUDIO DEFINITIVO PARA RECUPERACION DE ESTANDAR (RED).

- 2.806.1 ASPECTOS GENERALES
- 2.806.2 INGENIERIA BASICA
- 2.806.3 DISEÑO FINAL O ESTUDIO DEFINITIVO

SECCION 2.807 ESTUDIO DEFINITIVO PARA CAMBIO DE ESTANDAR (CED)

- 2.807.1 ASPECTOS GENERALES
- 2.807.2 METODOLOGIAS ALTERNATIVAS

SECCION 2.808 ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

- 2.808.1 OBJETIVOS Y ALCANCES
 - 2.808.101 Roce y Limpieza de la Faja.
 - 2.808.102 Drenaje Transversal, Saneamiento y Transporte de Sedimentos.
 - 2.808.103 Estabilidad de la Obra Básica.
 - 2.808.103(1) Objetivos y Alcances.
 - 2.808.103(2) Terraplenes y Cortes.
 - 2.808.103(3) Estructuras de Contención de Tierras.
 - 2.808.104 Protección de Taludes.
 - 2.808.104(1) Aspectos Generales.
 - 2.808.104(2) Obras para el Control de Escurrimientos sobre Taludes.
 - 2.808.104(3) Defensas en Base a Enrocados y Gaviones.
 - 2.808.105 Subbases, Bases y Pavimentos.
 - 2.808.106 Señalización y Barreras de Contención.
 - 2.808.106(1) Señalización.
 - 2.808.106(2) Barreras de Contención.
- 2.808.2 PROYECTOS ESPECIALES
 - 2.808.201 Aspectos Generales.
 - 2.808.202 Puentes - Pasos Superiores e Inferiores.
 - 2.808.202(1) Objetivos y Alcances.
 - 2.808.202(2) Ingeniería Básica y Criterios de Diseños.
 - 2.808.203 Intersecciones y Enlaces.
 - 2.808.203(1) Aspectos Generales.
 - 2.808.203(2) Justificación para la Separación de Niveles.
 - 2.808.203(3) Antecedentes Topográficos.
 - 2.808.203(4) Diseño de Intersecciones y Enlaces.

2.808.204	Paraderos de Buses.
2.808.205	Lechos de Frenado.
2.808.206	Cruces a Nivel con Vías Férreas.
2.808.3	ESPECIFICACIONES TECNICAS
2.808.4	CUBICACIONES
2.808.5	PRESUPUESTOS
SECCION	2.809 EXPROPIACIONES
2.809.1	ASPECTOS GENERALES
2.809.2	DETERMINACION DE LA FAJA AFECTADA
2.809.3	ANTECEDENTES PARA LA EXPROPIACION DE LA FAJA
2.809.301	Objetivo.
2.809.302	Definición.
2.809.303	Plano de Expropiaciones.
2.809.304	Faja del Camino.
2.809.305	Delimitación de las Expropiaciones.
2.809.306	Lotes de Expropiación.
2.809.307	Cuadro Resumen de Expropiaciones.
2.809.308	Cuadro de Deslindes Particulares.
2.809.309	Trámite de Expropiación.
2.809.310	Documentación Necesaria para las Expropiaciones.

CAPITULO 2.800 PROCEDIMIENTOS DE TERRENO Y GABINETE PARA EL DESARROLLO DE ESTUDIOS VIALES

SECCION 2.801 CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS BASICOS

El presente Capítulo trata las diversas metodologías de estudio de una obra vial en forma integral, correlacionando los aspectos de trazado y diseño con los estudios de Ingeniería Básica, la Evaluación del Proyecto y los aspectos Ambientales. En consecuencia, está dirigido al Proyectista quien deberá coordinar el estudio en su conjunto, encargando oportunamente, supervisando y, en definitiva, utilizando los antecedentes que aportan las diversas especialidades de la Ingeniería.

El Proyectista de una obra vial deberá tener, en todo momento, una clara visión de todos los estudios que se están desarrollando paralelamente, (topografía, geotecnia, hidrología, tránsito e impacto ambiental), ya que cada una de sus decisiones en cuanto a emplazamientos alternativos de trazado, diseño geométrico y obras complementarias, estará influenciada por los antecedentes provenientes de las áreas antes enumeradas.

En consideración a lo anterior, este Capítulo está destinado a presentar los procedimientos de terreno y gabinete que el Proyectista, normalmente, utilizará en los diversos niveles y metodologías de estudio, destacando para cada etapa, la interrelación de los estudios de trazado con los de Ingeniería Básica. A lo largo del capítulo se citarán, toda vez que sea necesario, otros volúmenes del Manual, así como capítulos, secciones, etc., de este Volumen, donde se precisa el alcance de los estudios o de aquellos procedimientos de diseño a que se hace referencia.

2.801.1 PROCEDIMIENTOS GENERALES APLICABLES A DIVERSOS NIVELES DE ESTUDIO

Se ha considerado conveniente presentar en esta sección los criterios básicos relativos a distintas actividades o procedimientos que son de uso frecuente en los distintos niveles de estudio. Los procedimientos para desarrollar tales actividades pueden diferir en la profundidad y/o precisión con que se aplicarán, tanto en los estudios preliminares como en los anteproyectos y en los estudios definitivos. Sin embargo, es posible aceptar una sistematización que, en general, cubra la mayoría de las alternativas que se puedan presentar, evitándose así repeticiones a lo largo del texto al citar el Tópico respectivo de esta Sección.

La actual disponibilidad de Programas Computacionales para generar los Modelos Digitales del Terreno, así como los programas de diseño, permite dar mayor rapidez al análisis, cálculo y dibujo de algunas tareas que requieren los estudios viales expuestos en este capítulo, pero ello no invalida los criterios y procedimientos básicos que aquí se exponen, los que se mantienen absolutamente vigentes.

2.801.2 CONTROLES DEL TRAZADO

2.801.201 Controles Primarios Obligados. Tanto en Trazados Nuevos como en Obras Existentes los puntos inicial y final de un proyecto vial están determinados, en gran medida, por el tipo de problema que se desea resolver y por el condicionamiento que les impone el resto de la red o la ubicación de terminales de modos de transporte complementarios. Por otra parte, el emplazamiento general de la vía puede estar condicionado por consideraciones de planificación general, tales como: integración territorial, programas específicos de desarrollo, criterios estratégicos, etc. Estos tipos de condicionamientos se denominan Controles Primarios Obligados y el Proyectista debe aceptarlos como un precepto que no puede ser modificado sin la autorización expresa de la Dirección de Vialidad.

2.801.202 Controles de Diseño. Del mismo modo, tanto en los proyectos de nuevos trazados como en los de recuperación o de cambio de estándar, los Controles de Diseño se asocian a parámetros tan importantes como: Velocidad de Proyecto, Velocidad Percentil 85 (V85%), Pendientes Máximas, Sección Transversal, etc. Su determinación resulta de un proceso de aproximaciones sucesivas destinado a establecer la categoría de la vía en estudio; la que, en definitiva, dependerá de los controles primarios obligados definidos por la Autoridad, del tránsito inicial y proyectado que se espera hará uso de la vía y del tipo de servicio que resulte factible brindar a los usuarios desde un punto de vista técnico y económico.

En los Estudios Preliminares, se definió la categoría de la carretera o camino al interior del marco de referencia establecido por la Dirección de Vialidad. Para esto se deberá considerar: las directrices contenidas en los Términos de Referencia Específicos del Estudio, preparados por la Dirección de Vialidad; el Capítulo 3.100 "Controles Básicos de Diseño" del MC-V3, el Capítulo 2.600 "Demanda y Características del Tránsito" de este Volumen, y las metodologías de modelación y evaluación señaladas en el Tomo II del MC-V1, mediante las que se desarrollará el Estudio de Prefactibilidad que se asocia a un Estudio Preliminar.

2.801.203 Identificación de Puntos de Control. Una vez establecidos los aspectos antes mencionados, la acción del Proyectista se centrará en torno a la consideración de puntos de control de tipo topográfico, geológico, hidrológico, obras existentes y aspectos de impacto social y ambiental de tipo local, que puedan afectar, positiva o negativamente, la localización o rectificación del trazado del eje del camino.

Son controles negativos aquéllos que delimitan áreas que en lo posible deben ser evitadas por el trazado, tales como: pantanos, zonas inundables, zonas de deslizamiento, zonas de sitios arqueológicos, bosques nativos protegidos terrenos de alta productividad agrícola, etc. En caminos existentes: sectores de fuerte pendiente en gran longitud; tramos en que el desarrollo urbano se ha densificado, etc.

Son controles positivos los que permiten u obligan a situar el eje sobre ellos, como por ejemplo: cruces favorables de ríos, puntos bajos en cadenas de cerros; cruces y empalmes con otras vías, aprovechamiento de la faja vial, plataforma y/o pavimentos de caminos existentes.

Una de las primeras actividades que deberá desarrollar el proyectista será identificar, verificar y justificar los controles que pretende considerar en el desarrollo del estudio. El interés y la acuciosidad con que se aborde esta etapa, constituyen una responsabilidad de fundamental importancia en el proceso de selección del trazado que, en definitiva, constituirá la solución más acertada.

Los controles geomorfológicos, de gran importancia en la localización de un trazado nuevo, están constituidos por: montañas, valles, lomajes, laderas escarpadas o suaves, mesetas, portezuelos de menor altura para atravesar cadenas de cerros, desniveles en que la pendiente es un control, etc. Su identificación y calificación es una responsabilidad directa del Proyectista, quien aplicará los procedimientos que se describen en 2.801.204 para calificarlos.

Los controles de tipo geotécnico pueden ser tanto positivos como negativos. Los positivos se asocian a sectores en que la obra básica podrá emplazarse sin riesgos en cuanto a estabilidad y, tanto mejor aún, si se trata de materiales de fácil trabajabilidad. Entre los controles negativos, que definen áreas que en lo posible deberán ser evitadas, cabe mencionar: las laderas inestables, farallones rocosos con diaclasas desfavorables, rodados, rocas altamente meteorizadas, pantanos, etc. Su identificación y calificación se efectuará, con la colaboración del especialista en geotecnia, según se expone en el Capítulo 2.500 y se resume en la Sección 2.506.

Los controles relativos a hidrología y drenaje cobrarán mayor o menor importancia según la densidad de la red hidrográfica, régimen de precipitaciones del área, presencia de nieve, etc. Su identificación y calificación se efectuará con la colaboración del especialista en hidrología e hidráulica y, en oportunidades, con la participación del especialista en estructuras. Los aspectos de hidrología, drenaje y transporte de sedimentos se tratan en el Capítulo 2.400 y un resumen, atingente al aspecto controles, en las Láminas 2.404.A y B.

Los controles ambientales y socioeconómicos de tipo local pueden ser: restricciones impuestas por la presencia de bosques, zonas cultivadas, arboledas frutales, sitio de valor arqueológico etc., así como el entorno del trazado en caminos existentes y, en general, el uso de la tierra. Además, deben considerarse los impactos sobre las comunidades y el medio ambiente, erosiones y deslizamientos que pudieran producirse como consecuencia de la construcción del camino. Estas materias son de responsabilidad directa del Proyectista, quien deberá asesorarse por un especialista cuando corresponda. El alcance de estos aspectos se establece en el Capítulo 9.300 "Marco General para Estudios Ambientales en Proyectos Viales" del MC-V9.

Los puntos de control relativos a obras existentes pueden ser cruces con caminos, ferrocarriles, canales, edificaciones y obras civiles en general, las que deben ser analizadas para decidir eludirlas, cruzarlas a nivel o a desnivel, modificarlas o, eventualmente, eliminarlas.

Si el trazado se localiza dentro del terreno de la faja vial de un camino existente, y éste se desarrolla en una zona que presenta gran densidad de superficie edificada que provoca una fuerte fricción lateral, se deberá definir si ello califica como "Zona Urbana", en cuyo caso la velocidad límite legal será de 60 km/h. En dichos casos, las restricciones impuestas por el entorno urbano pueden ser tan significativas que los parámetros de diseño geométricos deban ser rebajados a los límites impuestos por el entorno. Por el contrario, si los TRE establecen que se deberá buscar una alternativa que evite la zona urbana, se deberá estudiar la posibilidad de desarrollar un nuevo trazado de características iguales o similares a las definidas para el resto de la obra.

Es posible que, por la naturaleza o importancia de los puntos de control, sea conveniente dividir el estudio en sectores. El Proyectista debe hacer un estricto examen crítico de los puntos de control, ponderando la real importancia

de cada uno de ellos, de manera de no subordinar el trazado a excesivos controles, lo que pudiera condicionarlo en demasía o afectar sensiblemente su costo. Será la Dirección de Vialidad la que, en definitiva, califique la importancia de un cierto tipo de control pero, será el Proyectista quien deba someter estos casos a su consideración, con todos los antecedentes que sean pertinentes.

En suma, la acertada elección de los puntos de control del trazado permitirá precisar con seguridad la localización del eje para las diversas alternativas del camino, lo que redundará en un menor trabajo para desarrollar las poligonales y levantamientos topográficos que se requieran.

2.801.204 Procedimientos para el Análisis de Controles Geomorfológicos. En el trazado de rutas nuevas y en las variantes a caminos existentes se considerarán los procedimientos que se exponen a continuación:

2.801.204(1) Reconocimiento de Rutas. En la primera etapa de los Estudios Preliminares se determinarán los principales puntos de control positivos y negativos; a partir de ellos quedarán esbozados, sobre las cartas existentes, (1:50.000 ó 1:25.000) rumbos tentativos que pueden alcanzar grandes longitudes.

Acto seguido se procederá a ejecutar un reconocimiento terrestre mediante el cual el Proyectista analizará cada uno de los tramos así definidos, a fin de establecer el posible emplazamiento del eje entre puntos de control contiguos, buscando el recorrido menor, si el trazado no está controlado por la pendiente, y/o tratando de conciliar una mayor longitud con el uso de pendientes aceptables, si es el caso de trazados con control de pendiente.

Cuando se aprecien controles negativos o positivos en esta primera etapa tentativa, se modificarán los rumbos elegidos, desviándolos convenientemente para eludir los aspectos negativos o aprovechar los positivos. Una sucesión de tentativas llevará al Proyectista a definir una o más rutas o corredores.

Durante los reconocimientos de terreno el proyectista debería apoyarse utilizando instrumental ligero, como eclímetro, altímetro, brújula, telémetro, GPS portátil (navegador) etc., eventualmente convendrá dejar marcas o señales que permitan apreciar la continuidad del eje tentativo.

Definidos él o los corredores se procederá a ejecutar un Levantamiento Aerofotogramétrico a escala intermedia (1:5.000 ó 1:10.000), según la escala de la fotografía aérea disponible. Las características de estas restitutiones se describen en general en el Numeral 2.802.303 y su especificación técnica en el Tópico 2.304.3. Basándose en este levantamiento se procederá a iniciar el estudio de los Anteproyectos Preliminares que corresponda.

2.801.204(2) Trazado de Líneas de Pendiente. Al analizar el emplazamiento de un trazado sobre terrenos que presentan pendientes de alguna consideración, es posible que este factor pase a constituir el control geomorfológico principal. Es decir, la posición del eje quedará supeditada a aquellos emplazamientos que permitan salvar el desnivel existente entre dos puntos fijos del trazado, sin superar los valores de norma, (pendiente máxima según categoría, longitud máxima en pendiente sostenida, etc. (véase Tópico 3.204.3).

Se denominará Línea de Pendiente a la línea poligonal que se desarrolla por la superficie del terreno, (sin considerar cortes ni terraplenes), y que permite unir dos puntos mediante una pendiente sostenida. Obviamente, el desarrollo necesario para salvar un desnivel dado será inversamente proporcional a la magnitud de la pendiente utilizada.

El punto inicial para trazar una línea de pendiente será, siempre, aquel punto inamovible en cota determinado por condiciones de terreno. Puede tratarse de un punto de cota máxima, como en el caso de los portezuelos, o de un punto de cota mínima, como por ejemplo la rasante de un puente ubicado en el sector bajo de una quebrada.

Las líneas de pendiente pueden trazarse sobre un plano con curvas de nivel, o bien materializarse directamente en terreno y con su auxilio podrán estudiarse las características del eje en planta que se asocia a la ruta que ellas determinan.

a) Trazado de Líneas de Pendiente sobre un Plano. Dada la equidistancia de curvas de nivel del plano (ECN), el valor del denominador de la escala horizontal del plano (DEH) y la magnitud que se desea tenga la línea de pendiente, (i); se calculará la longitud que debe tener un trazo elemental (Le) de línea de pendiente, entre dos curvas de nivel sucesivas, aplicando la expresión siguiente:

$$Le \text{ (cm)} = \frac{ECN \text{ (m)}}{(DEH) \times (i)} \times 100$$

Ejemplo: Plano 1:2000

ECN = 2,0 m; DEH = 2.000m ; i = 0,05

Le (cm) = [2/(2000 x 0,05)] x 100 = 2 cm

El valor de L_e se fija en un compás de puntas secas y, a partir del punto inicial, se va aplicando para encontrar el punto siguiente, que se sitúa sobre la próxima curva de nivel que posea la equidistancia considerada. Se marca el punto de corte y se continúa el proceso. Finalmente, se unen los puntos determinando la línea de pendiente propiamente tal [véase ejemplo en Lámina 2.801.403(7).A].

Si al alcanzar la zona del punto final, la línea de pendiente presenta una ubicación o cota distinta de la deseada, se repetirá el proceso con una magnitud de pendiente mayor o menor según sea el caso.

Determinada una línea de pendiente que cumpla con cierta holgura las exigencias de diseño, se procederá a trazar el eje en planta de manera que sea envolvente a ella, cuidando de desplazarlo en aquellos sectores en que la fuerte inclinación de la ladera no permita terraplenes, a fin de emplazar la plataforma enteramente en corte o, cuando no exista esta limitación, desplazándolo para buscar una razonable compensación de tierras.

Es posible que, si el terreno está compuesto de quebradas y puntillas, el eje deba separarse continuamente de la línea de pendiente, sin dejar de ser envolvente a ella, dando origen a sucesivos cortes y terraplenes. Si esta es la situación deberá verificarse, una vez colocado el eje, si la pendiente adoptada es aplicable, pues se ha producido una diferencia en el desarrollo del camino que puede llevar al extremo de sobrepasar la pendiente máxima permitida. Para hacer la corrección se repetirá la operación, variando la pendiente de trabajo, hasta obtener el resultado deseado. Estas repeticiones se pueden evitar o minimizar adoptando, desde un comienzo y como prevención de la disminución de desarrollo, pendientes menores que los máximos admisibles.

b) Trazado de Líneas de Pendiente en la Pantalla del Computador. Si se cuenta con un modelo digital del terreno, es posible trazar líneas de pendiente en la pantalla del computador creando un vector cuya magnitud será igual a " L_e ", que permite avanzar intersectando curvas de nivel consecutivas.

El procedimiento, las precauciones y correcciones por realizar son similares a las descritas en a) para trazado de líneas de pendiente sobre un plano.

c) Trazado de Líneas de Pendiente en Terreno. Si no se posee un plano o carta de escala adecuada para analizar si la pendiente constituye el control principal, se deberá proceder, en la etapa de reconocimiento, a trazar líneas de pendiente en terreno.

En esta etapa la línea preliminar de pendiente, asociada a la poligonal de reconocimiento, puede determinarse con un eclímetro.

Si la línea de pendiente sigue laderas cuyas sinuosidades en planta son iguales o mayores que el radio mínimo que permiten las normas, la línea señalará la rasante que tendrá el camino, (borde de la plataforma cuando se desea evitar el derrame de terraplenes, o eje en caso de un perfil mixto). En estos casos la pendiente de la rasante queda dada por la pendiente fijada en el eclímetro.

Por el contrario, si las laderas están conformadas por quebradas profundas y puntillas agudas, debe tomarse la precaución de rebajar la pendiente que se fija en el eclímetro en un valor conservador, que compense el acortamiento que se producirá debido a la geometría del eje. En estos casos suele ser aconsejable establecer una línea de pendiente taquimétrica, a fin de localizar con mayor precisión la faja de terreno por levantar para el estudio de anteproyecto.

2.801.204(3) Perfiles del Terreno. Para estudiar tridimensionalmente el trazado preliminar a partir de levantamientos aerofotogramétricos de escala intermedia, o bien un eje a nivel de anteproyecto sobre levantamientos topográficos, será necesario obtener, del plano, el perfil longitudinal que genera la intersección del terreno con la superficie de generatrices verticales que contiene al eje en planta. A continuación se obtendrán perfiles transversales a dicho eje, de una longitud suficiente como para analizar el emplazamiento de la plataforma del camino y los taludes de corte y/o terraplén que ella genera.

Obviamente, para poder proceder a las operaciones mencionadas es necesario contar ya con un primer eje en planta, que habrá sido trazado con la ayuda de líneas de pendiente, cuando fuere el caso.

a) Obtención del Perfil Longitudinal del Terreno. Si la información se obtiene a partir de un eje proyectado sobre una carta o plano topográfico, las cotas se aproximarán a un décimo del intervalo de las curvas de nivel y las distancias acumuladas cada 50 ó 100 m en cartas pequeñas escala y cada 20 ó 40 m en planos de escala intermedia, salvo que éstas sean calculadas analíticamente, (puntos de tangencia). Según sean el nivel del estudio y la escala del plano disponible, se extraerán todos los puntos necesarios para representar el terreno con la fidelidad requerida. En todo caso deben tomarse todos los puntos singulares que determinan cambios bruscos en la pendiente del terreno. La información así obtenida se irá registrando de manera tal que permita, posteriormente, representar gráficamente el perfil longitudinal o línea de terreno.

Las exigencias y tolerancias asociadas a un perfil longitudinal nivelado en terreno se establecen en el Numeral 2.304.502.

Con las cotas de terreno como ordenadas y las distancias acumuladas como abscisas, se confeccionará un gráfico que será la línea de terreno del eje proyectado. La escala horizontal por utilizar será, por lo general, la misma del plano topográfico. La escala vertical será 10 veces mayor que la horizontal, para resaltar los desniveles del terreno.

En la actualidad este proceso se ejecuta computacionalmente si se cuenta con un modelo digital del terreno, si se ha definido previamente el eje del trazado, y se posee su programa para tal fin.

Si el perfil representa un eje nivelado sobre un pavimento existente y se pretende utilizar éste como parte del diseño del nuevo pavimento, las cotas se expresarán al milímetro y la escala vertical será hasta 100 veces mayor que la escala horizontal utilizada. Todo ello, si lo que se pretende es trazar una subrasante de repavimentación, envolvente a la superficie del pavimento existente. Si se cuenta con un programa computacional esta operación se facilita, pues es posible obtener la cota de subrasante mínima considerando el perfil tipo y los bordes del pavimento existente.

La información numérica por incluir en los planos y la forma de presentación se detalla en el Numeral 2.902.303.

b) Obtención de los Perfiles Transversales del Terreno. Los perfiles transversales se obtendrán para cada punto acotado en el perfil longitudinal de terreno. Se registrará la distancia longitudinal acumulada y la cota del terreno en el eje, así como las distancias a su izquierda y derecha, normales a éste para sectores en recta y radiales en zonas de curva, hasta un ancho suficiente como para emplazar la plataforma y los taludes respectivos.

Si la información proviene de perfiles transversales nivelados geoméricamente, con taquímetros o estación total, los registros estarán contenidos en las libretas respectivas, las que deberán incluir, para evitar equívocos, un croquis del perfil con puntos numerados. En el caso de la estación total se emplearán preferentemente archivos digitales, identificando los puntos singulares mediante un código adecuado.

Los perfiles transversales se dibujarán a escalas que dependen del nivel del estudio, del método de cubicación por emplear y, eventualmente, de la conformación del terreno. En anteproyectos avanzados de la metodología EDEP o en estudios definitivos, y si la cubicación se ejecuta por métodos gráficos, la escala por emplear será 1:100. Para cubicaciones computacionales los PT se presentarán en escala 1:200.

En estudios preliminares o en anteproyectos en que el terreno da origen a perfiles de gran tamaño, o bien cuando se cubica por métodos analíticos, (computación), los perfiles transversales podrán dibujarse a escala 1:500 ó 1:200 (Ver 2.902.305), ya que pasan a ser sólo figuras ilustrativas, puesto que los informes computacionales entregan tanto los datos numéricos como la cubicación analítica.

Cuando el trazado sigue un camino pavimentado puede ser conveniente aumentar la escala vertical a 1:20, para apreciar detalles en alzado.

2.801.3 CRITERIOS GENERALES RELATIVOS A LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

Los procedimientos generales de levantamiento para la confección de planos topográficos, (en base a Estación Total y/o Fotogrametría), se presentan en la Sección 2.304. La selección de la escala del plano requerido, dependerá del nivel del estudio (E. Preliminar, Anteproyecto o Estudio Definitivo) y, en algunos casos, del tipo de terreno y número de alternativas.

El levantamiento del terreno debe ejecutarse teniendo siempre presente que está destinado a proyectar un camino. En otras palabras, los puntos del levantamiento se deberán tomar para un fin asociado con las necesidades de información que requiere cada aspecto del estudio. Se deberá actuar metódicamente para no omitir puntos de terreno que pudieran ser indispensables para definir un cauce, o para proyectar un empalme o para ubicar una estructura, como ejemplos de una variedad mucho mayor de casos posibles. Más aun, cuando se elabora un modelo digital del terreno la definición de las líneas que establecen fronteras entre las que el programa computacional no debe efectuar interpolaciones, (también llamadas "líneas de quiebre"), resulta indispensables para obtener una representación verdadera del terreno.

En cada estación de levantamiento se dibujará un croquis del área por levantar con la ubicación aproximada de los puntos en el terreno. Cada punto se identificará con un código y un número. En el croquis también se dibujará la planimetría, lo que será de gran ayuda para dibujar correctamente el plano topográfico, o bien revisar el modelo digital elaborado computacionalmente.

La cantidad de puntos por levantar dependerá: de la escala del plano, del tipo de relieve por representar y de la cantidad de detalles planimétricos. En la Sección 2.304, numerales relativos a "Tolerancia de los Puntos de Relleno", (según las respectivas escalas de plano), se menciona un valor de referencia para la cantidad de puntos por hectárea.

En terrenos muy planos el proyectista adoptará la precaución de localizar bajos, hondonadas o cauces a los cuales evacuar las aguas de los fosos que, normalmente, se proyectan en tales casos. El levantamiento deberá extenderse hasta esos puntos para facilitar el diseño de fosos de salida, aunque se localicen a considerable distancia del trazado.

En terrenos montañosos se tendrá especial cuidado que el levantamiento identifique, localice y circunde las superficies de terreno afectadas por rodados, rocas sueltas, zonas de deslizamientos potenciales, etc.

En los puntos conflictivos del trazado el dibujo del levantamiento puede requerir una escala ampliada, por lo que la densidad de los puntos por tomar en esos sectores deberá ser consecuente con tal situación.

Cumplido con el "barrido" general que permita representar el relieve, se procederá a levantar los puntos singulares para reproducir la planimetría del terreno, como por ejemplo: cercos, caminos, casas, canales, acequias, cauces, etc., debidamente calificados y numerados y, en lo posible, registrados en una libreta electrónica para un fácil traspaso al archivo computacional.

Cuando el levantamiento incluya alcantarillas y/o estructuras, se tomarán cotas de fondo y de coronamiento y sus dimensiones, medidas a huincha. Estas estructuras se dibujarán en croquis separados del principal, de tal manera que sirvan para reproducirlas en un plano de detalle, que permitirá apreciar la posibilidad de aprovechamiento y/o alargamiento, si así conviene.

Cuando se localicen yacimientos de materiales de empréstito, se hará un levantamiento del área que servirá para una eventual cubicación y/o para el pago de derechos. Se indicará claramente la accesibilidad y la distancia al trazado.

2.801.4 TRAZADO DE EJES EN PLANTA Y RASANTE

2.801.401 Aspectos Generales. Como ya se ha visto en los tópicos anteriores, el proceso de trazado de una carretera o camino implica una concepción tridimensional, que se realimenta con la información obtenida de los planos de planta perfil longitudinal y transversales. No obstante ello, el punto de partida será siempre el trazado en planta,

Todas las operaciones para definir el eje en planta y alzado que se exponen en este tópico pueden ser realizadas mediante programas computacionales de diseño, siempre que se cuente con un modelo digital del terreno.

Aún cuando los ejes y las rasantes pueden definirse en pantalla, es aconsejable editar el plano de terreno y estudiar sobre él un eje en planta, como primer intento de solución de trazado. Asimismo, es conveniente estudiar una rasante sobre un plano del perfil longitudinal, para realizar posteriormente los afinamientos en pantalla, visualizando la posición de la plataforma en las secciones transversales para luego obtener las cubicaciones de tierras correspondiente, lo que permitirá optimizar la solución.

El estudio del trazado asistido por computación no reemplaza los principios técnicos que se describen en el tópico, los que siguen siendo válidos y los proyectistas deben considerarlos y aplicar su experiencia y buen criterio utilizando los procedimientos sistemáticos recomendados.

Se distinguen en los próximos párrafos los casos de trazados preliminares, (identificación de rutas), sobre cartas de pequeña escala, generalmente cartas IGM 1:25.000 ó 1:50.000, y los trazados a nivel de anteproyecto preliminar o anteproyecto propiamente tal sobre planos a escala intermedia (1:5.000 ó 1:10.000), o escala grande (1:1.000 ó 1:2.000).

2.801.402 Trazados sobre Cartas de Escala Pequeña.

2.801.402(1) Objetivos y Alcances. Generalmente los trazados efectuados sobre cartas que entregan poca precisión en los detalles y cotas tienen el carácter de tentativos, y su finalidad es identificar rutas o corredores, sirviendo de base para los reconocimientos y anteproyectos. Eventualmente, permiten realizar estimaciones preliminares de costos de construcción.

2.801.402(2) Trazados en Terrenos Planos. Después de fijar los puntos de control primarios se trazarán líneas que constituyan el recorrido menor entre puntos de control contiguos. Este trazado tentativo podrá alterarse en consideración a situaciones tales como: posición adecuada para el cruce de cursos de agua, caminos, vías férreas, etc., evitar daños

mayores en las explotaciones agrícolas, procurando que el eje se acerque a los deslindes de potreros, evitar su coincidencia con postaciones u otros servicios públicos, eludir construcciones y estructuras de valor, etc. Los aspectos señalados pueden ser considerados, a su vez, puntos de control menores, que definirán la localización de las rectas y las curvas constitutivas del trazado con bastante aproximación. Se deberá tener presente que al término de rectas, cuyo desarrollo supere los 400 m, no se podrán emplear los radios mínimos asociados a la Velocidad de Proyecto considerada, lo que constituye un control geométrico [véase Numeral 3.203.302(1) del MC-V3].

2.801.402(3) Trazados en Terrenos Ondulados. Adicionalmente a lo considerado para terrenos planos, el trazado del eje sobre terrenos ondulados debe procurar no cortar de frente cada lomaje, sino tratar de tomarlos ligeramente sesgados, lo que producirá un eje razonablemente ondulado, tanto en horizontal como en vertical. En esta etapa del trabajo no se estudiará la concordancia de las curvas verticales con las horizontales, pero el proyectista tratará de tenerla presente en líneas generales. Cuando un camino existente posee demasiadas curvas, es posible realizar una razonable rectificación con un eje envolvente.

2.801.402(4) Trazados en Terrenos Montañosos. Se fijarán sobre la carta los puntos de control y se verificará la pendiente resultante entre cada uno de ellos.

Cuando la pendiente resultante sea menor que la máxima, se trazarán líneas que aprovechen las condiciones más favorables del terreno, como por ejemplo: valles o pie de ladera, laderas suaves, mesetas, etc.

Cuando el desnivel entre dos puntos de control genera pendientes mayores que la máxima permitida al tipo de camino en proyecto, se estudiarán recorridos que alarguen artificialmente el desarrollo, a fin de unir ambos puntos mediante un trazado de acuerdo a las normas de diseño. El procedimiento para lograr este objetivo, Líneas de Pendiente, fue descrito en 2.801.204 (2). Posiblemente deberán trazarse líneas de pendiente entre diversos puntos de control secundarios, tales como: laderas favorables, terrazas, nacimientos de quebradas, etc., y las que eludan farallones, quebradas profundas, rodados, laderas inestables, zonas de avalancha, etc.

2.801.402(5) Afinamiento del Eje. El eje impuesto en la primera tentativa estará constituido por líneas rectas y por curvas trazadas con cerchas adecuadas a la escala del plano. Las distancias se medirán directamente con escalímetro o con compás de puntas secas, marcándose la distancia acumulada cada 1.000 m, o menos si se estima conveniente. En este nivel del estudio se omitirán las curvas de enlace, puesto que la escala del plano es insuficiente para ello.

Se seleccionarán puntos relevantes del eje, distanciados entre 50 y 100 metros, para preparar los perfiles longitudinal y los perfiles transversales (2.801.204 (3)), que permitan verificar las características de la rasante asociada, así como el emplazamiento de la plataforma en el terreno circundante. El procedimiento para fijar rasantes se trata en 2.801.403 (5).

El eje se modificará toda vez que: la rasante presente pendientes fuera de norma, los cortes y terraplenes sean excesivamente altos, se aprecie alguna otra situación particular factible de corregir con los antecedentes disponibles. En caso que los antecedentes no fueran suficientes, la zona deberá estudiarse detenidamente durante el reconocimiento de terreno.

2.801.402(6) Cartas Digitales de Pequeña Escala. Tal como se dijo en los Numerales 2.005.401(2) y (3), el Instituto Geográfico Militar posee en la actualidad cartas Digitalizadas en escala 1:50.000, basadas en foto aérea del año 1997/98, de parte importante del territorio nacional. Esta versión que a la fecha de edición de este Volumen aún no está disponible en cartas impresas, tiene la ventaja de estar actualizada en cuanto a los detalles planimétricos y permitir un tratamiento digital de la misma. No obstante dichas ventajas, se advierte que la precisión de la carta corresponde al 1:50.000 y a la equidistancia de las curvas de nivel que en ella figuran, en consecuencia, no se puede pretender producir a partir de ella mediante ampliación un plano escala intermedia (1:5.000 ó 1:10.000) como los citados en diversos numerales de esta edición. Como máximo, y sólo para fines gráficos ilustrativos, se podrá presentar un plano en escala 1:20.000, sin intercalar curvas de nivel intermedias y siempre dejando una nota en el plano, aclarando la procedencia del mismo y la precisión que le corresponde.

2.801.403 Trazados sobre Levantamientos Topográficos o Aerofotogramétricos.

2.801.403(1) Objetivos y Alcances. En la etapa estudio preliminar o de anteproyecto se trabajará, normalmente, sobre planos de escala 1:5.000 (1:10.000) y mayores. Una excelente escala de anteproyecto es la 1:2.000.

Los numerales siguientes describen el grado de detalle que se debe alcanzar en un anteproyecto para establecer el eje en planta, considerando como válido todo lo dicho para el caso de identificación de rutas sobre cartas de pequeña escala. En el Numeral 2.801.403(5), se describe el proceso para estudiar la rasante asociada a un eje en planta, información

que resulta indispensable para definir el eje final, ya sea a nivel de anteproyecto o de proyecto definitivo. Además, como se explicitó en 2.801.401, el proceso también puede ser realizado computacionalmente.

La consideración de las normas relativas a la relación entre curvas horizontales consecutivas (3.203.304) y las recomendaciones de Diseño Espacial (3.205.3) deben tenerse presente desde el inicio del estudio. Obviamente la consideración y criterios que aquí se exponen deberán conjugarse con las Normas de Diseño y criterios específicos contenidos en los Capítulos 3.100 al 3.500 del MC-V3.

2.801.403(2) Trazado en Planta en Terrenos Planos. Se identifican sobre el plano los puntos de control, incluyendo los de tipo secundario. Por ejemplo, si existen cercos, canales, postaciones, edificaciones y estructuras, se medirán en el plano las distancias que correspondan al ancho de la faja vial, para localizar el eje a la distancia mínima deseable de dichos controles menores. Las rectas y curvas se deben trazar de modo de evitar interferencias, pero cuidando de no exagerar el sometimiento a ellos cuando esto obliga a apartarse excesivamente del rumbo general. En tales casos, y siempre que sea posible, se colocará el eje paralelo a los controles, cuando éstos siguen una dirección sensiblemente igual a la del camino en proyecto.

El proyectista partirá de la base de que el trazado más corto entre dos puntos de control es la solución más favorable. Con posterioridad considerará la longitud de las rectas resultantes, a fin de no sobrepasar las longitudes máximas que se señalan en 3.203.202 y respetar la magnitud de los radios en los extremos de la recta según 3.203.302(1). No obstante lo favorable del relieve, en la mayoría de los casos será necesario, y muchas veces conveniente, considerar deflexiones, en lo posible de más de 10°, enlazadas por radios amplios, que permitan salvar obstáculos puntuales, cruzar un curso de agua o camino en ángulo favorable, etc., todo ello, orientado a lograr una mayor seguridad en la operación o a obtener un menor costo de construcción y/o conservación.

Aún cuando en terrenos planos no hay controles en el aspecto vertical, el proyectista deberá preocuparse de verificar los desniveles que irá cubriendo el trazado, para tener una idea clara de los problemas de drenaje que pudieran generarse.

En terrenos planos el uso de elementos de planta y alzado correspondientes a los valores mínimos fijados por la norma, estará prácticamente prohibido, salvo que exista un tramo inevitable, de características claramente inferiores al resto, en el cual éstos sean alcanzados paulatinamente en ambos sentidos de circulación.

2.801.403(3) Trazado en Planta en Terrenos Ondulados. Una vez fijados los puntos de control principales, entre los que posiblemente se encuentren algunos que afecten el alzado del camino, como colinas de regular altura o quebradas de cierta profundidad, que influirán sobre el trazado, pero que no constituyen propiamente controles de pendiente, se trazará el eje proyectándolo en forma sesgada con relación a las curvas de nivel. Según sea la categoría del camino las inflexiones del eje serán más o menos pronunciadas. Es decir, para cruzar una quebrada con el trazado de un camino primario la inflexión será leve, tanto en planta como en alzado; por el contrario, si el proyecto es para un camino de desarrollo, la inflexión será tan aguda como lo permitan los radios mínimos que se aplicarán en los bordes y en el fondo de la quebrada, introduciendo pendientes mayores de bajada y subida. El proyectista deberá considerar que existe toda una gama de soluciones según sea la importancia del camino en estudio.

Al trazar un eje en planta sobre terrenos de lomajes, se seguirán las sinuosidades del terreno en correspondencia con una rasante levemente ondulada, procurando ajustarse a las instrucciones que se imparten en 3.205, relativas al diseño espacial de la carretera, materia que en los terrenos ondulados adquiere una relevancia significativa.

Posiblemente en estos casos el empleo de algunos elementos mínimos de norma resultará inevitable, no obstante lo cual se deberá cumplir con las normas de trazado relacional entre curvas consecutivas, introduciendo los elementos mínimos dentro de un conjunto paulatinamente descendente en cuanto a sus características.

2.801.403(4) Trazado en Planta en Terrenos Montañosos. Los puntos de control ubicados en el plano servirán de guía para fijar la pendiente general que se aplicará al trazado. Una primera tentativa de emplazamiento se logrará mediante recorridos sobre el plano, utilizando el procedimiento de líneas de pendiente descrito en 2.801.204 (2).

Cumplido con lo anterior, se estudiará la posibilidad de escalonar la pendiente, acentuándola o disminuyéndola por tramos, para que la línea de pendiente siga por los terrenos que sean los más favorables de acuerdo con la topografía o conformación geológica o, por el contrario, para evitar o rodear obstáculos como riscos, acantilados, zonas de deslizamiento, etc.

Cuando la pendiente general que resulte entre dos puntos de control sea mayor que la máxima permitida por norma, deberá estudiarse un desarrollo artificial de mayor longitud, para permitir que la pendiente no sobrepase el límite aceptable. Generalmente esta situación habrá sido considerada al hacer el levantamiento del plano, tomando una

faja de terreno que seguirá, aproximadamente, el desarrollo que se requiere para cumplir con la pendiente. Sin embargo, puede ocurrir que el proyectista deba trabajar sobre láminas que cubren grandes áreas, en cuyo caso se debe proceder a estudiar alternativas de trazado que cumplan con las longitudes que se necesitan para aplicar pendientes permitidas.

En los casos extremos, en que se llegue a requerir de curvas de retorno para salvar un desnivel importante (Ver 3.203.504), deberá estudiarse cuidadosamente la zona para buscar su mejor emplazamiento, a fin de que no se produzcan cortes o derrames excesivos, procurando, además, limitar la pendiente en la zona de la curva, la que poseerá, normalmente, un radio cercano al mínimo aceptable en estos casos.

Al examinar el resultado de las líneas de pendiente es posible que, haciendo correcciones y/o escalonando las pendientes, pueda optimizarse aún más la localización del eje. Se procede entonces a trazar el conjunto de rectas y curvas envolventes a la línea de pendiente seleccionada, dando origen al primer eje tentativo, el que deberá verificarse mediante el estudio de rasante y emplazamiento de la plataforma, según se expone en el próximo numeral. La primera tentativa de rasante requiere establecer distancias acumuladas a lo largo del eje y la obtención del perfil de terreno y perfiles transversales representativos [2.801.204 (3)]. Hoy en día, mediante los programas de diseño automatizados, resulta fácil obtener las cubicaciones de cada alternativa y compararlas desde el punto de vista costos, lo que permitirá controlar las alturas de cortes y terraplenes, que al ser exagerados redundarán en problemas de estabilidad y costos de conservación futuros.

En los trazados montañosos el conductor estará consciente de las limitaciones que impone el terreno y, consecuentemente, se podrán emplear los elementos mínimos señalados por la norma para la Velocidad de Proyecto asignada al sector. El trazado relacional y el trazado espacial serán más difíciles de implementar con todas sus exigencias, por lo tanto el diseño de la señalización debe tender a suplirlos.

2.801.403(5) Trazado de la Rasante. La rasante de una carretera queda determinada por las cotas que adoptan, en definitiva, los diversos puntos que determinan el eje en planta de la carretera. La representación gráfica de este eje en alzado recibe el nombre de perfil longitudinal de proyecto o rasante, considerando la plataforma a nivel de pavimento o capa de rodadura terminada (véanse Tópicos 3.204.1 y 3.204.2)

El perfil longitudinal de proyecto queda representado por líneas rectas de distinta pendiente, en magnitud y sentido, las que se enlazan mediante curvas verticales que corresponden a parábolas de segundo grado (Ver 3.204.4).

El trazado de la rasante debe considerar diversos aspectos generales que se describen a continuación.

Se procurará balancear los volúmenes de cortes y terraplenes, tratando de que las superficies de los cortes sean algo mayores que las de los terraplenes, para compensar el menor volumen que se obtendrá de ellos, en razón de materiales no aprovechables o por la sobrecompactación a que se someterá el material en los terraplenes.

Se deberá tener presente, para la posible compensación de tierras, aquellos suelos de mala calidad que no sean aptos para ser empleados en terraplenes. Asimismo, si el corte se debe ejecutar en roca, lo aconsejable es disminuir la excavación a costa de aumentar los terraplenes, cuyo material se obtendrá de yacimientos apropiados si no existe compensación.

Si el terreno es plano, la rasante deberá discurrir normalmente en terraplén, considerando alturas que serán función de la calidad del terreno natural y de las características de drenaje del área. Las pendientes mínimas de diseño deben considerar los problemas de saneamiento de la plataforma, en especial en zonas de corte, para posibilitar el escurrimiento en cunetas y obras afines (véase Numeral 3.204.302).

Las rasantes en ladera, que se asocian a terrenos ondulados o montañosos, deberán estudiarse con la ayuda de perfiles transversales que, en el caso de ser obtenidos del plano topográfico, representarán con buena aproximación las irregularidades del terreno. Si la rasante corresponde a un estudio definitivo con estacado total, el estudio se basará en los perfiles transversales nivelados.

Cuando la ladera es suave y permite un perfil mixto con derrames moderados, la rasante se colocará siguiendo las cotas de terreno en el eje.

Los terrenos con laderas cuya inclinación sea similar o mayor que 2:3 (V:H), no permiten la construcción de terraplenes y, por lo tanto, la rasante debe proyectarse de modo que la plataforma quede totalmente en corte. En estos casos la cota de rasante queda dada por la intersección del borde exterior de la plataforma con el terreno de la ladera. Si ello no fuera posible, por la altura del corte que se genera, la única alternativa la constituye el uso de muros de contención

Si bien durante toda la etapa del estudio el Proyectista debe contar con la colaboración del especialista en geotecnia es, quizás, para el estudio de la rasante cuando se requiere de mayor información cualitativa y cuantitativa respecto de la estabilidad del terreno natural, ante los cortes que se requiere proyectar o las grandes masas de suelo por incorporar en forma de terraplén. Los Tópicos 2.506.102 y 2.506.103, resumen la profundidad de los estudios geotécnicos con que se deberá contar en los estudios a nivel de anteproyecto y estudio definitivo, respectivamente. La Sección 3.602 del MC-V3 presenta un resumen de los principales problemas que pueden presentarse durante el diseño de la infraestructura de una carretera.

En la Lámina 2.801.403(5).A se ilustra el proceso de aproximaciones sucesivas mediante el cual se fija la rasante en laderas conflictivas, según se describe a continuación.

Si la ladera no admite terraplenes, se busca en el perfil transversal de terreno, con una plantilla a escala de la plataforma, aquella posición que permita acomodarla en corte en su totalidad, lo que determina la posición límite de la plataforma (PT-0). En estos casos límites cabe hacer notar que la plataforma de subrasante, (sección del corte a nivel de movimiento de tierra), es más ancha que la plataforma terminada, ya que la existencia de cunetas, derrames de subbases y bases así lo requiere. Por lo tanto, al establecer la posición límite de la plataforma se deberá tener clara conciencia de este hecho y, en lo posible, considerar además una huelga adicional para precaverse de variaciones bruscas de la ladera entre perfil y perfil, terrenos sueltos, etc.

Si la ladera acepta terraplenes, se ubica la plantilla buscando la compensación transversal, haciendo coincidir el eje con el borde de la ladera (PT-100, PT-200).

Si la ladera presenta inclinaciones cercanas al 2:3, la plataforma se ubicará de modo que el eje quede en una posición intermedia (PT-50).

El PT-150 ilustra un caso límite en que, si se eleva más la cota de rasante, el pie del terraplén supera la zona de ladera suave.

Los puntos límites o deseables se traspasan al plano que contiene el perfil longitudinal de terreno y, a partir de ellos, se traza la rasante que cumpla con la condición de pendiente aceptable. Dicha rasante deberá pasar bajo todos los puntos límites o, como máximo, por algunos de ellos. Como puede observarse en el esquema, la posición deseable de la plataforma en el PT-50 no puede mantenerse, ya que generaría un quiebre inaceptable en la rasante o bien una pendiente superior a la admisible.

La plataforma de proyecto será colocada en los perfiles transversales cuando la rasante quede establecida en forma definitiva y se calculen sus cotas en los puntos del eje correspondientes a cada perfil transversal.

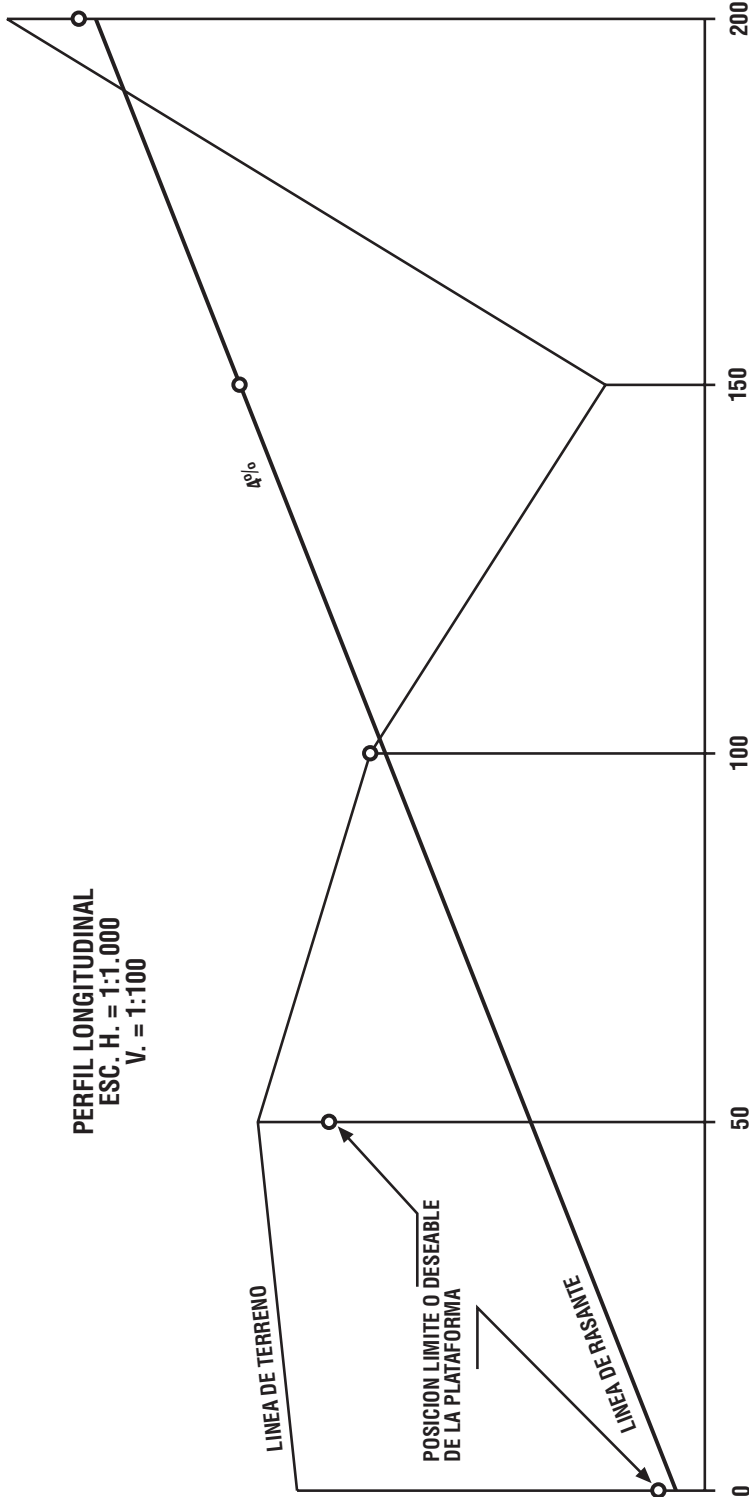
La plataforma podrá simplificarse si el nivel del estudio es en la etapa preliminar y/o anteproyecto, considerando sólo el ancho de las cunetas, pero obviando su forma, así como las pendientes transversales del bombeo y los peraltes en curvas, para no sobredimensionar la precisión del trabajo. Para el nivel de estudio definitivo la plataforma deberá considerar todos los factores mencionados, variando su forma con las cunetas, bombeo, peraltes, transiciones y ensanches que estipula la norma.

Los cambios de pendiente que fueren necesarios determinarán vértices, los que se procurará queden en puntos con distancia acumulada múltiplo de 10 metros. Asimismo, resulta muy conveniente que la pendiente sea un número exacto al primer o segundo decimal, lo que facilita los cálculos y evita discrepancias posteriores por redondeo.

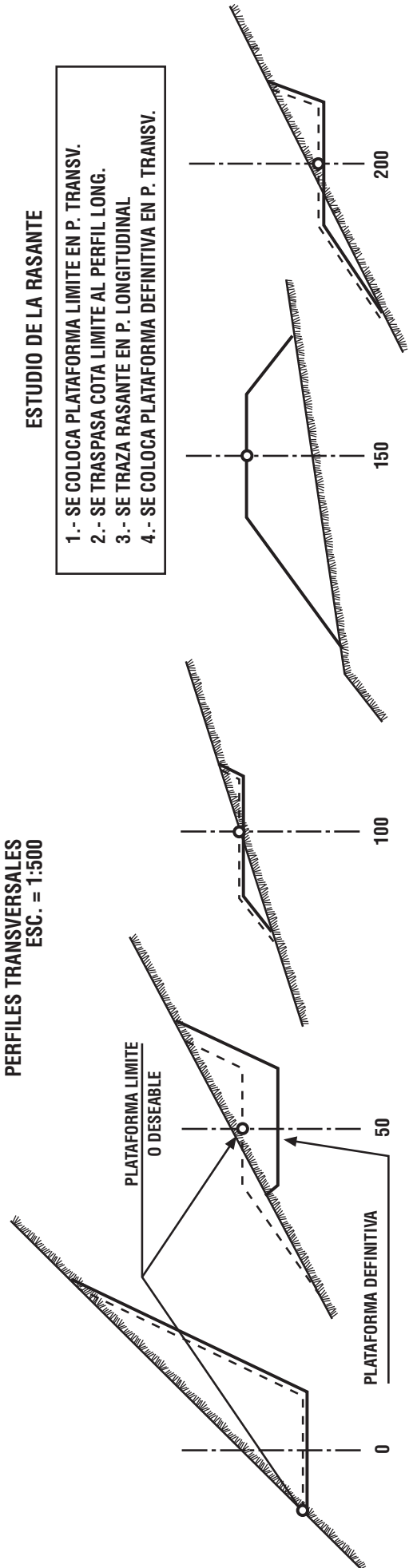
Las longitudes de las curvas verticales (2T), deberán ser múltiplos de 10 metros. Sólo en puntos obligados se aceptarán longitudes al metro o fraccionadas. Normalmente el parámetro de la curva vertical resultará fraccionado, debiendo expresarse con el número de decimales que se requieran para que el cálculo de cotas al centímetro resulte el correcto al redondear el resultado de las operaciones.

2.801.403(6) Afinamiento del Eje. El primer eje, al ser verificado en alzado mediante el estudio de la rasante que se le asocia, seguramente requerirá de alteraciones que pueden implicar: desplazamiento de algunos vértices, modificación de las curvas en planta, etc. Para esta nueva situación y con el conocimiento que ya se tiene de las características geomorfológicas del terreno, se procede en primer término, mediante tanteos y pruebas, a trazar las curvas circulares aceptables según norma, utilizando plantillas adecuadas, si se está trabajando sobre un plano, o mediante los procedimientos propios de cada programa computacional de diseño si se está trabajando en pantalla.

A continuación se delinearán las rectas, trazándolas tangentes a las curvas circulares. Cuando la categoría del camino impone el uso de curvas de enlace, las rectas no empalmarán directamente con las curvas circulares, sino



PERFILES TRANSVERSALES
ESC. = 1:500



que se trazarán por puntos desplazados en el valor de retranqueo que les corresponda (véase el Tópico 3.203.404), uniéndose, finalmente, con curvas de enlace.

En esta etapa se calcularán los peraltes asociados a las curvas verificando que, entre el final de una curva y el principio de la siguiente, exista el espacio suficiente para desarrollar las transiciones de peralte (3.203.305 y 3.203.405).

Es posible que la localización adecuada de las curvas y las rectas requiera de varios ensayos hasta lograr un todo armónico.

Una vez adoptado el nuevo eje, se determinarán las coordenadas de los vértices, midiéndolas directamente del plano mediante el escalímetro, calculándose luego las distancias entre vértices por diferencia de dichas coordenadas. Asimismo, se calcularán analíticamente los ángulos, tangentes y demás elementos asociados a las curvas circulares, clotoideas, etc. En seguida se medirán con el escalímetro puntos cada 20 m, los que se marcarán sobre el eje. Además, se determinará el kilometraje de puntos singulares que se estimen de interés para una mayor precisión del estudio. Las medidas con escalímetro se cerrarán en los puntos de tangencia que fueron determinados analíticamente, lo que evitará la acumulación de errores. Se obtendrán nuevamente las cotas de cada punto, tanto en el eje como transversalmente, para dibujar el nuevo perfil longitudinal de terreno y los respectivos perfiles transversales.

En los procesos computacionales de diseño todos los pasos descritos los ejecutará automáticamente el computador, con el consecuente aumento de la precisión y rapidez en el cálculo.

Mediante los procedimientos indicados en 2.801.403(5), se dibuja la nueva rasante de modo de lograr un balance óptimo entre la magnitud de las pendientes; la visibilidad en curvas verticales; la altura de cortes y terraplenes, considerando la necesidad de emplear escalonamiento de los cortes o muros de contención para los terraplenes, etc. Todo ello sin perder de vista los volúmenes de movimiento de tierras o roca involucrados, que incidirán fuertemente en los costos de construcción, y la compatibilización entre la planta y el alzado.

En caso que aparezcan situaciones indeseables se deberá volver una vez más al plano de planta, introduciendo las modificaciones que resulten ineludibles. Cualquier modificación en la planta obligará a rehacer buena parte del trabajo, a partir de la zona modificada en adelante. Para evitar un ciclo fatigoso de repeticiones, la etapa de afinamiento del eje deberá considerar, también, el emplazamiento del drenaje transversal de la carretera, el saneamiento de la plataforma, a estabilidad de cortes y terraplenes importantes y el emplazamiento de obras complementarias.

Los ensayos y pruebas para optimizar el eje en planta y alzado se proseguirán hasta que se considere que no hay posibilidades de un mejoramiento substancial del trazado. El diseño geométrico cumplirá con lo dispuesto en el MC-V3, Capítulos 3.200 y 3.300.

En la actualidad, con la disponibilidad de los programas de diseño automatizado, este proceso de afinamiento se efectúa con facilidad, pero debe ser el proyectista, quien aplicando todas las reglas de arte descritas, ordene las modificaciones y afinamientos requeridos, ya que el mero hecho de trabajar con el computador ni siquiera asegura un resultado final aceptable, debiendo siempre buscarse el óptimo.

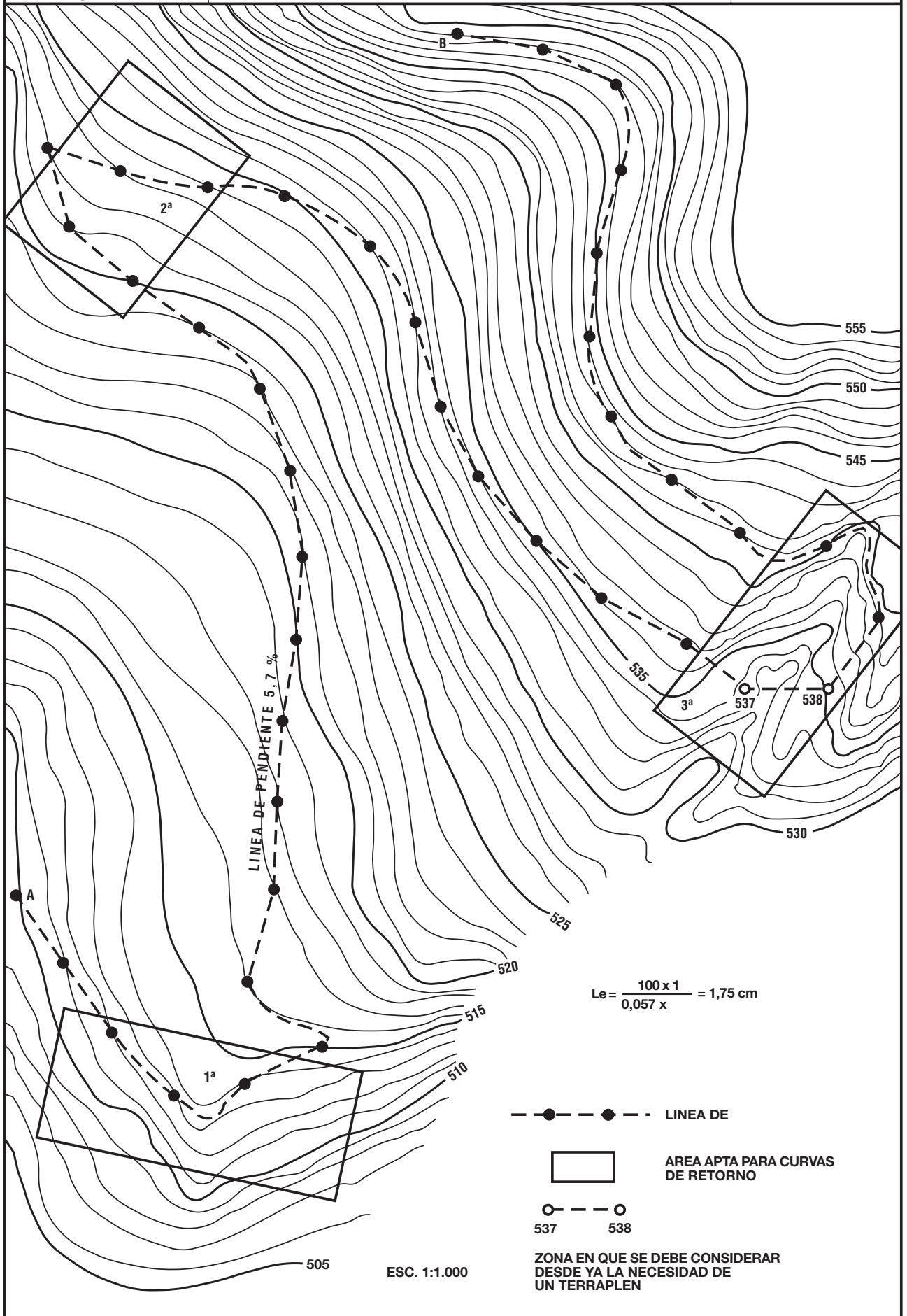
Cualquier transgresión a las normas deberá ser autorizada, expresamente, por la Dirección de Vialidad.

Los planos habituales correspondientes a los distintos niveles y metodologías de estudio se indican en las secciones correspondientes de este capítulo. Los formatos y el contenido gráfico y numérico de los planos se especifican en el Capítulo 2.900.

2.801.403(7) Ejemplo de Aplicación. En las Láminas 2.801.403(7).A y B se presenta un ejemplo de trazado con control de pendiente, en que el desnivel por salvar obliga a utilizar curvas de retorno.

Se deben unir los puntos A y B mediante un camino cuya pendiente máxima sea 6% [Lámina 2.801.403(7).A]. Resulta evidente la necesidad de un trazado con curvas de retorno, puesto que A tiene cota 510 m y B tiene cota 549, lo que implica un desnivel de 39 m. La distancia directa entre A y B es sólo de 200 m, produciéndose una pendiente media de 19,5% entre ambos puntos. Al calcular el desarrollo artificial que deberá tener el trazado para no sobrepasar el 6% permitido, se establece una longitud mínima de 650 m.

Se eligen las zonas que permitan emplazar las curvas de retorno, verificando que el desnivel entre ellas pueda ser salvado aplicando la pendiente máxima admisible. En la Lámina 2.801.403(7).A, estas zonas se indican mediante un rectángulo. Se procede a trazar una línea de pendiente abriendo el compás de puntas secas a 1,75 cm, de acuerdo con la expresión dada en 2.801.204(2) y adoptando 5,7% como pendiente de trabajo para prevenir posibles variaciones en la longitud al aplicar el trazado geométrico envolvente a la línea de pendiente.



La línea de pendiente se traza hasta el área delimitada por el primer rectángulo, en la cual se trata de intersectar las curvas de nivel con el menor ángulo posible, cambiando el sentido de avance de modo de producir el retorno del trazado hacia la zona demarcada por el rectángulo siguiente, y así sucesivamente. Cuando la amplitud del terreno lo permite el retorno se hace sin problemas y con muy poco movimiento de tierras, (primera zona favorable); si el retorno es estrecho o se hace cruzando quebradas, (segunda y tercera zonas favorables, respectivamente), se deben consultar terraplenes y cortes, como es el caso de la segunda curva, y terraplenes en ambos cruces de la quebrada para la tercera curva.

Obsérvese que la línea de pendiente para la tercera curva de retorno ha dejado dos puntos en el aire, correspondientes a las cotas 537 m y 538 m, previendo al proyectista que en ambas existirá un terraplén de 3 m de altura, cruzándose la quebrada con una altura de 4-5 m.

Cumplida la etapa de trazar la línea de pendiente, el trayecto que deberá seguir el eje de camino será envolvente a dicha línea, procediendo en primer término a trazar las curvas de retorno y luego los tramos entre ellas, tal como se ilustra en la Lámina 2.801.403(7).B. A continuación se marcan los hectómetros y los puntos relevantes para obtener cotas y secciones transversales en cada uno de ellos, con lo que se confeccionan perfiles para verificar las pendientes previstas y la posición de la plataforma y sus taludes, según se expuso en 2.801.403(5).

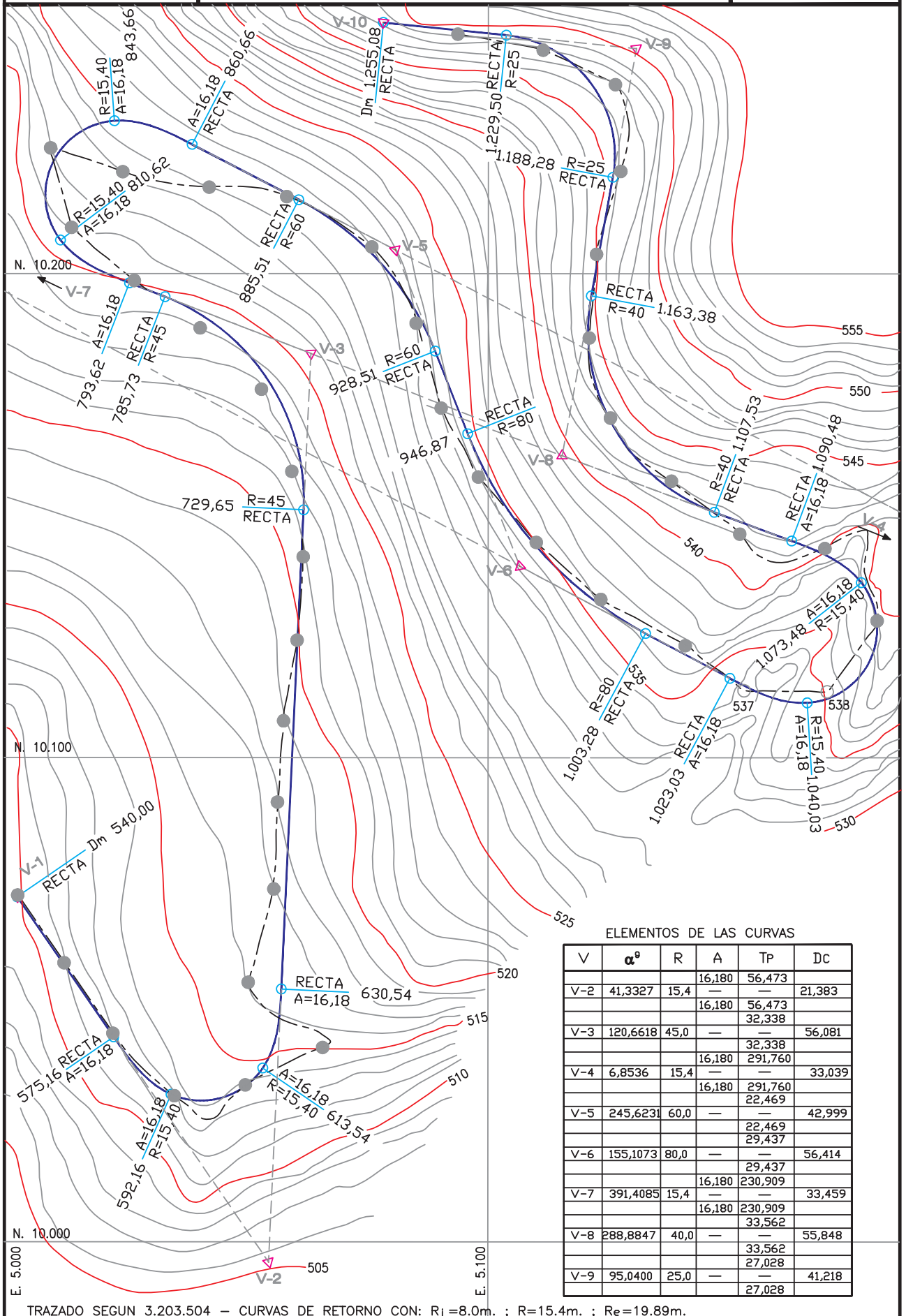
2.801.404 Trazado de Calzadas Unidireccionales. Según sean la categoría del proyecto y el relieve del terreno en que él se emplaza se pueden presentar varias alternativas, a saber:

Carreteras existentes de cuatro o más pistas con calzada única se pueden dar como caso extremo en caminos colectores, o bien en primarios en trazado montañoso, donde la incorporación de una separación central, (mediana), resulte de un costo prohibitivo. En estos casos el eje del proyecto será el eje de simetría de la calzada.

Carreteras unidireccionales en plataforma única, pero con calzadas separadas por una mediana, se consultarán siempre en autopistas y autorrutas, así como en trazados nuevos primarios y colectores en que la demanda justifique vías unidireccionales, siendo esto válido para todo tipo de terrenos (Ver 3.302.5). En el caso de laderas o terrenos ondulados, puede resultar ventajoso proyectarlas en plataformas independientes.

Si el proyecto consulta plataforma única, con calzadas separadas por una mediana, el eje se localizará en el centro de la mediana, repitiendo la cota de rasante en el borde interior de los pavimentos, que pasan a ser los ejes de giro del peralte. En esta situación el radio efectivo de la calzada exterior será algo mayor que el proyectado por la mediana, y el de la calzada interior será menor que aquel de la mediana, en consecuencia, el radio proyectado por la mediana debe incrementarse al menos en el valor de la distancia existente entre el eje de la mediana y el eje de la calzada interior, si se está empleando el radio mínimo de norma. En general, un radio mínimo incrementado en 10 m cumplirá adecuadamente para medianas de hasta 13 m de ancho.

Si las plataformas se proyectan independientes con el fin de adaptarse mejor al relieve del terreno y ganar, a la vez, en seguridad y comodidad de operación, (se minimiza el encandilamiento), deberán proyectarse dos ejes en planta con sus respectivas rasantes y perfiles transversales.



TRAZADO SEGUN 3.203.504 - CURVAS DE RETORNO CON: $R_i=8.0m.$; $R=15.4m.$; $R_e=19.89m.$

2.801.5 CARACTERIZACION DE MONOGRAFIAS EN PROYECTOS VIALES

2.801.501 Caracterización de Monografías en Proyectos Viales Interurbanos

Para ciertos estudios de Proyectos Viales se requiere efectuar monografías, siendo de gran utilización al efectuar estudios preliminares en Proyectos de Recuperación y Cambio de Estándar, según se indica en el numeral 2.803.202(2).

En los Términos de Referencia Especificos se deberán indicar las monografías a desarrollar, para lo cual se debe tener presente lo establecido en el numeral 2.803.202(2).

2.801.502 Caracterización de Monografías en Proyectos Viales Urbanos

En proyectos viales urbanos, las monografías más utilizadas son las referentes a: Semáforos y Señalización Vial Existente, Servicios Públicos, Pavimentos Existentes, y Monografías de Drenaje.

Para llevar a cabo las monografías solicitadas se balizará conforme a los procedimientos usualmente aceptados para proyectos de pavimentación. El sistema de balizado deberá garantizar la permanencia de las balizas en terreno, procurando demarcar el kilometraje de los caminos en elementos físicos existentes, como postaciones de servicios, muros de obras de arte, soleras no comprometidas por las obras del proyecto o monolitos instalados con este objetivo. En caso de ser necesario, el balizado se complementará con tablillas de madera. La demarcación del balizado será efectuada con pintura de calidad adecuada, sobre un fondo también pintado de color contrastante (fondo amarillo/letra negra)

Se aceptará que la baliza discrepe ± 3 m respecto del punto medido con el objeto de poder aprovechar elementos físicos existentes. Sin embargo, no se arrastrará el error cometido al asignar el kilometraje a una baliza en particular. Basándose en el balizado.

Las siguientes monografías deberán ser presentadas en un plano de planta desarrollado a escala 1:500.

2.801.502(1) Monografía de Semáforos y Señalización Vial Existente. Tiene por objeto determinar los semáforos y las señales existentes. Con la información obtenida, se podrán definir las nuevas señales del proyecto. Para cumplir estos objetivos, esta monografía deberá indicar:

Ubicación: Destacar particularmente en planos.

Tipo: Informativa, normativa, peligro, leyenda.

Dimensiones: Sólo señales informativas. Estado de Conservación (Buena, reparable, mala). Postes de sustentación (Cantidad y material).

Además, deberá indicarse la existencia de barreras de contención, paraderos de buses y demarcación horizontal.

2.801.502(2) Monografía de Servicios. El objetivo de esta Monografía es indicar la ubicación de todo Servicio Público que esté localizado dentro de la zona del proyecto. Para este efecto, se deberá incluir, redes de agua potable, alcantarillado de aguas servidas y aguas lluvias, cámaras, grifos, redes eléctricas, con su respectiva postación y tipo de luminarias, red telefónica, de gas, etc. y todo aquello que sea pertinente desatacar. Esta Monografía deberá contener:

Ubicación: Kilometraje y ubicación particular.

Estado: Si necesita reposición del servicio con toda el área circundante que afecta.

Esta monografía se presentará por separado según sea el servicio señalado con las respectivas planchetas de los Servicios y con un listado de ubicación, ya sea por kilometraje de cada eje o por coordenadas, en láminas a escala 1: 500.

Esta actividad deberá ejecutarse en completa coordinación con el Servicio respectivo con el objeto de tener la mayor certeza de la ubicación de las instalaciones. Para tal efecto, quién se encuentre realizando la monografía deberá dirigirse a la Administración de la Empresa correspondiente con el objeto de verificar los elementos existentes, y realizar las zanjas de exploración que corresponda o la detección de ductos con instrumental adecuado. El catastro resultante deberá ser visado por esa Administración y su Departamento de Estudios o equivalente

2.801.502(3) Monografía de Pavimento Existente. La Monografía de Pavimento deberá entregar, como mínimo la siguiente información:

Tipo de Pavimento y Aceras: Hormigón, asfalto, adoquines, adcretos, baldosas, etc.

Dimensiones: Espesor pavimento, espesor base, espesor sub-base, ancho de la plataforma del camino cada vez que se detecten variaciones significativas y se consignará el nivel de la rasante respecto del terreno circundante en aquellos sectores que puedan tener problemas de saneamiento.

Estado: Rugosidades, Índices de Serviciabilidad, Baches de Superficie, etc.(IRI).

Ubicación: Kilometraje de inicio y término de cada sector homogéneo y su longitud.

PR del proyecto: Ubicación y características de los puntos de referencia del proyecto.

Los datos de la Monografía de la calzada se resumirán en un plano general a escala 1:500. Cada cierto trecho se ejecutarán perforaciones que permitan establecer el espesor y características de la estructura existente en los tramos que el especialista considere como homogéneos. Se consignará el grado de estabilización de la calzada, materiales de la superficie de rodadura y su espesor. Estos antecedentes se presentarán adecuadamente en las monografías respectivas.

2.801.502(4) Monografía de Drenajes. Se consignará la información relacionada con obras de arte. Se indicará la ubicación, tipo, dimensiones de la sección transversal y estado general de las mismas.

Cuando se detecten obras de arte en mal estado o donde se prevea la necesidad de incorporar una obra nueva se tomará un perfil por el eje de la obra y eventualmente complementando con un croquis mostrando algunas características en planimetría. Se materializará un estación que sirva de amarre al sistema altimétrico local que se utilizará en el perfil. Estas monografías se harán en cuadros tipos especiales.

Deberá entregarse un listado con sección, sentido de escurrimiento y cualquier otro dato significativo en los que corresponde a fosos, canales, sumideros, cámaras, posibles puntos de evacuación o empalmes, etc.

SECCION 2.802 ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE NUEVOS TRAZADOS

2.802.1 ASPECTOS GENERALES

Los objetivos y alcances de este nivel de estudios fueron descritos en 2.102.2. La presente Sección está destinada a ampliar los conceptos, metodologías o procedimientos que allí se señalan y, por lo tanto, resulta indispensable que el usuario esté familiarizado con las materias expuestas en los tópicos citados. Se reitera que aún cuando para hacer más clara la exposición el enfoque está referido a Nuevos Trazados, la metodología será también aplicable a las variantes requeridas en proyectos de Recuperación o de Cambio de Estándar.

Para lograr los objetivos del Estudio Preliminar el Proyectista deberá compenetrarse a fondo de la geomorfología, hidrología, geología, vegetación, cultivos agrícolas, división de la propiedad, construcciones existentes, impactos medio ambientales y aspiraciones de la comunidad del área de influencia del camino, etc. Como puede observarse, los antecedentes son de variada naturaleza y no existe un procedimiento específico para evaluarlos y ponderarlos en su conjunto. Sólo cabe actuar en forma ordenada y sistemática y aplicar los procedimientos que se señalan más adelante, a fin de evaluar independientemente los distintos factores, para luego hacer un balance según la importancia que se asigne a cada uno de ellos. En consecuencia, esta etapa requiere de la participación de personal especializado que incorporará al estudio elementos de criterio y experiencia personal.

2.802.2 DEFINICION PRELIMINAR DE LAS CARACTERISTICAS Y PARAMETROS DE DISEÑO

La Dirección de Vialidad establecerá, normalmente en los Términos de Referencia del Estudio, ciertos Controles Primarios Obligados (2.801.201). Corresponde al proyectista, a partir de estos antecedentes, proponer las características específicas del proyecto cuyo estudio le ha sido encomendado; las que se irán afinando durante el transcurso del estudio mediante los aportes del Estudio de Prefactibilidad (Demanda y Rentabilidad) y del Diagnóstico Ambiental correspondiente.

El análisis debe iniciarse con la recolección de los antecedentes existentes (2.005), para luego, mediante un proceso de aproximaciones sucesivas, clasificarlos y ponderarlos de acuerdo con lo que se indica en el MC-V3, Secciones 3.101 y 3.102. En esta etapa debe darse especial consideración a la función asignada a la Carretera o Camino (3.102.2) y a la Demanda y Características del Tránsito (3.102.3). Este segundo aspecto deberá abordarse con el grado de detalle que se especifica en el Tomo II del MC-V1.

Con estos antecedentes, y tras un primer análisis de los Puntos de Control (2.801.203) que definen las características del entorno en que se emplazará la carretera, será posible establecer una proposición de la Categoría del Proyecto, haciendo uso de los conceptos, tablas y cuadros contenidos en la Sección 3.103 "Sistema de Clasificación Funcional para Diseño". Dicha proposición (Autopista... Colector... Desarrollo), incluirá una Velocidad de Proyecto y una Sección Transversal Tipo, que definirán los parámetros mínimos de diseño por considerar, según se resumen en las Tablas 3.201.5 A, B y C.

Esta definición inicial debe ser revisada una vez que se haya completado la Identificación de Rutas Posibles y durante la etapa de Anteproyecto, en especial ante la evidencia aportada por factores no detectados con anterioridad.

2.802.3 IDENTIFICACION DE RUTAS POSIBLES

2.802.301 Estudios de Gabinete. A la fecha de Edición de este Volumen, prácticamente la totalidad del territorio nacional está cubierto mediante la Carta Regular del IGM, escala 1:50.000 (2.005.4). La escala, si bien pequeña, permite iniciar el proceso de identificación de rutas, el que será complementado con el análisis de la fotografía aérea disponible y, posteriormente, mediante los reconocimientos de rigor. Esta carta fue preparada con fotografía aérea de los años 1961 a 1994, y en consecuencia puede existir a la fecha diferencia en los detalles planimétricos. También debe considerarse la Cartografía Digitalizada con fotografía del año 1997/98, que por ahora sólo cubre parcialmente el territorio nacional. El empleo de esta última deberá hacerse respetando las limitaciones expuestas en el Numeral 2.801.402(6).

El estudio de rutas posibles se iniciará marcando sobre la carta aquellos puntos extremos o zonas de emplazamiento definidos por la Dirección de Vialidad como Controles Primarios Obligados. Teniendo presente los Controles de Diseño que corresponden a la Categoría de la obra, establecidos según 2.802.2, se iniciará el estudio de los Puntos de Control según se expuso en 2.801.203. Este análisis se efectúa con la ayuda de la carta, de la foto aérea o de ortofotos y de otros antecedentes geológicos, hidrológicos, etc., que pudieran existir.

Una vez identificados y señalados sobre la carta los diversos controles, se procede al análisis de los controles geomorfológicos según lo expuesto en 2.801.204. De este proceso surgirán rutas que presenten diversas longitudes, características propias en cuanto a planta y alzado, emplazamientos favorables o conflictivos desde el punto de vista geotécnico, requerimiento de obras tales como puentes, túneles, etc.

Si en el área existen estudios anteriores, ellos se deberán traspasar a la carta para ser analizados como rutas adicionales.

Con los antecedentes descritos se está en condiciones de iniciar el reconocimiento en terreno de las rutas seleccionadas, con el fin de confirmar, modificar o complementar las apreciaciones derivadas del estudio de gabinete.

Como regla general, el proyectista no debe tomar partido por una solución específica al realizar la identificación de las rutas, al menos hasta haber agotado todas las investigaciones de terreno y gabinete que sea necesario abordar.

2.802.302 Reconocimiento de Terreno. La metodología para el reconocimiento consultará, como punto esencial, la comprobación y confirmación de los puntos de control seleccionados sobre la carta. Dependiendo de la extensión y características del terreno, puede ser aconsejable un primer reconocimiento aéreo para obtener una adecuada visión de conjunto, o bien para complementar las impresiones obtenidas a partir de las cartas y/o foto aérea.

Para obtener apreciaciones cuantitativas del recorrido terrestre, el Proyectista deberá contar con instrumentos adecuados para verificar y comprobar los puntos críticos que las cartas no alcancen a precisar, tales como: laderas de fuerte pendiente transversal, factibilidad de salvar un desnivel específico, precisar el ancho de una quebrada o curso de agua, rumbo en algunos tramos boscosos, etc. Se sugiere el uso de altímetro, brújula, eclímetro, telémetro, etc., que pueden resultar apropiados en determinados sectores del reconocimiento. También es aconsejable obtener fotografías de los sectores conflictivos y vistas panorámicas.

Durante el reconocimiento se verifican los lugares considerados como más favorables para el emplazamiento de los puentes, los cruces y empalmes con otras vías, construcciones y estructuras existentes que convenga mantener o demoler y, en general, todo aquello que puede influir en la ubicación posterior del trazado del camino. Se precisará la extensión de las zonas de rodados, pantanos, laderas meteorizadas e inestables, etc., a fin de delimitarlas con precisión en la carta y evitarlas al trazar el eje probable.

Según sea la complejidad de los problemas previstos o que se detecten durante el reconocimiento, éste podrá requerir varias visitas y la participación, en mayor o menor grado, de los especialistas en geotecnia, hidrología, estructuras, etc. Se aprovecharán las visitas de campo para obtener datos complementarios de la región, recoger opiniones de los habitantes, prever y anticipar los efectos potenciales, tanto positivos como negativos, que provocaría la construcción del camino por una u otra ruta, y la alteración que podrá sufrir el equilibrio ecológico y el paisaje natural.

Como recomendación general conviene tener presente las siguientes pautas de trabajo:

- a) El reconocimiento no debe limitarse a las rutas prefijadas en las cartas, sino que debe abarcar un área lo suficientemente amplia para no omitir información que pudiera ser útil para una mejor decisión.
- b) Al recorrer el terreno, el Proyectista y los Especialistas deberán visualizar, simultáneamente, aspectos de la geomorfología, hidrología, geotecnia y ecología, ponderando racionalmente la incidencia e importancia que, separadamente y en conjunto, pueden tener en el emplazamiento del trazado.
- c) Terrenos Boscosos. Las áreas cubiertas por bosques normalmente se asocian a terrenos con relieve pronunciado que poseen una densa red de drenaje natural. Si el área por reconocer es extensa y se prevén varias rutas alternativas, las cartas de pequeña escala (1:50.000) pueden resultar insuficientes, incluso para fijar rutas o corredores, y después de un reconocimiento aéreo amplio, se deberá optar por la ejecución de una restitución aerofotogramétrica a escala intermedia (1:5.000 ó 1:10.000).

La restitución aerofotogramétrica estará limitada en precisión por la cubierta vegetal existente, no obstante ello, un plano escala 1:5.000 con curvas de nivel cada 5 metros, permitirá desarrollar los estudios preliminares en óptimas condiciones.

Aun cuando se consulte la ejecución de una restitución aerofotogramétrica, el reconocimiento a nivel de estudio preliminar es indispensable, en una primera etapa, para establecer las fajas o el área por restituir, cuyos límites serán mucho más amplios que los de cada ruta en particular. Hoy en día el reconocimiento del terreno puede apoyarse mediante instrumental GNSS en operación autónoma con precisiones de hasta 5 m aprox. (navegadores), lo que servirá para ubicarse correctamente respecto de la carta y para determinar coordenadas de los puntos de interés a lo largo de un corredor o faja por restituir.

d) El Proyectista deberá estar siempre alerta de no formarse una falsa opinión de las bondades o defectos de una solución, según sea el grado de facilidades o dificultades encontradas para avanzar durante el recorrido del terreno, o bien por la falta de visibilidad en terrenos boscosos o de difícil acceso.

e) El Proyectista recogerá información relativa al proyecto, sea de índole favorable o desfavorable al criterio propio y deberá aceptarla imparcialmente.

En síntesis, el proceso de estudio en la fase del reconocimiento es una sucesión de ensayos, pruebas y aproximaciones, en las que se evalúan y ponderan las diversas alternativas, investigando y considerando todas las soluciones posibles. El conocimiento técnico, experiencia y buen criterio, ayudarán a encontrar la solución adecuada.

Un reconocimiento completo permite descartar, en una etapa precoz del estudio, rutas no competitivas, con lo que los esfuerzos se concentrarán sobre aquellos emplazamientos que ofrezcan una posibilidad real de solución.

2.802.303 Anteproyecto Preliminares sobre Planos a Escala Intermedia. Terminando el proceso de Reconocimiento del Terreno y análisis de los antecedentes existentes, corresponde abordar la etapa de Anteproyecto Preliminar de las alternativas posibles.

En el Capítulo 2.100, Numeral 2.102.202 se describió el empleo de Restituciones Aerofotogramétricas en escalas 1:5.000 o, en su defecto, 1:10.000 (según escala de la fotografía existente), para la "Identificación de Rutas Posibles" y su posterior análisis. En el Capítulo 2.300, Tópico 2.304.3, se entregan las especificaciones técnicas relativas a los levantamientos aerofotogramétricos de escala intermedia.

Las técnicas y procedimientos empleados para desarrollar los Anteproyectos Preliminares, son los mismos que se describen en la Sección 2.804 para la etapa de Anteproyecto, desarrolladas con el grado de detalle que justifica la escala de los planos que se están empleando, por ejemplo, no tiene sentido diseñar las transiciones de peralte; las obras de arte se ilustrarán en la planta y en el alzado, pero sin planos de detalle, los perfiles transversales ilustrativos se presentarán cada 40 m en escala 1:500, etc. Del mismo modo los prediseños se ejecutarán respetando las "Instrucciones y Criterios de Diseño" que figuran en el MC-V3, pero obviamente la limitada disponibilidad de Ingeniería Básica y el objeto mismo de este nivel de Estudio Preliminar, hace que los diseños sean sólo aproximaciones razonables a la solución del problema.

2.802.304 Selección de Rutas que Pasan al Nivel de Anteproyecto. Según se estableció en 2.101.4, paralelamente con el desarrollo del Estudio Preliminar, corresponde ejecutar el Estudio de Prefactibilidad y el Diagnóstico Ambiental. Como resultado de la interacción de las tres especialidades será posible seleccionar aquella(s) alternativas que deben pasar al nivel de estudio siguiente: Anteproyecto, si quedó más de una alternativa, o Estudio Definitivo si quedó sólo una.

El Informe Final del Estudio Preliminar deberá, en todo caso, describir todas las alternativas analizadas, aun cuando algunas hayan sido desechadas en las etapas iniciales del estudio, estableciendo los motivos y antecedentes considerados para actuar de tal manera, ello con el objeto de evitar que en etapas posteriores se ponga en duda la acuciosidad y cobertura del análisis.

2.802.4 ELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA QUE SE UTILIZARÁ EN LOS SIGUIENTES NIVELES DE ESTUDIO

Si el Estudio Preliminar definió más de una alternativa de trazado, se deberá pasar al nivel de Anteproyecto para resolver cuál de ellas se seleccionará para el Estudio Definitivo. El desarrollo del Anteproyecto requerirá planos a mayor escala que permiten afinar el diseño de los trazados; la elección de la escala dependerá del tipo de terreno en que se emplazan las rutas o de los condicionamientos impuestos por un entorno urbano o suburbano. En áreas rurales la escala 1:2.000 es en general adecuada y suficiente, en tanto que en áreas urbanas puede ser necesario emplear un 1:1.000.

La definición que se debe alcanzar para especificar el Anteproyecto requiere tener presente también la metodología de Estudio Definitivo que conviene emplear, EDEP o EDET. Con este antecedente, y considerando como se combinan las variables antes enumeradas, será posible definir la metodología por emplear en el Anteproyecto y la escala de los levantamientos por ejecutar. Finalmente, dependiendo de la extensión y de las características del área por levantar, se decidirá si el levantamiento se abordará mediante taquimetría distanciométrica o fotogrametría (Ver 2.313.2 y 2.313.3). El término "taquimetría" significa procedimiento rápido de medida, para distinguirlo del antiguo procedimiento que determinaba distancia mediante estadimetría. Al proceso ejecutado con una estación total se le ha denominado "taquimetría distanciométrica" o simplemente "Levantamiento Distanciométrico".

Una vez establecida la escala del levantamiento, la precisión para los trabajos topográficos quedará definido de acuerdo al tipo de levantamiento seleccionado y a lo indicado en "Tolerancias" en la Sección 2.304

Los demás estudios de Ingeniería Básica deben especificarse en función de los problemas detectados durante el Estudio Preliminar, considerando los lineamientos generales para los niveles de Anteproyecto y Estudio Definitivo, expuestos en:

- 2.404 ALCANCES DE LOS ESTUDIOS DE HIDROLOGÍA Y DRENAJE EN PROYECTOS VIALES**
- 2.506 ALCANCE DE LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS SEGÚN NIVEL Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO**
- 2.604 ALCANCE DE LOS ESTUDIOS DE TRANSITO SEGÚN NIVEL Y CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO**
- 2.700 ASPECTOS AMBIENTALES**

Especial mención debe hacerse en relación al alcance de los estudios en puntos conflictivos, cualquiera sea su carácter o naturaleza.

2.802.5 INFORME FINAL DEL ESTUDIO PRELIMINAR PARA NUEVOS TRAZADOS

El Informe Final deberá cubrir, a lo menos, los siguientes aspectos:

- a) Descripción de la Función asignada a la obra en concordancia con los Controles Primarios Obligados establecidos por la Dirección de Vialidad y/o demanda y características del tránsito. (Ver 2.802.2).
- b) Síntesis de los diversos aspectos que caracterizan el área de emplazamiento (geomorfológicos, geotécnicos, hidrológicos, de impacto ambiental), que incluirá al menos:
 - Resumen de los estudios previos de gabinete complementados por el reconocimiento de terreno.
 - Estudios de Ingeniería Básica a nivel de estudio preliminar, según se especifica para:
 - Hidrología y Drenaje (2.404. 101)
 - Geotecnia (2.506.101)
 - Demanda y Características de Tránsito según lo especificado para el Estudio de Prefactibilidad.
 - Análisis Ambiental, acorde con lo establecido en la Sección 9.403 Consideraciones Ambientales en el Nivel de Estudio.
- c) Características y Parámetros de diseño que se proponen como conclusión del estudio preliminar.
- d) Planos de los trazados en escala 1:5.000 ó 1:10.000 para Planta y Alzado y 1:500 para los Perfiles Transversales que ilustran las rutas posibles, los que se presentarán, con el grado de detalle que permita

la restitución aerofotogramétrica de escala intermedia ejecutada para este nivel de estudio, información que se complementará con la definición analítica de los ejes estudiados. (Cuadros de Rectas y Curvas, Elementos Principales de la Rasante, etc. Cubicación y Valorización de las alternativas según precios de mercado).

- e) Estudio de Prefactibilidad que definirá desde un punto de vista económico las alternativas que pasan al nivel de estudio siguiente, con sus respectivos indicadores de rentabilidad social.
- f) Análisis Crítico de los aspectos técnicos y económicos que permita proponer las Rutas por Estudiar en Anteproyecto. En base a cuadros comparativos que muestren el grado de cumplimiento de la función y características asignadas al proyecto, inversión estimada, calidad y seguridad de servicio para el usuario, costos de conservación relativos y rentabilidad social de las inversiones, se procederá a seleccionar y recomendar la o las rutas que deben pasar al estudio de Anteproyecto.
- g) Especificaciones relativas a la metodología por emplear y alcance de los estudios de Ingeniería Básica en los siguientes niveles de estudio, según se indicó en 2.802.4. Estas especificaciones deben redactarse en detalle, pues ellas constituirán la base de los Términos de Referencia Específicos, que emitirá la Dirección de Vialidad para la contratación de los próximos niveles de Estudio, cuyos Documentos Generales están contenidos en el presente Volumen

SECCIÓN 2.803 ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE RECUPERACIÓN Y DE CAMBIO DE ESTÁNDAR

2.803.1 ASPECTOS GENERALES

El Numeral 2.101.203 “Clasificación General de los Proyectos Viales”, encasilló este tipo de proyectos en dos grandes grupos:

- a) Recuperación de Obras Existentes.
- b) Cambio de Estándar en Obras Existentes.

Si bien en muchos casos los proyectos relativos a obras existentes presentan características marcadas que permiten clasificarlos como una Recuperación o como un Cambio de Estándar, eventualmente se dan situaciones en que ambos aspectos deben abordarse simultáneamente y, por lo tanto, el Proyectista deberá actuar con la flexibilidad requerida. El estar familiarizado con los conceptos expuestos en 2.101.4 y 2.102.5 ayudará a abordar el proyecto de manera sistemática, dando el énfasis que corresponda a los diversos aspectos.

Para alcanzar los objetivos asignados al EPTE en uno y otro caso, se debe dar respuesta a tres interrogantes fundamentales:

- Diagnóstico del Problema.
- Definición Preliminar de Alternativas de Solución.
- Elección de la Metodología por Utilizar en los Sigüientes Niveles de Estudio.

2.803.2 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

2.803.201 Análisis de los Antecedentes Existentes. Por lo general los Términos de Referencia, emitidos por la Dirección de Vialidad, señalarán el objetivo principal asignado al estudio, para lo cual se habrán considerado, en las etapas de “Idea” y “Perfil” (2.101.4), los indicadores que motivan este tipo de proyectos, a saber:

- Peticiones de las Autoridades Regionales o Locales y del Público en General.
- Diagnóstico efectuado por la Dirección Regional de Vialidad.
- Indicadores Relativos a la Demanda y Características del Tránsito (Volúmenes, Clasificación, Nivel de Servicio o Grado de Congestión, etc.).
- Indicadores Relativos a Accidentes.

No obstante ello, el grado de recuperación y/o cambio de estándar requerido es un problema que debe definirse mediante el desarrollo del Estudio Preliminar.

En primer término el Proyectista deberá revisar toda la información existente agregando, a los aspectos mencionados precedentemente, los siguientes: Cartas Topográficas y Cartas Camineras del Área. Fotografía Aérea, en lo posible reciente; Planos de Construcción de la Obra; Memorias del Proyecto (Hidrología, Drenaje, Geotecnia). Cuando existen problemas importantes de fricción lateral (Numerosa edificación colindante, frecuentes accesos directos a la carretera, etc.), la toma de fotos aéreas en color escala 1:2.500 suele ser un valioso documento de análisis. Normalmente este tipo de fotografías no cuentan con los controles ni con los traslapos que se requieren para la aerofotogrametría, de allí que se dice que son “fotografías no métricas”.

2.803.202 Trabajos de Terreno.

2.803.202(1) Reconocimiento General de la Obra. Un reconocimiento preliminar de la obra en estudio, apoyado determinando distancias con odómetro, es siempre conveniente para planificar adecuadamente los trabajos de terreno, en especial si el proyecto consulta simultáneamente aspectos de recuperación y de cambio de estándar, y la incidencia de uno y otro no está bien definida, mas aún si los TRE consultan el estudio de variantes al camino.

En esta etapa se podrán apreciar en primera aproximación aspectos tales como:

- Grado de aprovechamiento que puede esperarse del pavimento o de la capa existente, como base de la nueva superficie de rodadura.

- Existencia de sectores críticos en cuanto a los aspectos geométricos de la obra (Planta, rasante, sección transversal). Fricción lateral causada por poblados o caseríos. Cantidad y características de las intersecciones con otras rutas o cruces ferroviarios, etc.
- Características generales del sistema de drenaje y estructuras existentes: materiales constituyentes, estado de conservación, longitud útil a nivel de rasante, contrastada con la sección transversal típica del camino, etc.
- Tipo y severidad de fallas de la infraestructura del camino.

2.803.202(2) Monografías. Las monografías de reconocimiento se referirán al kilometraje acumulado desde un cierto origen y en ellas se consignarán las características de la obra, con el grado de detalle posible de obtener mediante una inspección visual. En una primera etapa se determinarán distancias con odómetro para tener una visión general y así planificar los trabajos de terreno.

a) Monografías de la Geometría del Camino. Según se señale en los TRE y dependiendo del tipo de problemas que se deban resolver, podrá ser necesario ejecutar uno o ambos tipos de planos de mediana precisión que se describen a continuación:

- Un Relevamiento de la Planta y Alzado del Camino mediante instrumental GNSS, según se especifica en el Tópico 2.304.6.
- Una Restitución Aerofotogramétrica de escala intermedia (1:5.000 ó 1:10.000) con apoyo GNSS, o sólo con apoyo en la Carta IGM 1:50.000, si el plano va a ser usado sólo como elemento de referencia planimétrica y no se prevé la ejecución de diseños geométricos basados en él.

El Relevamiento mediante GNSS, permite determinar los elementos geométricos del camino ajustando rectas y curvas al conjunto de puntos levantados con N, E y Cota.

Adicionalmente, durante el relevamiento de puntos en terreno, se determinarán coordenadas específicas de puntos correspondientes a elementos inamovibles, tales como: cruce de los ejes en obras de arte, entrada y salida de puentes, intersección de ejes con otras vías, etc.

Una vez logrado en gabinete el ajuste de los elementos representativo de la planta, se obtendrá el kilometraje acumulado a lo largo del relevamiento, y el que corresponde a los puntos inamovibles para los que se determinaron coordenadas específicas, estos últimos permitirán imponer en terreno los kilometrajes acumulados correspondiente a dichos puntos, a partir de los cuales se podrá materializar en terreno un balizado referido a y cerrado contra estos puntos, mediante determinaciones distanciométricas o medidas a huincha. La Sección Transversal se determinará por muestreo mediante procedimientos tradicionales o mediante instrumental GNSS operando en la modalidad "stop and go". (ver Numeral 2.304.603).

b) Monografías de la Calzada. Comprende los aspectos relativos al pavimento y bermas o capa de rodadura en los caminos sin pavimentar. Se deberá sectorizar el camino en tramos homogéneos considerando el tipo de pavimento y grado de deterioro que éste presenta. El kilometraje acumulado se determinará mediante el odómetro de un vehículo debidamente calibrado en un sector de prueba, en un primer reconocimiento, y apoyándose en los datos del relevamiento descrito en a) y posterior balizado para la etapa afinada del Informe Preliminar.

En los caminos pavimentados cada sector contará con una descripción del tipo de fallas características y una estimación del índice de serviciabilidad. Se consignará el ancho de las bermas, si poseen revestimiento y su estado.

Toda vez que sea posible, a partir de los antecedentes existentes o mediante observación directa en terreno, se consignará la estructura típica del pavimento en el sector. Debe tenerse presente que la etapa de diagnóstico tiene entre sus objetivos determinar las relaciones causa efecto, por lo tanto, se deberán consignar aspectos tales como: insuficiencia de conservación, saneamiento de la calzada, fallas constructivas, etc. Si los TRE lo consultan, se ejecutarán ensayos de Deflectometría Dinámica de Impacto para evaluar la estructura.

En caminos sin pavimento interesa apreciar el grado de estabilización de la calzada, ancho útil y materiales de la capa, nivel de la rasante respecto del terreno circundante en aquellos sectores que puedan tener problemas de saneamiento, etc.

En ambos casos se deberán consignar las fallas estructurales de la obra básica, apreciando si se trata de fallas progresivas o fallas ya estabilizadas.

Los datos de esta monografía se vaciarán en una versión del plano obtenido a partir del relevamiento, en el cual la sección transversal correspondiente a la plataforma se ampliará 4 veces. Por ejemplo, si longitudinalmente el plano es 1:2.000, transversalmente se empleará una escala 1:500.

c) Monografía de Drenaje y Saneamiento. En los proyectos de recuperación de la calzada o cambio de estándar de diseño, la inspección general del sistema de saneamiento y drenaje se realizará simultáneamente con las monografías señaladas en a) y b), inspeccionando aquellas obras existentes en puntos en que la calzada presenta daños asignados a fallas de saneamiento, o bien en sectores críticos en que una modificación de trazado afecte las obras de drenaje. El estudio detallado se ejecutará en las etapas que siguen al estudio preliminar.

En aquellos casos en que el proyecto se refiere específicamente a una recuperación del sistema de drenaje, el diagnóstico debe llegar a establecer en que grado se trata de problemas de inadecuada conservación o de insuficiencia del sistema. Para ello se deberá proceder a identificar las diversas obras, determinando sus secciones, embancamiento, estado de los cauces de entrada y salida, etc., a fin de establecer en primera aproximación la relación causa efecto.

2.803.202(3) Estudios Topográficos Especiales. Si los Términos de Referencia Específicos (TRE) así lo señalan, será necesario ejecutar estudios topográficos que permitan recolectar antecedentes más precisos que los que se pueden obtener con las monografías antes descritas.

Ante fallas importantes de la obra básica, puede ser necesario recurrir a un levantamiento del área (Distanciométrico, Geofotogramétrico), o bien a la toma de perfiles según ejes seleccionados por el Especialista en Geotecnia.

En aquellos casos de cambio de estándar, en que el relieve del terreno es difícil y el trazado está constituido por una sucesión de curvas y contracurvas, la complementación de un relevamiento y una restitución aerofotogramétrica de escala intermedia, según lo descrito en a), pueden ser suficientes para el Estudio Preliminar, excepcionalmente podrá ser necesario un levantamiento a mayor escala, lo que deberá consultarse en los TRE.

Todos los antecedentes obtenidos en terreno, y su posterior sistematización gráfica y analítica, permitirán un Diagnóstico, ponderando los niveles de importancia de los aspectos positivos y negativos.

2.803.3 DEFINICION PRELIMINAR DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION

2.803.301 Recuperación de la Calzada. En los casos de repavimentación o refuerzo del pavimento existente se deben definir los siguientes aspectos:

- a) Diseño Preliminar de la repavimentación, refuerzo u otras alternativas posibles en función del aporte estructural asignado a la capa existente y las capas subyacentes, considerando las solicitudes proyectadas para el nuevo período de diseño, análisis que deberá abarcar todas las alternativas que sean técnica y económicamente comparables. Si los TRE lo consultan, se harán determinaciones en terreno mediante el Deflectómetro Dinámico de Impacto (FWD) o de otros métodos no destructivos, para estimar el aporte de la estructura.
- b) Necesidad de ensanchar la plataforma, en caso que el espesor de la estructura de repavimentación genere una disminución del ancho útil de las bermas, o si se detecta la necesidad de ensanche por insuficiencia de las existentes.
- c) Necesidad de alargamiento de obras de drenaje transversal por modificación del ancho de la plataforma.
- d) Necesidad de reparar y/o complementar las obras de drenaje y saneamiento.
- e) Alternativa de solución para fallas de la obra básica.
- f) Alternativas para rectificar tramos conflictivos del trazado o mejorar elementos aislados.

2.803.302 Recuperación del Sistema de Drenaje y Saneamiento. Las obras de drenaje y saneamiento son elementos complementarios de la carretera y, por lo tanto, la solución de los diversos problemas está normalmente condicionada por la obra existente. Los alcances de estos estudios se especifican en 2.404.201(1) para los casos de recuperación de estándar y en 2.404.202(1) para cambios de estándar.

2.803.303 Recuperación de Sectores Dañados por Fallas de Estabilidad en la Obra Básica. Por tratarse de problemas geotécnicos de variada naturaleza no cabe una sistematización y el Estudio Preliminar deberá desarrollarse considerando al menos lo expuesto en 2.506.201(1) a) y, en especial, lo establecido en los TRE.

2.803.304 Cambio de Estándar por Modificación de la Geometría. Se deben analizar las siguientes alternativas:

- a) Alternativas de rectificación de la vía en su posición actual versus variantes.
- b) Pistas auxiliares en sectores de pendiente fuerte, frente a modificación del trazado para rebajar la pendiente.
- c) Soluciones alternativas en base a enlaces o intersecciones (separar niveles o proyectar intersecciones canalizadas).
- d) Niveles de inversión requeridos para las diversas alternativas en función de la velocidad de proyecto seleccionada.

Se reitera que los aspectos enumerados en las letras b) a la d), también pueden darse en un proyecto clasificado como Recuperación de Estándar e incluso eventualmente lo señalado en la letra a).

2.803.305 Cambio de Estándar por Aumento del Número de Pistas. Según la categoría de la vía, el volumen proyectado de la demanda y las características topográficas del sector, cabe considerar:

- a) Agregar o ensanchar pistas en calzada única.
- b) Segunda calzada en plataforma única.

Las Tablas 3.102.805(2).A, 3.102.805(3).A y B del MC-V3 proveen un primer indicador respecto de la capacidad de la vía en relación a la categoría de ésta, la demanda esperada y las características topográficas del emplazamiento, todo lo cual ilustra las intensidades y niveles de servicio asociados

En ciertos emplazamientos la solución puede orientarse hacia una segunda calzada en plataforma separada. Las principales consideraciones sobre estas materias se presentan en el Numeral 2.801.404.

2.803.306 Cambio de Estándar por Pavimentación de un Camino Existente. Esta situación puede requerir modificaciones de la geometría, caso en que deberán analizarse los aspectos señalados en 2.803.304. Respecto del pavimento propiamente tal, deben considerarse los aspectos señalados en 2.803.301, con la salvedad que en este caso la estructura existente será una sub-base y/o una base.

En los Cambios de Estándar siempre será conveniente contar con un relevamiento del camino existente y una restitución aerofotogramétrica a escala intermedia, la que en este caso deberá contar con apoyo terrestre.

De acuerdo con los materiales disponibles en el área, podrán existir diversas alternativas para la estructura del pavimento, incluso se podrán proponer diseños por etapas, considerando refuerzos a lo largo del tiempo.

2.803.4 ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD PARA PROYECTOS DE RECUPERACION Y DE CAMBIO DE ESTANDAR

En el caso de las Recuperaciones de Estándar, salvo que los TRE lo especifiquen, rara vez se requerirá de un estudio de Prefactibilidad para seleccionar la alternativa de solución para el siguiente nivel de estudio.

En los Cambios de Estándar, por el contrario, resulta pertinente el Estudio de Prefactibilidad que ayude a definir la magnitud del "Mejoramiento" o "Ampliación" que se le asignará al Proyecto.

2.803.5 ELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA QUE SE UTILIZARA EN LOS SIGUIENTES NIVELES DE ESTUDIO

2.803.501 Recuperación de Estándar. Corresponde en esta etapa establecer el tipo y la secuencia de los estudios por realizar para alcanzar la solución del problema planteado. A diferencia de lo expuesto para nuevos trazados, en proyectos de recuperación no siempre resulta tan clara la separación en niveles de anteproyecto y estudio definitivo, ya que, por lo general, no existe el problema de estudiar alternativas de trazado y el proceso de replanteo, que caracteriza el estudio definitivo de los nuevos trazados, no tiene aquí la relevancia que se da en dicho caso.

Una separación en etapas de estudio de Ingeniería Básica y Diseño, suele representar mejor la situación asociada a los proyectos de recuperación. La Ingeniería Básica incluirá, por lo general: estudios topográficos (levantamiento de detalle, nivelaciones de precisión, etc.); prospecciones geotécnicas (muestreo de suelos, determinaciones con FWD, sondajes, perfiles geosísmicos, estudios de napas subterráneas, etc.); estudios de tránsito (volúmenes, clasificación, pesos por eje, etc.).

Los Diseños o Estudios Definitivos representarán el trabajo de gabinete, efectuado a partir de la información recopilada en los estudios preliminares e ingeniería básica, y permitirán elaborar los planos, especificaciones, cubicaciones y documentos que posibiliten la construcción del Proyecto de Recuperación. Por lo general el estacado que pueda requerirse se ejecuta durante la construcción.

2.803.502 Cambio de Estándar. Los proyectos de cambio de estándar se adaptan, en general, al esquema clásico de anteproyecto y proyecto definitivo, Las particularidades del anteproyecto dependerán, en cierto grado, del tipo de estudio definitivo que se decida adoptar: estacado total o estacado parcial. La adecuada planificación de la secuencia y alcance de los siguientes niveles de estudio es fundamental para alcanzar la mejor solución al problema, ya que, por estar ligados a una obra existente que limita la flexibilidad en las soluciones, suelen resultar bastante complejos.

En ciertos casos particulares, en que las modificaciones de la geometría no sean demasiado complejas y el Estudio Preliminar pueda haber resuelto adecuadamente las alternativas de solución, se podrá obviar el Anteproyecto y pasar directamente al Estudio Definitivo mediante un Estacado Total (EDET), que permita introducir los afinamientos definitivos durante el proceso de estacado.

En aquellos casos con mayor complejidad en la rectificación de la geometría, la metodología de Estudio Definitivo con Estacado Parcial (EDEP) resulta especialmente adecuada para los cambios de estándar, eliminando el anteproyecto como una etapa independiente y ejecutándolo en la primera etapa de gabinete del EDEP.

Especial importancia deberá darse al programa de estudios de demanda, accidentes y su probable evolución en el tiempo, pues son justamente estos aspectos los que motivan los proyectos de cambio de estándar.

2.803.6 INFORME FINAL DEL ESTUDIO PRELIMINAR PARA PROYECTOS DE RECUPERACIÓN Y DE CAMBIO DE ESTÁNDAR

El informe final debe cubrir a lo menos los siguientes aspectos:

- a) Descripción del tipo de proyecto que se trata, recuperación y/o cambio de estándar, o sus combinaciones, destacando los objetivos que se persiguen para las distintas obras que se proponen, las que se ilustrarán en los planos de relevamiento y/o restitución a escala intermedia, complementados con la definición analítica (Rectas y Curvas – Elementos Principales de la Rasante).
- b) Síntesis de los diversos aspectos que caracterizan el área de emplazamiento de la obra y las posibles variantes (geomorfológicas, geotécnicas, hidrológicas, ambientales).
- c) Presentación de los planos de mediana precisión y sus cuadros de definición y de las monografías y/o levantamientos ejecutados en la etapa de diagnóstico.

d) Conclusiones del Diagnóstico y Alternativa Preliminar de Solución, que deberán justificarse mediante los estudios de Ingeniería Básica que se especifican para el EPTE, en:

- Hidrología y Drenaje 2.404.202.
- Estudios Geotécnicos 2.506.201.
- Recuperación de Fallas de la Obra Básica 2.506.201 (1)a).
- Recuperación de la Calzada 2.506.201(1) b).
- Pavimentación de un Camino 2.506.202 (1).
- Rectificación de la Geometría 2.506.202 (2).
- Demanda y Características del Tránsito 2.604.
- Análisis ambiental, según lo establecido en la Sección 9.403 Consideraciones Ambientales en el Nivel de Estudio Preliminar.

Los impactos ambientales y/o socioeconómicos a nivel local pueden tener gran importancia en estos casos, sobre todo cuando las comunidades se han acercado excesivamente a la carretera, estableciendo accesos en lugares inadecuados, etc. El estudio preliminar debe establecer el grado de mejoramiento que se pretende lograr en relación a estos aspectos.

- e) Valorización de las Alternativas Preliminares de Solución, las que se desarrollan siguiendo las "Instrucciones y Criterios de Diseño" que se presentan en el Volumen 3, considerando que la limitada Ingeniería Básica disponible y el objeto mismo del Estudio Preliminar, hace que los diseños sean sólo aproximaciones razonables a la solución del problema.
- f) Estudio de Prefactibilidad si los TRE lo especificaron, que incluya una discusión de los aspectos técnicos y económicos que llevaron a recomendar una alternativa de solución en particular.
- g) Especificaciones relativas a la metodología por emplear y alcance de los estudios de Ingeniería Básica y Proyecto Definitivo. Estas especificaciones deben redactarse con todo detalle, pues ellas constituirán la base de los Términos de Referencia Específicos que emitirá la Dirección de Vialidad para la contratación de los próximos niveles de Estudio.

SECCION 2.804 ANTEPROYECTO (ANT)

2.804.1 ASPECTOS GENERALES

Los objetivos y alcances de este nivel de estudio se definieron en 2.103.1 en base a cuatro etapas fundamentales:

- a) Estudios de Ingeniería Básica.
- b) Definición de los Parámetros de Diseño.
- c) Estudio del Trazado Optimo en cada Ruta.
- d) Selección de la Mejor Alternativa mediante el Estudio de Factibilidad (2.103.104).

El Anteproyecto debe definir él o los trazados, cumpliendo con lo establecido en el MC-V3, Capítulos 3.200 "Diseño Geométrico del Trazado" y 3.300 "La Sección Transversal".

2.804.2 SECUENCIA Y PROCEDIMIENTOS EN UN ANTEPROYECTO

2.804.201 Objetivos y Alcances. El Anteproyecto se iniciará por una revisión y análisis crítico del Estudio Preliminar verificando en terreno las conclusiones y recomendaciones en él contenidas. La planificación de los trabajos deberá considerar las metodologías especificadas en dicho nivel de estudio, según se expuso en 2.802 y 2.803 para Nuevos Trazados y Recuperaciones y Cambio de Estandar, respectivamente. En caso que el Proyectista pueda aportar nuevos antecedentes que aconsejen introducir modificaciones relevantes con respecto a lo recomendado en el Estudio Preliminar, deberá someterlas de inmediato a la consideración de la Dirección de Vialidad, cuyo representante autorizado resolverá en definitiva.

2.804.202 Estudios de Ingeniería Básica.

2.804.202(1) Aspectos Topográficos. Salvo que en la zona del estudio existan levantamientos topográficos confiables de escala adecuada, los trabajos de terreno deberán iniciarse por este aspecto considerando la siguiente secuencia:

- a) **Sistema de Referencia y Transporte de Coordenadas.** Los Estudios Viales quedarán ligados al sistema de referencia geodésica nacional, según lo especificado en la Sección 2.302 y de acuerdo a la escala requerida para los productos topográficos, se determinará la precisión de los trabajos de terreno. El método de transporte de coordenadas, se ejecutará de acuerdo a lo indicado en la Sección 2.303.
- b) **Monumentación de las Referencias Topográficas.** Los diferentes elementos que componen las referencias topográficas se materializarán en terreno de acuerdo a lo señalado en Términos de Referencia específicos del Estudio y de acuerdo a lo señalado en el Tópico 2.303.4.
- c) **Levantamientos Topográficos.** De acuerdo a los requerimientos del proyecto, se determinará el tipo de levantamiento topográfico a utilizar, o una combinación de ellos, los que según corresponda se ejecutarán de acuerdo a lo estipulado en la Sección 2.304.

2.804.202(2) Aspectos de Hidrología y Drenaje. Los estudios de Hidrología relativos a precipitaciones de diseño en el área y caudales de diseño en cauces principales (estudios fluviométricos), deben desarrollarse en el anteproyecto con toda la profundidad que permitan las estadísticas existentes y, a falta de éstas, mediante estudios regionales que posibiliten cierto grado de extrapolación. Este tipo de estudios es relativamente independiente de la posición exacta del trazado y, por tanto, puede iniciarse simultáneamente con los estudios topográficos, debiendo estar los datos disponibles cuando se inicie el estudio de los trazados sobre los planos.

El estudio para la localización de puentes y obras de drenaje transversal, se asocia directamente con el trazado del eje y sólo puede abordarse simultáneamente con éste. En la etapa de Anteproyecto las soluciones propuestas tienen por objeto demostrar la factibilidad técnica de la alternativa y alcanzar una razonable estimación de costos de inversión, quedando los diseños finales reservados para el nivel de Estudio Definitivo. En todo caso para los Puentes se deben hacer estimaciones, ya en este nivel de estudio, en cuanto al orden de las socavaciones y defensas fluviales requeridas.

El alcance y los procedimientos de estudios a nivel de Anteproyecto, se especifican en 2.404.102.

2.804.202(3) Aspectos Geotécnicos. Los estudios de Ingeniería Básica en el área geotécnica deben abordarse en dos etapas bien definidas del Anteproyecto. En primer término, el Especialista deberá cooperar con el Proyectista en la identificación y calificación global de los puntos de control positivos y negativos, que ayuden a definir las áreas específicas en que se emplazará el trazado. Esta etapa se cumplirá durante el reconocimiento del terreno para planificar la faja que debe ser levantada, en especial si el levantamiento se va a ejecutar mediante taquimetría distanciométrica, caso en que la faja levantada es angosta. La segunda etapa se desarrollará cuando ya se tengan ejes en planta trazados sobre los planos y se disponga de secciones transversales que indiquen la magnitud de los cortes y terraplenes involucrados. Una nueva visita a terreno permitirá estudiar las características de los suelos en puntos específicos de interés, pudiendo surgir la necesidad de excavar algunas calicatas en puntos representativos, o bien, ejecutar algunos perfiles sísmicos que permitan recomendar parámetros de diseño aproximados para el trazado de taludes, fundación de estructuras o terraplenes importantes, etc., para lo cual los TRE deberán considerar las correspondientes partidas a precio unitario.

El alcance y procedimientos generales del estudio geotécnico en la etapa de Anteproyecto, se especifican en 2.506.102.

2.804.202(4) Demanda y Características del Tránsito. Los estudios de demanda deben desarrollarse en profundidad durante la etapa de Anteproyecto, ya que serán de gran importancia para afinar la Categoría del Proyecto que fuera propuesto en el Estudio Preliminar, para abordar el diseño de la estructura del pavimento y, finalmente, para seleccionar la mejor de las alternativas en estudio. El alcance de estos estudios fue especificado en 2.604.

2.804.202(5) Aspectos Socioeconómicos y Ambientales. El análisis de los impactos a nivel local, generados por las diversas alternativas, debe desarrollarse según lo señalado en el Capítulo 9.300, Marco General para Estudios Ambientales en Proyectos Viales, del MC-V9, Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales. Es la etapa de anteproyecto el momento adecuado para detectar en detalle los diversos impactos y considerarlos, según sea su importancia, como controles primarios o secundarios que influirán en la localización de los posibles ejes. El proyectista tiene una responsabilidad técnica y moral que lo obliga a considerar seriamente estos aspectos que, en ciertos casos, pueden complicar su labor, no obstante ello, debe recordar que algunas de sus decisiones pueden afectar negativamente, por largos períodos, los legítimos intereses de las comunidades locales o las características ecológicas del entorno, que son patrimonio público.

2.804.203 Definición de los Parámetros de Diseño. En el Estudio Preliminar se habrán propuesto características y parámetros de diseño según la categoría asignada al proyecto (Ver 2.802.2). En la etapa de anteproyecto deben revisarse y, eventualmente, afinarse dichas proposiciones en consideración a lo siguiente:

- a) Si ha pasado un tiempo considerable desde la ejecución de los estudios preliminares, pueden haberse producido cambios importantes en las hipótesis de trabajo consideradas.
- b) En el anteproyecto, una vez que se poseen planos a escala adecuada, es posible precisar aspectos que no pudieron ser considerados en toda su magnitud en los estudios previos.

Estos dos factores pueden implicar un cambio en la Categoría de Proyecto, lo que alterará los parámetros de diseño por considerar.

Una vez confirmada la Categoría del Proyecto y antes de iniciar los estudios de trazado propiamente tal, será necesario analizar en los planos los sectores más conflictivos de las diversas alternativas, e imponer ejes tentativos que permitan calibrar la influencia que tendría el uso de las distintas velocidades de diseño, compatibles con la categoría de proyecto. Simultáneamente, se estudiará la influencia de las secciones transversales tipo sobre el movimiento de tierras, cuando ellas sean diferentes para las distintas velocidades de diseño (ver Tabla 3.301.1.A).

Terminado el análisis recién descrito se presentarán sus conclusiones a la Dirección de Vialidad, acompañándolas de la(s) sección(es) transversales tipo por utilizar en el proyecto, las que deberán ser preparadas en conformidad con las dimensiones generales correspondientes a la categoría del

proyecto, velocidad de diseño y volúmenes de tránsito esperados al año horizonte. Los detalles en cuanto a espesores estimados de la estructura de pavimento, bombeos, cunetas, taludes típicos, escalones en corte, endentados para terraplenes en laderas, etc., se presentarán en planos escala 1:50 ó 1:100.

Suele ser conveniente en esta etapa avanzar algo en la tipificación de secciones para fosos, contrafosos y otras obras de drenaje y saneamiento, que pueden dimensionarse según el tipo de terreno y características pluviométricas de la zona. Todo avance organizado en esta etapa facilita el posterior estudio y optimización de ejes.

2.804.204 Estudio del Trazado Optimo en cada Ruta

2.804.204(1) Antecedentes y Procedimiento de Estudio. Llegado el momento de iniciar el estudio de los ejes sobre el plano, el Proyectista poseerá un buen conocimiento del terreno, derivado del análisis del Estudio Preliminar, del reconocimiento del terreno, de la supervisión de los trabajos de levantamiento y de los estudios iniciales de otras especialidades de la Ingeniería Básica.

Los procedimientos y etapas del estudio del trazado fueron descritos en la Sección 2.801 y deberán desarrollarse considerando todos los aspectos que se indican a continuación:

- a) **Controles del Trazado (2.801.2).** Corresponde una identificación, verificación y ponderación de los distintos tipos y clases de controles,
- b) **Procedimientos para el Análisis de Controles Geomorfológicos (2.801.204).** El manejo expedito de estos procedimientos elementales facilitará, en gran medida, el proceso de aproximaciones sucesivas para lograr el trazado óptimo correspondiente a la Categoría del Proyecto.
- c) **Trazado de Ejes en Planta y Rasante (2.801.4).** En 2.801.403 se describen detalladamente los procedimientos recomendados para el trazado de ejes sobre planos topográficos de escala adecuada, ya sea directamente sobre el plano o empleando programas computacionales de diseño, considerando las distintas situaciones en cuanto a relieves del emplazamiento. En 2.801.404 se incluyen recomendaciones relativas al trazado de carreteras unidireccionales. Las normas y recomendaciones de diseño geométrico serán las especificadas en el MC-V3, Capítulos 3.200 y 3.300. El grado de detalle del proyecto geométrico será el necesario para verificar el cumplimiento de las normas de diseño en todos sus aspectos, sin embargo, podrán obviarse algunos detalles en la cubicación de las obras. Por ejemplo, deberá presentarse en el perfil longitudinal el esquema de transiciones de peralte, pero podrá obviarse la influencia de estas transiciones sobre los perfiles transversales para los fines de la cubicación de tierras.
- d) **Estudios Complementarios (2.808).** Abarcan los principales aspectos complementarios que se deben tener presente durante el desarrollo de los anteproyectos de las alternativas:

- Roce y Limpieza de la Faja (2.808.101)
- Drenaje Transversal y Saneamiento (2.808.102) y Capítulo 2.400, y Capítulo 3.700 del MC-V3.
- Estabilidad de la Obra Básica (2.808.103) y Sección 3.602 del MC-V3.
- Protección de Taludes (2.808.104) y Sección 3.602 del MC-V3.
- Subbases, Bases y Pavimentos (2.808.105) y Secciones 3.603 a 3.605 del MC-V3.
- Señalización y Barreras de Contención (2.808.106) y el MC-V6.
- Expropiaciones (2.809).

El alcance de estos estudios debe permitir, en la etapa de anteproyecto, asegurar la factibilidad técnica de la solución adoptada y/o estimar el costo de inversión de las diversas alternativas. Los diseños específicos y memorias de cálculo detalladas se deberán presentar en el Estudio Definitivo para la alternativa de trazado seleccionada.

(e) Proyectos Especiales (2.808.2). Considera el tratamiento que debe darse a los Puentes, Pasos Superiores e Inferiores, Intersecciones, Enlaces y Paraderos de Buses.

El alcance de estos estudios a nivel de Anteproyecto, se regirá por consideraciones similares a las expuestas al final de la letra d). No obstante, en aquellos casos en que la inversión asociada al proyecto especial pueda ser determinante en la selección de una u otra alternativa, los estudios deberán profundizarse hasta alcanzar una certeza razonable en el orden de la inversión involucrada.

2.804.204(2) Recomendaciones Generales para el Trazado. No obstante que los conceptos que se exponen a continuación están contenidos en diversas secciones del Manual de Carreteras, se estima necesario destacarlos una vez más, a fin de que el Proyectista los considere debidamente:

- a) El trazado de una carretera o camino debe ser homogéneo y coherente de modo que brinde la seguridad, funcionalidad y comodidad que le corresponde según la Categoría asignada. Si resulta inevitable definir sectores de distintas características (Velocidad de Proyecto), la transición de un sector a otro debe darse en forma paulatina para que el cambio sea percibido por los conductores, todo ello explicitado por la señalización correspondiente.
- b) Al estudiar el trazado se debe tener siempre presente que la composición del alineamiento vertical esta íntimamente asociada a la planta del camino. Esta materia se trata ampliamente en el MC-V3, Sección 3.205.
- c) Puede ocurrir que las condiciones del trazado, prevalecientes en un tramo en llanura, permitan velocidades mayores que las de proyecto (V85%). En tal situación, al término de estos tramos de trazado amplio deben proyectarse curvas que permitan el ajuste de las altas velocidades de circulación a las de un diseño más restrictivo. Para este fin, los radios de las curvas se reducirán gradualmente, de modo que se cumpla con lo especificado en 3.203.302 (1).
- d) Debe verificarse que los radios de curvatura, aunque permitan la velocidad de proyecto, cumplan además con las distancias de visibilidad de parada, especialmente en aquellas curvas que en el lado interior presentan taludes de corte (Ver 3.202.402).
- e) El proyectista limitará la longitud de las rectas al máximo que permite la norma, procurando proyectar ejes de amplias curvaturas, especialmente en llanuras (Ver 3.203.202).
- f) En caminos bidireccionales, atendiendo a la categoría, se verificará que existan sectores que permitan el adelantamiento de vehículos con una frecuencia y longitud no inferior a lo que estipula la norma (Ver 3.202.302).
- g) Si el eje proyectado debe situarse en laderas, debe tenerse en consideración la calidad y estratificación de los materiales por excavar, su estado de meteorización y la estabilidad consecuente. Cuando el trazado queda en el fondo de valles o quebradas hay que verificar si el nivel de aguas máximas puede afectar las obras básicas, debiendo, en ese caso, proyectarse las defensas requeridas.
- h) En zonas lluviosas o de nieve el trazado debe preferir las laderas asoleadas, con ello se acelera el deshielo y desecación del terreno. En zonas de nevadas intensas se procurará evitar los cortes cerrados, que dificultan enormemente el despeje de la vía.

2.804.205 Selección de la Mejor Alternativa. Para proceder a este análisis se deberá considerar lo planteado en 2.103.104 y proceder en consecuencia, salvo que los Términos de Referencia Específicos del Estudio especifiquen taxativamente otra cosa.

Como complemento se presentará un análisis técnico de las alternativas, que contendrá:

- a) Características físicas y geométricas del trazado.
- b) Niveles de servicio al año de apertura y al año horizonte, sectorizando el trazado si se presentan tramos de diferente topografía, (Plano, Ondulado, Montañoso), de acuerdo con las definiciones de la teoría de capacidad.
- c) Seguridad de servicio en relación a posibles interrupciones por condiciones climáticas (nieve), o por peligros de deslizamientos que afecten la obra básica en zonas susceptibles de fallas ante sismos, temporales de lluvia extraordinarios, etc.

2.804.206 Planos y Documentos del Anteproyecto

2.804.206(1) Memoria. La memoria del estudio contendrá, a lo menos, los siguientes aspectos relativos a las diversas alternativas:

a) Resumen y Conclusiones del Estudio. Incluirá una breve descripción del área del proyecto, categoría del proyecto, alternativas abordadas, cuadros comparativos de características físicas, tránsito, costos, seguridad de servicio, problemas de conservación previsibles, recomendación final, basada en las conclusiones del Estudio de Factibilidad desarrollado según lo especificado en el Tomo II del Volumen N° 1.

b) Desarrollo del Informe:

- Descripción del Área del Proyecto.
- Justificación de la Categoría Adoptada.
- Sistema de Referencia y datos principales del levantamiento, incluyendo listado de coordenadas finales de monolitos y cotas de PRs. (En anexo: antecedentes, cálculo y cierres del sistema de transporte de coordenadas).
- Identificación de Alternativas y sus principales características, con una discusión de los puntos conflictivos del trazado. Se incluirán cuadros de Rectas y Curvas en Planta y de Elementos Principales del Alzado, Cantidades de Obra y Presupuesto con su justificación en Anexo (véanse los formularios en las Láminas 2.903.3.A a E).
- Resumen de Estudios de Hidrología y Drenaje particulares de cada alternativa. El cálculo de indicadores hidrológicos se presentará en un anexo general para toda el área.
- Resumen de Estudios Geotécnicos, incluyendo una sectorización de los trazados por alternativa, desde el punto de vista suelos, parámetros de diseño recomendados, etc. En anexo se incluirán las estratigrafías y ensayos que se hubieren realizado.
- Demanda y Características del Tránsito. Para cada alternativa se señalarán los tránsito previstos al año inicial y su evolución en el tiempo. En un anexo general se incluirán los antecedentes relativos a conteos de tránsito y elaboración de la información disponible para el área en general.
- Identificación de Impactos Socioeconómicos y Ambientales, positivos y negativos, incluyendo una calificación de su importancia y posibles medidas de mitigación de los impactos negativos.

2.804.206(2) Planos. El plano de levantamiento de un estudio de Anteproyecto corresponderá, generalmente, a una escala 1:2.000, pudiendo en ocasiones ser 1:5.000,

Los planos del estudio utilizarán en horizontal la misma escala que el levantamiento, la escala vertical del perfil longitudinal se ampliará 10 veces en relación a la horizontal. Si el estudio requiere 5 ó más láminas de planta y su escala es 1:2.000 o mayor, se elaborará un plano general conteniendo la planta y perfil longitudinal de las diversas alternativas. La escala en planta será habitualmente 1:10.000.

Los planos que deben presentarse en conformidad con lo establecido en la Tabla 2.902.2.A son:

- a) Plano General (cuando corresponda).
- b) Secciones Transversales Tipo a escala 1:50 ó 1:100.
- c) Plano Horizontal o de Planta.
- d) Perfil Longitudinal de Terreno y Rasante.
- e) Perfiles Transversales.

Este Plano deberá presentarse en original sólo si los TRE así lo especifican. Su versión en borrador de trabajo se ejecutará en escala 1:100, sólo si se cubica por método gráfico analítico. Si la cubicación se ejecuta por computación el plano se presentará en escala 1:200 en terrenos llanos que requieren perfiles de tamaño moderado y en escala 1:500 en terrenos ondulados y montañosos que requieren perfiles de tamaño importante.

- f) Planos Generales de Puentes (Elevación, Planta, Sección Tablero – Ver Capítulo 3.1000).
- g) Planos Generales de Intersecciones y/o Enlaces (Planta).

El plano horizontal incluirá, en su primera lámina, un Plano de Ubicación y la(s) Sección(es) Tipo del Proyecto. En las láminas de planta se incluirá también los límites de la Faja del Camino, de manera que se pueda calcular la superficie total por expropiar, así como las mejoras que alteran el valor de la expropiación. El detalle por lotes se elaborará en la etapa de Estudio Definitivo.

Las obras de drenaje transversal y del saneamiento de la plataforma se presentarán en el plano de planta, con el grado de detalle correspondiente al anteproyecto. Las obras de drenaje transversal también figurarán en el perfil longitudinal. No se presentarán planos de detalle (perfiles transversales) de estas obras, salvo que se trate de obras no tipificadas en el MC-V4. La cubicación aproximada de las excavaciones requeridas y la longitud de las obras se deducirán de los planos del anteproyecto, lo que puede requerir el dibujo de perfiles transversales en borrador para estimarlas, o la obtención de perfiles a partir del modelo digital.

El plano de planta y el perfil longitudinal podrán presentarse en una lámina común cuando la faja levantada sea angosta. Si el levantamiento es aerofotogramétrico y ocupa toda la lámina, deberán utilizarse láminas separadas haciendo figurar en la planta toda el área levantada, lo que, en oportunidades, permitirá presentar simultáneamente la planta de dos o más alternativas, o bien justificar el trazado seleccionado.

Los formatos, carátulas, contenido gráfico y numérico de los distintos planos deberá cumplir con lo especificado

SECCION 2.805 ESTUDIO DEFINITIVO DE NUEVOS TRAZADOS

2.805.1 ASPECTOS GENERALES

De acuerdo con lo expuesto en 2.103.2, el Estudio Definitivo corresponde a la elaboración de los diseños y planos finales de aquella alternativa seleccionada a nivel de Anteproyecto. Estos documentos serán utilizados para la licitación y construcción del proyecto vial.

Se consultan dos metodologías para este nivel de estudio, aquella denominada Estudio Definitivo con Estacado Parcial (EDEP), y la de Estudio Definitivo con Estacado Total (EDET), cuyas principales características se resumieron en el cuadro que figura en la Lámina 2.101.4.A.

Para obtener el máximo provecho técnico y/o económico derivado del uso de una u otra metodología, es conveniente decidir en el Estudio Preliminar cual de ellas se utilizará, ya que la escala de levantamiento por emplear en el nivel de Anteproyecto puede ser diferente según la metodología de Estudio Definitivo que se establezca. Algo similar sucede con el orden de control para el sistema de transporte de coordenadas del plano de levantamiento pues, aún cuando dicho plano sea de escala 1:2.000, puede convenir adoptar el orden de control correspondiente a escala 1:1.000, si se prevé la posterior necesidad de un plano a esa escala.

2.805.2 ESTUDIO DEFINITIVO CON ESTACADO TOTAL(EDET)

2.805.201 Objetivos y Alcances. La metodología de estudio definitivo EDET, que constituía el método tradicional antes de la incorporación de las Estaciones Totales, Equipos GPS y Programas Computacionales de Diseño, aborda la etapa de replanteo materializando, en primer término, los alineamientos principales del anteproyecto, Como el anteproyecto que se replantea habrá sido elaborado, normalmente, sobre levantamientos a escala 1:2.000 o menores, el eje replanteado requerirá por lo general de afinamientos. Cumplida esta etapa se procede a estacar los puntos de relleno, con lo que quedan perfectamente definidos en terreno todos los elementos del trazado. La posterior nivelación del perfil longitudinal de terreno y de perfiles transversales representativos, permite desarrollar en gabinete los planos y documentos finales del estudio.

Este procedimiento requiere trabajos prolongados en terreno, los que en oportunidades se ven dificultados por la vegetación, construcciones existentes, etc; pero en definitiva materializa el trazado en toda su longitud, lo que es conveniente en zonas conflictivas donde desplazamientos moderados pueden requerir distintas soluciones estructurales para emplazar la obra básica. Provee , además, antecedentes más precisos para el diseño de las obras de drenaje que los obtenidos de un levantamiento topográfico de escala intermedia (1:2.000 ó 1:5.000).

En aquellos casos en que exista un sistema de Transporte de Coordenadas (STC), materializado en la etapa de Anteproyecto, y éste quede lejos de la alternativa adoptada para el Estudio Definitivo, o bien, que no posea la precisión requerida, los elementos principales del trazado se replantearán "navegando" según la poligonal que define el eje del Anteproyecto. Esta poligonal constituirá un sistema de transporte de coordenadas en si, normalmente de un orden de control terciario, que estará ligado a y cerrado contra el sistema básico utilizado para el Anteproyecto. Si, por el contrario, el sistema básico de transporte está próximo al trazado y posee la precisión necesaria, se puede proceder al replanteo a partir de él.

En este tópico se ilustrará, exclusivamente, el primer método de replanteo mencionado precedentemente. El método de replanteo a partir del STC se expone en 2.805.305, al describir la metodología EDEP. Cuando las condiciones lo permiten también es lícito emplear ambos sistemas en forma mixta.

El principal inconveniente de la metodología EDET es el largo período que se requiere para materializar el eje que dará origen a los planos y que, con frecuencia, el estacado se pierde en buena parte antes de iniciar la construcción, más aún, durante ella, debe ser repuesto una y otra vez., sin que se cuente con un sistema de apoyo cercano que facilite esta operación. Esto es especialmente válido cuando el trazado está compuesto por elementos clotoidales, cuyo replanteo es más complicado que en aquellos casos en que sólo existen rectas y curvas circulares.

2.805.202 Revisión de Antecedentes. El Proyectista debe analizar detenidamente los documentos y planos del Anteproyecto seleccionado, en especial si ha pasado un lapso considerable desde que éste fuera ejecutado, confirmando con el la Dirección de Vialidad que la categoría asignada al proyecto y el perfil tipo sean los mismos consignados en el Anteproyecto. En cualquier caso, este análisis le permitirá planificar debidamente las labores de terreno y estar prevenido respecto de los puntos conflictivos del trazado, que posiblemente requerirán de afinamientos en la etapa de replanteo.

2.805.203 Trabajos de Terreno.

2.805.203(1) Replanteo de los Elementos Principales del Trazado. Los Elementos principales del trazado serán replanteados en terreno, de acuerdo a lo indicado en la Sección 2.307 en su conjunto, y en particular, a lo señalado en 2.307.202(1) y 2.307.202(2).

2.805.203(2) Estacado de Relleno. Los Elementos principales del trazado serán replanteados en terreno, de acuerdo a lo indicado en la Sección 2.307 en su conjunto, y en particular, a lo señalado en 2.307.202(3).

2.805.203(3) Nivelación del Perfil Longitudinal de Terreno. Se nivelarán todas las estacas que definen la proyección del eje sobre terreno. La nivelación debe quedar referida al sistema de transporte altimétrico establecido en la etapa del anteproyecto. Para obtener la cota de cada estaca se deberá promediar los valores obtenidos entre el circuito de ida y el de regreso. La diferencia entre estos dos valores de cotas no deberá superar la tolerancia de $0,01\sqrt{K}$, donde K es la distancia expresada en kilómetros entre el PR y la estaca. Para este cálculo se deberá considerar la mayor distancia entre PR y estaca de ambos circuitos de nivelación.

2.805.203(4) Perfiles Transversales. Se nivelarán secciones transversales al eje en todas las estacas materializadas en terreno, cubriendo un ancho no inferior al de la Faja del Camino. En las zonas de terraplenes o cortes altos, el perfil transversal debe extenderse lo suficiente como para asegurar que se contará con la información necesaria para proyectar las obras. Esta situación es especialmente crítica en el caso de cortes altos, donde el especialista en geotecnia requerirá conocer la inclinación de la ladera más allá del coronamiento del talud. Los procedimientos y tolerancias para ejecutar esta operación son los que se especifican en el Numeral 2.304.503.

2.805.203(5) Levantamientos Complementarios. Eventualmente, cuando se aprecien insuficiencias en el levantamiento del anteproyecto, puede ser necesario efectuar levantamientos complementarios y tomar puntos planimétricos adicionales para definir deslindes, demolición parcial de obras o estructuras, etc. En aquellas áreas en que se prevean proyectos especiales u obras de arte importantes, deberá considerar una densidad de puntos que permita dibujar planos 1:500 con curvas de nivel cada 0.5 m.

La extensión y características de los levantamientos especiales, destinados a resolver problemas de estabilidad de la obra básica, los definirá el Proyectista con la colaboración del Especialista en Geotecnia.

En el caso de cauces importantes, si los datos del plano del anteproyecto no son suficientes, se requerirán perfiles transversales al eje del cauce, cuyo distanciamiento y zona por cubrir hacia aguas arriba y aguas abajo de la obra será definida por el Especialista en Hidrología, respetando las recomendaciones generales contenidas en el Numeral 2.404.103.

Para el proyecto de puentes y estructuras mayores, tan pronto como se tengan los datos del perfil longitudinal de terreno y perfiles transversales del sector que incluye la obra, se entregarán al Especialista Estructural, a fin de que éste decida si requiere antecedentes adicionales, los que podrán ser levantados por la misma brigada que está ejecutando el replanteo.

Cuando se compruebe que existe una coincidencia razonable entre los datos del levantamiento en que se basó el anteproyecto y la información obtenida mediante perfiles transversales, las áreas adyacentes a la faja del camino podrán ilustrarse a partir de los datos extractados del plano de levantamiento, con el fin de elaborar las soluciones relativas al saneamiento del área.

2.805.203(6) Prospección del Perfil Estratigráfico. La planificación de la prospección geotécnica de subsuperficie requiere del conocimiento de la rasante definitiva del proyecto y de la ubicación de estribos y cepas, en el caso de puentes y estructuras. En consecuencia, esta etapa sólo deberá abordarse cuando se tenga un avance suficiente en los planos del proyecto definitivo, salvo que exista una buena coincidencia del eje y la rasante del anteproyecto con los del proyecto definitivo, en cuyo caso se podrá iniciar la exploración de suelos tan pronto como se cuente con el estacado de relleno. En el caso de puentes se requerirá tener definida la ubicación en planta y la estructuración de la obra.

Los procedimientos para el reconocimiento de subsuperficie y ensayos de suelos deberán realizarse en conformidad con lo expuesto en:

2.503 ESTUDIOS EN TERRENO

2.504 ENSAYES EN LABORATORIO

2.805.203 (7) Expropiaciones. Durante la etapa de estacado se deberán recopilar todos los antecedentes que permitan elaborar los planos y documentos requeridos para el proceso de expropiación. Esta labor debe ajustarse a lo especificado en 2.809.

2.805.204 Trabajo de Gabinete Metodología EDET.

2.805.204(1) Cálculo de Coordenadas de los Vértices. La posición final en terreno de los elementos principales del trazado quedó definida mediante una poligonal ligada al sistema base de transporte de coordenadas, y cerrada en tolerancia contra dicho sistema. Las distancias entre vértices y los ángulos entre alineaciones consecutivas permiten calcular las coordenadas de los vértices. Estas coordenadas no se compensarán, ya que, de hacerlo, la deducción analítica de la posición de los diversos elementos mostraría discrepancias con las medidas efectuadas en terreno, lo que se traduciría en fuente de errores y confusiones durante la construcción.

En el plano horizontal del proyecto se incluirá el cuadro de coordenadas y en la memoria se dejará constancia de la discrepancia de cierre, por si en alguna oportunidad fuere necesario imponer sobre el plano de anteproyecto la posición final de la obra utilizando coordenadas compensadas.

2.805.204(2) Elaboración del Plano Horizontal. El plano horizontal o de planta se dibujará, o se generará computacionalmente, a escala 1:1.000, ubicando los vértices de acuerdo con las coordenadas que los definen. Se determinarán los puntos de tangencia de las curvas circulares o elementos clotoidales y la distancia acumulada (Dm), expresada en metros, para los hectómetros. Se verificará el cierre de esta operación en los puntos de tangencia, para los que se conoce analíticamente la distancia acumulada. El desarrollo de los elementos curvos corresponderá al calculado analíticamente.

La información proveniente de los perfiles transversales de terreno y los levantamientos complementarios, permitirá dibujar las curvas de nivel en el entorno del eje. Una vez que se dispone del plano de rasante y se ha incorporado la plataforma a los perfiles transversales, se podrán dibujar los bordes de plataforma y los contornos que definen los extremos de los taludes

El plano de planta podrá complementarse, en cuanto a datos altimétricos y planimétricos, con la información contenida en el levantamiento ejecutado para el anteproyecto, siempre que la coincidencia entre el terreno representado en el levantamiento y las cotas determinadas mediante la nivelación de perfiles sea buena.

Los elementos complementarios que deben figurar en el plano horizontal, y que estarán detallados en planos afines cuando corresponda, son: cunetas revestidas o sin revestir, soleras, bajadas de agua, fosos, contrafosos, alcantarillas, puentes, muros de contención, barreras en taludes, escalonamiento de taludes, cruces con otras vías, solución esquemática de proyectos especiales como intersecciones o enlaces, señalización horizontal y vertical, barreras de contención y todo otro elemento integrante del proyecto que pueda ser ilustrado en planta. La ubicación de todos estos elementos quedará definida por la Distancia Acumulada (Dm) que corresponda a la proyección de sus puntos extremos o puntos notables sobre el eje del proyecto. En proyectos de Camino Primarios y Autopistas se elaborarán planos especiales de drenaje y saneamiento para evitar que se recargue excesivamente la planta con el diseño geométrico.

Los parámetros que definen los elementos curvilíneos se consignarán en forma destacada, incluyendo todos aquellos datos que se especifican en 2.900, empleando para ello recuadros con forma de círculo para las curvas circulares y rectángulos para los las clotoides.

2.805.204(3) Rasante Final y Plataforma del Proyecto. Los perfiles longitudinal y transversales de terreno permitirán definir la rasante final del proyecto, aplicando la metodología expuesta en 2.801.403(5). En esta etapa el eje en planta constituye un dato inamovible y, por lo tanto, la compatibilización final entre planta y alzado así como la optimización del movimiento de tierras, debe lograrse mediante un estudio cuidadoso de la rasante, para lo cual se deberá tener presente las normas y recomendaciones contenidas en el Volumen 3 - Secciones 3.204 y 3.205. En esta operación quedarán definidos todos los elementos de la rasante y la posición final de la plataforma del proyecto.

El plano de perfil longitudinal de terreno y rasante se dibujará a escala 1:1.000 en horizontal y 1:100 en vertical y contendrá toda la información gráfica y numérica que se detalla en 2.902.303 (2). Como complemento que permita verificar la compatibilización entre planta y alzado se incluirá, bajo el perfil

longitudinal, la representación esquemática de la planta y el desarrollo de las transiciones de peralte, según se especifica en la Lámina 2.902.303(2).A.

Sobre los perfiles transversales de terreno se implantará la plataforma de proyecto incluyendo todos los elementos que la definen o que se asocian directamente a ella: peraltes, ensanches, inclinación de los taludes de corte y terraplén, obras de contención de tierras, etc.

El detalle de los elementos gráficos y numéricos que deben figurar en los perfiles transversales se especifica en 2.902.305 (3).

2.805.204(4) Diseño Final de Estudios Complementarios. Durante todo el período de desarrollo de los planos finales el Proyectista trabajará en estrecho contacto con los especialistas en hidrología y geotecnia. El alcance de los estudios en las áreas mencionadas se regirá por lo expuesto en 2.404.103 y 2.506.103, respectivamente.

Los procedimientos por considerar en los estudios complementarios se citan en:

- 2.808.101 Roce y Limpieza de la Faja.**
- 2.808.102 Drenaje Transversal, Saneamiento y Transporte de Sedimentos.**
- 2.808.103 Estabilidad de la Obra Básica.**
- 2.808.104 Protección de Taludes.**
- 2.808.105 Subbases, Bases y Pavimentos.**
- 2.808.106 Señalización y Barreras de Contención.**
- 2.809 EXPROPIACIONES**

2.805.204(5) Diseño Final de Proyectos Especiales. Los proyectos especiales cumplirán con lo especificado en 2.808.2, considerando lo expuesto en:

- 2.808.202 Puentes - Pasos Superiores e Inferiores.**
- 2.808.203 Intersecciones y Enlaces.**
- 2.808.204 Paraderos de Buses.**
- 2.808.205 Lechos de Frenado.**
- 2.808.206 Cruce a Nivel con Vías Férreas.**

Todo proyecto especial debe acompañarse de los planos generales y de detalle que justifiquen la cubicación de la obra y posibiliten su construcción. Se presentarán además las respectivas memorias de cálculo.

2.805.204(6) Especificaciones Técnicas del Proyecto. Se presentarán Especificaciones técnicas para la totalidad de las partidas del Proyecto en conformidad con lo señalado en 2.808.3

2.805.204(7) Cubicaciones y Presupuestos. La elaboración de cubicaciones y presupuestos cumplirá con lo especificado en 2.808.4 y 2.808.5, respectivamente.

2.805.205 Planos y Documentos del Estudio Definitivo.

2.805.205(1) Memoria. La memoria del estudio contendrá, a lo menos, los siguientes antecedentes:

a) Resumen y Conclusiones del Estudio. Incluirá una breve descripción de los siguientes aspectos:

Desarrollo del proyecto en sus diversas etapas de estudio. El emplazamiento y las principales alternativas analizadas se ilustrarán sobre un plano de ubicación de escala adecuada, de preferencia sobre la Carta IGM 1:50.000, a fin de destacar su relación con el resto de la red.

Categoría, criterios y parámetros de diseño adoptados según la clasificación para diseño y sección transversal tipo de la obra, destacando la función considerada, aspectos relevantes del tránsito y sus proyecciones, niveles de servicio inicial y final, y aspectos socioeconómicos y medios ambientales que puedan haber influenciado al proyecto.

Resumen de las características físicas del proyecto: longitud, características generales de la planta y el alzado, principales obras complementarias y proyectos especiales, (Puentes, Túneles, Intersecciones, Enlaces) tipo de pavimento, etc.

Sectores conflictivos del trazado que impongan restricciones al diseño geométrico o que constituyan áreas con problemas especiales de conservación.

Cantidades de obra y presupuesto, con breve comentario respecto de los ítem principales, En el texto se deberán citar las partes del informe o anexos en que se desarrolló cada tema en profundidad.

b) Desarrollo del Informe.

- Descripción del área de emplazamiento del trazado señalando los principales controles considerados.
- Sistema de Referencia, orden de control y método de replanteo. En anexo relativo a Aspectos Geodésicos y Topográficos se incluirá: memoria de cálculo del método empleado para referir el sistema, cierre del replanteo contra el sistema de transporte utilizado, listado de coordenadas finales y cotas, etc.
- Cuadro de Rectas y Curvas y Parámetros del Diseño en Planta.
- Elementos Principales de la Rasante en Alzado.
- Desarrollo de los Estudios de Hidrología y Drenaje según el alcance especificado en 2.404.103. Memorias de Cálculo en el anexo respectivo.
- Desarrollo de los estudios Geotécnicos según el alcance especificado en 2.506.103. En anexo se presentarán los resultados de la prospección y ensaye de suelos.
- Desarrollo de los estudios específicos de Tránsito que haya correspondido abordar en esta etapa.
- Estudio de Seguridad Vial.
- Resumen de los aspectos Socioeconómicos y Ambientales considerados en el estudio, acorde a lo establecido en el Capítulo 9.300 "Marco General para Estudios Ambientales en Proyectos Viales" del MC-V9.
- Resumen de las características e hipótesis adoptadas para el desarrollo de Proyectos Especiales. En anexo se presentarán las memorias de cálculo y cubicación de las obras, haciendo las referencias que correspondan relativas a información hidrológica, hidráulica, geotécnica o de tránsito, contenidas en otros anexos.
- Especificaciones Técnicas del Proyecto en conformidad con lo señalado en 2.808.3.
- Cubicaciones del proyecto, que se presentarán en una memoria que establezca, claramente, como se genera cada una de las cantidades de obra que figuran en el presupuesto, El detalle de las cubicaciones por obra se presentará en anexos, resumiendo en la memoria las cantidades que, proviniendo de distintas obras, se agrupan en un sólo ítem del presupuesto. Por ejemplo, el total de un ítem de hormigón estructural puede provenir de las diversas obras de drenaje transversal, de obras de saneamiento de la plataforma, de muros de contención, etc.
- Análisis de Precios.

El análisis de precios para todas las obras del proyecto se presentará en un anexo considerando lo señalado en el párrafo final de 2.808.5. Obviamente, el estudio del costo directo debe detallar: equipo considerado, rendimientos, jornales, costo de los materiales puestos en la faena, distancia de transporte del movimiento de tierras con una adecuada justificación de las DMT adoptadas, condiciones especiales de trabajo por clima, tránsito, etc.

2.805.205(2) Planos. Los planos que debe considerar el Estudio Definitivo se señalan en la Tabla 2.902.2.A y su detalle gráfico y numérico en 2.902.3, no obstante ello, se presenta a continuación un listado que no es excluyente de otros que se especifican en dicha sección o que resulten indispensables para la construcción de las obras. Las escalas que se indican corresponden a la situación típica:

- Plano General: 1: 10.000 (cuando corresponda).
- Plano Horizontal o de Planta: 1:1.000.
- Plano Longitudinal de Terreno y Rasante: H =1 : 1.000 y V =1 : 100.
- Plano de Perfiles Transversales: 1:100 ó 1:200.
- Plano de Obras de Arte :100
- Plano de Detalle de Obras Complementarias
- Plano de Puentes: General, de Formas, de Detalle y de Enfierradura de los Puentes y Estructuras
- Planos de: Planta, Longitudinales, Transversales y Obras Complementarias para Intersecciones y Enlaces.

2.805.3 ESTUDIO DEFINITIVO CON ESTACADO PARCIAL (EDEP)

2.805.301 Objetivos y Alcances. El Estudio Definitivo con Estacado Parcial tiene por objeto resolver la ubicación y el diseño de un proyecto vial sobre un plano topográfico de gran escala, 1:1.000 ó 1:500, replanteando durante el estudio sólo aquellos sectores del trazado que incluyen puentes u obras similares, o bien donde, mediante un replanteo de la estructura del eje, se desee verificar la calidad del emplazamiento o afinar en terreno la solución concebida sobre el plano de levantamiento. Para la revisión por parte del Inspector del Estudio, se hará un replanteo aproximado cada 100 m y en puntos singulares, según se especifica en 2.805.305 “Segunda Etapa de Terreno Metodología EDEP”.

Por lo tanto, el replanteo detallado del proyecto se ejecuta durante la construcción de la obra, cuando ya se ha ejecutado el roce y despeje de la faja, cuyos límites se replantean como primera actividad de la construcción.

Actualmente, con la disponibilidad de equipos GPS, Estaciones Totales y Programas Computacionales, todos ellos operados por personal especializado, es posible generar Sistemas de Transporte de Coordenadas y Modelos Digitales de Terreno de alta precisión, con lo cual el procedimiento que se describe – EDEP – ha pasado a ser El procedimiento de Estudio Definitivo en los países de mayor desarrollo y no existe razón alguna para que no lo sea también en nuestro país. De hecho, la definición numérica de cada punto de un proyecto por medio de sus coordenadas x, y, z que se logra mediante los programas computacionales de diseño, no tiene sentido si el estacado del proyecto no se ejecuta desde el STC densificado en el entorno del eje proyectado, pues como se dijo al describir el procedimiento de estacado total “navegando” a lo largo del eje proyectado, incorpora imprecisiones propias del sistema, que se pueden ir acumulando y, al ser detectadas mediante un cierre contra el STC, obligar a repetir el replanteo del tramo. En consecuencia, el EDEP permite ahorrar tiempo en la etapa de terreno del estudio y conseguir resultados más precisos, si los trabajos previos (STC y Levantamiento) se ejecutan respetando las normas y procedimientos que se detallan en el Capítulo 2.300 y en el presente Tópico.

La metodología del EDEP consulta cuatro etapas, a saber: Las denominadas Primera de Terreno y Primera de Gabinete que corresponden a la elaboración de un Anteproyecto Avanzado, en tanto que la Segunda de Terreno se asocia a la densificación de la red de replanteo y al replanteo parcial del proyecto, y la Segunda de Gabinete a la elaboración de los planos finales del proyecto.

Como, por lo general, en el estudio de alternativas a nivel de Estudio Preliminar se podrá definir el método de estudio definitivo por emplear, EDET o EDEP, si se selecciona este último la etapa de Anteproyecto puede refundirse con el Proyecto Definitivo pasando a ser las dos primeras etapas del EDEP, un Anteproyecto Avanzado, que se complementa en las etapas tercera y cuarta, resultando un proyecto definitivo apto para licitar y construir la obra.

Normalmente, el empleo de esta metodología resulta recomendable en todas las circunstancias, pudiendo reemplazarse por el EDET en la rectificación de trazados existentes (Recuperación o Cambio de Estándar) cuando las modificaciones al trazado quedaron definidas en el Estudio Preliminar mediante los planos de Relevamiento y/o Restitución de escala intermedia, y se puede proceder al estacado directo sin necesidad de hacer un Anteproyecto y el Levantamiento que este requeriría.

2.805.302 Revisión de Antecedentes. Los aspectos por considerar son los mismos que se señalan en 2.805.202 para la metodología con estacado total. Adicionalmente se deberá revisar prolijamente la memoria de cálculo del sistema de transporte de coordenadas utilizado en el Anteproyecto si ambos fueron realizados previamente.

Si dicho STC cumple con las exigencias del EDEP, se verificará en terreno su existencia, la necesidad de reponer algunos elementos o bien densificarlo.

2.805.303 Primera Etapa de Terreno Metodología EDEP.

2.805.303(1) Levantamiento a Gran Escala. En aquellos casos en que exista un levantamiento confiable y de escala adecuada en el área de emplazamiento de la alternativa seleccionada, se inician los trabajos por un reconocimiento del área para luego continuar con la etapa de gabinete que se describe en 2.805.304.

Si resulta necesario ejecutar un levantamiento escala 1:1.000 para carreteras o 1:500 para intersecciones o enlaces, éste deberá cubrir una faja tal, que permita proyectar con todo detalle la solución elegida en el Anteproyecto.

Los procedimientos y exigencias relativas al levantamiento se regirán por lo expuesto en 2.804.202 para Aspectos Topográficos a nivel de Anteproyecto pero, en este caso, en las escalas señaladas en el párrafo anterior.

Generalmente el levantamiento se limitará, a una faja muy bien determinada, y en consecuencia es probable que el método terrestre sea el más apropiado. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de emplear la aerofotogrametría, si las fotografías disponibles o por obtener permiten alcanzar la escala de restitución requerida, a un costo similar.

El grado de detalle del levantamiento debe permitir desarrollar un proyecto acabado del eje y de la casi totalidad de las obras complementarias. El sistema de transporte de coordenadas deberá cumplir con las exigencias señaladas en 2.303 y el levantamiento con las exigencias señaladas en 2.304.

2.805.303(2) Aspectos de Hidrología y Drenaje. Como el objetivo de la primera y segunda etapa del EDEP es muy similar al de la etapa de estudio a nivel de anteproyecto, diferenciándose sólo en que, en este caso, se trata de desarrollar un "Anteproyecto Avanzado" de la alternativa seleccionada para estudio definitivo, pueden presentarse dos situaciones: a) Los estudios de hidrología y drenaje se realizaron en la etapa de Anteproyecto. En este caso sólo cabe revisar que se haya cumplido con lo especificado en 2.804.202(2), verificar los resultados y complementarlos si se estima necesario. b) Si en el nivel de Anteproyecto no se ejecutaron estos estudios, ellos deberán realizarse en conformidad con lo especificado en 2.804.202(2).

En ambos casos el Especialista debe especificar la extensión de los levantamientos por ejecutar en la zona de puentes y obras de arte importantes.

2.805.303(3) Aspectos Geotécnicos. Se verificará en terreno la información y recomendaciones contenidas en los informes de las etapas previas del estudio. De acuerdo con las conclusiones de este análisis se decidirá si resulta conveniente proceder a realizar un reconocimiento de subsuperficie, que constituya un muestreo básico en el entorno del posible emplazamiento del eje, el que sería complementado posteriormente en la segunda etapa de terreno. La ubicación seleccionada por el especialista para las calicatas o sondajes se consignará en el plano de levantamiento por coordenadas, ya que aún no se conoce exactamente la posición del eje. El reconocimiento de subsuperficie deberá considerar las recomendaciones y especificaciones señaladas en 2.503.2 "Reconocimiento del Perfil Estratigráfico".

2.805.303(4) Demanda y Características del Tránsito. Los estudios de tránsito pueden haber sido desarrollados en la etapa de anteproyecto, según lo especificado en 2.804.202(4), en caso contrario deben desarrollarse según lo que allí se señala, pero orientándolos específicamente a la alternativa que se está desarrollando para el Estudio Definitivo.

2.805.303(5) Aspectos Ambientales y Socioeconómicos. Se analizarán y verificarán las recomendaciones hechas precedentemente, según lo expuesto en 2.804.202(5). Si se detectan nuevos antecedentes o se modifica la calificación otorgada previamente a algunos impactos, ello deberá ser considerado al trazar el eje del Anteproyecto Avanzado en la próxima etapa de gabinete.

2.805.303(6) Proposición Final de Parámetros de Diseño. Esta materia fue expuesta en 2.804.203 para el nivel de Anteproyecto. Corresponde en el EDEP hacer el mismo tipo de análisis que allí se describe, respecto de las recomendaciones emanadas del Anteproyecto.

2.805.304 Primera Etapa de Gabinete Metodología EDEP. En esta etapa se generará el plano del levantamiento verificando su coincidencia con el terreno representado, para luego proceder al trazado de la solución óptima de acuerdo con la categoría del proyecto que se está desarrollando.

En el Numeral 2.804.204 se reseñaron los procedimientos y recomendaciones para abordar el trazado del eje de las diversas alternativas consideradas en el Anteproyecto. En esta oportunidad el trabajo se centrará en torno a la solución gráfico/analítica de trazado que se está desarrollando. Para ello se contará con los antecedentes del anteproyecto y un levantamiento de mayor resolución que permite ejecutar un Anteproyecto Avanzado, desarrollado en todos sus detalles desde el punto de vista geométrico y con un

considerable grado de avance en cuanto a soluciones para todas las obras complementarias. Se detectará así la información de Ingeniería Básica adicional, (topografía, geotecnia, hidráulica), que es necesario recolectar en la segunda etapa de terreno.

Si bien el Anteproyecto Avanzado debe desarrollarse con todo detalle en planta y alzado, los planos necesarios constituyen una etapa intermedia que puede sufrir modificaciones durante las etapas siguientes. En consecuencia, no se exigirán planos definitivos en cuanto a su presentación formal, pero sí deben cumplir en todo lo relativo a precisión e información requerida para el eventual replanteo parcial de las obras.

Los métodos automatizados de computación a partir del modelo de terreno, permiten obtener tantas cubicaciones del movimiento de tierras como se estime necesario, lo que se logra en muy poco tiempo y sin gran esfuerzo, por lo que la optimización del eje en planta y alzado debe estar respaldada por dicho análisis.

La cubicación del resto de las obras se ejecutará en la segunda etapa de gabinete, salvo que se trate de muros de sostenimiento o similares que se asocien directamente con la estabilidad de la obra básica proyectada.

Finalizado el estudio de esta primera etapa de gabinete, se requerirá a la Dirección de Vialidad la aprobación de la solución conceptual desarrollada. Una vez que se cuente con la autorización, se planificará la densificación de la red de replanteo en torno al eje del trazado, la que se ejecutará desde el sistema de transporte de coordenadas materializado en terreno, mediante poligonales ligadas a él y cerradas contra él. Paralelamente se planificará un replanteo referencial del eje cada aproximadamente 100 m en promedio, para que tanto la Inspección como el Proyectista puedan apreciar el emplazamiento del eje en terreno. Este trabajo se define en 2.805.305(2).

2.805.305 Segunda Etapa de Terreno Metodología EDEP.

2.805.305(1) Densificación de la Red de Replanteo. De acuerdo con el programa previamente elaborado se procederá a densificar la red de replanteo, de acuerdo a lo señalado en Numeral 2.303.103(2), materializando monolitos auxiliares según Numeral 2.303.403 e identificados según lo indicado en Numeral 2.303.404. Estos monumentos se ligarán al sistema de transporte de coordenadas mediante procedimientos que permitan mantenerse dentro de las tolerancias correspondientes el orden de control especificado, según sea la extensión del sistema auxiliar que se está materializando, para luego calcular las coordenadas compensadas que les correspondan.

2.805.305(2) Replanteo Referencial del Eje Proyectado. Este trabajo comprende la materialización de un conjunto de señales fácilmente identificables – colihues de 2,5 m de alto enterrados unos 0,5 m y provistos de banderolas – con identificación del kilometraje en que se localizan, los que permitan apreciar la posición del eje proyectado con el objeto de:

- Presentar a la Inspección el emplazamiento del eje y, en conjunto con el Proyectista, definir aquellas zonas que pueden requerir afinamientos.
- Facilitar la labor del personal que debe recabar información relativa al proceso de expropiación.

Los colihues deberán colocarse aproximadamente cada 100 m, pudiendo espaciarse hasta 200 m en alineaciones rectas largas con buena visibilidad para el observador. Más que respetar exactamente el promedio de 100 m, se propendrá a buscar localizaciones en que la señal no sea removida muy rápidamente por efecto de las labores agrícolas, es decir, prefiriendo ponerlos adyacentes a los cercos, en los bordes de los canales, en el cruce de líneas de arboles, etc.

Su emplazamiento se determinará por coordenadas obtenidas del plano y replanteadas desde STC mediante Estación Total o bien, mediante procedimientos GPS (DGPS en tiempo real).

Se aceptará que la exactitud del punto replanteado discrepe hasta $\pm 1,0$ m respecto de las coordenadas teóricas, ya sea porque se trata de un replanteo rápido o por las condiciones del terreno en el punto exacto.

2.805.305(3) Replanteo de los Puntos Principales en Zonas Específicas. Para proceder al diseño de puentes u otras estructuras de similar importancia, o bien para afinar el anteproyecto avanzado en sectores conflictivos del trazado, se deberá proceder al replanteo del eje en dichos sectores.

El replanteo de los puntos principales se ejecutará materializando en terreno dos puntos intervisibles de cada una de las rectas o tangentes que definen el trazado en el sector. Las coordenadas correspondientes a dichos puntos se obtendrán analíticamente del Anteproyecto Avanzado, para luego calcular los ángulos y distancias que los ligan a las estaciones más favorables de la red de replanteo, procedimiento que hoy en día se ejecuta con ayuda de la libreta electrónica, o de la Estación Total, a la que se habrán ingresado archivos de las coordenadas del eje y de las estaciones de replanteo, pudiendo localizarse los puntos por radiación o por intersección con dos estaciones totales, o con instalaciones sucesivas de un solo instrumento, siendo recomendable el método de intersección para el replanteo de obras importantes que no admiten desviaciones (Puentes largos, elemento de acometida a Túneles, etc.) .

En definitiva, los métodos para replantear aquellos puntos que definirán en terreno estas alineaciones aisladas del Anteproyecto Avanzado, serán seleccionados por el Proyectista de acuerdo a cada situación particular, de acuerdo a lo indicado en Sección 2.307. El replanteo de los puntos principales debe repetirse a lo menos dos veces mediante operaciones independientes, para detectar faltas o discrepancias inadmisibles. Si ése fuera el caso, el punto se replanteará nuevamente para levantar la indeterminación. Ahora bien, si el punto replanteado se aprecia desubicado respecto de su posición en el plano o en relación a otros puntos ya replanteados, se deberá revisar el registro de replanteo, o bien replantear el punto desde otra(s) estación(es).

Una vez replanteados los puntos principales de un cierto sector del trazado, y si existen dudas sobre la calidad del emplazamiento, se procederá a señalar en terreno, desde la red de apoyo, ciertos puntos característicos, que pueden ser: puntos de tangencia entre rectas, curvas circulares, clotoides y sus diversas combinaciones, o bien puntos intermedios contenidos en algunos de esos elementos. En base a esta estructura gruesa del eje replanteado, el Proyectista podrá revisar el emplazamiento del trazado en el sector y decidir si se requieren modificaciones. Si así fuera, se harán los ajustes del caso sobre el plano. Se seleccionarán los nuevos puntos que definan las alineaciones o tangentes y se procederá a replantearlas según lo dicho precedentemente, determinando la posición final de los vértices por intersección de las alineaciones.

Las señales provisionarias colocadas para analizar el emplazamiento del trazado se retirarán para evitar posteriores confusiones.

Finalizado el proceso de monumentación se levanta, desde dos de las estaciones de la red de transporte de coordenadas, la ubicación definitiva de los vértices o vértices auxiliares. Para ello, se medirán los ángulos y/o distancias necesarias utilizando métodos que permitan hacer las determinaciones con la precisión correspondiente a un orden de control consecuente con la importancia del elemento geométrico de que se trate.

Normalmente una triangulación simple, que comprometa dos estaciones de la red y el punto por levantar, será el método más seguro para dar coordenadas compensadas al punto.

Las coordenadas que se determinen para la posición final de los elementos principales replanteados serán inamovibles y, a partir de ellas, se calcularán analíticamente las distancias entre vértices y los ángulos entre las alineaciones comprometidas. Obviamente, aún cuando no se hubieran realizado ajustes respecto del anteproyecto avanzado, las coordenadas finales de los vértices replanteados resultarán algo distintas de las calculadas a partir del plano del anteproyecto avanzado, siendo necesario recalcular analíticamente, en la segunda etapa de gabinete, todos los elementos que definen el trazado en esos sectores, a partir de las coordenadas finales correspondientes a los puntos principales replanteados en terreno. Obviamente las modificaciones alterarán la distancia acumulada del proyecto y se deberá por lo tanto recalcularla de allí en adelante a todo lo largo del estudio; lo que ejecutará automáticamente el programa de diseño.

2.805.305(4) Estacado de Relleno en Sectores Específicos. Los puentes, pasos superiores, obras de arte especiales y, eventualmente, los cruces con otras vías, obligan a estacar el eje en el sector comprometido a fin de nivelar el perfil longitudinal y tomar perfiles transversales representativos. Ello implica estacar puntos de relleno en el sector y determinar la distancia exacta de una de estas estacas a alguno de los puntos principales, a fin de poder ligarse a la distancia acumulada que se definirá, analíticamente, en la

próxima etapa de gabinete. Con esta información los especialistas de las áreas que correspondan podrán desarrollar los proyectos basándose en antecedentes que posean la exactitud requerida.

2.805.305(5) Reconocimiento del Perfil Estratigráfico. Lo expuesto en 2.805.203(6) para la metodología EDET es, en gran medida, aplicable en este nivel de estudio, ya que la coincidencia entre la rasante del Anteproyecto Avanzado y la del Proyecto Final debería ser bastante buena. En consecuencia, durante esta etapa el especialista en geotecnia deberá recorrer el terreno una vez más y planificar un reconocimiento complementario al que pudiera haberse ejecutado en la primera etapa de terreno. Los puntos donde se excavarán calicatas, o donde se realizarán sondajes o perfiles sísmicos, se definirán sobre el plano, y el equipo de topografía procederá a replantearlos ya sea con estación total o mediante GPS geodésico en su aplicación de replanteo.

2.805.306 Segunda Etapa de Gabinete Metodología EDEP.

2.805.306(1) Cálculo y Dibujo del Eje en Planta. Esta etapa corresponde a la elaboración de los diseños y planos finales del Estudio Definitivo con Estacado Parcial.

Los sectores del trazado que fueron replanteados en la etapa precedente, quedaron definidos en terreno mediante los puntos principales allí materializados. Los vértices que se producen en la intersección de rectas y/o tangentes consecutivas, determinan distancias y ángulos que se calculan analíticamente. Los elementos curvos que enlazan dichas rectas o tangentes se calculan en base a los parámetros finales que se decida adoptar, ya que, según lo observado en terreno en la etapa de replanteo parcial, pueden existir modificaciones respecto del Anteproyecto Avanzado. De hecho el proyectista tiene aún bastante libertad para adoptar soluciones de enlace entre las rectas y/o tangentes replanteadas.

Sobre el modelo de terreno se localizan, por sus coordenadas, los vértices que definen la nueva estructura del trazado en los sectores modificados. A continuación se implantan los elementos curvos, mediante las herramientas propias del programa de diseño, y se procede a determinar la distancia acumulada a lo largo del nuevo trazado, así como el resto de los elementos principales. Se revisarán las modificaciones que pudieran existir en relación a las obras complementarias consideradas durante el desarrollo del Anteproyecto Avanzado y se hacen los ajustes que fueren necesarios.

2.805.306(2) Rasante Final y Plataforma de Proyecto. Contando con el eje final en planta se extraen del modelo de terreno los datos del perfil longitudinal y perfiles transversales de terreno desde el inicio de la modificación y hasta el inicio de la modificación siguiente, o hasta el fin del proyecto si no hay otras, ya que la distancia acumulada experimentará cambios. Si en el proceso se hicieron nivelaciones longitudinales y/o transversales para puentes o estructura, los datos obtenidos se incorporan al modelo digital para luego trazar la rasante final en conformidad con lo expuesto en 2.801.403(5).

2.805.306(3) Estudios y Diseños Finales. Para completar los diseños, los estudios deben cumplir los mismos objetivos y alcances descritos para la metodología con Estacado Total, según se cita a continuación:

- Rasante Final y Plataforma del Proyecto 2.805.204(3).
- Diseño Final de Estudios Complementarios 2.805.204(4).
- Diseño Final de Proyectos Especiales 2.805.204(5).
- Especificaciones Técnicas del Proyecto 2.805.204(6).
- Cubicaciones y Presupuestos 2.805.204(7).

2.805.306(4) Información para el Replanteo. El estudio debe entregar todos los datos para el replanteo en la etapa de construcción, considerando los siguientes:

Datos para el Replanteo de Puntos Principales y Puntos de Relleno. Se entregará un listado de coordenadas de todos los vértices y puntos de tangencia que definen la estructura del trazado, así como de los puntos de relleno cada 20 m. La entrega se hará en copia dura y en archivo magnético.

El equipo de replanteo podrá proceder desde la red densificada del STC o bien replantear ciertos tramos por el eje (rectas largas con buena visibilidad).

Especial importancia debe darse al replanteo de los puntos de tangencia entre rectas, clotoides y curvas circulares u otras combinaciones de elementos curvos, ya que éstos constituyen puntos característicos en que se debe cerrar el replanteo de un elemento e iniciar el replanteo del próximo, e incluso pueden ser usados como estaciones para replantear por el eje un cierto tramo.

No es necesario entregar un esquema de replanteo desde puntos del STC, pues cada geomensor elegirá en distintas oportunidades puntos de la red que le resulten mas cómodos, atendiendo a la visibilidad (antes del roce o después del roce) e incluso podrá materializar estaciones auxiliares en la primera etapa del trabajo.

2.805.307 Planos y Documentos Metodología EDEP. El informe final de un EDEP debe contener los mismos documentos y planos descritos en 2.805.205, para un estudio definitivo con estacado total. Adicionalmente debe contener un anexo dedicado exclusivamente a los Datos de Replanteo requeridos en la etapa de construcción de la obra, considerando lo señalado en 2.805.306(4)

SECCIÓN 2.806 ESTUDIO DEFINITIVO PARA RECUPERACIONES DE ESTÁNDAR (RED)

2.806.1 ASPECTOS GENERALES

Esta metodología de estudio en trazados existentes debe desarrollarse según las características propias de cada proyecto en particular. Ella contempla las etapas de Estudios de Ingeniería Básica y Diseños Finales o Estudio Definitivo.

El Estudio Preliminar del Proyecto contempla la elaboración de los Términos de Referencia Específicos que complementarán los Documentos Generales contenidos en el presente Volumen.

En dichos documentos se establecerá si el proyecto requiere sólo de un Balizado por el eje o de un Relevamiento detallado de la geometría, con los trabajos topográficos y planos respectivos, destinados a rectificar aquellos elementos geométricos que se deben modificar para homogeneizar el estándar de la vía.

2.806.2 INGENIERIA BÁSICA

En el caso de repavimentaciones, la Ingeniería Básica implica un balizado cada 10 ó 20 metros por el eje de la vía y su posterior nivelación, estableciendo cotas del eje y bordes de pavimento al milímetro (Perfiles Cortos). Mediante estos datos se estudiará, en la etapa de diseño, la sub-rasante de repavimentación, que permita rectificar las deformaciones de la calzada con un espesor mínimo de capa nivelante y, si ello está previsto, sin retirar la estructura existente. Si, debido al espesor de la estructura de repavimentación, se requiere ensanchar la plataforma para mantener el ancho útil de las bermas, será necesario tomar perfiles transversales de la obra básica cada 20 metros y en puntos singulares a fin de proyectar y cubicar dicho ensanche, estos perfiles llamados Perfiles Largos pueden tomarse con nivel en el mismo proceso anterior o con estación total y la tolerancia de las determinaciones en distancia y cota será la establecida en Numeral 2.304.503.

Según sea la calidad y representatividad de los estudios geotécnicos existentes, será necesario complementar o realizar calicatas y tomar muestras de suelos y de la estructura del pavimento, a fin de poder diseñar la repavimentación. Actualmente buena parte de esta prospección se reemplaza por determinaciones con el Deflectómetro de Impacto (FWD).

Normalmente, una repavimentación total requiere de una verificación y adecuación del sistema de drenaje y saneamiento, las labores topográficas incluirán aquellas nivelaciones y/o levantamientos especificados, con este objeto, en el estudio preliminar.

Si los datos relativos a tránsito con que se contó en la etapa de estudios preliminares no fueran suficientes, se deberá llevar a cabo el programa de mediciones que se hubiere establecido en dicho nivel.

En el caso de estudios de recuperación por fallas específicas de la infraestructura, la Ingeniería Básica estará constituida por los levantamientos y nivelaciones del área fallada. Generalmente, los estudios geotécnicos requieren de perfiles transversales para estudios detallados de estabilidad de cortes o terraplenes. En ciertos casos, cuando se trata de levantar laderas escarpadas, el empleo de sistemas láser aerotransportado, puede resultar de gran ayuda. (2.304.4).

Los estudios geotécnicos suelen requerir prospecciones en profundidad, debiendo recurrirse a sondajes, perfiles geosísmicos, etc. Ciertos tipos de suelos deberán estudiarse desde el punto de vista de sus características mecánicas o de deformabilidad, requiriéndose ensayos del tipo corte directo, triaxial, consolidación, etc.

Los Capítulos 2.300 a 2.700 describen las materias asociadas a los estudios de Ingeniería Básica.

2.806.3 DISEÑO FINAL O ESTUDIO DEFINITIVO

La etapa de diseño producirá los planos, especificaciones, cubicaciones y presupuestos del proyecto de recuperación. Según sea el tipo de recuperación, se deberán incluir las memorias y cálculos detallados de la solución adoptada.

Los aspectos de diseño relativos a la superestructura del camino se tratan, en detalle en el MC-V3, Capítulo 3.600, y aquéllos relativos al diseño de obras de saneamiento y drenaje en el Capítulo 3.700. El diseño estructural de fallas mayores de la obra básica de una carretera o camino, deberá, por lo general, contar con el concurso de especialistas en geología y geotecnia. En la Sección 3.602 se presenta una síntesis de los principales problemas geotécnicos y de algunos procedimientos de cálculo, todo ello, sin embargo, orientado más bien al diagnóstico del problema.

SECCION 2.807 ESTUDIO DEFINITIVO PARA CAMBIOS DE ESTANDAR (CED)

2.807.1 ASPECTOS GENERALES

Los proyectos de cambio de estándar se desarrollan normalmente siguiendo las metodologías de Anteproyecto y Proyecto Definitivo. Si el Informe Preliminar estableció la necesidad de realizar un Anteproyecto, la metodología de Estudio Definitivo con Estacado Parcial (EDEP), que incluye un anteproyecto avanzado sobre un plano de gran escala, resulta la más adecuada. Si por el contrario es posible pasar del Informe Preliminar al Estudio Definitivo, la metodología de Estacado Total, directo sobre el camino debería preferirse.

El Estudio Preliminar contempla la elaboración de los Términos de Referencia Específicos que precisarán la metodología por emplear, los que complementarán los Documentos Generales del presente Volumen .

Según lo que se especifique en los Términos de Referencia Específicos, los Procedimientos de Terreno y Gabinete coincidirán con alguno de los descritos en:

- Anteproyecto 2.804.
- Estudio Definitivo con Estacado Total 2.805.2.
- Estudio Definitivo con Estacado Parcial 2.805.3.

2.807.2 METODOLOGIAS ALTERNATIVAS

Los proyectos de cambio de estándar se adaptan por lo general al esquema de anteproyecto y estudio definitivo. Debe recordarse, sin embargo, que en la etapa de estudio preliminar (EPTE), se consulta la posibilidad que los Términos de Referencia Específicos reemplacen el relevamiento mediante GPS de los elementos geométricos por un levantamiento del eje de la vía existente. En estos casos, la etapa de anteproyecto consistirá en terminar dicho levantamiento de acuerdo con el programa establecido en el informe del estudio preliminar, y estudiar sobre él las alternativas de solución viables.

En el caso que el cambio de estándar consulte variantes de cierta importancia, cada una de ellas puede ser tratada como un nuevo trazado, siguiendo la secuencia más adecuada al caso.

Si en el nivel de estudios preliminares se optó por ejecutar un levantamiento aerofotogramétrico, el proceso por seguir en esta etapa calza perfectamente con el esquema clásico y se actuará en consecuencia.

En el caso de existir planos adecuados de la vía por modificar, el anteproyecto se ejecutará sobre esos documentos y el estudio definitivo será un EDEP o un EDET, según la calidad y escala de los planos existentes.

En consecuencia, según sean las metodologías que corresponda adoptar, se seguirán las recomendaciones dadas anteriormente para ANT, EDEP o EDET.

SECCION 2.808 ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

2.808.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

Todos aquellos estudios que, sin ser propiamente aspectos de trazado o de diseño geométrico, se derivan de o complementan el estudio del trazado, se denominarán Estudios Complementarios. Las características de estas obras quedarán normalmente incorporadas en los planos de trazado, o bien en planos afines directamente relacionados con éstos.

En los próximos párrafos se establece el alcance y/o la oportunidad en que deben ser considerados los siguientes aspectos:

- Roce y Limpieza de la Faja.
- Drenaje y Saneamiento.
- Estabilidad de la Obra Básica.
- Protección de Taludes.
- Subbases, Bases y Pavimentos.
- Señalización y Barreras de Contención.

A pesar de ser éstos los únicos aspectos que se tratan en forma explícita, la enumeración no pretende ser excluyente.

Las obras que requieren de estudios, que pueden desarrollarse paralelamente al estudio del trazado una vez que se han compatibilizado los problemas de emplazamiento, tales como: Puentes, Intersecciones o Enlaces, se han denominado Proyectos Especiales y se tratan en el Tópico 2.808.2.

2.808.101 Roce y Limpieza de la Faja. El tratamiento de la faja del proyecto debe estudiarse considerando los diversos aspectos que se destacan en el MC-V3, Capítulo 3.300, Sección 3.309 "Tratamiento de Zonas Marginales". En especial, para el roce y limpieza de la faja, se tendrá en consideración lo expuesto en relación a la conservación de aquellos árboles y/o arbustos que no interfieran con las obras ni obstaculicen la visibilidad.

Las Especificaciones Técnicas Generales de Construcción contenidas en el MC-V5, Sección 5.102 deberán ser complementadas por especificaciones técnicas particulares del estudio, a fin de dejar claramente establecidos los aspectos señalados precedentemente.

2.808.102 Drenaje Transversal, Saneamiento y Transporte de Sedimentos. El estudio de estas materias comprende dos componentes principales: la Hidrología que dice relación con la determinación de los caudales que escurrirán asociados a un cierto período de retorno, y el Diseño Hidráulico de las obras destinadas a reponer el drenaje natural del área, o bien, a encauzarlo de modo que no se produzcan daños en la carretera o en el entorno en que ella se emplaza.

Los procedimientos generales para el estudio hidrológico se detallan en los Capítulos 2.400 y 3.700. Su análisis debe iniciarse en los estudios preliminares, pues ayuda a establecer la importancia de los controles relacionados con estas materias. Deberá quedar prácticamente terminado en el nivel de anteproyecto.

La cantidad, emplazamiento general y secciones aproximadas de las obras de drenaje transversal, deben ser consideradas desde el inicio del estudio del trazado. Para ello, el Proyectista debe tener presente las normas y recomendaciones contenidas en la Sección 3.703 del MC-V3. Respecto de los problemas de transporte de sedimentos (socavaciones, defensas fluviales, etc.), se considera lo expuesto en la Sección 2.404 y en las Secciones 3.707 y 3.708 del MC-V3.

El saneamiento general de la faja, que puede incluir el drenaje de áreas de fundación, canalización de cursos menores, desvío de canales, fosos, etc., también debe ser considerado desde los inicios del estudio, pues puede involucrar obras de alto costo que, en ciertos casos, llegan a constituir controles negativos que pueden aconsejar el abandono de dicho emplazamiento. El MC-V3, Secciones 3.705 "Diseño de Canales en Régimen Uniforme" y 3.706 "Drenaje Subterráneo", entrega normas y recomendaciones para abordar estos problemas.

El saneamiento de la plataforma involucra estudios de detalle que pueden ser abordados sólo en términos generales a nivel de anteproyecto, quedando el estudio final para la etapa de estudio definitivo. El diseño de cunetas, canales interceptores en cortes y terraplenes, sumideros, bajadas de agua, etc., se detalla en el MC-V3, Sección 3.704, desde el punto de vista hidráulico. Las formas y dimensiones que se detallan en la Sección 3.303 "La Sección Transversal de la Infraestructura", del MC-V3, también deben ser consideradas para lograr una adecuada coordinación.

El alcance o profundidad con que deben abordarse estos estudios en los distintos niveles, se señala en la Sección 2.404 de este Volumen.

Durante la ejecución del levantamiento, el Proyectista deberá cuidar que las áreas asociadas a cursos de agua permanentes, así como las quebradas, bajos inundables, etc., queden representadas en la extensión suficiente como para poder calcular secciones disponibles, pendientes, dirección general del escurrimiento en terrenos con poco desnivel, etc.

Las materias relativas al Transporte de Sedimentos e Hidráulica Fluvial se tratan en las Secciones 2.404, para las primeras, y en las Secciones 3.707 y 3.708 del MC-V3 en lo relativo a Hidráulica Fluvial

El estudio geotécnico ayudará a precisar la posibilidad de arrastre de sólidos, calidad del terreno para la fundación de estructuras, permeabilidad de los materiales en zonas que requieren drenaje subterráneo, necesidad de revestir cauces a las salidas y entradas de las obras de arte, etc.

2.808.103 Estabilidad de la Obra Básica.

2.808.103(1) Objetivos y Alcances. Los problemas más corrientes relativos a la estabilidad de la obra básica dicen relación con las características del terreno natural sobre el que se emplaza la obra, las variaciones que estas características experimentan por la presencia de agua en el terreno de fundación, las características del material de aporte utilizado para la construcción de terraplenes y los diseños y métodos constructivos especiales que se deberán especificar en las zonas conflictivas. Se tratan en la Sección 3.602 del MC-V3.

Aún cuando se cuente con la colaboración de un especialista en geotecnia, el Proyectista debe poseer un buen manejo de los conceptos expuestos en el MC-V3, Sección 3.602 "Diseño de la Infraestructura", así como de los procedimientos relativos a la prospección del terreno que se exponen en el Capítulo 2.500 "Ingeniería Básica, Aspectos Geotécnicos".

2.808.103(2) Terraplenes y Cortes. Desde los primeros intentos para localizar un eje, el Proyectista deberá tener en consideración los controles geotécnicos, tanto positivos como negativos, que presentan las diversas áreas de la ruta en estudio. En etapas más avanzadas, el estudio de los perfiles transversales de terreno permitirá la identificación de zonas que requieran de un tratamiento especial, como ser: Escalonamiento de laderas con pendiente transversal mayor que 20%, si sobre ellas deben fundarse terraplenes; cortes o terraplenes de gran altura que puedan requerir estudios especiales de estabilidad, etc.

Los parámetros que permiten establecer las características de la obra de tierra se irán definiendo con grados crecientes de precisión, según se indica en la Sección 2.506, para los diversos niveles de estudio.

2.808.103(3) Estructuras de Contención de Tierras. Cuando el eje se emplaza en laderas de fuerte pendiente transversal y conformación muy irregular, aparecerán situaciones en que resulta ineludible el uso de estructuras de contención de tierras.

En muchos casos el Proyectista podrá recurrir a muros de contención, los que se encuentran tipificados en el Capítulo 4.400 del MC-V4. La selección del tipo de muro por emplear dependerá de las características del terreno en que éste deba fundarse, del espacio disponible o de las relaciones de costo entre uno y otro tipo, cuando no lo determine la calidad misma del terreno de fundación.

Para muros de altura moderada, hasta 3 m, la Sección 4.403 del MC-V4 presenta muros gravitacionales de hormigón o mampostería de piedra, éstos últimos pueden ser convenientes cuando existe abundante roca suelta, de tamaños adecuados, en el entorno del eje del proyecto.

Si el terreno de fundación está constituido por roca o suelo firme, se podrán usar muros tipo de hormigón armado de hasta 6 m de alto (ver Sección 4.401). Si, por el contrario, se trata de suelos heterogéneos en que se prevén asentamientos diferenciales, puede resultar más adecuado el uso de muros tipo jaula, que se construirán de durmientes de segundo uso, (caminos secundarios), con alturas de hasta 6.60 m, o bien de piezas prefabricadas de hormigón, para los cuales se presentan soluciones de hasta 9.75 m de alto (ver Sección 4.404).

Existen otras alternativas de sostenimiento de tierras, no tipificadas, que pueden ser utilizadas por el proyectista si la situación así lo aconseja. Estas soluciones pueden ser: muros de gaviones, tierra armada, muros gravitacionales de hormigón, tablestacados, mampostería de piedra, etc: cuyos diseños deben acompañarse de las memorias de cálculo correspondientes.

En caminos de tipo local o de desarrollo el Proyectista puede considerar el uso de soluciones no tipificadas, tales como mampostería de piedra, troncos rollizos, rieles en desuso, etc., para las que deberá presentar planos tipo detallados.

Los muros tipo que se adopten deben ser verificados para la condición propia del terreno en que se fundarán. Los muros no tipificados que se proyecten deben acompañarse de la memoria de cálculo de estabilidad y del diseño estructural, cuando corresponda.

El emplazamiento y dimensiones generales del muro se definirán mediante secciones transversales y un perfil longitudinal por el eje, debidamente acotados, mostrando el detalle de los tramos modulares en los muros de jaulas y en los de gaviones. Se incluirán los planos de ubicación, la distancia acumulada D_m de inicio y término del muro y las cotas de fundación.

Las escalas de los dibujos pueden ser entre 1:10 y 1:100, según la vista o detalle que se esté ilustrando.

2.808.104 Protección de Taludes.

2.808.104(1) Aspectos Generales. Los taludes de cortes y terraplenes estarán expuestos a deterioro por escurrimiento de aguas lluvia, según sea el tipo de material constituyentes, y/o por los caudales que puedan llegar a concentrarse en una zona. Los terraplenes que se emplazan en la ribera de un lago o río, pueden sufrir daños de consideración causados por el oleaje provocado por el viento o por las crecidas de los ríos. La Sección 3.708 del MC-V3 aborda el diseño de las Defensas Fluviales a Defensas de Ribera.

2.808.104(2) Obras para el Control de Escurrimientos sobre Taludes. La Sección 3.704 "Drenaje de la Plataforma", del MC-V3, en el Tópico 3.704.2 trata las obras asociadas al control de flujos distribuidos o concentrados que pueden afectar los taludes.

En zonas de cortes la adecuada disposición de contrafosos en la parte alta de la ladera permitirá interceptar los flujos que escurren hacia el talud. Dependiendo del tipo de suelos y de la pendiente general del contrafoso, éste puede requerir revestimientos para asegurar su funcionamiento. Un adecuado estudio de la zona terminal del contrafoso resulta indispensable para evitar erosiones destructivas.

Los taludes de terraplenes que se construyan con suelos finos, deben ser protegidos mediante cunetas o soleras colocadas en el extremo exterior de la berma, las que deberán disponer de bajadas de agua razonablemente espaciadas, o bien conectarse a obras de drenaje transversal. En zonas húmedas, el recubrimiento del talud con terreno vegetal proveniente del escarpe induce una pronta recuperación de la vegetación que ayuda a controlar erosiones.

2.808.104(3) Defensas en Base a Enrocados y Gaviones. La protección de taludes ribereños suele constituir un problema cuya complejidad dependerá de la magnitud de los caudales y velocidades de escurrimiento. Cualquiera sea el material de protección por utilizar, enrocados o gaviones, el éxito estará supeditado a una adecuada consideración de la probable socavación al pie de la estructura y del tamaño de la roca y filtros consultados entre ésta y el talud del terraplén, en el caso particular de los enrocados. Diversas soluciones tipo de esta clase de defensas y los procedimientos de cálculo respectivos se tratan en la Sección 3.708 del MC-V3.

Independientemente de la solución que se adopte, el proyectista debe justificar las condiciones hidráulicas supuestas, las socavaciones probables, los taludes del enrocado, el tamaño y forma de colocación de los elementos, etc.

Se dibujarán secciones transversales de las defensas y se hará un perfil longitudinal por el eje del pie del enrocado, o por el eje del muro, según sea el caso.

La escala por usar será entre 1:10 para los detalles y 1:100 para los perfiles, pudiéndose adoptar la que mejor sirva a los propósitos de mostrar claramente el proyecto.

Se incluirán las cubitaciones, tanto de las defensas como de las excavaciones que sean necesarias, indicando claramente la Distancia Acumulada de los puntos inicial y final, así como de aquellos puntos intermedios en que exista un cambio de la sección proyectada.

2.808.105 Subbases, Bases y Pavimentos. El Proyectista deberá contar con una buena estimación del espesor de la estructura del pavimento o capa de rodadura antes de iniciar el estudio de ejes a nivel de anteproyecto, por cuanto resulta indispensable conocer el ancho de la plataforma de subrasante para fijar su posición en laderas y en zonas de corte, en general.

Las capas de grava se dimensionarán en función del poder de soporte del terreno natural en corte y de los materiales a utilizar en terraplenes, considerando los espesores que se señalan en el Volumen N° 7, Tópico 7.102.2.

En el caso de pavimentos, se recurrirá a los métodos propuestos en las Secciones 3.603 a 3.605 del Volumen 3, los que pueden aplicarse, a nivel de anteproyecto, utilizando parámetros de diseño determinados a partir de correlaciones conocidas, (Clasificación de Suelos → CBR; CBR → K; Características de Tránsito → Estratigrafía), En etapas más avanzadas se utilizarán los parámetros determinados en el estudio mediante la prospección, muestreo y ensaye de suelos.

2.808.106 Señalización y Barreras de Contención.

2.808.106(1) Señalización. Los estudios avanzados de un camino incluirán la ubicación, tipo de señales verticales y horizontales (demarcaciones) y elementos de apoyo a la seguridad vial; que deben colocarse en la vía para información, prevención y regulación del tránsito; debiendo cumplir con las disposiciones del MC-V6, el que considera lo establecido en el Manual de Señalización de Tránsito de MINTRATEL.

El análisis de la Seguridad Vial, en lo referente a la señalización vertical y horizontal, elementos de apoyo, segregación, etc.; debe hacerse desde los primeros niveles de estudio y de acuerdo a lo indicado en el MC-V6 Seguridad Vial, fundamentalmente a la Sección 6.202 Incorporación de la Seguridad Vial en Proyectos Viales y otras secciones específicas pertinentes de este mismo volumen.

2.808.106(2) Barreras de Contención. Para definir la ubicación, tipo, emplazamiento y uso de las barreras de contención, el proyectista deberá considerar lo expuesto en el Capítulo 6.500 Sistemas de Contención Vial del MC-V6 Seguridad Vial.

2.808.2 PROYECTOS ESPECIALES

2.808.201 Aspectos Generales. Se denominarán Proyectos Especiales aquellas obras que, aún cuando forman parte del estudio de una carretera o camino, constituyen una unidad que puede ser desarrollada en forma independiente, una vez que se ha definido su emplazamiento y las relaciones que la ligan al resto del proyecto. Los casos típicos están representados por Puentes, Intersecciones y Enlaces, existiendo otros proyectos menores, tales como Paraderos de Buses, Lechos de Frenado, Cruces con Vías Férreas sin guarda cruce cuyo tratamiento se referencia más adelante.

Los proyectos especiales figurarán en los planos de trazado del estudio, a fin de mostrar su ubicación y principales características. Sin embargo, el desarrollo de la solución se presentará en láminas separadas, normalmente, a escalas mayores que las del proyecto de trazado.

El plano de planta general indicará claramente los límites del proyecto especial, ya que el detalle de sus ubicaciones se desarrollará y se presentará separadamente.

2.808.202 Puentes - Pasos Superiores e Inferiores. Todas las materias que dicen relación con Puentes y Estructuras afines se tratan en el Capítulo 3.1000 del MC-V3.

2.808.202(1) Objetivos y Alcances. Se considerarán como Puentes aquellas estructuras que posean una luz libre superior a 15 m y que, por lo tanto, no están tipificadas en el MC-V4, o que, por sus especiales características, requieren un estudio especial, ya sea para la superestructura o para la infraestructura.

El emplazamiento de un puente implica considerar exigencias impuestas por el trazado, así como consideraciones de tipo estructural, hidrológico e hidráulico y, no menos importantes, de tipo geotécnico y ambiental. El Proyectista deberá, en estos casos, conciliar las preferencias de los distintos especialistas para lograr una solución equilibrada y consecuente con la categoría del Proyecto.

2.808.202(2) Ingeniería Básica y Criterios de Diseños. El Capítulo 3.1000 "Puentes y Estructuras Afines" del MC-V3, Sección 3.1002, presenta la normativa relativa a los aspectos de Ingeniería Básica; las Secciones 3.1003 y 3.1004, los criterios y recomendaciones que deben considerarse para el estudio y diseño de esas estructuras. El MC-V9 cubre los aspectos ambientales.

2.808.203 Intersecciones y Enlaces.

2.808.203(1) Aspectos Generales. Cuando el trazado en estudio deba empalmarse o cruzarse con una carretera existente, o bien sea necesario proyectar accesos a centros poblados, se deberán estudiar las intersecciones o enlaces que correspondan, según sean la categoría de las vías involucradas y los flujos de tránsito que, se prevé, concurrirán al nudo.

El plano de planta del estudio incluirá la planta general del nudo, con el grado de detalle necesario para tener una visión de conjunto respecto de las vías que concurren a él, así como de la solución operativa adoptada. El proyecto del nudo se desarrollará en láminas separadas, normalmente a mayor escala que la del estudio del trazado.

El diseño y las ubicaciones de los elementos del nudo, así como de aquellos sectores de las carreteras comprendidos en la zona del Proyecto Especial, se desarrollarán en base a los antecedentes contenidos en las láminas de dicho proyecto. La planta general de la carretera o camino en estudio deberá indicar, de manera destacada, la Distancia Acumulada (Dm) correspondiente a los límites del Proyecto Especial y los números de las láminas en que se desarrolla dicho proyecto.

2.808.203(2) Justificación para la Separación de Niveles. La decisión de adoptar un enlace o una intersección como solución a un nudo carretero, depende de factores técnicos y económicos que deben ser considerados cuidadosamente. En cualquier caso, para que se justifique la separación de niveles deben concurrir una o varias de las causales que se señalan en el MC-V3, Numeral 3.501.202.

Para analizar la capacidad de una intersección a nivel, se recurre a los Números 3.402.303 al 305 del MC-V3, donde se describen algunos métodos básicos. En la literatura especializada se encuentran otros procedimientos o modelos que pueden, eventualmente, responder mejor a las características específicas del problema bajo análisis.

2.808.203(3) Antecedentes Topográficos. La cantidad de detalles que implica el estudio de una intersección o un enlace aconseja, la gran mayoría de las veces, que se disponga de un levantamiento escala 1:500 con curvas de nivel cada 0,5 m. En caso que alguna de las vías que concurre al nudo sea pavimentada y se pretenda mantener inalterada su rasante, será necesario nivelar geoméricamente el eje y bordes de pavimento, para poder estudiar los empalmes que se requieran.

Si el estudio consulta la remodelación de una intersección o empalme existente, puede resultar más conveniente ejecutar un levantamiento planimétrico, para luego proceder a levantar, mediante nivelación geométrica, los perfiles longitudinales y transversales que definan exactamente las obras existentes.

En cualquiera de los casos antes mencionados, el levantamiento planimétrico del área afectada debe ser muy completo, a fin de poder estudiar el sistema de drenaje y la interferencia que puedan crear las obras y servicios existentes.

2.808.203(4) Diseño de Intersecciones y Enlaces. El diseño de las Intersecciones deberá desarrollarse en conformidad con las normas y recomendaciones que se presentan en el MC-V3, Capítulo 3.400.

El diseño de los Enlaces deberá cumplir con las normas y recomendaciones contenidas en el Capítulo 3.500. Los pasos superiores o inferiores que formen parte del proyecto deberán estudiarse considerando lo expuesto en el Capítulo 3.1000

2.808.204 Paraderos de Buses. Los diseños tipo de estos dispositivos se presentan en el Numeral 3.302.601.

2.808.205 Lechos de Frenado. Estos dispositivos destinados a controlar el desplazamiento de un vehículo al que le ha fallado el sistema de frenos, se tratan en el Numeral 3.302.602.

2.808.206 Cruce a Nivel con Vías Férreas. El cruce a nivel con vías férreas, en zona rural, donde no existe control permanente mediante guarda cruce, se trata en el Numeral 3.404.208.

2.808.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Las cubicaciones y el cálculo de precios unitarios de las diversas partidas, deberán prepararse en conformidad con el MC-V5 "Especificaciones Técnicas Generales de Construcción". Es decir, deberán considerar las actividades consultadas en la partida, las exigencias constructivas, la unidad de medida y el método de medida y pago que allí se especifica.

Si alguna de las obras del proyecto requiere partidas no previstas en el MC-V5, o bien modalidades de construcción diferentes de las que allí se especifican, el Proyectista deberá redactar Especificaciones Técnicas Especiales que incluyan todos los aspectos señalados precedentemente, debiendo destacarse en la Memoria de Cubicaciones que se trata de una partida especial.

Las partidas para los cuales la especificación general existente debe ser modificada sólo en algunos aspectos, quedando el resto de ella sin variación, se numerarán con los dígitos que correspondan a la partida de la especificación general, seguidos de una letra minúscula a, b, c, etc. Esta situación es muy frecuente cuando se desea especificar hormigones de distinta resistencia, así como en partidas en que sólo se modifica la unidad de medida o el método de medida y pago, etc.

En definitiva, la obligación del Proyectista consiste en entregar las Especificaciones Técnicas Especiales del estudio, dejando claramente establecido qué partidas se rigen por las Especificaciones Técnicas Generales de Construcción (MC-V5), qué partidas se rigen parcialmente y en qué aspectos por la especificación general y en cuáles por la especificación especial, y qué partidas se rigen íntegramente por la especificación especial redactada para ella.

A nivel de Estudio Preliminar, si se requiere entregar una cubicación y un presupuesto aproximado de diversas soluciones posibles, se entenderá que ellas están preparadas conforme con los criterios contenidos en el MC-V5.

A nivel de Anteproyecto será necesario preparar especificaciones especiales sólo para aquellas partidas que sean relevantes en la determinación del costo de las distintas alternativas.

A nivel de Estudio Definitivo las Especificaciones Técnicas Especiales deben considerar todos los aspectos y detalles relativos al proyecto, pues ellas constituirán un documento oficial para la licitación y construcción de la obra.

2.808.4 CUBICACIONES

Las diversas partidas del estudio se cubicarán considerando las unidades y métodos de medida que se señalan en el MC-V5.

La cubicación de las partidas de movimiento de tierra podrá ejecutarse mediante métodos gráfico/ analíticos, tales como los descritos en la Sección 2.308, o bien mediante métodos puramente analíticos utilizando programas computacionales de cubicación.

Si se utilizan métodos gráfico/analíticos, se deberán dibujar planos de perfiles transversales, escala 1:100, que contengan la información numérica indicada en 2.902.305 y un formulario resumen de cubicación perfil a perfil (Lámina 2.903.3.C).

Si se utilizan métodos computacionales de cubicación, en la etapa de Anteproyecto no será necesario entregar planos de perfiles transversales, salvo que los TRE los soliciten. En todo caso se entregarán listados computacionales que contengan la información básica relativa al terreno, la plataforma de proyecto y los volúmenes parciales y acumulados.

En los Estudios Definitivos, aún cuando se cubique por computación, se deberán entregar perfiles transversales de proyecto, que permitan ilustrar el detalle de las obras complementarias y las particularidades de la plataforma y taludes. Adicionalmente se entregarán listados que indiquen la distancia al eje y cota de los puntos que definen la plataforma de subrasante y las trazas de movimiento de tierras.

2.808.5 PRESUPUESTOS

Los precios unitarios utilizados para calcular los presupuestos se determinarán con distintos grados de precisión, según sea el nivel del estudio.

Las estimaciones realizadas a nivel de Estudio Preliminar, podrán efectuarse a partir de precios medios de mercado, consecuentes con el tipo de obra y la zona en que ésta se emplace.

A nivel de Anteproyecto se requerirá un análisis de precios de, al menos, aquellas partidas que configuren el 75% del costo directo de las obras, pudiendo utilizarse precios medios de mercado para todas las partidas menores que, en conjunto, no superen el 25% restante. Los gastos generales y utilidad se estimarán en base a un coeficiente para ser aplicado al costo directo, salvo que se trate de condiciones de plazo o una zona de trabajo que presente condiciones particulares y se requiera de un estudio detallado. Si los Términos de Referencia Específicos así lo especifican, el análisis de precios deberá presentarse desglosado en aquellos componentes que permitan desarrollar un estudio de factibilidad a precios sociales.

En los Estudios Definitivos se exigirá un análisis de precios para la totalidad de las partidas del proyecto y un análisis de gastos generales y utilidad que considere: plazo de las obras, accesibilidad a la zona de las obras, temporadas de trabajo propias de la zona y condiciones especiales peculiares de la obra.

SECCION 2.809 EXPROPIACIONES

2.809.1 ASPECTOS GENERALES

Todo camino público debe quedar situado dentro de una faja de terreno de propiedad fiscal. Cuando el estudio se desarrolla por terrenos de propiedad privada, el proyectista debe reunir todos los antecedentes que se estipulan más adelante para posibilitar la expropiación correspondiente.

2.809.2 DETERMINACION DE LA FAJA AFECTADA

Las dimensiones y características de la faja afectada por el proyecto quedan determinadas, desde el punto de vista técnico, por la categoría de la obra. El proyectista deberá ceñirse en estas materias a lo especificado en el MC-V3, Sección 3.307. El ancho definitivo de la faja afectada será propuesto en el Estudio Definitivo, perfeccionándose durante el proceso de la expropiación propiamente tal.

2.809.3 ANTECEDENTES PARA LA EXPROPIACION DE LA FAJA

Desde el punto de vista legal y administrativo los antecedentes que deberán incluirse en el Estudio Definitivo, a fin de perfeccionar el proceso de expropiación o adquisición de la faja, deben considerar los aspectos que se detallan a continuación:

2.809.301 Objetivo. La normativa que se expone a continuación especifica los procedimientos que se emplearán en la confección del plano de las expropiaciones que requiera la faja de un camino. La Dirección de Vialidad considerará incompletos los proyectos que no cumplan con las presentes especificaciones. Por otra parte, queda prohibido introducir modificaciones de fondo y/o de forma, respecto del contenido de los planos y documentos que se especifican en esta sección, salvo que estos sean ordenados específicamente por los entes normativos de la Dirección de Vialidad.

2.809.302 Definición. Expropiación es la adquisición por el Estado de todas las superficies de terreno de propiedad privada que queden comprendidas dentro de la futura faja de un camino público. Su tramitación se sujetará al procedimiento establecido en el DL 2186 de 1978, publicado en el Diario Oficial del 9 de Junio de 1978.

2.809.303 Plano de Expropiaciones. El documento base para la expropiación de los terrenos que constituirán la faja de un camino público será un plano de planta, denominado Plano de Expropiaciones, en el cual se incorporará toda la información necesaria para perfeccionar la expropiación, el cual se basará en el plano horizontal del proyecto.

De este plano se suprimirá la información relativa al diseño geométrico, información de obras de drenaje (aunque un dibujo de ellas puede permanecer) y saneamiento, señalización y, en general, todo elemento que no resulte indispensable para definir los límites de expropiación. Deberá dibujarse la línea de las trazas de terraplenes y bordes superiores de los cortes cuando su altura sea igual o superior a 2 m. Asimismo deberán indicarse las líneas de fosos, contrafosos y cualquier otra obra lateral que pudiese implicar ampliaciones de faja.

Resulta fundamental que el plano de expropiaciones contenga información que permita ubicarse en terreno, tales como; cursos de agua naturales o artificiales, caminos vecinales, accesos a poblados y a los predios afectados por la expropiación, los que deberán estar debidamente identificados al igual que todas aquellas singularidades que se destaquen sobre la superficie del terreno, tales como edificaciones, arborización, obras particulares de agua potable, alcantarillados, cercos tanto paralelos como concurrentes al eje del proyecto, etc.

El plano de expropiaciones debe contener todas las construcciones e instalaciones (mejoras) que queden dentro o sean vecinas a la faja de expropiación, para permitir así, ya sea una mejor identificación de ellas en terreno, o bien tenerlas contempladas en caso de variaciones del trazado. Dicho rango de vecindad debe ser razonable según la escala utilizada, de modo que no implique un aumento en el tamaño ni en el número de planos de expropiación.

Los límites de la Faja Fiscal propuesta a expropiar deben quedar determinados por el Cerco Proyectado, cuyo dibujo debe ser una línea de mayor espesor que todas las presentes en la planta, de manera de identificarlo claramente. En aquellos sectores dónde no existan cercos, pero dónde es posible determinar el ancho de la faja vial existente, se deberá utilizar el concepto de "Cerco Presunto" y cuyo dibujo se materializa con una línea segmentada y del mismo espesor al utilizado en los cercos existentes. Además se debe indicar con la leyenda "cerco presunto" dicha situación.

La zona por expropiar debe achurarse para facilitar la lectura del plano de expropiaciones y así evitar confusiones cuando existen demasiadas líneas en el trazado. Cuando existan lotes contiguos el achurado debe diferenciarse cambiando la orientación de las líneas.

Es necesario que los planos se confeccionen mediante un software adecuado, como es el caso del AUTOCAD, cuya ventaja fundamental está en que cualquier modificación que sea necesario realizar permitirá obtener las correcciones a la brevedad.

En la carátula de cada plano de expropiaciones debe individualizarse la Región, Provincia(s) y Comuna(s) en las que ocurren las expropiaciones. Si el proyecto está situado en más de una región, deberán entregarse por separado los antecedentes correspondientes a cada Región. Además deberá indicarse la escala del plano, la fecha de su confección, la numeración correlativa de los planos, el nombre y sector del proyecto (Con sus respectivos kilometrajes, tanto para el proyecto como para el tramo mostrado en cada lámina). Estos planos deberán presentarse debidamente firmados por los ejecutores responsables.

El plano de expropiaciones se confeccionará en escala 1:1.000 en el caso de lotes extensos o de mayor dimensión, y en escala 1:500 cuando existan muchos lotes, como es el caso de zonas urbanas.

En la primera lámina del plano de expropiaciones se incluirá un plano de ubicación, el que contendrá un círculo destacado para definir la situación geográfica de las expropiaciones, con sus respectivas indicaciones de kilometraje y resaltando el camino en estudio. En la misma forma se indicará, con la figura de una flecha, la dirección del Norte, según el procedimiento utilizado para orientar el Sistema de Referencia.

2.809.304 Faja del Camino. Todo camino público debe desarrollarse en una faja de terreno de propiedad fiscal, en la cual debe quedar comprendida la totalidad de las obras. Entre el límite de las obras y el límite de la expropiación se dejará una huelga no inferior a lo indicado en la Tabla 3.307.2.A del MC-V3.

La faja quedará delimitada normalmente por dos líneas (L. E.) paralelas al eje, no necesariamente equidistantes a éste, y que se proyectarán conforme a las necesidades particulares del camino y de su desarrollo futuro. La distancia entre las L. E. definirá el ancho normal de la faja. Este ancho se fijará en cada caso, ateniéndose a los rangos por categoría de vía indicados en la Tabla 3.307.3.A del MC-V3, debiendo precisarse el ancho normal específico dentro del rango que allí se indica mediante consulta a la Dirección de Vialidad.

En los sectores en que, al aplicar la faja normal, su ancho resultare insuficiente, se procederá a ensancharla en la cantidad necesaria. La variación del ancho se producirá mediante rectas normales u oblicuas al eje (véase Lámina 2.809.304.A).

Se acotarán las distancias de las L. E. al eje cada vez que se produzca una interrupción de la faja o una variación de ancho. Los puntos de quiebre de la faja se identificarán mediante su kilometraje, el que se obtendrá a partir de la perpendicular levantada en el eje y que pase por dicho punto de quiebre (ver Lámina 2.809.304.A).

El kilometraje y la distancia al eje, medida según la perpendicular, se indicará mediante una flecha, una línea y las cifras que correspondan. La flecha marcará el punto que se esté acotando y sobre la línea se localizarán las cifras., empleándose para ello la siguiente nomenclatura:

Km M,MMMMM – X,X m

En que M,MMMMM corresponde kilometraje, con cinco decimales y X,X es la distancia en metros desde el eje al punto acotado, con un decimal.

La línea deberá preferentemente ir ubicada en forma perpendicular al eje, aunque por problemas de espacio podrá tener un segmento normal al eje y luego, la zona en que se escriben las cifras, ser oblicua o bien tener un segmento oblicuo y el resto (cifras) ser paralelo al eje (ver Lámina 2.809.304.A).

Si la L. E. permanece a una distancia constante en una misma lámina, deberá acotarse en a lo menos dos puntos, para recordar el ancho de faja, y se indicará por lo tanto sólo la cifra correspondiente a la distancia.

El dibujo de los límites de la faja se interrumpirá al pasar por sectores de propiedad fiscal, como ser: fajas actuales de caminos públicos, ríos, etc. (ver Lámina 2.809.304.B).

La Dirección de Vialidad podrá ordenar la ampliación de la expropiación en algunos sectores en que se desee establecer un lugar de estacionamiento, o bien donde alguna propiedad quede reducida a un retazo inaprovechable y aislado (ver Lámina 2.809.304.B, sector achurado y acotado, con nota al pie).

En intersecciones y enlaces la expropiación de terrenos para el camino incluirá la de los ramales y/o embudos de empalme del camino intersectado, aplicándose las huelgas que se indican en Tabla 3.307.2.A. Es decir, no habrá en el interior de la faja islas de dominio particular. En casos calificados, previa autorización de la Dirección de Vialidad, podrán aceptarse excepciones, siempre que se trate de islas de grandes dimensiones, ocupadas con instalaciones de mucho valor y cuyo acceso se realice desde el camino secundario en condiciones de amplia seguridad.

2.809.305 Delimitación de las Expropiaciones. Los límites actuales de las propiedades afectas a expropiación, que caen dentro de la faja del camino, se identificarán mediante llaves de deslindes simbólicas (ver Lámina 2.809.305.A).

Generalmente los límites están materializados en terreno por algún tipo de cierre. Si no existe cierre alguno, deberá suponerse el límite, ya sea el borde de la zona despejada de un camino, una línea de quiebre del terreno, bordes que limitan el cauce de un río, etc. A la línea de límite supuesto se le señalará con la leyenda "Cercos Presuntos" (ver Lámina 2.809.304.B).

Después de dibujar la faja del camino y los deslindes actuales, todas las superficies de expropiación deben quedar limitadas por un contorno cerrado.

Si se está utilizando algún software del tipo AUTOCAD, esta superficie deberá quedar demarcada con una polilínea para comprobar el área y en una Layer (Areas_Exp) que pueda ser descongelada cuando se quiera revisar la superficie.

2.809.306 Lotes de Expropiación. Se denomina lote a cada una de las superficies por expropiar abarcadas por un contorno cerrado. De este modo, es posible que una propiedad extensa presente varios lotes separados entre sí (ver Lámina 2.809.304.B).

Respecto de la notación en el plano de expropiación, sólo se deberá utilizar flechas en aquellos casos en que el inicio o fin del lote no coincidan con los deslindes reales de la propiedad.

Un camino particular debe ser considerado como integrante de la propiedad que corresponda y no será objeto de lote separado (ver Lámina 2.809.304.B, detalle Y).

Cada vez que el dibujo se vea interrumpido, se deberá utilizar la "Línea de Calce", convenientemente señalada, que indicará la continuidad del proyecto, del mismo modo si un lote se extiende más allá de la Línea de Calce y continúa en otra lámina, deberá indicarse con un recuadro que indique:

Lote N° xx Continua

Se indicarán todos los deslindes que son cortados por la faja del camino, de acuerdo al siguiente criterio:

- (1) Los deslindes que cortan al eje del proyecto recibirán el kilometraje de ese punto de corte (ver Lámina 2.809.304.B, detalle W).
- (2) Los deslindes que no cortan al eje recibirán el kilometraje que corresponda a la perpendicular levantada en el eje y que pase por el vértice formado por el deslinde de la propiedad y el cierre frontal de las mismas (ver Lámina 2.809.304.B, detalle Z).
- (3) En los planos de expropiaciones se deben indicar, junto con los kilometrajes, mediante una llave de deslindes, el kilometraje inicial y final de cada lote por expropiar y de cada propiedad afecta a expropiación si corresponde. La llave de lote debe dibujarse junto a las líneas de kilometraje tanto iniciales como finales de cada lote. Mientras que la llave de propiedad debe dibujarse junto a las líneas de kilometraje, tanto inicial como final de la propiedad (ver Lámina 2.809.304.B).

A lo largo del Plano de Expropiación cada lote se identificará mediante los siguientes datos (ver Lámina 2.809.305.A):

- a) Numeración correlativa, de acuerdo al avance del kilometraje o de izquierda a derecha o de arriba hacia abajo, si el kilometraje es el mismo para más de un lote.
- b) Propietario S.I.I.: deberá colocarse el nombre tal como figura en el Rol de Avalúo del Servicio de Impuestos Internos, para los efectos del pago de Contribución de Bienes Raíces. Deberán respetarse las faltas de ortografía que pudieran existir, la ausencia de letras "ñ" (reemplazadas generalmente por letras "n" u otra), los espacios y la presencia o falta de puntos o cualquier otra letra o símbolo. Cabe señalar que la información del Servicio de Impuestos Internos en relación al propietario del predio en la mayoría de los casos no está actualizada, producto de la velocidad con que se realizan las operaciones de compraventa de terrenos, por lo que es absolutamente necesario la revisión de las propiedades y la verificación de sus propietarios reales o aparentes.

En los casos en que, según la información del Servicio de Impuestos Internos, aparece un lote, pero en la realidad éste se encuentre subdividido, deberá dibujarse la cantidad real de lotes existentes, con su correspondiente número, conservando el Rol y el nombre del propietario según se indique en el certificado de avalúo.

Si excepcionalmente, durante la construcción de la obra, surgen antecedentes referente al proceso de expropiaciones, donde el Inspector Fiscal toma conocimiento sobre la existencia de nuevos lotes, ya sea por subdivisiones, errores en la información o de variaciones en el proyecto, estos nuevos lotes serán numerados correlativamente y de acuerdo al siguiente criterio:

- b1) En el caso que los nuevos lotes se deban a una subdivisión de la que no se tenía registro, los nuevos lotes se denominarán a través de un número, un guión y una letra. El número será el del lote original y la letra se colocará en orden ascendente según avance del kilometraje, comenzando en la A. Si alguno de los lotes cambió de propietario, pero éste no ha realizado el trámite de obtención de nuevo rol, se transcribirán los datos correspondientes al propietario indicado en el certificado de avalúo y el nombre del nuevo propietario se indicará como Propietario Presunto (ver Lámina 2.809.306.A).
- b2) Si la aparición de nuevos lotes se debe a variaciones en el proyecto, con lo cual, más allá de provocar un aumento de superficie en los existentes, se expropiarán predios que inicialmente no se tenían contemplados, los nuevos lotes se identificarán mediante un número, un guión y una letra. El número corresponderá al del lote que, por kilometraje, le anteceda, y la letra, luego del guión, será en orden correlativo por aumento, del kilometraje comenzando con la A (ver Lámina 2.809.306.B).
- c) Nombre de la Propiedad: Se indicará el nombre de la propiedad en el caso de zonas rurales o por la Dirección de la Propiedad, indicando calle y número, en zonas urbanas, de acuerdo a lo indicado en el Certificado de Avalúo en SII.
- d) Kilometraje Inicial y Final: determinado como se indicó anteriormente.
- e) Superficie de Terreno: Superficie de terreno que corresponde al área encerrada por los deslindes, por el cerco proyectado y por los cierros existentes, se redondeará sin cifra decimal [m²], salvo que la

superficie corresponda a la totalidad de la propiedad, en cuyo caso deberá indicarse la superficie citada en la escritura correspondiente, pudiendo tener decimales de m².

- f) Superficie Edificada: Las construcciones que quedan comprendidas, en forma total o parcial, dentro de la faja del camino, deben consignarse con su superficie total, a menos que se trate de una construcción que al demolerse parcialmente pueda aún prestar servicio. De esta circunstancia se dejará constancia en el Plano de Expropiaciones mediante una nota explicativa. En los planos esta superficie debe ir achurada o sombreada de modo que no quede duda de la superficie afectada. Todas las construcciones deberán ir dibujadas en una layer especial (Construcciones) y en otra layer (Areas_dem), la polilínea que permita calcular la superficie de las construcciones por demoler y el achurado correspondiente. Se determinará sin cifra decimal [m²]
- g) Rol de Avalúo: Este identificador corresponderá al señalado en el respectivo Certificado de Avalúo que otorga corrientemente el Servicio de Impuestos Internos, el cual puede ser adquirido en las oficinas del SII o bien por su página web: <http://www.sii.cl>. Cabe destacar que el certificado de avalúo entregado por internet carece de la información relevante para la identificación del predio, como es la cabida o superficie avaluada, por lo que se utilizará en forma referencial, para luego ser complementado con el Certificado Detallado de Avalúo, el cual debe ser solicitado personalmente en las oficinas del SII.

Este certificado se podrá obtener sólo para aquellas propiedades que tengan rol de avalúo. Debido a que existen propiedades que no cuentan con dicho rol, esta situación deberá ser certificada por la oficina de evaluaciones del Servicio de Impuestos Internos respectivo. Existen también propiedades cuyo rol está en trámite o en proceso de obtención, situación que ocurre principalmente en subdivisiones recientes de predios. En el caso de las propiedades sin rol, aparte de la obligación de su certificación, se indicará en los planos con el texto "s/rol". En el segundo caso se indicará "en trámite" y en la columna de observaciones se indicará el nuevo rol.

La ubicación de un Rol desconocido puede lograrse trazando el nuevo camino sobre una carta escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar, para luego ubicarse en el mosaico a escala 1:20.000 en que el Servicio de Impuestos Internos tiene inscritos los Roles.

- h) Comuna: La que figure en el certificado de avalúo del Servicio de Impuestos Internos.
- i) Nombre del Propietario Actual: En caso que no corresponda al citado en el certificado de avalúos del Servicio de Impuestos Internos (ver Lámina 2.809.306.A, Figura B).
- j) N° Inscripción de Dominio vigente: por tratarse de una compra venta, es necesario estudiar los títulos debidamente inscritos en el conservador correspondiente. El número de inscripción de Dominio Vigente debe respaldarse con el correspondiente certificado de Dominio Vigente, siempre y cuando dicho documento entregue información relevante para el estudio, en caso contrario debe entregarse una copia de la inscripción de Dominio con vigencia. Para estar seguros del Dominio vigente se deberá estudiar las anotaciones al margen de cada inscripción de las propiedades a expropiar.

2.809.307 Cuadro Resumen de Expropiaciones. Se confeccionará un cuadro idéntico al que se ilustra en la Lámina 2.809.307.A, en que se resuman los datos de las expropiaciones consignadas en las distintas láminas del proyecto. En el espacio destinado a Observaciones, deben anotarse todos los datos que puedan advertir a los Peritos Tasadores respecto de los perjuicios adicionales que afecten a los predios expropiados y que deban evaluarse aparte del terreno y de los edificios (ver Lámina 2.809.305.A).

Si el proyecto consulta un número moderado de lotes, el Cuadro Resumen se podrá incluir en la primera lámina de planta, próximo al Plano de Ubicación mencionado. Si no es posible ubicar el cuadro en dicha lámina por falta de espacio, se procederá a preparar una lámina especial que lo contenga, incluyendo en ella el Plano de Ubicación.

2.809.308 Cuadro de Deslindes Particulares. Con el objeto de preparar las escrituras individuales de cada propietario expropiado, se confeccionará un Cuadro de Deslindes Particulares, en el que se resumirán los datos acerca de los deslindes de cada uno de los lotes de acuerdo a los datos contenidos en los planos de expropiación.

En este cuadro se deben indicar todos los deslindes, incluso los denominados como el “Resto del Predio” y “Camino Público” (ver Lámina 2.809.307.A).

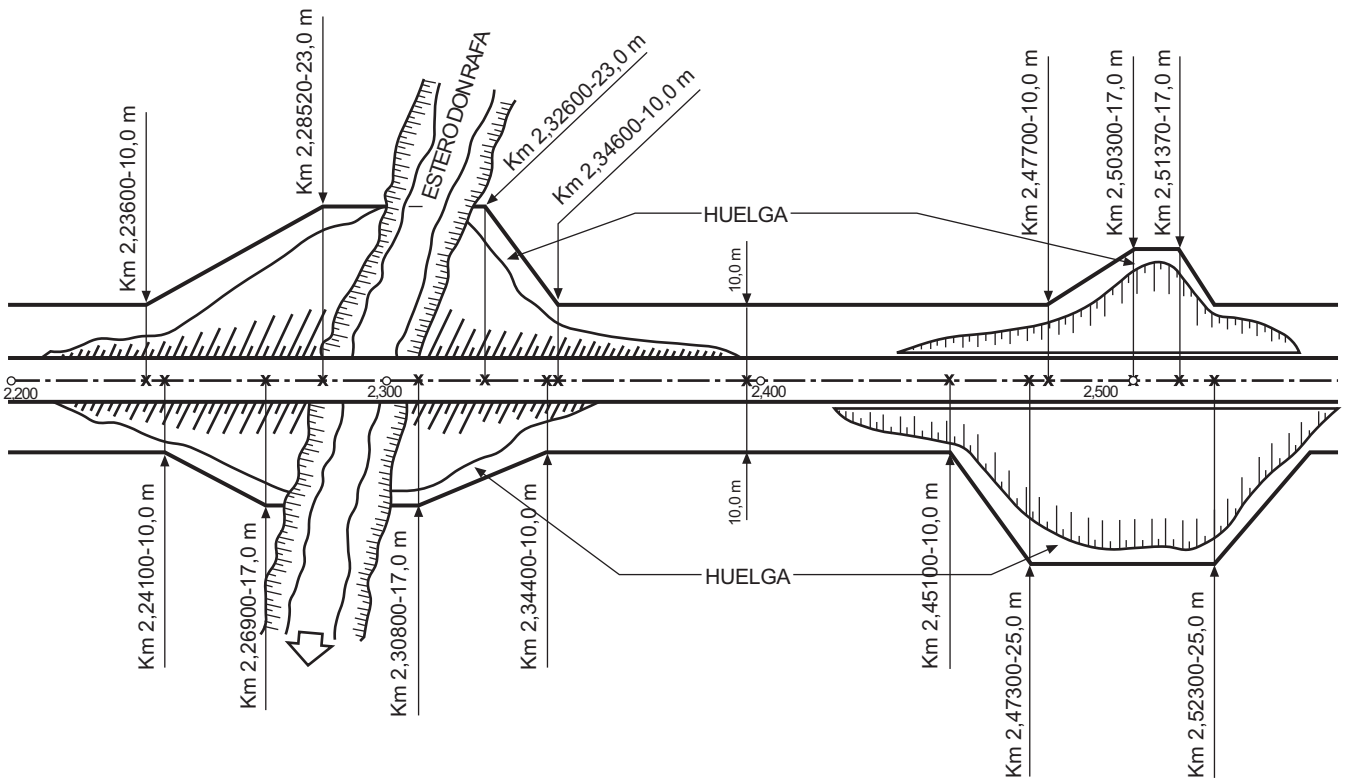
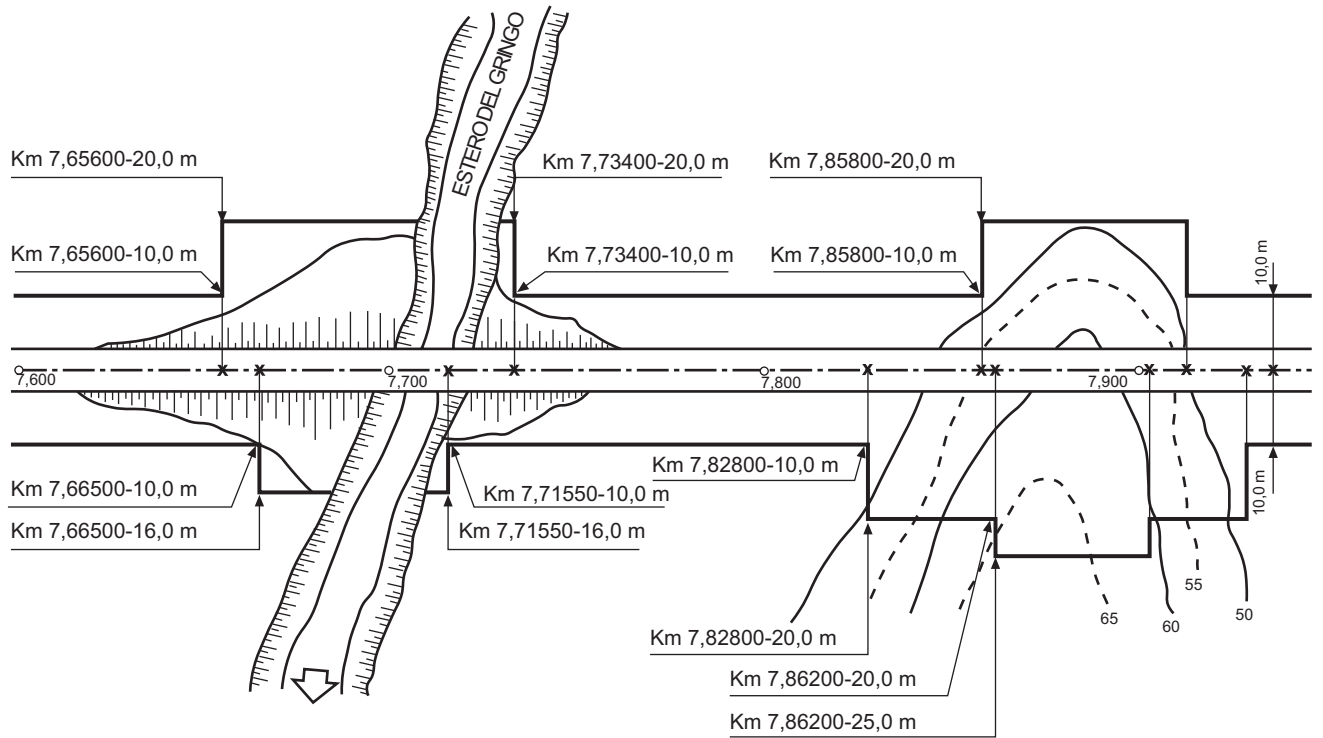
2.809.309 Trámite de Expropiación. El trámite de expropiación será ejecutado por la Dirección de Vialidad, correspondiendo al Proyectista proporcionar todos los antecedentes que se señalaron precedentemente, y ejecutar las correcciones que le fueran solicitadas durante el proceso de revisión del estudio.

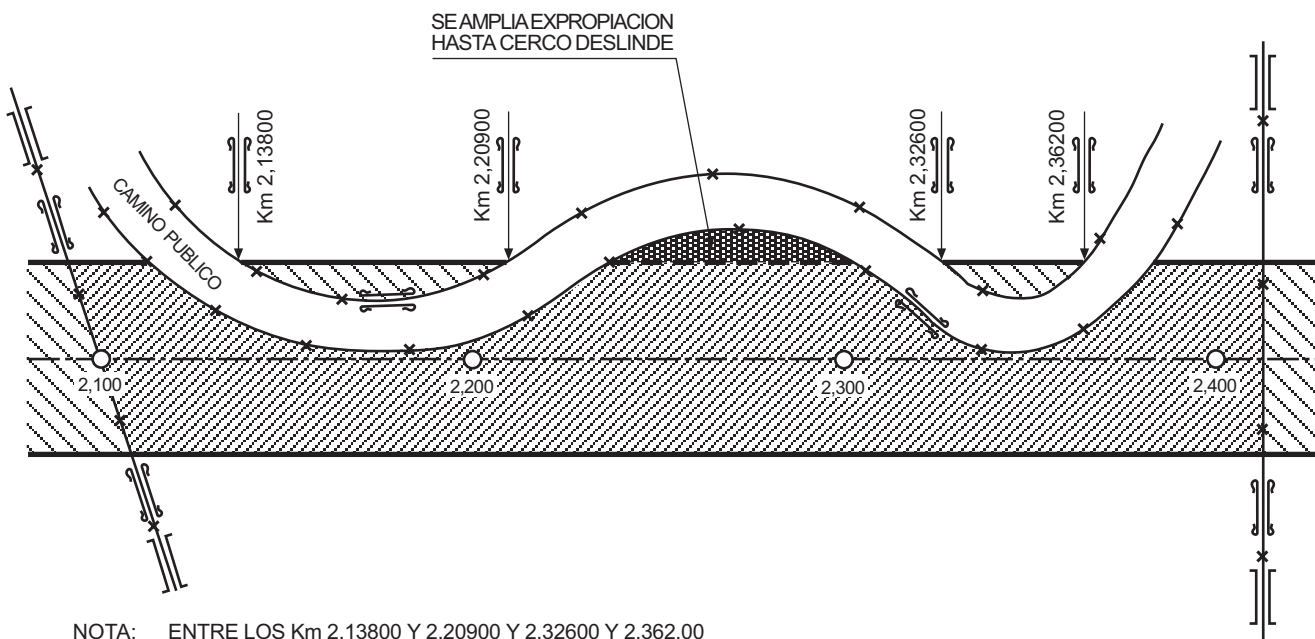
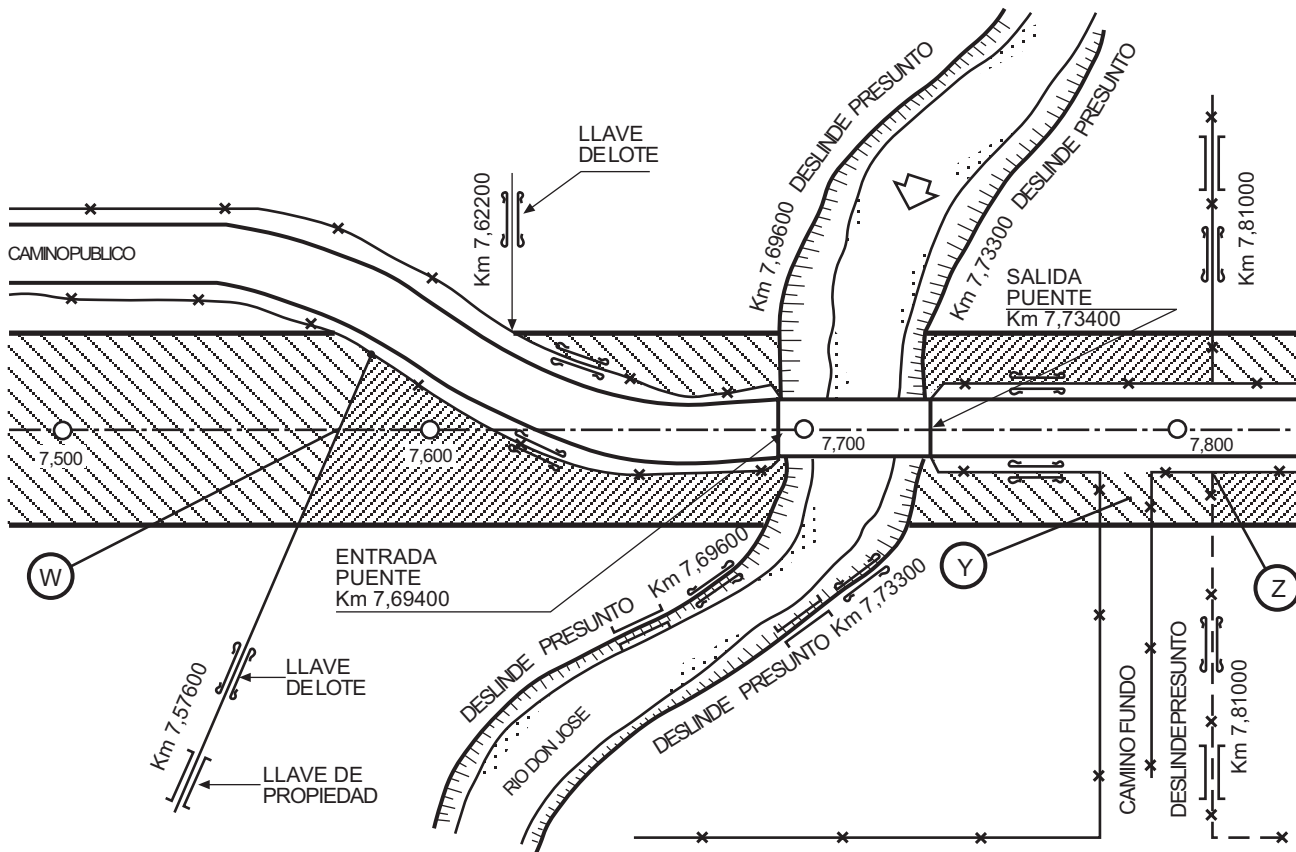
Si en la etapa de construcción y/o de gestión expropiatoria, se considerara la modificación de una o varias láminas del plano de expropiaciones, éstas deberán ser informadas, justificadas y solicitadas su modificación, por el inspector fiscal al ente encargado de tramitar las expropiaciones; quien en base a los antecedentes presentados, las revisará, modificará y/o adecuará, solicitando las aprobaciones que correspondan; debiéndose presentar en ellas, fecha de los cambios y las respectivas firmas responsables; tanto del proyecto, de capacidad de la faja, de formatos y/o de las propiedades en terreno. Una vez cumplida esta gestión, las láminas pertinentes serán enviados a las regiones a fin de proseguir el trámite expropiatorio.

2.809.310 Documentación Necesaria para las Expropiaciones. Para dar inicio al Proceso Expropiatorio se debe contar con diversos antecedentes, los que deben ser proporcionados por el Consultor:

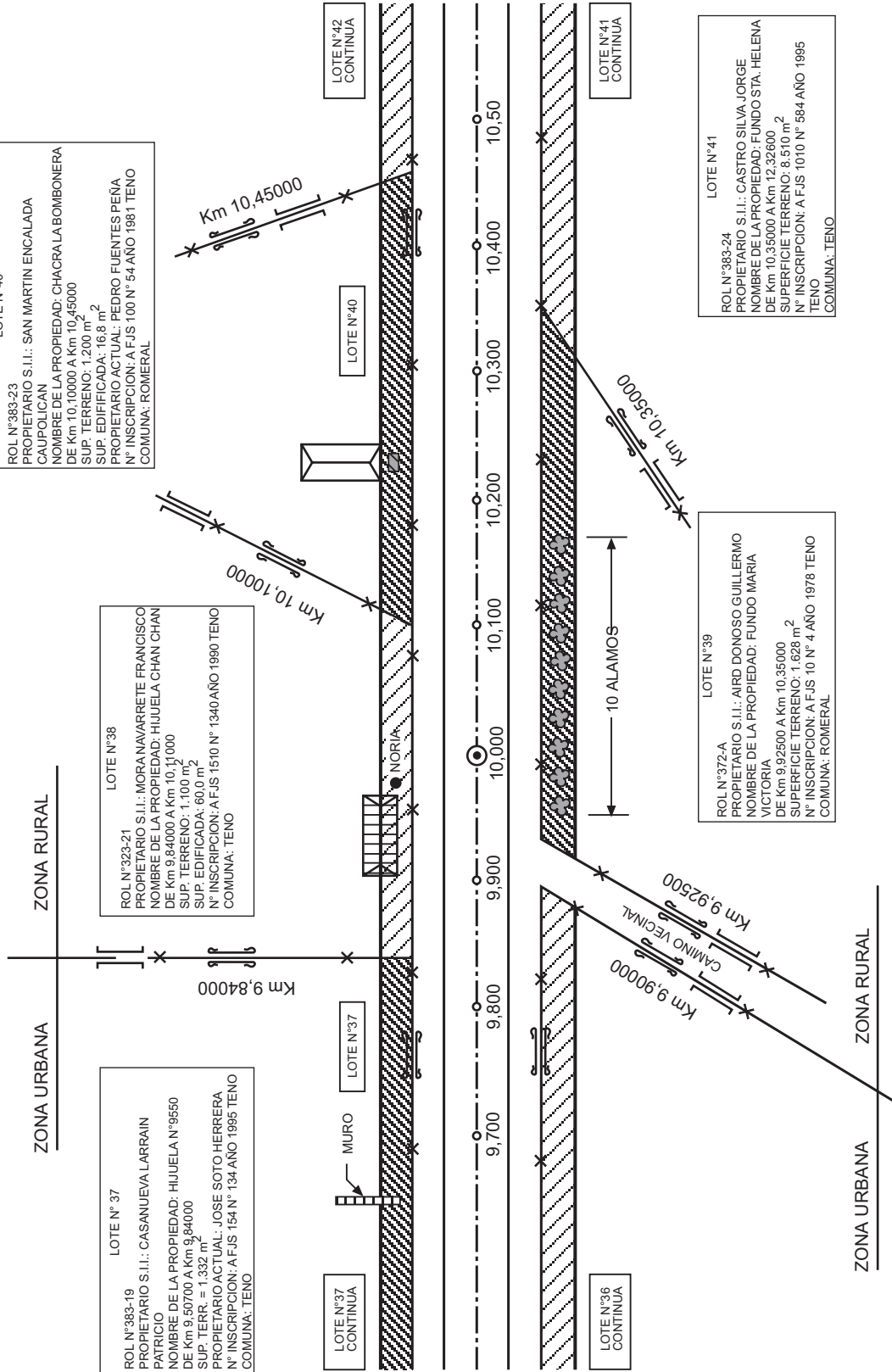
- Antecedentes de la Propiedad
 - Copias de las Escrituras
 - Copia de la inscripción de Dominio con vigencia (originales)
- Planos de Expropiación confeccionados según los requerimientos expuestos anteriormente
- Cuadro de Expropiaciones, adicionalmente se entregará en archivo magnético tipo Excel
- Cuadro de Deslindes Particulares, mismo caso anterior
- Certificados de Avalúo originales

Al preparar estos antecedentes, debe tenerse presente que más que un proyecto de ingeniería, corresponde elaborar un documento legal, por lo que debe ceñirse estrictamente, en todos sus aspectos, a la normativa vigente, cualquier alteración de una palabra o símbolo, invalida completamente el documento.

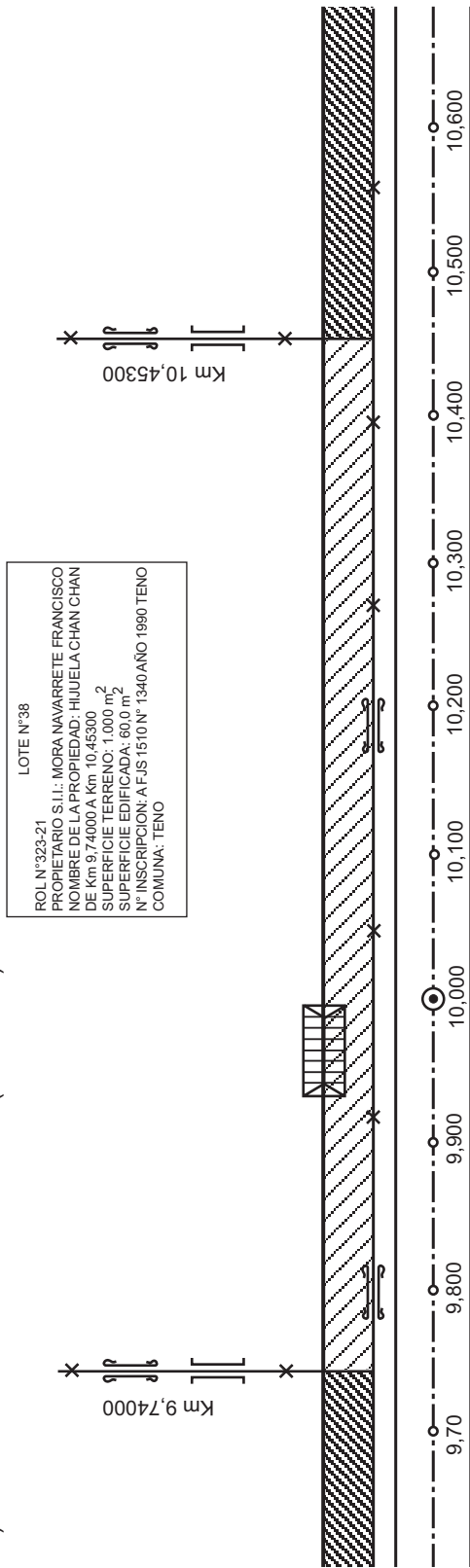




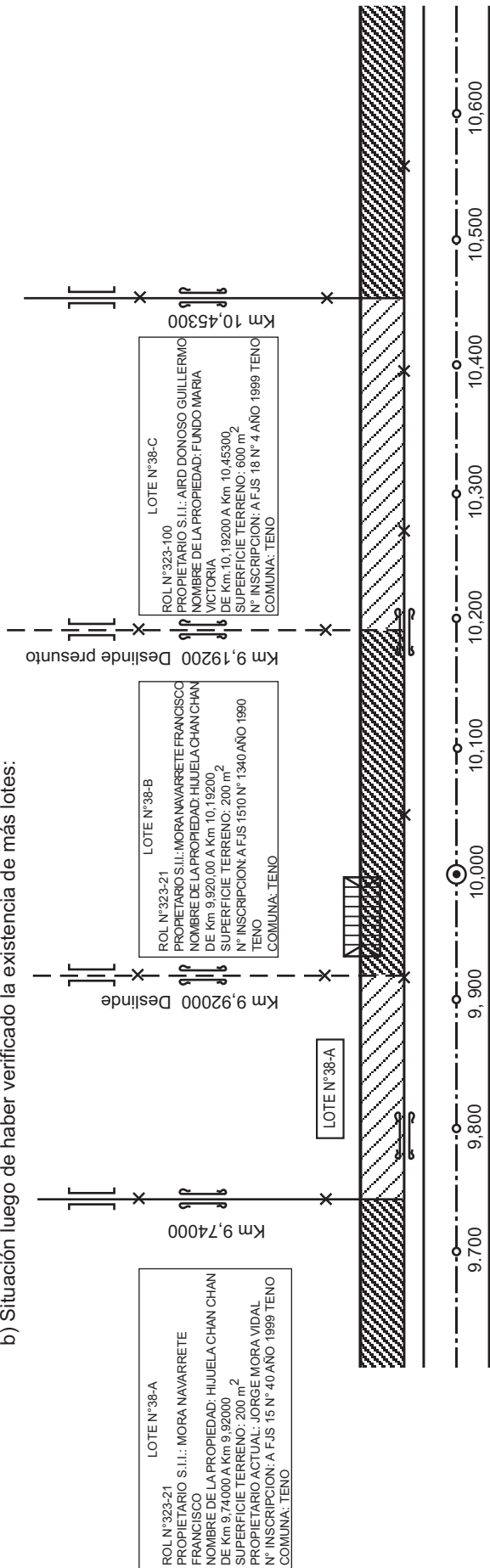
NOTA: ENTRE LOS Km 2,13800 Y 2,20900 Y 2,32600 Y 2,362,00
RESPECTIVAMENTE, SE CONFIGURAN 2 LOTES EN
UNA MISMA PROPIEDAD



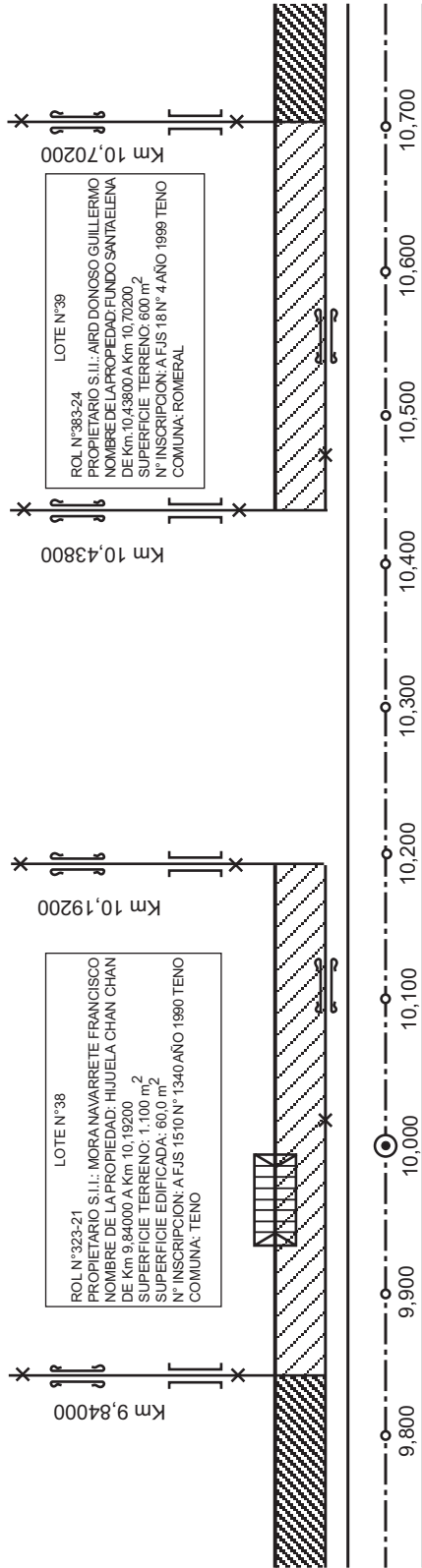
a) Situación con los antecedentes iniciales (sólo un lote):



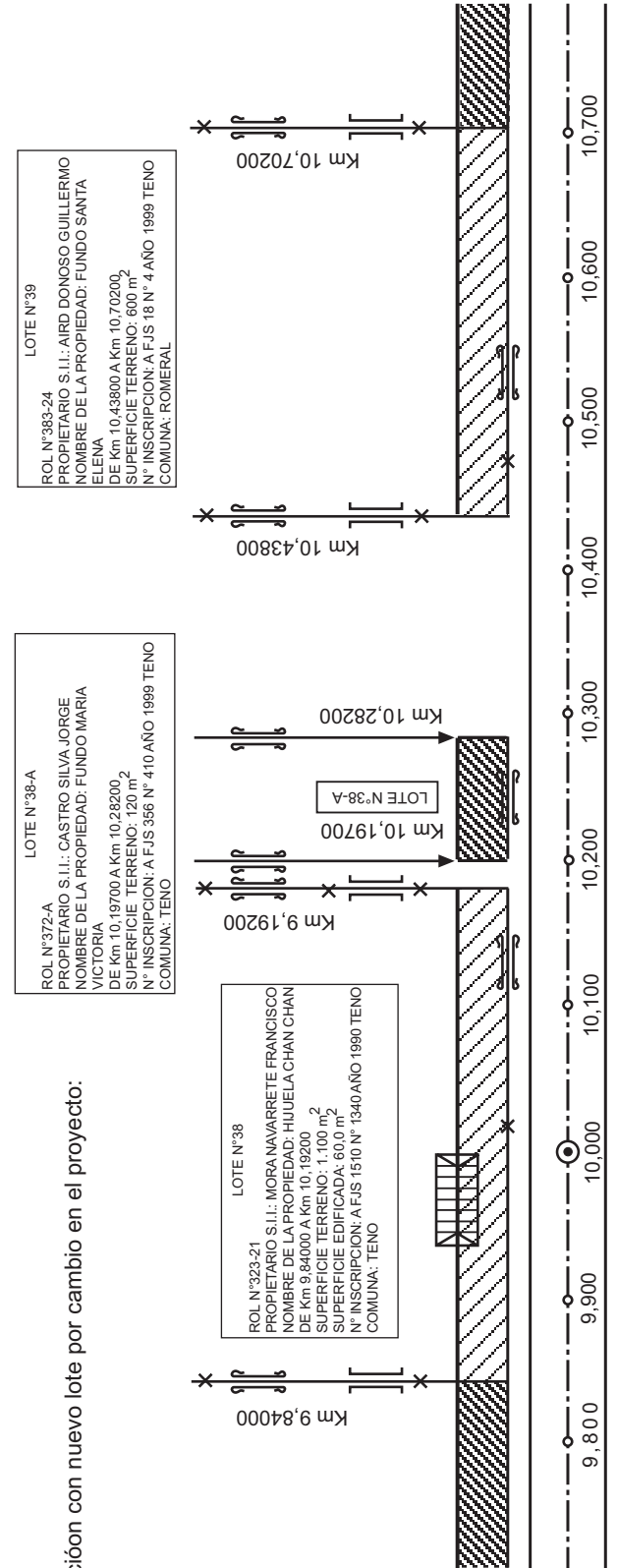
b) Situación luego de haber verificado la existencia de más lotes:



a) Situación inicial:



b) Situación con nuevo lote por cambio en el proyecto:



CUADRO DE EXPROPIACIONES

LAMINA	LOTE N°	PROPIETARIO	Km		SUPERFICIE [m ²]	TERRENO EDIFICADO	ROL	COMUNA	NOMBRE DE LA PROPIEDAD O DIRECCION	PROPIETARIO APARENTE	OBSERVACIONES
			DE	A							
12/25	37	CASANUEVA LARRAIN PATRICIO	9,50700	9,84000	1,332		383-19	TENO	HIJUELA N° 9550	JOSE SOTO HERRERA	MURO
12/25	38	MORA NAVARRETE FRANCISCO	9,84000	10,10000	1,100	60,0	323-21	TENO	HIJUELA CHAN CHAN		NORIA 8 m Prof.
12/25	39	AIRD DONOSO GUILLERMO	9,92500	10,35000	1,628		372-A	ROMERAL	FUNDO MARIA VICTORIA		10 Alamos
12/25	40	SAN MARTIN ENCALADA CAUPLICAN	10,11400	10,45000	1,200	16,8	383-23	ROMERAL	CHACRA LA BOMBONERA	PEDRO FUENTES PEÑA	
12/25	41	CASTRO SILVA JORGE	10,35000	12,32600	8,510		383-24	TENO	FUNDO STA. ELENA		

CUADRO DE DESLINDES PARTICULARES

LOTE No	PROPIETARIO	NORTE	ESTE	SUR	OESTE
37	CASANUEVA LARRAIN PATRICIO	RESTO DEL PREDIO	LOTE N° 38	CAMINO PUBLICO	RESTO DEL PREDIO
38	MORA NAVARRETE FRANCISCO	RESTO DEL PREDIO	LOTE N° 40	CAMINO PUBLICO	LOTE N° 37
39	AIRD DONOSO GUILLERMO	CAMINO PUBLICO	LOTE N° 41	RESTO DEL PREDIO	CAMINO VECINAL
40	SAN MARTIN ENCALADA CAUPLICAN	RESTO DEL PREDIO	LOTE N° 42	CAMINO PUBLICO	LOTE N° 38
41	CASTRO SILVA JORGE	CAMINO PUBLICO	RESTO DEL PREDIO	RESTO DEL PREDIO	LOTE N° 39

MANUAL DE CARRETERAS

VOLUMEN N°2

PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIOS VIALES

CAPITULO 2.900 PLANOS, INFORMES Y DOCUMENTOS DEL ESTUDIO

**DIRECCION DE VIALIDAD
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
CHILE**

CAPITULO 2.900 PLANOS, INFORMES Y DOCUMENTOS DEL ESTUDIO

INDICE

SECCION	2.901 OBJETIVOS Y ALCANCES
2.901.1	ASPECTOS GENERALES
2.901.2	FORMATOS DIGITALES PARA TEXTOS Y TABLAS
2.901.3	FORMATOS DIGITALES PARA MODELOS DE TERRENO Y PLANOS
2.901.4	MEDIOS MAGNETICOS DE RESPALDO
SECCION	2.902 PLANOS
2.902.1	ASPECTOS GENERALES
2.902.101	Formatos.
2.902.102	Carátula.
2.902.103	Calidad de los Materiales.
2.902.104	Procedimientos de Dibujo y Simbología.
2.902.105	Empleo de Colores en los Planos.
2.902.106	Tamaño de los Caracteres en los Planos.
2.902.107	Número de Copias.
2.902.2	TIPOS DE PLANOS Y ESCALAS SEGUN NIVEL DEL ESTUDIO
2.902.3	CONTENIDO GRAFICO Y NUMERICO DE LOS PLANOS SEGUN NIVEL DE ESTUDIO
2.902.301	Plano General.
2.902.302	Plano Horizontal.
2.902.302(1)	Estudio Preliminar.
2.902.302(2)	Anteproyecto.
2.902.302(3)	Estudio Definitivo.
2.902.303	Perfil Longitudinal.
2.902.303(1)	Estudio Preliminar.
2.902.303(2)	Anteproyecto y Estudio Definitivo.
2.902.304	Sección Transversal Tipo.
2.902.305	Perfiles Transversales.
2.902.305(1)	Estudios Preliminares.
2.902.305(2)	Anteproyecto.
2.902.305(3)	Proyecto Definitivo.
2.902.306	Planos de Obras de Arte.
2.902.306(1)	Anteproyecto.
2.902.306(2)	Proyecto Definitivo.
2.902.307	Planos de Proyectos Complementarios.
2.902.307(1)	Planta.
2.902.307(2)	Perfil Longitudinal.
2.902.307(3)	Secciones Transversales.
2.902.307(4)	Cubicaciones.
2.902.308	Planos de Proyectos Especiales.
2.902.308(1)	Aspectos Generales.
2.902.308(2)	Planos para Puentes, Pasos Superiores e Inferiores.
2.902.308(3)	Planos para Intersecciones y Enlaces.
	a) Anteproyecto
	b) Estudio Definitivo
2.902.309	Planos de Seguridad Vial.

SECCION 2.903 INFORMES Y DOCUMENTOS

2.903.1 ASPECTOS GENERALES

- 2.903.101 Objetivos y Alcances.
- 2.903.102 Formato.
- 2.903.103 Carátula en Portada.
- 2.903.104 Calidad de los Materiales.
- 2.903.105 Número de Copias.

2.903.2 ESTRUCTURA DE LOS INFORMES

- 2.903.201 Aspectos Generales.
- 2.903.201(1) Resumen y Conclusiones.
- 2.903.201(2) Desarrollo del Informe.
- 2.903.201(3) Anexos.

2.903.3 CUADROS Y DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS

SECCION 2.904 PLANOS A COLOR EN FORMATO A-3

2.904.1 ASPECTOS GENERALES

2.904.2 COLORES, TIPO DE LINEA Y ESPESORES

2.904.3 ILUSTRACION GRAFICA DE PLANOS FORMATO A-3

CAPITULO 2.900 PLANOS, INFORMES Y DOCUMENTOS DEL ESTUDIO

SECCION 2.901 OBJETIVOS Y ALCANCES

2.901.1 ASPECTOS GENERALES

El presente Capítulo establece las normas, procedimientos y recomendaciones que se aplicarán para la confección y presentación de los planos y documentos requeridos en los diversos niveles de estudio de un proyecto vial.

Se establece como procedimiento habitual para generar los planos y documentos del proyecto, la utilización de medios computacionales, creando archivos digitales que contengan toda la información de texto y dibujo del estudio vial. No obstante lo anterior, los informes se entregarán también en el número de copias duras que se establezca en los TRE, con planos en original transparente, orillado con cinta adhesiva, que se entregarán en tubos plásticos portaplanos (máximo 12 planos por tubo). El tubo llevará exteriormente un rótulo identificando el estudio y contenido de éste.

La Dirección de Vialidad estipulará, mediante Términos de Referencia Específicos (TRE), las modificaciones en cuanto a las dimensiones, formas, escalas y contenido de los planos e informes que pueden requerirse en casos particulares.

2.901.2 FORMATOS DIGITALES PARA TEXTOS Y TABLAS

Los textos de los informes entregados en papel deberán estar elaborados mediante un procesador de textos. Para estandarizar el procedimiento se emplearán los software "Word Perfect" o "Word". Las Tablas y Gráficos se elaborarán mediante planillas de cálculo empleando el software "Excel". La Dirección de Vialidad podrá modificar en el futuro la exigencia en cuanto a los software que se deberán emplear.

2.901.3 FORMATOS DIGITALES PARA MODELOS DE TERRENO Y PLANOS

Los archivos de dibujo deberán poder leerse en Autocad (versión 12.0 o superior), en formato DWG.

En general, los planos de planta y alzado, saneamiento, seguridad vial y cualquier otro diseño desarrollado según alineamientos o ejes horizontales, que puedan trabajarse en forma independiente, deberán entregarse de tal forma que cada lámina individual se pueda abrir, operar y modificar, sin problemas, es decir, cada lámina debe ser autosuficiente por sí misma. Por lo anterior, toda la información de la lámina deberá estar insertada y no se podrán usar referencias externas. Lo anterior no elimina la posibilidad de que los Consultores trabajen durante el desarrollo del estudio con láminas referenciadas, pero la entrega deberá hacerse con láminas insertadas.

Las láminas deberán mantener las coordenadas del proyecto en el origen X, Y, Z, de AUTOCAD (UCS World), o en otro UCS debidamente indicado que tenga el mismo origen que el anterior.

Para la presentación de láminas que incluyan 2 tramos consecutivos del proyecto, dispuestos uno en la parte superior de la lámina y el segundo bajo el anterior, el primero deberá mantener las coordenadas reales y para el segundo, que no tenga coordenadas reales, deberá darse un mínimo de tres puntos claramente identificables en dicho sector, indicando sus coordenadas reales, a fin de poder llevarlo fácilmente a su origen. EL UCS de presentación de la lámina también deberá venir especificado.

2.901.4 MEDIOS MAGNETICOS DE RESPALDO

Una vez aprobado el Estudio por la Dirección de Vialidad, se entregará un respaldo magnético del Informe Final cubriendo todo lo concerniente a Memoria del Proyecto, Antecedentes de Licitación, Presupuesto de la Obra y Planos. Respecto a estos últimos, se entregará también un listado con el nombre del archivo magnético de cada lámina entregada con el estudio, así como la ruta (o path) en que se ubica cada archivo en el respaldo entregado.

Los medios magnéticos en que se entregarán los archivos correspondientes serán:

- Informe Final: Disco Compacto.
- Informes Parciales: En el caso de Informes Parciales de corta extensión, para los que se solicite un respaldo magnético, se aceptarán también Diskettes de 3,5".

SECCION 2.902 PLANOS

2.902.1 ASPECTOS GENERALES

2.902.101 Formatos. En lo relativo a la reproducción en copias duras, los planos correspondientes a los diversos niveles de estudio de un proyecto vial se presentarán en láminas normalizadas, cuyas dimensiones, expresadas en milímetros, se indican en la Tabla 2.902.101.A.

TABLA 2.902.101.A

Designación	Línea de Corte	Límites de Dibujo	Margen (mm)		Tamaño Mínimo Caracteres (mm)
			Izq.	Otros	
A-1	594 x 841	544 x 791	40	10	1,5 – 2,5*
A-2	420 x 594	370 x 574	40	10	1,5 – 2,5*
A-3	297 x 420	272 x 410	20	5	1
A-4	210 x 297	185 x 287	20	5	1

* Si se especifican reducciones; las que preferentemente se editarán con impresora de inyección de tinta.

En casos especiales la Dirección de Vialidad podrá autorizar el uso del formato A-0 cuyas dimensiones son:

A-0	841 x 1188	791 x 1168	40	10	1,5 – 2,5*
-----	------------	------------	----	----	------------

Los planos originales del proyecto se presentarán en láminas tipo A-1 o A-2, La lámina tipo A-3 corresponde a una reducción a 50% de la lámina tipo A-1, y deberá consultarse en aquellos casos en que los TRE especifiquen que los planos del proyecto deben entregarse en formato A-1 y versión reducida A-3. La lámina tipo A-4 corresponde a la reducción a 50% de la lámina A-2, en los casos y condiciones descritas precedentemente; además, se empleará para presentar planos, esquemas, etc., contenidos en los informes del estudio, cuyo formato coincide con estas dimensiones, según se especifica en el Numeral 2.903.102.

La dimensión menor de las láminas corresponde al alto y la mayor a su longitud. Nótese que siempre será posible plegar las copias de cualquiera de los tres primeros tipos de lámina de modo que la dimensión final sea aproximadamente 210 x 297 mm.

En aquellos casos en que la lámina A-4 se utilice para presentar material gráfico en un informe, la dimensión mayor, 297 mm, pasa a ser el alto y el margen para archivo, 20 mm, debe darse adyacente al lado izquierdo de la lámina considerado según esa dimensión.

La columna "Línea de Corte" indica las dimensiones totales de la lámina. La columna "Límite de Dibujo" indica las dimensiones del marco que se dibujará para delimitar el área utilizable de la lámina. El "margen izquierdo" corresponde al espacio que se dejará entre el marco y dicho extremo de la lámina, en previsión de una posible encuadernación. El margen de los otros lados presenta un ancho constante.

El tamaño mínimo de los caracteres será de 2,5 mm cuando se especifique la reducción de las láminas. En estos caso se incluirá en la versión reducida un recuadro señalando la escala aproximada resultante.

Los originales de las láminas deben entregarse en tubos plásticos, los que exteriormente llevarán un rótulo identificando el proyecto y el contenido del tubo.

2.902.102. Carátula. La carátula de las láminas A-1 y A-2 estará contenida en una faja de 30 mm de alto, medidos a partir del trazo inferior del marco de la lámina, cubriendo todo el espacio útil existente entre las líneas verticales del marco. La distribución de los espacios, leyendas y tamaño de los caracteres se señala en la Tabla 2.902.102.A, y se ilustra en el esquema de la Lámina 2.902.102 A.

En el espacio destinado a "Ejecución y Revisión del Proyecto" deberá identificarse la Entidad Ejecutora del Estudio (Consultor, Dirección Regional, etc.), el Coordinador o Jefe del Proyecto, y el Inspector Fiscal designado por la Dirección de Vialidad.

En el espacio destinado a "Aprobación del Proyecto" se deberá consignar el número y fecha de cada versión, tanto la inicial como las sucesivas variaciones y/o modificaciones del proyecto.

La información de las carátulas se agruparán en capas o layer, para desactivarlos cuando se requiera una reducción de las láminas.

**TABLA 2.902.102.A
 DISTRIBUCION Y CONTENIDO DE LA CARATULA**

Distribución Horizontal (mm)			Leyenda	Tamaño Caracteres (mm)	
	A-1	A-2		A-1	A-2
L0	140	102	Ministerio de Obras Públicas	4	3
			Dirección General de Obras Públicas	4	3
			Dirección de Vialidad	4	3
L1	120	87	Ejecución y Revisión del Proyecto		
			Entidad Ejecutora, Jefe Proyecto, Inspector Fiscal		
			(3 líneas horizontales, 3 casillas)	3	3
L2	120	87	Aprobación del Proyecto:		
			Versión N° – Fecha – Visto Bueno		
			(4 líneas horizontales, 12 casillas)	3	3
L3	170	123	Nombre del Camino y Número Rol	5	4
			Sector – Dm	4	3
L4	60	44	Región – Provincia – Comuna	3	3
L5	130	94	Nivel de Estudio (Estudio Preliminar, Anteproyecto, Estudio Definitivo)	4	4
			Tipo de Plano	4	4
			Dm cubierta por la lámina y escala	3	3
L6	20	15	Sigla asignada al tipo de plano	4	3
L7	31	22	Numeración lámina y total de ellas	4	3

Los tamaños A-3 y A-4 corresponden a reducciones de los planos anteriores. Cuando la lámina A-4 se utiliza para ilustrar aspectos de un informe, se prescinde de la carátula estándar y se incluye una identificación mínima indispensable.

Cada lámina deberá quedar perfectamente individualizada como parte integrante del conjunto de láminas que pertenecen al proyecto.

La sigla o inicial correspondiente a cada tipo de plano (casilla L 6), es:

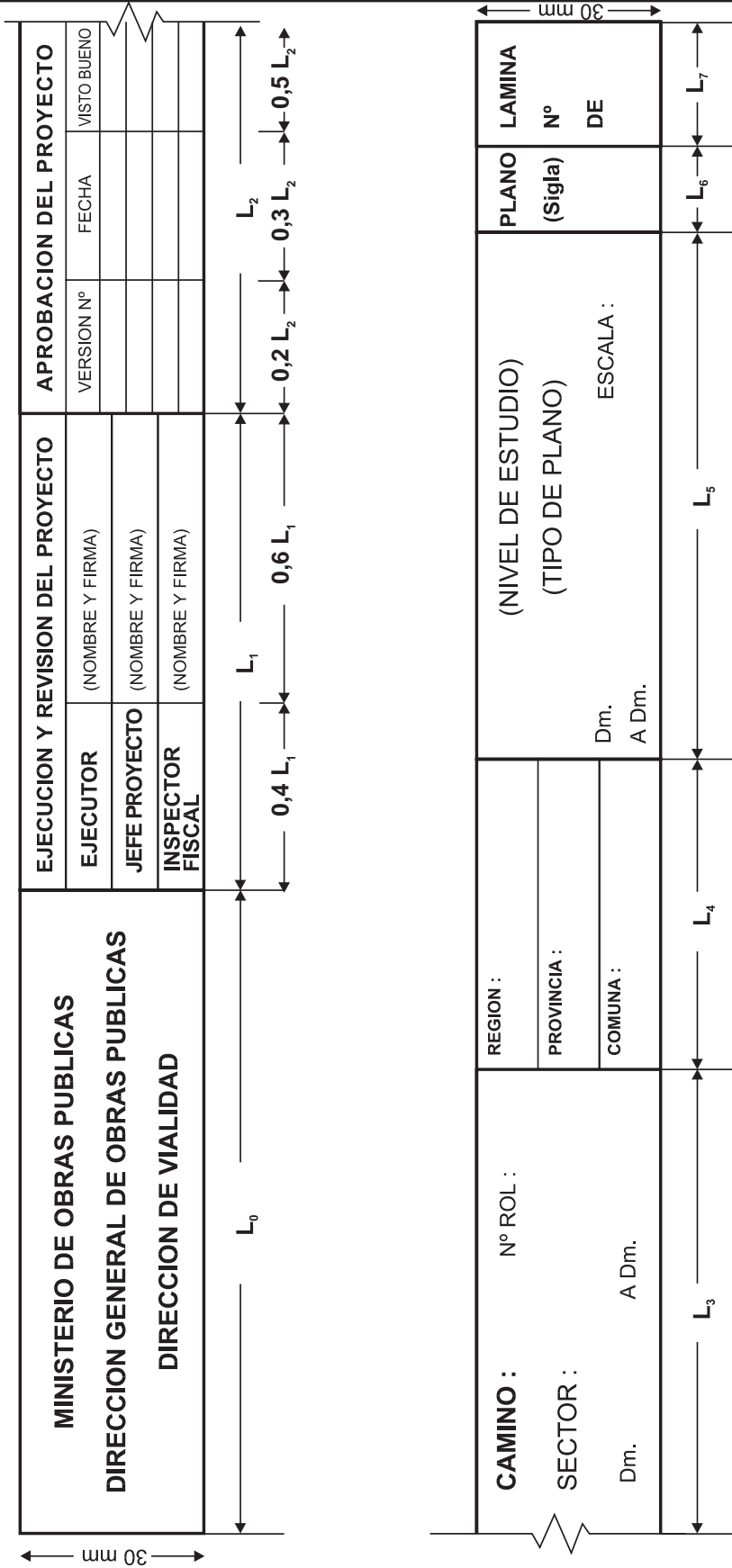
TABLA 2.902.102.B

Tipo de Obra	Listado de Planos	Sigla
Ruta Principal	Plano de Ubicación	PU
	Perfiles Tipo	PT
	Planta Diseño Geométrico y Perfil Longitudinal	HL
	Planta Saneamiento y Drenaje	PD
	Expropiaciones	E
	Seguridad Vial	SD
	Perfiles Transversales	T
	Obras de Arte	OA
	Obras Tipo	OT
	Estructuras	ES
	Cortes Altos – 3D (o Isométrica)	CA
	Terraplenes Altos – 3D (o Isométrica)	TA
Calles de Servicio	Planta Diseño Geométrico de C.S.	CS-H
	Perfil Longitudinal C.S.	CS-L
	Perfiles Transversales C.S.	CS-T
	Obras de Arte C.S.	CS-OA
Proyecto Especiales	Planta de Diseño Geométrico	PE-H
	Planta Seguridad Vial	PE-SD
	Obras de Arte	PE-OA
	Perfil Longitudinal + Perfil Transversal de Camino Secundario	PE-LT
	Perfiles Longitudinales de Ramales	PE-LR
	Perfiles Transversales de Ramales	PE-TR
Proyectos Complementarios	Cambio de Servicios Agua Potable y Alcantarillado	PC-AP o AL
	Iluminación	PC-I
	Paisajismo	PC-P
	Monografías	M
	Plano General	G
	Intersecciones	I
	Enlaces	E

2.902.103 Calidad de los Materiales. Los originales de los planos generados computacionalmente deberán dibujarse en papel diamante de una calidad no inferior a 90-95 g/m.

Las copias de los planos se obtendrán mediante reproducción ozalid o similar con trazos en color azul o negro sobre fondo blanco.

DIMENSIONES EN HORIZONTAL Y TAMAÑO DE LOS CARACTERES - VER TABLA 2.902.102 A



2.902.104 Procedimientos de Dibujo y Simbología.

- a) Los planos habitualmente serán dibujados computacionalmente mediante plotters o impresoras de inyección de tinta o láser, que operan con colores, alta resolución y a diferentes escalas, todo plano contará con respaldo en archivos digitales. Toda la información del estudio estará definida por sus coordenadas x, y, z, pudiendo consultarse directamente en pantalla.
- b) El proyectista podrá solicitar autorización a la Dirección de Vialidad para incorporar otros procedimientos de elaboración de planos que se desarrollen en el futuro.

En estos casos el Proyectista deberá presentar a la Dirección de Vialidad una muestra del original y de las copias resultantes, y sólo si se le otorga una autorización por escrito podrá desarrollar los planos del proyecto bajo el procedimiento que propone, incorporando los alcances o modificaciones solicitadas por la Dirección de Vialidad.

- c) Simbología. En la elaboración de planos de levantamiento se deberá utilizar la simbología contenida en la Lámina 2.902.104.A.

La simbología para representar las obras del proyecto figura en las diversas láminas que se presentan al describir el contenido gráfico y numérico de los diversos tipos de planos.

2.902.105 Empleo de Colores en los Planos. Los originales en papel transparente que serán reproducidos mediante copia ozalid, se dibujarán empleando sólo líneas y caracteres en negro.

Las reducciones en formato A-3, reproducidas mediante impresoras de inyección de tinta o impresora laser, se dibujarán empleando el Código de colores, Tipo de Líneas y espesor de Líneas que se definen en la Sección 2.904, al final de este Capítulo.

2.902.106 Tamaño de los Caracteres en los Planos. En previsión de la reducción al 50% al pasar del Formato A1 al A3, los caracteres de los planos en Formato A1 deberán tener las siguientes alturas:

TABLA 2.902.106.A

Tipo de Información	Tamaño*	Tipo
Datos de Curvas Circulares dentro de Círculos	2,2 mm	Ro
Datos de Clotoides dentro de Rectángulos	2,0 mm	Ro
Coordenadas de los Vértices	2,0 mm	Ro
Dm en la Calzada	2,0 mm	
Toda otra Información Numérica	2,5 mm	

*El tamaño que se indica es el correspondiente al plano 1:1.000 antes de reducir al 50%.

2.902.107 Número de Copias. Los Términos de Referencia Específicos del estudio indicarán el número de copias que debe entregarse. En cualquier caso, antes de obtener el número de copias solicitado, se entregará un juego de copias para la revisión de la Dirección de Vialidad y una vez incorporadas al original las modificaciones o complementaciones que se soliciten, se procederá a la reproducción del total especificado, ya sea en formato A1 o A3, según se especifique en los TRE.

APOYO GEODESICO GPS-IGM

MONUMENTOS STC - D. VIALIDAD (2.307.3)

VERTICE



PILAR NIVELACION



MONOLITO PRINCIPAL



MONOLITO AUXILIAR



P.R.P.



P.R.



PUNTO ESTEROSCOPICO



CURVAS DE NIVEL



COTA DESTACADA



FARALLON



DEPRESION



AFLORAMIENTO ROCOSO



RIOS / ESTEROS



CAUCE SECO



CAUCES MENORES



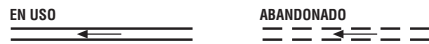
QUEBRADAS INTERMITENTES



VERTIENTES



CANAL



DUCTOS



OBRAS DE ARTE EXISTENTES

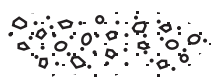


YACIMIENTOS MATERIALES

ARENAS



GRANULARES



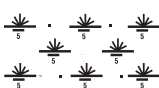
CANTERAS



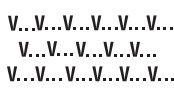
ZONAS APTAS PARA DEPOSITO



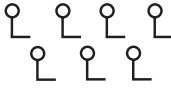
VEGAS / PANTANOS



VIÑAS



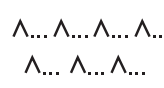
FRUTALES



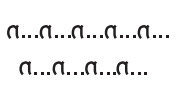
HUERTOS



BOSQUE REFORESTADO



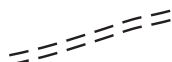
BOSQUE NATIVO



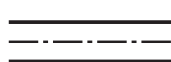
SENDEROS



HUELLAS



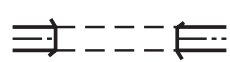
CAMINOS EXISTENTES



PUENTE



TUNEL



FERROCARRIL

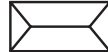
EN USO



FUERA DE USO



CASAS

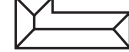


GALPONES



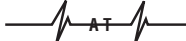
SERVICIOS PUBLICOS

(ESPECIFICAR)



LINEAS

LINEA A.T.



ALUMBRADO



TELEFONO



TELEGRAFO



TRANSFORMADORES



POSTE

(ESPECIFICAR)



CERCOS

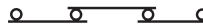
ALAMBRE



VIVO



TRONCOS



PIRCAS



REJAS



NOTA: VER 2.809 PARA SIMBOLOGIA RELATIVA A DESLINDES Y CERCOS PRESUNTOS AL DEFINIR LA FAJA DEL CAMINO

2.902.2 TIPOS DE PLANOS Y ESCALAS SEGUN NIVEL DEL ESTUDIO

La Tabla 2.902.2.A presenta un listado de aquellos planos que resultan indispensables para proyectos de nuevos trazados, según el nivel de estudio que se esté desarrollando. El listado no es excluyente de otros planos que pueden requerirse en situaciones particulares, las que en general se asocian a Proyectos Complementarios (2.902.307), o bien a Proyectos Especiales (2.902.308).

En la Tabla se destaca con una zona achurada la escala habitual para cada tipo de plano según el nivel de estudio, sin embargo, existen situaciones en que la Dirección de Vialidad especificará, mediante Términos de Referencia Específicos (TRE), la utilización de otras escalas. Esta situación se presenta con mayor frecuencia para el nivel de Anteproyecto, dependiendo del número de alternativas que deben estudiarse, de las características geomorfológicas del área y de la metodología de estudio definitivo por emplear.

En los casos de Recuperación de Estándar los tipos de planos requeridos y su escala deben establecerse en los TRE para cada caso particular, según las características del proyecto.

Los proyectos de Cambio de Estándar requerirán, por lo general, el mismo tipo de planos que los proyectos de nuevos trazados, en consecuencia, al elaborar los TRE para este tipo de proyectos se tendrá en consideración la Tabla 2.902.2.A. Los TRE podrán especificar para el anteproyecto, planos horizontales y de perfil longitudinal de mayor escala que el 1: 2.000, si el nivel de resolución requerido así lo aconseja.

2.902.3 CONTENIDO GRAFICO Y NUMERICO DE LOS PLANOS SEGUN NIVEL DE ESTUDIO

2.902.301 Plano General. Este plano constituye un resumen gráfico de las principales características de un Anteproyecto o un Proyecto Definitivo. Deberá presentarse en aquellos casos en que la escala horizontal del estudio sea 1:2.000 o mayor y, a esa escala, el estudio requiera cinco o más láminas de planta.

El contenido del Plano General de un Anteproyecto o un Proyecto Definitivo será prácticamente el mismo, según se ilustra en la Lámina 2.902.301.A y se detalla a continuación:

- a) La escala habitual será 1:10.000 en horizontal y 1:1.000 en vertical. Las escalas 1:5.000 y 1:500 constituyen una alternativa por considerar para terrenos de relieve pronunciado o áreas suburbanas.
- b) Para representar el sistema de coordenadas del estudio basta mostrar la intersección de los ejes ortogonales y consignar las coordenadas de la grilla en los bordes de la lámina.
- c) La primera lámina presentará en un recuadro un plano de ubicación general basado en una carta caminera de la Dirección de Vialidad, indicando los roles de los caminos de la red existente en la zona. El proyecto se destacará mediante una línea de mayor grosor, enmarcado en un círculo o un rectángulo.
- d) La primera lámina presentará también la(s) Sección(es) Transversal(es) Tipo con todos los detalles y notas necesarias para definir sus dimensiones y características principales, según se analiza en 2.902.304.
- e) La geomorfología del área se representará mediante curvas de nivel a equidistancias normalmente asociadas a la escala horizontal del plano general (10 m ó 5 m), con curvas índices cada 50 ó 25 m. La cota de las curvas índices se presentarán espaciadas cada 0,20 m a lo largo de la curva.
- f) La planimetría contendrá los poblados, líneas férreas, postaciones, caminos existentes identificados por su rol, ríos, esteros, cauces y canales importantes, puentes existentes, construcciones próximas al trazado, yacimientos de materiales, canteras, etc.
- g) El eje en planta se localizará mediante las coordenadas de los vértices y las alineaciones se enlazarán mediante las curvas que les correspondan. Se indicará la distancia acumulada D_m cada 1000 m. Los puentes, losas y alcantarillas cuya sección transversal sea igual o mayor que 2 x 2 m se ubicarán sobre el plano indicando la D_m correspondiente al punto de cruce de los ejes de la estructura y el cauce, expresadas al metro e indicando tipo de obras. Longitud total en los puentes y losas y la sección en alcantarillas y tubos. Las obras menores se ilustran solo con un trazo consignando el número de la O.A.

Mediante un cuadro se consignarán los siguientes datos del trazado en planta: número del vértice, coordenadas, ángulo α , radio de la curva circular, desarrollo, peralte, ensanche y velocidad específica. Si existen curvas de enlace se indicarán los parámetros adoptados y su desarrollo.

TABLA 2.902.2.A
PLANOS QUE DEBEN PRESENTARSE SEGUN NIVEL DE ESTUDIO

TIPO DE PLANO	ESCALA	NIVEL DE ESTUDIO			
		ESTUDIO PRELIMINAR	ANTE PROYECTO	ESTUDIO DEFINITIVO	
				EDEP	EDET
CARTA IGM (Selección Corredores)	1:50.000 - 1:25.000		(1)	(1)	(1)
ESQUEMAS ILUSTRATIVOS		(2)	-	-	-
GENERAL (Horizontal/P. Long.)	1:5.000 / 1:500	-	ALT	ALT	ALT
	1:10.000 / 1:1.000	-			
HORIZONTAL	1:10.000	(3)	TRE	-	-
HORIZONTAL	1:5.000	(3)	TRE	-	-
HORIZONTAL	1:2.000	-			
HORIZONTAL Y EXPROPIACIONES	1:1.000	-	TRE		
PERFIL LONGITUDINAL	1:10.000 / 1:1.000	(3)	-	-	-
	1:5.000 / 1:500	(3)	TRE	-	-
	1:2.000 / 1:200	-		ALT	ALT
	1:1.000 / 1:100	-	TRE		
DRENAJE Y SEÑALIZACION	1:2.000				
SECCION TRANSVERSAL TIPO	1:50	ALT			
	1:100		ALT	ALT	ALT
PERFILES TRANSVERSALES	1:200	-			
	1:500		ALT		
OBRAS DE ARTE	1:100	-	TRE		
PROYECTOS COMPLEMENTARIOS / PROYECTOS ESPECIALES		VER 2.902.307 / 2.902.308			



TIPO DE PLANO Y ESCALA HABITUAL SALVO QUE LOS TRE ESPECIFIQUEN OTRA

TRE

PLANO QUE DEBE PRESENTARSE SI LOS TERMINOS DE REFERENCIA ESPECIFICOS ASI LO ESPECIFICAN

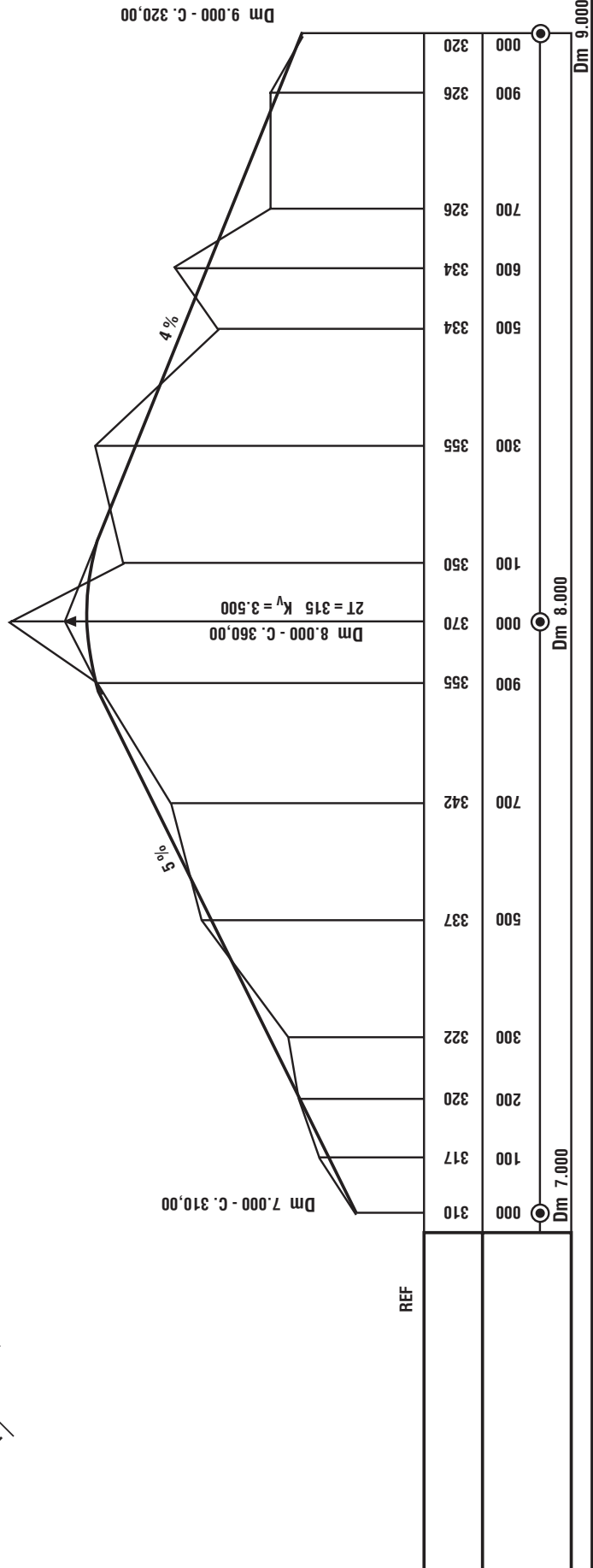
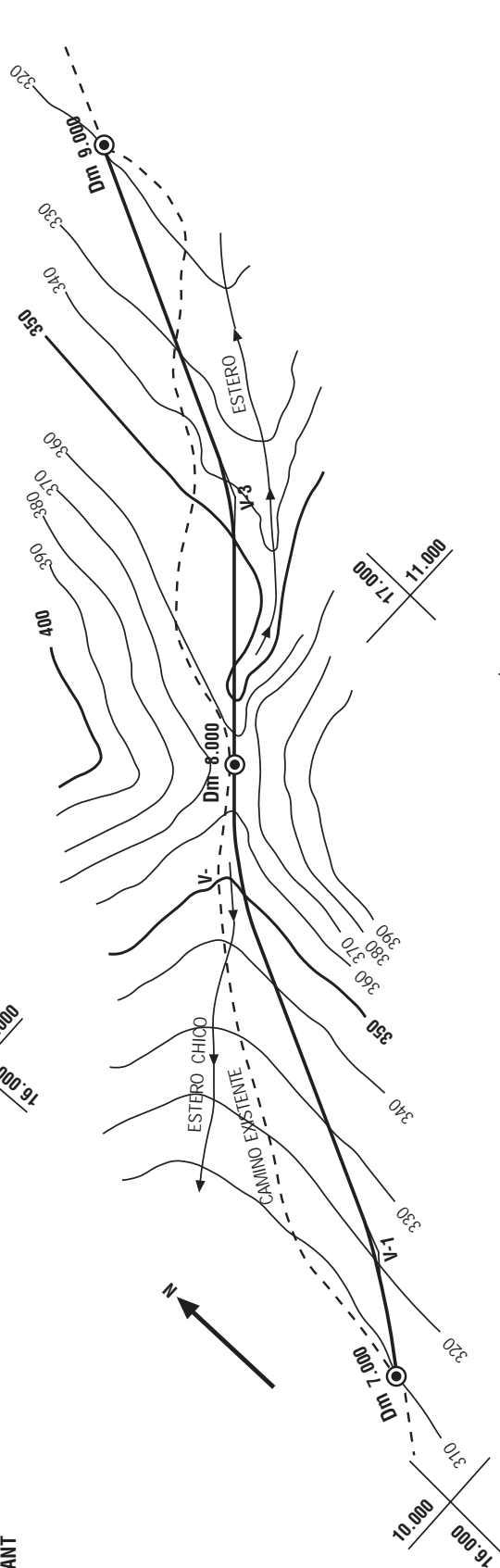
ALT

ESCALA ALTERNATIVA PARA AQUELLAS SITUACIONES ESPECIALES CALIFICADAS POR LA DIRECCION DE VIALIDAD

NOTAS:

- (1) En estos niveles las Cartas IGM pueden utilizarse para determinar hoyas hidrográficas, para planificar el sistema de Transporte de Coordenadas, etc.
- (2) Si no existe Carta IGM 1:50.000, se presentarán esquemas basados en la Carta IGM 1:250.000 o fotoaérea existente.
- (3) Si existe levantamiento a esta escala, el Estudio Preliminar se desarrollará sobre el levantamiento con un grado de detalle correspondiente al nivel.

ESCALA DE LA PLANT



REF

- h) En la misma lámina se presentará el perfil longitudinal identificando los puntos principales de la línea de tierra y la rasante, con indicación de gradientes y pendientes. Las curvas verticales se identificarán mediante su Dm y cota del vértice, longitud y parámetro de la curva.

La información de la Dm y cotas del perfil de terreno se presentará según el modelo que figura en la Lámina 2.902.301.A.

2.902.302 Plano Horizontal.

2.902.302(1) Estudio Preliminar. En aquellos casos en que exista un levantamiento escala 1:10.000 ó 1:5.000 que cubra toda el área de interés, el estudio preliminar se presentará sobre dicho plano, con un grado de detalle similar al descrito para el Plano General (2.902.301).

2.902.302(2) Anteproyecto. La escala corresponderá a la señalada en los TRE, por lo general 1:2.000, según se indica en la Tabla 2.902.2.A. Se deberán representar los siguientes elementos:

- a) Reticulado del Sistema de Coordenadas, el que podrá ser continuo o bien representar sólo el punto de cruce de los ejes ortogonales.
- b) Resumen de los Parámetros de Referenciación y Sistema de Transporte de Coordenadas, según se especifica en la Sección 2.301.
- c) La primera lámina presentará en un recuadro un plano de ubicación general basado en una carta caminera de la Dirección de Vialidad o en una Carta IGM, indicando los roles de los caminos de la red existente en la zona. El proyecto se destacará mediante una línea de mayor grosor, enmarcado en un círculo o un rectángulo.
- d) La primera lámina presentará también la(s) Sección (es) Transversal (es) Tipo con todos los detalles y notas necesarias para definir sus dimensiones y características principales, según se indica en 2.902.304 [cuando lo estipulado en b), c) y d) ocupen mucho espacio, podrán presentarse en lámina separada].
- e) Ubicación en planta de los Monolitos y Puntos de Referencia Principales, materializados en terreno para el transporte de coordenadas planimétricas y altimétricas. En cada lámina se incluirá un cuadro con la información numérica de las coordenadas y cotas correspondientes a los monumentos que figuran en la lámina, así como los croquis del balizado de esos elementos.
- f) Geomorfología del terreno representada por las curvas de nivel a la equidistancia correspondientes a la escala en planta, pudiendo darse cotas de puntos específicos de interés. Se indicarán las cotas de las curvas índices espaciadas cada 0,20 m a lo largo de la curva.
- g) Planimetría completa, especialmente caminos, vías férreas, fosos y cursos de agua con la dirección del escurrimiento, puentes y obras de arte existentes, tuberías, muros, postaciones con indicación del servicio que prestan, deslindes, accesos de las propiedades, construcciones indicando el tipo, uso del suelo, arboledas, árboles destacados, canteras, yacimientos de materiales y lugares de botaderos.

Capas o layer y modelos:

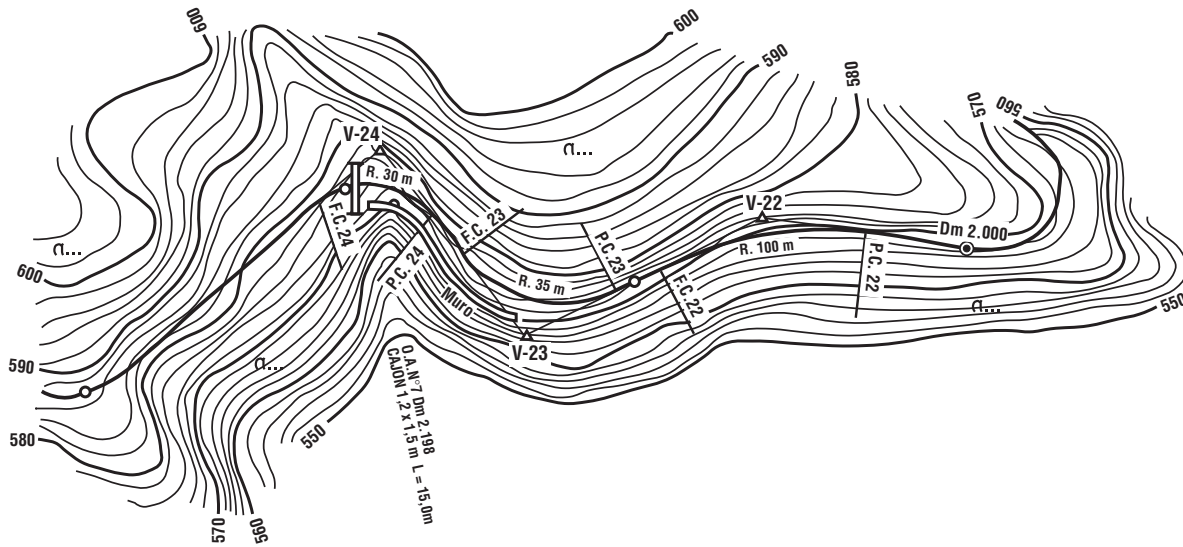
Para una mayor agilidad operacional, los elementos existentes y los proyectados se agruparán por capas o layer. Por ejemplo, la capa de curvas de nivel, contiene todas las curvas de nivel intermedias. Se puede acceder a estas capas para activarlas o desactivarlas, según se quiera o no se quiera representarlas en el plano. Con el fin de producir orden en el uso de capas, se dispone que en la documentación del proyecto se acompañe un listado de las capas creadas para el desarrollo del proyecto con indicación de N°, layer, descripción, color, espesor de línea y tipo de línea.

- h) El eje del proyecto se representará según se ilustra en la Figura a) de la Lámina 2.902.302(2).A, indicando la distancia acumulada Dm cada 200 m.

Los puntos de tangencia de círculos, clotoides y rectas se expresarán con las siglas KE, PC, FC y KS, y el número de la curva, entregando los datos numéricos en cuadros contenidos en la lámina, ello con el objeto de "limpiar" el dibujo.

- i) Los datos de las curvas circulares sin curva de enlace se presentarán dentro de un círculo ubicado próximo al elemento, destacando: número de vértice, ángulo, radio, tangente, bisectriz, desarrollo, peralte, ensanche y velocidad específica.

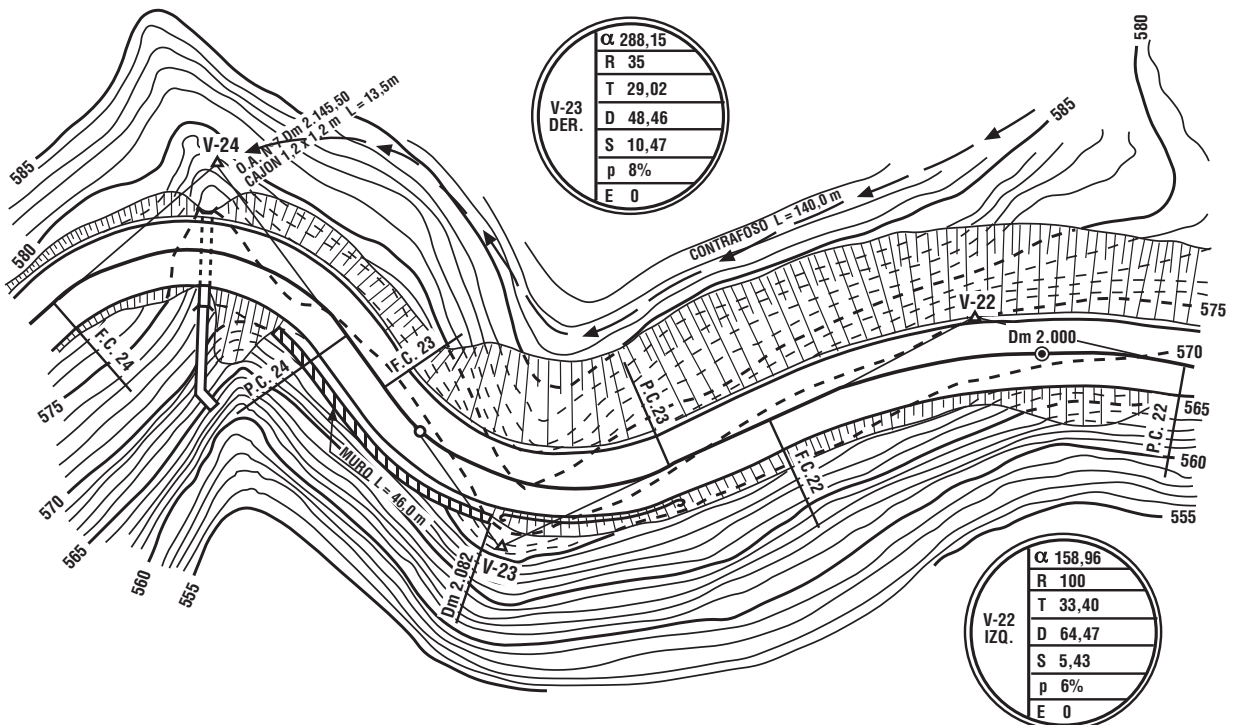
a) ANTEPROYECTO - ESCALA 1:2.000



Los datos correspondientes a las coordenadas de los vértices Dm de los Ke, PC, FC y Ks se presentarán en cuadros según lo indicado en 2.902.302 (2)(i).

b) PROYECTO DEFINITIVO - ESCALA 1:1.000

Capa de Grava - Eje Continuo



Nota: No se consulta ensanche por disponer plataforma de 10 m de ancho.

En caso de existir curvas de enlace se indicará el parámetro de la clotoide y su desarrollo, el retranqueo, el ángulo de desviación máxima, las longitudes de la tangente principal, tangente larga y tangente corta. En un círculo se indicará el número del vértice, el ángulo, el radio de la curva circular, el ángulo del centro asociado a la curva circular retranqueada y el desarrollo de ésta, el peralte y el ensanche. Si las clotoides son simétricas los datos se dan en un solo cuadro, dejando constancia. Si son asimétricas deberán presentarse dos cuadros próximos a las clotoides correspondientes. Además, en otro cuadro se presentarán los vértices que figuren en la lámina y sus coordenadas. Asimismo se indicará la distancia acumulada de cada punto de tangencia.

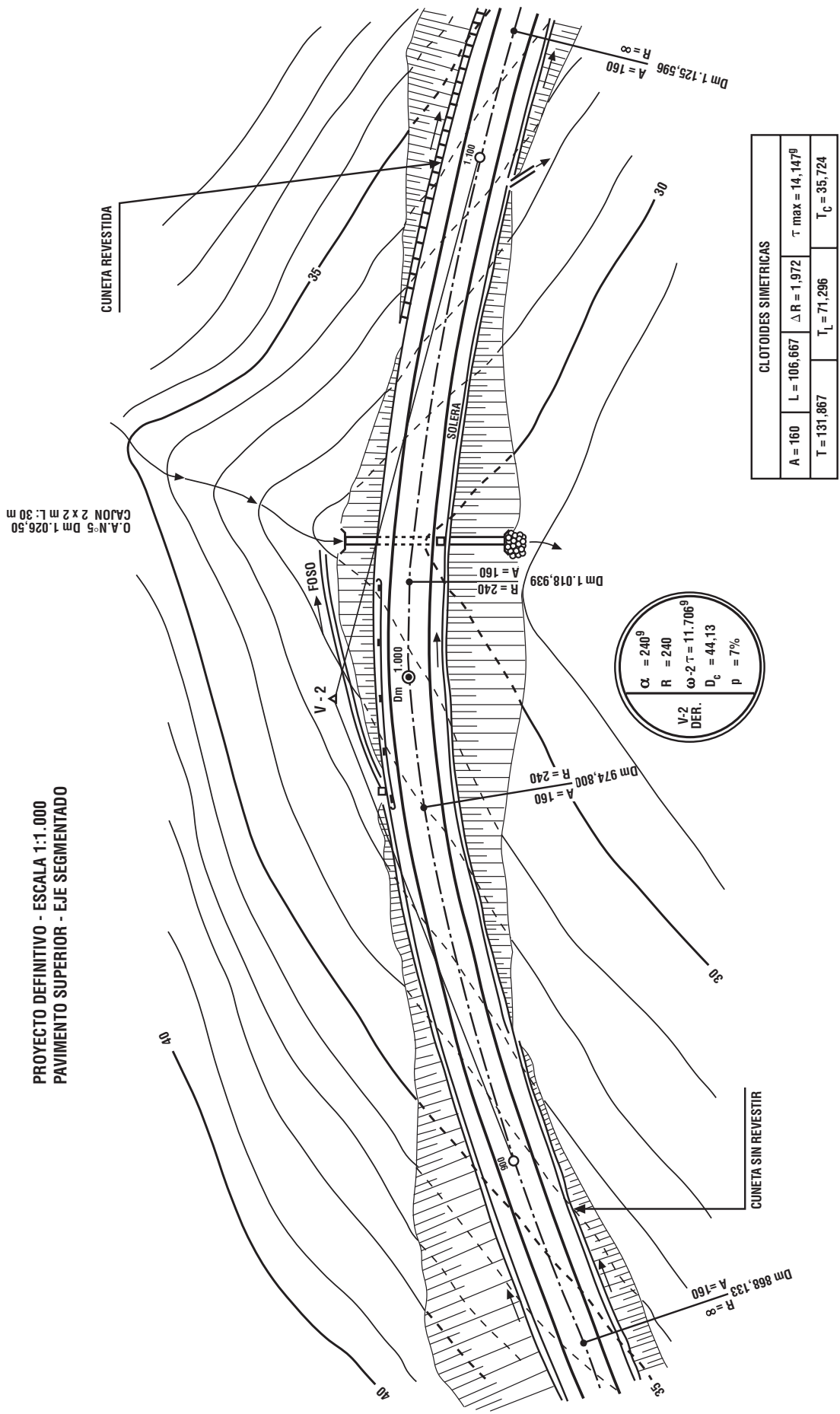
- j) Las obras de drenaje transversal (Puentes, Losas, Alcantarillas) se mostrarán en planta, consignando el N° de la obra de arte y la siguiente información en cuadro aparte: nombre en el caso de los puentes y número correlativo para el resto de las obras, Dm en el eje, tipo de obra (losa, cajón, tubo, etc.), dimensiones de la sección útil, longitud, ángulo de cruce respecto del eje y sentido del escurrimiento.
- k) Empleo de Colores en Planos A3. Para los planos horizontales reducidos a formato A3, se empleará el código de colores que se definen en la Sección 2.904
- k) Las obras de saneamiento se indicarán esquemáticamente con el grado de detalle que permita la escala del plano horizontal.
- l) Los cruces y empalmes con otros caminos se representarán en planta por medio de sus ejes, consignando los datos básicos de los elementos que los componen.
- m) Se insinuarán los límites de la Faja del Camino, considerando los mayores anchos que se puedan requerir por terraplenes, cortes de consideración, de modo que sea posible calcular la superficie total por expropiar, distinguiendo calidades de terreno y mejoras existentes. Para este efecto deberá ilustrarse la línea de traza de los taludes resultantes del movimiento de tierras.

2.902.302(3) Estudio Definitivo. El plano horizontal de este nivel de estudio se desarrolla normalmente a escala 1: 1.000 y deberá contener la información detallada para el nivel de Anteproyecto, pero separada en cuatro versiones: geometría, saneamiento, señalización y expropiación, en las que se ampliarán sus detalles en los siguientes aspectos.

- a) La planta del proyecto se presentará con los detalles que se indican en la Figura b) de la Lámina 2.902.302(2).A o en la Lámina 2.902.302(3).A, según corresponda, es decir se agregan las líneas que delimitan:
 - Bordes de pavimento en sección normal, secciones ensanchadas y/o pistas auxiliares y sus respectivas transiciones de ancho.
 - Bordes de la plataforma con sus ensanches y transiciones de ancho (a nivel de rasante).
 - Por el fondo de cunetas en zonas de corte, se trazará una línea cuya simbología permite distinguir las cunetas revestidas de aquéllas sin revestir, indicando el sentido de escurrimiento.
 - Líneas de las trazas de los taludes de corte y de terraplén con sus respectivos achurados de identificación, que se extenderán hasta o nacerán de los bordes de la plataforma de subrasante, línea que no se dibuja por estar muy próxima al borde exterior del SAP a nivel de rasante.
 - No se trazarán líneas de borde exterior de las bermas (límite entre berma y SAP). En carreteras de doble calzada con mediana, no se dibujará la línea que representa el borde exterior del SAP de las bermas interiores, dejando en esa zona sólo las líneas interiores del pavimento, que delimitan la mediana.

Se acotarán los anchos de pavimento y plataforma a nivel de rasante en el principio y en el fin de las transiciones de ancho, indicando la distancia acumulada correspondiente a dichos puntos.

- b) Se representarán en planta las estructuras de sostenimiento de tierra, escalones en taludes de corte, enrocados para protección de terraplenes, etc., indicando la Dm asociada a sus puntos de inicio y término. El detalle de estas obras aparecerá también en los perfiles transversales del proyecto y/o en los Planos de Obras Complementarias.
- c) En las láminas de Drenaje y Saneamiento en escala 1:2.000 se representarán en planta y alzado las diversas obras de drenaje longitudinal y de saneamiento de la plataforma, tales como: fosos, contrafosos, sumideros en cunetas, soleras, bajadas de agua, indicando en sus puntos de inicio y término la Dm que les corresponde según la proyección al eje. Si el desarrollo del elemento es mayor que la diferencia de kilometraje (contrafosos) se indicará además la



PROYECTO DEFINITIVO - ESCALA 1:1.000
PAVIMENTO SUPERIOR - EJE SEGMENTADO

longitud total. Para aquellos elementos cuya sección difiera o no figure en la Sección Transversal Tipo, se presentarán detalles a escala adecuada para definirlos. Los elementos que se representan en el Perfil Longitudinal se dibujarán con línea llena si se localizan a la derecha del eje según el avance de Dm y con Línea Segmentada si están a la izquierda.

- d) Las láminas de Seguridad Vial se ejecutarán considerando lo expuesto en 2.902.309 de este Capítulo, con los detalles que se definen en 2.808.106 del Capítulo 2.800.
- e) Los Proyectos Especiales tales como: puentes, intersecciones, enlaces, etc., se ilustrarán en el plano horizontal con el grado de detalle que permita la escala, de modo que se tenga una visión de conjunto del proyecto en esa zona. Mediante notas se indicará entre que Dm del proyecto se desarrollan considerando los planos preparados específicamente para dichos Proyectos Especiales (ver Capítulo 3.1000 del MC-V3 para Puentes y Estructuras Afines y 2.808.2 para Intersecciones y Enlaces).
- f) En las láminas relativas a Expropiaciones se destacarán los límites de la faja del camino, identificación de los diversos lotes, cuadro de expropiaciones, etc., los que se presentarán según lo especificado en la Sección 2.809.
- g) Para los estudios con estacado total se incluirán los croquis con el balizado de los puntos principales del trazado (vértices, estacas de alineación, etc.) y la ubicación de los PR respecto del eje del proyecto.
- h) Para los estudios con estacado parcial, además de los croquis de los PR, que forman parte de la Red de Transporte Altimétrico, se incluirán los monolitos auxiliares materializados para densificar la red de replanteo y un cuadro con sus coordenadas.

2.902.303 Perfil Longitudinal

2.902.303(1) Estudio Preliminar. En aquellos casos en que el Estudio Preliminar se presente en base a los datos obtenidos de un levantamiento existente, escala 1: 1 0.000 ó 1: 5.000, el contenido del perfil longitudinal coincidirá con lo especificado para el Plano General (2.902.301).

2.902.303(2) Anteproyecto y Estudio Definitivo. El contenido gráfico y numérico del Perfil Longitudinal es prácticamente el mismo en estos dos niveles de estudio.

La escala horizontal del PL será la misma utilizada en el plano horizontal del proyecto y la escala vertical se ampliará 10 veces respecto de la horizontal.

Los elementos que deben figurar en dicho plano, según se ilustra en la Lámina 2.902.303(2).A, son:

- a) Perfil de Terreno.
- b) Línea de Rasante.
- c) Nivel de Referencia en cada corte del dibujo.
- d) Cota y Dm de los vértices de la rasante.
- e) Obras de drenaje transversal indicando: tipo, diámetro o dimensiones de su sección útil, y Dm en el eje.
- f) Los fosos paralelos al eje deben ser representados en las Láminas de Drenaje y Saneamiento, mediante su proyección, dibujando la rasante del radier, indicando la pendiente, cotas y Dm de inicio y término y en los vértices de cambios de pendiente. Igual proyección puede hacerse respecto de las líneas previstas para el coronamiento y fundación de muros, barreras en taludes, gaviones, etc., acotando debidamente la figura.
- g) Gradientes y Pendientes en porcentaje, con 3 decimales, indicando la longitud en pendiente uniforme. En la misma línea se anotan las Dm de los PCV y FCV, la longitud de las curvas verticales (2T) y los parámetros correspondientes (Kv) o (Kc), con dos decimales, de modo que las cotas de la curva vertical calculada manualmente coincidan con la cota expresada al cm que figura en el plano.
- h) Cotas de Rasante, expresadas al cm, para todos los puntos en que existe cota de terreno, en el caso de los Estudios Definitivos, y cota de rasante en los PCV, MCV y FCV, tanto en los Anteproyectos como en los Estudios Definitivos.

- i) Cotas de Terreno expresadas al cm para todos los puntos representados en el Perfil de Terreno.
- j) Distancia Acumulada de todas las estacas, expresada en metros, que queda referida a la línea que figura a continuación.
- k) Distancia acumulada cada 100 m.
- l) Diagrama de Curvatura seleccionando una constante "K" en función del radio mínimo por representar, para evitar superar el espacio reservado para este objeto. La línea de referencia es una alineación recta, las curvas a la derecha se representan sobre la línea de referencia y las curvas a la izquierda bajo dicha línea. En la zona de la curva circular se indican aquellos datos que son útiles para su representación, para el análisis de la transición de peraltes y para la compatibilización entre la planta y el alzado, vale decir: radio, ángulo, desarrollo circular, peralte máximo, número de la curva y ensanche.

Si el trazado incluye clotoides de enlace, la variación lineal de la curvatura se representa mediante una línea inclinada que une el PK, ubicado por su Dm sobre la línea de referencia, con el PC, en que $C = K/R$. Para la clotoide se indicarán solamente el parámetro "A" y el desarrollo "L".

- m) Diagrama de Peraltes, según se indica en la Lámina 2.902.303(2).A para curvas circulares sin curva de enlace y con giro en torno al eje. Para otras situaciones, ver Láminas 3.203.305(2).A y 3.203.405(2).A del MC-V3.
- n) Croquis de ubicación de PR indicando cota al milímetro.
- o) Representación esquemática de los pozos de muestreo de suelo o sondajes, indicando su posición respecto de la línea de terreno), Dm y número que lo identifica, distancia a la derecha o izquierda del eje del proyecto.

2.902.304 Sección Transversal Tipo. Se presentará habitualmente a escala 1:50, con las alternativas de escala que se indican en la Tabla 2.902.2.A.

Por lo general esta información se incluye en la primera lámina del Plano Horizontal, sin embargo, ciertos tipos de proyectos requieren de una lámina especial para poder representar adecuadamente todos los detalles relacionados con la sección transversal tipo, o las distintas secciones tipo que, eventualmente, puedan requerirse en un mismo proyecto.

La sección tipo se presentará en un perfil mixto, de modo de ilustrar las particularidades que se presentan en sectores en corte y en terraplén, considerando todos los elementos que sean pertinentes al proyecto, en conformidad con lo señalado en las Láminas 3.301.1.A y 3.301.1.B del MC-V3. Los elementos representados se dimensionarán indicando anchos, espesores, inclinación de taludes, pendientes transversales, etc.

2.902.305 Perfiles Transversales

2.902.305(1) Estudios Preliminares. La información provendrá de cartas a pequeña escala o restituciones aerofotogramétrica de escala intermedia y, por lo tanto, la escala de los Perfiles Transversales (T) estará comprendida entre 1:200 y 1:500. La información por incorporar al plano dependerá de la calidad de los antecedentes existentes y del uso específico que se les desee dar: trazar una rasante, cubicación aproximada del movimiento de tierras, analizar la estabilidad de un emplazamiento en ladera de pendiente fuerte, etc.

2.902.305(2) Anteproyecto. Este nivel de estudio requiere la elaboración de perfiles transversales como antecedente de trabajo. Los planos deben entregarse en original sólo si los TRE así lo especifican.

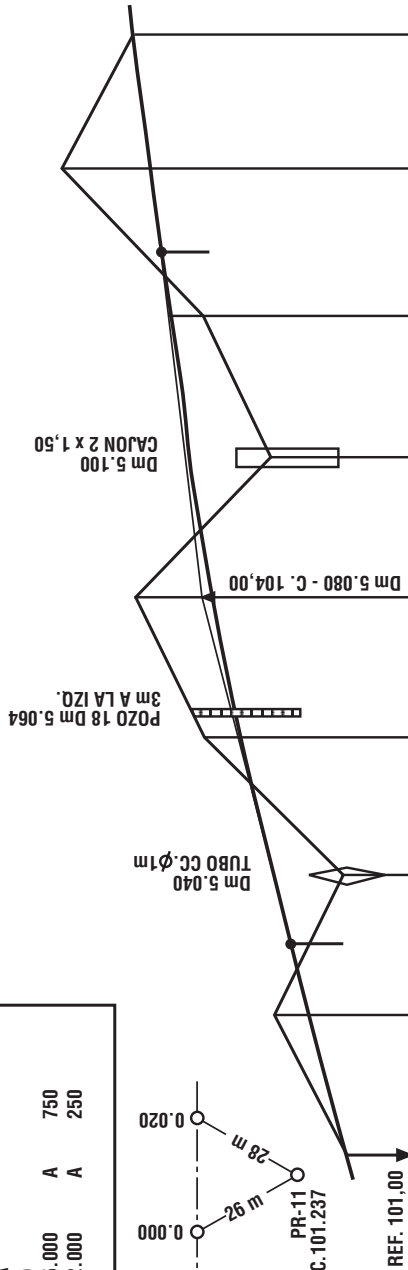
Si la cubicación de tierras se ejecuta determinando superficies por métodos gráficos, la escala debe ser 1:100, si la cubicación se ejecuta por métodos analíticos la escala puede ser 1:200 y/o 1:500.

Los elementos que deben figurar en el dibujo son:

- a) Dm correspondiente al T. Distancia parcial entre perfiles.
- b) Nivel de Referencia utilizado para el dibujo.
- c) Perfil de Terreno indicando cota en el eje.
- d) Perfil de Proyecto indicando cota de rasante en el eje y plataforma de subrasante que señala el límite de cubicación

DIAGRAMA DE CURVATURA
VALORES DE K (f (radio m.in.))

AUTOPISTAS - PRIMARIOS Y COLECTORES 5.000 A 750
LOCALES - DESARROLLO 2.000 A 250



GRADIENTES Y PENDIENTES		2,500% 115 m	5,030	21 = 100	8,000 K _v	5,130	1,250% 80 m					
COTAS	RASANTE	102,00	102,50	102,75	102,99	103,44	103,84	104,19	104,49	104,63	104,75	105,00
	TERRENO	102,00	103,00	102,00	102,00	104,00	105,00	103,00	104,00	106,00	106,00	105,00
DISTANCIAS ACUMULADAS		000	20	30	40	60	80	100	120	124,24	140	160
DIGRAMA DE CURVATURA		RECTA 150 m		PC	RECTA 108 m		FC		RECTA 108 m			
C = $\frac{1}{R} \times K$ (mm)		R = 200		D = 94,24		p = 5%		E = 0		N° 8		
DIAGRAMA DE PERALTES		ESCALA 1% = 1 mm		LADO IZQUIERDO		LADO DERECHO		EJEMPLO: PAVIMENTO 6 m				
n = 1 ; a = 3.0		2%		Δ = 0,7		Δ = 0,7		2%				

ANTE-PROYEC.	PROYEC. DEFINIT.	SI	SI
SOLO EN PCV, MCV, FCV	SI	SI	SI
SI	SI	SI	SI
SI	SI	SI	SI

de tierras. El perfil de proyecto podrá prescindir de bombeos, peraltes y cunetas, pero indicará las inclinaciones de los taludes de corte.

- e) Superficies de corte y terraplén, si la cubicación se ejecuta manualmente, pudiendo prescindirse de ellas si la cubicación se ejecuta por computación. Volúmenes parciales de corte y terraplén entre perfiles sucesivos.

2.902.305(3) Proyecto Definitivo. Este nivel de estudio consulta la entrega de planos originales de los T, los que deben contar con la información descrita para el nivel de anteproyecto, complementada en los siguientes aspectos:

- a) Se completará la información numérica del perfil de terreno incluyendo distancias al eje y cotas de los puntos en que el terreno cambia de inclinación.
- b) El perfil de proyecto presentará el bombeo, peraltes, bancos en cortes altos si el proyecto los consulta; obras complementarias tales como: protección de taludes, enrocados, muros de sostenimiento, etc, pudiendo estos últimos presentarse en láminas complementarias de detalle y sólo con una referencia en las láminas T. Los fosos, contrafosos y cunetas se ilustrarán en el plano de Drenaje y Saneamiento incluyendo allí secciones típicas de estas obras por tramo.
- c) Cuando proceda se indicará la línea de escarpe o el retiro de materiales inadecuados.
- d) La información relativa a cubicación de tierras se regirá por lo establecido para la etapa de Anteproyecto considerando todas las singularidades descritas en el punto b) de este Numeral.
- e) Se entregarán los antecedentes que justifiquen la cubicación de escarpe, fosos, enrocados y otras obras complementarias representadas en los T y para los cuales no existan planos separados.

2.902.306 Planos de Obras de Arte

2.902.306(1) Anteproyecto. Para este nivel sólo se presentarán planos de las obras de arte cuando los Términos de Referencia Específicos así lo establezcan. En dichos casos el contenido del plano será el mismo que se detalla para el Estudio Definitivo, sin embargo, como la información de terreno proviene del plano de levantamiento, las cotas de terreno y las pendientes que de ellas se deduzcan serán sólo aproximadas. Para los estudios de Recuperación o de Cambio de Estándar los planos asociados a los estudios de Ingeniería Básica o Proyecto Final se presentarán según lo que se describe a continuación.

2.902.306(2) Proyecto Definitivo. Los planos de obras de arte se presentarán según un perfil transversal que contenga al eje de la obra. La escala habitual es 1: 100, pudiendo, en ciertos casos particulares, ser necesario presentar otras vistas, caso en que se utilizarán las escalas que resulten adecuadas.

Los elementos a representar son:

- a) Nivel de Referencia para el dibujo.
- b) Dm en el punto de cruce del eje de la obra con el eje del trazado. Angulo de esviaje entre ambos ejes, determinando el ángulo desde la alineación de entrada, en el sentido de los punteros del reloj, según avance de la Dm y hasta llegar a la alineación del curso de agua que posea la flecha indicativa del sentido de escurrimiento. Es decir escurrimientos hacia la izquierda posean esviajes menores que 200^g y hacia la derecha mayores que 200^g.
- c) Línea de tierra, sección longitudinal del ducto y línea de proyecto incluyendo taludes, contenidos en el plano vertical que pasa por el eje de la obra. Proyección de las estructuras de entrada, muro de boca y/o alas, sobre dicho plano vertical.
- d) Cotas de terreno y distancias referidas al eje del proyecto y medidas según el eje de la obra de arte. Cota de rasante en el eje y en los bordes de la plataforma.
- e) Cotas de radier de la obra de arte en la entrada y salida, pendiente y sentido de escurrimiento.
- f) Cuadro resumen de características y cubicaciones, haciendo referencia a las láminas correspondientes del MC-V4, Obras Tipo, especificando:

- Tipo de obra.
- Alto x Ancho o Diámetro (m).
- Longitud del Ducto (m).
- Excavación (Terreno común / Roca) (m³).
- Relleno Estructural (m³).
- Hormigón G05 (m³).
- Hormigón G17 (m³).
- Hormigón G25 (m³).
- Acero Redondo (kg) indicando calidad.
- Revestimiento (m²). (Hormigón – Mampostería, etc.)

g) Vistas adicionales para ilustrar obras especiales, como cámaras de entrada en cunetas o en la mediana, con su dimensionamiento, enfierradura y cubicación.

h) En casos de obras importantes que presenten problemas de localización, se deberá contar con un levantamiento especial del área, secciones transversales de los cauces de entrada y salida y el perfil levantado por el eje de la obra. Todo ello permitirá elaborar un plano de planta y el perfil de la obra para definir la solución con el grado de detalle requerido.

2.902.307 Planos de Proyectos Complementarios. Las estructuras de sostenimiento de tierras, enrocados para protección de terraplenes, desvío de canales existentes, etc., requieren, en ciertos casos, planos especiales a escalas adecuadas, que permitan detallar, cubicar y construir este tipo de obras.

Estos planos se asocian, generalmente, al nivel de Estudio Definitivo y la información topográfica proviene de levantamientos complementarios y/o perfiles especiales tomados durante la etapa de replanteo total o parcial en el caso de obras complejas.

Normalmente para este tipo de proyectos en la misma lámina se presenta: la planta, el perfil longitudinal y las secciones transversales. Las escalas serán seleccionadas por el proyectista, dependiendo de las características de la obra. Salvo que los TRE las especifiquen.

Para el tipo de obras mencionadas los diferentes planos contendrán la siguiente información básica:

2.902.307(1)Planta. Estará ligada al sistema de referencia del proyecto y mostrará la relación existente entre la obra complementaria y la obra básica del proyecto, indicando distancias al eje y las Dm de inicio y término. Las escalas habituales son entre 1:1.000 y 1:100, siendo las más corrientes 1:500 y 1:200. Las curvas de nivel se suelen presentar a equidistancias de 1 m o 0,5 m.

2.902.307(2)Perfil Longitudinal. Estará ligado al sistema altimétrico del proyecto y debe presentar:

- La línea de tierra según el plano vertical que contiene el eje adoptado para la obra complementaria, indicando las distancias, que pueden estar referidas al eje del trazado si la obra discurre paralela a éste, o utilizando un origen arbitrario si no existe tal paralelismo. Las cotas de los puntos de terreno que se están representando.
- La línea de fundación de la estructura o enrocado o la línea de fondo de los canales, indicando la distancia acumulada y cotas de aquellos puntos en que se producen quiebres o cambios bruscos de nivel. En el caso de canales se indicará la pendiente de fondo.

- La línea de coronamiento de la estructura indicando distancias y cotas en los puntos singulares, y el nivel de escurrimiento calculado para los canales.

2.902.307(3) Secciones Transversales. Si la obra presenta cambios de sección motivados básicamente por cambios de forma del terreno, caso de los enrocados al pie de terraplenes, se presentarán perfiles igualmente espaciados y además en puntos singulares. Si la obra presenta tramos con sección constante, como suele suceder en muros estructurales o en base a gaviones se presentarán tantas secciones típicas como el número de cambios de forma existentes, indicando sus dimensiones, materiales, aspectos particulares por considerar en la construcción, etc.

Las secciones transversales mostrarán también las líneas de excavación previstas, los materiales seleccionados que se deben incorporar en el nivel de fundación o como rellenos. Mediante notas se citarán las principales especificaciones especiales que regirán la construcción de la obra.

2.902.307(4) Cubicaciones. Por lo general las cubicaciones del proyecto complementario se presentan en la misma lámina, distinguiendo las diferentes partidas que figurarán en el presupuesto.

2.902.308 Planos de Proyectos Especiales.

2.902.308(1) Aspectos Generales. Este tipo de proyecto fue definido en 2.808.2 y corresponde a Puentes, Pasos Superiores e Inferiores, Enlaces e Intersecciones, Túneles, Cobertizos, etc. Si bien todos ellos figurarán, esquemáticamente, en los Planos de Trazado del Estudio, los diseños y planos de detalle deben presentarse en láminas separadas, que deben ser autosuficientes para construir todas las obras incluidas dentro de la zona asignada al Proyecto Especial. Es fundamental definir en los planos de trazado y en los planos de los proyectos especiales, entre qué puntos rige uno u otro plano, a fin de evitar doble cubicación o la omisión de ciertas partidas.

- a) A nivel de Estudios Preliminares no se presentan planos de proyectos especiales, sólo cabe detectar la necesidad de este tipo de proyectos, definir sus características principales y alternativas posibles, las que se pueden ilustrar en esquemas incluidos en el Informe del Estudio, destacando el tipo y alcance de los estudios por realizar en los niveles siguientes.
- b) A nivel de Anteproyecto, los proyectos especiales deben desarrollarse a partir de los datos del levantamiento ejecutado para el estudio general del trazado, salvo que los TRE especifiquen un levantamiento de mayor detalle en la zona de emplazamiento de la obra. Algo similar sucede respecto de la información geotécnica la que, en este nivel, consulta sólo por excepción exploración de subsuperficie. Es por ello fundamental, según sean la importancia y complejidad de la obra, que los TRE especifiquen estudios geotécnicos más avanzados en la etapa de Anteproyecto, si las características de la obra así lo aconsejan. Los estudios hidrológicos, caudales de diseño para el período de retorno seleccionado, deben desarrollarse en detalle en este nivel, sin embargo, el estudio hidráulico, niveles de aguas máximas y velocidades de escurrimiento, para el caso de puentes, será sólo aproximado ya que la información topográfica del cauce en la zona de emplazamiento no será suficiente para el estudio de ejes hidráulicos, salvo que los TRE hubieran especificado el levantamiento de perfiles aguas arriba y aguas abajo de la zona de emplazamiento.
- c) El Estudio Definitivo se realiza contando con datos de terreno tomados específicamente para el proyecto especial y, por lo tanto, las escalas y grado de detalle serán los adecuados a cada caso, lo mismo debe suceder respecto de los estudios geotécnicos e hidráulicos que puedan requerirse.

2.902.308(2) Planos para Puentes, Pasos Superiores e Inferiores. Todo lo relativo a Planos y Documentos de Puentes, Pasos Superiores e Inferiores y Pasarelas, se desarrollará en conformidad con señalado en el Capítulo 3.1000 "Puentes y Estructuras Afines" Sección 3.1005 "Presentación de los Estudios" del MC-V3.

2.902.308(3) Planos para Intersecciones y Enlaces.

a) Anteproyecto. El anteproyecto de este tipo de obras debe considerar las alternativas de solución posibles, en especial si existen dudas respecto de una solución a nivel o con separación de niveles (ver 2.808.2).

El plano de planta presentará la solución gráfica del nudo ilustrando los ángulos de intersección de las vías, los ramales y canalizaciones necesarias, disposición de pistas de aceleración, deceleración, etc. Se incluirán también los perfiles longitudinales de las vías y ramales principales con el grado de detalle descrito en 2.902.303(2). En caso de existir estructuras para separación de niveles, ellas se mostrarán con el grado de detalle especificado en 2.902.308(2), dando especial importancia a las secciones libres y gálibos en pasos inferiores.

Los planos de anteproyecto están destinados a mostrar la calidad operativa de la solución propuesta y su factibilidad técnica, considerando aspectos tales como un adecuado saneamiento del área, en especial en pasos inferiores. Sin embargo, el diseño detallado queda reservado al Estudio Definitivo en que se dimensionan con precisión los anchos de ramales, islas de canalización, transiciones de ancho en pistas auxiliares, cálculo detallado de los elementos curvos, peraltes y sus transiciones, etc.

b) Estudio Definitivo. El plano de planta del estudio definitivo se desarrollará habitualmente a escala 1:500. Dependiendo del tipo de relieve se pueden requerir curvas de nivel a equidistancias de 0,5 m ó 1 m. La planimetría del área debe representarse con gran fidelidad, en especial cuando se trata de mejorar un nudo existente que presenta obras propias de las carreteras, deslindes de propiedad particular, construcciones de diversos tipos, postaciones, canales, servicios de utilidad pública, etc.

Los planos de perfil longitudinal pueden presentarse a escala 1:500/1:50 o, alternativamente, 1:1.000/1:100, según la complejidad del proyecto.

Los perfiles transversales se presentarán a escala 1:100 y, cuando se trate de intersecciones en que se aprovecha parte de las vías existentes, puede ser necesario deformar la escala vertical llevándola a 1:50, a fin de poder diferenciar la obra existente de las nuevas obras que se incorporan: repavimentaciones, soleras, ensanches, etc.

El plano horizontal presentará las vías que se cruzan o empalman y los ramales que permiten los diversos giros, detallando los anchos de pavimentos, bermas, pistas de aceleración, deceleración, pistas auxiliares para giro a la izquierda; islas de canalización, definiendo geoméricamente sus dimensiones, formas y huelgas respecto de las vías adyacentes, radios y elementos de las curvas circulares, radios y elementos de las curvas compuestas y curvas de enlace entre elementos de distinta naturaleza; transición de los peraltes indicando esquemáticamente la variación que va experimentando el peralte en zonas en que los ejes concurren o divergen.

Mediante tablas se darán las curvas requeridas para lograr las transiciones de ancho y los datos necesarios para replantear todos los elementos de la planta del proyecto.

Todos los elementos mencionados deben estar acotados y se indicará su inicio y término respecto de la Dm asociada al eje de la vía o ramal al que pertenecen.

Los perfiles longitudinales contendrán la misma información descrita en 2.902.303, con la salvedad que, en las zonas de empalme con pavimentos existentes, las cotas deben darse al milímetro. En ramales asociados a pasos superiores o inferiores, el perfil longitudinal mostrará la compatibilización de la planta y el alzado mediante diagramas de curvatura y variación del peralte.

Los perfiles transversales mostrarán los anchos de pistas, bermas, ensanches, SAP, localización del eje de giro del peralte, soleras, etc.

Los pasos superiores o inferiores se presentarán mediante los planos que se señalan en la Sección 3.1000.5 del Capítulo 3.1000 del MC-V3.

Los planos relativos a la Expropiación del área requerida, así como el plano de Drenaje y el de Seguridad Vial, se presentarán en documentos separados, preparados especialmente para cada una de estas especialidades.

2.902.309 Planos de Seguridad Vial. El contenido de estos planos escala 1:2.000, deberá cumplir con lo señalado en 2.808.106. Si se presenta una versión reducida al 50%, ella deberá mostrarse empleando los colores correspondientes a las señales y dispositivos que se están ilustrando, y los tamaños de los caracteres en los textos explicativos deberán cumplir con lo señalado en la Tabla 2.902.106.A.

SECCION 2.903 INFORMES Y DOCUMENTOS

2.903.1 ASPECTOS GENERALES

2.903.101 Objetivos y Alcances. Los estudios de obras viales, cualquiera sea su nivel, requerirán de informes parciales o de avance y de informes finales que permitan una clara comprensión de los objetivos del estudio encomendado y del grado en que dichos objetivos se lograron.

Ambos aspectos deberán quedar respaldados mediante la presentación de los antecedentes recopilados, el análisis y elaboración de dichos antecedentes, las memorias de cálculo que justifiquen las hipótesis y los diseños adoptados y por los documentos que, conjuntamente con los planos, definan todas las características del estudio desarrollado.

Esta sección está destinada a normalizar la presentación de los informes parciales y finales, en especial en lo relativo a formatos, cuadros tipo, calidad de presentación, etc.

2.903.102 Formato. Los informes parciales y finales se presentarán en formato A-4 de 297 mm de alto por 210 mm de ancho, tamaño final cortado.

El texto se presentará escrito mediante un procesador de texto, con caracteres de un tamaño mínimo de 2 mm. Los márgenes entre los extremos del texto escrito y el borde de la hoja serán:

- Extremo Superior 25 mm.
- Lado Izquierdo 25 mm.
- Extremo Inferior 20 mm.
- Lado Derecho 15 mm.

Los Informes se redactarán en forma impersonal: "Se visitó el terreno" (correcto) – "Visitamos el terreno" (incorrecto).

Las unidades se presentarán en conformidad con el Sistema Internacional de Unidades (Ver Capítulo 2.000, Sección 2.004).

Las memorias del cálculo incluidas en anexos podrán presentarse manuscritas, con letra de imprenta clara y legible.

Los documentos gráficos se presentarán en láminas formato A4 de 297 x 210 mm, cuyos márgenes libres serán de 20 mm por el lado izquierdo (lado de archivo) y 5 mm por todos los otros lados. Estas láminas podrán ampliarse en módulos de 297 x 190 mm, de modo que puedan plegarse manteniendo el tamaño del formato.

2.903.103 Carátula en Portada. El informe estará provisto de tapas en cartulina o material similar, empastado mediante anillos plásticos o algún sistema equivalente y contará con las siguientes leyendas:

**MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION DE VIALIDAD
(Unidad que corresponda)**

**(NIVEL DEL ESTUDIO)
(NOMBRE DEL PROYECTO)**

(INFORME N°... / INFORME FINAL)

(TOMO N° ..)

FECHA

EJECUTORES DEL ESTUDIO

2.903.104 Calidad de los Materiales. El texto del estudio se presentará en papel Bond 24 u otro similar autorizado por la Dirección de Vialidad, sus copias podrán reproducirse mediante fotocopiado.

Las láminas A-4 que provengan de un original transparente, pueden ser reproducidas mediante fotocopia o en papel ozalid de fondo blanco y línea negra o en colores según resulte conveniente para una mejor presentación y comprensión de la materia tratada.

2.903.105 Número de Copias. Los Términos de Referencia Específicos del estudio indicarán el número de copias que deben entregarse. En cualquier caso, antes de obtener el total de copias solicitadas, se entregará un ejemplar completo del informe para la revisión de la Dirección de Vialidad y, una vez que se obtenga su conformidad, se procederá a reproducir el total especificado.

2.903.2 ESTRUCTURA DE LOS INFORMES

2.903.201 Aspectos Generales. Los Informes, denominados también Memoria del Estudio, se deben componer de tres partes fundamentales, a saber:

- Resumen y Conclusiones.
- Desarrollo del Informe.
- Anexos.

2.903.201(1) Resumen y Conclusiones. Comprende una exposición sintética de los objetivos, alcances y criterios de diseño considerados en el estudio, destacando aspectos tales como: Categoría del Proyecto, Velocidad de Proyecto, Demanda de Tránsito Actual y proyectada. Incluye una descripción somera de las características geomorfológicas, hidrológicas, geotécnicas y socioeconómicas del área.

Una descripción de las principales características físicas que se asocian a las diversas rutas, alternativas o trazado en particular, según el nivel de estudio, tales como: desarrollo total, características generales de la planta y el alzado, principales proyectos especiales (puentes, túneles, enlaces, etc.). Mediante una carta topográfica de pequeña escala, en que se hayan marcado las diversas alternativas, y utilizando cuadros comparativos, es posible presentar todos estos antecedentes en forma clara y breve.

Según el nivel de que se trate, se presentarán cuadros de cantidades de obra y presupuestos para, finalmente, exponer las conclusiones y recomendaciones que se justificarán en el Desarrollo del Estudio.

A solicitud del Mandante este Resumen y Conclusiones deberá editarse también en un documento separado como "Resumen Ejecutivo del Estudio", o bien elaborar dicho Resumen Ejecutivo basando en el primer Capítulo de la Memoria.

2.903.201(2) Desarrollo del Informe. El desarrollo del informe debe describir todas las etapas correspondientes a la metodología de estudio empleada en conformidad con lo expuesto en este Volumen, incluyendo aquellos aspectos que hubieren sido especificados en los Términos de Referencia Específicos.

En las secciones correspondientes del Capítulo 2.800, se enumeran los aspectos básicos que debe comprender el Informe Final de cada una de las metodologías de estudio. Si bien dicha enumeración no es excluyente, deberá tenerse presente para el desarrollo del informe, según se señala en:

Estudio Preliminar de Nuevos Trazados	2.802.5
Anteproyectos	2.804.206
Estudios Definitivos de Nuevos Trazados	2.805.205
Estudio Preliminar para Proyectos de Recuperación y de Cambio de Estándar	2.803.6
Estudio Definitivo para Recuperación de Estándar	2.806.3
Estudio Definitivo para Cambio de Estándar	2.807.2

En el desarrollo de los aspectos que allí se señalan deben quedar claramente establecidos los parámetros utilizados, los criterios y normas de diseño empleadas, las conclusiones obtenidas mediante los estudios de ingeniería básica, aún cuando el desarrollo de dichas materias esté contenido en anexos.

Se presentarán:

- Los cuadros resumen de las características geométricas del trazado.
- Las hipótesis y métodos empleados para los estudios de hidrología y drenaje.
- La sectorización del estudio en función de las características geomorfológicas y geotécnicas.
- Las especificaciones técnicas especiales del proyecto.
- Cuadro resumen de cantidades de obras que justifique el origen de las diversas cubicaciones que conforman una partida en particular (P. ej. Hormigón G05, puede provenir de: Emplantillado de Obras de Arte + Revestimiento Cunetas + Revestimiento Contrafosos, etc.).
- Cantidades de obra y presupuestos.

2.903.201(3) Anexos. En anexos se debe presentar la información estadística detallada y las memorias de cálculo que justifican la decisión adoptada. Es posible que buena parte de los estudios de Ingeniería Básica se presenten en anexos, tal es el caso de:

- Cálculo y Compensación del Sistema de Transporte de Coordenadas.
- Cálculo de Precipitaciones Máximas para el Área, Análisis de Registros Fluviométricos, Determinación de Hoyas Hidrográficas, etc.
- Resultados de la Prospección y Ensaye de Suelos.
- Información de Conteos de Tránsito, Encuestas de Origen y Destino, etc.
- Cuadros de Cubicación de Tierras o Listados Computacionales que los reemplacen.
- Cuadros de Cubicación de cada una de las partidas que forman parte del proyecto.

2.903.3 CUADROS Y DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS

En el desarrollo del informe, o en sus anexos, deben presentarse, según el nivel de estudio de que se trate, diversos registros, cuadros resumen y documentos complementarios.

Las tablas que se presentan a continuación detallan los cuadros y documentos que son indispensables en los informes de proyectos de nuevos trazados. Para proyectos de recuperación y de cambio estándar se utilizarán aquéllos que sean pertinentes, según las características del proyecto. Los Términos de Referencia Específicos establecerán las modificaciones, complementaciones o aquellos cuadros y documentos adicionales que puedan requerirse para un proyecto en particular.

**TABLA 2.903.3.A
APOYO TOPOGRÁFICO Y DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DEL TRAZADO**

Registros Sistema de Transporte de Coordenadas	EPTE	ANT	EDEP	EDET
Referenciación Geodésica del Estudio				
Registro Coord. Sistema Transporte Planimétrico	-	√	√	√
Registro Coord. Monolitos Auxiliares Densificación STC	-	-	√	Alt
Registro Cotas Sistema Transporte Altimétrico PRP	-	√	√	√
Registro Cotas Sistema Auxiliar de PR	-	-	√	-
Definición Geométrica del Trazado				
Registro Coord. Vértices del Anteproyecto	√	√	√	-
Registro Coord. Vértices Proyecto Definitivo	-	-	√	√
Cuadro de Rectas y Curvas (Lám. 2.903.3 A)	√	√	√	√
Cuadro de Elementos de la Rasante (Lám. 2.903.3 B)	√	√	√	√

√ = Registro, Cuadro o Documento que debe presentarse en el nivel de estudio considerado.
ALT = Constituye una alternativa a considerar según el método de replanteo a utilizar.

**TABLA 2.903.3.B
CUADROS DE CANTIDADES DE OBRA**

CANTIDADES DE OBRA POR ITEM	EPTE	ANT	EDEP	EDET
Cuadro Expropiaciones (Ver 2.809)	-	(1)	√	√
Roce y Limpieza Faja	-	√	√	√
Cercos Nuevos/Traslados – Km – Lado-Longitud	-	√	√	√
Traslado Postaciones/Tipo – Km – Número Postes	-	EST	√	√
Demolición Obras Existentes (Ubicación y Volumen)	-	EST	√	√
Cubic. Movimiento de Tierras (Lám. 2.903.3.C) ⁽²⁾	EST	√	√	√
Resumen y Cubicación Obras de Arte (Lám. 2.903.3.D)	EST	√	√	√
Desvío de Cauces/Km y Cubicación	-	EST	√	√
Fosos y Contrafosos/Km – Lado Cubicación	-	EST	√	√
Soleras/Km – Lado – Cubicación	-	EST	√	√
Cunetas Revestidas/Km – Lado – Cubicación	-	EST	√	√
Barreras de Contención/Km – Lado – Cubicación	-	EST	√	√
Defensa con Enrocado/Km – Lado – Cubicación	-	EST	√	√
Muros de Sostenimiento/Tipo – Km – Cubicación	-	EST	√	√
Sub-Bases y Bases/Tipo – Km – Cubicación	-	EST	√	√
Pavimentos de Sostenimiento/Tipo – Km – Cubicación	EST	√	√	√
Bermas Revestidas/Tipo – Km – Cubicación	EST	√	√	√
Demarcación Revestidas/Tipo – Km – Cubicación	-	EST	√	√

(1) Véase el alcance para nivel de Anteproyecto en 2.804.206(2).

(2) La Lámina 2.903.3.C se reemplaza por listados de computación cuando se cubica por este método.
EST: La información presentada constituye una estimación, cuya exactitud depende del tipo de antecedentes disponibles (escala del levantamiento o carta).

**TABLA 2.903.3 C
DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS**

	EPTE	ACLP	EDEP	EDET
Especificaciones Técnicas Especiales (Ver 2.808.3)	-	√	√	√
Cuadro General cantidades de Obra (Ver 2.808.4)	-	√	√	√
Análisis de Precios (Ver 2.808.5)	-	√	√	√
Presupuesto (Lám. 2.903.3.E)	EST	√	√	√

Los cuadros más relevantes se presentan en las láminas siguientes:

- LAM. 2.903.3.A RECTAS Y CURVAS EN PLANTA
- LAM. 2.903.3.B ELEMENTOS DE LA RASANTE
- LAM. 2.903.3.C REGISTRO CUBICACIONES DE TIERRAS
- LAM. 2.903.3.D RESUMEN, CARACTERÍSTICAS Y CUBICACIÓN OBRAS DE ARTE
- LAM. 2.903.3.E PRESUPUESTO
- LAM. 2.903.3.F PUNTOS DE LA RED DE REFERENCIA PRINCIPAL
- LAM. 2.903.3.G RESUMEN DE COORDENADAS DE LA RED DE REFERENCIA PRINCIPAL
- LAM. 2.903.3.H CIRCUITOS DE LÍNEAS BASES DE LA RRP
- LAM. 2.903.3.I NIVELACIÓN CERRADA, COTAS Y MONOGRAFÍAS DE PR

MANUAL DE CARRETERAS		FORMULARIO TIPO RECTAS Y CURVAS EN PLANTA					2.903.3.A		
VOL. N° 2							Diciembre 2001		
IDENTIFICACION EJECUTORES			RECTAS Y CURVAS						
			CAMINO _ EJEMPLO PARA VELOC. DE DISEÑO = 90 km /h. _						
			SECTOR _			Dm 0,000		ADm _	
V	ANGULO EN EL VERTICE	DISTANCIA ENTRE VERTICES					RECTAS	DISTANCIAS ACUMULADAS	OBS.
			RADIOS	PARAM. CLOT.	TANGENTES	DESARROLLO			

MANUAL DE CARRETERAS		FORMULARIO TIPO ELEMENTOS DE LA RASANTE					2.903.3.B	
VOL. N° 2		Diciembre 2001						
IDENTIFICACION EJECUTORES			ELEMENTOS DE LA RASANTE					
			CAMINO -----					
			SECTOR ----- Dm ----- ADm -----					
V	PC- FC-	DISTANCIAS ACUMULADAS m	CURVAS VERTICALES		PENDIENTES		COTAS m	
			LONGITUD 2T m	PARAMETRO K		%		LONGITUD EN PEND. UNIFORME
				CONVEXA	CONCAVA			
	INICIO	0.000					42,21	
	PC ₁	260				2,821	260	49,54
V-1	FC ₁	300	80		4.301,08			50,67
	PC ₂	650				4,682	310	52,54
V-2	FC ₂	800	300	3.631,96				67,05
	PC ₃	1.060						74,07
V-3	FC ₃	1.100	80	4.938,27				68,70
	PC ₄	1.260						64,76
V-4	FC ₄	1.300	80		10.810,81			63,33
	PC ₅	1.340						61,25
V-5	FC ₅	1.500	0	0	0	-4,461	160	55,01
	PC ₆	1.760				-4,182	260	52,93
V-5	FC ₆	1.800	80		6.250,00			51,15
	PC ₇	1.840						44,01
V-5	FC ₇	2.000				-2,900	160	33,14
	FIN							31,47
								30,31
								25,67

MANUAL DE CARRETERAS		FORMULARIO TIPO REGISTRO CUBICACION DE TIERRA				2.903.3.C	
VOL. N° 2						Diciembre 2001	
IDENTIFICACION EJECUTORES			CUBICACION DE TIERRAS				
-----			CAMINO -----				
-----			SECTOR ----- Dm ----- A Dm -----				
DISTANCIAS		CORTES			TERRAPLENES		
ACUMULADAS m	PARCIALES m	SUPERF. m ²	VOLUMENES m ³		SUPERF. m ²	VOLUMENES m ³	
			PARCIAL	ACUMULADO		PARCIAL	ACUMULADO

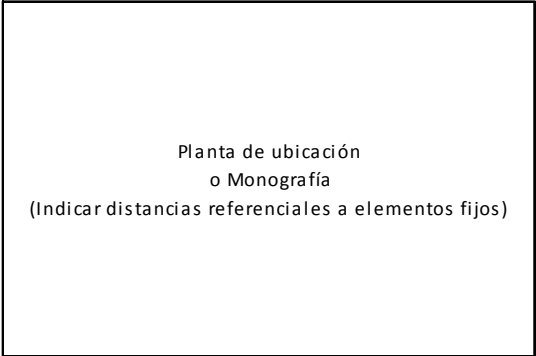
MANUAL DE CARRETERAS		FORMULARIO TIPO PRESUPUESTO			2.903.3.E
VOL. N° 2					Diciembre 2001
<p style="text-align: center;">PRESUPUESTO</p> <p style="text-align: center;">CAMINO ----- SECTOR -----</p> <p style="text-align: center;">Dm ----- A Dm -----</p>	<p style="text-align: center;">UNIDAD DE MEDIDA</p>	<p style="text-align: center;">CANTIDAD</p>	<p style="text-align: center;">UNITARIO</p>	<p style="text-align: center;">DEL ITEM</p>	<p style="text-align: center;">SUB-TOTALES Y TOTAL GENERAL</p>

Identificación del Punto Nombre: _____ Dm. Ref.: _____ Fecha: _____

Coordenadas

Geodésicas Ref. SIRGAS	Geocéntricas	UTM	PTL
		Huso: _____	MCL: <i>gg° mm'</i>
φ : <i>gg° mm' ss.ssss" S</i>	X: 1.234.567,123 m	MC: <i>gg°</i>	Ko: 1,1234567890
λ : <i>gg° mm' ss.ssss" O</i>	Y: 1.234.567,123 m	N: 1.234.567,123 m	Nl: 1.234.567,123 m
h: 1.234,123 m	Z: 1.234.567,123 m	E: 123.456,123 m	El: 123.456,123 m

Altura (n.m.m. modelada): _____ m **Cota (nivelada): _____ m**



Descripción:

Materialidad:

Dimensiones:

Distancia a la Ruta:

Punto	Geodésicas Ref. SIRGAS	Geocéntricas	UTM	LTM
G - 01	φ : $gg^{\circ} mm' ss.sssss''$ S λ : $gg^{\circ} mm' ss.sssss''$ O h: 1.234,123 m	X: 1.234.567,123 m Y: 1.234.567,123 m Z: 1.234.567,123 m	N: 1.234.567,123 m E: 123.456,123 m H (model): _____ m	NL: 1.234.567,123 m EL: 123.456,123 m Cota (nivelada): _____ m
...				
G - nn	φ : $gg^{\circ} mm' ss.sssss''$ S λ : $gg^{\circ} mm' ss.sssss''$ O h: 1.234,123 m	X: 1.234.567,123 m Y: 1.234.567,123 m Z: 1.234.567,123 m	N: 1.234.567,123 m E: 123.456,123 m H (model): _____ m	NL: 1.234.567,123 m EL: 123.456,123 m Cota (nivelada): _____ m

Circuito N°: _____ entre LBG N°: _____ y LBG N°: _____

Medición de vectores entre Líneas Bases Consecutivas

Vector		Distancia Horizontal (m)	Tipo de Solución	Tiempo de medición (minutos)	PDOP	RMS
Pto A	Pto B					
G - 1	G - 2					
G - 2	G - 3					
G - 3	G - 4					
G - 4	G - 3					
G - 4	G - 1					

	Longitud del Circuito (m)

Control de Cierre en Coordenadas LTM

Pto	Coord. Fijas		Coord. de Cierre		Error Posición (m)	Tol. (m)
	NL	EL	NL	EL		
G - 1						

Coordenadas Compensadas

Pto	Coordenadas Geodésicas			Coordenadas LTM	
	Latitud	Longitud	Alt Elip.	NL	EL
G - 1					
G - 2					
G - 3					
G - 4					

Comentarios

Representación Gráfica s/esc.



FIGURA 1: NIVELACION CERRADA DE PR

Desde	Hasta	Circuito Ida		Circuito Vuelta		Error de Cierre (m)	COTA (m)
		L. Atrás	L. Adelante	L. Atrás	L. Adelante		
PR A							CA
	PR B						CB = CA + DN
Desnivel		$DN_i = \sum L.Atrás - \sum L.Adel.$		$DN_v = \sum L.Atrás - \sum L.Adel.$		DNi + DNv	
Desnivel Promedio		$DN = (DN_i - DN_v) / 2$					

FIGURA 2: COTAS DE PR

PR - Nº	Desnivel (m)	Error (m)	Cota (m)
PR - 0			
PR - 1			
PR - n			

FIGURA 3: MONOGRAFÍAS DE PR

Identificación del Punto PR: _____ Dm. Ref.: _____ Lado: I / D Fecha: mm/aa
 Cota: _____ m Coordenadas de Navegación UTM: N: _____
 E: _____

fotografía
Panorámica

Planta de ubicación
o Monografía
(Indicar distancias referenciales a elementos fijos)

Fotografía
Detalle

Descripción:
Materialidad:
Dimensiones:

SECCION 2.904 PLANOS A COLOR EN FORMATO A-3

2.904.1 ASPECTOS GENERALES

Si los TRE lo especifican, los planos del Proyecto Definitivo, o de otros niveles de estudios, deberán ser entregados en Formato A3, empleando los colores, espesores y tipo de línea que se señalan a continuación. Cabe hacer presente que esta especificación fue desarrollada considerando un plano base, HL, en escala horizontal 1:1.000 y vertical 1:100, que va a ser reducido al 50% (se pasa de Formato A-1 al A-3), luego si el formato y/o las escalas del plano base son otras, podría ser necesario introducir rectificaciones para obtener el resultado deseado.

2.904.2 COLORES, TIPO DE LINEA Y ESPESORES

Se emplearán los colores, tipo de líneas y espesores que se señalan en las Tablas 2.904.2.A y B, que corresponden a los definidos en el catálogo de AUTOCAD 12 o Superior.

TABLA 2.904.2.A

**CODIGO DE COLORES – TIPO DE LINEA – ESPESOR DE LINEAS
 EN PLANOS DE PLANTA FORMATO A3
 (Reducción al 50% de un Plano HL en Escala 1:1.000).**

Elemento	Color	Tipo de Línea	Espesor
Curvas de Nivel: Índice Intermedia	48 47	Continuous Continuous	0,127 0,050
Eje en Planta Tangentes Bordes de Pavimento Borde Exterior SAP (Plataforma de Rasante)	Red White 10 Magenta	Dashdot Dashod Continuous Continuous	0,220 0,100 0,140 0,110
Trazas y Pelos: Corte Terraplén Puentes, Obras de Arte, Canales	90 Green Cyan	Continuous Continuous Continuous	0,130 0,100 0,150
Marcos para Datos de Curvas Circulares, Clotoides y Coordenadas Vértices. Textos de Obras de Arte	White 130	Continuous	0,100

TABLA 2.904.2.B

**CODIGO DE COLORES – TIPO DE LINEA – ESPESOR DE LINEAS
 EN PLANOS DE ALZADO FORMATO A-3
 (Reducción al 50% de un Plano HL Escala 1:1.000 H; 1:100 V)**

Elemento	Color	Tipo de Línea	Espesor
Perfil Longitudinal de Terreno Rasante	47 10	Continuous Continuous	0,05 0,14
Diagrama de Curvatura (1) Diagrama de Transición de Peralte (2) Tangentes C.V. y Líneas Ref. en (1) y (2)	Red Blue White	Continuous Cont. (BD) Dashdot (BI) Dashed	0,22 0,25 0,10

Todo el resto de los elementos, textos y números se dibujarán en negro.

El procedimiento general para lograr una reducción a color de un plano en blanco y negro en Formato A1, escala 1.1:000 H; 1:100 V, es:

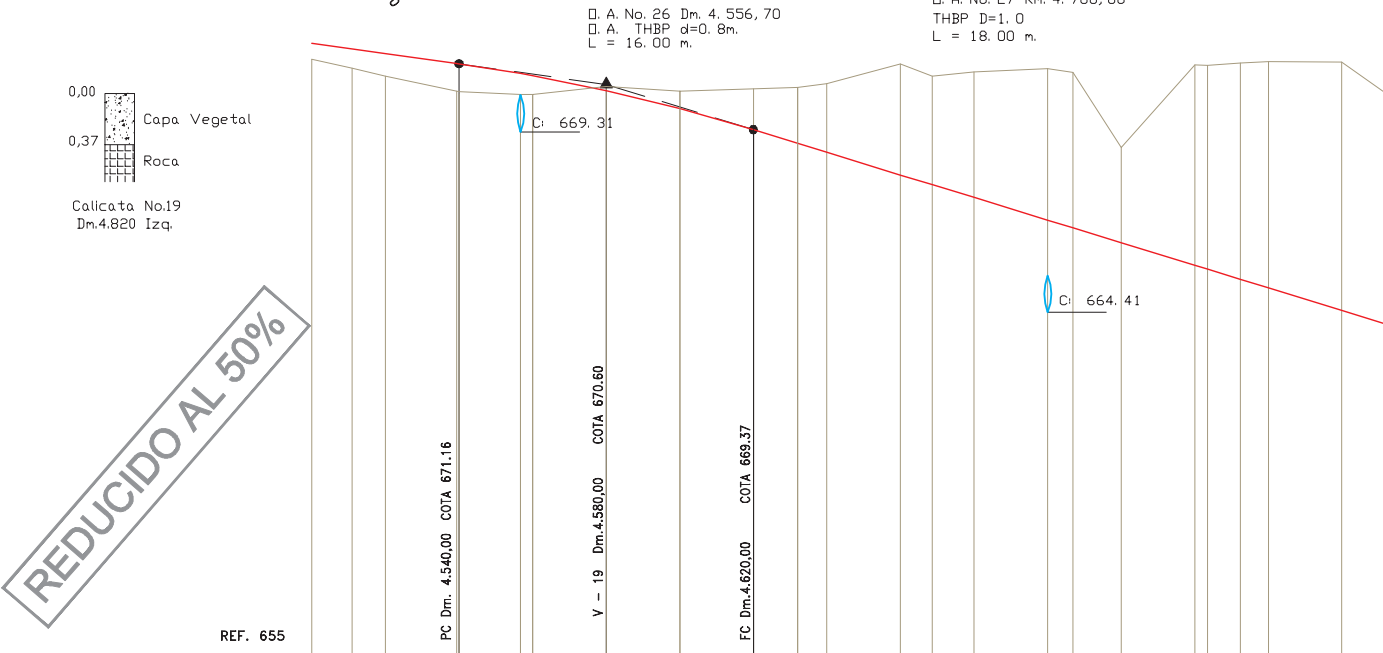
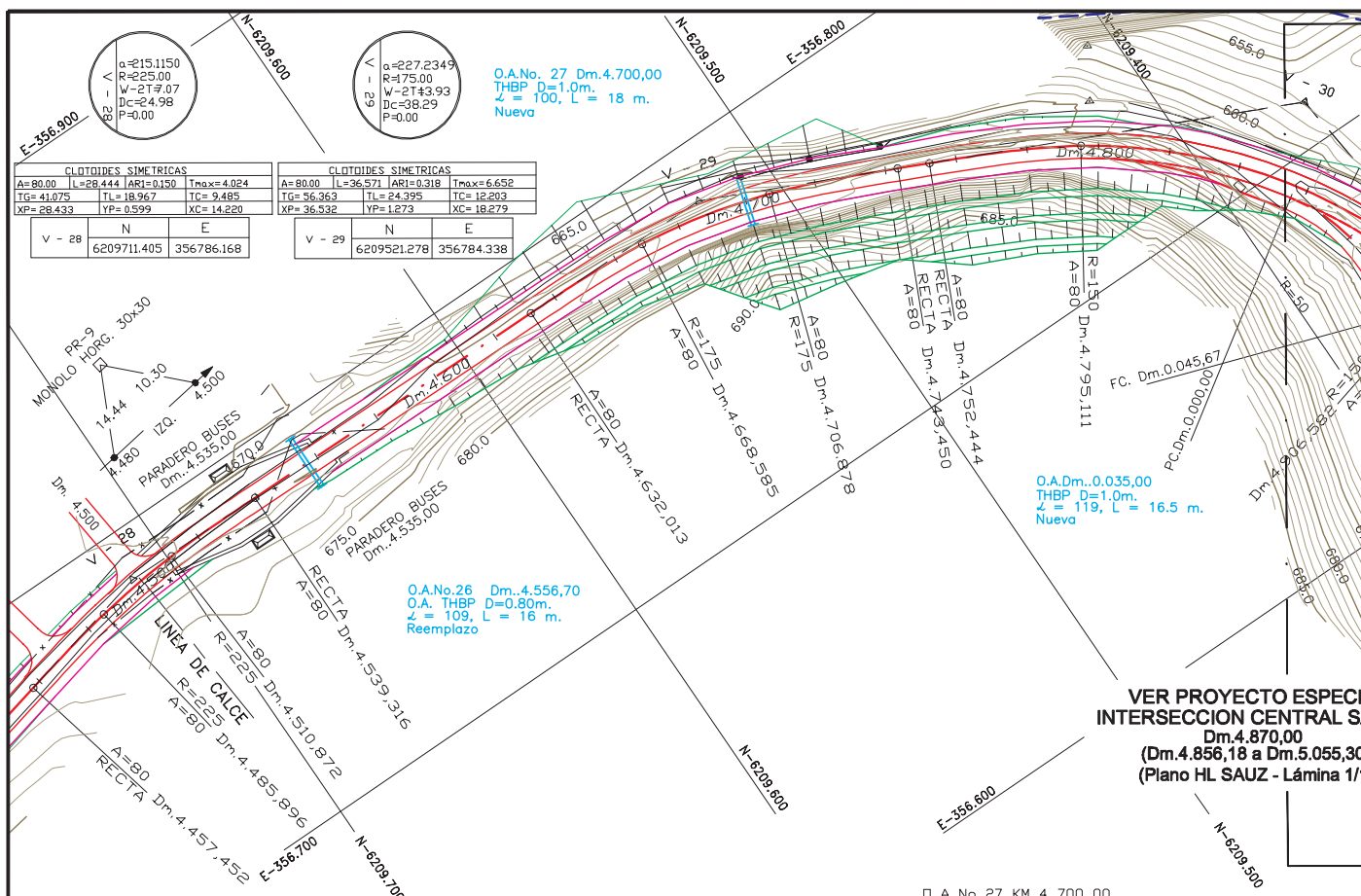
- Dibujar el Plano formato A1 mediante las técnicas habituales y crear los layers correspondientes para todas las líneas y caracteres que van a figurar en color en el formato A3. El tamaño de números y caracteres deberá ser el definido en la Tabla 2.902.106.A, pues, al reducir a 50%, dichos caracteres se reducirán automáticamente a la mitad.
- Reducir el Plano A1 a 50% para crear el Plano formato A3, imponer los colores, tipo de línea y espesor que corresponden a cada layer.

2.904.3 ILUSTRACION GRAFICA DE PLANOS FORMATO A-3

El Plano HL, Lámina 07/13, que se presenta a continuación, ilustra el caso de un Camino Bidireccional de montaña, empleando la gráfica especificada precedentemente. Se ha seleccionado un caso bastante denso en cuanto curvas de nivel adyacentes al camino y elementos geométricos, a fin de poner a prueba la gráfica seleccionada.

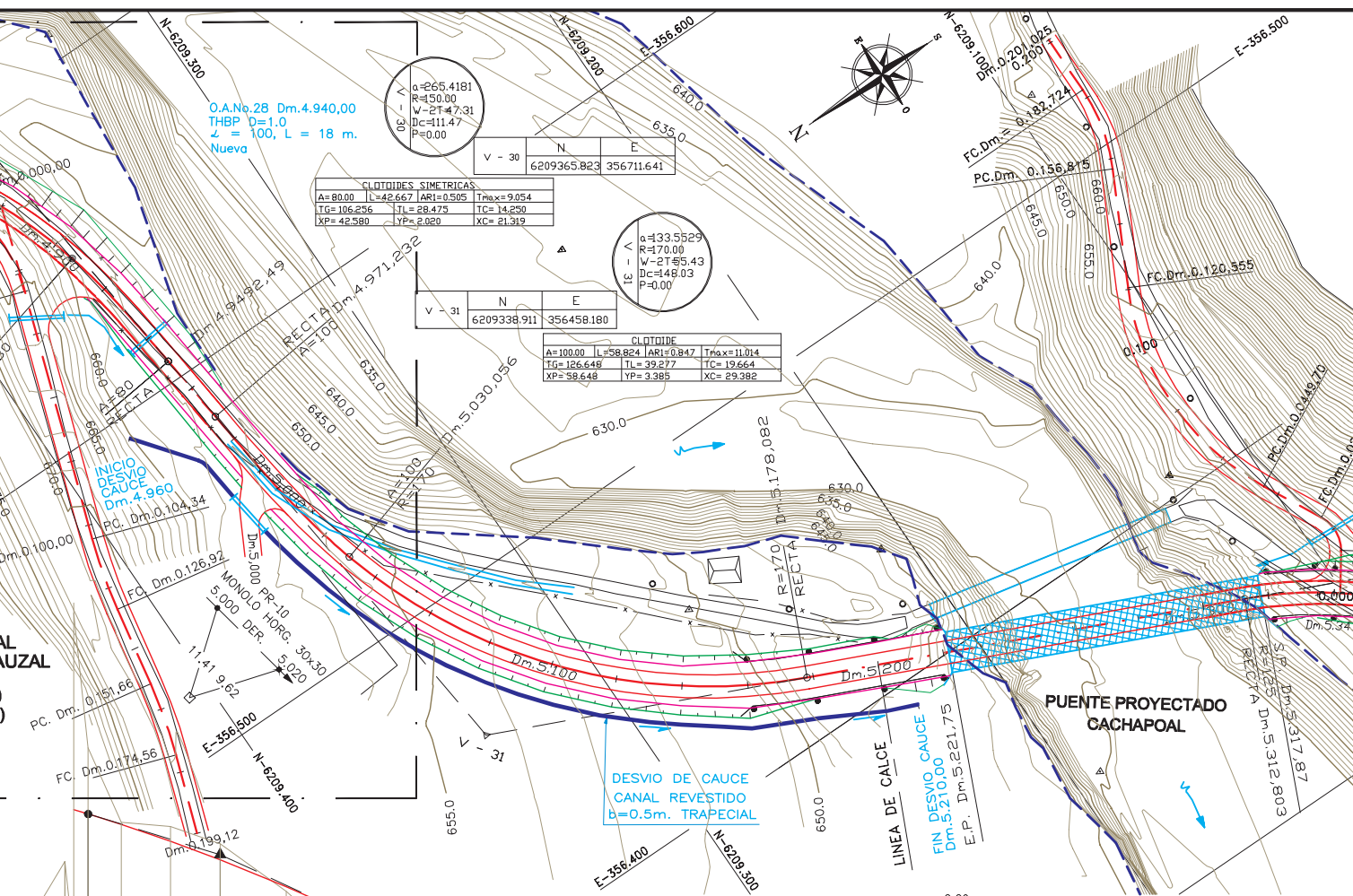
El plano HL, Lámina 04/7, que se presenta a continuación, ilustra el caso de una Carretera Unidireccional en terreno llano, en que la densidad se da respecto de la edificación afectada por el proyecto o adyacente a él, y de los elementos complementarios del Proyecto (Enlace tipo Diamante, Calles de Servicio, Vías Transversales, etc.).

En todos los planos reducidos al 50% se deberá poner dentro de un recuadro destacado la leyenda "REDUCIDO AL 50%", que se localizará en algún sector del Plano que no interfiera con los elementos representados en él. En la viñeta se mantendrán las escalas del plano original (Sin reducir) lo que indica que existe un original a dicha escala.



GRADIENTES Y PENDIENTES		EN 100.00m.																						
		i = -1.405%					i = -3.071%																	
COTAS	RASANTE	671.72	671.57	671.44	671.17	671.16	670.90	670.84	670.43	669.94	669.00	668.76	668.14	667.88	667.53	666.91	666.70	666.30	665.69	665.58	665.30	665.07	664.46	
	TERRENO	671.28	671.04	670.82	670.42	670.44	670.33	670.33	670.55	670.42	670.48	670.62	671.16	670.83	670.94	671.03	670.83	670.88	670.88	671.13	671.12	671.18	671.22	671.21
DISTANCIAS ACUMULADAS		4.500,00	4.510,87	4.520,00	4.539,32	4.540,00	4.556,70	4.580,00	4.600,00	4.620,00	4.632,01	4.640,00	4.660,00	4.668,59	4.680,00	4.700,00	4.706,88	4.720,00	4.740,00	4.743,45	4.752,44	4.760,00	4.780,00	
DIAGRAMA DE CURVATURA		$C = \frac{1}{R} \times K \text{ (mm.)}$ V-28 L=28.44 A=80 ALFA=215.1100 R=225.00 D=24.98 RECTA EN 92.71m. V-29 L=36.57 A=80 ALFA=227.2300 R=175.00 D=38.29 L=36.57 A=80 L=8.99m L=42.67 A=80																						
DIAGRAMA DE PERALTES		ESCALA 1% = 1 mm. B.I. A=0.6150% B.I. A=0.4785% B.I. A=0.4785% B.I. A=0.4101% 7.50 % 2.50 % 7.50 % 7.50 % 2.50 % -7.50 % -2.50 % -7.50 % 7.06.88 -2.50 % B.D. 541.92 B.D. 632.01 B.D. 668.98 B.D. 743.45 752.44																						

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS DIRECCION DE VIALIDAD	EJECUCION Y REVISION DEL PROYECTO		APROBACION DEL PROYECTO		
	EJECUTOR	VERSION N°	FECHA	VISTO BUENO	
	JEFE PROY.				
	INSPECTOR FISCAL				



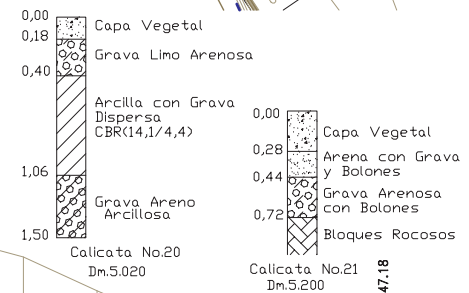
CLOTOIDES SIMÉTRICAS

A=80.00	L=42.667	ARI=0.505	Tmax=9.054
TG=106.236	TI=29.475	TC=14.299	
XP=42.980	YP=2.920	XC=21.319	

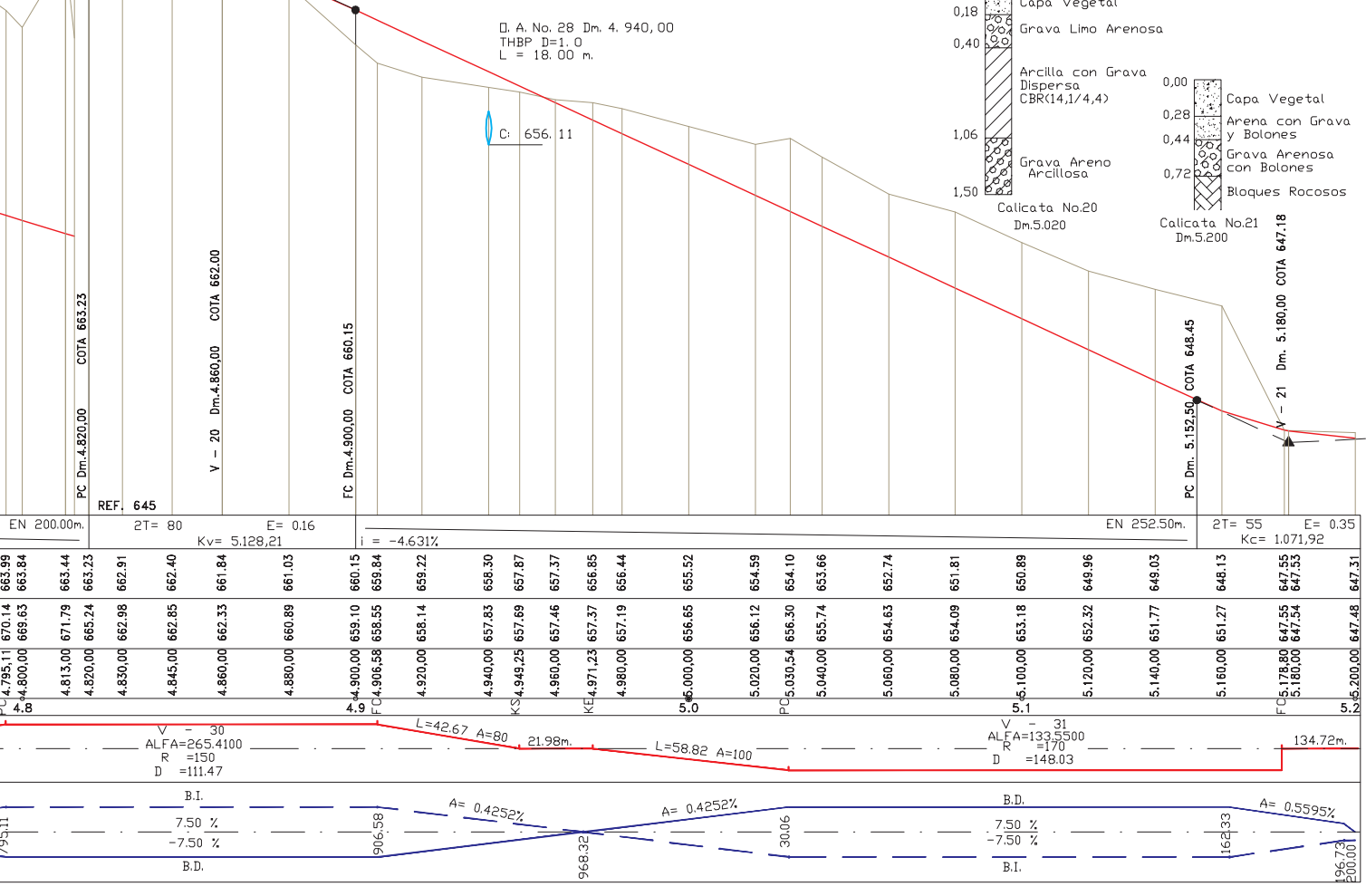
V - 30	N	E
	6209365.823	356711.641

CLOTIDE

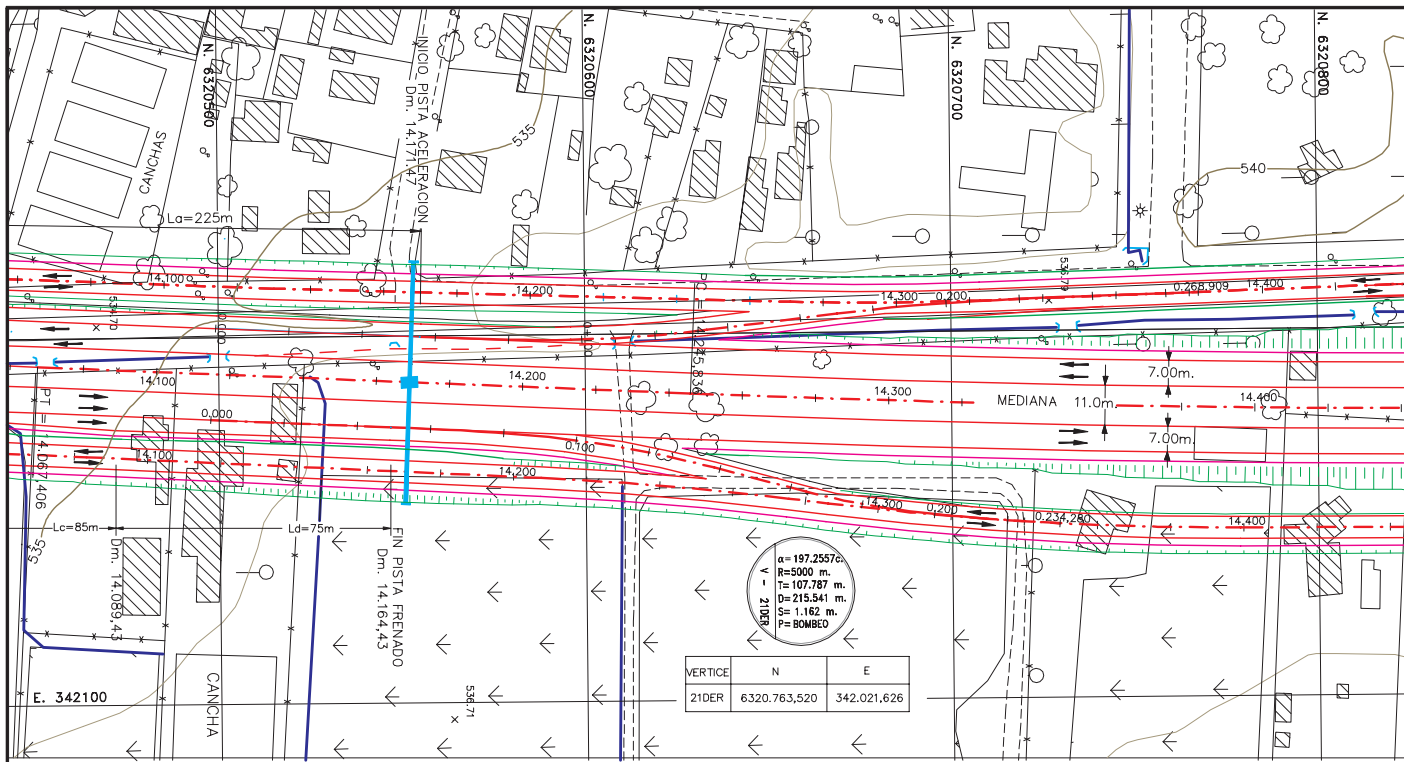
A=100.00	L=58.824	ARI=0.847	Tmax=11.014
TG=126.649	TI=39.277	TC=19.664	
XP=38.648	YP=3.385	XC=29.382	



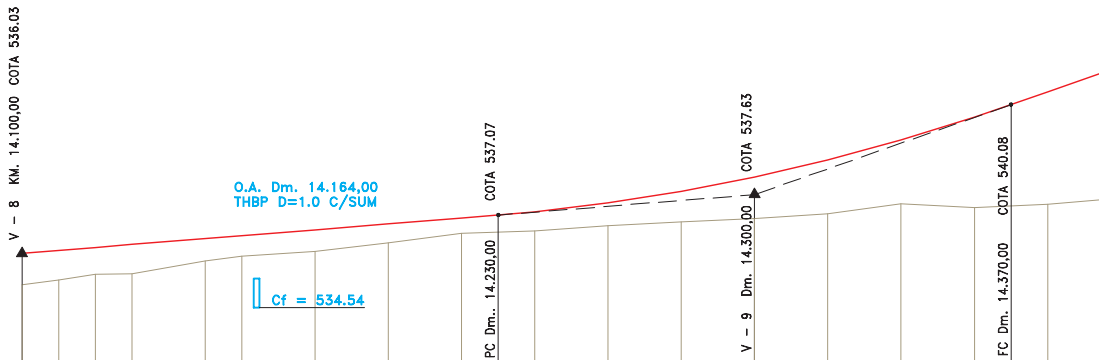
D. A. No. 28 Dm. 4.940,00
 THBP D=1.0
 L = 18.00 m.



CAMINO : CALETONES-TERMAS DE CAUQUENES Nº ROL CONEXION RUTA 5 SUR SECTOR : COYA - GULTRO Dm. 0.000,00 A Dm. 28.380,19	REGION:	SEXTA	ESTUDIO DEFINITIVO PLANOS HORIZONTAL Y LONGITUDINAL Dm. 4.500,00 A Dm. 5.200,00	PLANO HL	LAMINA No. 07 De. 13
	PROVINCIA:	CACHAPOAL			
	COMUNA:	MACHALI			

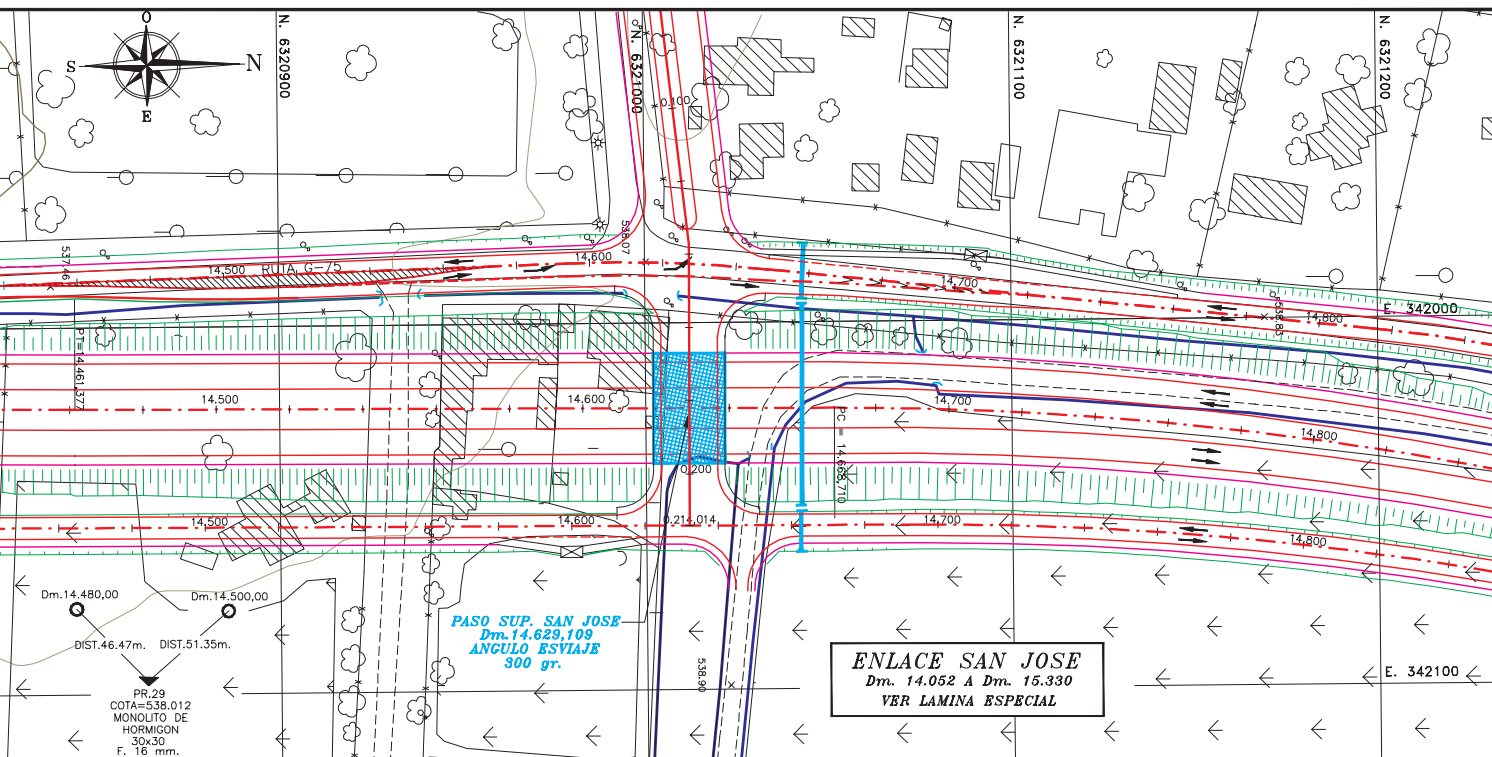


OBRA DE ARTE
 Dm. 14.164,00
 THBP s: 1,00m.
 CON SUMIDERO
 L= 66,0 m.
 $\alpha = 100$ g.



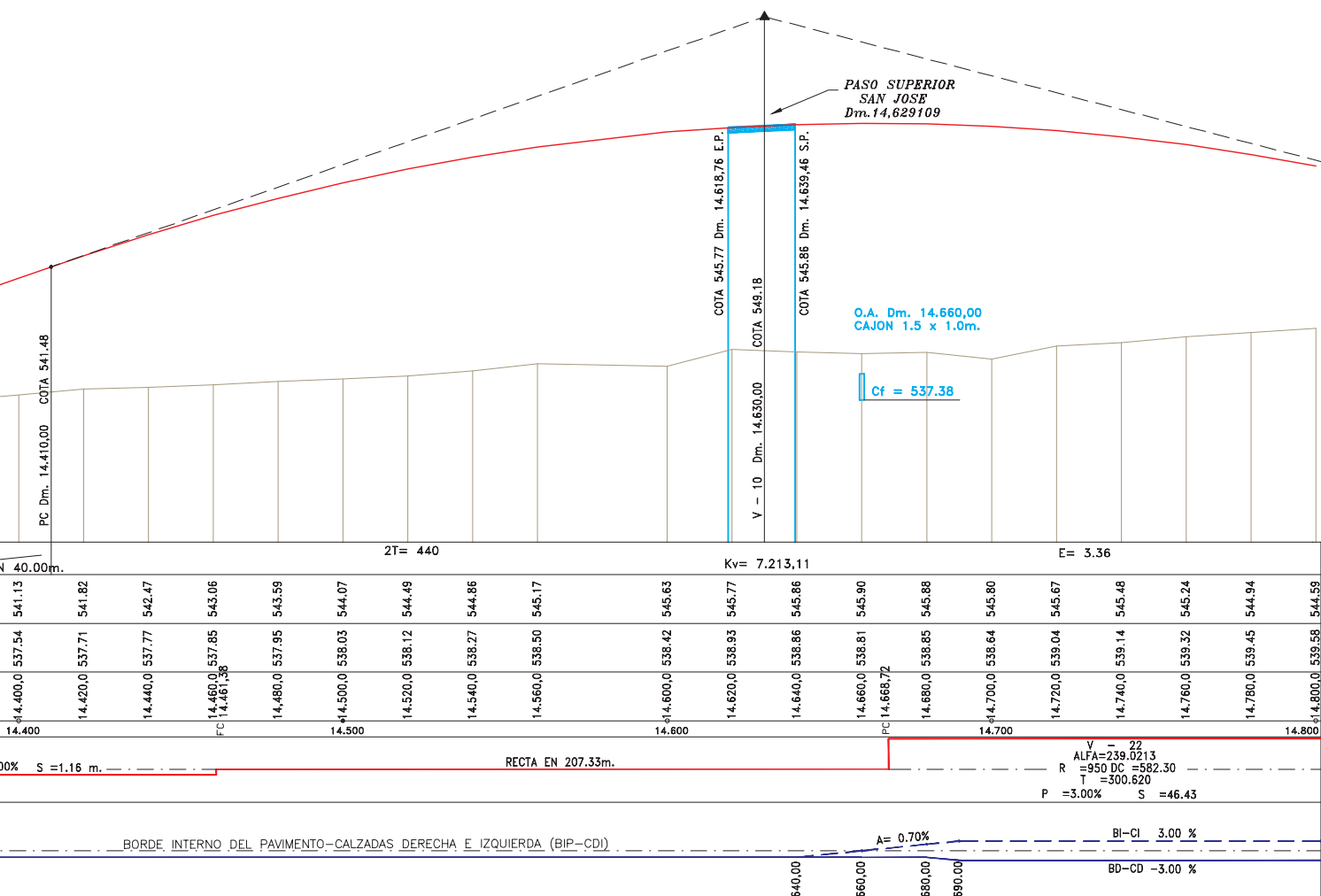
GRADIENTES Y PENDIENTES		i = 0.80%		EN 130.00m.		2T= 140		Kc= 5.185,19		E= 0.47		i = 3.50%	
COTAS	RASANTE	536.03	536.11	536.19	536.27	536.43	536.51	536.67	536.83	536.99	537.16	537.40	537.71
	TERRENO	535.17	535.30	535.46	535.62	535.82	536.05	536.31	536.64	537.04	537.54	538.14	538.84
DISTANCIAS ACUMULADAS		14.100,0	14.110,0	14.120,0	14.130,0	14.150,0	14.160,0	14.180,0	14.200,0	14.220,0	14.240,0	14.260,0	14.280,0
DIAGRAMA DE CURVATURA		RECTA EN 178.43m.											ALFA = 197.2557
C = $\frac{1}{R} \times K$ (mm.)		K=9000											R = 5000
DIAGRAMA DE PERALTES		ESCALA 1 % = 1 mm.											DC = 215.54
													T = 107.787
													P = 2.1
													V = 21
													BD. = BI. = -2.0%

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS DIRECCION DE VIALIDAD	EJECUCION Y REVISION DEL PROYECTO		APROBACION DEL PROYECTO	
	EJECUTOR		VERSION Nº	FECHA
	JEFE PROY.			VISTO BUENO
	INSPECTOR FISCAL			



OBRA DE ARTE
 Dm. 14.660,00
 CAJON: 1,5x1,0m,
 CON SUMIDERO
 L= 53.70m.
 C = 100 g.

REDUCIDO AL 50%



CAMINO : SANTIAGO-COLINA-LOS ANDES N° ROL
 CONEXION RUTA 5 SUR
 SECTOR A4: AVDA. CIRC. A. VESPUCIO-BY PASS COLINA
 Dm. 12.000,00 A Dm. 16.306,04

REGION: METROPOLITANA
 PROVINCIA: CHACABUCO
 COMUNA: COLINA

ESTUDIO DEFINITIVO
 PLANOS HORIZONTAL Y LONGITUDINAL
 Dm. 14.100,00
 A Dm. 14.800,00
 ESCALAS :
 HOR. 1:1000 VER. 1:100

PLANO: LAMINA
 HL: No. 04
 De. 7