CONTENIDO

Prefacio

Índice

Lista de Tablas

Lista de Gráficos

Desarrollo

Anexo Gráficos

Bibliografía

PREFACIO

Como resultado del proceso de la *Licitación Pública Internacional No. 82/2009: Servicios de Consultoría para la Elaboración de las Normas Técnicas Generales para el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Caminos, Programa de Corredores de Integración del Occidente, Préstamo BID No. 1278/OC-PR*, en fecha 04 de Agosto de 2009 se firmó el Contrato S.G. MINISTRO No. 149/2009, suscrito entre el **MOPC** - Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (CONTRATANTE) y la Empresa Consultora **CAEM LTDA** -Centro de Asesoramiento Empresarial Multidisciplinario (CONSULTOR).

De acuerdo a lo establecido en los Términos de Referencia del Servicio de Consultoría, el Estudio se realizó en cuatro etapas (Módulos), donde al final de cada módulo se efectuaron presentaciones públicas del desarrollo de la Consultoría y los resultados parciales se pusieron en conocimiento de los actores viales de la República del Paraguay, tanto a nivel del sector público, sector privado, de las entidades profesionales, entidades académicas, así como de la sociedad civil.

Cada etapa contó con las recomendaciones, sugerencias y aportes de los diversos sectores de la sociedad vial del país.

Luego del extenso periodo desarrollado por la propia consultoría, las consultas y revisiones del MOPC y de la sociedad ingenieril, así como por el proceso de sociabilización del estudio, hoy el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) del Paraguay tiene la satisfacción de publicar el presente Manual que contiene el conjunto de Guías, Normas y Especificaciones de todos los componentes que conforman la problemática técnica en el campo vial.

El presente Manual pretende ser un primer documento que ofrece las herramientas necesarias a las autoridades, consultores, constructores, académicos y profesionales de la ingeniería vial, para el uso correcto de los diferentes dispositivos para la regulación de los diseños y la ejecución de los proyectos de carreteras en el país.

Este documento de consulta debe ser normado por el Ministerio para su aplicación en el desarrollo de todos los proyectos viales en cada una y todas sus etapas: diseño, construcción, mantenimiento, fiscalización y correspondiente evaluación.

El presente Manual debe utilizarse como material de consulta y guía para los usuarios de las carreteras del país, para las entidades responsables de la infraestructura vial y las autoridades de tránsito nacionales, departamentales, distritales y municipales, para profesionales de la ingeniería vial, constructores, consultores y proveedores de materiales de construcción y mantenimiento vial.

En este Manual se establecen las especificaciones y normas para el diseño, construcción, mantenimiento y fiscalización de las obras viales donde su utilización debe ser la base para procesar un estudio de ingeniería vial identificado como proyecto donde tiene relevante importancia el juicio del ingeniero que lo elabora.

Este documento busca proporcionar a las autoridades responsables del desarrollo vial, la forma correcta de utilizar los diferentes dispositivos para la concreción de las vías públicas. Las recomendaciones que brinda esta guía no deben influir sobre el juicio profesional, sino que deben usarse como información base parcial, justificando convenientemente las modificaciones que sean introducidas en cada proyecto específico.

Dentro de los principales objetivos planteados para la ejecución del servicio de consultoría para la elaboración de estas Guías, Normas y Especificaciones requerido por el MOPC, se citan los siguientes:

- Diagnóstico de la situación vigente al inicio del servicio relacionado con el uso de normas técnicas generales de diseño, construcción, mantenimiento y evaluación de Caminos en la República del Paraguay.
- Recopilación y análisis del conjunto de normas técnicas internacionales relacionadas con el Diseño, construcción, mantenimiento y evaluación de caminos, aplicables a las condiciones y características de la infraestructura vial de la República del Paraguay.
- Desarrollo de un Manual único con guías, normas y especificaciones técnicas de los rubros más usuales e importantes en evaluación, diseño, construcción, mantenimiento, y fiscalización de caminos.
- Unificación de las especificaciones técnicas en uso en el país, dándole un criterio único de interpretación a la ejecución de los diversos servicios viales, métodos de medición y forma de pago.
- Difusión de las especificaciones técnicas que se vayan elaborando, con consultadas periódicas al conjunto de actores relacionados de una u otra forma al diseño,
- Construcción y mantenimiento de caminos, tales como entidades del sector público relacionadas con la temática vial (MOPC), Municipalidades, Institutos Técnicos, Universidades, Empresas de Construcción, Empresas de Consultoría, Proveedores de materiales para la construcción y mantenimiento de caminos, entre otros.

El objetivo fue establecer un documento técnico y administrativo, que deberá, con la oportunidad del caso ser establecido por el MOPC a nivel de carácter normativo, que sirva de guía a las diferentes acciones que son de competencia técnica del Contratante, fijando políticas, criterios, procedimientos y métodos que indiquen las condiciones para:

- Cumplir en el Diseño, Construcción y Mantenimiento de proyectos viales.
- Propender a uniformar el desarrollo de los procedimientos técnicos de rigor en Estudios, Construcción y Mantenimientos de proyectos viales.

De esta manera se pretende lograr cierta homogeneidad en los procedimientos, independiente del profesional o técnico que realice la labor.

Esta primera versión del Manual de Carreteras del Paraguay debe ser continuamente revisada, complementada y actualizada mediante la publicación de complementos, suplementos y comentarios a cargo del MOPC. Ha sido elaborado y procesado tomando como base y referencia inicial normas internacionales en vigencia en varios países del mundo, y en particular de países de Sudamérica - con particular énfasis a la normativa de los países limítrofes al Paraguay, sin embargo el producto generado corresponde a un documento con todos sus rubros y contenido que se adecua a las necesidades y demandas del país, lográndose un documento propio y estandarizado para las condiciones de la Red Vial del Paraguay, existente y a ser desarrollada en el inmediato futuro.

El presente Manual está dirigido a la siguiente clasificación general de carreteras - de acuerdo a la definición de la red vial del Paraguay:

- **Red Primaria** constituida por las Rutas Nacionales.
- **Red Secundaria** constituida por las Rutas Departamentales.
- **Red Terciaria** constituida por las Rutas Rurales y Municipales.
- **Red Vecinal** constituida por las Rutas Vecinales

El Manual de Carreteras de Paraguay se halla conformado en 8 Tomos compuesto por 15 Volúmenes, que contienen la siguiente información:

Tomo No.1: **Normas para la evaluación de proyectos y geometría vial.**
Volumen I : Guía para la Evaluación de Proyectos
Volumen II: Diseño Geométrico

Tomo No. 2: **Norma para la Estructura del Pavimento**
Volumen I: Guía para el diseño estructural de pavimentos y Banquinas
Volumen II: Especificaciones para la construcción del pavimento

Tomo No. 3: **Normas para Obras de Drenaje Vial**
Volumen I: Normas para Obras de Drenaje Vial

Tomo No. 4: **Normas para Estructuras y Puentes**
Volumen I : Guía para el diseño de estructuras y puentes
Volumen II: Especificaciones para la construcción de estructuras y puentes
Volumen III: Especificaciones para el diseño de estructuras y puentes

Tomo No. 5: **Normas para Señalización y Seguridad Vial**
Volumen I: Señalización Vertical
Volumen II: Señalización Horizontal

Tomo No. 6: **Normas para Materiales y Ensayos de Materiales**
Volumen I: Suelos
Volumen II: Asfalto
Volumen III: Hormigón

Tomo No. 7 **Normas y Especificaciones para Mantenimiento de Obras**
Volumen I: Normas y Especificaciones para Mantenimiento de Obras

Tomo No. 8: **Medio Ambiente y Fiscalización de Obras**
Volumen I: Especificaciones técnicas ambientales
Volumen II: Fiscalización de Obras

El presente Tomo es parte del Manual y corresponde al

Volumen II - Diseño Geométrico

Tomo 1 - Normas para la evaluación de proyectos y geometría vial.

RECONOCIMIENTOS

En el desarrollo de los manuales trabajaron los siguientes profesionales:

Coordinador General del Proyecto:	Ing. Juan Carlos Gottret Arce
Coordinador Adjunto del Proyecto:	Lic. Fabiola Quiroz Demmler
Especialista en Evaluación de Proyectos:	Ing. Primitivo Condarco Aguilar
Especialista Vial:	Ing. Dante Nardelli (+)
Especialista Geométrico:	Ing. Luis Caballero Ing. Juan Hurtado
Especialista en Pavimentos:	Ing. Arquímedes Delgado
Especialista Hidrología y Drenajes:	Ing. Pedro Gaete
Especialista en Estructuras:	Ing. Julio Álvarez
Especialista en Señalización y Seguridad Vial:	Ing. Roberto Montoya Ing. Willy Vargas
Especialista en Materiales y Laboratorio:	Ing. Raúl Zegarra Ríos Ing. Juan Carlos Bernie
Especialista en Dirección de Obras	Ing. Arquímedes Delgado Ing. Walter Pospischill
Especialista Ambiental Vial:	Ing. Luis Cabello
Especialista en Mantenimiento:	Ing. Roberto Jerez Jaimes Ing. Willy Vargas Ing. Walter Pospischill
Especialista Geotécnica:	Ing. Juan Carlos Bernie
Asesores:	Ing. Jhonny Cusicanqui Giles
Ingenieros de Apoyo:	Ing. Walter Pospischill Arq. Adolfo Correa Paniagua
Apoyo Técnico:	Lic. Carlos Martínez Daihana Quintana
Dibujo, Diseño y Diagramación:	Esther Mendoza

En la revisión de los manuales participaron por parte del MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES:

Director de la Dirección de Vialidad (2009)	Ing. Jorge Vázquez
Encargado de Despacho de la Dirección de Vialidad (2010)	Ing. Félix Zelaya
Director de la Dirección de Vialidad (2011)	Ing. Fabio Riveros
Coordinador de la UEP BID Nº 1278 (2009)	Ing. Roberto Bogado
Coordinador de la UEP BID Nº 1278 (2010)	Ing. Fernando Rodríguez

Supervisores:

Área de Diseño y Construcción Caminos Vecinales	Ing. Alfredo Bordón
Área de Diseño y Construcción Caminos Pavimentados	Ing. Hugo Miranda
Área de Mantenimiento	Ing. Juan Carlos Balbuena Ing. Nelson Rivet
Área Seguridad Vial	Ing. José Gómez
Área Socio – Ambiental	Ing. Agr. Francisco Fracchia Arq. José María Valdez

Equipo Técnico de Revisión del Informe Final:

Área de Mantenimiento Vial – GMANS	Ing. Natalia Drozdova Ing. Javier Talia
Área de Evaluación de Proyectos	Ing. Malvina Duarte
Área de Mantenimiento Vial – Precios Unitarios	Ing. Fernando Rodríguez
Área de Estructura de Pavimentos	Ing. Nelson Figueredo
Área de Estructura de Puentes	Sr. César Bolla
Área de Hidráulica e Hidrología	Ing. Roger Monte Domecq
Área de Diagramación y Control	Ing. René Obando

INDICE

LISTA DE TABLAS **10**

LISTA DE GRÁFICOS **12**

CAPITULO 1 – GEOMETRIA VIAL **13**

SECCIÓN 101 - INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE CARRETERAS **14**

101.01 GENERALIDADES *14*
101.02 DEFINICIÓN *14*
101.03 OBJETIVO *14*

SECCIÓN 201 - CONCEPTOS DE SEGURIDAD VIAL **16**

201.01 GENERALIDADES *16*
201.02 RESTRICCIONES DEL CONDUCTOR *16*
201.03 ACCIDENTABILIDAD *18*
201.04 ACCIDENTABILIDAD DEBIDO A LA SECCIÓN TRANSVERSAL *19*
201.05 ACCIDENTABILIDAD DEBIDO A LA FRANJA DE SEPARACION CENTRAL *22*
201.06 ACCIDENTABILIDAD DEBIDO A FACTORES DE DISEÑO *23*

SECCIÓN 301 - TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS O CAMINOS **26**

301.01 ANTECEDENTES *26*
301.02 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES *27*
301.03 FILOSOFÍAS DE DISEÑO *28*
301.04 TÉCNICAS DE DISEÑO *29*

SECCIÓN 401 - CLASIFICACIÓN DE LA RED VIAL **39**

401.01 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE UNA CARRETERA O CAMINO *39*
401.02 CRITERIOS PARA DEFINIR LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA CARRETERA O CAMINO *40*
401.03 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN *57*

SECCIÓN 501 - CRITERIOS Y CONTROLES BÁSICOS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS **61**

501.01 ASPECTOS GENERALES *61*
501.01.1 EL TRAZADO *61*
501.02 DISTANCIAS DE VISIBILIDAD Y MANIOBRAS ASOCIADAS *70*

SECCIÓN 601 - TRAZADO EN PLANTA **80**

601.01 INTRODUCCIÓN *80*

SECCIÓN 602 - TRAZADO DEL ALINEAMIENTO VERTICAL **105**

602.01 DEFINICIÓN *105*
602.02 ELEMENTOS QUE LO INTEGRAN *105*

SECCIÓN 701 - CRITERIOS DE DISEÑO PARA LA SECCIÓN TRANSVERSAL **115**

701.01 ASPECTOS GENERALES *115*
701.02 LA PLATAFORMA *116*
701.03 LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA INFRAESTRUCTURA *126*
701.04 OBRAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES *132*
701.05 REPOSICIONES DE SERVICIOS *133*
701.06 SECCIONES TIPO *135*
701.07 FRANJA DE DOMINIO *135*
701.08 INSTRUCCIONES Y CRITERIOS PARA OBRAS VARIAS *136*
701.09 TRATAMIENTO DE ZONAS MARGINALES *142*
701.10 EL EFECTO DEL TERRENO EN LA LOCALIZACIÓN DE LA VÍA *149*

SECCIÓN 801 - CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE INTERSECCIONES 152

801.01 ASPECTOS GENERALES 152
801.02 FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UNA INTERSECCIÓN 154
801.03 ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN TIPO 160
801.04 DISEÑO GEOMÉTRICO DE UNA INTERSECCIÓN 166
801.05 ENLACES 212

SECCIÓN 901 - CRITERIOS DE DISEÑO PARA TRAVESÍAS URBANAS 239

901.01 INTRODUCCIÓN 239
901.02 ESTUDIO DE VELOCIDADES 239
901.03 ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD 251
901.04 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN 256

CAPITULO 2 – TRABAJOS DE CAMPO 258

SECCIÓN 101. GENERALIDADES 259

101.01 CONTENIDO 259
101.02 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN 259

SECCIÓN 201. REQUISITOS PARA LA EJECUCIÓN DE ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS 262

201.01 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA CARRETERAS 262
201.02 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS DE OBRAS ESPECIALES 263
301.01 TRABAJOS PREVIOS 266
301.02 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA CARRETERAS 266
301.03 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA OBRAS ESPECIALES 272

SECCIÓN 401. ENTREGA FÍSICA EN EL CAMPO 273

SECCIÓN 501. PRESENTACION DE INFORMES 274

ANEXO I - GRÁFICOS Sección 601/602 276

ANEXO II - GRÁFICOS Sección 701 290

ANEXO II - GRÁFICOS Sección 801 304

ANEXO III - GRÁFICOS Sección 901 374

BIBLIOGRAFÍA 386

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: TIPOS DE VEHÍCULOS
TABLA 2: DIMENSIONES TÍPICAS DE VEHÍCULO
TABLA 3: RESUMEN CUANTITATIVO Y CUALITATIVO DE LOS NIVELES DE SERVICIO PARA CARRETERAS Y CAMINOS EN CONDICIONES IDEALES
TABLA 4: RESUMEN DE LAS CARCATERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS CLASES FUNCIONALES
TABLA 5: CARACTERISTICAS ASOCIADAS POR TIPO DE RED Y CATEGORÍA
TABLA 6: CRITERIOS DE PREDICCIÓN DE LA V85% EN FUNCIÓN DE VP Y LR PARA VP ENTRE 40 Y 120 KM/H
TABLA 7: V85% AL FINAL DE UNA RECTA SEGÚN LONGITUD Y VELOCIDAD DE PROYECTO
TABLA 8: V85% VELOCIDAD ESPECÍFICA EN CURVAS HORIZONTALES
TABLA 9: VALORES PARA Dvf
TABLA 10: DISTANCIAS MÍNIMAS DE ADELANTAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE PROYECTO
TABLA 11: PORCENTAJE DE SECTORES CON DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO ADECUADA RESPECTO AL LARGO TOTAL DEL TRAMO
TABLA 12: DISTANCIA CRÍTICA ENTRE EL CONDUCTOR Y EL BORDE DEL CARRIL
TABLA 13: LR MÍN ENTRE CURVAS DE DISTINTO SENTIDO
TABLA 14: LR MÍN ENTRE CURVAS DEL MISMO SENTIDO
TABLA 15: SIMBOLOGÍA PARA ELEMENTOS DE UNA CURVA
TABLA 16: VALORES MÁXIMOS PARA PERALTE Y FRICCIÓN TRANSVERSAL
TABLA 17: RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS EN CURVAS HORIZONTALES
TABLA 18: RADIOS LÍMITES EN CONTRAPERALTE EN TRAMOS SINGULARES
TABLA 19: DESARROLLO MÍNIMO PARA CURVAS CIRCULARES DE RADIO MÍNIMO
TABLA 20: DESARROLLOS MÍNIMOS PARA DEFLEXIONES $\omega \leq 6g$
TABLA 21: VALORES ADMISIBLES DE PENDIENTE RELATIVA DE BORDE Δ%
TABLA 22: VALORES ADMISIBLES DE PENDIENTE ANEXO I
TABLA 23: VALORES ADMISIBLES DE PENDIENTE
TABLA 24: LONGITUDES DE DESARROLLO DE LA SOBREELEVACIÓN EN CARRETERAS DE DOS CARRILES, EN METROS
TABLA 25: TASA MÁXIMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN TRANSVERSAL
TABLA 26: PARÁMETROS MÍNIMOS DE LA CLOTOIDE POR CRITERIO DE J MAX Y Δ MAX
TABLA 27: TASA NORMAL DE DISTRIBUCIÓN DE ACELERACIÓN TRANSVERSAL
TABLA 28: RELACIÓN ENTRE PENDIENTE MÁXIMA Y VELOCIDAD DE PROYECTO
TABLA 29: TIEMPO DE RECORRIDO EN TRAMOS CON DIFERENTES PENDIENTES
TABLA 30: SECCIOÓN TRANSVERSAL CALZADA ÚNICA
TABLA 31: EFECTO COMBINADO SOBRE LA CAPACIDAD IDEAL, DEL ANCHO DE CARRIL Y LA UBICACIÓN DE LAS RESTRICCIONES LATERALES
TABLA 32: ANCHOS MÍNIMOS DE BANQUINAS Y ACERAS
TABLA 33: PENDIENTE TRANSVERSAL DEL SAP (IS%) RED VIAL
TABLA 34: ANCHOS DE MEDIANAS RECOMENDABLES PARA LAS CARRETERAS DE LA RED VIAL
TABLA 35: COEFICIENTES DE RETENCIÓN CR (M/M)
TABLA 36: INCLINACIONES MÁXIMAS DEL TALUD INTERIOR DE LA CUNETA
TABLA 37: DISTANCIA ENTRE ÁRBOLES EN HILERAS DISPUESTAS EN LOS COSTADOS DE CARRETERAS Y CAMINOS
TABLA 38: GUÍA PARA SELECCIONAR NIVELES DE SERVICIO PARA DISEÑO
TABLA 39: DISTANCIA DE FRENADO (M) EN CRUCES E INTERSECCIONES
TABLA 40: TIEMPOS (ta) REQUERIDOS PARA CRUZAR UNA CARRETERA
TABLA 41: TIEMPOS DE CRUCES A NIVEL CON VÍAS FÉRREAS
TABLA 42: DISTANCIAS DE VISIBILIDAD EN CRUCES A NIVEL CON VÍAS FÉRREAS
TABLA 43: TRAZADOS MÍNIMOS DEL BORDE INTERIOR DE LA CALZADA EN INTERSECCIONES NO CANALIZADAS CURVA SIMPLE (VP≤ 15 KM./H)
TABLA 44:: TRAZADOS MÍNIMOS DEL BORDE INTERIOR DE LA CALZADA EN INTERSECCIONES NO CANALIZADAS CURVA COMPUESTA (VP ≤ 15 KM./H)

TABLA 45: TRAZADOS MÍNIMOS ABSOLUTOS DEL BORDE INTERIOR DE RAMALES DE GIRO EN INTERSECCIONES CANALIZADAS - VP ≤ 15 KM/H
TABLA 46: RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS EN INTERSECCIONES CANALIZADAS PARA 25 ≤ VP ≤ 65 KM/H
TABLA 47: VALORES MÍNIMOS DE "A" EN FUNCIÓN DE VP Y "J" PARA RADIOS EN EL ORDEN
TABLA 48 DESARROLLO DE LA CURVA CIRCULAR EN ENLACE CUANDO LA RAZÓN RADIO MAYOR A RADIO MENORES2
TABLA 49: VEHÍCULO TIPO Y MANIOBRA CONSIDERADA EN LA DETERMINACIÓN DE LOS ANCHOS
TABLA 50: MANIOBRAS QUE PUEDEN REALIZAR LOS VEHÍCULOS TIPO
TABLA 51: ANCHOS DE PAVIMENTO Y BANQUINAS (1) EN RAMALES
TABLA 52: LONGITUDES DE CARRILES DE ACELERACIÓN ENTRE RAMAL Y CARRETERA
LT (M)= LA + LC (I = 0)
TABLA 53: RELACIÓN DE LONGITUD DE CARRILES DE ACELERACIÓN ENTRE VÍAS EN PENDIENTE Y EN HORIZONTAL
TABLA 54: LONGITUDES (M) DE CARRILES DE ACELERACIÓN APLICANDO FACTORES DE PENDIENTE
TABLA 55: ANGULO Θ DE INCIDENCIA DE CARRILES DE DECELERACIÓN SEGÚN V
TABLA 56: Lc SEGÚN Vc
TABLA 57: Fv SEGÚN Vc
TABLA 58: LONGITUD ADICIONAL EN CARRILES DE DECELERACIÓN PARA ALMACENAMIENTO Y ESPERA DE VEHÍCULOS
TABLA 59: CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA ABIERTA EN EL CANTERO CENTRAL PARA CONDICIONES MÍNIMAS DE GIRO A LA IZQUIERDA
TABLA 60: TIPO DE MANIOBRA POSIBLE
TABLA 61: LONGITUD DE TRANSICIÓN (Z) PARA HACER DESAPARECER EL CARRIL DE RECUPERACIÓN
TABLA 62: LONGITUDES PARA REDUCCIÓN DE ANCHO DE PAVIMENTO EN NARICES ONVERGENTES
TABLA 63: VALORES ADMISIBLES PENDIENTE RELATIVA DE BORDE (Δ %)
TABLA 64: MÁXIMA DIFERENCIA ALGEBRAICA ACEPTABLE ENTRE LA PENDIENTE TRANSVERSAL DEL CARRIL DEL CAMINO DE PASO Y EL PERALTE DEL RAMAL DE GIRO EN SU ARISTA COMÚN
TABLA 65: ANCHOS REQUERIDOS PARA EL GIRO DE VEHÍCULOS VA1 EN ROTONDAS NORMALES PEQUEÑAS
TABLA 66: RADIOS LÍMITES EN CONTRAPERALTE PARA ANILLOS DE ROTONDAS
TABLA 67: VELOCIDADES DE PROYECTO MÍNIMAS EN RAMALES DE ENLACE
TABLA 68: RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS CON PERALTES MÁXIMOS EN RAMALES DE ENLACE
TABLA 69: PARÁMETROS MÍNIMOS DE CLOTOIDES (A MÍN - VP ≤ 60 KM/H) Y (A NORMAL - VP ≥70 KM/H)
TABLA 70: BANQUINAS MÍNIMAS EN RAMALES DE ENLACE
TABLA 71: PARÁMETROS MÍNIMOS ABSOLUTOS PARA EL PROYECTO EN ELEVACIÓN DE RAMALES
TABLA 72: RANGO DE VELOCIDADES EQUIVALENTES
TABLA 73: ASPECTOS TEMPORALES MEDICIÓN DE VELOCIDADES
TABLA 74: VELOCIDAD LÍMITE LEGAL MÁXIMA EN VÍAS INTERURBANAS
TABLA 75: VELOCIDAD MÍNIMA A ADOPTAR
TABLA 76: VELOCIDAD MÁXIMA PROPUESTA PARA OPERACIÓN DE LA VÍA (KM/H)
TABLA 77: LONGITUD DEL ESTRECHAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD
TABLA 78: TIPOS Y USOS DE CERCOS

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: CONCEPTO DE DOMINIO DE DISEÑO
GRÁFICO 2: EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE DOMINIO DE DISEÑO – VARIANDO EL ANCHO DE LA BANQUINA
GRÁFICO 3: V85% VELOCIDAD ESPECIFICA EN CURVAS HORIZONTALES
GRÁFICO 4: RELACION ENTRE RADIOS CONSECUTIVOS
GRÁFICO 5: RELACION ENTRE RADIOS CONSECUTIVOS
GRÁFICO 6: DISTANCIAS DE VISIBILIDAD DE FRENADO
GRÁFICO 7: DISTANCIA MÍNIMA DE ADELANTAMIENTO
GRÁFICO 8: DESPEJE NECESARIO PARA ASEGURAR LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD
GRÁFICO 9: VERIFICACIÓN GRÁFICA DE LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE FRENADO EN ALINEAMIENTO VERTICAL

ANEXO I – GRÁFICOS Sección 601/602

GRÁFICO 10: ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR
GRÁFICO 11: DESARROLLO DEL PERALTE EN CURVAS CIRCULARES SIN CURVAS DE ENLACE
GRÁFICO 12: COMPONENTES DE LA CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES
GRÁFICO 13: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CLOTOIDE
GRÁFICO 14: ELEMENTOS DEL CONJUNTO: ARCO DE ENLACE – CURVA CIRCULAR
GRÁFICO 15: DESARROLLO DEL PERALTE EN ARCOS DE ENLACE, CALZADAS BIDIRECCIONALES
GRÁFICO 16: DESARROLLO DEL PERALTE EN ARCOS DE ENLACE, CALZADAS UNIDIRECCIONALES
GRÁFICO 17: DESARROLLO DEL PERALTE: CALZADAS UNIDIRECCIONALES, CASO CURVAS CONTRAPUESTAS O EN S
GRÁFICO 18 PERFIL LONGITUDINAL DE UN TRAMO CON TANGENTES DE PENDIENTE DIFERENTE
GRÁFICO 19: TIPOS DE CURVAS VERTICALES
GRÁFICO 20: ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL
GRÁFICO 21: ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL

ANEXO II – GRÁFICOS Sección 701

GRAFICO 22: SECCIÓN TRANSVERSAL DOBLE CARRIL
GRAFICO 23: SECCIÓN TRANSVERSAL CALZADA ÚNICA EN CURVA
GRAFICO 24: SECCIÓNES TIPICAS DE CORDÓN-CUNETA EN CARRETERAS
GRAFICO 25: SECCION TIPO EN RECTA DE VÍAS CON MEDIANERA
GRAFICO 26: PARADAS DE ÓMNIBUS SOBRE LA BANQUINA
GRAFICO 27 PARADAS DE ÓMNIBUS FUERA DE LA BANQUINA VIAS BIDIRECCIONALES Y COLECTORES
GRAFICO 28 PARADAS DE ÓMNIBUS FUERA DE LA BANQUINA
GRAFICO 29 CICLOVÍA BIDIRECCIONAL
GRAFICO 30 TALUDES DE TERRAPLÉN EN FUNCIÓN DEL TRÁNSITO Y DE SU ALTURA Y CRITERIOS DE INSTALACIÓN DE BARRERAS DE CONTENCIÓN
GRAFICO 31: DIVERSAS SECCIONES DE CUNETAS
GRAFICO 32: TIPOS DE SECCIONES TRANSVERSALES
GRAFICO 33: DIAGRAMA DE CURVA DE MASA

ANEXO III – GRÁFICOS Sección 801

GRÁFICO 43 EMPALMES E INTERSECCIONES SIMPLES.
GRÁFICO 44 ENSANCHES PARA EMPALMES “I” O “Y” E INTERSECCIONES EN CRUZ.
GRÁFICO 45 EMPALMES CANALIZADOS VALIDOS PARA TIPOS “X” O “Y”
GRÁFICO 46 EMPALMES CANALIZADOS EN “Y”
GRÁFICO 47 EMPALMES CANALIZADOS DE ALTO COSTO
GRÁFICO 48 INTERSECCIONES CANALIZADAS
GRÁFICO 49 INTERSECCIONES CON IMPORTANTES GIROS A LA IZQUIERDA EN UN CUADRANTE
GRÁFICO 50 VISIBILIDAD EN INTERSECCIONES
GRÁFICO 51 ESQUEMAS EN PLANTA Y ALZADO (ELEVACIÓN) DE CRUCES A NIVEL CON VÍAS FERREAS
GRÁFICO 52 TRAZADO DE CURVA DE TRES CENTROS
GRÁFICO 53 TRAZADOS MÍNIMOS PARA VEHÍCULOS LIVIANOS (L)
GRÁFICO 54 TRAZADOS MÍNIMOS PARA CAMIÓN SIMPLE (C) APLICABLE A BUS
GRÁFICO 55 TRAZADOS MÍNIMOS PARA TRACTO CAMIÓN CON SEMI-REMOLQUE CORRIENTE (VA)
GRÁFICO 56 TRAZADOS PARA RAMALES DE GIRO CON ISLAS MÍNIMAS
GRÁFICO 57 VÍAS DE CAMBIO DE VELOCIDAD
GRÁFICO 58 PISTAS DE ACELERACIÓN
GRÁFICO 59 PISTAS DE DECELERACIÓN CASO I: DIRECTA
GRÁFICO 60 PISTAS DE DECELERACIÓN CASO II: EN PARALELO
GRÁFICO 61 LONGITUDES DE PISTA DE DECELERACIÓN
GRÁFICO 62 LONGITUDES DE PISTA DE DECELERACIÓN

GRÁFICO 63 PISTA DE DECELERACIÓN CENTRAL
GRÁFICO 64 TRAZADO MÍNIMO CON CANALIZACIÓN PARA GIROS A LA IZQUIERDA CON ENSANCHE DEL CAMINO Y PINTURA
GRÁFICO 65 ABERTURAS DE CANTEROS CENTRALES, TRAZADOS PARA RADIOS DE GIRO MÍNIMOS CON Y SIN ESVIAJE EN EL CRUCE
GRÁFICO 66 ABERTURAS DE CANTERO CENTRAL DE DISEÑO SOBRE LOS MÍNIMOS PARA REMATES EN PUNTA DE PROYECTIL
GRÁFICO 67 APERTURAS DE CANTERO CENTRAL, TRAZADOS MÍNIMOS PARA GIROS EN "U"
GRÁFICO 68 TRAZADOS PARA GIROS EN "U" CON CANTERO CENTRAL ESTRECHO
GRÁFICO 69 TIPOS Y FORMAS GENERALES DE ISLAS
GRÁFICO 70 TRANSICIONES PARABÓLICAS MÁS CORRIENTES PARA EL RETRANQUEO DE VÉRTICES DE ISLAS
GRÁFICO 71 DETALLES DEL TRAZADO PARA ISLAS
GRÁFICO 72 DISEÑOS PARA TERMINALES DE SALIDA
GRÁFICO 73 DISEÑOS PARA TERMINALES DE ENTRADA
GRÁFICO 74 ELEVACIÓN EN INTERSECCIONES, EJEMPLO: CASO DE PLATAFORMA ÚNICA
GRÁFICO 75 PERFIL LONGITUDINAL DE RAMAL, EJEMPLO DE SOLUCIÓN
GRÁFICO 76 RADIOS Y PERALTES DESEABLES EN INTERSECCIONES CUANDO NO EXISTEN CONDICIONAMIENTOS LIMITANTES
GRÁFICO 77 DESARROLLO RECOMENDABLE DE PERALTE EN EMPALMES DE RAMAL Y CARRETERA
GRÁFICO 78 TIPO DE INTERSECCIÓN APROPIADO SEGÚN INTENSIDAD MEDIA DIARIA EN UN NUDO DE TRES RAMAS
GRÁFICO 79 ROTONDAS TÍPICAS
GRÁFICO 80 ROTONDAS ESPECIALES
GRÁFICO 81 FACTORES RELEVANTES PARA EL DISEÑO DE ROTONDAS
GRÁFICO 82 CAPACIDAD DE ROTONDAS, PARÁMETROS GEOMÉTRICOS PARA EL CÁLCULO
GRÁFICO 83 ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE UN ENLACE
GRÁFICO 84 DISTANCIAS REQUERIDAS PARA DESNIVELACIONES EN TERRENO HORIZONTAL
GRÁFICO 85 ENLACES TIPO
GRÁFICO 86 RAMALES DE ENLACE
GRÁFICO 88 FORMAS DE DESAPARICIÓN DE CARRILES AUXILIARES
GRÁFICO 89 ENLACE TIPO DE TRES RAMAS
GRÁFICO 90 ENLACES DE CUATRO RAMAS
GRÁFICO 91 ENLACES TIPO DIAMANTE CLÁSICO
GRÁFICO 92 MODIFICACIONES DE ENLACE TIPO DIAMANTE
GRÁFICO 93 ENLACES TIPO TRÉBOL PARCIAL
GRÁFICO 94 ENLACES SIMÉTRICOS DE LIBRE CIRCULACIÓN
GRÁFICO 95 ROTONDAS DESNIVELADAS
GRÁFICO 96 EJEMPLOS DE EQUILIBRIO DE CARRILES
GRÁFICO 97 ESQUEMA DEL PROCESO DE DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE UN ENLACE
GRÁFICO 98 TERMINALES SUCESIVOS
GRÁFICO 99 SEPARACIÓN ENTRE TERMINALES SUCESIVOS
GRÁFICO 100 SECCIONES TRANSVERSALES TIPO DE RAMALES
GRÁFICO 101 FORMULARIO DE DATOS ESTUDIO DE VELOCIDADES (1)
GRÁFICO 102 FORMULARIO DE DATOS ESTUDIO DE VELOCIDADES (2)
GRÁFICO 103 LONGITUD DE ESTRECHAMIENTO
GRÁFICO 104 ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD LOMADAS PAVIMENTADAS
GRÁFICO 105 ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD LOMADAS NO PAVIMENTADAS
GRÁFICO 106 ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD LOMADAS NO PAVIMENTADAS ZONA DE RESIDENCIA PEATONAL
GRÁFICO 107 ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD BATERÍAS DE BANDAS TRANSVERSALES VIBRATORIAS
GRÁFICO 108 ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD DEMARCACIÓN DE BANDAS TRANSVERSALES
GRÁFICO 109 ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD TRAMOS DE ESTRECHAMIENTO DE CARRILES DEMARCACIÓN Y TACHONES
GRÁFICO 110 ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD TRAMOS DE ESTRECHAMIENTO DE CARRILES DEMARCACIÓN E HITOS DELINEADORES (TUBULARES)

SECCIÓN 101 - INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE CARRETERAS

101.01 GENERALIDADES

En nuestro país, el transporte tanto de pasajeros como el de carga, ha venido mostrando preferencia por el uso de las carreteras, debido las facilidades que este medio de transporte ofrece, ya sea por los costos de operación y transporte o por la flexibilidad en su uso. Las condiciones anteriormente mencionadas y otras, influyen en el desarrollo económico de la región, aumentando la productividad y el consumo, con una consecuente mejora del nivel de vida de la población, aspectos que son generados por el sistema de transporte en general y de las carreteras en particular.

Dadas las condiciones actuales en la República del Paraguay, el sistema de transporte por carretera genera la necesidad de contar con una red eficiente, segura y confortable, tanto para usuarios como para vehículos, dentro de principios de compatibilidad entre la oferta y la demanda existente.

A objeto de atender la necesidad anteriormente expresada, se hace imperioso contar con especificaciones que regirán el diseño geométrico, así como encontrar una armonía entre las normas para el alineamiento horizontal y vertical. Estas últimas se verán afectadas por factores como la franja de dominio, la parcelación de propiedades, el efecto de la carretera proyectada sobre otras existentes, los cruces con ferrocarriles y las previsiones para lograr un buen drenaje entre otros, ya que cabe la posibilidad de que se tenga que forzar el trazo de la vialidad.

101.02 DEFINICIÓN

La carretera es una infraestructura de transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación o uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma.

101.03 OBJETIVO

En el presente documento se aborda uno de los aspectos importantes de la seguridad vial, como es el tratamiento de elementos de contención, específicamente el diseño de barreras, terminales, amortiguadores de impacto y rampas de escape.

Tiene como primer objetivo, proporcionar antecedentes detallados de lo que existe y se aplica hoy en el mundo desarrollado, especialmente de los sistemas de mejor rendimiento y mayor adaptabilidad a la situación del país y segundo, definir un Instructivo o procedimiento para la toma de decisiones, dirigido a los proyectistas, de manera que estos tengan las herramientas necesarias para elegir los elementos de contención más adecuados en cada caso. De esta forma, se podrán implementar en el corto plazo mejores diseños, que ayuden a disminuir la severidad de los accidentes y con ello el número de víctimas y daños materiales.

En el desarrollo de la materia se mencionan y analizan conceptos básicos propios de los sistemas de contención y otros temas asociados, como justificaciones económicas, beneficios en reducción de accidentes, diseño geométrico, legislación y condiciones de operación, todos necesarios de considerar al momento de evaluar inversiones en programas de seguridad vial.

Para la correcta aplicación del Instructivo o procedimiento de diseño incluido en el presente informe, es muy importante que el proyectista se familiarice con todos los temas tratados en éste, ya que muchas de las decisiones de diseño dependerán del buen criterio y fundamentalmente del conocimiento que se tenga del funcionamiento y rendimiento de los sistemas. En relación a esto, es necesario tener presente que los dispositivos desarrollados y aplicados exitosamente en otros países, no se pueden implementar parcialmente o con modificaciones, por más leves que parezcan, ya que éstas podrían cambiar sustancialmente el comportamiento del elemento.

SECCIÓN 201 - CONCEPTOS DE SEGURIDAD VIAL

201.01 GENERALIDADES

Si bien el transporte automotor, debido a sus características ha facilitado el desplazamiento del hombre, influyendo notablemente en sus actividades sociales y económicas, también ha llegado a constituirse en una importante causa de accidentes, siendo motivo de miles de muertes cada año.

Este hecho ha despertado gran inquietud entre todos los especialistas motivando un sin número de estudios, a fin de determinar los factores de seguridad que intervienen en la operación de las carreteras. En el presente capítulo se procura tratar los aspectos más importantes emergentes de este problema.

201.02 RESTRICCIONES DEL CONDUCTOR

Básicamente se ha establecido que el conductor de un vehículo tiene dos dificultades principales, la visión y el tiempo de reacción. Estas limitaciones deben ser tomadas en cuenta al momento de realizar el Diseño Geométrico de la Carretera.

Al margen de estas dificultades, a las cuales el hombre ha demostrado poder hacer frente, el conductor frecuentemente tiene que utilizar carreteras que resultan inadecuadas a lo que debe agregarse, el cambio continuo en las características de los vehículos que sumado a las limitaciones del usuario en cuanto a visión y tiempo de reacción, fijan ciertas condiciones de proyecto que deben tomarse en cuenta.

201.02.1 VISIÓN

La máxima agudeza visual del conductor, corresponde a un cono de 3 grados, siendo bastante clara la visión entre 5 y 6 grados, hasta 12 grados la visión es regularmente clara. En el resto del campo visual el enfoque visual es borroso, aunque se pueden distinguir la luz y el movimiento.

Si suponemos que se tiene un cono de visión de 10 grados a cada lado del eje del camino, se considera que con ligeros movimientos del ojo del conductor, hacia ambos lados, este obtendrá un campo de visión relativamente claro, de 20 grados en su trayectoria. En este cono de 20 grados, tan solo 5 grados tendrán la mayor claridad en cualquier instante. En algunas ocasiones, razones prácticas inducen a aceptar movimientos adicionales del ojo para ampliar ese campo visual y captar algunos detalles, tales como vehículos que se aproximan, señalamiento y otros; sin embargo, el campo visual de todas maneras está limitado a un ángulo agudo.

Métodos empíricos han demostrado que a medida que aumenta la velocidad, el conductor enfoca la vista a mayor distancia, esto implica mayor restricción de visión lateral al fijar la vista en un punto distante limitando aún más los movimientos laterales. A este fenómeno se le denomina efecto de visión de túnel, y su característica es que son menos perceptibles los objetos laterales. La anterior es una de las razones por las cuales existe un gran riesgo al cruzar a alta velocidad una zona poblada o una intersección.

El sentido de la visión consume tiempo para realizar sus funciones, simplemente, para que un conductor revise a izquierda y derecha en una intersección requiere aproximadamente un segundo para ver si puede pasar.

Otro factor donde interviene la visión del individuo es el de la percepción de profundidad. Hay cierta limitación en los conductores para percibir la distancia a la cual se encuentran ciertas partes del camino o bien otros objetos sobre él.

Cuando este factor se combina con la velocidad se crea una seria limitación que siempre debe tomarse en cuenta al realizar el Diseño Geométrico de una Carretera.

El caso critico ocurre en la oscuridad o en condiciones de poca iluminación, en donde influyen también los efectos del deslumbramiento que representa tiempo para recuperarse del mismo.

De acuerdo con algunos estudios durante el día la visión de un conductor abarcará hasta 2 cuadras de distancia en zona urbana y hasta 800 m aproximadamente en Carreteras en zona rural.

Empíricamente se ha determinado que la distancia de percepción nocturna se reduce hasta llegar a un 35% aproximadamente de lo normal, cuando un conductor esta frente a las luces de otro vehículo. La contracción de la pupila, para hacer frente a esta circunstancia, tarda 3 segundos generalmente para la recuperación de su diámetro normal, después de que desaparece la fuente de luz que tenía en frente, se requiere 6 segundos o más.

201.02.2 TIEMPO DE REACCIÓN

El conductor principalmente percibe estímulos visuales, auditivos y cinéticos y se acepta que el tiempo de reacción depende del tipo de estimulo percibido.

El intervalo que existe entre ver, oír o sentir y la acción de responder a estos estímulos en cualquier situación del tránsito, se llama tiempo de reacción.

La decisión que los estímulos originan, la toma un conductor a través de un proceso intelectual que termina en un juicio. En el conductor la repetición de situaciones crea hábitos y reacciones reflejas. Estas últimas, de menos duración que la respuesta a una situación compleja o nueva, se basan en juicios realizados anteriormente por el cerebro y decisiones tomadas ante situaciones similares.

El tiempo de reacción podrá variar según distintos conductores y según las distintas situaciones del tránsito. En los conductores varia con la edad, con el estado emocional y según el estado físico así como con los distintos estímulos que pueden presentarse. Las situaciones complejas en la carretera, requerirán un mayor tiempo de reacción que las situaciones sencillas. Los motivos de distracción incrementan el tiempo de reacción.

En términos generales el tiempo de reacción es el necesario para que el conductor se haga cargo de la situación y empiece a actuar, por ejemplo aplicar el freno o dejar de acelerar. Mediante pruebas de laboratorio y de campo, se ha determinado que el tiempo de reacción para fines de Diseño puede variar desde 0,5 hasta 2,5 segundos, se considera que los conductores toman solo una decisión a la vez. Por tanto, es necesario que el proyectista de la Carretera evite situaciones en las que se requiera tomar múltiples decisiones o donde la decisión de los actos subsecuentes pueda distraer a los conductores de una situación inmediata que requerirá toda su atención.

Por otro lado, es indudable que los conductores confíen en ciertos patrones del entorno físico del camino o del comportamiento del tránsito.
Muchas de sus decisiones están basadas en sus experiencias anteriores. En situaciones poco usuales, donde no aparecen factores acostumbrados, tomar una decisión puede llevar demasiado tiempo.

Es necesario dar atención adecuada a los hábitos y a las reacciones condicionadas del usuario. Por ejemplo será muy conveniente aumentar la información previa con relación a una salida de una autopista del lado izquierdo ya que el patrón común es que esta se encuentra del lado derecho.

Un buen proyecto siempre deber tomar en cuenta la relación entre conductores y patrones establecidos y evitará las situaciones diferentes en lo posible.

201.03 ACCIDENTABILIDAD

201.03.1 ANÁLISIS DE ACCIDENTES

Con la finalidad de resolver los diferentes problemas que presente la operación de los caminos, es imprescindible el análisis de los accidentes como una de las bases fundamentales para emitir un juicio que indique sus causas reales y así proporcionar una solución más segura para los casos actuales y futuros.

Los accidentes se producen por circunstancias inherentes a cualquiera de los tres elementos relacionados, a saber: el camino, el vehículo y el usuario. Par deducir la falla operacional y la magnitud de los accidentes, se deberá estudiar y analizar detenidamente las estadísticas de los mismos. Solo así se podrá plantear el problema, en busca de una solución consecuente con la realidad. El correcto planteamiento aportara los requisitos que deben cumplirse para tener un buen proyecto geométrico y de señalamiento.

201.03.1.(a) Estadística

Un registro de accidentes debe ser iniciado por el informe formulado por un agente de tránsito luego de ocurrido el hecho. Convenientemente es de mucha ayuda que todos los informes sobre accidentes de tránsito sean centralizados en una sola unidad, en la cual los interesados puedan tener fácil acceso a la información.

Para facilitar los datos contenidos en los informes de accidentes de tránsito, es preciso que sean archivados por orden de ubicación, para lo cual deben usarse unas guías primarias con los nombres de las calles o carreteras; en este último caso, con la clave aprobada por el Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones, para la ubicación de un punto dado sobre la carretera.

En base a los datos obtenidos deben elaborarse mapas de frecuencia de accidentes a objeto de determinar la distribución de los mismos. Estos mapas pueden ser de una zona o de una ciudad, según corresponda; se indicará en ellos las situaciones de los accidentes, empleando símbolos para representar las distintas clases de los mismos.

Para el caso de accidentes en zonas urbanas es recomendable utilizar un plano a una escala entre 1:5.000 y 1:10.000, con los nombres de las calles claramente anotados. En regiones rurales se pueden usar mapas a escalas entre 1:25.000 a 1:50.000.

Las indicaciones en los mapas de accidentes se acumularan durante periodos de un año al cabo del cual se fotografiaran retirándose posteriormente las indicaciones para empezar a ponerlas nuevamente. Las fotografías de los mapas permitirán comparar la acumulación de los accidentes de un año con otro.

Con la ayuda de los mapas de ubicación de accidentes se determinarán los puntos de alta frecuencia, para orientar la labor de estudio de la que se derivara la experiencia para el Diseño de obras futuras y de las posibles modificaciones geométricas de señalamiento, iluminación y otros.

En la investigación de los lugares críticos donde se concentran los accidentes, se deben dibujar diagramas de colisiones y de condiciones físicas.

201.03.1.(b) Falla Operacional

Los accidentes vehiculares se deben a circunstancias físicas y humanas, las cuales deben determinarse. Para ello se estudiarán las condiciones del lugar, las limitaciones físicas y mentales del usuario y su comportamiento en el movimiento vehicular, las condiciones del camino y del vehículo y demás hechos útiles para valorar la causa del accidente, debiéndose determinar el elemento que falló y por tanto es motivo de corrección. Las soluciones futuras procuraran evitar que se repitan los tipos de accidente antes registrados.

201.03.1.(c) Magnitud

Para medir la magnitud de los accidentes no deben usarse números absolutos, sino cifras relativas tomando en cuenta los elementos que intervienen, cuantificándolos por medio de índices, como los citados a continuación.

- Índice basado en la población
- Índice basado en el número de vehículo
- Índice basado en el tránsito
- Índice para intersección

201.03.1.(d) Índices de Accidentes y Mortalidad

Estos índices son los instrumentos para medir la gravedad del problema en números relativos. Básicamente existen dos tipos, los que se refieren al total de accidentes y los que se refieren al total de muertos; en ambos es costumbre tomar como periodo un año.

A continuación se describe los índices de mayor aplicación:

201.03.1.(d1) Índice Basado en la Población

Relación entre el número de accidentes que ocurre en una ciudad región, país o sistema vial y el número de habitantes de la unidad geográfica considerada. Es útil para hacer comparaciones cuando las condiciones socioeconómicas sean semejantes.

201.03.1.(d2) Índice Basado en el Número de Vehículos

Relación entre el número de accidentes que ocurren en la unidad geográfica considerada y el número de vehículos registrados en la misma. Útil para comparar ciudades, entidades, países o sistemas viales.

201.03.1.(d3) Índice Basado en el Tránsito

Relación entre el número de accidentes en una unidad geográfica y el transito en esa unidad, expresado en vehículos-km. Útil para comparar tramos de caminos, núcleos de población, entidades o países.

La unidad vehículos-km puede determinarse, ya sea multiplicando el número de vehículo al año por la longitud recorrida en el tramo, en el caso de un tramo determinado de un camino o bien multiplicando el consumo anual de combustible por el rendimiento promedio.

201.03.1.(d4) Índice para Intersecciones

Relación entre el número de accidentes que ocurre en una intersección y los volúmenes que concurren a la misma por sus accesos.

Para obtener índices de mortalidad se usaran formularios establecidos, en los cuales se debe aplicar la sustitución al número de accidentes por el número de muertos en el año.

201.04 ACCIDENTABILIDAD DEBIDO A LA SECCIÓN TRANSVERSAL

La Sección Transversal, sus elementos y geometría tienen importancia en la seguridad activa. El ancho de las calzadas debe ser adecuada a la velocidad de circulación. Se ha demostrado repetidamente que las vías estrechas son especialmente problemáticas, sobre todo en lo relacionado con los vehículos pesados. En general, un incremento de la anchura de las vías mejora la seguridad y una reducción del riesgo de accidentes, aunque las grandes vías suelen llevar asociado un incremento de la velocidad de circulación.

El diseño con anchuras incrementadas y la construcción de un correcto pavimento, en las banquinas y las zonas anexas a la Carretera, contribuyen a una mejora de la condición de seguridad de circulación. No obstante se ha constatado que valores excesivos de ancho de carril y su conversión a valores menores, puede incrementar la siniestralidad.

Por otra parte las medianas, especialmente en carreteras interurbanas, pueden contribuir de manera significativa en el número y severidad de los accidentes. Se ha constatado que anchuras de mediana mayores a 12 m reducen en un 15% el número de vehículos que la atraviesan y acceden a la calzada de circulación en sentido contrario, si bien para valores mayores a 6 metros ya suponen una mejora importante.

Un buen diseño de Carreteras, supone el tomar en cuenta la seguridad en lo relativo a los adelantamientos, este aspecto también deberá ser considerado para carriles adicionales para vehículos lentos.

Detalles mayores serán desarrollados en la ***Sección 6*** y con mayor intensidad y detalle en el Volumen correspondiente al Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.

201.04.1 NÚMERO DE CARRIL

Una de las primeras investigaciones de seguridad en carreteras con diferente número de carriles, fue un estudio realizado en Massachussets, EUA, en que se relacionan carreteras de 2 y 3 carriles. Se encontró que las Carreteras bidireccionales tenían un índice mayor de accidentes que las de 3 carriles, hasta volúmenes de 2,6 millones de vehículos al año, ó sea poco más de 7.000 vehículos diarios. Al llegar a este punto el índice para caminos de dos carriles se mantiene constante, en tanto que el de 3 carriles continúa aumentado conforme se incrementa el volumen de vehículos.

Debido a que las colisiones de frente, con gran saldo de heridos y muertos, fueros asociadas con los caminos de tres carriles, ese tipo de carreteras no es recomendable para ser proyectada, excepto en tramos de pendientes largas, en donde el tercer carril es construido únicamente para dar oportunidades de adelantamiento cuesta arriba, para estos casos es recomendable intentar la implementación de una franja de separación o de aislamiento del tercer carril.

Las carreteras de cuatro o más carriles, por tener capacidad para mayores volúmenes de transito, deberían tener más accidentes que las vías de dos carriles; sin embargo se ha determinado que tienen índices de accidentes menores.

El número de carriles está definido por la demanda en un tramo dado de carretera, la experiencia ha demostrado que el grado de seguridad depende más del ancho de los carriles que del número de estos.

201.04.2 ANCHO DE CARRIL

Desde hace años, buscando la justificación económica del ancho de los carriles, se pensó que si los amplios fueran más seguros que los estrechos, los beneficios de la ampliación podrían ser significativos, en términos de ahorro de costos por accidente. Se reconoció que el aumento en el ancho de carril es una garantía de seguridad.

En efecto, la investigación de los registros de accidentes en carreteras de dos carriles, de varios anchos, en el estado de Michigan, permitió concluir que los más anchos eran más seguros. Al estimar el costo de los accidentes se concluyo que el ahorro por su reducción, como regla general era de tal cuantía, que resultaba suficiente para cubrir el costo probable de la ampliación de la calzada de los 5,50 a 6,10.

Aunque la limitación principal a la construcción de calzadas más anchas ha sido de orden económico, hay también algunas razones de operación por las que los anchos de la superficie de rodamiento no son más grandes.

En efecto, si se ofrece una gran libertad de movimiento a los conductores estos tenderán a efectuar maniobras impropias y quizás a formar otro carril. Una carretera de dos carriles que tenga un ancho de calzada de 8 m, puede ser convertida en una carretera de 3 carriles con ancho de 2,65 m cada uno. El ancho de 3,5 m actualmente aceptado, es probablemente muy cercano al ancho de carril ideal para tránsito mixto de alta velocidad. No obstante es más económico aplicar carriles de 3,50 m.

Estos resultados generalmente obtenidos, relacionando el ancho de la carretera con los accidentes de tránsito, fueron verificados por investigaciones posteriores. Los resultados del Interstate Accident Study, un estudio similar en Minnesota EUA; y otro en Inglaterra, dieron resultados sorprendentemente parecidos, comprobando la reducción del índice de accidentes al ensancharse la superficie de rodamiento.

201.04.3 DELINEAMIENTO DE CARRILES

Es ya una práctica mundial el pintar la franja central, las de los carriles y las laterales en calles y carreteras. En varios casos se encontró evidencias de los efectos benéficos de esta práctica en relación a la seguridad, al reducirse los índices de accidentalidad

201.04.4 BANQUINAS

Cualquier teoría general sobre la frecuencia de accidentes sostendrá que las banquinas más anchas deben prestar una mayor seguridad, porque significa un espacio mayor de maniobras, mejor visibilidad y área para estacionar vehículos descompuestos fuera de la superficie de rodamiento. Esta presunción podría parecer valida, particularmente donde todas las obstrucciones estuvieran fuera del acotamiento.

Antiguamente las Banquinas se construían de tierra y grava y es obvio que esto constituía un peligro, debido a que el vehículo muchas veces no podía dejar la superficie pavimentada y regresar a ella sin atascarse y ser dirigido hacia fuera del camino. Este hecho, mas las dificultades en su conservación, aconsejaron las practica de construir banquinas con superficie transitable en todo tiempo.

Se han hecho extensas investigaciones, enfocadas a estudiar las relaciones entre los accidentes y el ancho de la banquina, en parte para determinar el ancho más económico por construir, desde el punto de vista de la seguridad y en parte, tratando de encontrar por que las banquinas más anchas, no siempre producen mayor seguridad.

Se encontró que las banquinas más anchas resultaron con menos accidentes, los datos fueron separados por grupos de volúmenes y por técnicas de correlación y ecuaciones de regresión desarrolladas para el efecto. Las investigaciones fueron limitadas esencialmente a tramos de carreteras rectas y a nivel. La relación entre los accidentes y en ancho de banquina fue significativa en solo un grupo de volúmenes de tránsito.
Anteriormente se había encontrado que el índice de accidentes se reducía con el ensanchamiento de la banquina en carreteras de bidireccionales.

Hay varias razones para explicar la disminución en el índice de accidentes cuando se amplía la banquina, entre las más importantes están las siguientes: El conductor no tiene temor a encostarse, lo que le permite concentrar su atención en los otros problemas que se le presenta, se aumenta la separación entre 2 vehículos que se cruzan, se reduce la influencia de los vehículos estacionados; la salida de la calzada no es necesariamente trágica y se obtiene una mayor seguridad en el acceso y salida de los vehículos.

201.04.5 OBSTACULOS A LOS COSTADOS DEL CAMINO

Un porcentaje muy alto de accidentes en vías, se deben a vehículos que se salen de la carretera, generalmente estos accidentes son de un solo vehículo e incluyen a aquellos que se voltean o chocan con algún objeto fijo cercano a la carretera.

Estudios han establecido que este tipo de accidentes comprende entre el 30 y el 35% de todas las muertes en los accidentes de tránsito.

En virtud de que es inevitable que algún vehículo se salga del camino los lados de este deben acondicionarse para reducir al mínimo las consecuencias de un posible accidente, lo cual debe tomarse en cuenta en el Diseño de la Carretera.

Algunos de los posibles peligros a los costados del camino, son productos del hombre tales como cordones de acera y barandas de puentes, postes de señales y alumbrado, árboles y otros. La defensa usada para protección de estos obstáculos puede reducir la frecuencia y la gravedad de estos accidentes, pero deben estar bien proyectadas para no convertirse en obstáculos adicionales.

Cuando el terreno sea plano, para aumentar la seguridad de los vehículos que intempestivamente salen del camino, se debe prever una "zona de recuperación", libre de obstáculos, esto siempre que no implique un incremento muy grande en el costo. Esta zona de recuperación debe ser amplia, nivelada y fácil de transitar. Deben estudiarse programas de mejoramiento para eliminar peligros tales como árboles, estructuras, soportes masivos de señales, postes y otros obstáculos que pueden representar riesgos para el tránsito. Cuando no sea posible esa eliminación, debe buscarse la forma de instalar defensas u otro tipo de protección para disminuir el riesgo.

Estudios realizados encontraron que las defensas usadas para proteger árboles a los lados del camino efectivamente redujeron la gravedad de los accidentes del tipo de salida de la superficie del rodamiento.

Otros han reportado que las defensas en los accesos de los puentes angostos redujeron en número y la gravedad de los accidentes.

201.05 ACCIDENTABILIDAD DEBIDO A LA FRANJA DE SEPARACION CENTRAL

201.05.1 FRANJA SEPARADORA

Es un elemento de la carretera, cuya función primordial es establecer la separación de los carriles de circulación en una carretera, tanto los de sentido opuesto, como los del mismo sentido.

201.05.2 CLASIFICACIÓN FUNCIONAL

Según su funcionalidad, existen dos tipos básicos de fajas separadoras, las cuales tienen diferentes propiedades y deberán ser consideradas separadamente, su denominación es la siguiente:

- De disuasión: Son aquellas fajas separadoras que inducen al tránsito a mantenerse dentro de una calzada pero que no impiden que, eventualmente puedan ser cruzadas.
- Las no cruzables: Son aquellas que impiden físicamente el cruce de una calzada a otra

201.05.3 CLASIFICACIÓN POR ANCHURA

Las franjas de seguridad pueden tener diferentes tipos de medida, aspecto que lleva a obtener la siguiente clasificación:

A	Angostas	menores de 5 m
B	medianas	de 5 a 18 m
C	anchas	mayores de 18 m

- **Fajas Separadoras Angostas**: Generalmente están constituidas por franjas separadoras. Aun cuando su efecto es difícil de evaluar con precisión, en general, han dado por resultado una reducción efectiva en accidentes en calles o carreteras antes no divididos. Cuando la sección transversal de una arteria sea de 4 o más carriles, se recomienda el uso de la franja separadora, aunque este sea angosto. La Franja separadora no solo reduce los accidentes de cierto tipo, por ejemplo, colisiones de frente sino que además es un refugio para el peatón y permite alojar los elementos de señalización.

  En fajas separadoras angostas de arterias, con altos volúmenes de tránsito, se ha ensayado el uso de defensas y barreras, para evitar que los vehículos pasen de un lado a otro.

- **Fajas Separadoras Medianas**: De acuerdo con la clasificación antes mencionada, las fajas separadoras medianas, son aquellas que tienen un ancho comprendido entre 5 y 18 m.

  En investigaciones realizadas en carreteras con fajas separadoras de varios anchos, fue posible establecer una correlación entre los accidentes por vehículos que cruzaron la franja separadora y el ancho de la franja separadora.

  Los accidentes frontales, como un porcentaje del total de accidentes, disminuyen rápidamente al mismo tiempo que el ancho de la franja separadora aumenta.

  En las fajas con ancho mediano de carreteras con altos volúmenes de tránsito, las defensas pueden ser muy útiles. Este tipo de dispositivo no evita los accidentes, únicamente los convierte de un tipo a otro (colisión frontal a accidente de un solo vehículo). Es condición primordial asegurar que el accidente causado por la defensa sea de menos severidad que el accidente evitado. Por lo anterior, las defensas deberán tener propiedades bien definidas: primero, deberá evitar el cruce del vehículo al otro lado. Segundo, deberá disminuir la velocidad del vehículo con una desaceleración tal, que sea tolerable para los ocupantes.

- **Fajas Separadoras Anchas**: Aunque los datos para determinar el comportamiento de las fajas separadoras anchas son escasos, el índice de accidentes por vehículos que las cruzan, muestra una ligera reducción cuando su anchura pasa de 15 m.

  Un aspecto importante que debe considerarse al proyectar fajas separadoras amplias, es el de tratar de evitar colocar en posición inadecuada en su área, objetos potencialmente peligrosos para vehículos fuera de control, tales como semáforos, árboles, postes, señales y pilares de pasos inferiores.

  Cuando se colocan árboles dentro de la faja, para proteger contra el deslumbramiento o prevenir la monotonía deberán ser elegidas de tal modo que al crecer no causen daños, en caso de ser golpeadas por un vehículo de motor. Deberán considerarse adicionalmente los taludes y cunetas que puedan existir dentro de la faja.

201.06 ACCIDENTABILIDAD DEBIDO A FACTORES DE DISEÑO

201.06.1 LOS ACCIDENTES Y EL ALINEAMIENTO HORIZONTAL

Se han realizado estudios que han determinado que la curvatura de los caminos está relacionada con los accidentes, en todo los tipos de carretera.

Los vehículos al ingresar en una curva son sometidos a la fuerza centrifuga que es equilibrada por la resultante del peso del vehículo y la fuerza de rozamiento lateral entre llantas y pavimento. La salida de un vehículo obedece a uno o a la combinación de los siguientes conceptos: velocidad excesiva para las condiciones imperantes, sobre elevación inadecuada o pavimento derrapante.

En cientos estudios se encontró que en carreteras bidireccionales el índice de accidentes aumenta alrededor de 0,23 por grado de curvatura.

Para carreteras divididas de 4 carriles, con acceso controlado, el índice de accidentes aumento 0,64 por grado de curvatura.

Así como el grado de curvatura influye en la incidencia de accidentes, la frecuencia de las curvas es otro de los factores que tienen marcada influencia en la accidentabilidad de las carreteras. Se ha establecido que la peligrosidad aumenta tanto al disminuir el radio de curva como al disminuir la frecuencia de ellas. Como conclusión se establece que las curvas cerradas de menor grado y aisladas son las más peligrosas.

Algunos investigadores trataron de relacionar los índices de accidentes con las curvas de diferentes grados. Asimismo otros trabajos han demostrado que a partir de un grado de curvatura, las curvas en el extremo de las tangentes mayores de 5 km de longitud tienen un índice de accidentes de 1,25 veces mayor que las curvas ubicadas en el extremo de tangentes menores de 5 km de longitud.

Es seguro que la alta incidencia de accidentes en las curvas comprende un número mayor de factores que los citados anteriormente, tales como exceso de velocidad distancia de visibilidad de parada y sobre elevación.

Entre las medidas aplicables para incrementar la seguridad en caminos existentes, están las rectificaciones, las sobre elevaciones y la distancia de visibilidad adecuada, además de un buen señalamiento preventivo y restrictivo, marcas en el pavimento y otros.

Ciertas experiencias en rectificación de las curvas mostraron que los accidentes se redujeron un 80% en casos donde la sobre elevación fue aumentada, adicionalmente los accidentes con lesionados fueron reducidos en un 60%. En casos donde la visibilidad fue mejorada los accidentes con lesionados se redujeron en un 65%.

En cuanto a las señales preventivas, resultado de los estudios realizados, muestran una reducción en los accidentes en curvas cuando estos elementos son colocados de manera correcta.

Con relación al uso de señales restrictivas que indiquen la velocidad máxima para pasar por una curva, estas han demostrado su efectividad en aquellos casos en donde el conductor no puede advertir situaciones peligrosas.

201.06.2 LOS ACCIDENTES Y EL ALINEAMIENTO VERTICAL

Uno de los aspectos más importantes en el alineamiento vertical, con respecto de los accidentes, es la distancia de visibilidad de parada.

Estudios realizados han demostrado que el índice de accidentes decrece con el aumento de la distancia de visibilidad.

Por otra parte, al comparar el índice de accidentes con la frecuencia de las restricciones en visibilidad (definiéndose como una restricción a la distancia de visibilidad menor a una cierta distancia dependiendo de la topografía de la zona), se determinó que el índice de accidentes decrece conforme las restricciones son más frecuentes. Cuando las restricciones ocurren con frecuencia el conductor se adapta al medio y los índices de accidentes tienden a disminuir.

Otro de los aspectos importantes del alineamiento vertical con relación a los accidentes es la pendiente longitudinal. Estudios concluyen que los accidentes se incrementan cuando la pendiente longitudinal aumenta, esto se atribuye a la gran diferencia de velocidades entre los vehículos ligeros con respecto a los vehículos pesados.

201.06.3 ILUMINACIÓN

Aproximadamente el 60% de todos los accidentes fatales de tránsito ocurren en horario nocturno, cuando los volúmenes de vehículos y peatones son más bajos. Al tomar como base el kilometraje, los índices de accidentes nocturnos son el doble de los diurnos en las ciudades y cerca del triple en vías rurales.

Aunque los efectos de la fatiga, intoxicación y otros factores que podrían incrementar el riesgo de viajar de noche, no han sido completamente evaluados, es indiscutible que la velocidad reducida contribuya a estas diferencias en los índices de accidentes. La iluminación artificial es un medio efectivo y aprobado para reducir los accidentes nocturnos de tránsito.

Algunos estudios han determinado una tendencia a la disminución de los índices de accidentes nocturnos con un nivel más alto de iluminación.

La experiencia acumulada sugiere que el mayor beneficio viene de dar niveles mínimos de iluminación y que la superficie del pavimento tiene un papel importante en el nivel de iluminación que se requiere.

201.06.4 CRUCES CON VÍAS FÉRREAS

Los accidentes en los cruces de carreteras con vías férreas han sido materia de interés público, por muchos años especialmente por lo espectacular de los mismos accidentes y sus saldos en pérdidas de vidas y bienes. A pesar de que los accidentes en estos empalmes son solamente un pequeño porcentaje del total de los accidentes, arrojan un alto número de personas muertas y heridas.

Es importante mencionar que de una muestra estadística de 3.627 accidentes que ocurrieron en sectores de cruce con vías férreas, solamente cerca de un tercio del total fueron entre el ferrocarril y los vehículos automotores, el resto de los accidentes ocurrieron entre los vehículos cuando uno de ellos estaba esperando a que pase el tren y fue alcanzado por otro que no pudo detenerse a tiempo.

De estos dos tercios, la mitad ocurrió en el momento en que un tren pasaba por el empalme y la otra mitad cuando el tren no estaba presente. Entre estos últimos, el 13,3% de los accidentes que ocurrieron fue provocado por los vehículos que tienen obligación de parar en todos los empalmes; también se observo que muchos de los daños ocasionados a los vehículos accidentados se debieron a obstáculos naturales, incluyendo los apoyos o postes masivos de los dispositivos de control.

Para mejorar las condiciones en los cruces con vías férreas, se vio la necesidad en primer lugar, de proporcionar la distancia de visibilidad adecuada, tomando en cuenta la velocidad de los trenes y el de los vehículos sobre la carretera. Otra manera de mejorar las condiciones de seguridad se basa en la implementación de pasos a desnivel en los cuales se tiende a la eliminación del riesgo.

SECCIÓN 301 - TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS O CAMINOS

301.01 ANTECEDENTES

El Ente Rector, encargado de la temática vial en la República del Paraguay, ha realizado diversos estudios en cuanto a las condiciones actuales del transporte en nuestro país.

Derivado de estos estudios se determinó que era necesario mejorar los sistemas de transporte, encarando políticas de desarrollo en la construcción efectiva de carreteras del País, creando un entorno favorable especialmente al transporte público, siendo necesario para ello fomentar:

- Soluciones consistentes que apoyen al transporte público.
- Establecimiento de Normas adecuadas para el Diseño de Carreteras, que incluyan principalmente:
  - El establecimiento de zonas con distancia de visibilidad de parada
  - Gradientes reducidos
  - Curvatura horizontal mínima
  - Diseño de Intersecciones
  - Paradas de ómnibus
  - Carriles para vehículos de velocidad lenta

La optimización de recursos ha sido siempre la meta principal en el Diseño de Carreteras, no obstante en la actualidad la tendencia se encamina a la concepción de vías que combinen una optimización de Recursos tanto en la etapa de construcción como en la de mantenimiento de la vía, o sea una economía conjunta a lo largo de toda la vida útil de la Carretera.

La red con la longitud más corta en general, compatible con la vinculación de todos los orígenes y destinos, teóricamente tendría el menor costo. También podría representar un ahorro en los costos de mantenimiento, siempre que el intento de reducir la longitud de la vía no tenga ningún impacto adverso en la alineación vertical, resultando en pendientes muy empinadas o una carretera con mal drenaje, lo cual podría repercutir en costos elevados de construcción y mantenimiento. Suponiendo que tomando el tramo corto, los costos de mantenimiento son favorables, es posible que la carretera tenga una geometría tal, que el paso por ella sea muy forzado y tortuoso para los usuarios, lo que merecería un análisis de parte del proyectista, de manera de equilibrar la ecuación costo construcción y mantenimiento en relación a la seguridad, confortabilidad y comodidad de la vía.

De esto se desprende que la geometría de la Carretera es tan importante como su longitud total, en la optimización de los costos para un ciclo de vida de la vía.

No se debe interpretar el Diseño Geométrico de la Carretera, como una simple optimización de longitud, concepto que a menudo es erróneamente aplicado, ya que aspectos como la confortabilidad, comodidad, seguridad y operabilidad, deben ser tomados en cuenta, por ello es que un diseño de carreteras debe contener un alto nivel de planificación geométrica.

La planificación geométrica, debe incluir una cuidadosa selección de la sección transversal. La anchura del camino y su forma, tienen un impacto significativo en los costos de construcción.

Economizar en la sección transversal mediante la reducción del número y la anchura de los carriles, podría tener un efecto sobre el flujo de tráfico y el consiguiente aumento de los costos operativos para los usuarios de la carretera. La clasificación de los diferentes componentes de una red de carreteras y la estimación adecuada de los volúmenes de tráfico de las mismas, es esencial para la correcta planificación de una red de carreteras realmente económica.

Históricamente el Diseño de Carreteras ha considerado en su concepción aspectos como la movilidad y accesibilidad. Este tipo de diseños fue proyectado específicamente para vehículos de pasajeros poniendo un poco de atención a las necesidades de otros vehículos, especialmente en las intersecciones. Sin embargo los proyectistas actualmente deben reconocer que la red de carreteras, especialmente en zonas densamente pobladas, sirve para otras funciones además de la movilidad y la accesibilidad. Necesidades de las comunidades, tales como la interacción social, la relajación y el comercio, son aspectos cada vez más importantes.

Asimismo en zonas urbanas existe una tendencia hacia el uso mixto de la tierra. Una consecuencia de este cambio es que las longitudes de viaje son más cortas y los modos de transporte distintos, convertidos en una opción más práctica.

Se puede esperar que el transporte en bicicleta o también el recorrido peatonal, vayan creciendo en el medioambiente urbano. Por tal razón en el proceso de Diseño, el proyectista tendrá que hacer la previsión necesaria para estas opciones de movilidad que a diario van creciendo más en su uso.

301.02 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Para poder entender los fundamentos principales que son base en el diseño de carreteras, debemos comprender las leyes del movimiento que rigen la iteración entre el vehículo y la carretera. Isaac Newton ha formulado leyes que ayudan a comprender esta problemática, estas son:

- El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime.

- Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: o sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en direcciones opuestas.

Mediante la aplicación de las leyes del movimiento, junto con la experimentación juiciosa, podemos obtener un conocimiento razonable de la interacción entre el vehículo y la carretera, ya que son esencialmente determinantes. En esencia, esta comprensión describe lo que un vehículo en movimiento a lo largo de una carretera puede hacer y no necesariamente lo que el conductor desea hacer.

Por tanto, para describir correctamente el sistema operativo de una carretera con estas leyes, se debe integrar el factor humano, que incluye las percepciones, las reacciones, la identificación, la evaluación, la decisión y las respuestas, de un amplio espectro de personas, ante circunstancias variables.

Existen Manuales de Diseño de Carreteras que tienden a centrarse en la dinámica del vehículo, restando importancia a todas las debilidades del componente humano del sistema, que se resume en un tiempo de reacción individual. El comportamiento humano, con acciones imprevisibles propias del comportamiento del medio, debe ser tomado en cuenta a la hora de realizar el diseño.

Investigaciones en cuanto a accidentes, a menudo revelan que no siempre la carretera o el vehículo fueron los factores que causaron el mismo, sino que el componente humano en el sistema fue la causa principal de lo sucedido.

Un vehículo en movimiento a lo largo de una carretera es un sistema muy complejo con una gama infinita de posibilidades y resultados.

Este sistema cuenta con numerosos elementos, cada uno con su propia probabilidad de falla. Cuando estos se incluyen como un conjunto de factores, la diversidad de elementos, aseguran que la posibilidad de falla del sistema en su conjunto es muy alta. La consecuencia y medida de estas fallas son los accidentes.

Según Hauer, los caminos diseñados según las normas no son seguros, ni inseguros, ni apropiadamente seguros; los caminos diseñados según las normas tienen un premeditado nivel de seguridad. Basa su afirmación en argumentos lógicos y ejemplos históricos, incluyendo al sistema el elemento humano. Asimismo revela que las normas de diseño actuales tratan de representar a los usuarios viales mediante ciertos parámetros fijos y fallan en reconocer el hecho de que los usuarios recuerdan los caminos recorridos y el camino más allá y se adaptan al camino que ven adelante. Como resultado, la relación entre las normas de diseño vial y la seguridad vial no es clara, y el nivel de seguridad diseñado en los caminos es impremeditado.

Según la dinámica propuesta por Newton, tomando en cuenta el diagrama vectorial que describen las fuerzas que operan en un vehículo atravesando una curva con peralte, y si se ofrece una explicación adecuada de la situación, las curvas teóricamente no deberían ser los sectores de mayor frecuencia de accidentabilidad, en el peor de los casos, los accidentes deberían tener exactamente la misma tasa de ocurrencia en las curvas como en las tangentes que la siguen o la preceden. Además, los vehículos que salen de la carretera deberían ser igualmente distribuidos entre el interior y el exterior de la curva. Sin embargo, la realidad revela que la tasa de accidentes en las curvas es mayor que en las tangentes y que la mayoría de los vehículos que salen de la vía, lo hacen hacia el exterior de la curva.

Evidentemente el diagrama de vectores no es una exposición completa o suficiente de la problemática existente. Por ejemplo muchas veces los conductores solo dirigen en una curva a partir de su punto de partida, encontrándose obligados a seguir un camino con un radio menor que el previsto por el diseñador. Si la curva de diseño se encuentra en un radio mínimo, la subtrayectoria seguida por el conductor, que se convierte en muy mínima, de hecho generará consecuencias sumamente imprevistas. Una reacción de pánico, en estas circunstancias, podría provocar que el vehículo se desviase y se encontraría fuera de control.

Si bien se hace referencia a un error humano como la causa principal para la mayoría de los accidentes, es de destacar que muchos conductores no cometen un error de manejo, en un mismo punto a lo largo de la carretera. Si bien es necesario reconsiderar el papel de los modelos de Newton en que se basan las normas geométricas, no debe dejarse de lado los factores humanos que requieren una evaluación sumamente cuidadosa.

301.03 FILOSOFÍAS DE DISEÑO

Comúnmente se han definido filosofías de diseño que tienden a ser simplistas y que ignoran los aspectos mencionados en los anteriores numerales. Estas filosofías de diseño persiguen una seguridad que deposita de manera excesiva sus argumentos en los modelos derivados de la dinámica de Newton.

La filosofía actual, se basa en la suposición de que cualquier diseño que se ajusta a las políticas establecidas para el Diseño Geométrico de la vía, es segura y que aquellas que no, serían inseguras.

Este planteamiento que a menudo es asumido por los diseñadores, es aceptado por los tribunales cuando se trata de toma de decisiones sobre cuestiones de responsabilidad.

A pesar de que han transcurrido varias décadas de investigación de la compleja relación entre vehículo, carretera, conductor y seguridad de funcionamiento, esta temática no siempre es bien comprendida. Existen numerosos investigadores que han estudiado las relaciones entre las tasas de accidentes y los elementos específicos del diseño geométrico, los resultados obtenidos no siempre han sido suficientes para la aplicación práctica.

Este aspecto se debe concretamente a la limitada visión de las investigaciones realizadas, las cuales al examinar la relación entre los accidentes y los elementos de diseño individual, no toman en cuenta los efectos interactivos de otros parámetros, especialmente el factor humano, lo que podría conducir a la desvalorización de relaciones importantes.

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, podemos concluir que se justifica la implementación de nuevas filosofías de diseño.

Esta nueva filosofía deberá tomar en cuenta dos niveles fundamentales. El primero, debe estar relacionado con la planificación geométrica, aspecto que pocas veces es expuesto en los Manuales de Diseño Geométrico de Carreteras. El segundo nivel del diseño geométrico es el que trata sobre la seguridad operacional en detalle. Este es el nivel en el que se centran los manuales, poniendo la misma atención en la eficacia y la seguridad de los elementos de la carretera. Se propone que, en la nueva filosofía, la seguridad debe ser considerada como primordial. Sacrificar la seguridad en aras de la eficiencia y la economía no es una práctica aceptable.

Por lo tanto, una filosofía mas integral, debe basarse en el concepto de reducir la probabilidad de errores al nivel más bajo posible y además debe tratar de reducir las consecuencias de estos errores que se producen. Para lograr este objetivo, los diseños deben comenzar con un claro entendimiento del propósito y funcionalidad de la vía, seguida de una apropiada selección de los elementos de diseño y su consecuente integración con la forma del terreno y su uso actual y futuro. Una marca particular de la capacidad del Profesional en Diseño debe basarse en su capacidad de prever y optimizar los objetivos en conflicto que son inherentes a cualquier proyecto.

301.04 TÉCNICAS DE DISEÑO

Es importante establecer que para obtener un diseño de vía aceptable, se debe recurrir a la experiencia y el estudio del profesional en diseño, aspecto que no podrá ser sustituido ni menospreciado en ninguna instancia. Sin embargo, existe una serie de herramientas y técnicas útiles, que se encuentran a disposición del diseñador. De las cuales es nuestro propósito tomar en cuenta las siguientes:

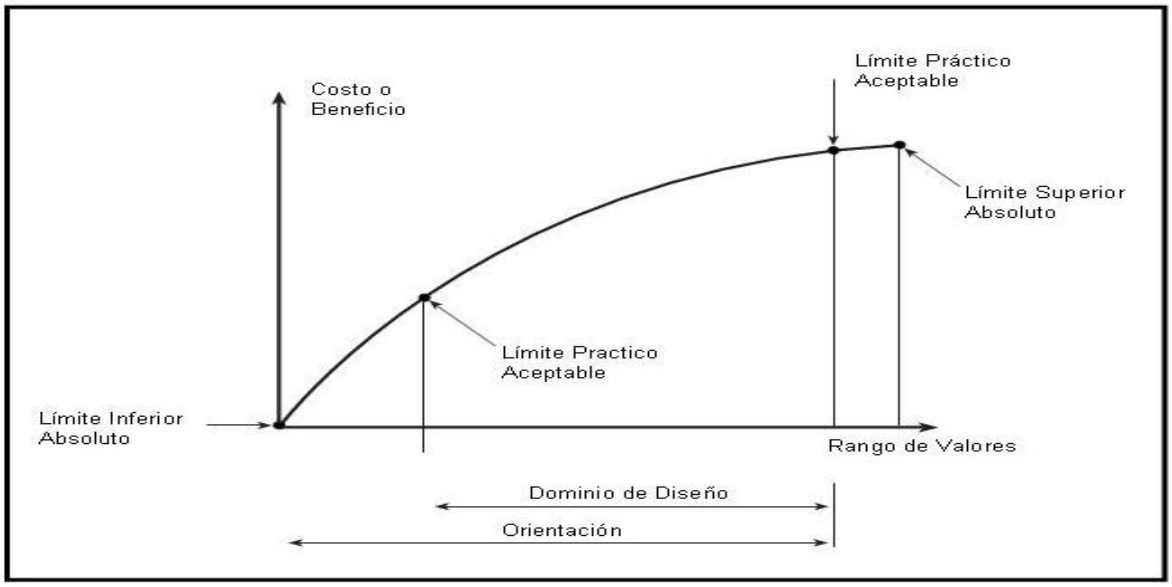
- Concepto de Dominio en el Diseño
- Auditorias de Seguridad Vial
- Análisis Económico
- Flexibilidad en el diseño de la Carretera
- Diseño Interactivo de la Carretera y
- Ingeniería de Valor

301.04.1 DISEÑO BAJO EL CONCEPTO DE “DOMINIO DE DISEÑO"

El concepto de “Dominio de Diseño”, establece que para cualquier parámetro de diseño existe siempre un rango de valores que podrían ser adoptados, con un límite superior y uno inferior. El valor adoptado para un determinado parámetro de diseño debe lograr un nivel aceptable de rendimiento en las condiciones medias en términos de seguridad, funcionamiento y consecuencias económicas y ambientales.

El Gráfico 1 ilustra el concepto mencionado

GRÁFICO 1: Concepto de Dominio de Diseño



Mientras que los valores dentro de la región inferior del dominio de diseño, de un parámetro de diseño en particular, son generalmente menos seguros y menos eficientes operativamente, normalmente son de menor costo que los de la región superior.

En la región superior del dominio, los valores obtenidos para el diseño, son en general más seguros y eficientes en la operación, pero suelen conllevar a un mayor costo constructivo. De hecho, el concepto de Dominio de Diseño establece el límite en el que los parámetros deben ser seleccionados para su evaluación mediante el concepto de "Ingeniería de Valor".

Durante los últimos años ha habido muchos avances en cuanto al diseño de carreteras y los procedimientos de evaluación de la seguridad y la operabilidad.

Estas mejoras, así como las iniciativas en la evaluación y auditoria en los sistemas viales, han mejorado considerablemente los procesos de Diseño de Carreteras.

Todo lo anteriormente mencionado, hace práctico el considerar los valores de los parámetros de diseño mediante el concepto de Dominio de Diseño, ya que esto facilita la estimación en cuanto a cambios de nivel de servicio, costos y seguridad.

Si el diseñador no cuenta con valores para un determinado parámetro de diseño, deberá orientarse en la literatura existente en cuanto a la sensibilidad de la seguridad ante los cambios de los valores de los parámetros de diseño. Sin embargo, este tipo de literatura es limitada en comparación con la literatura dirigida a la evaluación de funcionamiento o costos de construcción.

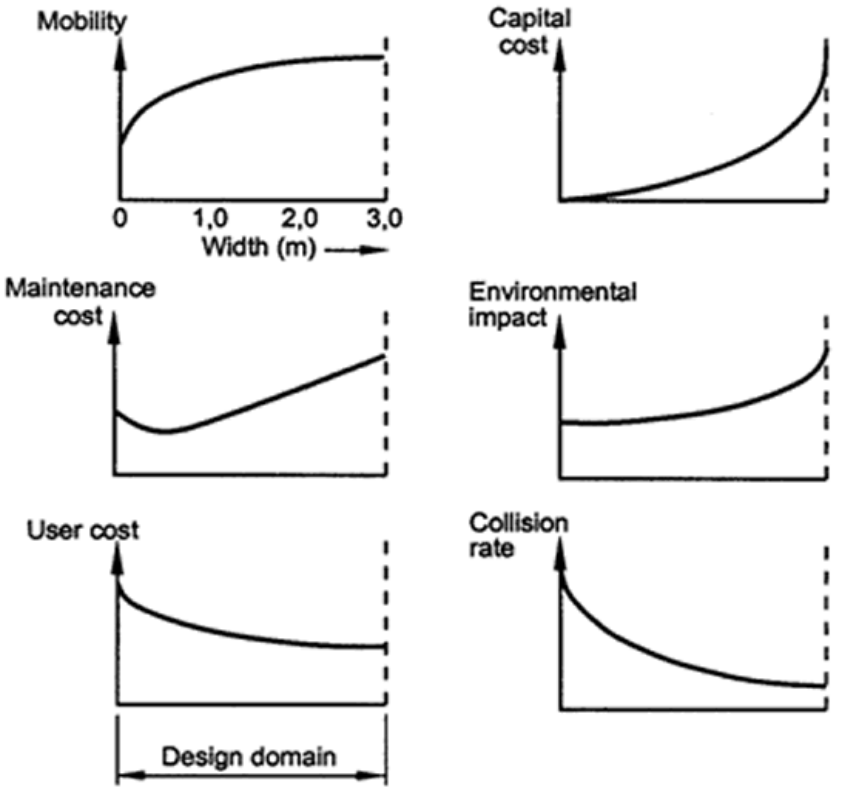
El tomar en cuenta el concepto de "Dominio de Diseño", conlleva los siguientes beneficios:

- El concepto se encuentra directamente relacionado con la verdadera naturaleza del proceso y función del diseño de carreteras, pues pone mayor énfasis en el desarrollo adecuado de la vía y su rentabilidad, que en el concepto simplista del cumplimiento de las normas.
- Refleja directamente la representación continua de la relación entre los servicios, el costo, la seguridad y los cambios de los valores de las dimensiones de diseño. Por lo tanto, refuerza la necesidad de considerar los impactos de las compensaciones en todo el dominio.

- Proporciona una conexión implícita con el concepto de "Factor de Seguridad", un concepto que fue extraído de otros proyectos de ingeniería relacionados a los procesos de riesgo y seguridad.

El Gráfico 2 es un ejemplo de cómo pueden varias los costos y beneficios variando el valor de un parámetro de diseño en concreto, dentro del Dominio de Diseño, en el caso del Gráfico 2 se ha variado el ancho de la banquina. La aplicación de este concepto a todos los parámetros de diseño dará lugar a un óptimo diseño del Proyecto.

GRÁFICO 2: Ejemplo de Aplicación del Concepto de Dominio de Diseño – Variando el Ancho de la Banquina



La aplicación del concepto de Dominio de Diseño, en la práctica plantea algunos problemas. En algunos casos, el concepto de obtener un Dominio de Diseño con límites superior e inferior y una serie continua de valores intermedios, puede no ser práctico ni deseable.

Un ejemplo de lo anteriormente planteado es la apreciación en cuanto al ancho de carriles. En este caso solo se puede considerar una serie de valores discretos para la dimensión en cuestión.

En otros casos, puede que no exista un límite superior en el Dominio de Diseño, respecto a lo que es lo práctico y económico.

El diseñador debe respetar los controles y las limitaciones en mayor o menor grado, de los parámetros, dependiendo de su naturaleza y significado. A menudo, el diseñador se enfrenta ante el dilema de no poder elegir las dimensiones de diseño o criterios que satisfagan a todos los controles y restricciones. Esto trata de decisiones de ingeniería que requieren experiencia, conocimiento y una buena apreciación de los valores de la comunidad.

Algunos criterios de diseño, como el espacio vertical en las estructuras son inviolables. Otros son menos rígidos y algunos son poco más que sugerencias. Algunos de los valores elegidos son por razones de seguridad o por servicio o capacidad, mientras que otros se basan en la comodidad, confortabilidad o valores estéticos. La elección de criterios de diseño es muy importante en el proceso de Diseño Geométrico y es esencial que el diseñador tenga una buena comprensión de su origen y antecedentes. Un diseño cuidadosamente preparado, por un diseñador que tiene un buen conocimiento, no solo de los criterios, sino también de su origen y fundamento, y que realice una juiciosa aplicación de valores de la comunidad, podrá obtener el nivel deseado de servicio, seguridad y economía.

Para muchos elementos, una serie de dimensiones es dada y el diseñador tiene la responsabilidad de elegir el valor adecuado para un parámetro de diseño en particular. Un diseñador que tiene en mente trabajar con base en la economía, puede verse tentado a aplicar un valor mínimo o máximo, basado en un razonamiento de que mientras el valor esta dentro de un rango aceptable el diseño es satisfactorio. El diseñador puede encontrar conveniente reducir los valores de los criterios de diseño, siendo esta no necesariamente una mala opción. Sin embargo, las consecuencias deben ser completamente analizadas y comprendidas, especialmente en lo que se refiere a los impactos sobre la seguridad y la relación costo beneficio. Las medidas de alivio, tales como el uso de dispositivos de control de tráfico, deben ser necesariamente consideradas en el proceso de diseño.

Finalmente se debe resaltar la necesidad de obtener un diseño equilibrado en cuanto a los aspectos mencionados.

301.04.2 AUDITORÍAS DE SEGURIDAD VÍAL Y EL DISEÑO DE CARRETERAS

Como su nombre indica, la auditoria de seguridad vial es un proceso estructurado que reúne conocimientos especializados y explícitos en seguridad vial, que pueden ser cuantitativamente considerados para apoyar la concepción de un proyecto vial. Se trata de un examen formal de un proyecto futuro o ya existente, en el que una organización independiente con un equipo cualificado, elabora los informes sobre las posibilidades de accidentes y la seguridad de un proyecto.

Los beneficios de realizar una auditoría de seguridad vial son:

Una reducción en la probabilidad de accidentes en la red de carreteras.
Una reducción en la gravedad de los accidentes en la red de carreteras.
Una mayor conciencia de las prácticas de seguridad en el diseño de carreteras, asegurando un trabajo conjunto entre los ingenieros diseñadores y los de tráfico.

Una reducción en los gastos de las medidas correctivas.
Una reducción en el costo total de una carretera durante su ciclo de vida.

Las experiencias realizadas en Australia y Nueva Zelanda, han demostrado que la realización de auditorías de seguridad vial, reducen un cuatro por ciento el costo de un proyecto vial.

Sin embargo, es necesario equiparar este costo de los beneficios potenciales de la auditoria de seguridad vial, por ejemplo:

- Un ahorro de tiempo y costos al cambiar los detalles del proyecto en la fase de planificación y diseño, en lugar de modificar o eliminar un elemento de la vía una vez construido
- Una reducción en la probabilidad de accidentes y por lo tanto en los costos que conllevan los mismos
- Una reducción en los costos legales

Los objetivos de una auditoria de seguridad vial son:

- Identificar e informar sobre el peligro de accidentes y la seguridad de un proyecto vial
- Garantizar que se eliminen los elementos ya emplazados de una carretera, en sectores potenciales de accidentes
- Que el riesgo de accidentes sea reducido

La auditoria de seguridad vial puede ser realizada en cualquiera de las siguientes etapas, sin embargo mientras antes se realice será mejor:

- Primera Etapa: Diseño Preliminar
- Segunda Etapa: Fase de Anteproyecto
- Tercera Etapa: Fase de Diseño Final
- Cuarta Etapa: Fase de Construcción
- Quinta Etapa: Fase de Entrega Preliminar
- Sexta Etapa: Fase de Entrega Final y Puesta en Servicio

301.04.3 ANALÍSIS ECONÓMICO Y EL DISEÑO DE CARRETERAS O CAMINOS

Los análisis económicos forman parte intrínseca de cualquier proyecto de ingeniería civil en la que el "Valor Económico" es un concepto importante.

Las carreteras son esenciales para la movilización de personas y mercancías. Los beneficios de esta movilización alcanzan un costo. La construcción de una carretera tiene un costo de construcción y mantenimiento, consume espacio y afecta al medio ambiente, generan ruido y contaminación, etc. Todos estos con los costos de movilidad.

Al gastar más dinero en la construcción, otros costos pueden reducirse (por ejemplo, el tiempo de viaje se reduce). Asimismo, los gastos adicionales deben crear incrementos en los beneficios y reducciones en otros gastos. Los análisis económicos realizan una evaluación de compensaciones entre costos y beneficios.

El análisis aplicado a un camino puede ser muy complejo, dependiendo del alcance del proyecto. Muchas evaluaciones formales e informales pueden haber sido llevadas a cabo y las decisiones haber sido tomadas, antes de que el diseñador se involucre. En casos extremos el diseñador puede encontrarse muy limitado, por las decisiones ya adoptadas, que hay pocas o ninguna oportunidad de que él pueda juzgar costos y beneficios. Sin embargo, es tarea del diseñador incorporar criterios de planificación y diseño, siempre que esto sea posible. El diseñador también debe identificar situaciones en las que las decisiones adoptadas puedan limitar injustificadamente un óptimo diseño. Cuando se presentan de manera efectiva, las justificaciones realizadas por el diseñador, los cambios pueden afectar el plan de trabajo y el alcance de los proyectos, influyendo también esto en el cambio de las políticas actuales.

El Ingeniero en Diseño Geométrico de Carreteras, determina la alineación horizontal y vertical y la sección transversal en cada punto de la carretera. Asimismo, realizará una planificación especial en cada zona de intersección de vías, de manera de determinar los movimientos divergentes, convergentes y contradictorios del tráfico. En la selección de las dimensiones de diseño, el diseñador puede afectar directamente algunos de los beneficios, costos e impactos de la carretera y planificar su ensanchamiento futuro.

La particularidad de un profesional en diseño de carreteras, se debe ver reflejada en su capacidad de optimizar y prever que las decisiones adoptadas en el diseño repercutan en los beneficios, costos e impactos del proyecto.

Para la mayoría, si no todos, de los proyectos de carreteras, el diseñador tendrá cierto margen para emitir juicios de valor, aunque esto variará cuando existen decisiones de políticas ya realizadas.

Los factores en los que el diseñador puede influenciar con su criterio, son los siguientes:

- Movilidad
- Impactos Ambientales
- Seguridad
- Costos de Capital
- Estética
- Costos de mantenimiento
- Costos de operación del vehículo

Para influir respecto a estos factores, el diseñador se guiará por las decisiones de políticas de su competencia, tales como la importancia relativa de los costos de mantenimiento frente a los costos de capital o en el consumo de combustible y la contaminación del aire frente al costo de capital.

301.04.4 FLEXIBILIDAD EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA

Una revisión de las normas contenidas en este y otros manuales, revelará rápidamente que las mismas permiten cierto grado de flexibilidad en el diseño. El grado en que esta flexibilidad se emplea en el proceso de diseño es, de hecho, nada más que la aplicación de la técnica y la ciencia de la ingeniería.

En un intento de formalizar el proceso y orientar las decisiones adecuadas para el diseñador, el Departamento de Transportes de los Estados Unidos, publicó un informe en 1.997 titulado “Flexibilidad en el Diseño de la Autopista”.

Este documento se compone de tres secciones principales: Una introducción al proceso de diseño de carreteras, las directrices generales en referencia a los principales elementos de diseño de la carretera, y ejemplos de diseño de seis proyectos presentados como estudios para el caso.

Los conceptos descritos en el documento anteriormente mencionado, actualmente son comúnmente conocidos como “Diseño Sensible al Contexto”.

El concepto más importante a tener en cuenta durante todo el proceso de diseño de la carretera, es que cada proyecto es en verdad único. El valor y las características de una zona, las costumbres y valores de la comunidad que se encuentra en el área de influencia, sus necesidades, las necesidades de los usuarios de las carreteras, los desafíos físicos y sus oportunidades, son factores únicos que los diseñadores de carreteras deben tener en cuenta en cada proyecto.

Para cada proyecto, los diseñadores se enfrentan a la tarea de equilibrar la necesidad de mejora de la carretera con la necesidad de integrar en forma segura el diseño, en torno a los alrededores naturales y humanos.

Para lograr esto, los diseñadores de carreteras deben aplicar el concepto de “Flexibilidad en el Diseño”. Hay un número de opciones disponibles para ayudar en la consecución de un diseño vial equilibrado y para resolver los problemas de diseño. Entre ellos están los siguientes:

- Aplicar la flexibilidad disponible en cuanto a los estándares de diseño

- Las excepciones de diseño pueden ser necesarias, cuando las consecuencias de impacto ambiental son grandes
- Volver a evaluar las decisiones tomadas en la etapa de planificación del proyecto y en la fase de evaluación de impacto ambiental
- Bajar la velocidad de diseño, cuando sea apropiado
- Mantener la geometría horizontal y vertical de la carretera existente y la sección transversal, donde sea posible
- Considerar la elaboración de normas de diseño alternativas, especialmente para las carreteras turísticas o históricas
- Analizar la seguridad y la operabilidad para diseños futuros o modificaciones al diseño propuesto

Además de aplicar el concepto de flexibilidad, un proceso exitoso de diseño de carreteras, debe incluir la opinión pública. Para que esta sea eficaz, debe realizarse un sondeo de opinión incluso antes de identificar la necesidad de implementación del proyecto. Si el propósito principal y la necesidad de la mejora no han sido acordados, será muy difícil arribar a un consenso posterior. La opinión pública puede ayudar a evaluar las características de la zona y determinar las necesidades más valoradas por la comunidad, arribando con ello a un potencial impacto sobre la población. El conocimiento de estas características evaluadas de manera temprana, apoyara a que los criterios aplicados por los proyectistas, no sufran cambios durante el proyecto.

Luego de trabajar con la comunidad en la definición de las necesidades básicas del proyecto y tras haber evaluado las características físicas de la zona, la participación de los pobladores es necesaria para obtener datos para las alternativas de diseño. Trabajar con la comunidad afectada para resolver problemas de diseño a medida que surgen, es mucho más eficaz que intentar que estos participen cuando las decisiones de diseño ya han sido tomadas. Se debe hacer lo posible para que la comunidad participe en todas las zonas donde se identifiquen alternativas de cambio sobre el trazo existente o alternativas de trazo nuevas.

Una de las principales fuentes de permanente conflicto entre las carreteras y las comunidades a las que sirven, se relaciona con el tema de la clasificación funcional. En particular, la necesidad de identificarla "correcta" clasificación funcional de un tramo carretero, resolvería los conflictos potenciales de diseño antes de que estos tengan lugar.

Esta correcta clasificación puede realizarse haciendo revisiones de la clasificación funcional, en función del uso de la tierra adyacente al lugar de emplazamiento de la carretera.

Hay una serie de controles fundamentales que deben ser equilibrados unos con otros a objeto de obtener un mejor diseño. Estos controles incluyen:

- La velocidad de diseño de la carretera
- El año de Diseño y el nivel de servicio para la hora pico de la carretera
- Las características físicas del vehículo de diseño
- Las características de rendimiento del vehículo de diseño
- Las costumbres y capacidades del conductor de la carretera
- La demanda de tráfico actual y futuro

301.04.5 MODELO INTERACTIVO (IHSDM)

El modelo interactivo (IHSDM), es un conjunto de módulos informáticos elaborados en entorno CAD, que se encuentra actualmente en desarrollo por la Federal Highway Administration de los Estados Unidos de Norteamérica. Una vez complementado, los diseñadores contarán con una potente herramienta que ayudará a evaluar los efectos de la seguridad en cuanto a las decisiones de Diseño Geométrico aplicadas.

El modelo se compone de seis módulos y será aplicado, según los planes actuales, a carreteras de dos carriles. Estos módulos son:

- Modulo de predicción de choques
- Módulo de consistencia en el diseño
- Módulo de comportamiento conductor/vehículo
- Módulo de revisión y diagnostico para intersecciones
- Módulo de revisión de políticas de diseño
- Módulo de análisis de tránsito

301.04.5.(a) Modulo de predicción de choques

Este modulo ha sido concebido con el objeto de estimar las potenciales zonas de choque en una alternativa de diseño, incluyendo todos los segmentos de carretera y sus intersecciones.

Se realizaran estimaciones cuantitativas, incluyendo el número de accidentes de un determinado segmento de carretera o intersección, así como los porcentajes de accidentes graves y mortales.

El módulo permitirá a los usuarios comparar el número de accidentes durante un período de tiempo determinado para diferentes alternativas de diseño o para realizar análisis de sensibilidad en una sola alternativa.

301.04.5.(b) Modulo de consistencia en el diseño

En este módulo se evalúa la consistencia de la velocidad de operación en carreteras de dos carriles. La evaluación se realiza mediante un modelo de perfil de velocidad que establece las estimaciones de velocidades 85% (85 percentil), de cada elemento a lo largo de una alineación. El módulo genera dos coherencias de las medidas de calificación.

La diferencia entre las velocidades estimadas 85 percentil y la velocidad de diseño de la carretera.

La reducción de la velocidad 85 percentil entre cada par, tangente y curva.

El módulo constará de un modelo de perfil de velocidad y las medidas de calificación de coherencia que han sido validadas y son aplicables a la mayoría de las carreteras de dos carriles en los Estados Unidos.

301.04.5.(c) Módulo de comportamiento conductor/vehículo

Este módulo consiste en la implementación de un controlador de funcionamiento del modelo vinculado a un modelo de la dinámica del vehículo. El rendimiento del conductor se ve influenciado por el sistema de señalización de la carretera y el sistema del vehículo, es decir, los conductores tienden a modificar su comportamiento en base a la información que se tiene en el vehículo y la carretera.

A su vez, el rendimiento del vehículo se ve afectado por el rendimiento de conductor. El controlador del rendimiento en el modelo, estimará la velocidad y la trayectoria que un conductor aplicará a lo largo de una ruta de dos carriles en ausencia de tráfico. Estas estimaciones servirán de datos de entrada para el modelo de dinámica del vehículo, que estimará medidas como la aceleración lateral, la demanda de fricción y el momento de vuelco.

El modelo conductor/vehículo, producirá los siguientes resultados o valores que servirán de referencia para efectos de comparación:

- Aceleración lateral en comparación con la demanda de fricción y el momento de vuelco
- La demanda de fricción en comparación con el momento de arrastre
- Momento de arrastre en comparación con el momento de vuelco
- La velocidad estimada del vehículo, en comparación con la velocidad que genera disconformidad, arrastre y vuelco
- Trayectoria del vehículo con respecto a los alineamientos del carril

301.04.5.(d) Módulo de revisión y diagnostico para intersecciones

Este módulo se utiliza para evaluar el diseño geométrico de las intersecciones a nivel en carreteras de dos carriles y para identificar los tratamientos posibles de seguridad.

El modulo de revisión y diagnostico para intersecciones, incorpora las políticas de diseño establecidas por la AASHTO en el documento conocido como Green Book (Libro Verde), así como las políticas, criterios y directrices de diseño basadas en investigaciones pasadas y la opinión de expertos en el tema. El objetivo principal es identificar las combinaciones de elementos de diseño geométrico que se consideran como posibles deficiencias del diseño, aún cuando cada elemento, considerado aisladamente, pueda encontrarse dentro de lo estimado como buena práctica de diseño.

301.04.5.(e) Módulo de revisión de políticas de diseño

Este módulo está diseñado para utilizarse en todas las etapas de la planificación del diseño de carreteras, incluyendo la revisión del diseño, tanto para nuevos proyectos como para proyectos de reconstrucción. Los elementos de diseño que no se encuentran en conformidad con las políticas planteadas serán identificados y se proporcionará una explicación de la política no aplicada. En respuesta a esta información, el usuario puede corregir cualquier deficiencia y/o analizar el diseño con otros módulos del IHSDM y preparar una solicitud de excepción para el diseño. Un resumen de la revisión de las políticas, será proporcionado, incluyendo una lista de todos los elementos de diseño que no se ajusten a los requerimientos. Las categorías de elementos de diseño que deben verificarse son:

- La alineación horizontal
- El alineamiento vertical
- La sección transversal
- Las intersecciones
- Distancias de visibilidad
- Control de accesos

El módulo de revisión de políticas de diseño, notificará a los diseñadores, de los elementos que se aparten de los valores mínimos o máximos establecidos en el libro verde de la AASHTO, la guía de diseño de carreteras y la guía para el desarrollo de ciclovías. El módulo también tendrá la capacidad de revisión para los diseños relativos a alternativas.

301.04.5.(f) Módulo de análisis de tránsito

El módulo análisis del tránsito estima lo efectos operacionales de los diseños viales bajo las demandas actuales y proyectadas.

El módulo sirve de enlace entre los datos de la geometría de la carretera con un modelo de simulación de tráfico, y proporciona información sobre la velocidad, tiempo de viaje, retrasos, el índice de aprobación, porcentaje siguiente de vehículos, los conflictos de tráfico y otras medidas de seguridad sustitutivas.

El software TWOPAS, que es un modelo de simulación de tráfico en carreteras de dos carriles, forma parte de la base para este módulo.

301.04.6 INGENIERIA DE VALOR

El diseño de carreteras se realiza generalmente en un ambiente de presupuesto limitado, donde con el menor costo se debe abarcar la mayor cantidad posible de kilómetros de carretera. Por esta razón, los diseñadores se encuentran bajo una considerable presión de asegurar la minimización de los costos.

Si bien la economía y la eficiencia fiscal es un objetivo clave en todos los diseños, es esencial realizar un análisis exhaustivo de los parámetros de diseño a ser aplicados, así como una evaluación pormenorizada en cuanto a la seguridad, costos de construcción y mantenimiento, impacto ambiental y los impactos operacionales.

Un método de análisis de lo anteriormente expuesto, es el concepto de “Ingeniería de Valor”, que es una técnica de gestión probada, basada en un estudio exhaustivo y sistemático que apunte al establecimiento de proyectos que cuenten con el mejor equilibrio entre su costo, su seguridad y su rendimiento.

En el contexto del Diseño de Carreteras, lo que significa la introducción del concepto de “Ingeniería de Valor”, debería ser más que una simple manera de reducir al mínimo los costos de construcción, debería significar la aplicación de conceptos de seguridad, rendimiento operativo y calidad. De hecho, la “Ingeniería de Valor” puede, y a veces lo hace, mejorar los costos de construcción de manera de reducir los costos durante el ciclo de vida.

Más y más autoridades, están utilizando el concepto de “Ingeniería de Valor” a objeto de obtener costos de diseño de mayor eficacia. Si se aplica correctamente este concepto, será un aporte valioso para el proceso de diseño funcional, donde se evalúan de forma explícita y cuantitativa, la gama completa de los costos que intervienen en el ciclo de vida, así como sus beneficios.

Ingenieros de diseño que actúan de manera independiente dentro de un equipo de diseño, a menudo no aplican el concepto de “Ingeniería de Valor”. El concepto debe ser aplicable en todo momento y a lo largo de todo el diseño, por todos los que conforman el equipo de diseño. Si se cumple ello, la aplicación independiente del concepto de “Ingeniería de Valor” se hará menos necesaria.

SECCIÓN 401 - CLASIFICACIÓN DE LA RED VIAL

401.01 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE UNA CARRETERA O CAMINO

401.01.1 CLASIFICACIÓN DE LOS FACTORES

401.01.1.(a) Aspectos Generales

Se ha establecido que existen muchos factores que influyen en diferentes grados al diseño de una carretera, los cuales no pueden ser considerados en justa proporción al momento de la elaboración del proyecto.

401.01.1.(b) Factores Funcionales

Los factores funcionales tienen relación con el servicio para el cual la carretera debe ser diseñada, entre estos se tienen los siguientes:

a) Función que cumple la carretera
b) Volumen de transito inicial y futuro, su composición y características
c) Velocidad de Proyecto y Velocidad de Operación
d) Seguridad para los usuarios
e) Relación con otras vías y la propiedad colindante

401.01.1.(c) Factores Físicos

Los factores físicos en carreteras, son aquellos que se relacionan con las condiciones impuestas por la naturaleza en la zona del trazado, los principales factores de este tipo son:

a) Relieve, condiciones topográficas
b) Hidrografía
c) Geología
d) Clima

401.01.1.(d) Factores Económicos o de Costo

Es de mucha importancia considerar los factores de carácter económico, que atañen tanto al costo de construcción de la carretera como al costo de explotación de la misma. La minimización de ambos costos en consonancia con los factores anteriormente tratados proporcionaran la solución al diseño óptimo de la carretera**.**

Los costos obtenidos para la construcción de una carretera, son consecuencia de la categoría de diseño adoptada para ella. Esta relación es tan directa que muchas veces actúa como un criterio realimentador que obliga a modificar decisiones anteriormente adoptadas respecto de las características asignadas a un Proyecto.

401.01.1.(e) Factores Humanos y Ambientales

Todo diseño de carreteras debe ser realizado sin duda alguna en relación con las características de la comunidad a la que se pretende servir y el medio ambiente en que ésta se encuentra inserta.

Factores humanos y ambientales que influyen en mayor grado las decisiones en relación a un Proyecto de carreteras son por ejemplo los siguientes:

a) Idiosincrasia de usuarios y peatones
b) Uso de la tierra adyacente al eje vial
c) Actividad de la zona de influencia
d) Aspectos ambientales-impacto y mitigación

Es importante que el proyectista a tiempo de realizar el diseño encomendado, tome en cuenta estos factores que son indispensables en el desarrollo del proyecto.

401.01.2 PONDERACIÓN CUALITATIVA DE LOS FACTORES MÁS RELEVANTES

Los diversos factores mencionados con anterioridad se influencian entre si y adquieren mayor relevancia según sea la función asignada a la carretera y las características del entorno en que ésta se encuentra.

Aunque han existido buenas intenciones para obtener criterios o metodologías que permitan considerar una exacta ponderación de estos factores, el hecho no ha sido posible. Es por eso que a continuación tan solo destacamos los aspectos que por lo general, influyen en mayor grado, las decisiones a adoptar en relación a un proyecto específico.

El tipo y calidad de servicio que la carretera debe brindar al usuario y a la comunidad nacional regional o local, según corresponda, debe definirse en forma clara y objetiva, ya que de ello dependerá la categoría asignada al proyecto y las eventuales restricciones que deberán imponerse al usuario y a los habitantes y centros de actividad económica de la zona de influencia.

La seguridad para el usuario y para aquéllos que de algún modo se relacionen con la carretera constituye un factor fundamental que no debe ser negociado por consideraciones de otro orden.

La inversión inicial en una carretera es sólo uno de los factores de costo y debe ser siempre ponderado conjuntamente con los costos de conservación y operación a lo largo de la vida de la obra.

La acertada selección de la categoría que le corresponde a un proyecto específico, así como la correcta aplicación de las técnicas de diseño permiten, mediante un tratamiento cuidadoso de los sectores conflictivos, obtener un equilibrio óptimo entre seguridad deseable, calidad de servicio y rentabilidad social del proyecto.

La oportuna consideración del impacto de un proyecto sobre el medio ambiente; permite evitar o minimizar daños que en otras circunstancias se vuelven irreparables. Por otra parte la compatibilización de los aspectos técnicos con los aspectos estéticos, está normalmente asociada a una más alta calidad final del proyecto.

401.02 CRITERIOS PARA DEFINIR LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA CARRETERA O CAMINO

401.02.1 ASPECTOS GENERALES

Carretera es el término utilizado para referirse a Autopistas, Multicarriles, Bidireccionales, Colectores, Locales y de Desarrollo, se emplearan según corresponda, en la designación de vías de características de diseño altas, adecuadas para acomodar importantes volúmenes de tránsito de paso circulando a velocidades elevadas, y que cuenten con pavimento de tipo superior, también serán designadas así, las vías de características geométricas medias y mínimas, adecuadas para dar servicio a volúmenes moderados y bajos de tránsito, cuya función principal consiste en dar acceso a la propiedad adyacente, en este último caso las vías podrán llevar también la denominación de Camino.

401.02.2 FUNCIÓN DE LA CARRETERA O CAMINO

La carretera es una infraestructura de transporte que tiene como finalidad permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación o uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma.

Al realizar el diseño de una carretera, interesa posibilitar velocidades de desplazamiento elevadas, que puedan ser mantenidas a lo largo de toda la carretera en condiciones seguras. Para que se justifiquen económicamente las inversiones que implica la infraestructura asociada a este tipo de servicio, se requerirán demandas de tránsito elevadas como promedio diario anual. Los elevados volúmenes de tránsito a que se hace referencia obligan, normalmente a pasar de carreteras de dos carriles para tránsito bidireccional a carreteras de cuatro o más carriles destinadas a tránsito unidireccional. Esta definición debe ser tomada con el objeto de evitar problemas de congestión que invalidan la función asignada, para permitir tránsito ininterrumpido a elevados volúmenes de demanda en los que coexistirán vehículos rápidos y lentos (automóviles y camiones), sin que unos restrinjan la libertad de maniobra y selección de velocidad deseadas por los otros. En estos casos resulta indispensable restringir el acceso hacia o desde la propiedad colindante y dar un tratamiento especial al cruce de la carretera con otras vías de tránsito. Normalmente este tipo de Carreteras está destinado a viajes largos y su importancia es de orden nacional o al menos interregional; el porcentaje de kilómetros respecto del total de la red es bajo.

En el caso de carreteras cuya función primordial es la de dar acceso a la propiedad colindante deberá permitirse todos los movimientos que ello implica, con la consecuente restricción impuesta a los vehículos en tránsito. Su zona de influencia es limitada y por ende los volúmenes de tránsito que los solicitan no pasan de algunos cientos como promedio diario anual. La longitud de los viajes en este tipo de caminos suele ser corta, ya que normalmente ellos empalman con otras vías de categoría superior.

La función que cumplen, así como los bajos volúmenes de tránsito que los utilizan obligan, por consideraciones económicas y de seguridad para usuarios y habitantes de la propiedad colindante, a considerar velocidades de desplazamiento por lo general moderadas a bajas.

Estas carreteras rara vez llegan a presentar problemas de congestión, pero es común que la evolución de tránsito en una carretera inicialmente construida con capa de grava llegue a justificar una superficie de rodadura pavimentada situación que debe tenerse presente al seleccionar sus características geométricas de diseño. Dentro de la Clasificación Funcional para Diseño este tipo de vías corresponde a las categorías que se han denominado como Carreteras Locales y de Desarrollo.

Cuando el servicio al tránsito de paso y a la propiedad colindante presenta similar importancia y además acceden a ella numerosos caminos de tipo local o de desarrollo, se enfrenta una situación intermedia respecto de las antes descritas. En efecto, los volúmenes de tránsito pueden fluctuar entre varios cientos y algunos miles de vehículos, pudiendo preverse en algunos casos problemas de congestión que obliguen a consultar ampliaciones a lo largo de la vida económica de la carretera.

La Velocidad de Operación deseable en este tipo de caminos será mayor que en los caminos de tipo local, pero en razón de su función mixta no podrá ser tan alta como en Carreteras Bidireccionales, Multicarril y Autopistas. Por otra parte según sean los volúmenes de tránsito previstos, el acceso a la propiedad puede verse restringido en cierta medida y el empalme o cruce con otros caminos requerir un tratamiento especial.

Este tipo de vías cumple una función de colector de tránsito. En caso de existir Carreteras Bidireccionales o eventualmente Autopista en la zona de influencia de la Carretera Colectora, será éste el que se conecte con dichas vías mediante las obras especiales de intercambio de tránsito.

401.02.3 DEMANDA Y CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO

401.02.3.(a) Aspectos Generales

Para seleccionar la categoría que se debe dar a una determinada vía, es indispensable tener una acertada predicción de los volúmenes de demanda, su composición y la evolución que estas variables puedan experimentar a lo largo de la vida de diseño.

A continuación se describen los principales indicadores que intervendrá en el proceso de selección de la categoría de la vía.

401.02.3.(b) Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

El Tránsito Promedio Diario Anual, es la representación del promedio aritmético de los volúmenes diarios de tráfico para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía. Su conocimiento da una idea cuantitativa de la importancia de la carretera en la sección considerada.

401.02.4 CONCEPTOS RELATIVOS A VELOCIDAD EN EL DISEÑO VIAL

401.02.4.(a) Velocidad de Proyecto (Vp)

La velocidad de proyecto de una carretera es la velocidad que se escoge para determinar y relacionar entre sí las características geométricas o físicas de la misma, tales como el peralte, la visibilidad, el radio de curvatura, etc. Constituyendo a la velocidad máxima según las condiciones favorables que adoptan los conductores dependiendo de las características óptimas de la carretera.

Por tanto esta velocidad es la que se debe utilizar para definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad, elementos 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 geométricas mínimas, el que además deberá estar debidamente señalizado.

En consecuencia, el concepto Velocidad de Proyecto se usará para efectos del Sistema de Clasificación Funcional para Diseño, a fin de indicar el estándar global asociado a la carretera y para definir los parámetros mínimos aceptables bajo condiciones bien definidas.

401.02.4.(b) Velocidad Específica (Ve)

La velocidad específica es la máxima velocidad a la que un vehículo puede circular por un elemento del trazado considerado individualmente en condiciones de seguridad y comodidad, encontrándose el pavimento húmedo, los neumáticos en buen estado y sin que existan condiciones meteorológicas, del tránsito, del estado del pavimento o del entorno de la vía que impongan limitaciones a la velocidad.

La Velocidad Especifica se aplica a los elementos curvos de la planta. Su divergencia con el antiguo concepto de Velocidad de Diseño, surge de la adopción de leyes de variación del peralte que en vez de disminuirlo ante radios crecientes, lo mantienen relativamente alto para un rango amplio de los mismos, confiriendo mayor seguridad ante velocidades de circulación mayores que las de proyecto, situación que es consecuente con la tendencia de los usuarios a elevar la velocidad ante trazados amplios.

En el caso particular de los elementos curvos la Ve debe entenderse como la máxima velocidad a la que se puede recorrer una curva horizontal de radio y peralte dado, haciendo uso de la máxima fricción transversal especificada para dicha velocidad en condiciones de pavimento húmedo, neumáticos en razonable buen estado y condiciones de flujo libre, según se expone en Sección 401.02.9(c), el coeficiente de rozamiento transversal recomendado es menor que el máximo usado antiguamente a partir de velocidades sobre 70 km/h.

401.02.4.(c) Velocidad de Operación (Vop)

La velocidad de operación es la velocidad media de desplazamiento que pueden lograr los usuarios en una carretera con una velocidad de diseño dada, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y grado de relación de ésta con otras vías y con la propiedad adyacente. Si el tránsito y la interferencia son bajas, la velocidad de operación puede llegar a ser muy similar a la velocidad de diseño. A medida que el tránsito crece, la interferencia entre vehículos aumenta tendiendo a bajar la velocidad de operación del conjunto. Este concepto es básico para evaluar la calidad del servicio que brinda una carretera, así como parámetro de comparación entre una vía existente con características similares a una vía en proyecto a fin de seleccionar una velocidad de diseño lo más acorde con el servicio que se desee brindar.

401.02.4.(d) Velocidad Percentil 85 (V85%)

El percentil 85 juega un papel fundamental en ingeniería de tránsito, la velocidad denominada 85% percentil es aquella que no es superada por el 85% de los usuarios en un tramo de características homogéneas, bajo las condiciones de tránsito prevalecientes, estado del pavimento, meteorológica y grado de relación de este con otras vías y con la propiedad adyacente. Cuando dichas condiciones no imponen restricciones, la V85% suele ser mayor que la Velocidad de Proyecto, independientemente de si la Velocidad de Proyecto está señalizada, corresponde a la máxima legal. En consecuencia el 85% de los usuarios circula a la V85% o menos y un 15% de los usuarios supera dicha velocidad.

Según los estudios hechos en distintos países, si para condiciones de flujo libre se representa en ordenadas el porcentaje acumulado de usuarios que circula a una velocidad menor o igual que “X” y en abscisas la velocidad de circulación, resulta una curva en forma S inclinada que ilustra la distribución de velocidades. En la medida que aumenta el flujo, la curva se desplaza hacia atrás, sin embargo las velocidades máximas de unos pocos usuarios (V99%), se mantienen siempre muy elevadas.

Si se realiza una comparación entre las velocidades de bajada con las de subida se tiene como resultado que el efecto de la pendiente hasta un 4 a 5% en general no es significativo y solo se hace perceptible para las velocidades máximas absolutas (V99%) en condiciones de flujo libre (100 - 750 Veq/h).

Para el flujo 100 - 350 Veq/h casi no hay diferencia en las velocidades de subida y bajada para los percentiles 50 y 85 y la V50% es prácticamente igual a la Velocidad de Operación estimada, la V85% supera dicha velocidad calculada para el tramo en 8 y 6 km/h y la V99% en 20 y 30 km/h, siendo el valor mayor para el flujo de subida. Es decir la velocidad posible de los vehículos livianos existentes hoy en día, casi no está limitada por las pendientes si el usuario está dispuesto a correr el riesgo.

Para los flujos de subida, los mayores volúmenes de tránsito afectan los valores de la V50% y V85%, no así en el caso de la V99%.

Países como el Reino Unido, Alemania y Suiza ha elaborado modelos de predicción de la V85% según sean las características de la carretera, en especial para el caso de carreteras bidireccionales.
En el caso del Reino Unido se ha adoptado como representativa de su realidad la siguiente relación entre los diversos percentiles.

V85% V99%
V50% V85% = 1,19

No se indica sin embargo que relación existiría entre la V50% y la Velocidad de Proyecto de las carreteras.

En España existen datos de una investigación llevada a cabo por CEDEX en 1.993 que indican órdenes de magnitud para diferentes tipos de carreteras, clasificadas según su sección transversal. Se hace notar que en España la velocidad máxima legal en Autopistas y Autovías es de 120 km/h y en el resto de las carreteras de 100 y 90 km/h, salvo señalización en contrario.

La sola comparación de los datos del Reino Unido con los de España en cuanto a la relación entre percentiles, muestra que tan diferente puede ser la realidad de un país a otro, por ello no parece recomendable adoptar un modelo de predicción desarrollado en otros países sin antes estudiar detenidamente la realidad nacional

401.02.4.(e) Velocidades de Proyecto según Categoría de la Obra Vial

La Velocidad de Proyecto fija el marco de referencia mínimo que define el diseño geométrico de una carretera, principalmente en lo relativo a su trazado horizontal y vertical.

La Velocidad de Proyecto seleccionada para un proyecto de categoría dada dependerá fundamentalmente de la función asignada a la carretera, del volumen y composición del tránsito previsto, de la topografía de la zona de emplazamiento y del diferencial de costo que implica seleccionar una u otra velocidad de proyecto dentro del rango posible considerado para la categoría. En definitiva, la elección de una Velocidad de Proyecto que se aparte de la óptima se reflejará en una disminución de la rentabilidad del proyecto.

Dentro del rango de velocidades posibles para cada categoría de carretera se justificarán las más altas en terrenos llanos o ligeramente ondulados y las más bajas para otro tipo de relieves. Esto no sólo por las consideraciones de costo ya expuestas, sino que también porque el usuario está mejor dispuesto a aceptar velocidades menores cuando el terreno es difícil y el trazado necesariamente sinuoso, que cuando no encuentra una razón evidente para ello.

Por lo anteriormente expuesto si un sector extenso de la carretera, que pueda llegar a ser pavimentado, se emplaza en un terreno muy favorable, sus elementos deberán proyectarse con valores más amplios, correspondientes a unos 10 a 20 km/h por sobre la Velocidad de Proyecto que le corresponde a la carretera considerando su función y volumen de demanda general, a fin de evitar que cuando la carretera se pavimente los usuarios traten de alcanzar esas velocidades en un trazado que no las acepta.

Ahora bien, al cambiar la características del sector y pasar a un terreno difícil que obliga a retornar a las características propias de la velocidad de proyecto general asignada a la carretera, se debe diseñar cuidadosamente una zona de transición en que los elementos críticos (curvas en planta, distancia de visibilidad, etc.) vayan disminuyendo en forma paulatina a lo largo de varios elementos del trazado hasta recuperar lo valores normales correspondientes a la Vp propia de camino.

401.02.5 CONTROL DE ACCESO

401.02.5.(a) Aspectos Generales

El control de acceso es la acción por la cual se limita parcial o totalmente, el derecho de los dueños ocupantes de la propiedad adyacente o de las personas en tránsito a acceder a una carretera y por la cual se regulan las modificaciones que pueda experimentar el goce de la luz, el aire y la vista existente antes de la construcción de la carretera.

Aspectos a tomar en cuenta son los siguientes:

Corresponde en Autopistas el régimen de Control Total de Acceso, que exige que ellas no tengan acceso directo más que a través de enlaces debidamente proyectados para conectarse con Carreteras Multicarril, Bidireccionales y otras.

Para este fin las Autopistas deberán contar con cercos de malla a todo lo largo del trazado, que eviten el ingreso de peatones y animales. La distancia mínima entre enlaces estará regulada y se rechazan los accesos direccionales.

Las carreteras Multicarril deberán contar con Control Total de Acceso respecto de los vehículos, pero la distancia entre enlaces será regulada en cada caso por la Dirección de Vialidad, dependiendo de las circunstancias. Se aceptarán los accesos direccionales. Es deseable que las carreteras Multicarril posean también cercos de malla a todo lo largo si ese no fuere el caso, deberán construirse los cercos 750 m antes y después de la estructura del enlace y en todas las zonas cuyo desarrollo lateral aumente la probabilidad de ingreso a la carretera de peatones y animales.

En carreteras Bidireccionales se debe establecer Control Parcial de Acceso pudiendo tener algunos accesos directos a través de intersecciones debidamente proyectadas, conectándose así a otras Carreteras. El número de accesos directos deberá reducirse a un mínimo según se especifica más adelante.

401.02.5.(b) Accesos Directos

Cuando una carretera bidireccional cruce un área urbana la frecuencia media de accesos directos no deberá sobrepasar uno cada 1.000 m, pudiendo variar esta distancia entre 750 y 1.500 m, según la densidad de la red urbana, la existencia de enlaces, etc. En áreas rurales se procurará evitar accesos a menos de 2.500 m. En áreas suburbanas el distanciamiento mínimo podrá reducirse a 1.500 m.

En áreas rurales se deberán tener presente los siguientes criterios generales respecto de la forma de implementar el control parcial de acceso:

- Cuando las propiedades tengan acceso a una vía pública existente o a una carretera Bidireccional, no se autorizará acceso directo a la carretera más que por las intersecciones de uso público construidas para tal objeto.

- Si existen varias propiedades contiguas que tras la construcción de la carretera quedan aisladas de toda la vía pública se construirá para dichas propiedades una conexión con otra vía pública.

- Cuando las propiedades aisladas tengan un frente a la carretera, mayor de 1.500 m, se permitirá un acceso directo a la carretera por propiedad y toda vez que sea posible se procurará dar un acceso común para dos propiedades. En estos casos la incorporación o salida desde o hacia la carretera deberá ser sólo en el sentido del tránsito correspondiente a la calzada o carril de tránsito adyacente al acceso. Los cambios de dirección de recorrido deberán ejecutarse en las zonas especialmente diseñadas para ello (enlaces, intersecciones, zonas de giro en U en cantero central ensanchado).

401.02.5.(c) Caminos Laterales o de Servicios

Un camino lateral es aquel que se construye adyacente a una Autopista Multicarril o carretera Bidireccional para servir a objetivos tales como el de Controlar de manera efectiva el acceso a vías de alta velocidad, procurando la seguridad y libertad de circulación de paso, asimismo esta vía proveerá acceso a la propiedad colindante, restituirá la continuidad del sistema de carreteras o calles previamente existentes y evitará recorridos excesivamente largos, provocados por la construcción de la vía de alta velocidad.

Un camino lateral se justifica económicamente si su costo es menor que el de proveer acceso desde otro camino público o resulta más barato que adquirir la totalidad de la propiedad afectada.

401.02.5.(d) Control de Acceso y Nuevos Trazados

Las nuevas carreteras deberán ser diseñadas, en lo posible, da tal manera que las propiedades divididas puedan tener acceso a la red de carreteras locales, esto con el objeto de evitar la construcción de caminos laterales. Cuando una propiedad quede aislada entre la carretera y algún accidente geográfico (río, lago, cerro, etc.) será preferible expropiar el terreno en su totalidad, si esto resulta más económico que la construcción de un camino de servicio especial.

401.02.5.(e) Control de Acceso y Caminos Existentes

En carreteras Bidireccionales en las cuales su desarrollo deba generarse a lo largo de caminos existentes, se analizará la posibilidad de dejar éstos como Caminos Laterales. Si los accesos del costado opuesto de la carretera no pueden proveerse de otra manera, se proyectará otro camino de servicio.

401.02.5.(f) Materialización del Control de Acceso

Para asegurar que una carretera a la que se le otorga control total o parcial de acceso permanezca bajo esa característica, deberán proyectarse e instalarse barreras, rejas o cercos adecuados.

401.02.5. (g) Instalaciones a los Costados del Trazado

401.02.5.(g1) Aspectos Generales

La actividad que se desarrolla en una carretera, da origen a una serie de instalaciones auxiliares, las que deben proyectarse y ubicarse de modo que no atenten contra la seguridad. En carreteras con control de acceso deberán respetarse las normas antes especificadas, aún cuando la instalación en particular tenga una estrecha relación con la actividad que se desarrolla en la carretera. Los tipos de instalaciones más corrientes son:

- Refugios para los viajeros que utilizan los medios de locomoción colectiva urbana y rural En carreteras que admiten detenciones reguladas, Paradas de Ómnibus
- Casetas telefónicas, destinadas a los usuarios que se encuentran en dificultades (especialmente en las Autopistas y Carreteras Multicarril)
- Estaciones de control de peaje y pesaje de camiones
- Estaciones gasolineras, lubricantes y atención mecánica
- Puestos de Control Policial
- Restaurantes, moteles u hoteles
- Aduanas
- Lugares de descanso y miradores

401.02.5.(g2) Frecuencia de instalaciones en carreteras con control de acceso

Es muy importante que las instalaciones no tengan una proliferación excesiva, ellas deben establecerse ahí donde tengan una clara justificación por la distancia a los centros poblados. Por lo general, restaurantes y hoteles deberán estar más o menos a 25 Km.

Las estaciones gasolineras y de servicios se colocarán de acuerdo a la intensidad del tránsito tratando de que coincidan con la ubicación de restaurantes y hoteles. Las casetas telefónicas en las Autopistas y Carreteras Multicarril se colocarán cada 2 Km. La existencia de enlaces con centros poblados a menos de 500 m de la carretera y las Instalaciones con accesos especialmente diseñados, permitirán espaciar las casetas telefónicas. La localización de cualquier instalación deberá anunciarse anticipadamente mediante señales informativas diseñadas en conformidad con las disposiciones del organismo rector, de manera que el conductor no sea sorprendido y ejecute maniobras rápidas que pueden resultar peligrosas.

401.02.5.(g3) Instalaciones Dentro de la Franja de Dominio

Dentro de la franja de dominio solo se permitirá la construcción de refugios para viajeros, casetas telefónicas, lugares de descanso, miradores, estaciones de control de peaje y de pesaje de camiones, Las instalaciones definitivas para la policía y puestos aduaneros deben quedar ubicados fuera de ésta.

401.02.5.(g4) Instalaciones Fuera de la Franja de Dominio

Instalación con fines de lucro se encuentran prohibidas de ser emplazadas en esta zona, las mismas deberán estar ubicadas fuera de la faja de dominio aún cuando preste servicio directo a los usuarios del camino. En carreteras con control de acceso deberán contar con la autorización previa y proyecto de conexión aprobado por el ente rector.

401.02.5.(g5) Utilización Ventajosa de Intersecciones y Enlaces

El proyectista y el ente rector al momento de autorizar el emplazamiento de Puestos de Control de Policía y de Mantenimiento de la Carretera deberán considerar las ventajas que ofrece que este tipo de instalaciones queden ubicadas en las cercanías de los cruces, en lo posible fuera de la franja de dominio y sin acceso directo a la carretera, en el caso de las Autopistas esta situación facilitará los giros y movimientos al mismo tiempo que aumentará el servicio que prestan. En las zonas al interior de los enlaces no se admitirá ningún tipo de instalación.

401.02.5.(g6) Conexiones a la Calzada

Todas las conexiones de las instalaciones indicadas o cualquier otra de servicio público o privado deberán construirse de acuerdo a las normas que rigen para la clase de carretera. En las Carreteras principales (Autopistas, Multicarril y Bidireccionales) se diseñarán carriles auxiliares de deceleración y aceleración. En carreteras de menor importancia la conexión deberá tener el mismo tipo de pavimento que el de la carretera principal y eventualmente se dotará de carriles de cambio de velocidad, si el nivel de tránsito y las características del emplazamiento (visibilidad, pendientes, etc.) así lo requiere, sólo se permitirá un carril de entrada y otro de salida. En carreteras con Control de Acceso no se permitirá el cruce del cantero central para pasar de una calzada a la otra.

401.02.5.(g7) Obstrucciones a la Visibilidad

Construcciones, arborización y otros elementos que forman parte de las instalaciones, no deberán obstruir o limitar la visibilidad de la carretera, en especial si se prevé un futuro ensanche de carriles.

401.02.5.(g8) Letreros Comerciales

Las carreteras del país, cada vez se ven más afectadas por la invasión de letreros comerciales, que a más de incrementar la contaminación visual, son generadoras de una amenaza potencial a la seguridad de los usuarios de la carretera. El uso de estos elementos reduce la visibilidad y la eficacia de las señales reglamentarias, ya sea al encandilar a los usuarios de las carreteras o de atraer su atención en condiciones peligrosas para la seguridad vial.

Los criterios generales a considerar, deben ser coherentes con los siguientes principios.

Fomentar una política que restrinja la colocación de carteles o letreros de propaganda general, cuya proliferación distrae a los conductores y atenta contra la seguridad de la circulación, en particular en zonas de curvas horizontales, verticales y puntos singulares, tales como Intersecciones y Enlaces. En las Autopistas se debieran permitir solamente letreros normalizados que anuncien servicios al usuario. El uso de la iluminación y reflectorización u otros dispositivos, deberá regularse. Por razones de seguridad resulta inconveniente la iluminación mediante haces intermitentes y los anuncios comerciales de texto variable.

Se podrá colocar en las zonas de descanso del camino letreros que contengan una lista de servicios y atractivos turísticos de la zona, diseñados en conformidad con las disposiciones del órgano rector.

401.02.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS

401.02.6.(a) Aspectos Generales

Se encuentra plenamente establecido que el volumen de tráfico y su conformación influencia en el diseño de las carreteras, fundamentalmente desde dos puntos de vista: velocidad que son capaces de desarrollar y dimensiones que le son propias.

Los vehículos livianos, automóviles y similares, determinan las velocidades máximas a considerar en el diseño, así como las dimensiones mínimas. Ellas participan en la determinación de las distancias de visibilidad de frenado y de adelantamiento.

Los vehículos pesados, camiones de diversos tipos, y en menor medida los ómnibus experimentan reducciones importantes en su Velocidad de Operación cuando existen tramos en pendiente. La necesidad de limitar estas reducciones de velocidad determina la longitud y magnitud aceptable de las pendientes.

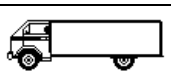
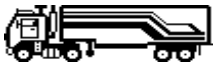
Las dimensiones de estos vehículos: largo, ancho y alto influencian en gran medida diversos elementos de la sección transversal y determinan los radios mínimos de giro, los ensanches de la calzada en curva y el gálibo vertical bajo estructuras. Las dimensiones consideradas para el diseño y los radios de giro mínimos se establecen a continuación

401.02.6.(b) Dimensiones de Vehículos

Las dimensiones de los vehículos y su movilidad son factores de incidencia relevante en el diseño. El largo, ancho y alto de los vehículos condicionan en gran medida diversos elementos de la sección transversal, los radios de giro, los ensanches de calzada en curvas y los gálibos verticales bajo estructura. Su peso es uno de los factores determinantes del cálculo estructural de pavimentos y estructuras.

Las dimensiones tipo de automóviles, camiones de dos ejes, ómnibus y camiones semi-remolque, se presentan en forma detallada en la Tablas 1 y 2 siguientes:

TABLA 1 "TIPOS DE VEHÍCULOS"

TIPO DE VEHÍCULO		No. DE EJES	ESQUEMA	CÓDIGO
LIVIANOS	Automóviles	2		P
	Camionetas	2		
PESADOS	Ómnibus	2		BUS
	Camiones	2		SU
		4		WB-19
		5		WB-20

Las dimensiones típicas de estos vehículos conforme a las tablas de la AASHTO son las que siguen:

TABLA 2 "DIMENSIONES TÍPICAS DE VEHÍCULOS"

	P	BUS	SU	WB-15	WB-19	WB-20
Altura	1.3	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
Ancho	2.1	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Longitud	5.8	12.1	9.1 (9.2)	16.7 (16.8)	21.0	22.5
Voladizo Delantero	0.9	2.1	1.2	0.9	1.2	1.2
Voladizo Trasero	1.5	2.4	1.8	0.6	0.9	0.9
Distancia entre Ejes Extremos WB1	3.4	7.6	6.1	6.1	6.1	6.1
Distancia entre Ejes Extremos WB2				9.1 (9.2)	12.8	14.3

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994. p. 21

Para determinar las distancias de visibilidad que se utilizan en la definición de una serie de parámetros rectores del diseño, es preciso fijar algunas alturas.

- h = Altura focos delanteros: 0,60 m
- h1 = Altura ojos del conductor de un automóvil: 1,10 m
- h2 = Altura obstáculo fijo en la carretera: 0,20 m
- h3 = Altura ojos del conductor de camión u ómnibus: 2,50 m
- h4 = Altura luces traseras de un automóvil o menor altura perceptible de carrocería: 0,45 m
- h5 = Altura del techo de un automóvil: 1,20 m

401.02.7 FACILIDADES PARA PEATONES

401.02.7.(a) Generalidades

Para un manejo ecuánime de los derechos y responsabilidades de los peatones, el órgano rector deberá ser quien tenga la responsabilidad de construir veredas o aceras en algunos casos en carreteras especialmente las que atraviesan sectores poblados. Si el flujo de peatones es considerable se deberá implementar la instalación de rejas o protecciones para aislar las aceras de la plataforma de la vía.

Cuando por la construcción de una carretera se destruyan veredas existentes se efectuará la reposición en los caminos laterales o de servicio que correspondan y no se autorizara la construcción de otras, salvo que esté indicado en los términos de la expropiación de la faja.

401.02.7.(b) Carreteras que cruzan Áreas Urbanas o Suburbanas

Por lo general el paso por áreas urbanas o suburbanas ha generado inconvenientes, debido principalmente al tipo de características que estas deberían tener relacionadas con la seguridad vial. Estudios han establecido que el perfil tipo de la carretera para dichas áreas, normalmente deberá proveer zonas marginales para veredas. Estas deberán ser construidas dentro de la Franja de Dominio con la autorización previa de la Dirección de Vialidad, debiendo ser conservadas por los Municipios respectivos.

Se exceptúan las veredas de puentes o túneles donde no existan propietarios colindantes las cuales serán de responsabilidad de la Dirección de Vialidad. De todas maneras se construirán veredas en aquellos lugares en que es necesario dar seguridad a los peatones y/o donde es importante no interferir el tránsito de los vehículos.

401.02.7.(c) Áreas de Enlaces

Deberá construirse veredas en estas áreas únicamente cuando sea necesario conectar un sistema de veredas existentes y cuando en forma evidente la actividad de la zona se vea subdividida por el dispositivo, situación en que se deberá considerar la inclusión de pasarelas peatonales.

401.02.7.(d) Parada de Ómnibus

Deberán construirse veredas donde sea necesario, desde la parada de ómnibus al sistema de veredas existentes.

401.02.7.(e) Senderos

Los senderos difieren de las veredas en los detalles constructivos y costos pero no en los principios técnicos. En los cruces canalizados con áreas adyacentes desarrolladas donde se prevé un gran flujo de peatones deberán construirse senderos estabilizados o pavimentados a través de los islotes.

401.02.7.(f) Pasarelas a Distinto Nivel

Respecto a este tema cada situación deberá considerarse de acuerdo a las circunstancias particulares, debiendo cubrir básicamente los siguientes aspectos:

- Puntos de generación de tránsito de peatones
- Volumen del cruce de peatones
- Tipo de carretera a cruzar
- Localización de otras facilidades próximas para cruzar
- Tipo y edad de las personas que utilizarán el cruce
- Consideración especial al cruce de escolares

La pasarela adecuada, a distinto nivel, deberá ser motivo de un cuidadoso estudio de ubicación y de las pendientes de las rampas. Este estudio deberá efectuarse en las etapas de planificación y diseño, de tal manera de poder ajustar adecuadamente las rasantes de la pasarela y la carretera.

No se recomienda construir túneles para peatones debido a la resistencia de los peatones al uso de los mismos. En el caso que esta solución sea necesaria, se ejecutará de tal manera que haya visibilidad de un extremo a otro y que esté provisto de un adecuado sistema de iluminación.

401.02.8 VALORES ESTÉTICOS Y ECOLÓGICOS

Al diseñar cualquier carretera se debe tener en consideración no tan sólo su incorporación al paisaje sino que también el aprovechamiento de las bellezas naturales. Los valores estéticos deberán considerarse conjuntamente con la utilidad, economía, seguridad y todos los demás factores que preocupan al planificador y al proyectista. Esta disposición adquiere mayor valor en el caso de carreteras que cruzan zonas con gran potencial de la naturaleza. En todo caso, el alineamiento, el perfil y la sección transversal deben procurar guardar armonía con las condiciones del medio, evitando así un quiebre de los factores ambientales. Siempre será de primordial importancia la economía de acuerdo con las necesidades del tránsito; no obstante, un mayor gasto puede justificarse si se trata de preservar los recursos naturales que poseen un valor económico en sí. Para lograr los efectos deseados, deberán tenerse en consideración, entre otros, aspectos tales como:

- El diseño de la carretera deberá realizarse de manera que la nueva construcción proteja el medio ambiente y lo lleve por lugares que destaquen la belleza
- El diseño en planta y perfil deberá acomodarse a las características del terreno a objeto de que el movimiento de tierras sea compensado. La implantación del alineamiento horizontal mediante el empleo de clotoides y la suavidad de las pendientes, acorde a los requisitos de diseño, constituyen un buen medio para lograr estos objetivos
- Es esencial evitar la destrucción de los árboles valiosos, así como proteger la vegetación en general
- Siempre que sea factible se propenderá, dentro de los márgenes económicos a buscar alineamientos curvos amplios y fajas centrales anchas en calzadas separadas, ya que estos elementos mejoran el aspecto del paisaje y evitan la monotonía del paralelismo
- Ante la situación de grandes cortes y terraplenes deberá tenerse presente la posibilidad de diseñar viaductos, túneles o muros, siempre que su costo no sea excesivo
- Las estructuras deberán ser ubicadas y diseñadas para que junto con prestar su servicio, den el mejor aspecto posible
- Los taludes deberán alabearse y tenderse lo más que sea posible y conveniente, esto con el afán de disimular las líneas de construcción y permitir que la vegetación se enriquezca en la zona. Eventualmente, estos tendidos pueden demostrarse económicamente convenientes para la obtención de materiales para terraplenes (banco de préstamo de corte) o como depósito de materiales excedentes (en tendido de terraplenes, los cuales deben quedar compactados según especificaciones)
- En caso de ser necesaria, la excavación de yacimientos éstos deberán tener tratamientos especiales los que deberán ajustarse a las normas medio ambientales vigentes
- Los elementos de drenaje se colocarán de manera tal que la erosión, embalses y acumulación de detritos, sean eliminados cuando las condiciones de la naturaleza del lugar lo permitan
- Las áreas de enlaces deberán proyectarse de tal manera que sus formas se adapten a los contornos naturales. La apariencia se mejorará posteriormente con un plantío adecuado a la zona y recuperando la vegetación que no ha sido destruida en la etapa de construcción
- Si el clima de la zona y el ancho del cantero central lo permite, se contemplará la utilización de arbustos que, aparte del embellecimiento servirán para evitar los deslumbramientos producidos por los focos delanteros de los vehículos que vienen por la otra calzada, contribuyendo en esta forma a la seguridad de operación del camino. Los árboles que lleguen a desarrollar troncos de más de 10 cm de diámetro y que queden desprovistos de follaje en su parte inferior, no deben admitirse por el peligro que ellos implican en el caso de colisión, además del efecto indeseable en cuanto a la intermitencia de las luces de los vehículos que circulan en sentido contrario

401.02.9 CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

401.02.9.(a) Aspectos Generales

Es importante al tocar este tema, hacer referencia a la teoría de Capacidad de Carreteras desarrollada por el Transportation Research Board (TRB) de los Estados Unidos, edición 1.997; pues esta constituye una poderosa herramienta para analizar la calidad del servicio que es dable esperar para el conjunto de vehículos que operan en una carretera de características dadas.

Para una mejor comprensión de los aspectos que se presentan a continuación, es necesario definir los conceptos siguientes:

***Carril*:** Faja de pavimento destinada a la circulación de una sola fila de vehículos.
***Velocidad Media de Viaje*:** Es la velocidad calculada al dividir la longitud de un segmento de carretera por el tiempo medio de viaje de los vehículos que recorren dicho segmento bajo las condiciones prevalecientes. Se expresa en kilómetros por hora (Km/h).
***Intensidad*:** Es el flujo correspondiente a cuatro veces el volumen de los 15 minutos con mayor tránsito en una hora, este factor se expresa en Veh/h.
Tiempo Demorado: Es el porcentaje del tiempo de recorrido que el usuario se ve demorado antes de lograr efectuar las maniobras de adelantamiento deseadas.

401.02.9.(b) Tipos de Carreteras Rurales Consideradas

Según la teoría, se da un tratamiento diferente al problema según se trate de:

- Carreteras de dos carriles con tránsito bidireccional. En estos casos se considera que la vía no tiene control de acceso, pero que tiene prioridad sobre todas las demás vías que empalman en ella o la cruzan. En caso que existan vías de mayor prioridad, deberá sectorizarse el camino y analizar por separado los sectores así determinados. Posiblemente el punto de cruce pasará a ser un punto crítico

- Carreteras de más de dos carriles, sin control de acceso, en que se cuenta por lo menos con dos carriles adyacentes para cada sentido de tránsito (Tránsito Unidireccional). Puede tratarse de una sola calzada sin separación (cantero central), o dos calzadas separadas en plataforma única

- Carreteras de dos o más carriles para tránsito unidireccional, con control total de acceso y calzadas separadas, corresponde al caso de Autopistas, Multicarril y Bidireccionales que cumplan con las condiciones descritas

401.02.9.(c) Condiciones Ideales o de Referencia

A fin de establecer las condiciones que permitan obtener los máximos volúmenes para una cierta calidad del flujo, se definen las condiciones ideales respecto del tránsito y de las características de la carretera. Para condiciones que se apartan de las ideales la metodología define coeficientes de corrección que permiten calcular los volúmenes máximos asociados a un cierto nivel de servicio (calidad del flujo), bajo las condiciones prevalecientes. Las condiciones ideales o de referencia son:

- Flujo de Tránsito Continuo. Libre de interferencias según lo definido en el manual de Diseño de Carreteras para las diferentes categorías de caminos que considera la teoría

- En el flujo de tránsito existen solamente vehículos livianos de pasajeros (automóviles, camionetas)

- Carriles de tránsito de 3,5 m de ancho, con banquinas a los costados de la carretera de un ancho igual o mayor que 1,8 m, libres de obstáculos. Se considera obstáculo cualquier elemento de más de 0,15 m de alto y su influencia será diferente si se trata de obstáculos continuos o aislados

- En caminos de dos carriles con tránsito bidireccional debe contarse, además, con distancia de visibilidad adecuada para adelantar, en forma continua, a lo largo de todo el sector bajo análisis. Por otra parte, el tráfico por sentido deberá repartirse en partes iguales

En la práctica la segunda condición, en donde en el flujo de tránsito existen solamente vehículos livianos de pasajeros (automóviles, camionetas), es de muy rara ocurrencia ya que lo normal es que en el flujo existan camiones (cualquier vehículo de carga con seis o más ruedas) y ómnibus para el transporte público.

La presencia de estos vehículos implica un factor de corrección, cuyo valor base está determinado para trazados que se desarrollan por terrenos prácticamente planos. Cuando la topografía es en general ondulada o montañosa la metodología sugiere las correcciones adicionales necesarias.

401.02.9.(d) Capacidad de una Carretera

Para el diseño de Carreteras se ha establecido el concepto de capacidad vial que también se emplea para el análisis de circulación y la planeación. La mejor definición de este concepto, es la que se señala en el "Manual de Capacidad para Carreteras HCM-2000" de la Transportation Research Board 2.000 (TRB) que define la capacidad de una carretera de la siguiente manera:

"Capacidad es el máximo número de Peatones o vehículos que de manera razonable se pueda esperar pasen por un punto o tramo uniforme de un carril o calzada durante un período de tiempo dado, en condiciones imperantes o prevalecientes de vía, tránsito y control".

La capacidad se puede referir no solamente a vehículos, sino también a peatones, bien sean peatones, pasajeros o conductores. No es un valor instantáneo e inesperado, sino algo así como el volumen máximo promedio esperado durante un período de tiempo que es generalmente de 15 minutos. Tampoco es el volumen máximo posible en condiciones dadas, sino el que corresponde a las condiciones imperantes que suelen ser las normales.

Debido a las peculiaridades de su definición, especialmente en vías de circulación continua, es posible que ocurra congestión cuando la demanda de tránsito es inferior a la capacidad. Así sucede cuando el volumen máximo posible sea menor que la demanda durante dos o tres minutos (por aumento súbito de la demanda o disminución repentina del volumen máximo posible), a pesar de que el volumen medio durante quince minutos no llegue al valor medio que representa la capacidad

Como valores de referencia máximos absolutos se cita a continuación la "Capacidad en Condiciones Ideales" que corresponde a caminos para tránsito bidireccional o unidireccional, expresada en términos de Intensidad:

- Camino Bidireccional de dos Carriles: 2.800 Veh. Livianos/hora (Total Ambos Carriles)
- Camino Unidireccional con al menos dos Carriles para Tránsito en el mismo sentido 2.200 Veh. Livianos/hora (Por Carril)

Como puede observarse, la unidireccionalidad del tránsito, que evita tener que compartir los carriles para efectos de adelantamientos, tiene una importancia capital en la capacidad de una carretera. Las cifras mencionadas representan valores medios determinados mediante procesos de medición directa y son actualmente aceptadas como válidos internacionalmente.

401.02.9 (e) Niveles de Servicio

Aunque haya capacidad de sobra para que no ocurra congestión, una vía tortuosa con tránsito intenso, de calzada estrecha y pavimento en mal estado no brinda la misma calidad de servicio que una vía con tránsito escaso, trazado suave, calzada ancha y pavimento en buen estado.

Son estas la razones que han conducido a que se establezca el concepto de nivel de servicio.
La Transportation Research Board, define este concepto como sigue:

"El nivel de servicio es la medida cualitativa que describe las condiciones de circulación de una corriente vehicular, caracterizada generalmente por ciertos parámetros como velocidad y tiempo de recorrido, libertad para maniobrar, interrupciones de la circulación, comodidad y seguridad"

Aunque el nivel de servicio es una medida cualitativa, se define por medio de un parámetro numérico tal como la velocidad media o la densidad, y a veces por más de un parámetro. En el nivel de servicio influye la intensidad de la interacción vehicular, las condiciones de la vía y su entorno, y la calidad de la regulación y señalización vial.

En su más amplia interpretación, nivel de servicio, es un término que indica uno cualquiera de un número infinito de las diferentes condiciones de circulación que puede presentar un carril o una calzada determinada cuando circulan distintas intensidades de tráfico. En la práctica se selecciona una gama de niveles de servicio, definido cada uno, por ciertos valores limites de los factores que influyen en el funcionamiento de la carretera.

Cuando el volumen de tránsito es del orden de aquel correspondiente a la capacidad de la carretera, las condiciones de operación son malas, aún cuando el tránsito y el camino presenten características ideales. Estas condiciones de operación deficientes afectan a la totalidad de los usuarios y la continuidad del flujo es inestable, pudiendo en cualquier momento interrumpirse, pasando de un flujo máximo a un flujo cero, durante el periodo de detención. Cuando se pierde la situación de equilibrio límite, que implica operar a capacidad y se suceden las interrupciones del flujo, se habla de un flujo forzado que corresponde a lo que el usuario describe como "embotellamiento".

Es necesario por lo tanto, que el volumen de demanda sea menor que la capacidad de la carretera, para que ésta proporcione al usuario un nivel de servicio aceptable. La demanda máxima que permite un cierto nivel o calidad de servicio es lo que se define como Volumen de Servicio.

La metodología desarrollada por el TRB define cuatro Niveles de Servicio (A, B, C y D) que permiten condiciones de operación superior a las antes descritas. Cuando la carretera opera a capacidad se habla de Nivel E y cuando se tiene flujo forzado se le denomina Nivel F.

Cuantitativamente los Niveles de Servicio se establecen a partir de la razón Intensidad/Capacidad (I/C) y el porcentaje de Tiempo Demorado para las condiciones prevalecientes en el caso de las carreteras bidireccionales. Dicho de otro modo el límite inferior de un Nivel de Servicio queda definido por la intensidad máxima.

Los niveles de servicio abarcan un rango en que intensidades menores que la intensidad de servicio permiten mejores condiciones de operación que las definidas para el nivel, pudiendo llegar a alcanzarse el nivel superior, en caso contrario se pasarán a un nivel inferior.

401.02.9.(e1) Niveles de Servicio en Carreteras Bidireccionales

Aunque la velocidad es la mayor preocupación de los conductores, la libertad para maniobrar dentro de la corriente de tráfico y la proximidad a otros vehículos también es importante. El criterio de los niveles de servicio, está basado en las curvas mostradas de velocidad – flujo típico y relaciones de densidad - flujo correspondiendo a un valor constante de densidad.

Las principales características de operación que se dan dentro del rango correspondiente a cada nivel de servicio para un Camino Bidireccional bajo condiciones ideales, son:

Nivel A: Describe el funcionamiento a flujo libre. La operación de los vehículos no se encuentra perturbada por la presencia de otros vehículos ni las operaciones se encuentran restringidas por las condiciones geométricas. La maniobrabilidad con el tráfico es buena. Los efectos de incidentes menores o averías en un punto son fácilmente absorbidos en este nivel sin cambiar la velocidad de viaje.

Nivel B: Este nivel de servicio también indica el flujo libre, aunque la presencia de otros vehículos se vuelve notable. Las velocidades medias de viaje son igual que en el nivel de servicio A, pero los conductores tienen menos libertad para maniobrar. Todavía se absorben fácilmente las rupturas menores locales en un punto, el deterioro en el nivel de servicio es más obvio.

Nivel C: El nivel de servicio C, marca la influencia de densidad de tráfico en el funcionamiento. La habilidad de maniobrar dentro de la corriente de tráfico está claramente afectada por la presencia de otros vehículos. En las vías Multicarriles con una velocidad a flujo libre, VFL sobre los 80 Km/h, las velocidades de viaje se reducen un poco. Las rupturas menores pueden causar un deterioro local serio en el servicio, y se pueden formar colas detrás de cualquier ruptura de tráfico significativa.

Nivel D: En el nivel de servicio D, la habilidad de maniobrar se restringe severamente a la congestión de tráfico. La velocidad de viaje está reducida debido al aumento del volumen creciente. Sólo rupturas menores pueden ser absorbidas sin formación de colas extensas y el servicio está seriamente deteriorado.

Nivel E: Este nivel de servicio representa el funcionamiento cercano de la capacidad de la vía, es un nivel inestable. Las densidades varían, mientras dependan de la velocidad a flujo libre que experimenta la corriente de tráfico. Los vehículos se encuentran operando con un mínimo espaciamiento para mantener un flujo uniforme. No pueden disiparse las rupturas prontamente y se causan a menudo colas que llegan a deteriorar el nivel de servicio a F. Para la mayoría de vías Multicarriles con velocidad a flujo libre entre 70 y 100 Km/h, la velocidad media de los vehículos livianos se registran en el rango de 68 a 88 Km/h pero es muy inconstante e imprevisible.

Nivel F: Representa condiciones de flujo forzado o de ruptura. Ocurre cuando los vehículos que llegan, son mayores que la proporción a que ellos se descargan o cuando la demanda de previsión excede la capacidad computada de un medio planeado.

Aunque los funcionamientos a estos puntos y en las secciones inmediatamente corriente arriba parece estar a la capacidad, las colas se forman detrás de estos puntos de ruptura.

El funcionamiento dentro de las colas es muy inestable, con vehículos que experimentan periodos breves de movimientos seguidos por bloqueos. Las velocidades de viaje dentro de las colas generalmente son menores a los 48 Km/h.

Aunque el punto de ruptura crea la formación de colas, el funcionamiento dentro de la cola generalmente no se relaciona con las deficiencias a lo largo del segmento de la vía Multicarril.

401.02.9.(e2) Niveles de Servicio en Carreteras Unidireccionales

Cabe destacar que la descripción cualitativa dada anteriormente es válida tanto para caminos de tránsito bidireccional como para los unidireccionales con o sin control de acceso. Sin embargo, los rangos de velocidad de operación, la razón I/C y el tiempo demorado son válidos sólo para caminos con tránsito bidireccional siendo mayores los asociados a cada nivel en caso de caminos unidireccionales con y sin control de acceso. Una buena síntesis de estas materias para caminos bidireccionales y unidireccionales con y sin control de acceso se presenta en la Tabla II-5, Págs. 88 y 89 de A Policy on Geometroc Design of Highways and Streets-AASHTO 1.994", que se reproduce a continuación.

TABLA 3 DE RESUMEN CUANTITATIVO Y CUALITATIVO DE LOS NIVELES DE SERVICIO PARA CARRETERAS Y CAMINOS EN CONDICIONES IDEALES

Nivel de Servicio	Carreteras Unidireccionales con Accesos Controlados	Carreteras Unidireccionales sin Control de Accesos	Carreteras Bidireccionales sin Control de Accesos
A	Flujo Libre Velocidad Media de Viaje igual o mayor que 112 km/h. La Intensidad Máxima de Servicio corresponde a 100 vehículos livianos por hora y por carril ó 32% de la Capacidad	Velocidad Media de Viaje de 96 km/h o superior. En condiciones ideales la Intensidad Máxima de Servicio es de 720 vehículos livianos por hora y por carril, ó 33% de la Capacidad	Velocidad media de viaje de 93 km/h ó superior. La mayoría de las maniobras de adelantamiento pueden relazarse sin demora o demora moderada. Bajo condiciones ideales, la intensidad Máxima de Servicio, en ambas direcciones, puede alcanzar a 420 vehículos livianos por hora, aproximadamente al 15% de la capacidad.
B	Condiciones de flujo razonablemente libres. Velocidad Media de Viaje igual o superior a 112 km/h. La Intensidad Máxima de Servicio no supera a 1.120 vehículos livianos por hora y por carril, ó 51 °, ó de la Capacidad	Flujo razonablemente libre, en que las acciones de los vehículos precedentes tendrán alguna influencia sobre los que los siguen. En condiciones ideales la Intensidad Máxima de Servicio no supera los 1.200 vehículos livianos por hora y por carril, ó 55% de la capacidad, a 96 km/h	Velocidad media de viaje de 88 km/h ó superior. En condiciones ideales, la intensidad Máxima de Servicio puede alcanzar el 27% de la capacidad (ó 750 vehículos livianos por hora, en ambos sentidos)
C	Operación estable pero alcanzando niveles más críticos. Velocidad Media de Viaje de 110 km/h. La Intensidad Máxima de Servicio no supera los 1.640 vehículos livianos por hora y por carril, correspondientes al 75% de la Capacidad	Circulación estable con una intensidad Máxima de Servicio superior al 75% de la Capacidad, ó 1.650 vehículos livianos por hora y por carril. En condiciones ideales, se mantiene, al menos una Velocidad Media de Viaje de 96 km/h	Circulación aun estable con Velocidad Media de Viaje de 84 km/h ó superior. La intensidad Máxima de Servicio en condiciones ideales, es igual al 43% de la capacidad (ó 1.200 vehículos livianos por hora, en ambos sentidos)
D	Rango de Velocidad por debajo de las típicas del flujo estable. Las condiciones de circulación son cambiantes, aproximándose a la inestabilidad. La velocidad media de viaje se aproxima a 101 km/h. La Intensidad Máxima de servicio no supera los 2.015 vehículos livianos por carril, al 92% de la capacidad	Acercándose al flujo inestable. Su Intensidad Máxima de Servicio corresponde al 89% de la Capacidad (del orden de los 1 940 vehículos livianos por hora y por carril). Bajo condiciones ideales, la Velocidad Media de Viaje es de 92 km/h	Próximo al flujo inestable. En condiciones ideales, la Velocidad Media de Viaje se aproxima a los 80 km/h. Por su parte, la intensidad Máxima de servicio, corresponde al 64% de la capacidad (1.800 vehículos por hora, en ambos sentidos)

E	Capacidad, ó 2.200 vehículos livianos por hora y por carril. Pequeñas interrupciones de la corriente vehicular generan colas muy difíciles de disipar. Cualquier incidente en la vía, causa congestiones complicadas	La Intensidad Máxima de Servicio corresponde al 100% de la Capacidad, ó 2.200 vehículos livianos por hora y por carril, en condiciones ideales. Velocidad Media de Viaje alrededor de los 88 km/h	Flujo inestable. Velocidad Media de Viaje del orden de los 72 km/h. En condiciones ideales, la intensidad máxima de servicio en ambos sentidos, es de 2.800 vehículos livianos por hora. No es posible mantener al Nivel de servicio E, ya que las condiciones de circulación pasan directamente del Nivel D al Nivel F.
F	Flujo forzado. Sobre la carretera se acumulan los vehículos posteriores ante la interrupción del flujo de los vehículos de adelante. La Velocidad Media de Viaje es del orden de los 50 km/h con continuas detenciones y partidas	Flujo Forzado Congestionado, presenta una variación amplia del volumen de circulación Velocidad Media de Viaje inferior a los 50 km/h	Flujo forzado. Congestionado, con características impredecibles. Velocidades de Operación inferiores a los 72 km/h

401.03 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN

401.03.01 CONCEPTOS DE LA RED

La necesidad de circular dentro de una región, requiere de un conjunto de diversas líneas de deseo conectando orígenes y destinos. No es posible abastecer con vías individuales conectando cientos de miles o tal vez millones de líneas de deseo, porque entonces el área urbana sería una superficie de vías continuas, así es que, todas las ciudades crean o envuelven a un conjunto limitado de vías interconectadas formando una red.

Los objetivos de diseñar o rediseñar un sistema vial urbano son muy diferentes de aquellos usados para diseñar vías interurbanas. Para vías interurbanas, el alineamiento global es generalmente un compromiso entre el deseo de obtener la ruta más directa posible (por ejemplo: minimizar la distancia de viaje) y la necesidad de evitar las áreas con accidentes geográficos tales como colinas o ríos, los cuales aumentarían los costos de construcción.

En las redes urbanas, el factor de la falta de dirección y las características de los enlaces individuales es mucho menos importante que la configuración y funcionamiento similar al de la red como un todo. Mientras algunos movimientos mayores pueden servir como rutas más o menos directas, la mayoría de los viajes se hacen sobre rutas directas. La variable crítica ejecutada no es la distancia a viajar, sino más bien la velocidad y retraso del viaje.

401.03.02 La Movilidad y el Acceso

Las vías urbanas dan servicio con dos propósitos distintos y conflictivos, la función de circulación y la función de acceso local. La función de circulación busca permitir el flujo eficiente del tránsito de paso a través de la vía, mientras que la función de acceso trabaja respecto a la entrada y salida de vehículos en las propiedades colindantes a ella.

El acceso local involucra el movimiento hacia adentro y hacia afuera de la vía, normalmente a velocidades bajas y aproximadamente perpendiculares al sentido de viajar a través de ella, lo que introduce elementos de turbulencia y fricción y, reduce la eficiencia del tránsito de paso.

El objetivo del diseño y manejo de la red es minimizar los costos combinados de infraestructura y costos al usuario. Para los costos al usuario, hay una relación inversa muy fuerte entre la velocidad promedio del viaje y el costo de operación y tiempo. Las velocidades bajas, típicas de las calles locales, tienen un costo más alto por km, mientras que las vías de altas velocidades típicas de acceso limitado, tienen el costo más bajo por km. Para satisfacer el criterio de costo de operación, por consiguiente, una red debe diseñarse para que se pueda viajar a altas velocidades, enlaces de acceso limitado y que el gasto sea tan pequeño como sea posible en calles locales.

A la larga, se debe de buscar resolver el conflicto entre las dos funciones dando facilidades separadas o, aceptando niveles más bajos de movilidad. La experiencia en muchos países ha demostrado que la solución más eficiente es la combinación de dos entradas a través del desarrollo de una red jerarquizada basada en una clasificación funcional.
En una red clasificada funcionalmente, un viaje sencillo normalmente implica desplazarse por una serie de tramos y enlaces; comenzando en calles locales y de acceso, donde la velocidad de viaje es baja, continuando en tramos de acceso restringido y/o velocidades más altas para, finalmente, regresar a calles locales al final del viaje. El hecho de que una porción sustancial del viaje se haga sobre tramos y enlaces primarios, significa que la velocidad de operación y, por consiguiente, el costo de operación resulta significativamente menor de lo que sería si todo el viaje se hiciera sobre vías locales.

En general, si se realiza el viaje en un tramo mayor sobre enlaces de acceso limitado, esto hace más rápido y eficiente el viaje. Por otro lado, las restricciones del acceso ocasionan un costo social, político y económico, así que es necesario buscar un balance apropiado.

401.03.03 Tipos de Clasificación

Casi todos los países, emplean algún sistema de clasificación de vías. Estos caen dentro de tres tipos diferentes de clasificación comúnmente usados en la planeación de vías urbanas, de ellas, la más utilizada a nivel urbano considera una combinación de parámetros cuantificables objetivamente, como su ancho de sección, su número de carriles, la presencia o no de franja separadora, los volúmenes vehiculares que soportan y su función dentro de la estructura vial. De acuerdo con lo anterior, las vías se clasifican en:

a) Primarias
b) Secundarias
c) Terciarias

La mayoría de las oficinas gubernamentales estatales de vías usan una clasificación jurisdiccional, en la cual cada vía se encuentra clasificada de acuerdo con el nivel de responsabilidad gubernamental para su mantenimiento. Bajo este contexto las clases principales son: Nacional/Troncal, Departamental / Alimentadora, Municipal / Rural y Desarrollo.

La clasificación funcional trata la composición de una red de vías urbanas a corredores individuales y enlaces, de acuerdo con el funcionamiento para el cual fue destinado dentro de la red. La jerarquía está basada en el grado de movilidad que provee, en la que la movilidad está determinada por el nivel de acceso local, el cual se abastece a lo largo de la vía y el grado de prioridad sobre otros enlaces estipulados en las intersecciones.

401.03.04 JERARQUIZACIÓN FUNCIONAL

El control principal en una red jerarquizada clasificada funcionalmente, consiste en que cada enlace sea definido en términos de su nivel de funcionalidad. Cada nivel funcional está definido en términos de solución intermedia entre los dos objetivos que compiten, el acceso y la movilidad.

Al final de la jerarquización están las **vías terciarias o calles locales y vías de desarrollo**, las cuales tienen un objetivo de tanta importancia como es el de dar acceso a propiedades adyacentes y en las cuales las necesidades de tránsito de paso tienen poca o ninguna prioridad. Muchas calles locales están colocadas de tal manera que no puedan ser usadas por tránsito de paso.

En el siguiente nivel de jerarquización están las **vías secundarias o colectores**, las cuales combinan las dos funciones de enlazar las calles locales y/o vías de desarrollo, al sistema arterial y proveen el acceso local a propiedades adyacentes.

En el siguiente nivel están las **arterias primarias**. La función de las arterias primarias es proveer de viajes a velocidades más altas para el tránsito de paso. El acceso a propiedades adyacentes puede ser permitido si está diseñado de tal manera que no interfiera indebidamente con el tránsito de paso. En lugares donde se permite el acceso, normalmente se requiere de entradas y salidas bien diseñadas con adecuados radios de giro y posibles rutas de aceleración o desaceleración. Las confluencias entre las calles locales, colectores y vías primarias están normalmente al grado de intersecciones.

TABLA 4 "RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS CLASES FUNCIONALES"

TIPO DE RED	CATEGORÍA	SECCION TRANSVERSAL		VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)			CONTROL DE ACCESOS
		N° CARRILES	N° CALZADAS	LL	ON	CO	
PRIMARIA	AUTOPISTA	2 ó + UD	2	120	100	80	Control Total
	MULTICARRIL	2 ó + UD	2	100	90	80	Control Total
	BIDIRECCIONAL	2 ó + UD	2 (1)	100	90	80	Control Parcial
		2 BD	1	100	90	80	Control Parcial
SECUNDARIA	COLECTOR	2 ó + UD	2 (1)	80	70	60	Control Parcial
		2 BD	1	80	70	60	Sin Control
TERCIARIA	LOCAL	2 BD	1	70	60	50-40	Sin Control
	DESARROLLO	2 BD	1	50	40	30*	Sin Control

*Menor que 30 Km/h en sectores puntuales conflictivos
UD: Unidireccional
BD: Bidireccional

401.03.05 CARACTERÍSTICAS SEGÚN CATEGORÍAS

En la ***Tabla 5*** se presenta una síntesis de las características asociadas a cada categoría, de acuerdo con los criterios expuestos. Dicha Tabla debe ser considerada como una ayuda memoria teniendo especial cuidado de ponderar adecuadamente los factores humanos, económicos, estéticos y ambientales que no están mencionados en ella. Los rangos de tránsito que se señalan son sólo indicativos ya que condiciones topográficas particulares, o el porcentaje de vehículos pesados en el VHD o decisiones adoptadas por la Autoridad, pueden crear situaciones no consideradas.

CARACTERISTICAS ASOCIADAS POR TIPO DE RED Y CATEGORIA

RED	PRIMARIA									SECUNDARIA			TERCIARIA					
CATEGORIA	AUTOPISTA			MULTICARRIL			BIDIRECCIONAL			COLECTOR			LOCAL			DESARROLLO		
VELOCIDAD DE PROYECTO	120	100	80	100	90	80	100	90	80	80	70	60	70	60	50*	50	40	30*
TIPO DE TOPOGRAFIA	LL	ON	CO	LL	ON	CO	LL	ON	CO	LL	ON	CO	LL	ON	CO	LL	ON	CO
DIRECCION DE TRANSITO	UNIDIRECCIONAL			UNIDIRECCIONAL			UNIDIRECCIONAL O BIDIRECCIONAL			UNIDIRECCIONAL O BIDIRECCIONAL			BIDIRECCIONAL			BIDIRECCIONAL		
CONTROL DE ACCESO	CONTROL TOTAL			CONTROL TOTAL			CONTROL PARCIAL			CONTROL PARCIAL			SIN CONTROL			SIN CONTROL		
NIVEL DE SERVICIO	A, B, C			B, C, D						C, D			NO APLICABLE					
VOLUMEN TIPICO DE TRANSITO AL AÑO INICIAL (TPDA)	UD > 8.000			UD > 3.000			UD > 2.000 BD > 1.000			UD > Caso Especial BD > 500			Variable Según Actividad Productiva					
INTERACCION VIAL	AUTOPISTAS, MULTICARRIL, BIDIRECCIONAL			AUTOPISTAS, MULTICARRIL BIDIRECCIONAL, COLECTORES			AUTOPISTAS, MULTICARRIL BIDIRECCIONAL, COLECTORES , LOCALES			TODOS			COLECTORES, LOCALES, DESARROLLO			COLECTORES, LOCALES, DESARROLLO		
TIPO DE CONEXIÓN	ENLACE			ENLACE, DISTRIBUIDOR			ENLACE, DISTRIBUIDOR, INTERSECCIONES			TODOS			INTERSECCION, ACCESO DIRECTO			ACCESO DIRECTO		

* Menor que las velocidades establecidas para sectores puntuales conflcitivos

SECCIÓN 501 - CRITERIOS Y CONTROLES BÁSICOS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS

501.01 ASPECTOS GENERALES

Son cuatro los elementos básicos que interactúan y se relacionan entre sí para determinar las características del tránsito, estos son los usuarios de las carreteras, los vehículos que circulan por ellas, las carreteras mismas y los controles que se aplican para normar su operación. Las carreteras y sus intersecciones, deben diseñarse con suficiente capacidad para satisfacer los requerimientos de las demandas de dicho tránsito, durante todo el período seleccionado para el diseño de las instalaciones. La capacidad de la vía, puede ser limitada por aspectos adversos de su entorno, relacionados con interferencia de peatones, frecuencia de intersecciones, condiciones del terreno y factores climáticos que afectan la visibilidad, disminuyendo la velocidad y las condiciones físicas y anímicas de los conductores.

Tan importante como ofertar mediante un buen diseño la capacidad requerida de una carretera, es brindarla en condiciones de óptima seguridad y eficiencia en los costos de operación de los vehículos. El tema de la seguridad vial, en particular, no ha merecido en Paraguay la atención debida, razón por la cual en este manual se ha optado por plantear algunas recomendaciones al respecto en un capítulo al final. En adelanto de ese tema y para relevar su significación, puede mencionarse que se ha estimado que más de 1.200.000 personas mueren en el mundo y entre 10 y 15 millones resultan lesionados en un año, como producto de accidentes de tránsito. Una de las principales causas de muertes prematuras de personas entre 5 y 44 años de edad, son los accidentes de tránsito, de tal forma que para los países en vías de desarrollo, éstos se han transformado en un problema real de salud, que produce elevados gastos en medicinas, uso de equipo especializado, instalaciones y personal. Se reconoce que estos gastos bien pueden disminuirse por medio de diseños de obras viales orientados hacia la seguridad del tránsito.

501.01.1 EL TRAZADO

Se denomina Carretera o Camino, a una franja de la superficie terrestre mejorada por el hombre para dotarla de características adecuadas para la circulación de vehículos, principalmente automotores. Son obras tridimensionales, cuyos elementos quedan definidos mediante las proyecciones sobre los planos ortogonales de referencia: Planta, Perfil Longitudinal y Sección Transversal.

Aunque el camino sea sólo una aplicación del principio del plano inclinado a la superficie irregular terrestre es un arte altamente desarrollado que hace uso de muchas técnicas para su definición. Un elemento básico para su definición, es el eje de la vía, del mismo que realizándose sus proyecciones en planta y elevación se define su alineamiento en planta y el alineamiento vertical respectivamente.

Estos alineamientos en planta y elevación, deben cumplir con una serie de criterios, normas y recomendaciones para su concepción, las cuales pretenden conciliar la conveniencia económica, hecho que surge de intentar adaptar lo más posible los alineamientos a las condiciones del terreno, con las exigencias técnicas requeridas que posibiliten desplazamientos seguros de un conjunto de vehículos a una cierta velocidad, definida genéricamente como Velocidad de Proyecto.

El arte se ha desarrollado gradualmente desde las más remotas épocas adaptándose a los cambios de los vehículos y haciendo uso de los avances de la tecnología para producir trazos mejores y más económicos.

La elección y definición del conjunto de elementos de planta y perfil longitudinal y de sus combinaciones, reguladas y normalizadas, constituye lo que ha sido denominado como Trazado de la Carretera.

501.01.2 VARIABLES FUNDAMENTALES

El trazado de carreteras, como ya dijimos, es un proceso que exige la atención de muchas variables que hacen a la concepción de la vía. La existencia de una interdependencia entre la geometría de la carretera y el movimiento de los vehículos que circulan en ella (dinámica del desplazamiento) y entre esta geometría y la visibilidad y capacidad de reacción que el conductor tiene al operar su vehículo, son algunas de estas variables. No basta que el movimiento de los vehículos sea dinámicamente posible en condiciones de estabilidad, sino que además debe asegurarse, para todo punto de la vía, que el usuario tenga suficiente tiempo para adecuar su conducción a la geometría de ésta y a las eventualidades que puedan presentarse.

Asimismo debe entenderse que una vía debe satisfacer anhelos y necesidades de comunicación, traslado de bienes y personas, comercialización, relación entre la producción y el consumo, desarrollo, defensa, integración, fomento y turismo.

Al momento de concebir la vía, no se debe descuidar que la misma debe diseñarse teniendo en cuenta las características y costumbre de conductores y peatones, el volumen de tránsito, su distribución y conformación, las particulares de los vehículos como por ejemplo su capacidad, potencia, fricción entre calzada y neumáticos y otros.

Son esas y las características particulares de cada zona donde se emplazará el proyecto, algunas de las muchas variables que el Proyectista, debe tener en cuenta, al momento de realizar el trazado de una carretera o camino.

501.01.3 CRITERIOS BÁSICOS

Los criterios de diseño descritos en esta guía, no siempre serán posibles de aplicar de manera integral en la concepción de nuevos trazados, en variantes a las obras existentes o en la rectificación de trazados existentes en que se mantiene el emplazamiento general de la ruta, en razón de los costos que ello significaría, por tanto el Ente Rector podrá autorizar algunas flexibilidades, debiendo las mismas estar fundamentadas por el proyectista.

501.01.3.(a) Velocidad 85% Considerada para el Diseño en Planta

Como resultado de la experiencia internacional, se ha determinado que la base para la determinación de la distribución de velocidades que tienden a adoptar los usuarios son las características en planta y sección transversal con que cuentan las vías. Por otra parte, los fenómenos asociados a la dinámica del desplazamiento en planta, en particular al recorrer elementos curvos, ejercen su influencia sobre el 100% de los usuarios, en relación directa al cuadrado de la velocidad de desplazamiento en el tramo considerado.

Cuando la interferencia entre los usuarios es muy baja, aspecto que se da en los períodos en que los flujos de demanda son moderados, la velocidad asociada al percentil 85 (V85%) se define como la velocidad a ser empleada para el diseño. Lo anterior requiere establecer criterios que permitan predecir con cierta aproximación, la V85% que se dará en los diferentes tramos de la carretera.

501.01.3.(a1) Predicción de la V85% en Tramos Rectos

La longitud de las rectas “Lr" (m), se medirá entre el punto de salida de la Clotoide de la curva de entrada a la recta y el inicio de la Clotoide de la curva de salida de la recta, ambas según el sentido de circulación que se está analizando.

Si se tratase de curvas circulares, o sea sin espiral, la longitud de la recta deberá ser considerada entre el Final de la Curva de entrada a la recta y el principio de curva del final de la recta.

Para los rangos de Velocidades de Proyecto (Vp) y la Longitud del Tramo en Recta (Lr) que se definen en la ***Tabla 6***, la V85% dependerá de:

TABLA 6: CRITERIOS DE PREDICCIÓN DE LA V85% EN FUNCIÓN DE Vp Y Lr PARA VP ENTRE 40 Y 120 KM/H

SITUACIONES POSIBLES		V85% DETERMINADA SEGÚN
Caso I	Lr (m) > 400	Longitud de la recta
Caso II	Lr (m) ≤ 400	La característica de la configuración precedente y la relación de los radios de las curvas de entrada y salida

Caso I: Para el caso en que la longitud de recta es mayor a 400 m, en la ***Tabla 7*** se indican las V85% Adoptadas.

TABLA 7: V85% AL FINAL DE UNA RECTA SEGÚN LONGITUD Y VELOCIDAD DE PROYECTO

V Proyecto km/h	40	50	60	70	80	90	100	120
400 m ≤ Lr ≤ 600 m	50	60	70	80	90	100	110	125
Lr > 600 m	60	70	80	90	100	110	115	130

Pueden considerarse válidos los datos de la Tabla anterior, para carreteras bidireccionales y unidireccionales en terreno llano u ondulado, con pavimento de 7,0 m de ancho y banquinas + SAP mayores o iguales a 2,0 m, (banquina exterior en el caso de vías unidireccionales). Estas Velocidades podrán ser alcanzadas en períodos en que el flujo no impone restricciones a la selección de la Velocidad por parte de los usuarios.

En Caminos Colectores y Locales, con pavimento de 6,0 m de ancho y Banquinas + SAP de menos que 2,0 m, los valores indicados en la ***Tabla 7***, se podrán reducir en 5 km/h. Si el trazado se desarrolla en terreno demasiado ondulado o de cordillera (Vp 40 a 60 km/h) la reducción puede alcanzar a 10 km/h con un límite de V85%=Vp.

Lo expuesto precedentemente indica que las rectas de más de 600 m de longitud inducen velocidades V85% que dejan de tener relación con la Vp seleccionada para la ruta, de allí que resulten más seguros y consecuentes los trazados curvilíneos razonablemente amplios, en los que se minimice la longitud de las rectas.

Caso II: Para la determinación de V85% en los casos que la misma este determinada por las características de configuración precedente y la relación de los radios de las curvas de entrada y salida, el tratamiento debe ser el comprendido en el ***numeral 501.01.3. (a2)*** descrito a continuación.

501.01.3.(a2) Criterios de Predicción de la V85% en Curvas Horizontales

Se debe considerar los casos expuestos en la ***Tabla 6***, determinándose para cada uno de ellos lo siguiente:

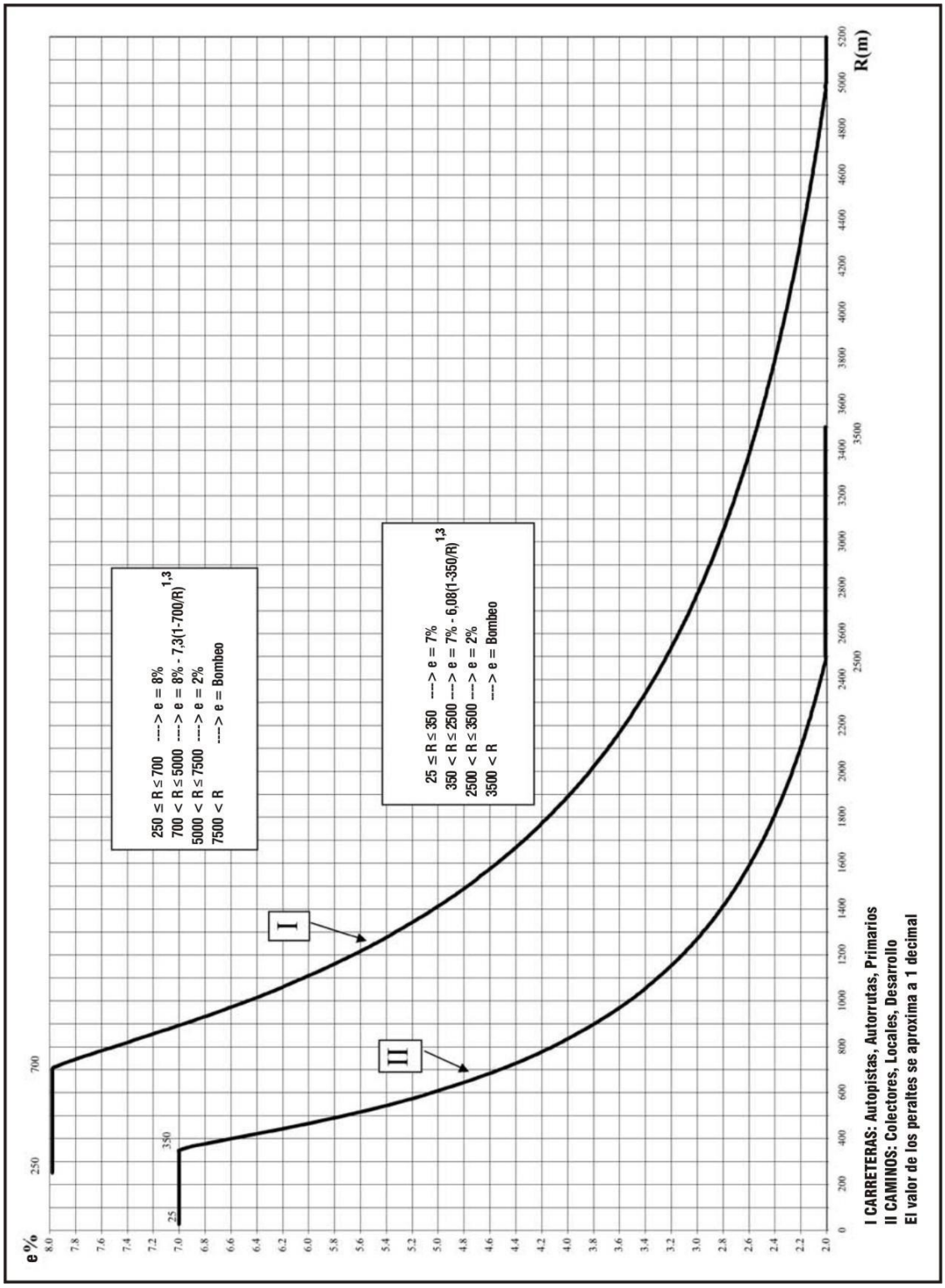
- Toda curva horizontal posterior a una recta con longitud Lr mayor que 400 m deberá poseer un radio R al que corresponda una Velocidad Específica Ve ≥ V85% determinada según la ***Tabla 7*** con las correcciones que puedan corresponder en el caso de Caminos Colectores y Locales. Una lista de parámetros como radios, peraltes y coeficientes de fricción transversal, los mismos que van asociados a la Ve que les corresponde, se presenta en la ***Tabla 8***.

TABLA 8: V85% VELOCIDAD ESPECÍFICA EN CURVAS HORIZONTALES

CARRETERAS AUTOPISTA – MULTICARRIL – BIDIRECCIONALES				CAMINOS COLECTOR - LOCAL - DESARROLLO			
R (m)	e (%)	Ve (Km/h)	f	R (m)	e (%)	Ve (Km./h)	f
250	8,0	80,1	0,122	25	7,0	30,1	0,215
300	8,0	86,6	0,117	30	7,0	32,7	0,211
330	8,0	90,1	0,114	40	7,0	37,2	0,203
350	8,0	82,3	0,112	50	7,0	41,1	0,197
400	8,0	97,5	0,107	60	7,0	44,6	0,191
425	8,0	99,9	0,105	70	7,0	47,7	0,186
450	8,0	102,2	0,103	80	7,0	50,5	0,181
500	8,0	106,6	0,099	90	7,0	53,1	0,177
540	8,0	109,9	0,096	100	7,0	55,5	0,173
550	8,0	110,7	0,095	120	7,0	59,9	0,166
600	8,0	114,5	0,092	150	7,0	65,6	0,156
650	8,0	118,1	0,089	180	7,0	70,6	0,148
700	8,0	121,4	0,086	200	7,0	73,5	0,143
720	7,9	122,5	0,085	220	7,0	76,3	0,138
750	7,8	124,1	0,084	250	7,0	80,1	0,132
800	7,5	126,2	0,082	300	7,0	84,7	0,118
850	7,2	128,1	0,080	350	7,0	90,3	0,113
900	7,0	130,2	0,078	400	6,6	94,5	0,110
950	6,7	> 130	0,077	450	6,3	97,9	0,107
1000	6,5	> 130	0,075	500	5,7	101,1	0,104
1200	5,7	> 130	0,070	550	5,4	104,1	0,101
1500	4,8	> 130	0,064	600	5,1	106,8	0,099
1800	4,2	> 130	0,059	700	4,5	> 110	0,095
2000	3,8	> 130	0,056	800	4,1	> 110	0,091
2200	3,6	> 130	0,054	900	3,8	> 110	0,087
2500	3,2	> 130	0,050	1000	3,5	> 110	0,084
2800	3,0	> 130	0,047	1200	3,1	> 110	0,079
3000	2,8	> 130	0,045	1500	2,7	> 110	0,072
3500	2,5	> 130	0,041	1800	2,4	> 110	0,066
4000	2,3	> 130	0,038	2000	2,3	> 110	0,063
4500	2,1	> 130	0,035	2500	2,0	> 110	0,056
5000	2,0	> 130	0,032	3000	2,0	> 110	0,050
7000	2,0	> 130	0,022	3200	2,0	> 110	0,047

Para radios intermedios la Ve se obtendrá por interpolación y el peralte correspondiente al siguiente ***GRÁFICO 3***.

GRÁFICO 3: V85% VELOCIDAD ESPECÍFICA EN CURVAS HORIZONTALES



- Si la primera curva de una secuencia está precedida por una recta con Lr > 600 m y entre las dos curvas de la secuencia que se analiza, 400 m < Lr ≤ 600 m, es deseable que la segunda curva acepte también una Ve mayor o igual que la V85% empleada en el diseño de la primera. No obstante lo anterior, si se está entrando en una zona de trazado restrictivo, se aceptará que la segunda curva se diseñe para la V85% definida en la Tabla 7 para 400 m < Lr ≤ 600 m.

- Para una secuencia de curvas horizontales sin recta intermedia, o con rectas de longitudes menores que 400 m, la Ve de la Curva inicial habrá sido determinada según lo expresado en los párrafos anteriores y los radios sucesivos deberán mantenerse dentro del rango indicado en la ***Gráfico 4*** para Carreteras con Vp ≥ 80 Km/h y en la ***Gráfico 5*** para Caminos con Vp ≤ 80 Km/h, lo que determina sucesivamente la Ve de las curvas siguientes, según el radio seleccionado dentro del rango para cada par del conjunto y con Ve siempre mayor o igual que Vp.

GRÁFICO 4: RELACIÓN ENTRE RADIOS CONSECUTIVOS

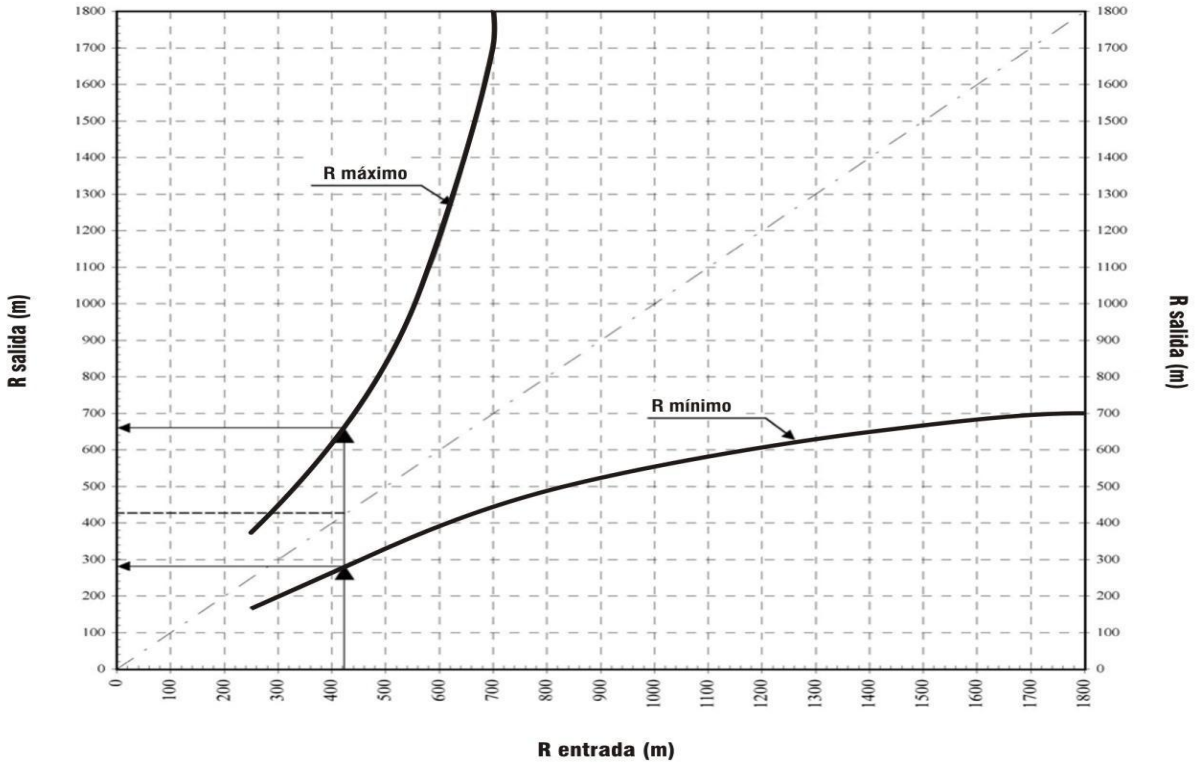
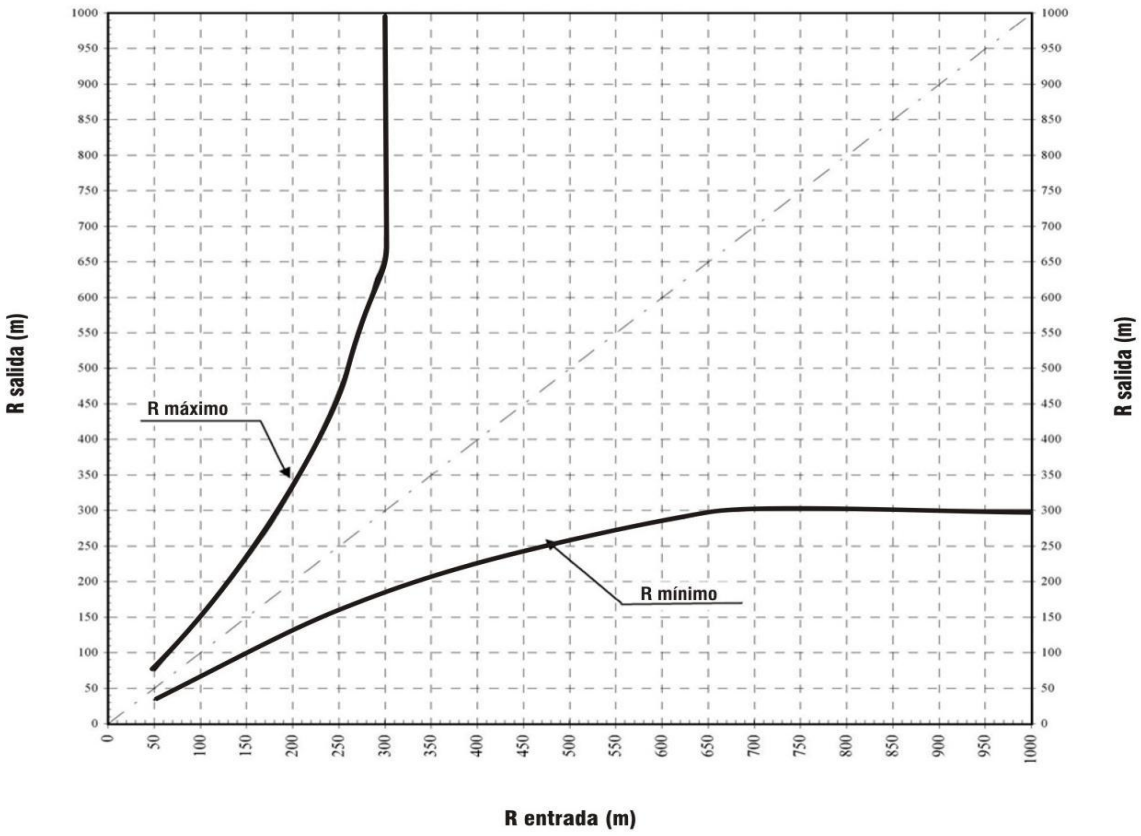


GRÁFICO 5: RELACIÓN ENTRE RADIOS CONSECUTIVOS



- Según lo expuesto en los párrafos anteriores, una curva de Rmín correspondiente a la Vp de la ruta, sólo podrá emplearse si está precedida por una recta con 0 ≤ Lr ≤ 400 m y a la curva existente al inicio de dicha recta (Radio de entrada, según los ***Gráficos 4 o 5***), se asocia un rango de Radios de salida, en el cual esté comprendido el Rmín correspondiente a Vp.

501.01.3.(a3) Conclusiones-Predicción V85% para los Diseños en Planta

- Toda curva posterior a una recta con Lr > 400 m deberá diseñarse considerando la V85% estimada según lo expuesto en los párrafos primero y segundo del ***numeral 501.01.3.(a2)***, con la sola excepción señalada para los caminos colectores y locales en que se cumplan las condiciones especificadas.

- Si la primera alineación del trazado es una recta con Lr ≤ 400 m, la V85% al inicio de la curva siguiente puede estimarse igual a Vp. Se actuará del mismo modo si en algún punto se produce una detención obligada, tal como en una estación de control, intersección o cruce con una vía férrea, u otras en que el camino en estudio tiene condición de "Pare".

- La V85% de una sucesión de curvas, sin recta intermedia o con una longitud Lr ≤ 400m, párrafos tercero y curato del ***numeral 501.01.3.(a2)***, corresponde a la Ve de cada una de las curvas, siempre dependiendo de la curva precedente y del rango de radios especificados para la situación bajo análisis.

- En caminos bidireccionales el cálculo de la V85% debe hacerse por carril, según el sentido de circulación y en carreteras unidireccionales para cada calzada.

- Cualquiera que sea el caso particular que se enfrenta, o la interpretación que se dé al contenido de lo expuesto precedentemente, la V85% nunca podrá ser menor que la Vp asignada al proyecto o a los subtramos que lo compongan.

501.02.3.(b) Velocidad V* Considerada para Verificar la Visibilidad de Frenado y Para Diseñar el Alineamiento Vertical

501.02.3.(b1) Criterios y Definiciones

La Visibilidad de Parada a la que se asocia la Distancia de Parada "Dp" determinada a partir de la Velocidad de Proyecto, debe existir a todo lo largo el trazado, tanto para los elementos de la planta como para aquellos del alzado que se diseñan bajo este concepto. Corresponde entonces, también en este caso, un tratamiento particular de los tramos con trazado amplio que pueden inducir velocidades de desplazamiento superiores a las de proyecto; aún cuando como se verá, intervienen en el proceso de su definición, consideraciones adicionales a las expuestas en ***501.01.3.(a)***.

La Distancia de Parada Dp (m) presupone en su cálculo la existencia de un obstáculo de 0,20 m de alto, localizado en el centro de la pista por la que va circulando el vehículo, el cual deberá ser percibido por el conductor, quien reaccionará para detener el vehículo inmediatamente antes del obstáculo.

La situación descrita es un fenómeno eventual, en la práctica de muy baja ocurrencia, pudiendo además en caso de ocurrir, ser menos crítico que el supuesto por el modelo, ya sea por que el obstáculo es de mayor altura y por lo tanto será percibido mucho antes, o bien, podrá estar localizado en posiciones más favorables que permitan una maniobra para evitarlo, o bien, ocurra inducido por fenómenos naturales (ejemplo: Tormentas), que ponen en guardia al conductor sobre la posible existencia de obstáculos desprendidos de los cortes del camino, árboles o postes caídos, etc., eventos que lo inducirán a reducir la velocidad de desplazamiento, al menos en las zonas con visibilidad restringida.

La **Velocidad V* (km/h),** se define como aquella empleada para verificar la existencia de Dp(m), en Curvas Horizontales con obstáculos laterales que limitan la visibilidad, y para el diseño de Curvas Verticales Convexas, también dependientes de Dp. Los valores adoptados para V* son mayores o iguales que Vp, pero en general menores que la V85% del tramo, por cuanto la V* cubre eventos de baja ocurrencia, en tanto que la V85% se asocia al diseño dinámico de las curvas horizontales, en las que se crean esfuerzos laterales que afectan a la totalidad de los usuarios que se desplazan a esa velocidad.

501.01.3.(b2) Velocidades V* Adoptadas

Los casos en que se debe diseñar considerando la existencia de Distancia de Frenado para Velocidades por sobre las de Proyecto y las V* adoptadas, son:

- Alineaciones Rectas que incluyen una Curva Vertical Convexa que limita la visibilidad y Curvas Horizontales precedidas por una recta, con o sin Curva Vertical Convexa:

Si: 400 m < Lr ≤ 600 m	V* = Vp + 5 km/h
Lr > 600 m	V* = Vp + 10 km/h

- Curvas Horizontales precedidas por una recta cuya longitud no supera los 400 m, pudiendo existir o no una curva Vertical Convexa. Si Rm es el radio horizontal mínimo para Vp, V* adopta los siguientes valores:

$$Rm \leq R \leq 1{,}15\ Rm \qquad V^* = Vp \text{ km/h}$$

$$1{,}15\ Rm < R \leq 1{,}30\ Rm \qquad V^* = Vp + 5 \text{ km/h}$$

$$R > 1{,}30\ Rm \qquad V^* = Vp + 10 \text{ km/h}$$

- Los valores de V* son válidos en todo el conjunto Clotoide de Entrada - Curva de Radio R - Clotoide de salida

- Si existe un nuevo elemento recto intermedio con Lr < 400 m, la V* en la recta intermedia se determina como el promedio de las V* correspondientes a las curvas horizontales de entrada y de salida, redondeando a los 5 km/h

501.01.3.(b3) Situaciones en que Interviene V* en el Diseño:

- Toda vez que se deba diseñar una curva Vertical Convexa

- Toda vez que corresponda verificar Dp en una curva Horizontal a la derecha, según el sentido de circulación, en que la visibilidad puede estar limitada por el talud de un corte, una Baranda Metálica de un Puente en curva o una Barrera de Seguridad; en curvas a la izquierda en la pista izquierda de una Carretera Unidireccional con Barrera de Seguridad, elemento tipo vista interrumpida, o arbustos en la Mediana, o bien, Baranda de un Puente en Curva. En curvas a la izquierda, si la carretera posee Control Total de Acceso tanto para vehículos como para peatones y animales el obstáculo a considerar será un automóvil (h3 = 1,2 m), como se verá en Capítulos posteriores

- No se emplearán las V* para el diseño de curvas Verticales Cóncavas puesto que en ese caso la visibilidad está limitada sólo de noche, situación en que se considera que los usuarios no superan la Velocidad de Proyecto

- No se emplearán las V* para la Verificación de las Distancias de Adelantamiento, puesto que no se considerarán adelantamientos a vehículos que se desplazan a Velocidades sobre las de Proyecto.

- Cualquiera que sea el caso particular que se enfrente, o la interpretación que se dé al contenido de lo expuesto precedentemente, la V* nunca podrá ser menor que la Vp asignada al proyecto o a los subtramos que lo compongan.

501.01.3.(c) Velocidad 85% y V* en Tramos Singulares

Salvo disposición en contrario de la Dirección de Vialidad, en zonas de intersecciones canalizadas y enlaces, se considerará que, V85% = V* = Vp, entre el inicio y el fin de las Pistas de Cambio de Velocidad del dispositivo. En Túneles se adoptará V85% = V* = Velocidad Máxima señalizada dentro del túnel.

501.02 DISTANCIAS DE VISIBILIDAD Y MANIOBRAS ASOCIADAS

501.02.1 ASPECTOS GENERALES

Se ha evidenciado que una de las características más importantes que un proyecto de carreteras debe ofrecer al conductor de un vehículo, es la facilidad de ver hacia delante, condición que le permita realizar una circulación cómoda, segura y eficiente.

Para asegurar que una carretera ofrezca esta característica al conductor deberá realizarse una buena concepción de las distancias de visibilidad, definida como la longitud continua de carretera que es visible hacia delante por el conductor de un vehículo que circula por ella.

Las distancias de visibilidad deben ser de suficiente longitud, tal que le permita a los conductores desarrollar la velocidad de diseño y a su vez controlar la velocidad de operación de sus vehículos ante la realización de ciertas maniobras en la carretera, como lo puede ser por la presencia inesperada de un obstáculo sobre su carril de circulación, o el adelantamiento a un vehículo lento en carreteras de dos carriles (dos sentidos), así mismo las maniobras de cruce con una vía, o el encuentro de dos vehículos que circulan por el mismo carril en sentidos opuestos en carreteras de calzadas angostas. Dichas distancias deberán ser por lo menos, iguales a las distancias de frenado para obstáculos sobre la longitud total de la carretera.

En las carreteras de dos vías, las distancias mínimas de visibilidad de adelantamiento deben proveerse en un gran porcentaje de la longitud de la carretera y deben estar tan uniformemente distribuidas como sea posible. En donde la visibilidad es insuficiente, se recomienda la construcción de áreas de paso o de áreas con sobreancho, juiciosamente localizadas.

En áreas donde las distancias de visibilidad no se pueden asegurar (en forma permanente o temporal), deben colocarse marcas o señales de carretera apropiadas para prohibir el adelantamiento en forma clara y perceptible por los usuarios.

Por lo anterior, para el proyecto de carreteras, deberán tenerse en cuenta cuatro tipos de distancias de visibilidad, las cuales dependen de las distintas circunstancias impuestas por el trazado de la carretera o de la maniobra que el conductor desea realizar. Estas son:

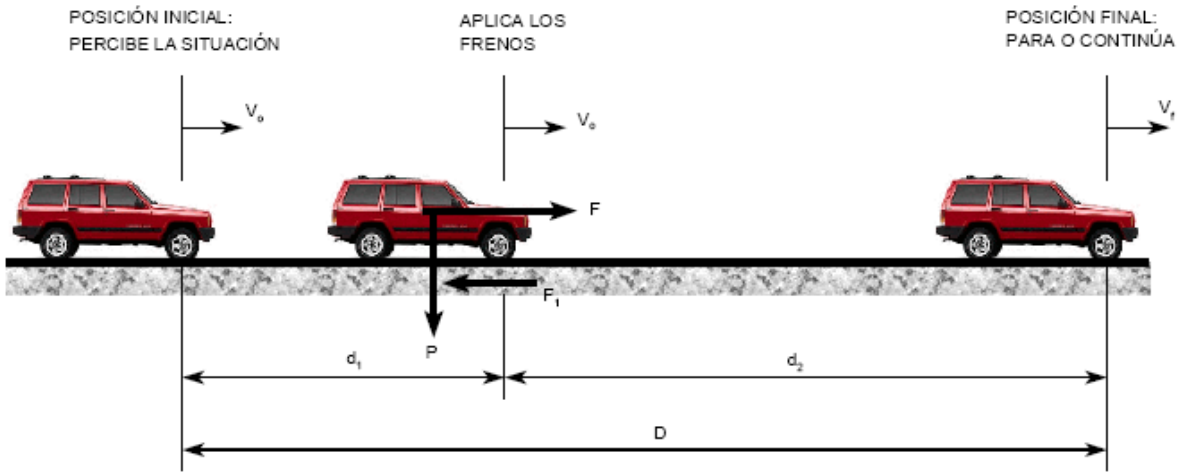
- Distancia de visibilidad de frenado
- Distancia de visibilidad de adelantamiento
- Distancia de visibilidad al punto de atención
- Distancia de visibilidad de cruce (cruce de carreteras)
- Distancia de visibilidad de encuentro (Intersecciones)

Las dos primeras situaciones influencian el diseño de la carretera en campo abierto y serán tratadas en esta Sección, considerando inicialmente la situación de referencia; es decir, en alineamiento recto y sin pendiente, para luego analizar el efecto de las pendientes y de las obstrucciones a la visibilidad que pueden darse en las curvas horizontales. Las condicionantes impuestas por el alineamiento vertical, curvas verticales, se analizarán al momento de estudiar el trazado del Alineamiento Vertical. La visibilidad al punto de atención será tratada en el Capítulo referente al Diseño Espacial. Las dos últimas situaciones se tratarán posteriormente.

501.02.2 DISTANCIAS DE VISIBILIDAD DE FRENADO

La distancia de visibilidad de frenado es aquella requerida por un conductor para detener su vehículo en marcha, cuando surge una situación de peligro o percibe un objeto imprevisto adelante de su recorrido. Esta distancia se calcula para que un conductor y su vehículo por debajo del promedio, alcance a detenerse ante el peligro u obstáculo. La geometría de una carretera, sea cualquiera su tipo, debe diseñarse con la distancia de visibilidad mínima. Gráficamente la concepción de esta distancia se puede apreciar en el siguiente diagrama.

GRÁFICO 6: DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE FRENADO



Por tanto, la distancia de frenado es la suma de dos distancias a decir:

- **Distancia de Percepción y Reacción**

La Distancia de percepción y reacción es la distancia recorrida por el vehículo desde el instante que el conductor percibe el objeto y aplica el pedal del freno

- **Distancia de Frenado**

Distancia de frenado es la distancia necesaria para detener el vehículo desde el instante de la aplicación del freno hasta su detención final

El cálculo de distancia de visibilidad de frenado se determina mediante la siguiente fórmula:

$$D_{vf} = \frac{V * t}{3.6} + \frac{V^2}{254(f \pm i)}$$

Donde:

D_{vf} = Distancia de Frenado (m)
V = Vp o V*
t = Tiempo de Percepción + Reacción (s)
f = Coeficiente de fricción entre neumático y superficie de rodadura (longitudinal)
i = Pendiente Longitudinal (m/m)
\+ i Subidas respecto sentido de circulación
\- i Bajadas respecto sentido de circulación

El primer término de la expresión representa la distancia recorrida durante el tiempo de percepción + reacción (dt) y el segundo la distancia recorrida durante el frenado hasta la detención junto al obstáculo (df).

La ***Tabla 9*** presenta los valores parciales calculados mediante la expresión citada y el valor redondeado adoptado para la D_{vf}. Todo ello considerando que V* corresponde a la velocidad asignada al tramo y que los valores de "t" y "f" se han actualizado de acuerdo a las tendencias vigentes a la fecha. Estos valores de D_{vf}, son los mínimos admisibles en horizontal.

TABLA 9 "VALORES PARA D_{vf}"

V	t	f	dt	Df	Dvf (m)		V
Km/h	s	-	m	m	dt + Df	Adopt.	Km/h
30	2	0,420	16,7	8,4	25,1	25	30
35	2					31	35
40	2	0,415	22,2	15,2	37,4	38	40
45	2					44	45
50	2	0,41	27,8	24	51,8	52	50
55	2					60	55
60	2	0,46	33,3	35,5	68,8	70	60
65	2					80	65
70	2	0,8	38,9	50,8	89,7	90	70
75	2					102	75
80	2	0,36	44,4	70	114,4	115	80
85	2					130	85
90	2	0,34	50,0	93,9	143,9	145	90
95	2					166	95
100	2	0,33	55,6	119,4	175,0	175	100
105	2					192	105
110	2	0,32	61,1	149	210,1	210	110
115	2					230	115
120	2	0,31	66,7	183	249,7	250	120
125	2					275	125
130	2	0,295	72,2	225,7	297,9	300	130

Si en una sección de carretera o camino resulta prohibitivo lograr la Distancia Mínima de Visibilidad de Frenado correspondiente a V*, se deberá señalizar dicho sector con la velocidad máxima admisible, siendo éste un recurso extremo a utilizar sólo en casos especiales y que sean debidamente autorizados por el Ente Rector.

501.02.2.(a) Visibilidad de Frenado en Puntos Singulares

En sectores que se aparten del caso base, trazado recto con rasante en pendiente uniforme, el cálculo de los elementos deberá verificarse o efectuarse de modo de asegurar en todo punto, al menos una visibilidad equivalente a la distancia de Visibilidad de Frenado requerida. Estos casos se tratan en:

- Verificación de Distancia de Visibilidad de Frenado en Curvas Horizontales ***(Numeral 501.02.4.(b)***
- Verificación Gráfica de la Distancia de Visibilidad de Frenado en Alineamiento Vertical ***Numeral 501.02.4.(c)***

- Diseño Curvas Verticales por Criterio Distancia de Visibilidad de Frenado, que será desarrollado en posteriormente en la ***Sección 601.***

- Verificación de Distancia de Visibilidad de Frenado bajo Estructuras, que será desarrollado posteriormente en la ***Sección 601***.

501.02.3 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

La distancia para adelantar se define, como la longitud del camino que permite a un vehículo rebasar al que se encuentra circulando en su mismo carril y dirección, con toda seguridad, sin poner en peligro la circulación de un tercer vehículo que ocupa el carril opuesto en dirección contraria y se hace visible al inicio de la maniobra.

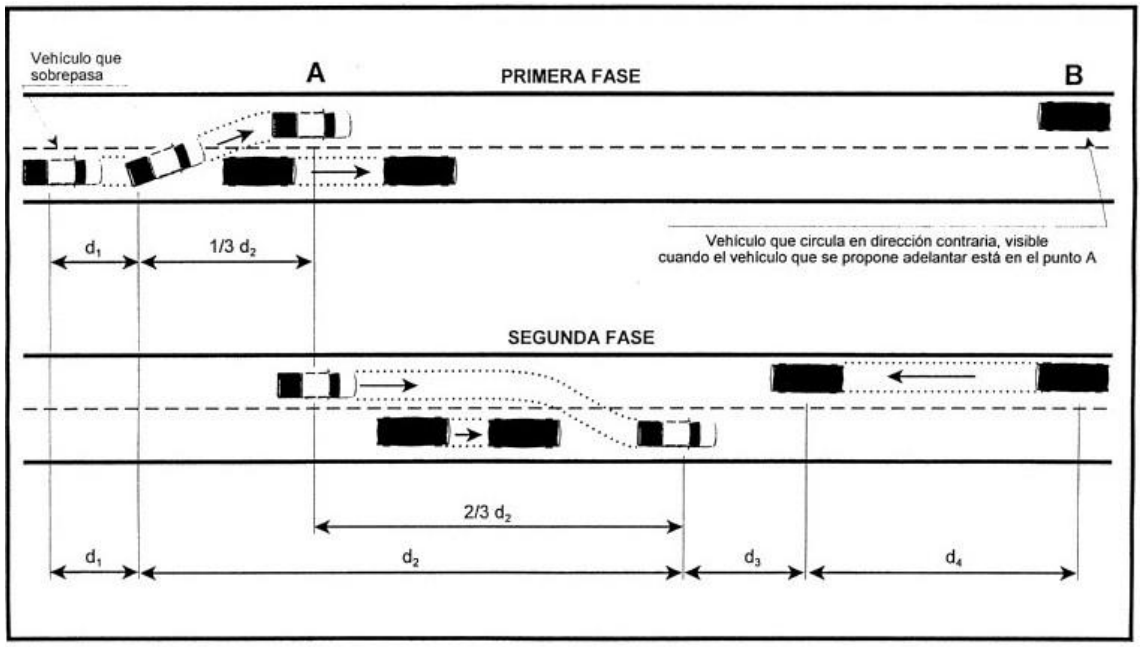
Es de importancia para el proyectista considerar que exista la oportunidad de rebasar en la mayor longitud posible del camino, pero también seleccionar cuidadosamente su ubicación acorde con las condiciones geométricas y topográficas existentes, para que resulte un diseño equilibrado y económico.

Para lograr este objetivo, se supone que el vehículo que inicia el adelantamiento ha de circular a una velocidad superior aproximadamente a los 15 Km/h con respecto al vehículo que ha de rebasar, manteniendo éste una velocidad constante.

Del mismo modo, cuando el vehículo retorna a su carril debe existir una adecuada longitud sin obstáculos para que no ponga en peligro la circulación del vehículo que se aproxima por el carril contrario.

La mínima distancia para adelantar está gobernada por la integración de cuatro distancias como se indica en el gráfico siguiente.

GRÁFICO 7: "DISTANCIA MÍNIMA DE ADELANTAMIENTO"



Atendiendo lo anteriormente expresado se puede deducir que, la Distancia de Visibilidad de Adelantamiento se requiere sólo en caminos con carriles para tránsito bidireccional.

El proyectista deberá verificar en las etapas iniciales del proyecto en que zonas se deberá prohibir el adelantamiento y así adaptar su trazado evitando sectores demasiado largos en que no se pueda ejecutar esta maniobra. Las distancias de adelantamiento se dan en función de la Velocidad de Proyecto Vp, considerando que difícilmente se intentarán maniobras de adelantamiento respecto de vehículos que circulan a velocidades mayores.

La Tabla siguiente expone los valores mínimos a considerar en el diseño como visibilidades adecuadas para adelantar.

TABLA 10 "DISTANCIAS MÍNIMAS DE ADELANTAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE PROYECTO"

Velocidad de Proyecto Km/h	Distancia Mínima de Adelantamiento (m)
30	***180***
40	***240***
50	***300***
60	***370***
70	***440***
80	***500***
90	***550***
100	***600***

Donde sea económico posibilitar el adelantamiento el proyectista deberá procurar dar distancias de visibilidad mayores que las indicadas en la tabla anteriormente presentada.

501.02.3.(a) Efecto de las Pendientes Sobre la Distancia de Adelantamiento

Otro factor importante a ser evaluado por el proyectista, es la pendiente del camino para el vehículo que inicia el paso en tramos de subida, dado que si bien el vehículo a rebasar disminuirá progresivamente su velocidad, el vehículo que circula por el carril opuesto del mismo modo incrementará su velocidad pudiendo crear una situación peligrosa.

Si bien no existe un criterio establecido al respecto, es conveniente su oportuna evaluación incrementando las distancias que se establecen en la Tabla presentada en el ***numeral 501.02.3.*** Este incremento debe realizarse como se explica a continuación:

- En pendientes > 6,0%
- Usar Distancia de Adelantamiento (Da) correspondiente a Vp + 10 km/h
- Si Vp = 100 km/h considerar en estos casos Da ≥ 650 m

501.02.3.(b) Frecuencia de Zonas Adecuadas para Adelantar

Si bien la Distancia de Adelantamiento es mayormente requerida a la Distancia de Visibilidad de Frenado, el diseñar una carretera que posea a lo largo de su desarrollo una Distancia de Adelantamiento adecuada para adelantar, resulta sumamente antieconómico, lo que se incrementa aún más cuando el terreno cambia de conformación de llano a ondulado y a cordillera.

Por otra parte, diseñar una carretera con pocos sectores que cuenten la debida Distancia de Adelantamiento, reduce la capacidad de las vías bidireccionales, provoca impaciencia en los conductores y con ello se incrementa el peligro en las maniobras de paso arriesgadas.

Equilibrando estos dos conceptos, el proyectista deberá distribuir lo más homogéneamente posible la ubicación de zonas con Distancia de Adelantamiento a lo largo del trazado.

En un tramo dado de longitud superior a 5 Km, el Proyectista procurará que los sectores con Distancia de Adelantamiento adecuada, respecto del largo total del tramo, se encuentren dentro de los porcentajes establecidos en la siguiente tabla.

TABLA 11 "PORCENTAJE DE SECTORES CON DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO ADECUADA RESPECTO AL LARGO TOTAL DEL TRAMO"

Tipo de Terreno	% Mínimo	% Deseable
Llano	45	
Ondulado	30	
Cordillera	20	

501.02.3.(c) Zonas de No Adelantar

En los casos en que no se pueda conseguir establecer la Distancia de Adelantamiento adecuada, ya sea por razones restrictivas causadas por elementos asociados a la planta o perfil longitudinal o tal vez una combinación de ambos, estas zonas deberán ser debidamente señalizadas, implementando para ello señales horizontales cuando exista pavimento y señales verticales para todo tipo de pavimento. Existe la posibilidad de utilizar señalización vertical al lado izquierdo, en aquellos casos en que se cuente con carreteras de elevados índices de tránsito, en los cuales los mismos vehículos obstaculicen la visibilidad.

Para definir la zona de no adelantar, el proyectista deberá determinar mediante procedimientos gráficos, o bien analíticos, los puntos del trazado, para cada sentido de tránsito, en que la visibilidad es igual y de allí en adelante menor que el mínimo requerido.

501.02.4 VERIFICACIÓN DE LA VISIBILIDAD

501.02.04.(a) Aspectos Generales

El proyectista debe efectuar en las primeras etapas del proyecto la evaluación de la coordinación entre los alineamientos horizontal y vertical, cuando aún se pueden hacer modificaciones sin causar grandes perturbaciones en el diseño.

Los tramos en recta y de pendiente uniforme, por lo general no presentan obstrucciones a la visibilidad. Solo en situaciones extraordinarias, como por ejemplo en situaciones de trabajo en la vía, pueden existir algunas obstrucciones, situación que puede ser resuelta con la colocación de señalización preventiva transitoria.

Tramos con curvatura en planta pero en pendiente uniforme deberán verificarse respecto de la distancia a obstáculos existentes en sentido transversal a la carretera, hacia el interior de la curva, que pueden estar constituidos por taludes de corte, árboles, etc., o bien por elementos instalados en el cantero central (barreras, arbustos).

El despeje lateral mínimo requerido se puede determinar con facilidad analíticamente, considerando la V* asignada al tramo. Tramos en recta con un alineamiento vertical que presenta curvas verticales no requieren verificación en la medida que estas estén diseñadas para Df considerando la V* asignada al tramo. Cuando se trata de un camino bidireccional los tramos diseñados para Df deben analizarse para establecer los puntos en que se debe instalar señalización que prohíba el adelantamiento, resultando práctico el empleo de métodos gráficos o bien un programa computacional.

Tramos que presentan simultáneamente curvatura en planta y elevación complican la verificación y normalmente se debe recurrir a los métodos gráficos, trabajando sobre los planos del proyecto, combinando los procedimientos que se ilustran más adelante.

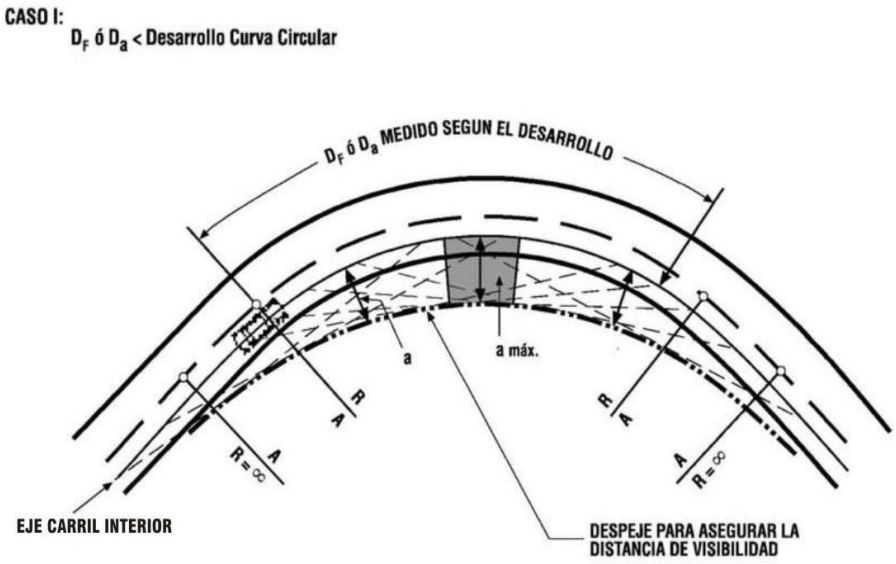
501.02.4.(b) Verificación Gráfica de la Distancia de Visibilidad de Frenado en curvas Horizontales

La visibilidad en el interior de una curva horizontal puede estar limitada por obstrucciones laterales. La expresión analítica que se presenta a continuación permite calcular el despeje mínimo necesario en la parte central de la curva, pero hacia los extremos de ésta el despeje disminuye, dando origen a un huso. Lo anterior es especialmente válido cuando la distancia de visibilidad requerida es mayor que el desarrollo de la curva o cuando existen curvas de transición entre la alineación recta y la curva circular. Los Gráficos que se muestran en la página siguiente, exponen cómo mediante un polígono de visuales se puede determinar, para diversas secciones transversales, el despeje necesario medido a partir del radio que describe el conductor por el carril interior (derecha) de la calzada, en el caso de curvas a la derecha. En carreteras unidireccionales se podrá usar el mismo procedimiento, pudiendo en ese caso también ser crítico el carril adyacente al cantero central (izquierdo), para curvas hacia la izquierda, si en el cantero central existen barreras o arbustos.

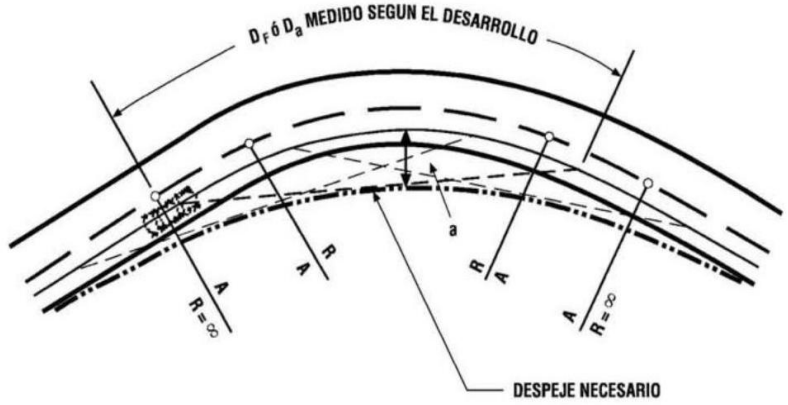
Para calcular el despeje lateral máximo requerido se deben considerar los dos casos que se ilustran en el ***Gráfico 8***.

- Caso I: Dvf o Da < Desarrollo de la Curva Circular
- Caso II: Dvf o Da > Desarrollo de la Curva Circular

GRÁFICO 8: "DESPEJE NECESARIO PARA ASEGURAR LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD"



CASO II:
D_F ó D_a > Desarrollo Curva Circular



Este valor puede ser calculado analíticamente a partir de la expresión:

$$a_máx = R\left[1 - \cos\left(\frac{100 * Dv}{\pi * R}\right)\right]$$

Siendo Dv igual a Df o Da según el caso bajo análisis y la función trigonométrica en grados centesimales.

La anterior expresión puede reemplazarse por: a máx=Dv2/8*R que da resultados suficientemente aproximados para todos los efectos, cuando se calcula a máx, por condición de frenado o cuando se calcula a máx, para R > Da en el caso de visibilidad de adelantamiento. El error que se comete está en todo caso por el lado de la seguridad.

Para un ancho normal de carril, 3,5 o 3,0 m, la distancia crítica entre el conductor y el borde del carril por la que se circula, es la que se indica en la Tabla siguiente, los valores presentados son para diferentes situaciones. Tomando en cuenta el sentido de circulación en vías bidireccionales y unidireccionales, son Carriles Críticos y requieren verificación, el carril derecho cuando la curva tiene giro a la derecha; para curvas de giro a la izquierda será Carril Critico el izquierdo en calzadas unidireccionales, adyacentes al cantero central.

TABLA 12 "DISTANCIA CRÍTICA ENTRE EL CONDUCTOR Y EL BORDE DEL CARRIL"

TRAZADOS EN CAMPO ABIERTO - TERRAPLENES O CORTES CON TALUD ≤ 4V:1H			
CALZADAS BIDIRECCIONALES (n=2)		CALZADAS UNIDIRECCIONALES (n≥2)	
CARRILES 3,5 m.	CARRILES 3,0 m.	CARRILES 3,5 m.	
2,00	1,75	2,0 C. Derecho	1,50 C. Izquierdo
TRAZADOS EN TUNELES O ADYACENTES A MUROS DE CONTENCION O CORTES CON TALUD > 4v:1H(1) Y (2)			
CALZADAS BIDIRECCIONALES (n=2)		CALZADAS UNIDIRECCIONALES (n≥2)	
CARRILES 3,5 m.	CARRILES 3,0 m.	CARRILES 3,5 m.	
2,20	1,95	2,35 C. Derecho	1,65 C. Izquierdo

501.02.4.(c) Verificación Gráfica de la Distancia de Visibilidad de Frenado en Alineamiento Vertical

La visibilidad en el alineamiento se relaciona fundamentalmente con la determinación de las zonas de adelantamiento prohibido, cuando resulta antieconómico proveer esta visibilidad. En efecto, el cálculo analítico de curvas verticales por visibilidad de frenado, que debe existir siempre, o por visibilidad de adelantamiento cuando el proyectista decide darlo, queda asegurado mediante el uso de los valores y las expresiones de cálculo correspondientes a la "Verificación de la Visibilidad", presentado en la presente guía.

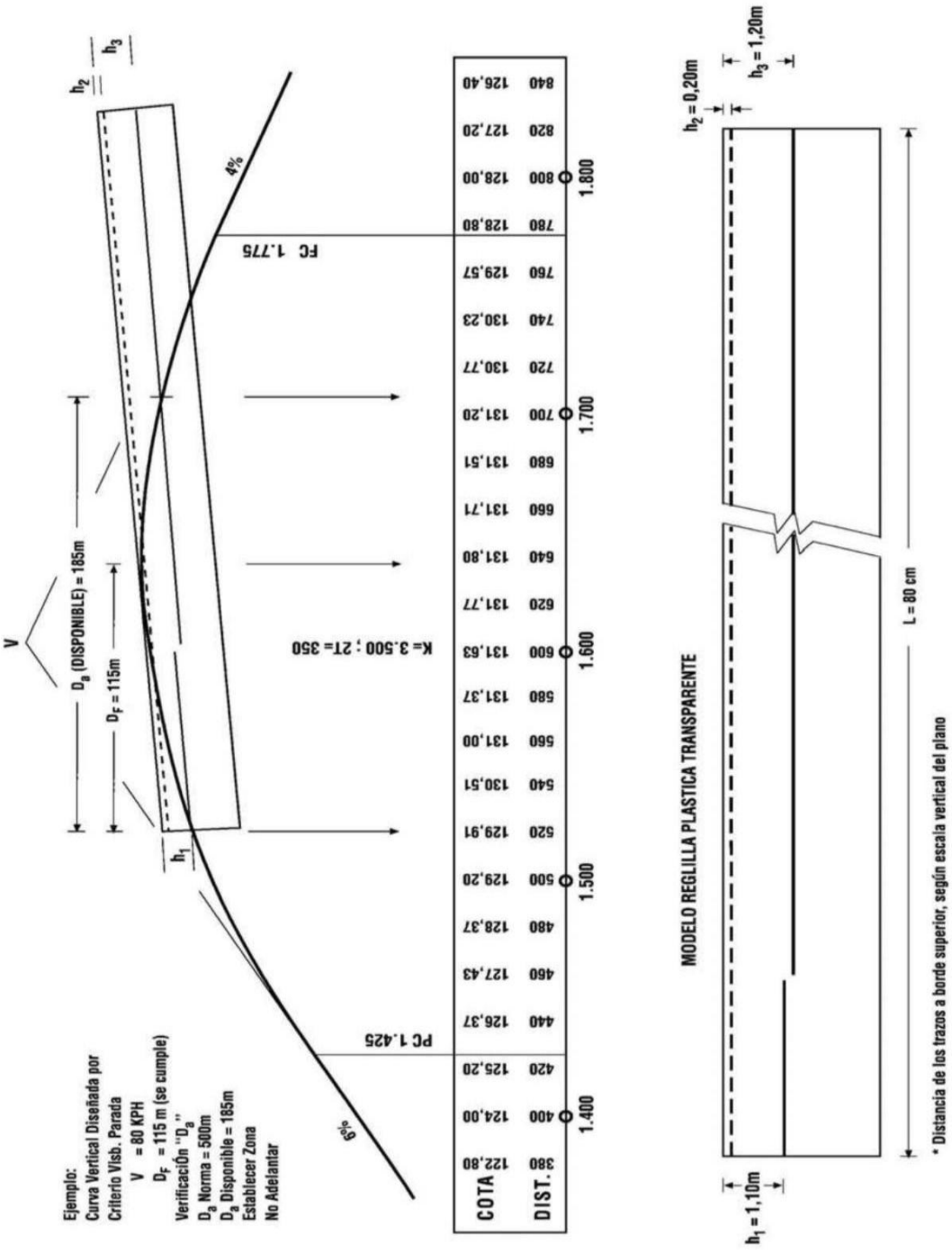
En todo caso, el método gráfico presentado en la página siguiente, permite verificar las distancias de visibilidad de frenado y adelantamiento en curvas verticales convexas y es indispensable para determinar la longitud de las zonas de adelantamiento prohibido y consecuentemente apreciar el efecto global de éstas sobre la futura operación de la carretera.

Tal como se observa en el ***Gráfico 9***, al cortar la rasante con el trazo que dista 1,10 m, (a escala del plano), en una estación dada, y hacer tangente el borde superior de la reglilla con la rasante, se tiene la línea de visual del conductor; el punto en que la línea de segmentos corta por segunda vez la rasante, será la distancia de visibilidad disponible por condición de frenado desde donde se ubica el observador.

El punto donde el trazo lleno, que representa los 1,2 m (h5) de altura de un vehículo, corta la rasante, será la distancia de visibilidad de adelantamiento que se dispone a partir del mismo punto inicial considerado. Desplazando la reglilla a lo largo de la rasante en uno y otro sentido de circulación, se podrán verificar las visibilidades disponibles y así determinar las zonas de adelantamiento restringido.

Debido a la distorsión de escala (H)/(V) del plano, no se pueden hacer medidas a lo largo de la reglilla por lo que las visibilidades disponibles deberán obtenerse por diferencia de kilometrajes asociados a los puntos de corte de la rasante, con los trazos correspondientes a cada situación.

GRÁFICO 9: "VERIFICACIÓN GRÁFICA DE LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE FRENADO EN ALINEAMIENTO VERTICAL"



SECCIÓN 601 - TRAZADO EN PLANTA

601.01 INTRODUCCIÓN

Para la realización de un diseño óptimo es esencial conocer las especificaciones que rigen el Diseño Geométrico de Carreteras, así como encontrar una armonía entre las normas para el Alineamiento Horizontal y Vertical, aspecto que se ve afectado por factores como la Franja de Dominio, división de la propiedad, el efecto de la vía proyectada en torno a las existentes, cruce con carreteras, ferrocarriles, el drenaje y otros. Esto debido a que por estos factores se puede hacer necesario realizar un forzado en el Diseño.

Para el alineamiento vertical es importante aclarar que la subrasante es la línea que hay que tomar como referencia. La posición de esta, va a depender de diversos factores como:

La condición topográfica del terreno influye en diversas formas al definir la subrasante. En terrenos planos la altura de la subrasante será regulada generalmente por el drenaje. En terrenos ondulados se adoptan subrasantes onduladas, mientras que en terrenos accidentados, estará regida por la topografía.

Se debe buscar una subrasante suave con cambios graduales. Los valores de diseño son la pendiente máxima y la longitud crítica.

Deben evitarse vados formados por curvas verticales muy cortas pues no representa un perfil seguro. Así mismo no se debe colocar dos curvas verticales sucesivas y en la misma dirección.

Es preferible tener un perfil escalonado a una pendiente sostenida, ya que de esta manera se controla más la velocidad.

Cuando la magnitud del desnivel motiva largas pendientes uniformes, es conveniente adoptar un carril adicional en la sección transversal.

Se deben considerar carriles auxiliares de ascenso donde la longitud crítica de la pendiente está excedida y donde el volumen horario de proyecto excede del 20% de la capacidad de diseño para dicha pendiente en el caso de caminos de dos carriles, y del 30% en el de varios carriles.

Cuando se trata de salvar desniveles apreciables, deberá procurarse disponer las pendientes más fuertes al comenzar el ascenso.

Donde las intersecciones a nivel ocurren en tramos de camino con pendientes de moderadas a fuertes, es deseable reducir la pendiente a través de la intersección.

601.01.1 ASPECTOS GENERALES

601.01.1.(a) Controles del trazado en planta

En tramos restrictivos del trazado se deberá implementar una operación segura y confortable considerando la Velocidad de Proyecto (Vp) correspondiente a la categoría de la ruta; en tanto que en los tramos de trazado amplio se deberá considerar la V85% ó la V* según corresponda, asociada al conjunto de los elementos del tramo, en previsión de las velocidades de desplazamiento que adoptará un porcentaje importante de los usuarios en los períodos de baja demanda.

Si por condiciones topográficas se debe cambiar la velocidad de proyecto, el diseño debe tomar en cuenta el tramo de transición correspondiente, situación que deberá ser señalizada de manera adecuada.

Los aspectos más importantes a ser tomados en cuenta al momento de realizar el trazado en planta de manera que se pueda lograr una circulación efectiva, cómoda y segura son los siguientes.

Se debe tomar en cuenta la Categoría de la Ruta.

La conformación de la Topografía del Área, es un aspecto importante que debe ser tomado en cuenta al momento del Diseño.

En base a la categoría y conformación topográfica de la zona, deberá determinarse la Velocidad de Proyecto.

Tomando en cuenta las consideraciones realizadas en la ***Sección 501***, se deberá determinar las V85 % para diseñar las Curvas Horizontales.

Asimismo a objeto de verificar la Distancia de Visibilidad de Frenado, deberá estudiarse la V*.

Se deberá tener cuidado de asegurar una buena coordinación con el Alineamiento Vertical, a objeto de anular la apariencia de distorsión.

La seguridad al tránsito que debe ofrecer el proyecto es la condición que debe tener preferencia. La topografía condiciona muy especialmente los radios de curvatura y velocidad de proyecto.

La distancia de visibilidad debe ser tomada en cuenta en todos los casos, porque con frecuencia la visibilidad requiere radios mayores que la velocidad en sí.

El alineamiento debe ser tan direccional como sea posible sin dejar de ser consistente con la topografía.

Para una velocidad de proyecto dada, debe evitarse dentro de lo razonable, el uso de la curvatura máxima permisible.

Debe procurarse un alineamiento uniforme que no tenga quiebres bruscos en su desarrollo, por lo que deben evitarse curvas forzadas después de tangentes largas o pasar repentinamente de tramos de curvas suaves a otros de curvas forzadas.

En terraplenes altos y largos solo son aceptables alineamientos rectos o de muy suave curvatura, para que el conductor pueda ajustar su velocidad a las condiciones prevalecientes.

En camino abierto debe evitarse el uso de curvas compuestas, sobretodo donde sea necesario proyectar curvas forzadas. Las curvas compuestas se pueden emplear siempre y cuando la relación entre el radio mayor y el menor sea igual o menor a 1,5.

Debe evitarse el uso de curvas inversas que presenten cambios de dirección rápidos, pues dichos cambios hacen difícil al conductor mantenerse en su carril, resultando peligrosa la maniobra. Las curvas inversas deben proyectarse con una tangente intermedia, la cual permite que el cambio de dirección sea suave y seguro.

Un alineamiento con curvas sucesivas en la misma dirección debe evitarse cuando existan tangentes cortas entre ellas, pero puede proporcionarse cuando las tangentes sean mayores de 500 m.

Es conveniente limitar el empleo de tangentes muy largas, pues la atención de los conductores se concentra durante largo tiempo en puntos fijos, que motivan somnolencia, por lo cual es preferible proyectar en alineamiento ondulado con curvas amplias.

Finalmente se deberá considerar los Costos de Construcción, Operación y Mantenimiento, a objeto de establecer un costo equilibrado.

Todos estos elementos deben conjugarse de manera tal que el trazado resultante sea el más seguro y económico, en armonía con los contornos naturales y al mismo tiempo adecuado a la categoría, según la Clasificación Funcional para Diseño.

El alineamiento horizontal deberá proporcionar en todo el trazado a lo menos la distancia mínima de visibilidad de frenado, de acuerdo a lo establecido en la ***Sección 501***.

601.01.1.(b) Localización del eje en planta

Para definir la localización del eje en planta, el proyectista deberá tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

Si el proyecto ha sido concebido con calzada única, en la mayoría de los casos el eje en planta será el eje de simetría de la calzada de sección normal, prescindiendo de los posibles ensanches o carriles auxiliares que puedan existir en ciertos sectores. El eje de simetría será también el eje de giro para desarrollar los peraltes.

En carreteras unidireccionales provistas de cantero central, el eje se localizará en el centro del cantero central y los bordes interiores del pavimento de las calzadas poseerán la misma cota que dicho eje en las secciones transversales correspondientes. Los ejes de giro del peralte corresponderán en este caso a los bordes interiores del pavimento de cada calzada.
En carreteras unidireccionales con calzadas independientes el eje corresponderá al eje de simetría de cada calzada, el que también será eje de giro de los peraltes. Sin embargo, si las calzadas se independizan sólo en un tramo, conviene mantener el eje en el borde interior del pavimento para facilitar el empalme y la coherencia general del proyecto cuando estas vuelvan a juntarse.

En carreteras bidireccionales, para las que en el mediano plazo se prevea la construcción de la segunda calzada, la Dirección de Vialidad decidirá oportunamente si se diseñan considerando un eje de simetría en la calzada inicial o un eje localizado en el futuro cantero central, proyectándose en este caso con bombeo en un solo sentido.

Para los carriles de aceleración, deceleración y ramales de intersecciones y enlaces, se definirán ejes adecuados a cada situación según se establece más adelante**.**

601.01.1.(c) Criterios para establecer el trazado en planta

601.01.1.(c1) Elementos del trazado en planta

La planta de una carretera preferentemente deberá componerse de una sucesión de elementos curvos que cumplan las relaciones que se fijan más adelante y de aquellos tramos en recta que sean indispensables.

Los elementos curvos comprenden:

- Curvas Circulares
- La parte central circular y dos arcos de enlace
- Otras combinaciones de arco circular y arco de enlace

601.01.1.(c2) Tendencia actual

La tendencia actual en el diseño de carreteras de cierto nivel se orienta hacia la utilización de curvas amplias que se adaptan a la topografía del terreno, haciendo casi desaparecer las rectas. Esta forma de trazado se preferirá por cuanto los largos tramos rectos inducen velocidades V85% muy por sobre la velocidad de proyecto, aumentan el peligro de deslumbramiento por las luces del vehículo que avanza en sentido opuesto, y porque la monotonía en la conducción disminuye la concentración del conductor, lo que en oportunidades es motivo de accidentes. Una sucesión de curvas de radios adecuados limitan la V85% y mantienen al conductor atento al desarrollo del trazado. Por otra parte, las curvas armonizan en mejor forma con las sinuosidades del terreno, proporcionando claras ventajas desde el punto de vista estético y económico.

En terrenos llanos y ondulados suaves los conductores esperan poder desarrollar velocidades relativamente altas y consecuentemente se deberán evitar los radios mínimos correspondientes a la categoría de la ruta, los que sólo podrán emplearse en sectores obligados, siempre que estén precedidos de elementos curvos que van disminuyendo paulatinamente.

Los trazados sinuosos compuestos de curvas cortas, deberán evitarse en trazados de velocidad de proyecto sobre 70 km/h pues inducen a una conducción errática.

En terrenos ondulados fuertes y montañosos, los conductores están dispuestos a una mayor restricción pudiendo emplearse elementos en el orden de los mínimos de norma, siempre que ellos no aparezcan en forma sorpresiva.

601.01.1.(c3) El problema de la visibilidad

Si bien el trazado curvo tiene las bondades que se han indicado, la obtención de visibilidad de adelantamiento para caminos bidireccionales exige tramos rectos o de curvatura muy suave, que permiten adelantar en el mayor porcentaje posible de su longitud ***(Ver numeral 501.02.3.(b))***. Las curvas del orden del mínimo admisible disminuyen la confianza del conductor para adelantar, aunque ofrezcan visibilidad adecuada. Las rectas largas que se impongan para facilitar el adelantamiento deben terminar en curvas horizontales cuyo radio asegure una velocidad específica mayor o igual que la V85% definida en ***numeral501.01.3.(a)***.

601.01.1.(c4) Elementos de curvatura variable

La utilización de elementos de curvatura variable entre recta y curva circular, o bien como elemento de trazado propiamente tal, se hace necesaria por razones de seguridad, comodidad y estética. Como elemento de curvatura variable con el desarrollo se utilizará la Clotoide, cuyas propiedades y campo de aplicación se tratan en ***numerales 601.01.4.(b)*** y ***601.01.4.(c).***

601.01.2 ALINEAMIENTO RECTO

601.01.2.(a) ASPECTOS GENERALES

Salvo en lugares llanos y despoblados, los grandes alineamientos rectos no se dan en forma natural. Pretender incorporarlos al trazado implica por lo general movimientos de tierra innecesarios, además de producir los inconvenientes operativos descritos en el ***numeral 601.01.1.(c2).***

En muchos casos puede reemplazarse con ventaja un alineamiento recto por curvas de radios comprendidos entre 5.000 y 7.500 m.

601.01.2.(b) LONGITUDES MÁXIMAS EN RECTA

Se procurará evitarán longitudes en recta superiores a:

Lr (m) = 20 Vp (km/h)
Lr = Largo en m de la Alineación Recta
Vp = Velocidad de Proyecto de la Carretera

En caminos bidireccionales de dos carriles, a diferencia de lo que ocurre en carreteras unidireccionales, la necesidad de proveer secciones con visibilidad para adelantar justifica una mayor utilización de rectas importantes. Sin embargo, rectas de longitud comprendida entre 8Vp y 10Vp, enlazadas por curvas cuya Ve sea mayor o igual que la V85 determinada según las ***Tablas 7 y 8*** de la ***Sección 501***, cubren adecuadamente esta necesidad.

601.01.2.(c) LONGITUDES MÍNIMAS EN RECTA

Se debe distinguir las situaciones asociadas a curvas sucesivas en distinto sentido o curvas en "S" de aquellas correspondientes a curvas en el mismo sentido.

601.01.2.(c1) Curvas en S

i. **Nuevos Trazados:** En nuevos trazados deberá existir coincidencia entre el término de la clotoide de la primera curva y el inicio de la clotoide de la segunda curva.

ii. **Recuperaciones y Zonas de Cambio de Estándar:** En las recuperaciones o cambios de estándar, si lo expuesto en el Acápite i no es posible, se podrán aceptar tramos rectos intermedios de una longitud no mayor que:

$$Lrs\ máx = 0{,}08 * (A1 + A2)$$

Siendo A1 y A2 los parámetros de las clotoides respectivas.

iii. **Tramos rectos con longitudes amplias:** Tramos rectos intermedios de mayor longitud, deberán alcanzar o superar los mínimos que se señalan en la ***Tabla 13***, los que responden a una mejor definición óptica del conjunto que ya no opera como una curva en S propiamente tal, y están dados por:

Lr mín. = 1,4 * Vp.

TABLA 13: LR MÍN ENTRE CURVAS DE DISTINTO SENTIDO

Vp (Km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Lr (m)	56	70	84	98	112	126	140	154	168

601.01.2.(c2) Tramo recto entre curvas en el mismo sentido

Por condiciones de guiado óptico es necesario evitar las rectas excesivamente cortas entre curvas en el mismo sentido, en especial en Terreno Llano y Ondulado Suave con velocidades de proyecto medias y altas. La ***Tabla 14*** entrega los valores deseables y mínimos según tipo de terreno y Vp.

TABLA 14: LR MÍN ENTRE CURVAS DEL MISMO SENTIDO

Vp (Km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Terreno Llano y Ondulado	-	110/55	140/70	170/85	195/98	220/110	250/125	280/150	305/190	330/250
Terreno Montañoso	25	55/30	70/40	85/50	98/65	110/90				

Los valores indicados corresponden a Deseables y Mínimos.

Para longitudes de la recta intermedia menores o iguales que los mínimos deseables, se mantendrá en la recta un peralte mínimo igual al bombeo que le corresponde a la carretera o camino (2; 2,5 ó 3%).

El empleo de valores bajo los deseables sólo se aceptará si no es posible reemplazar las dos curvas por una sola de radio mayor, o bien, enlazar ambas curvas mediante una clotoide intermedia formando una Ovoide, o dos clotoides y una curva circular intermedia (Ovoide doble).

TABLA 17: RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS EN CURVAS HORIZONTALES

Vp Km/h	emáx %	f	Rmín m
Caminos: Colector - Local - Desarrollo			
30	7	0,215	25
40	7	0,198	50
50	7	0,182	80
60	7	0,165	120
70	7	0,149	180
80	7	0,132	250
Carreteras: Autopista - Multicarril - Bidireccional			
80	8	0,122	250
90	8	0,114	330
100	8	0,105	425
110	8	0,096	540
120	8	0,087	700

Los detalles, respecto al uso de radios mínimos absolutos, modificaciones del peralte y la aplicación de criterios en cuanto a la Visibilidad de Frenado y/o Adelantamiento, se encuentran descritos en la ***Sección 601*** del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.

601.01.2.(d) CURVAS HORIZONTALES CON RADIOS SOBRE LOS MISMOS

El criterio tradicionalmente empleado con anterioridad establecía que para una velocidad de proyecto dada, correspondían peraltes decrecientes a medida que crecían los radios utilizados.

Dicho criterio entra en contradicción con la realidad observada en cuanto a que mientras más amplio es el trazado, mayores son las velocidad que tienden a emplear los usuarios, V85%, según lo definido anteriormente. En consecuencia, las tendencias actuales del diseño mantienen peraltes relativamente altos para un rango amplio de radios, independizándose de la Velocidad de Proyecto, con lo cual las curvas de radio mayor que el mínimo, aceptan una Velocidad Específica (Ve) mayor que la de proyecto, lo que permite mantener la seguridad por criterio de deslizamiento, para aquel grupo de usuarios que tiende a circular a velocidades más elevadas que las de proyecto, todo ello sin aumentar la sensación de enfrentar un trazado aún más amplio.

601.01.2.(d1) Peralte en función del radio de curvatura

El ***Gráfico 3*** presentado en el ***numeral 501.01.3.(a2)*** de la ***Sección 5***, entrega el valor de los peraltes a utilizar en Carreteras y Caminos, los que están dados exclusivamente en función del radio seleccionado. Los valores de e (%) del Gráfico, deberán ser leídos con un decimal de aproximación.

601.01.3 CURVAS CIRCULARES

601.01.3.(a) ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR

La simbología que se define a continuación para los elementos que componen una curva circular, son los presentados en la ***Tabla 15*** y el ***Gráfico 10*** siguiente:

TABLA 15: SIMBOLOGÍA PARA ELEMENTOS DE UNA CURVA

Vn:	Vértice; punto de intersección de dos alineaciones consecutivas del trazado.
α:	Ángulo entre dos alineaciones, medido a partir de la alineación de entrada, en el sentido de los punteros del reloj, hasta la alineación de salida.
ω:	Ángulo de Deflexión entre ambas alineaciones, que se repite como ángulo del centro subtendido por el arco circular.
R:	Radio de Curvatura del arco de círculo (m)
T: las	Tangentes, distancias iguales entre el vértice y los puntos de tangencia del arco de círculo con alineaciones de entrada y salida (m). Determinan el principio de curva PC y fin de curva FC.
S:	Bisectriz; distancia desde el vértice al punto medio, MC, del arco de círculo (m)
D:	Desarrollo; longitud del arco de círculo entre los puntos de tangencia PC y FC (m)
e:	Peralte; valor máximo de la inclinación transversal de la calzada, asociado al diseño de la curva (%)
E:	Ensanche; sobreancho que pueden requerir las curvas para compensar el mayor ancho ocupado por un vehículo al describir una curva.

Nota: Las medidas angulares se expresan en grados centesimales (g).

VER GRÁFICO 10 (ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR ANEXO

601.01.3.(b) RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS

La ecuación que determina los radios mínimos para cada velocidad de proyecto, calculada bajo criterios de seguridad ante el deslizamiento, es la que se expone a continuación:

$$Rmín = \frac{Vp^2}{127(emáx + f)}$$

Donde:

Rmín: Radio Mínimo Absoluto (m)

Vp: Velocidad Proyecto (Km/h)

emáx: Peralte Máximo correspondiente a la Carretera o el Camino (m/m)

f: Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a Vp

Para la determinación de los valores de peralte y fricción, se debe tomar en cuenta los criterios expresados en la siguiente tabla:

TABLA 16: VAÁLORES MÁXIMOS PARA PERALTE Y FRICCIÓN TRANSVERSAL

	emáx	f
Caminos Vp 30 a 80 Km/h	7%	0,265-V/602,4
Carreteras Vp 80 a 120 Km/h	8%	0,193-V/1134

Los valores para Radios Mínimos, establecidos en aplicación a la ecuación y los valores del peralte máximo y el coeficiente de fricción anteriormente expuestos, se presentan en la Tabla siguiente:

601.01.3.(b1) Radio-Peralte-Velocidad Específica-Coeficiente de Fricción Transversal

Si en la ecuación de radio mínimo, dada en el ***numeral 601.01.3.(b)***, la cual puede ser escrita como se presenta a continuación:

$$V^2 - 127 * R * (e + f) = 0$$

Se reemplaza el valor de la fricción "f", por la expresión analítica dada en la ***Tabla 17,*** para cada uno de los rangos de velocidad allí indicados, y la variable V pasa a denominarse Ve, se tiene:

Para Caminos con Vp ≤ 80 Km/h

$$Ve^2 + (0,211 * R) * Ve - 127 * R * (e + 0,193) = 0$$

Para Carreteras con Vp ≥ 80 Km/h

$$Ve^2 + (0,112 * R) * Ve - 127 * R * (e + 0,193) = 0$$

Resolviendo las expresiones cuadráticas para cada par de valores de R(m) y p(m/m), obtenidos del ***Gráfico 3***, mediante iteración computacional para valores crecientes de Ve, hasta que el resultado tienda a un residuo suficientemente pequeño, se obtiene el valor de Ve que satisface la expresión.

En la ***Tabla 8*** se presentan los cuadros para Carreteras y Caminos que entregan los valores de R – e – Ve y f.

Para el cálculo de los valores de la ***Tabla 8*** se emplea la expresión para Ve ≤ 80 Km/h para radios hasta 250 m y Ve ≥ 80 Km/h para radios sobre 250 m; ello con el objeto de utilizar los valores de "f" que corresponden a velocidades mayores que 80 Km/h; no obstante los peraltes empleados corresponden a los definidos para caminos.

Si bien las Tablas entregan un número discreto de valores R – e – Ve, para radios intermedios el valor de Ve se puede estimar con suficiente aproximación interpolando linealmente.

Para R ≥ 900 m en Carreteras, se considerará que Ve = 130 Km/h, para R≥ 700 m en Caminos, se considerará que Ve = 110 Km/h.

Para calcular la Ve de curvas existentes, diseñadas mediante criterios distintos de los aquí especificados, se deberá resolver la expresión cuadrática que corresponda (camino o carretera), introduciendo el radio de la curva y el peralte que ésta tiene en terreno. La expresión considera directamente el valor de "f" vigente según la normativa actual.

601.01.3.(b2) Radios límite en contraperalte - RL

En general el contraperalte, o inclinación transversal de la calzada en sentido contrario al que normalmente corresponda en la curva, sólo será aceptable para radios ≥ 3.500 m en Caminos y ≥ 7.500 en Carreteras. Su valor máximo podrá igualar al de bombeo, o inclinación transversal de la calzada en alineamientos rectos, pero sin superar – 2,5%.

En sectores singulares del trazado, tales como transiciones de dos calzadas a una calzada, o bien, donde se deba modificar el ancho del Cantero central para crear Carriles Auxiliares de Tránsito Rápido, situaciones que deberán señalizarse con la debida anticipación y con indicación de la velocidad máxima aceptable, se podrán diseñar curvas en contraperalte con radios iguales o mayores que los especificados en la ***Tabla 18***.

TABLA 18: RADIOS LÍMITES EN CONTRAPERALTE EN TRAMOS SINGULARES

Vs Km/h	Radio Mínimo en Contraperalte	
	e = - 2,0 %	e = - 2,5 %
60	550	600
70	750	800
80	1100	1200
90	1500	1600
100	1900	2100
110	2600	3000
120	3500	4100

Vs = Vp -10 Km/h

Para velocidades menores que 60 Km/h y en calzadas sin pavimento no se diseñarán curvas en contraperalte.

601.01.3.(b3) Desarrollo mínimo de curvas horizontales

Dado que el desarrollo de la curva circular es directamente proporcional al producto de la deflexión asociada a la curva circular (ωc) por el radio de la misma, para radios en el orden del radio mínimo y/o deflexiones pequeñas, resultan desarrollos demasiados cortos que conviene evitar en razón de la adecuada percepción de la curva.

En general se aceptarán desarrollos mínimos asociados a una variación de azimut entre el PC y el FC de la Curva Circular $\omega c \geq 9^g$, siendo deseables aquellos mayores o iguales a 20^g.

La ***Tabla 19*** entrega los desarrollos mínimos para cada Vp, en función de Rmín y ωc.

TABLA 19: DESARROLLO MÍNIMO PARA CURVAS CIRCULARES DE RADIO MÍNIMO

Vp (Km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$\omega = 9^g$	7	12	17	26	35	47	60	76	100
$\omega = 20^g$	16	26	38	57	78	104	134	170	220

Deflexiones Totales con $\omega < 6^g$. En estos casos se deben usar curvas circulares de radios muy amplios, que aseguren desarrollos mínimos del orden de los indicados en la ***Tabla 20***. No se podrán usar curvas de transición pues el término $(\omega - 2\tau)$ se hace negativo y no existe solución para el conjunto clotoide – arco circular.

TABLA 20: DESARROLLOS MINÍMOS PARA DEFLEXIONES ω ≤ 6^g

Vp (Km/h)	2^g	3^g	4^g	5^g	6^g
40 - 60	140	125	115	100	90
70 - 90	205	190	170	150	130
100 - 120	275	250	225	200	175

En trazados nuevos no se aceptarán deflexiones de menos de 2g.

Deflexiones Totales con 7^g < ω < 15^g. Esta situación es conflictiva, pues si se diseña con clotoides respetando τ > $3,1^g$, es decir A = R/3,2 , el ωc disponible es muy pequeño para valores de ω cercanos a 7^g, con lo que para lograr desarrollos mínimos aceptables, tales como los de la primera línea de la ***Tabla 19***, se requiere usar radios muy grandes, que obligan a usar clotoides también grandes. Resulta en esos casos preferible emplear curvas circulares que no requieren clotoide (R ≥ 1.500 m para V ≤ 80 km/h o R ≥ 3.000 para V ≥ 80 km/h). A medida que ω crece acercándose a 15^g la solución en base a clotoides y curvas circulares razonablemente grandes es adecuada, salvo que no existan limitaciones de espacio para usar curvas circulares sin clotoide. Para valores de ω en el orden de 10^g se deberá analizar ambas soluciones y elegir la que más se adecua a la situación.

En los casos de los párrafos i y iii, bajo condiciones restrictivas, los desarrollos mínimos señalados en la primera línea de la ***Tabla 19***, se podrán dar por cumplidos si la curva circular aporta un 60% de dicha longitud y el saldo se logra sumándole 1/6 del desarrollo de cada clotoide.

601.01.3.(b4) Línea de máxima pendiente

En las curvas horizontales la combinación del peralte con la pendiente longitudinal da origen a una línea de máxima pendiente, equivalente a:

$$q\% = (i\% + e\%) / \sqrt{2}$$

En Caminos el valor de "q" no debe sobrepasar un 11% y en Carreteras un 10%.

Cuando "q" supere los valores admisibles se deberá bajar la pendiente longitudinal ya que el peralte es prácticamente invariable para modificaciones leves del radio.

601.01.3.(c) RELACIÓN ENTRE LOS RADIOS DE CURVAS CIRCULARES CONSECUTIVAS

Los radios de una sucesión de curvas horizontales sin recta intermedia o con una recta de longitud menor que 400 m, se consideran dependientes y deben por lo tanto cumplir con la relación que se establece en el ***Gráfico 4***, para Carreteras con Vp ≥ 80 Km/h y el ***Gráfico 5*** para Caminos con Vp ≤ 80 Km/h.

El empleo de este criterio en Alemania desde hace bastantes años y en España en forma más reciente, ha mostrado que de él se derivan incrementos significativos en cuanto a seguridad.

En el ejemplo que se ilustra en el **Gráfico 4** se aprecia que para un radio de entrada de 425 m le corresponde un radio mínimo de salida de 280 m y uno máximo de 660 m. Ahora bien si la Vp de la Carretera fuese 80 Km/h el rango determinado sería utilizable en todo su amplitud ya que para Vp= 80 Km/h; R mínimo = 250 m. Por el contrario, si Vp = 100 Km/h el radio de entrada es igual al Rmín para dicha Vp, por lo que el radio de salida sólo podrá estar comprendido entre el que se determina en el corte con la diagonal del Gráfico y el radio máximo, es decir entre 425 y 660 m.

Nótese además, que para radios de entrada mayores que 700 m, no existe limitación en cuanto al radio máximo de salida, aun cuando la combinación óptima está en torno a la diagonal, es decir radios de entrada y salida relativamente parecidos (***Gráfico 5***).

Las consideraciones precedentes son conceptualmente las mismas para el caso de Caminos.

601.01.3.(d) DESARROLLO DE PERALTE EN CURVAS CIRCULARES SIN CURVAS DE TRANSICIÓN

601.01.3.(d1) Aspectos generales

Las normas que se establecen a continuación son válidas para el desarrollo de peralte en aquellos casos particulares en que no existe arco de enlace de curvatura variable, clotoides, entre la alineación recta y la curva circular. Los casos particulares en que no se consulta el empleo de clotoides, son:

Caminos de Desarrollo con Vp 30 Km/h.

Curvas cuya deflexión (ω) está comprendida entre 2^g y 6^g en las que no se emplearán clotoides de enlace según se estableció en la ***Tabla 20***.

Curvas cuyos radios superen 1.500 m para caminos con Vp ≤ 80 Km/h ó 3.000 m para carreteras con Vp ≥ 80 Km/h, en las que se podrá prescindir de la clotoide de enlace.

601.01.3.(d2) Eje de giro de peralte

En caminos bidireccionales, el giro normalmente se dará en torno al eje en planta que coincide con el eje de simetría de la calzada. En casos justificados, tales como intersecciones a nivel o zonas de enlace, el eje de giro podrá desplazarse hacia alguno de los bordes de la calzada, tal como se ilustra en el ***Gráfico 11***.

En carreteras unidireccionales con cantero central, el eje de giro del peralte se localiza normalmente en el borde interior del pavimento de cada calzada y las cotas de los bordes interiores coinciden y se representan por una recta horizontal o de referencia, ilustrándose en el diagrama las variaciones que experimenta los bordes exteriores de cada calzada. En este caso los bordes interiores de los pavimentos mantienen las cotas definidas por el Perfil Longitudinal del Eje de Proyecto, emplazado en el centro del cantero central.

Si las calzadas unidireccionales poseen 3 o más carriles, en curvas con peralte mayor o igual que 4%, resulta recomendable desplazar los ejes de giro del peralte al centro de las calzadas.

Si se trata del Proyecto de una Segunda Calzada paralela a otra existente, el eje de la nueva calzada deberá emplazarse en el borde interior de la que se está proyectando y su Perfil Longitudinal deberá diseñarse considerando que la calzada existente puede requerir pronto de una repavimentación, e incluso que en esa operación se le cambie el bombeo a dos aguas por uno o una sola agua. En definitiva lo que se pretende es que tras la repavimentación de la calzada más antigua, los Perfiles Longitudinales por el borde interior de los pavimentos posean una rasante similar.

Dado que las carreteras unidireccionales poseerán clotoides en la gran mayoría de los casos, el tratamiento detallado del desarrollo del peralte se aborda en ***numeral 601.01.4.(b)*** para dicho tipo de carreteras.

601.01.3.(d3) Longitud del desarrollo de peralte

a) Eje de giro normal

Ya sea que se trate de calzadas bidireccionales o unidireccionales, considerando la respectiva posición normal del eje de giro del peralte, la longitud requerida para la transición desde el bombeo (-b) al peralte total (+e) o (-e), queda dada por:

VER GRÁFICO 11: DESARROLLO DEL PERALTE EN CURVAS CIRCULARES SIN CURVAS DE ENLACE

$$l = \frac{n^{\bullet} a^{\bullet} \Delta p}{\Delta}$$

Donde:

l = Longitud del desarrollo del peralte (m)
n = Números de carriles entre el eje de giro del peralte y el borde de la calzada
a = Ancho normal de un carril (m). Se prescinde de los posibles ensanches
Δp = Variación total de la pendiente transversal para el borde que debe transitar entre (-b) y (+e) en caminos bidireccionales o entre –b y (+e) o (-e) para el borde exterior en carreteras unidireccionales
Δ = Pendiente Relativa del Borde de la Calzada, respecto de la pendiente longitudinal del eje de la vía (%), cuyos valores normales y máximos se dan en la ***Tabla 21***

TABLA 21: VALORES ADMISIBLES DE PENDIENTE RELATIVA DE BORDE Δ%

Vp (km/h)	30 - 50	60 - 70	80 - 90	100 - 120
Δ Normal	0,7	0,6	0,5	0,35
Δ Máx n = 1	1,5	1,3	0,9	0,8
Δ Máx n > 1	1,5	1,3	0,9	0,8

Δ mínimo en zona -b% a+b = 0,35% para todo Vp

Los valores de Δ normal deben interpretarse como un Δ deseable, pudiendo emplearse valores menores y mayores con las limitaciones expuestas.

Los valores Δ máx sólo se usarán cuando el espacio disponible para la transición de peralte es limitado, o bien, cuando la pendiente longitudinal del camino en el tramo de transición es del orden de la pendiente relativa de borde, lo que tenderá a crear una zona de pendiente nula en todos los sentidos, cuando se transita en el entorno de cero, situación en que conviene limitar la longitud del tramo entre –b%, 0% y +b% para no agudizar el problema de drenaje de la calzada.

Tasa de Giro: "tg", es la longitud necesaria, expresada en metros, para lograr un giro de 1% en torno al eje.

$$tg = n^{*}a/\Delta$$

Por ejemplo: V = 90 Km/h; a = 3,5; n = 1

tg normal 3,5/0,5 = 7 m para giro de 1%
tg máxima 3,5/0,9 = 3,89 m para giro de 1%

b) Giro en los bordes de una calzada bidireccional

Cuando la calzada en recta posee inclinación transversal a dos aguas y se desea dar el peralte en torno al borde interior de la curva, borde derecho en curvas a la derecha, es necesario inicialmente lograr el bombeo único girando en torno al eje, para posteriormente cambiar el eje de giro al borde interior, esto se puede apreciar en el inciso b) del ***Gráfico 11***.

Si el peralte se debe dar en torno al borde exterior de la curva, borde izquierdo en curvas a la derecha, se girará en torno a dicho borde, manteniendo constante el bombeo del carril interior hasta que se consiga el bombeo único. Ello implica hacer crecer el ángulo formado por los carriles en el eje de simetría hasta que se tenga un solo plano. De allí en adelante, la calzada gira solidariamente hasta lograr el peralte deseado, tal como se puede apreciar en el inciso c) del ***Gráfico 11***.

En ambos casos la longitud de transición está dada por:

$$l = (2*n*a*e)/\Delta$$

601.01.3.(d4) Condicionantes para el desarrollo del peralte

a) Proporción del Peralte a desarrollar en recta

Cuando no existe curva de enlace de radio variable entre la recta y la curva circular, el conductor sigue en la mayoría de los casos una trayectoria similar a una de estas curvas, la que se describe parcialmente en uno y otro elemento. Lo anterior permite desarrollar una parte del peralte en la recta y otra en la curva. Esto porque en la parte de la recta vecina a la curva el conductor recorre una trayectoria circular que no hace demasiado incomoda una inclinación transversal mayor que el 2%, y porque en la parte de la curva vecina a la recta, el vehículo describe un círculo de radio mayor que el de diseño. En ciertas oportunidades, sin embargo, el tránsito en sentido contrario puede restringir la libertad para desarrollar esta maniobra y por tanto el peralte a desarrollar en recta, debe alcanzar a un mínimo que no incrementa peligrosamente el coeficiente de fricción transversal a utilizar en el sector inicial de la curva.

TABLA 22: VALORES ADMISIBLES DE PENDIENTE *Anexo I*

Mínimo	Normal	Máximo
e < 4,5	e = todos	e ≤ 7
0,5 e	0,7 e	0,8 e

Las situaciones mínima y máxima se permiten en aquellos casos, normalmente en trazado en montaña, en que por la proximidad de dos curvas existe dificultad para cumplir con algunas de las condicionantes del desarrollo del peralte.

b) Longitud en curva con peralte total

En caminos y carreteras con Vp ≥ 60 Km/h, el diseño de las curvas de escaso desarrollo se deberá verificar de modo que el peralte total requerido se mantenga en una longitud al menos igual a Vp/3,6 (m), y en lo posible para V85% ≥ 80 Km/h en al menos 30 m.

601.01.3.(d5) Desarrollo de peralte entre curvas sucesivas

Entre dos curvas de distinto sentido, separados por una recta corta, se podrán emplear los valores máximos para Δ, que se indican en la ***Tabla 21***. El caso límite lo constituirá aquella situación en que no existe tramo en recta con bombeo normal, existiendo en dicho tramo un punto de inclinación transversal nula, a partir del cual se desarrollan los peraltes en uno y otro sentido.

Entre dos curvas del mismo sentido deberá existir, por condiciones de guiado óptico, un tramo en recta mínimo de acuerdo a lo establecido en la ***Tabla 14***. Si la distancia disponible entre el FC y el PC de las curvas sucesivas es menor o igual que el mínimo deseable, se mantendrá en la recta un peralte mínimo de igual sentido que el de las curvas y de una magnitud al menos igual a la del bombeo de la carretera.

601.01.3.(e) SOBREANCHO EN CURVAS CIRCULARES

Los sobreanchos se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños, en combinación con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica. Los sobreanchos son necesarios para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación. En las carreteras modernas con carriles de 3,6 metros y buen alineamiento, la necesidad de sobreanchos en curvas se ha disminuido a pesar de las velocidades, aunque tal necesidad se mantiene para otras condiciones de la vía.

Para establecer el sobreancho en curvas deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

En curvas circulares sin transición, el sobreancho total debe aplicarse en la parte interior de la calzada. El borde externo y la línea central deben mantenerse como arcos concéntricos.

Cuando existen curvas de transición, el sobreancho se divide igualmente entre el borde interno y externo de la curva, aunque también se puede aplicar totalmente en la parte interna de la calzada. En ambos casos, la marca de la línea central debe colocarse entre los bordes de la sección de la carretera ensanchada.

El ancho extra debe efectuarse sobre la longitud total de transición y siempre debe desarrollarse en proporción uniforme, nunca abruptamente, para asegurarse que todo el ancho de los carriles modificados sean efectivamente utilizados. Los cambios en el ancho normalmente pueden efectuarse en longitudes comprendidas entre 30 y 60 m.

Los bordes del pavimento siempre deben tener un desarrollo suave y curvado atractivamente, para inducir su uso por el conductor.

Los sobreanchos deben ser detallados minuciosamente en los planos constructivos y por medio de controles durante el proceso de construcción de la carretera o, alternativamente, dejar los detalles finales al Ingeniero residente de campo.

Una de las expresiones empíricas más utilizadas para calcular el sobreancho en las curvas horizontales es la siguiente:

$$S = n\left[R - \sqrt{\left(R^2 - L^2\right)}\right] + \left(0.10 * V\right)/\sqrt{R}$$

Donde:
S = Sobreancho en (m)
n = Número de carriles
L = Longitud entre el eje frontal y el posterior del vehículo de diseño en (m)
R = Radio de curvatura en (m)
V = Velocidad de diseño de la carretera en (Km/h)

En la selección del sobreancho en curvas se debe tomar en consideración lo siguiente:

Sobreanchos menores de 0,60 metros, no son necesarios en las curvas.
Los sobreanchos calculados que se muestran en la ***Tabla 23*** son para carreteras de dos carriles (Bidireccionales).

En carreteras de tres carriles los sobreanchos mostrados en la ***Tabla 23*** deben afectarse por un factor de 1,5 y en carreteras de cuatro carriles multiplicar las cifras del cuadro por 2.

Los sobreanchos calculados por esta fórmula, arrojan valores mayores que los de las Tablas de la AASHTO, mostrados en la ***Tabla 23***, por lo que deben tomarse como provistos de un margen de seguridad.

Los datos de la ***Tabla 23*** deben incrementarse desde 0,2 metros para radios de 250 a 400 metros hasta 0,6 metros para radios menores de 80 metros, cuando el tránsito incluya volúmenes significativos de vehículos pesados.

TABLA 23: VALORES ADMISIBLES DE PENDIENTE

Ancho Calzada	7.2 Metros							6.6 Metros							6.0 Metros						
Radio de Curva	Velocidad de diseño (Km/h)							Velocidad de diseño (Km/h)							Velocidad de diseño (Km/h)						
(m)	50	60	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110
1500	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6
1000	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6
750	0	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8
500	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1
400	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5		0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8		0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	
300	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5			0,6	0,7	0,7	0,8	0,8			0,9	1,0	1,0	1,1			
250	0,4	0,5	0,5	0,6				0,7	0,8	0,8	0,9				1,0	1,1	1,1	1,2			
200	0,6	0,7	0,8					0,9	1,0	1,1					1,2	1,3	1,3	1,4			
150	0,7	0,8						1,0	1,1						1,3	1,4					
140	0,7	0,8						1,0	1,1						1,3	1,4					
130	0,7	0,8						1,0	1,1						1,3	1,4					
120	0,7	0,8						1,0	1,1						1,3	1,4					
110	0,7							1,0							1,3						
100	0,8							1,1							1,4						
90	0,8							1,1							1,4						
80	1							1,3							1,6						
0	1,1							1,4							1,7						

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p.217.

601.01.4 ARCOS DE ENLACE O TRANSICIÓN

601.01.4.(a) ASPECTOS GENERALES

Para dar seguridad al recorrido de los vehículos desde una sección en recta ó tangente de una carretera a una determinada curva horizontal circular, los conductores desarrollan a su manera y en ocasiones invadiendo el carril vecino, una curva que podría denominarse de transición. En los nuevos diseños se ha vuelto práctica común intercalar una curva de transición, que facilite a los conductores el recorrido seguro y cómodo de la curva, manteniendo el vehículo inscrito dentro de su carril y sin experimentar la violencia de la fuerza centrífuga que es propia de la circulación por dicha curva. El requerimiento especial de una curva de transición consiste en que su radio de curvatura pueda decrecer gradualmente desde el infinito en la tangente que se conecta con la espiral (TE) hasta el final de la espiral en su enlace con la curva circular (EC). En la situación de salida de la curva circular hacia la espiral (CE), se produce el desarrollo inverso hasta el contacto de la espiral con la tangente (ET). Esta condición produce un incremento y una disminución gradual de la aceleración radial, que es bastante deseable en diseño. No cabe lugar a dudas de que la utilización de curvas en espiral mejora la apariencia y la circulación en una carretera.

Se han utilizado la parábola cúbica, la lemniscata y la clotoide en el diseño de curvas de transición, siendo esta última, también conocida como espiral de Euler, la más aceptada en el diseño de carreteras. Por definición, el radio en cualquier punto de la espiral varía en relación inversa con la distancia medida a lo largo de la espiral. En el ***Gráfico 12*** se presentan las características geométricas de sus diferentes componentes.

El uso de estos elementos permite que un vehículo circulando a la Velocidad Específica correspondiente a la curva circular, se mantenga en el centro de su carril.

Esto no ocurre, por lo general, al enlazar directamente una recta con una curva circular, ya que en tales casos el conductor adopta instintivamente una trayectoria de curvatura variable que lo aparta del centro de su carril e incluso lo puede hacer invadir la adyacente, con el peligro que ello implica.

La curvatura variable permite desarrollar el peralte a lo largo de un elemento curvo, evitando calzadas peraltadas en recta, al mismo tiempo, la aceleración transversal no compensada por el peralte crece gradualmente desde cero en la recta o su valor máximo al comienzo de la curva circular, lo que hace más confortable la conducción. Las ventajas estéticas están relacionadas con el grado de adaptación al medio y la variación uniforme de la curvatura que se logra mediante estos elementos.

Se emplearán arcos de enlace o transición en todo proyecto cuya Vp sea mayor o igual que 40 Km/h. En caminos con Vp ≤ 80 Km/h sólo se podrá prescindir de los arcos de enlace para radios ≥ 1.500 m. En carreteras con Vp ≥ 80 Km/h sólo se podrá prescindir de los arcos de enlace para radios ≥ 3.000 m.

VER GRÁFICO 12: COMPONENTES DE LA CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES Anexo I

601.01.4.(b) LA CLOTOIDE COMO ARCO DE ENLACE

La Clotoide, es una transición en espiral que facilita el movimiento del volante, evitando cambios abruptos en la aceleración radial, que causa mucha incomodidad al conductor y los pasajeros, ya que la fuerza centrífuga se va incrementando hasta la curva circular y disminuye a la salida en sentido inverso, hasta alcanzar de nuevo la tangente. Esta longitud de transición es la longitud de la carretera en la cual se cambia de la sección con pendientes transversales normales que corresponde a una sección en tangente, a una sección con pendiente sobreelevada en un solo sentido y su punto inferior hacia el interior de la curva. Igualmente, la curva de transición ofrece una distancia apropiada de transición para la construcción de los sobreanchos exigidos por la curva circular.

Existen varios métodos para calcular la longitud de la curva de transición en espiral. El primero fue desarrollado por Shortt en 1.909, para aplicarse al diseño de curvas horizontales para ferrocarriles, aplicándose después al diseño de curvas de carreteras. La longitud mínima de transición de la espiral (Le), se expresa de la siguiente forma:

$$Le = 0.0702\frac{V^3}{R*C}$$

Donde:

V = Velocidad en (Km/h).

R = Radio central de la curva en (m).

C = Tasa de incremento de la aceleración centrípeta en (m/seg3).

Este último parámetro es un valor empírico igual a la unidad en el diseño de ferrocarriles, pero cuyos valores varían entre 1 y 3 para aplicaciones en carreteras. En vista que existen varios métodos de cálculo de longitudes de transición cuyos resultados son diferentes, se ha considerado conveniente adoptar las recomendaciones de la AASHTO, para valores de este elemento de diseño en las carreteras, dejando siempre a juicio del diseñador su propia elección de acuerdo a situaciones particulares. Una observación muy valiosa y de índole práctica, es que el control para el cálculo de la transición no depende de la exactitud de la aplicación de la fórmula, sino de la longitud requerida para el desarrollo de la sobreelevación máxima entre la tangente y la curva circular.

Las longitudes de espirales en intersecciones se calculan de la misma manera que en carretera abierta, excepto que las espirales pueden tener longitudes menores ya que en las carreteras se aplican valores de C comprendidos entre 0,3 y 1,0, en tanto que en las intersecciones dicho valor puede estar entre 0,75 para velocidades de 80 Km/h y 1,2 para velocidades de 30 Km/h.

Las longitudes mínimas de espirales, para los radios mínimos que gobiernan la velocidad de diseño, van desde 20 m para velocidades de 30 Km/h y radios mínimos de 25 m, hasta 60 m para velocidades de 70 Km/h y radios mínimos de 160 m.

Cuando se utiliza una espiral, se acostumbra que la transición de la sobreelevación se realice en la longitud de dicha espiral. Dependiendo de los factores y la fórmula utilizados, la longitud de una espiral puede ser mayor o menor que la longitud de transición dada en la ***Tabla 24***, aunque las diferencias no son tan sustanciales, razón por la cual se recomienda por consideraciones prácticas utilizar una solo cifra, como la mostrada en la mencionada Tabla, para el mejor control del diseño.

TABLA 24: LONGITUDES DE DESARROLLO DE LA SOBREELEVACIÓN EN CARRETERAS DE DOS CARRILES, EN METROS

Peralte	Longitud de Transición y Velocidades de Diseño Km/h							
	40	50	60	70	80	90	100	110
	Carriles de 3.60 metros							
0,02	25	30	35	40	50	55	60	65
0,04	25	30	35	40	50	55	60	65
0,06	35	35	40	40	50	55	60	65
0,08	45	45	50	55	60	60	65	70
0,10	55	55	60	65	75	75	80	85
0,12	65	65	75	80	90	90	95	105
	Carriles de 3,00 metros							
0,02	25	30	35	40	50	55	60	65
0,04	25	30	35	40	50	55	60	65
0,06	30	30	35	40	50	55	60	65
0,08	35	40	40	45	50	55	60	65
0,10	45	45	50	55	60	65	70	75
0,12	55	55	60	65	75	75	80	85

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 179

Estas cifras corresponden a carreteras de dos carriles. Cuando se trate de tres y cuatro carriles sin mediana, hay que multiplicar respectivamente las cifras por 1,2 y 1,5; si la carretera es de 6 carriles sin mediana, hay que duplicar los valores de la anterior Tabla.

En curvas con radio circular de 1.500 metros o más, no se necesitan transiciones, se pasa directamente de la tangente a la alineación circular. En esta situación se recomienda que el peralte se desarrolle 2/3 en la tangente y 1/3 al principio de la curva circular.

601.01.4.(b1) Ecuaciones paramétricas

La clotoide es una curva de la familia de las espirales, cuya ecuación paramétrica está dada por:

$$A^2 = R * L$$

Donde:
A = Parámetro (m)
R = Radio de curvatura en un punto (m)
L = Desarrollo (m). Desde el origen al punto de radio R

En el punto de origen L = 0 y por lo tanto R = ∞; A la vez que cuando L → ∞; R → 0.

El parámetro A define la magnitud de la clotoide, lo que a su vez fija la relación entre R, L y τ. Siendo τ el ángulo comprendido entre la tangente a la curva en el punto (R, L) y la alineación recta normal a R = ∞ que pasa por el origen de la curva.

Las expresiones que ligan R, L y τ son:

$$\tau_radianes = \frac{L^2}{2A^2} = 0.5\frac{L}{R} \qquad \tau_grados_cent = 31.831\frac{L}{R}$$

La variación de A genera por tanto una familia de clotoides que permiten cubrir una gama infinita de combinaciones de radio de curvatura y de desarrollo asociado.

En el ***Gráfico 13 a) y b)***, ilustran los conceptos antes enunciados. El cuadro bajo el ***Gráfico b)*** representa un ejemplo particular de los valores que asumen las variables L, τ , X e Y, para R = 250 m, en el caso de los parámetros considerados.

VER GRÁFICO 13: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CLOTOIDE

601.01.4.(b2) Ecuaciones cartesianas

Del ***Gráfico 13 inciso a)*** se puede realizar la siguiente deducción:

$$dx = dL \cdot \cos\tau$$
$$dy = dL \cdot sen\,\tau$$

A su vez:

$$R = dL/d\tau$$
$$\tau = L/2R$$

$$dL = A \cdot d\tau/\sqrt{2\tau}$$

Sustituyendo en *dx* y *dy* se obtiene las Integrales de Fresnet:

$$X = \frac{A}{\sqrt{2}} \cdot \int \frac{\cos\tau}{\sqrt{\tau}} d\tau \qquad Y = \frac{A}{\sqrt{2}} \int \frac{sen\,\tau}{\sqrt{\tau}} d\tau$$

Quedando definitiva X e Y expresados como desarrollados en serie, expresado en radianes.

$$X = A \cdot \sqrt{2\tau} \cdot \left(1 - \frac{\tau^2}{10} + \frac{\tau^4}{216} - \frac{\tau^6}{9.360} + \ldots\right)$$
$$Y = A \cdot \sqrt{2\tau} \cdot \left(\frac{\tau}{3} - \frac{\tau^3}{42} + \frac{\tau^5}{1.320} - \frac{\tau^7}{75.600} + \ldots\right)$$

Ecuaciones que se pueden escribir también como:

$$X = A \cdot \sqrt{2\tau} \cdot \left[\sum (-1)^{n+1} \cdot \tau^{2n-2} / (4n-3) \cdot (2n-2)! \right]$$
$$Y = A \cdot \sqrt{2\tau} \cdot \left[\sum (-1)^{n+1} \cdot \tau^{2n-2} / (4n-1) \cdot (2n-1)! \right]$$

Que son las que se usan actualmente en los programas computacionales de diseño, o calculadoras programables, que han reemplazado las Tablas que se usaban antes de la era computacional. Por otra parte conviene tomar en cuenta la formula simplificada de las expresiones anteriormente citadas, que resulta ser:

$$A \cdot \sqrt{2\tau} = L$$

601.01.4.(c) ELECCIÓN DEL PARÁMETRO A DE LAS CLOTOIDES

Existen al menos cuatro criterios que determinan la elección del parámetro de una clotoide usada como curva de transición, ellos son:

Criterio a) Guiado óptico: Para tener una clara percepción del elemento de enlace y de la curva circular, el parámetro debe estar comprendido entre:

$$R/3 \leq A \leq R$$

La condición $A \geq R / 3$ asegura que el ángulo τ será mayor o igual que $3{,}54^g$ y A ≤ R asegura que τ sea menor o igual que $31{,}83^g$. Para radios de más de 1.000 m se aceptarán ángulos τ de hasta $3{,}1^g$, que está dada por $A = R / 3{,}2$.

Criterio b) Como condición adicional de guiado óptico es conveniente que si el radio enlazado posee un R ≥ 1,2 Rmín, el Retranqueo de la Curva Circular enlazada (ΔR) sea ≥ 0,5 m, condición que está dada por:

$$A \geq \left(\frac{n \cdot a \cdot e \cdot R}{\Delta} \right)^{1/2}$$

Criterio c) La longitud de la clotoide sea suficiente para desarrollar el peralte, según los criterios que se explicitan en ***numeral 601.01.5***, situación que en general está cubierta por los parámetros mínimos que se señalan más adelante y los valores máximos de la pendiente relativa de borde que figuran en la ***Tabla 21***

Esta condición se cumple si:

$$A \geq \left(\frac{n \cdot a \cdot e \cdot R}{\Delta} \right)^{1/2}$$

Donde:

n = número de carriles entre el eje de giro y el borde del pavimento peraltado
a = ancho de cada carril, sin considerar ensanches
e = Peralte de la curva
R = Radio de la Curva
Δ = Pendiente relativa del borde peraltado respecto del eje de giro

Criterio d) La longitud de la clotoide sea suficiente para que el incremento de la aceleración transversal no compensada por el peralte, pueda distribuirse a una tasa uniforme J (m/s³). Este criterio dice relación con la comodidad del usuario al describir la curva de enlace, y para velocidades menores o iguales que la Velocidad Específica de la curva circular enlazada, induce una conducción por el centro del carril de circulación.

La expresión correspondiente, es:

$$A = \left[\frac{Ve \cdot R}{46{,}656 \cdot J} \left(\frac{Ve^2}{R} - 1{,}27 \cdot e \right) \right]^{1/2}$$

Ve = Velocidad Específica (km/h) – con máximos de 110 km/h en Caminos y 130 km/h en Carreteras

R = Radio de la Curva Circular Enlazada (m)

J = Tasa de Distribución de la Aceleración Transversal (m/s³)

e = Peralte de la Curva Circular (%)

Los valores de J en función de Ve se dan en las ***Tablas 25, 26 y 27.***

Se considerarán dos grupos de valores de J para el diseño, según sea la situación que se esté abordando.

Criterio d.1) Si el radio que se está enlazando posee un valor comprendido entre Rmín ≤ R < 1,2 Rmín, resulta conveniente emplear los valores de J máx que se señalan en la ***Tabla 25***. Con ello se persigue que el usuario perciba una fuerza centrífuga no compensada por el peralte que crece rápidamente, en relación con la que percibe en curvas más amplias. Ello le advertirá que está entrando a una configuración mínima.

TABLA 25: TASA MÁXIMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN TRANSVERSAL

Ve ≈ Vp (km/h)	40-60	70	80	90	100	120
J máx (m/s3)	1,5	1,4	1,0 / 0,9	0,9	0,8	0,4

Nota: Para 80 Km/h el valor mayor corresponde a Caminos y el menor a Carreteras

Los valores de J máx que se indican en la Tabla anterior fueron verificados según el criterio c) de modo que los parámetros mínimos resultantes sean tales que la longitud de la clotoide permita desarrollar el peralte cumpliendo con la pendiente relativa de borde Δ máx que se indica en la ***Tabla 21***, para los casos de Caminos y Carreteras con n = 1 ó n > 1, es decir, vías bidireccionales y unidireccionales de 2 carriles por calzada.

La ***Tabla 26***, que se presenta a continuación, contiene los parámetros mínimos así calculados.

TABLA 26: PARÁMETROS MÍNIMOS DE LA CLOTOIDE POR CRITERIO DE J MAX Y Δ MAX

Vp (Km/h)	Rm (m)	A mínimo	
		Bidireccionales	Unidireccionales
Caminos (e máx = 7%)			
40	50	29	-
50	80	37	-
60	120	48	68
70	180	60	83
80	250	83	117
Carreteras (e máx = 8%)			
80	250	89	125
90	330	110*	144
100	425	142*	173
110	540	190	195
120	700	-	234*

Criterio d.2) Si el radio que se está enlazando posee un valor de R > 1,2 Rmín, se emplearán los valores de J Normal que se indican en la ***Tabla 27*** o incluso algo menores, según resulta de aplicar los criterios indicados en los incisos a), b) y c).

TABLA 27: TASA NORMAL DE DISTRIBUCIÓN DE ACELERACIÓN TRANSVERSAL

Ve (km/h)	Ve < 80	Ve ≥ 80
J Normal (m/s3)	0,5	0,4

601.01.4.(d) ELEMENTOS DEL CONJUNTO ARCO DE ENLACE CURVA CIRCULAR

La introducción de un arco de enlace implica el desplazamiento del centro de la curva original en una magnitud que es función de ΔR y del ángulo de deflexión de las alineaciones. El radio de la curva circular permanece constante y el desarrollo de ésta es parcialmente reemplazado por secciones de las clotoides de enlace.

El ***Gráfico 14***, ilustra los conceptos antes mencionados y permite establecer las relaciones necesarias para el replanteo.

VER GRÁFICO 14: ELEMENTOS DEL CONJUNTO: ARCO DE ENLACE – CURVA CIRCULAR

En el Gráfico anterior, se establece la siguiente nomenclatura:

R(m): Radio de la Curva circular que se desea enlazar.

d(m): Desplazamiento del centro de la curva circular original (C'), a lo largo de la bisectriz del ángulo interior formado por las alineaciones, hasta (C), nueva posición del centro de la curva circular retranqueada de radio R; válido para clotoides simétricas. En clotoides asimétricas (C) se desplaza fuera de la bisectriz y tiene coordenadas Xc1, Yc1 determinadas con el parámetro A1 y usando la expresión para OV1 del caso asimétrico.

ΔR(m): Retranqueo o desplazamiento de la curva circular enlazada, medido sobre la normal a la alineación considerada, que pasa por el centro de la circunferencia retranqueada de radio R.

Xp; Yp(m): Coordenadas de "P", punto de tangencia de la clotoide con la curva circular enlazada, en que ambas poseen un radio común R; referidas a la alineación considerada y a la normal a ésta en el punto "o", que define el origen de la clotoide y al que corresponde radio infinitivo.

Xc; Yc(m): Coordenadas del centro de la curva circular retranqueada, referidas al sistema anteriormente descrito.

τ **p (g):** Ángulo comprendido entre la alineación considerada y la tangente en el punto P común a ambas curvas. Mide la desviación máxima de la clotoide respecto de la alineación.

ω(g): Deflexión angular entre las alineaciones consideradas.

OV(m): Distancia desde el vértice al origen de la clotoide, medida a lo largo de la alineación considerada.

Dc(m): Desarrollo de la curva circular retranqueada entre los puntos PP'.

601.01.4.(d1) Casos particulares de curva de enlace

En el ***Gráfico 14*** se presenta el caso general en que existe curva de enlace y curva circular. Si se analiza la expresión correspondiente al desarrollo de la curva circular retranqueada se tiene:

$$Dc = R \cdot (\omega - 2 \cdot \varphi) / 63{,}662$$

Para: $\omega - 2 \cdot \varphi$ > o Caso General; Dc > 0

$\omega - 2 \cdot \varphi$ > o Caso Particular I; Dc = 0

$\omega - 2 \cdot \varphi$ < o Caso Particular II

El caso particular I, Clotoide de Vértice se describe en el ***numeral 601.01.5***.

En el caso particular II, no existe solución para el conjunto curva de enlace-curva circular. En esos casos que normalmente corresponderán a deflexiones pequeñas ($\omega < 7^g$) la solución de curva circular sin curva de enlace es normalmente adecuada.

601.01.4.(d2) Expresiones aproximadas

Dado que las expresiones cartesianas de la clotoide son desarrollos en serie en función de f, para ángulos pequeños es posible despreciar a partir del segundo término de la serie y obtener expresiones muy simples.

Estas expresiones simplificadas sirven para efectuar tanteos preliminares en la resolución de algunas situaciones. Los cálculos definitivos deberán efectuarse en todo caso mediante las expresiones exactas.

De las ecuaciones para X e Y indicadas en el ***numeral 601.01.4.(b)*** y considerando que:

$$\tau = L^2 / 2 \cdot A^2$$

Las coordenadas aproximadas del centro de la curva serán:

$$Xc = L / 2 = \tau R$$
$$Yc = R + \Delta R + L^2 / 24 \cdot R$$

El error asociado a cada una de estas expresiones aproximadas será menor que 0,2% de la longitud real del elemento si $\tau < 0,1$ radianes ó $6,36^g$.

601.01.5 DESARROLLO DE PERALTE EN ARCOS DE ENLACE

601.01.5.(a) ASPECTOS GENERALES

Cuando existe arco de enlace, el desarrollo del peralte puede darse de forma tal que el valor alcanzado sea exactamente el requerido por el radio de curvatura en el punto considerado, obteniéndose el valor máximo de "e" justo en el principio de la curva circular retranqueada.

Cuando la calzada posee doble bombeo, o si el bombeo único es en sentido contrario al sentido de giro de la curva que se debe enlazar será necesario efectuar en la alineación recta, el giro del carril o de la calzada, hasta alcanzar la pendiente transversal nula en el inicio de la curva de enlace. Desde ese punto se desarrolla el peralte al ritmo antes descrito. Si se hiciera la transición desde –b% a 0% dentro de la curva de enlace, quedaría un sector con un déficit de peralte.

Por otra parte, para velocidades altas la longitud de la curva de enlace suele ser superior al desarrollo requerido para la transición del peralte entre 0% y "e". En estos casos la pendiente del borde peraltado respecto del eje de giro "Δ" puede resultar pequeña y por tanto la zona con pendiente transversal cercana a 0%, tiende a ser demasiado extensa desde el punto de vista del drenaje.

601.01.5.(b) PROCEDIMIENTO A SEGUIR

Para minimizar los problemas de drenaje, manteniendo el concepto general antes expuesto, cuando existe arco de enlace el desarrollo de peralte se dará según el siguiente procedimiento:

Eje de giro normal en torno al eje de las calzadas bidireccionales y en los bordes interiores del pavimento en las unidireccionales. En casos especiales se podrá adoptar otros ejes de giro.

El desarrollo de peralte tendrá una longitud total igual a:

$$\Delta ce = \frac{n \cdot a(e-b)}{L-lo}$$

Siendo:
lo = Desarrollo en la recta para pasar de –b% a 0%
L = Desarrollo en la Clotoide para pasar de 0% a e%

Para calzadas de doble bombeo o de pendiente transversal única de sentido opuesto al giro de peralte, la longitud, *"lo"* vale.

$$L-lo$$

Donde:
n: Número de carriles entre el eje de giro y el borde de la calzada a peraltar
a: Ancho normal de un carril (m). Se prescinde de posibles ensanches.
b: Bombeo o pendiente transversal normal en recta
Δ: Pendiente relativa del borde peraltado respecto del eje de giro

Para el caso de calzadas con pendiente transversal única, en que ésta coincide con el sentido de giro de la curva: Se mantiene constante la inclinación transversal "b" en una distancia *"lo"* al inicio de la clotoide, calculada según lo expuesto anteriormente; ello con el objeto de evitar un sobreperaltamiento en ese tramo de la clotoide. Luego el peraltamiento de b%, a e% se da en el resto de la curva de enlace y la pendiente relativa de borde se calcula a partir de la expresión para Δce.

$$\Delta ce = \frac{n \cdot a(e-b)}{L-lo}$$

Estos procedimientos se ilustran en el ***Gráfico 15***, para giros en torno al eje y a los bordes derecho e izquierdo, según el avance de la distancia acumulada, en calzadas bidireccionales con doble bombeo y en los ***Gráficos 16 y 17*** para calzadas unidireccionales con eje de giro en los bordes interiores de cada calzada (Izquierdo para la calzada derecha y derecho para la calzada izquierda, siempre considerando el sentido de avance de la distancia acumulada).

En Carreteras Unidireccionales con tres o más carriles por calzadas, si la curva requiere un peralte mayor que 4%, puede ser conveniente desplazar los ejes de giro de los peraltes al centro de cada calzada, distando entre dicho eje de giro 5,25 m al borde interior de los pavimentos para el caso de 3 carriles de 3,5 m y 7,0 m para cuatro carriles. Lo anterior tiene por objeto disminuir el desnivel que se produce entre los bordes exteriores de la calzada y la rasante, respecto de aquellos con ejes de giro en el borde interior del pavimento. Al actuar de este modo no se requiere modificar la rasante y la cota de los ejes de giro queda dada por:

Cota Ejes de Giro en Centro de Calzada = Cota Rasante en Eje del Cantero central - (c/2) b.

Siendo:
c/2 = 5,25 m para 3 Carriles y 7,0 m para 4 Carriles
b = bombeo de la calzada en recta en m/m

El diagrama de peralte deberá presentarse empleando una nomenclatura distinta para cada borde de las calzadas, o bien, mediante dos diagramas independientes.

601.01.6 SOBREANCHO EN CURVAS CON ARCO DE ENLACE

601.01.6.(a) ASPECTOS GENERALES

Los ensanches requeridos se determinarán según lo expuesto en ***numeral 601.01.3.(f)*** "Sobreancho en curvas circulares".

601.01.6.(b) DESARROLLO DEL SOBREANCHO

La longitud normal para desarrollar el sobreancho será de 40 m. Si el arco de enlace es mayor o igual a 40 m, el inicio de la transición se ubicará 40 m antes del principio de la curva circular. Si el arco de enlace es menor de 40 m el desarrollo del sobreancho se ejecutará en la longitud de arco de enlace disponible.

El sobreancho se generará mediante una variación lineal con el desarrollo:

$$e_n = (E / L) \cdot ln$$

Siendo:

e_n: Ensanche hacia el interior de la curva correspondiente a un punto distante ln metros desde el origen.
L: Longitud Total del desarrollo del sobreancho, dentro de la curva de enlace

La ordenada "e_n" se medirá normal al eje de la calzada en el punto de abscisa "ln" y el borde interior de la calzada distará del eje (a + e_n), siendo "a" el ancho normal de un carril en recta.

VER ANEXO I

GRÁFICO 15: DESARROLLO DEL PERALTE EN ARCOS DE ENLACE, CALZADAS BIDIRECCIONALES
GRÁFICO 16: DESARROLLO DEL PERALTE EN ARCOS DE ENLACE, CALZADAS UNIDIRECCIONALES
GRÁFICO 17: DESARROLLO DEL PERALTE: CALZADAS UNIDIRECCIONALES, CASO CURVAS CONTRAPUESTAS O EN S

SECCIÓN 602 - TRAZADO DEL ALINEAMIENTO VERTICAL

602.01 DEFINICIÓN

El alineamiento vertical es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona. Al eje de la subcorona en alineamiento vertical se le llama líneas subrasante.

602.02 ELEMENTOS QUE LO INTEGRAN

El alineamiento vertical se compone de tangentes y curvas, elementos que describimos a continuación:

602.02.1 TANGENTES

Las tangentes se caracterizan por su longitud y su pendiente y están limitadas por dos curvas sucesivas. La longitud de una tangente es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente, se representa como "T". La pendiente de la tangente es la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de la misma.

Al punto de intersección de dos tangentes consecutivas se le denomina PIV y a la diferencia algebraica de pendientes en ese punto se la representa por la letra A.

602.02.1(a) Pendiente gobernadora

Es la pendiente media que teóricamente puede darse a la línea subrasante para dominar un desnivel determinado, en función de las características del tránsito y la configuración del terreno; la mejor pendiente gobernadora para cada caso, será aquella que al conjugar esos conceptos, permita obtener el menor costo de construcción, conservación y operación. Sirve la norma reguladora a la serie de pendientes que se deban proyectar para ajustarse en lo posible al terreno.

602.02.1.(b) Pendiente máxima

Es la mayor pendiente que se permite en el proyecto. Queda determinada por el volumen y la composición del tránsito previsto y la configuración del terreno.

La pendiente máxima se empleara, cuando convenga desde el punto de vista económico, para salvar ciertos obstáculos locales tales como bordes de precipicios, fallas y zonas inestables, siempre que no se rebase la longitud crítica.

Se recomienda que para vías principales (Carreteras) las pendientes máximas no excedan a las dadas en la ***Tabla 28***. Para caminos, con escaso volumen de tránsito, las pendientes dadas en la Tabla pueden incrementarse hasta en 2%.

TABLA 28: RELACIÓN ENTRE PENDIENTE MÁXIMA Y VELOCIDAD DE PROYECTO

TIPO DE TERRENO	PENDIENTE MÁXIMA EN RELACION A LA Vp						
	50	60	70	80	90	100	110
LLANO	6	5	4	4	3	3	3
ONDULADO	7	6	5	5	4	4	4
CORDILLERA	9	8	7	7	6	5	5

602.02.1.(c) Pendiente mínima

La pendiente mínima se fija para permitir el drenaje. En los terraplenes puede ser nula; en los cortes se recomienda 0,5% mínimo, para garantizar el buen funcionamiento de las cunetas, en ocasiones la longitud de los cortes y la precipitación pluvial en la zona podrá llevar a aumentar esa pendiente mínima.

602.02.1.(d) Longitud critica de pendiente

Es la longitud máxima en la que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad más allá de un límite previamente establecido.

Los elementos que intervienen para la determinación de la longitud crítica de una tangente son fundamentalmente el vehículo de proyecto, la configuración del terreno y el volumen y composición del tráfico.

El vehículo con su relación peso/potencia, define características de operación que determinan la velocidad con que es capaz de recorrer una pendiente dada. La configuración del terreno impone condiciones al proyecto que, desde el punto de vista económico, obligan a la utilización de pendientes que reducen la velocidad de los vehículos pesados y hacen que estos interfieran con los vehículos ligeros. El volumen y la composición del tránsito son elementos primordiales para el estudio económico del tramo, ya que los costos de operación dependen básicamente de ellos.

Los Gráficos del estudio de Firey y Peterson permiten, para una relación dada de peso/potencia del vehículo, obtener su velocidad de marcha para diferentes pendientes y longitudes de las mismas.

En las gráficas peso/potencia, presentadas en estas Guías, se muestran las relaciones para 90 Kg/HP, 120 Kg/HP y 180 Kg/HP, respectivamente; con base en ellas, se han desarrollado dos criterios para determinar la longitud critica de una tangente vertical, los cuales se detallan a continuación.

Primer Criterio: Cuando se trata de camino con volúmenes de tránsito alto en cualquier tipo de terreno o bien, con cualquier volumen de tránsito en terreno sensiblemente llano u ondulado, se ha considerado que la longitud critica de cualquier pendiente es aquella que ocasiona una reducción de 25 Km/h en la velocidad de proyecto.

Conforme a ese criterio y para ilustrar el procedimiento de cálculo con base en los Gráficos se determina que para un camino que tenga una velocidad de proyecto de 110 Km/h, que corresponde a una velocidad de marcha a la entrada de una tangente vertical de V= 92 Km/h y en el que se prevean vehículos con relación peso/potencia de180 Kg/HP, se desea saber las longitudes criticas para pendientes de 5%, 4%, 3%, 2% y 1% haciendo uso de lo expresado en la grafica se tiene que las longitudes criticas serán aquellas comprendidas entre las ordenadas que marcan la velocidad de entrada de 92 Km/h y la de 67 Km/h que es el resultado de aceptar una reducción de 25 Km/h en la velocidad de marcha durante su recorrido.

Estos valores son:

Para 5% - 313 m
Para 4% - 420 m
Para 3% - 595 m
Para 2% - 1.033 m
Para 1% - ----

Para un caso en que la velocidad de marcha a la entrada fuera de 68 km/h, se tendría con la reducción especificada, una velocidad con la cual al término de la tangente y usando la misma grafica, que las longitudes críticas serian:

Para 5% - 313 m
Para 4% - 400 m
Para 3% - 697 m
Para 2% - 1.833 m
Para 1% - ----

Para 2% el valor es resultado de una extrapolación y para 1% se considera una distancia infinita, pues se puede sostener indefinidamente la pendiente, ya que la velocidad de régimen es superior al valor de la velocidad reducida.

Por velocidad de régimen se entiende la máxima que puede desarrollar un vehículo sobre una pendiente determinante, indefinidamente.

En los dos ejemplos anteriores, se puede observar que la velocidad de entrada tiene influencia directa en la determinación de las longitudes críticas de las tangentes verticales, lo que hace evidente la necesidad de que la obtención del dato velocidad de entrada sea lo más cercano a la realidad para lo cual se debe considerar los tres siguientes casos:

Si al punto para el cual se desea conocer la velocidad de entrada le antecede una tangente horizontal, la velocidad de entrada será igual a la velocidad de marcha obteniéndose esta de su relación con la velocidad del proyecto.

Si el punto para el cual se desea conocer la velocidad de entrada le antecede una tangente vertical de descanso, aun cuando la velocidad de entrada sea mayor a la velocidad de marcha en una magnitud que se estima del orden de 10 a 15 Km/h la velocidad de salida será la de marcha menos 25 Km/h.

Si el punto para el cual se desea conocer la velocidad de entrada le antecede una tangente vertical en ascenso, la velocidad de entrada será menor a la velocidad de marcha. La velocidad de salida deberá ser la de marcha menos 25 Km/h.

Es importante aclarar que para que estas consideraciones sean aplicables, se requiere que las condiciones del alineamiento vertical en el tramo que antecede al punto en que se desea obtener la velocidad de entrada, permitan que el vehículo transite con velocidades que no varíen en más de 15 km/h con respecto a la de marcha.

Segundo Criterio. En México se ha desarrollado otro criterio basado en el tiempo de recorrido, el cual se aplica a caminos con bajos volúmenes de tránsito y que se desarrollan en terrenos de tipo Ondulado y de Cordillera, en donde por razones de configuración, es necesario considerar una pendiente gobernadora con valor previamente especificado, como resultado de un estudio económico.

Cuando intervienen la pendiente gobernadora, la longitud crítica de tangentes para las diferentes pendientes no debe considerarse con valores rígidos y fijos como en el primer caso; su valor puede tener pequeñas variaciones para diferentes tramos, en función del efecto que el conjunto de las tangentes tenga en la velocidad de marcha y por ende en el tiempo de recorrido para el tramo.

Lo anterior se ilustrará con el ejemplo de un camino para el que se ha proyectado un alineamiento vertical con diferentes tangentes y otro alineamiento con una sola tangente cuya pendiente es la gobernadora, véase el ***Gráfico 18.***

Se supone que la velocidad, en el punto A de entrada al principio del tramo es 79 km/h; con este dato se determinará la velocidad de 55,5 km/h en el punto B, como resultado de buscar la abscisa que corresponde a la distancia de 300 m en su intersección con la curva de pendiente + 5% y leyendo el valor de la velocidad en el eje de las ordenadas.

El valor de la velocidad en el punto C se determina buscando la intersección de la velocidad de entrada al tramo BC o sea 55,5 km/h con la curva de pendiente + 3%. Al valor de la abscisa de este punto que es 880 m se le agrega la distancia BC de 800 m y en la abscisa 1.680m se busca la intersección con la curva de pendiente + 3%, leyéndose a continuación la ordenada correspondiente, resultando una velocidad de 33 km/h para el punto C.

VER GRÁFICO 18: PERFIL LONGITUDINAL DE UN TRAMO CON TANGENTES DE PENDIENTE DIFERENTE

Para determinar la velocidad en el punto D se emplean directamente los valores del gráfico entrando en el punto donde la ordenada de 33 km/h corta a la curva de pendiente + 5%, o sea 713 m obteniéndose así una velocidad de salida de 20 km/h.

Para determinar el tiempo de recorrido en cualquier tramo donde la velocidad de salida sea igual al del régimen, es necesario fijar un punto auxiliar donde la curva cambia de pendiente, pues no será válido tomar un promedio de las velocidades extremas.

Para el tramo DE, tenemos en el punto D una velocidad de entrada de 20 Km./h, valor que fijamos en el eje de las ordenadas para buscar su intersección con la curva punteada de pendiente + 1% dándonos en la abscisa de 120 m buscamos la intersección con la curva punteada de + 1% y obtenemos en el eje de las ordenadas de velocidad de 31,5 Km/h para el punto E.

TABLA 29: TIEMPO DE RECORRIDO EN TRAMOS CON DIFERENTES PENDIENTES

TRAMO	PENDIENTE (%)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD			TIEMPO DE RECORRIDO (Hr)
			ENTRADA	SALIDA	MEDIA	
A-B	5	300	79,00	55,50	67,25	0,00446
B-C	3	800	55,50	33,00	44,25	0,01808
C-D	5	400	33,00	20,00	26,50	0,01509
D-E	1	100	20,00	31,50	25,75	0,00388
E-F´	4	400	31,50	24,00	27,75	0,01441
F´-F	4	300	24,00	24,00	24,00	0,01250
F-G	5	200	24,00	20,50	22,25	0,00899
G-H	2	100	20,50	28,00	24,25	0,00412
H-I	5	400	28,00	20,00	24,00	0,01667
SUMA						0,09820

En forma similar a la descrita, se determinan las velocidades en los puntos E, F, F, G, H, I para formar una Tabla como la anterior y en la cual se identifica el tramo, su pendiente, su longitud, la velocidad de entrada, la velocidad de salida y la velocidad media de esas dos, para finalmente anotar el tiempo de recorrido de ese tramo a partir de la expresión tiempo = distancia/velocidad.

El cálculo de tiempo de recorrido en la pendiente gobernadora, se lleva a cabo siguiendo la misma metodología que para las determinaciones de velocidades a partir de los Gráficos velocidad-distancia-pendiente, haciéndose una Tabla similar. El tramo se subdividió en dos partes, correspondientes a longitudes en las que la curva distancia-velocidad puede tomarse como recta sin cometer un error apreciable.

TABLA 29: TIEMPO DE RECORRIDO EN TRAMOS CON DIFERENTES PENDIENTES

TRAMO	PENDIENTE (%)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD			TIEMPO DE RECORRIDO (Hr)
			ENTRADA	SALIDA	MEDIA	
A - 1	4	1200	79,00	24,00	51,50	0,02330
1 - I	4	1800	24,00	24,00	24,00	0,07500
SUMA						0,09830

En este caso se verifica que, el tiempo de recorrido en varias tangentes es menor que el tiempo de recorrido en una sola con la pendiente gobernadora, por lo cual se acepta el alineamiento vertical propuesto.

Se recomienda que los análisis de alineamiento vertical bajo este criterio, se verifiquen en tramos del orden de 4 Km como máximo.

602.02.2 CURVAS VERTICALES

Las curvas verticales son la que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida. Deben dar por resultado un camino de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas. El punto común de una tangente y una curva vertical en el inicio de esta, se representa como PVC y como PTV el punto común de la tangente y la curva al final de esta.

602.02.2.(a) Forma de curva

La condición que se considera óptima para la conducción de un vehículo, corresponde a un movimiento cuya componente horizontal de la velocidad sea constante. Esto es:

$$V_x = \frac{d_x}{d_t} = C_1$$

Por lo que la componente horizontal de la aceleración.

$$a_x = \frac{dV_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

Tomando en cuenta las consideraciones establecidas en estas Guías de diseño Geométrico, se concluye lo siguiente:

$$y = Kx^2 + Px$$

La expresión anterior corresponde a la ecuación de una parábola que es la recomendada para emplearse en las curvas verticales. Las curvas verticales pueden ser cóncavas o convexas. En el ***Gráfico 19*** se ilustran los tipos representativos de curvas verticales cóncavas o convexas; en los tipos I y III las pendientes de las tangentes de entrada y salida tienen signos contrarios, en los tipos II y IV tienen el mismo signo.

602.02.2.(b) Cálculo de los elementos de la curva parabólica

Los elementos de una curva vertical son los mostrados en el ***Gráfico 20*** y se calculan como sigue:

Longitud: Es la distancia medida horizontalmente entre el PCV y el PTV. Existen cuatro criterios para determinar la longitud de las curvas, que son:

Criterio de comodidad: Se aplica al proyecto de curvas verticales en columpio, en donde la fuerza centrifuga que aparece en el vehículo al cambiar de dirección, se suma al peso propio del vehículo. Se recomienda que en la curva la aceleración centrifuga no exceda a 0,305 m/seg^2, o sea que:

$$a_c = \frac{V^2}{R} \leq 0.305 m/seg^2 \therefore R \geq 3.28 \cdot V^2$$

Asimilando la parábola a un círculo y expresando V en Km/h y a en porcentaje se obtiene:

$$K = \frac{L}{A} \geq \frac{V^2}{395}$$

Siendo K el reciproco de la variación de pendiente por unidad de longitud.

Criterio de apariencia: Se aplica al proyecto de curvas verticales con visibilidad completa, o sea las curvas cóncavas, para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente. Empíricamente la AASHTO ha encontrado que para que esto ocurra debe cumplirse:

$$K = \frac{L}{A} \geq 30$$

Criterio de drenaje: Se aplica al proyecto de curvas verticales cóncavas o convexas, cuando están alojadas en corte. La pendiente en cualquier punto de la curva, debe ser tal que el agua pueda escurrir fácilmente. La AASHTO ha encontrado que para que esto ocurra debe cumplirse:

$$K = \frac{L}{A} \leq 43$$

Criterio de seguridad: Se aplica a curvas cóncavas o convexas. La longitud de curva debe ser tal, que en toda la curva la distancia de visibilidad sea mayor o igual que la de parada. En algunos casos, el nivel de servicio deseado puede obligar a diseñar curvas verticales con la distancia de visibilidad de rebase. En estas Guías de Diseño se deducen las expresiones que permiten calcular la longitud de las curvas verticales, tanto para distancia de visibilidad de parada como de adelantamiento. Estas expresiones son.

VER ANEXO I
GRÁFICO 19: TIPOS DE CURVAS VERTICALES
GRÁFICO 20: ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL

Para curvas Convexas:

$$D > L \qquad L = 2D - \frac{C_1}{A}$$

$$D < L \qquad L = \frac{AD^2}{C_1}$$

Para curvas Cóncavas:

$$D > L \qquad L = 2D - \frac{C_2 + 3.5D}{A}$$

$$D < L \qquad L = \frac{AD^2}{C_2 + 3.5D}$$

En donde:

L = Longitud de la curva
D = Distancia de visibilidad
A = Diferencia algebraica de pendientes, en por ciento
C1, C2 = Constantes que dependen de la altura del ojo del conductor o altura de los faros y de la altura del obstáculo o altura del vehículo

El valor de las constantes para el vehículo considerado se indica en el cuadro siguiente:

CONSTANTE	PARA DISTANCIA DE VISIBILIDAD	
	PARADA	ADELANTAMIENTO
C_1	425	1000
C2	120	---

Las curvas diseñadas para distancia de visibilidad de adelantamiento resultan de gran longitud y solo deberán proyectarse cuando no se afecte el costo del camino más allá de lo permisible o donde lo amerite el nivel de servicio.

La AASHTO establece un valor mínimo para la longitud de curva, dado por la expresión empírica:

$$L = 0{,}6 \cdot V$$

En donde L es la longitud mínima de la curva en m y V la velocidad de proyecto en Km/h.

Para proyecto, el criterio a seguir debe ser el de seguridad, que satisfaga cuando menos la distancia de visibilidad de parada. El criterio de apariencia solo debe emplearse en caminos de tipo muy especial. Por otra parte el drenaje siempre debe resolverse, sea con la longitud de curva o modificando las características hidráulicas de las cunetas. Del ***Gráfico 21*** se obtienen las longitudes de curva según el criterio de seguridad para satisfacer el requisito de distancia de visibilidad de parada y la longitud mínima de curva, empleando las formulas correspondientes a la condición D<L que representa el caso más crítico. La longitud obtenida en los Gráficos debe redondearse al número de estaciones de veinte metros inmediato superior.

VER ANEXO I - GRÁFICO 21: ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL

Pendientes en un punto cualquiera de la curva.

Para determinar está pendiente P, se parte de la propiedad de la parábola de que la variación de pendiente a lo largo de ella respecto a su longitud, es uniforme. Puede establecerse la siguiente proposición:

$$t' = \frac{P_1 \cdot L}{200} + \frac{P_2 \cdot L}{200} = \frac{L}{200}(P_1 + P_2) = \frac{A \cdot L}{200}$$

$$P = P_1 - \frac{A \cdot l}{L}$$

En donde:

P, P_1, P_2, y A están expresados en por ciento y *l* y *L* en metros.

Pendiente de la cuerda a un punto cualquiera.

Para determinar está pendiente simbolizada como P se hace uso de la propiedad de la parábola de que la pendiente de una cuerda es el promedio de las pendientes de las tangentes a la parábola en los puntos extremos de la cuerda.

Esto es:

$$P' = \frac{P_1 + P}{2}$$

Y teniendo en cuanta que:

$$P = \frac{P_1 + P}{2}$$

$$P' = \frac{P_1}{2} + \frac{1}{2}\left(P_1 - \frac{A \cdot l}{L}\right)$$

De donde:

$$P' = P_1 - \frac{A \cdot l}{2 \cdot L}$$

Desviación respecto a la tangente.

Es la diferencia de ordenadas entre la prolongación de la tangente y la curva, llamada t; para determinarla se aprovecha la propiedad de la parábola que establece.

$$t = a \cdot l^2$$

Pero en el PTV

$$t = a \cdot L^2$$

Por tanto:

$$t' = \frac{P_1 \cdot L}{200} + \frac{P_2 \cdot L}{200} = \frac{L}{200}(P_1 + P_2) = \frac{A \cdot L}{200}$$

$$\frac{A \cdot L}{200} = a \cdot L^2 \quad \text{de donde} \quad a = \frac{A}{200 \cdot L}$$

Finalmente:

$$t = \frac{A}{200 \cdot L} \cdot l^2$$

Externa.
Es la distancia entre el PIV y la curva, medida verticalmente; se le representa como E. De la ecuación anterior, se deduce que:

$$E = \frac{A}{200 \cdot L}\left(\frac{L}{2}\right)^2$$

$$E = \frac{A \cdot L}{800}$$

Flecha.
Es la distancia entre la curva y la cuerda PVC – PTV, medida verticalmente; se representa como *f*: del ***Grafico 19:***

$$f = \frac{P_2 \cdot L}{200} - E - e = \frac{P_2 \cdot L}{200} - \frac{A \cdot L}{800} - e$$

Siendo la distancia e la pendiente de la cuerda PTV – PCV multiplicada por $\frac{L}{2}$, o sea que aplicando la ecuación:

Se tendrá:

$$e = -\left(\frac{P_1}{100} - \frac{A}{200 \cdot L} L\right)\frac{L}{2} = -\frac{P_1 \cdot L}{200} + \frac{A \cdot L}{400}$$

De donde:

$$f = \frac{P_2 \cdot L}{200} - \frac{A \cdot L}{800} + \frac{P_1 \cdot L}{200} - \frac{A \cdot L}{400} = \frac{P_1 + P_2}{200} L - \frac{3 \cdot A \cdot L}{800} = \left(\frac{1}{200} - \frac{3}{800}\right) \cdot A \cdot L$$

$$f = \frac{A \cdot L}{800}$$

Puede observarse que f = E

Elevación de un punto cualquiera de la curva Zn.

Del ***Gráfico 19:***

$$Z_n = Z_O + \frac{P_1 \cdot l}{100} - t$$

Substituyendo el valor de *t*:

$$Z_n = Z_O + \left(\frac{P_1}{100} - \frac{A \cdot l}{200 \cdot L}\right) \cdot l$$

Y expresando a l y *L* en estaciones de 20 m y llamando *n* y *N* a las longitudes l y *L* en estación, se tendrá:

$$Z_n = Z_O + \left(\frac{P_1}{5} - \frac{A \cdot l}{10 \cdot N} \cdot n\right) \cdot n$$

Esta expresión se emplea para calcular las elevaciones de la curva vertical. El cálculo con la fórmula tiene la ventaja de su simplicidad, pero la desventaja de que no es auto comprobante, puesto que un error en una elevación intermedia no se refleja en la elevación del punto final. Un artificio para hacer

el cálculo comprobable es el siguiente:

Puede establecerse:

$$Z_{n-1} = Z_O + \left[\frac{P_1}{5} - \frac{A}{10 \cdot N}(n-1)\right](n-1)$$

Restando esta ecuación de la ecuación para el punto n:

$$Z_n - Z_{n-1} = \left(\frac{P_1}{5} - \frac{A \cdot n}{10 \cdot N}\right) \cdot n - \left[\frac{P_1}{5} - \frac{A(n-1)}{10 \cdot n}\right](n-1)$$

Y efectuando operaciones y simplificando:

$$Z_n = Z_{n-1} + \frac{P_1}{5} - \frac{A}{10 \cdot N}(2n-1)$$

Expresión que permite hacer un cálculo autocomprobante, si bien algo más elaborada que con la expresión anterior.

SECCIÓN 701 - CRITERIOS DE DISEÑO PARA LA SECCIÓN TRANSVERSAL

701.01 ASPECTOS GENERALES

Esta Sección norma las dimensiones de los elementos de la plataforma: calzada, banquinas, medianas y sobreancho de la plataforma (SAP), los que son función básicamente de la velocidad de Proyecto y de la demanda prevista al año horizonte del proyecto, todo lo cual tiene relación directa con la Capacidad y Seguridad de la ruta.

El Concepto de "SAP", incorpora mayores anchos a este elemento en función de la velocidad de proyecto, con el objeto de dar cabida a los elementos de seguridad vial, cuyas dimensiones respecto del borde de la banquina aumentan en función de la velocidad de Proyecto.

Los elementos asociados a la plataforma de subrasante, taludes y cunetas, son objeto de normas específicas, en las que se han incorporado las nuevas tendencias respecto de la seguridad vial.

Elementos auxiliares, tales como estructuras de sostenimiento, soleras, fosos, contrafosos, caminos de servicio y otras reposiciones, son también objeto de normas y recomendaciones, inscribiéndoselos, junto a los demás ya citados, en el contexto más amplio de las franjas de expropiación y derecho de vía.

701.01.1 DEFINICIÓN DE SECCIÓN TRANSVERSAL

La Sección Transversal de una carretera o camino describe las características geométricas de éstas, según un plano normal a la superficie vertical que contiene el eje de la carretera.

Dicha sección transversal varía de un punto a otro de la vía, ya que ella resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones dependen de las funciones que ellas cumplan y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados.

En el ***Gráfico 22 (SECCION TRANSVERSAL DOBLE CARRIL) (Ver Anexo II)*** se presenta un perfil transversal mixto (corte y terraplén) correspondiente al caso de una vía con calzadas separadas en recta. En el ***Gráfico 23*** se hace igual cosa para una ruta bidireccional de dos pistas, en curva. En ellas aparecen los elementos fundamentales que normalmente se dan en una carretera o camino; plataforma, cunetas, taludes, etc. La nomenclatura utilizada debe ser respetada por el proyectista. En la ***Tabla 30*** se presenta el resumen de los Anchos de Plataforma a Nivel de Rasante.

En las etapas iniciales del diseño de las carreteras, siempre es conveniente dar la debida consideración al uso de componentes de dimensiones normales o mejoradas en la sección transversal, por estar comprobado que con un bajo costo relativo, reducen sustancialmente los riesgos de accidentes o, inversamente, contribuyen al mejoramiento de los niveles de seguridad vial. Cualesquiera que sean estos elementos de la sección transversal, deben mantenerse a lo largo de todo el proceso de diseño de una carretera o de un segmento dado de dicha carretera.

Además de la seguridad, se deben considerar las características operativas del tránsito, la estética, los patrones de velocidad, la capacidad y sus niveles de servicio, tomando en cuenta además las dimensiones de los vehículos de diseño, sus características operativas y la conducta muy particular de los conductores. En el diseño de la sección transversal debe preverse la construcción por etapas o la incorporación de ampliaciones que puedan, con posterioridad, ser ejecutadas económica y prácticamente.

TABLA 30: SECCIÓN TRANSVERSAL CALZADA ÚNICA

CUADRO RESUMEN DE ANCHOS DE PLATAFORM EN TERRAPLEN Y DE SUS ELEMENTOS A NIVEL DE RASANTE

NUMERO DE CALZADAS Y CATEGORIA					VELOCIDAD PROYECTO (km/h)	ANCHO PISTAS "a" (m) (1)	ANCHO BANQUINAS		ANCHO SAP (3)		ANCHO MEDIANA - M (m)			ANCHO TOTAL DE PLATAFORMA A NIVEL DE RASANTE (5) ATP = na +2(be + Se) + M final		
							"bi" INTERIOR (m)	"be" EXTERIOR (m)	"Si" INTERIOR (m)	"Se" EXTERIOR (m)	INICIAL 4 PISTAS AMPLIABLE A 6	FINAL 6 PISTAS	FINAL = INICIAL 4 PISTAS	6 PISTAS Y 4 AMPLIABLE	4 PISTAS	2 PISTAS
CALZADAS UNIDIRECCIONALES	AUTOPISTA				120	3,5	1,2	2,5	0,5 - 0,8	1,5	13,0	6,0	6,0	35	28	_
					100	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	13,0	6,0	6,0	34	27	_
					80	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	0,8	11,0	4,0	4,0	31,6	24,6	_
	PRIMARIO Y AUTORRUTA				100	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	13,0	6,0	6,0	34	27	_
					90	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	12,0	5,0	5,0	33	26	_
					80	3,5	1,0	2,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 (4)	10,0	3,0	3,0 (4)	29	22	_
	COLECTOR				80	3,5	1,0	2,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 (4)	10,0	3,0	3,0 (4)	29	22	_
					70	3,5	0,6 - 0,70	1,5	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 (4)	9,0	2,0	2,0 (4)	27	20	_
					60	3,5	0,6 - 0,70	1,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 (4)	9,0	2,0	2,0 (4)	26	19	_
CALZADA BIDIRECCIONAL	PRIMARIO				100 - 90	3,5	_	2,5	_	1,0	_	_	_	_	_	14
		COLECTOR			80	3,5	_	2,0	_	0,5 - 0,8	_	_	_	_	_	12
					80	3,5	_	1,5	_	0,5 - 0,8	_	_	_	_	_	11
			LOCAL		70	3,5	_	1,0 - 1,5 (2)	_	0,5 - 0,8	_	_	_	_	_	10 - 11.0
					60	3,0 - 3,5	_	0,5 - 1,0 (2)	_	0,5 - 0,8	_	_	_	_	_	8,0 - 10,0
				DESARROLLO	50	3,0 - 3,5	_	0,5 - 1,0 (2)	_	0,5	_	_	_	_	_	8,0 - 10,0
					40	3,0	_	0,0 - 0,5 (2)	_	0,5	_	_	_	_	_	7,0 - 8,0
					30	2,0 - 3,0	_	0,0 - 0,5 (2)	_	0,5	_	_	_	_	_	5,0 - 6,0

(1) Pistas de menos de 3,5 m deberán ser autorizadas expresamente por la Dirección de Vialidad.

(2) El ancho de las Bermas de Locales y de Desarrollo se definirá en función del tránsito y dificultad del emplazamiento.

(3) La Tabla Especifíca anchos de SAP en Terraplén; caso sin Barrera de Seguridad SAPe=0,5 m; con Barrera SAPe=0,8 m.

(4) Para Ancho Final de Mediana de 3 y 2 m, los SAP interiores se juntan presentando un ancho conjunto de 1m y 0,6 a 0,8 m respectivamente, espacio que servirá de base para una Barrera Rigída de Hormigón con anchos en la base de: Tipo F (0,56 m ó 0,82 m) o New Jersey (0,61 m)

(5) Ancho Total de Plataforma en Terraplen con SAP minimo = 0,5 m. Para corte cerrado o Perfil Mixto agregar Ancho(s) Cuneta(s) y corregir Ancho del SAP exterior. Si cuneta es revestida Se=0,0m - Cuneta sin Revestir Se=0,5m. En Unidireccionales "bi" y "si" están comprendidos en al ancho de la Mediana.

701.02 LA PLATAFORMA

Se llama “plataforma” a la superficie visible de una vía formada por su(s), calzada(s), sus banquinas, los sobreanchos de plataforma (SAP) y su mediana, en caso de existir esta última como parte de la sección transversal tipo.

El ancho de la plataforma será entonces la suma de los anchos de sus elementos constitutivos, cuyas características se definen en esta sección.

Casos especiales de plataforma son aquéllas de las carreteras unidireccionales con calzadas independientes y las correspondientes a caminos sin pavimentar. En el primer caso, la vía tendrá dos plataformas independientes. En el segundo, calzadas, banquinas y sobreanchos configuran un todo único no diferenciable a simple vista.

La altimetría de la plataforma está dada por el perfil longitudinal de la rasante y por la inclinación transversal de sus elementos.

La plataforma puede contener algunos elementos auxiliares, tales como barreras de seguridad, soleras, iluminación o señalización.

En los ***Gráficos 22 (SECCIÓN TRANSVERSAL DOBLE CARRIL) (Ver Anexo II) y 23 (SECCIÓN TRANSVERSAL CALZADA ÚNICA EN CURVA) (Ver Anexo II)*** se ilustra la plataforma. En la ***Tabla 30*** se presenta un resumen en el que se indican anchos totales de la Plataforma en Terraplén, según los elementos que la constituyen. Todo ello en función de la Categoría según la Clasificación Funcional y la Velocidad de Proyecto correspondiente. En Caminos Locales y de Desarrollo los anchos de pistas y banquinas se seleccionarán considerando los volúmenes de demanda esperados y la dificultad topográfica del emplazamiento. El uso de los anchos mínimos deberá contar con la autorización expresa del Ente Rector.

701.02.1 LA CALZADA

La calzada es una banda material y geométricamente definida, de tal modo que su superficie pueda soportar un cierto tránsito vehicular y permitir desplazamientos cómodos y seguros de los mismos.

La calzada está formada por dos o más carriles. Un carril será entonces cada una de las divisiones de la calzada que pueda acomodar una fila de vehículos transitando en un sentido.

Divididas o no, las carreteras están provistas de uno, dos o más carriles de circulación por sentido y excepcionalmente, de un solo carril habilitado para la circulación en ambos sentidos, con paradas o refugios estratégicamente ubicados a lo largo de la vía, para permitir las operaciones de adelantamiento o el encuentro seguro de dos vehículos en sentidos opuestos.

Se debe tomar nota que el carril es la unidad de medida transversal, para la circulación de una sola fila de vehículos, siendo el ancho de la calzada o superficie de rodamiento, la sumatoria de los carriles, a la que también se hace referencia en la clasificación de las carreteras. Para ofrecer las mejores condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios, la superficie de rodamiento de las carreteras debe ser plana y sin irregularidades, resistente al deslizamiento y habilitada para la circulación del tránsito bajo todas las condiciones climáticas previsibles.

En el caso de carreteras o caminos con calzada bidireccional de dos carriles, cada una de ellas podrá ser utilizada ocasionalmente por vehículos que marchan en el sentido opuesto, en el momento en que éstos adelanten a otros más lentos.

701.02.1.(a) Anchos de calzada y plataforma

Existe una clara y comprobada relación entre el ancho del carril, el ancho utilizable de las banquinas o la ubicación de las obstrucciones laterales y la capacidad de las carreteras, según los resultados que muestra la ***Tabla 31*** adjunta.

Los datos mostrados en el cuadro son calculados para flujos ininterrumpidos del tránsito, con un nivel de servicio B y pavimentos con estructuras de alta calidad.

Entiéndase por capacidad ideal en ese cuadro, la que corresponde a carriles de 3,6 metros con obstrucciones laterales a un mínimo de 1,8 metros. Las usuales restricciones laterales se refieren a muros de contención, cordones de puentes, postes para instalaciones de servicios públicos, vehículos estacionados al lado de la vía, anclaje de cables y cualquier elemento físico instalado al lado de la vía. La existencia de banquinas continuas de suficiente amplitud, tiende a alejar la colocación de restricciones laterales como las indicadas.

De la información insertada en este cuadro, se puede apreciar la manera sensible en que la falta de banquinas disminuye la capacidad de una carretera típica de dos carriles, en un 30 por ciento cuando el ancho de carril es de 3,6 metros y en un 42 por ciento cuando el ancho de carril disminuye a 3,0 metros. Experiencias en países sub-desarrollados, también han indicado que para carriles de 3,0 metros de ancho, la velocidad relativa disminuye en un 15 por ciento. Disminución de capacidad significa mayores posibilidades de accidentes en situaciones azarosas del tránsito.

TABLA 31: EFECTO COMBINADO SOBRE LA CAPACIDAD IDEAL, DEL ANCHO DE CARRIL Y LA UBICACIÓN DE LAS RESTRICCIONES LATERALES

ANCHO ÚTIL DE BANQUINAS U OBSTRUCCIÓN LATERAL	PORCENTAJE DE CAPACIDAD EN RELACIÓN A LA DEL CARRIL DE 3,6 m		
METROS	3,6 m	3,3 m	3,0 m
CARRETERAS DE DOS CARRILES			
1,8	100	93	84
1,2	92	85	77
0,6	81	75	68
0	70	65	58
CARRETERAS DE CUATRO CARRILES SIN MEDIANA			
1,8	100	95	89
1,2	98	94	88
0,6	95	92	86
0	88	85	80

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1.994.

701.02.1.(b) Anchos de los carriles

La ***Tabla 31*** muestra también que la selección del ancho de los carriles es una decisión que tiene incidencia determinante en la capacidad de las carreteras. Como parámetro de referencia durante el diseño, se debe tener presente la estructura del tránsito proyectado, que a su vez y en la medida de la importancia relativa del tránsito pesado dentro del mismo, hará necesario que la dimensión de cada carril sea habilitada para que los camiones y las combinaciones de vehículos de diseño, con 2,6 metros de ancho, se puedan inscribir cómodamente y a las velocidades permisibles, dentro de la franja de circulación que les ha sido habilitada.

En el ambiente vial nacional, un ancho de carril de 3,6 metros se considera como el ideal para las condiciones físicas más exigentes de la vía y el tránsito, en coincidencia con las normas norteamericanas vigentes, variando según el tipo de carretera hasta un mínimo tolerable de 2,7 metros en caminos rurales de poco tránsito.

El ancho de carril de 3,6 metros es deseable para las carreteras de la red principal, de manera que una calzada de dos carriles con 7,2 m ofrecerá óptimas condiciones para la circulación vehicular. Cuando haya restricciones en el derecho de vía, el carril de 3,3 m se considerará recomendable; en tanto que el carril de 3,0 m de ancho es aceptable únicamente en el caso de vías diseñadas para baja velocidad. Se admite el uso de carriles de 3,3 m en la parte interior de autopistas y hasta 3,9 m en los carriles exteriores, para permitir más comodidad y seguridad a los vehículos lentos y a las bicicletas. En el diseño de carriles contiguos y de doble sentido de circulación, en el centro de la sección transversal para facilitar los giros a izquierda, los anchos recomendables varían entre 3,0 y 4,8 m.

Los carriles de aceleración y deceleración, al igual que los carriles adicionales para ascensos y descensos, determinados por el alineamiento vertical de las carreteras con porcentajes significativos de vehículos pesados en la corriente del tránsito y bajas velocidades, deberán disponer de un ancho mínimo de 3,3 m.

En lo que corresponde a la superficie del pavimento de la calzada, ésta estará determinada por el volumen y la composición del tránsito, las características del suelo y del clima, la disponibilidad de materiales y el costo durante todo el ciclo de vida del proyecto. Los pavimentos con superficie de rodamiento de alta calidad, ofrecen una superficie tersa, buenas cualidades antideslizantes y bajo costo de mantenimiento, por la perfección del diseño y el estricto control de calidad de los productos utilizados.

Los de calidad intermedia varían desde los tratamientos superficiales bituminosos hasta pavimentos asfálticos de alta calidad, pero sometidos a menores controles para reducir costos. Las superficies de baja calidad se presentan en carreteras con superficies de grava, suelos estabilizados o tratados químicamente y simple material selecto compactado.

701.02.1.(c) Bombeos

La pendiente transversal de una carretera de primera clase con dos carriles en tangente, debe ser de 2,0% del centro de la sección hacia fuera. Cuando existan más de dos carriles por sentido, cada carril adicional irá incrementando su pendiente transversal entre 0,5% y 1,0%. En áreas de intensa precipitación pluvial, la pendiente de los carriles centrales puede incrementarse a 2,5%, con un medio por ciento incremental en los carriles contiguos hacia fuera, pero sin superar un 4,0%.

Para carreteras con superficie de calidad intermedia, la pendiente transversal desde la cresta de la sección puede variar entre 1,5% y 3,0%, en tanto que las carreteras con superficie de rodamiento de baja calidad, el rango de pendiente transversal puede fijarse entre 2,0% y 4,0%.

No se estimula el uso de secciones parabólicas para conformar la pendiente transversal de una carretera de cuatro carriles, debido a que la caída del borde exterior del pavimento es muy acentuada y aunque conveniente para efectos del drenaje, puede ser incómoda para la conducción vehicular.

701.02.2 LA BANQUINA

Las Banquinas, son las franjas de carretera ubicadas contiguas a los carriles de circulación y que, en conjunto con éstos, constituyen la corona o sección comprendida entre los bordes de los taludes. Sus funciones principales y las cuales justifican su implementación son:

i) Proveer espacios para acomodar los vehículos que ocasionalmente sufren desperfectos durante su recorrido. Si los anchos de banquina son cortos, se constata un defecto en los mismos, ya que los vehículos en problemas se ven invitados a invadir los carriles de circulación, con riesgos para la seguridad del tránsito
ii) Dar estabilidad estructural a los carriles de circulación vehicular por medio del confinamiento
iii) Permitir los movimientos peatonales en ciertas áreas donde la demanda lo justifique
iv) Proporcionar el espacio lateral libre suficiente para la instalación de las señales verticales de tránsito

701.02.2.(a) Anchos de banquinas

La continuidad de las banquinas debe ser mantenida a lo largo de la carretera donde la topografía lo permita; en caso contrario y en correspondencia con la altura de los taludes de los terraplenes, deberán instalarse postes guías o barreras de seguridad tipo flex-beam, con separación mínima de 1,2 m del borde externo de los carriles, tomando en cuenta el correspondiente ancho para la raya de pintura blanca reflectiva, que de igual forma se aplicará en la banquina exterior.

Donde haya que acomodar ciclistas, es aconsejable ampliar las banquinas a 1,2 m de ancho mínimo. Para las carreteras colectoras, este mínimo se puede ampliar a 1,5 m.

Puesto que por otra parte es recomendable que un vehículo estacionado o en reparación despeje el carril exterior a una distancia comprendida entre 0,3 y 0,6 m, se ha recomendado que la banquina exterior alcance una sección de 3,0 m en las carreteras de alto desempeño, para dar refugio a un vehículo pesado de 2,6 m de ancho, reduciéndose a 2,5 m dicho requerimiento, si el propósito es proteger un automóvil cuyo ancho de diseño es de 2,1 m.

Para las autopistas se recomienda un mínimo de 2,5 m de ancho de banquina exterior, siendo admisible reducir dicho requerimiento hasta 1,8 m.

En resumen, para las carreteras de la red nacional, donde no se han reconocido suficientemente las ventajas de la provisión de banquinas de anchos adecuados, por una economía en costos de inversión mal entendida, se propone la adopción de los anchos mínimos que señala la ***Tabla 32*** presentada a continuación. El ancho de las banquinas se determina en función de la clasificación de la carretera y del tipo de terreno que cruza. En carreteras de las clasificaciones principales, en lo posible, el ancho de las banquinas debe prever el ensanche futuro del pavimento, sin necesidad de ampliar el volumen del movimiento de tierras.

TABLA 32: ANCHOS MINÍMOS DE BANQUINAS Y ACERAS

Tipo de Carretera		Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Banquinas (m)		Ancho de Aceras (m)
				Internos	Externos	
AR	Autopistas Regionales	Controlado	Alto	1,0 -1,5	1,8 - 2,5	
TS	Troncales Suburbanas	Controlado	Alto	1,0 -1,5	1,8 - 2,5	1,2 - 2,0
TR	Troncales Rurales	-	Alto	0,5 -1,0*	1,2 - 1,8	1,2 - 1,5
CS	Colectoras Suburbanas	-	Intermedio	0,5*	1,2 - 1,5	1,0 - 1,2
CR	Colectoras Rurales	-	Intermedio	-	1,2 - 1,5	1,0 -1,2
* Solamente con Medianera						

En aquellos casos donde por circunstancias especiales no sea posible construir las banquinas con los anchos recomendados, deberá como alternativa proveerse en lo posible, refugios para vehículos cada
500 m a cada lado, provistos de sus secciones de transición tanto para el ingreso como para la salida de dichas instalaciones de emergencia.

701.02.2.(b) Pendiente transversal de las banquinas

Dentro de la práctica corriente de diseño de las banquinas, debe considerarse una pendiente máxima transversal del 5% dependiendo de la pluviosidad del lugar, empezando con un mínimo de 2%. Por tipo de superficie, las banquinas pueden tener pendientes transversales de 2% al 6% cuando se trata de banquinas asfaltadas o con concreto hidráulico, de 4% a 6% en banquinas revestidas de grava y de 8% en banquinas con vegetación. En curvas horizontales con sobreelevación, predomina el porcentaje de sobreelevación de la calzada. En las obras de arte no deberá variarse esta disposición.

Las banquinas deben ser revestidas para proporcionar un mejor soporte a la calzada y redondeadas en el borde exterior. El revestimiento puede ser de grava, de material estabilizado químicamente o consistir en un tratamiento superficial bituminoso, una mezcla asfáltica o un concreto hidráulico, según las características de la carretera y las demandas del tránsito.

701.02.3 SOBREANCHOS DE LA PLATAFORMA (SAP)

701.02.3.(a) Anchos del SAP

En lo posible, luego de realizar una valoración técnico económica de la implementación de la vía, con la conformidad del Ente Rector, la plataforma en terraplén tendrá siempre un SAP mínimo de 0,5 m, tal que permita confinar las capas de subbase y base de modo que en el extremo exterior de la banquina sea posible alcanzar el nivel de compactación especificado. Consecuentemente, en los 0,5 m exteriores del SAP no se podrá lograr la compactación máxima exigida por el resto de la plataforma por falta de confinamiento y riesgo por perdida de estabilidad del equipo de compactación autopropulsado.

Toda vez que el SAP tenga un ancho mayor que 0,5 m, el ancho adicional adyacente a la banquina deberá compactarse según las mismas exigencias especificadas para las banquinas.

En plataformas en corte, si la cuneta es revestida, se podrá prescindir del SAP como parte de la sección transversal, no obstante ello, al extender las capas de subbase y base se colocará inicialmente un sobreancho de 0,5 m para poder compactar adecuadamente el borde exterior de las banquina, material que se retira posteriormente para conformar la cuneta. Si la cuneta no lleva revestimiento la sección transversal debe considerar un SAP de 0,5 m, para separar las capas estructurales de las aguas que escurren por la cuneta.

Si la plataforma en terraplén aconseja la instalación de barreras de seguridad, salvo que se trate de Caminos Locales o de Desarrollo con Vp ≤ 50 km/h, el ancho mínimo del SAP será de 0,8 m, con el objeto de anclar el poste a 0,2 m del extremo exterior del SAP y no invadir la banquina con la barrera.

En Carreteras con VP ≥ 90 km/h el SAP será mayor que el mínimo para aumentar el espacio disponible para la señalización vertical, ya que el tamaño de las señales aumenta con la velocidad de proyecto. ***(Ver anchos del SAP en Tabla 30)***.

701.02.3.(b) Pendiente transversal del SAP

En la ***Tabla 33*** se establece la pendiente transversal del SAP (is%), según las distintas situaciones posibles, tanto para calzadas bidireccionales como para las unidireccionales y en estas últimas, distinguiendo entre SAP exterior e interior.

TABLA 33: PENDIENTE TRANSVERSAL DEL SAP (is%)

SITUACIÓN	PENDIENTE TRANSVERSAL DEL SAP
EN RECTA	is SIEMPRE = - 10%
ZONA TRANSICION PERALTE	para b ≤ p ≤ 0,0 ; is = -10%
EXTREMO ALTO DE LA PLATAFORMA	Para 0,0 < p ≤ 3% ; is = - (10 – 2p)%
	para p > 3% ; is = - 4%
EXTREMO BAJO DE LA PLATAFORMA	para todo p ; is = - 10%
El is del SAP interior de las calzadas unidireccionales será de – 8%, salvo para p > - 4% en que is = - 4%.	

701.02.4 ACERAS

Donde hay abundancia de peatones, los volúmenes de tránsito son elevados y las velocidades permitidas son significativas (mayores de 60 kilómetros por hora), especialmente en sitios de circunvalación de poblados y ciudades, se recomienda que al lado de los carriles exteriores, se construyan aceras o veredas para la circulación peatonal.

Como una recomendación general de aplicación, se deben construir aceras en las calles y en las carreteras que carezcan de banquinas, procurándose en este último caso que las aceras estén fuera de la pista de rodaje y, posiblemente, en los límites del derecho de vía.

Los datos de tránsito confirman que las aceras ofrecen un medio efectivo para reducir accidentes peatonales.

En áreas urbanas y suburbanas, debe existir una franja de un mínimo de 3.0 metros de ancho como espacio de amortiguación para la construcción de aceras y la instalación de servicios como alumbrado público, hidrantes, teléfonos, etc. Las aceras pueden variar entre 1.0 y 2.0 metros de ancho, con una franja verde separatoria de la pista principal de 0.6 metros de ancho, como mínimo. Cuando la acera se construya a la orilla del c ordón de la cuneta, debe tener un ancho extra de 0.6 metros, para compensar la carencia de la zona verde de transición.

Se dan recomendaciones sobre el ancho mínimo de estas instalaciones en la ***Tabla 32*** ya citada.

701.02.5 CORDONES Y CUNETAS

Los cordones se usan extensamente en las carreteras urbanas y suburbanas, siendo su uso muy limitado, más bien nulo, en las carreteras rurales. Esto tiene que ver con la función que desempeñan dichos dispositivos, como son el control del drenaje, la delimitación del borde del pavimento, la determinación del borde de las aceras o de la zona de protección de los peatones o, simplemente, por razones de estética.

Típicamente los cordones se clasifican en montables y de barrera o no montables, según que tengan la altura y conformación apropiada para que los vehículos automotores puedan abordarlos o no.

Los cordones de barrera son relativamente altos y con la cara relativamente vertical, redondeados en su parte superior para reducir las aristas cortantes, con un radio de 1 a 2,5 centímetros. La altura de este cordón puede estar comprendida entre 15 y 22,5 centímetros. Los Cordones de barrera combinados con aceras de seguridad son muy útiles a lo largo de paredes altas y túneles, haciendo que el conductor se separe de dichos Cordones con beneficio para la seguridad del peatón.

En general, no se recomienda el uso de cordones de barrera en autopistas y en carreteras de alta velocidad, porque pueden ser causantes del vuelco de vehículos por impacto lateral. Si el propósito de colocar un cordón tal es prevenir que los vehículos se salgan de la calzada, debe pensarse más bien en el uso de barreras metálicas.

Los cordones montables, por su parte, son diseñados para que los vehículos puedan cruzarlos cuando así se requiera y sea permisible o cuando accidentalmente haya que pasar sobre ellos. Cuando la cara del talud del cordón es mayor de la relación 1:1, su altura debe limitarse a 10 centímetros o menos, pero si este talud se diseña entre 1:1 a 2:1, su altura puede ser incrementada a 15 centímetros. En algunas ocasiones los cordones se construyen con una porción vertical en la base de unos 2,5 centímetros, como previsión para futuros revestimientos del pavimento, aunque si la sección inclinada excede de una altura total de 15 centímetros, ya no se califica como un cordón montable. Los cordones montables son usuales en los bordes de las medianas en carreteras divididas y en las islas para canalización del tránsito en las intersecciones.

El ancho del cordón se considera como un elemento de la sección transversal fuera del ancho de los carriles, podría decirse que más bien debe estar situado a unos 0,3-0,6 metros del borde del carril en vías urbanas, y en el borde del hombro en carreteras rurales. Combinados con una sección de cuneta, los cordones pueden formar parte integral del sistema de drenaje superficial longitudinal de la carretera. El cordón-cuneta se instala normalmente cuando la carretera discurre en un ambiente urbano y suburbano, para encauzar las aguas hacia los sumideros y tuberías de drenaje. El ***Gráfico 24 (*SECCIONES TÍPICAS DE CORDÓN-CUNETA EN CARRETERAS*) (Ver Anexo II)*** ilustra las descripciones dadas.

Reconocedores de estas condiciones para el uso de uno u otro tipo de cordón, en la práctica vial han preferido la colocación de cordón de barrera para delimitar la mediana central, en virtud de que los cordones montables han servido para la habilitación de cruces forzados por el uso frecuente y a la vez incómodo, en los sitios donde se ha intentado controlar tales maniobras.

701.02.6 LA MEDIANA O CANTERO CENTRAL

La mediana o franja separadora central es una franja de terreno localizada al centro de los carriles de sentido contrario en carreteras divididas, que puede construirse al nivel de la pista principal, o tener su sección transversal elevada o deprimida, siendo preferible esta última solución por su contribución al drenaje longitudinal en las autopistas y carreteras divididas, recomendándose en este caso particular que la pendiente de la mediana sea en la proporción 6 a 1, aunque una relación de 4 a 1 puede ser igualmente aceptable. Todos los sumideros de drenaje en la mediana deben construirse a ras del suelo y protegidos con parrillas, para que no se constituyan en peligrosos obstáculos para los vehículos descarriados.

Las medianas tienen las siguientes funciones principales:

- Separar físicamente los flujos de tránsito de sentido contrario
- Evitar o reducir el deslumbramiento durante la conducción nocturna, de los conductores de ambos sentidos de circulación
- Dotar a la carretera de un ancho de reserva para futuras ampliaciones, función que se le otorga una considerable importancia
- Embellecer la facilidad vial y mejorar la calidad ambiental de su entorno
- En situaciones especiales puede servir para la atención del movimiento peatonal

TABLA 34: ANCHOS DE MEDIANAS RECOMENDABLES PARA LAS CARRETERAS DE LA RED VÍAL

Tipo	Clasificación	Ancho de Mediana (m)
AR	Autopistas Regionales	4-12
TS	Troncales Suburbanas	4-10
TR	Troncales Rurales	2-6
CS	Colectoras Suburbanas	Sin mediana
CR	Colectoras Rurales	Sin mediana

En zonas rurales o de cordilleras el ancho mínimo de una mediana se puede reducir a un metro, llegando en casos extremos a limitarse a 0,5 metros, lo cual minimiza su participación de los beneficios anunciados. La experiencia ha demostrado que las medianas pueden tener anchos hasta de 12 metros ó más, para incrementar al máximo la sensación de separación e independencia de operación de las corrientes opuestas. Dentro de este elenco de opciones y con una visión práctica, se recomiendan los anchos que muestra la ***Tabla 34***, para aplicar a las carreteras del sistema regional del país.

Un ancho de 4,0 metros es suficiente para la construcción de un carril para giros a izquierda, con 3,0 a 3,5 metros para la franja de circulación y la dimensión restante para proveer un cordón mínimo separador, a la vez que protector. Además, se pueden permitir giros en U, desde luego que no con las ventajas que ofrecen las medianas mayores que alcanzan de 8 y 10 metros. Una mediana de 10 metros provee suficiente refugio transversalmente para el automóvil y el camión pequeño de diseño, que son los componentes más frecuentes en el tránsito, pero con un poco de limitaciones para el ómnibus de diseño. **Ver el Gráfico 25 (SECCIÓN TIPO EN RECTA DE VÍAS CON MEDIANERA*) (Ver Anexo II)*** de la sección tipo con medianera, en tangente.

701.02.7 CARRILES AUXILIARES COMPLEMENTARIOS

701.02.7.(a) Paradas de Ómnibus

De acuerdo con el tipo de Camino o Carretera, la intensidad del tránsito y la frecuencia prevista para el uso de paradas, estas podrán proyectarse en la banquina o fuera de ella. Normalmente, toda vez que la velocidad de proyecto de la carretera supere los 70 Km/h, la parada deberá preferentemente, construirse fuera de la banquina.

Las paradas deben localizarse en zonas que aseguren una visibilidad de parada igual o mayor a 1,5 veces la correspondiente a la velocidad de proyecto de la carretera. Esto deberá cumplirse tanto para el acceso como para la salida del sitio donde se para.

En zonas de intersección la parada no deberá obstaculizar el triángulo de visibilidad requerido desde cualquiera de las vías que concurren a la intersección. Si ello no es posible de lograr, la vía secundaria deberá regularse con un signo PARE.

Debe evitarse su localización en curvas porque producen un efecto óptico perjudicial para el resto de los usuarios del camino, especialmente cuando quedan en el lado exterior de la curva, y si están en el lado interior de la curva obstruyen la visibilidad.

No se aceptarán paradas enfrentadas cuando se trate de vías bidireccionales. La distancia mínima a que pueden quedar es de 100 m, entre los puntos terminales, y siempre el del lado izquierdo antes que el del lado derecho, considerando la dirección del avance del tránsito.

Las paradas no deben ubicarse en tramos con pendientes mayores que 4%, salvo casos especiales que requerirán la aprobación de la Dirección de Vialidad. En lo posible deberán estar ubicadas en puntos bajos de curvas cóncavas.

701.02.7.(a1) Paradas de Ómnibus en la Banquina

En Caminos Locales y de Desarrollo la parada podrá diseñarse sobre la banquina, para lo cual se adoptará la disposición y dimensiones que se indican en el **Gráfico 26 (PARADAS DE ÓMNIBUS SOBRE LA BANQUINA)** ***(Ver Anexo II)***.

701.02.7.(a2) Paradas de Ómnibus Fuera de la Banquina

En Caminos Colectores y Carreteras Bidireccionales las paradas se deberán diseñar respetando la disposición y dimensiones que se indican en el **Gráfico 27 (PARADAS DE ÓMNIBUS FUERA DE LA BANQUINA VÍAS BIDIRECCIONALES Y COLECTORES)** ***(Ver Anexo II).***

Si el Camino Colector o la Carretera Bidireccional poseen calzadas unidireccionales, la parada deberá diseñarse en conformidad con lo que se indica en el **Gráfico 28 (PARADAS DE ÓMNIBUS FUERA DE LA BANQUINA)** ***(Ver Anexo II)***.

701.02.7.(a3) Paradas de Ómnibus en Intersecciones Canalizadas

Cuando la parada se requiera en una intersección canalizada, el punto de detención deberá localizarse después del cruce, según el sentido de avance del tránsito, iniciando la pista de entrada 10 m más delante del punto de tangencia de la curva de salida del ramal. **Ver inciso a) del Gráfico 28 (PARADAS DE ÓMNIBUS FUERA DE LA BANQUINA)** ***(Ver Anexo II)***.

Si se trata de un camino con calzada única bidireccional, se empleará el dispositivo del inciso a) pero modificando la cuña de salida según se define en el **Gráfico 27 (PARADAS DE ÓMNIBUS FUERA DE LA BANQUINA VÍAS BIDIRECCIONALES Y COLECTORES)** ***(Ver Anexo II).***

701.02.7.(a4) Longitud de la Parada de Ómnibus propiamente tal

Considerando que la longitud máxima reglamentaria de los Ómnibus es de 13,2 y 14,0 m, se desarrollaran paradas con un largo útil de 15 m. Si la frecuencia de parada de Ómnibus pudiese llegar a ser de dos en forma simultánea, el largo del sector de estacionamiento se llevará a 29 m según el Tipo de Ómnibus.

701.02.7.(b) Pistas de frenado

En trazados que presenten longitudes considerables en pendiente de bajada, que igualen o superen el 5%, puede ser necesario diseñar Pistas de Frenado que en casos de emergencia tienen por objeto forzar la detención de un vehículo al que le ha fallado el sistema de frenos.

Por lo general la falla del sistema de frenos se produce en los Vehículos Pesados cuando el conductor en vez de controlar la velocidad en las bajadas, empleando la capacidad de retención del motor hace un uso prolongado de los frenos, lo que produce un recalentamiento de los elementos de frenado, y el sistema deja de operar. Esta situación se asocia normalmente a pendientes sostenidas de 3 a 4 Km de largo, pero puede producirse antes si el conductor emplea mayoritariamente los frenos, en vez de controlar la velocidad en mayor medida con la capacidad de retención del motor. También puede darse en vehículos sobrecargados respecto de la potencia del motor.

Los camiones modernos poseen además un dispositivo denominado "Freno Motor", que permite aumentar el efecto de retención del motor sin tener que enganchar en marchas demasiado bajas que sobrecargan la caja de cambios.

En consecuencia, los conductores experimentados pueden enfrentar bajadas pronunciadas empleando al mínimo el sistema de frenos.

A modo indicativo se citan a continuación Coeficientes de Retención Cr, por oposición al rodado (deformación de los neumáticos y roces internos) y por efecto del enganche del motor o "freno motor" más oposición al rodado, todos los que se expresan como el efecto de una pendiente de subida en m/m.

TABLA 35: COEFICIENTES DE RETENCIÓN Cr (m/m)

COEFICIENTES DE RETENCION Cr (m/m)

POR OPOSICIÓN AL RODADO	
Caminos Pavimentados (Sin Efecto del Motor)	0,010
Grava Compacta (Sin Efecto del Motor)	0,015
ENGANCHE MOTOR + OPOSICIÓN AL RODADO	
Enganche en Marchas Altas (Pavimento)	0,020
Enganche en Marchas Intermedias	0,040
Enganche en Marchas Muy Bajas (Pavimento)	0,060 a 0,080

Marchas Altas debe entenderse aquí como aquellas usadas para circular a velocidades altas en condiciones normales.

701.02.7.(c) Ciclovías

Las ciclovías, son pistas auxiliares destinadas a las personas que se desplazan en bicicleta, cuya seguridad peligra cuando lo hacen empleando la calzada o las banquinas de ancho normal.

Se podrán analizar ciclovías en Caminos Colectores y Locales con Vp ≤ 70 Km/h, en aquellos tramos que presenten un flujo superior a 2 ciclistas por minuto, en ambos sentidos, en períodos continuados de 15 minutos de duración, determinado dentro de la hora posterior al término de las faenas agrícolas, agroindustriales o industriales características del sector.

La ciclovía se construirá en uno de los costados de la ruta ampliando la plataforma a partir del término del SAP que le corresponde al camino sin considerar ciclovía.

El ***Gráfico 29 (CICLOVIA BIDIRECCIONAL) (Ver Anexo II)***, ilustra la disposición del ensanche de la plataforma, y el ancho útil destinado a la ciclovía.

701.03 LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA INFRAESTRUCTURA

701.03.1 ASPECTOS GENERALES

En esta sección se incluirán las consideraciones a ser tomadas en cuenta para la concepción de aquellos elementos de perfil transversal que delimitan las obras de tierra en su cuerpo principal: terraplenes y cortes, determinando la geometría de éstos.

Estos elementos son: la plataforma de subrasante, los taludes de terraplén, las cunetas y los taludes de corte, las obras de contención de tierras y las obras que se realizan en el suelo de cimentación de la carretera o camino.

Dado que en esta sección el alcance solo describe aspectos generales para dichos elementos que deben ser tomados en cuenta para la definición transversal de la vía en cuestión, el proyectista debe acudir a bibliografías específicas para obtener criterios y valores relativos a sus dimensionamientos prácticos.

Se hace notar que las inclinaciones de los taludes, de corte o de terraplén, medidas como razón entre sus proyecciones horizontales y verticales, dependerán casi únicamente de la naturaleza de los materiales de la zona, pudiéndose presentar grandes variaciones según sean las calidades de éstos, fundamentalmente en el caso de los cortes.

Ello hace imprescindible el concurso de especialistas para programar y ejecutar los estudios que permitan afinar las variables en juego: toda atención prestada a estos asuntos se verá generosamente compensada desde los puntos de vista de la economía y la seguridad de la obra.

701.03.2 LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA PLATAFORMA DE SUBRASANTE

La plataforma de subrasante es una superficie constituida por uno o más planos sensiblemente horizontales, que delimita el movimiento de tierras de la infraestructura y sobre la cual se apoya la capa de rodadura o las diversas capas que constituyen un pavimento superior. Además incluye el espacio destinado a los elementos auxiliares como, banquinas, cantero central, cunetas de drenaje, etc.

Si el perfil es de terraplén, la plataforma de subrasante queda configurada por los materiales de la última capa del terraplén y su ancho será el de la plataforma (calzadas, banquinas, SAP y cantero central si lo hay), más el espacio requerido para el derrame de las tierras correspondientes a los materiales de subbase y base.

Si el perfil es en corte, la plataforma de subrasante queda constituida por la plataforma a nivel de rasante más el espacio requerido por las cunetas, que se generan a partir de los bordes externos del SAP y continúan con el talud iniciado en el extremo del mismo.

El ancho de la plataforma de subrasante será entonces la suma del ancho de la plataforma, más la proyección horizontal del talud interior y del fondo de las cunetas.

Si el perfil es mixto, la plataforma de subrasante estará configurado por una parte que se define según lo dicho para el caso de terraplén, y por otra que responderá a las características propias del corte. Puede ser conveniente regularizar la zona de apoyo correspondiente a este último, mediante rebaje adicional y posterior relleno con la última capa del terraplén.

La plataforma de subrasante puede contribuir al control de las aguas infiltradas cuando sus materiales y su compactación permitan la generación de una superficie relativamente impermeable con pendientes hacia el exterior, lo cual ayuda a preservar el cuerpo del terraplén, o el suelo de fundación, de las aguas infiltradas a través del pavimento y de las capas de base y subbase.

Lo anterior, sumado a la conveniencia estructural de mantener constante el espesor de las capas de base y subbase, obliga a mantener una pendiente transversal en la plataforma de subrasante que sea igual a la de la plataforma a nivel de rasante (pendiente común de carriles y banquinas), la que se prolonga hasta los extremos de la subrasante, sin considerar los quiebres que presenta el SAP a nivel de rasante.

701.03.3 ELEMENTOS DE LA INFRAESTRUCTURA PARA SECCIÓN EN TERRAPLÉN

701.03.3.(a) Taludes de terraplén desde el punto de vista de su estabilidad

Cuando una carretera o camino se emplaza en terraplén, los materiales de éste provendrán de las excavaciones hechas en otros puntos del trazado o de yacimientos. En cualquier caso, las características de dichos materiales serán relativamente previsibles y por lo general se podrá anticipar la inclinación máxima admisible de los taludes en función de la altura de los terraplenes.

El diseño de taludes de terraplén, desde el punto de vista estructural, se encuentra en función del tipo de material que lo constituye y de los suelos sobre los que se fundan.

Cuando los materiales lo permitan, los taludes de terraplén con alturas inferiores a 15 metros tendrán una inclinación máxima de 1:1,5 (H:V).

Los taludes de terraplenes de alturas mayores que 15 m deben ser objeto de un estudio especializado, del cual surgirá su adecuada inclinación.

Si un terraplén debe cimentarse sobre suelos que presenten inclinaciones superiores al 20% o que estén constituidos por materiales inadecuados, se deberán considerar obras especiales para minimizar los peligros de deslizamiento o de asentamientos diferenciales excesivos.

En el primer caso, de laderas con pendientes pronunciadas, éstas deberán escalonarse, en el sentido normal o paralelo al eje de la vía, según si ellas son aproximadamente perpendiculares o paralelas a dicho eje. Ejemplo de lo primero es el cruce de un barranco y de lo segundo un trazado en media ladera. La huella y contrahuella de los escalones será variable, pero la primera debe tener al menos un ancho que permita la operación de la maquinaria en uso, y la segunda debe ser, en lo posible, múltiplo del espesor de una capa compactable.

En el caso de suelos de fundación con alto contenido de materia orgánica o muy compresible, éstos deberán ser retirados o tratados según sea el problema que los afecte.

701.03.3.(b) Taludes de terraplén desde el punto de vista de la seguridad vial

Taludes de terraplén con inclinaciones comprendidas entre 1:3 y 1:4 (V:H), se consideran “transitables”, es decir un vehículo que se salga de la plataforma puede en la mayoría de los casos descender por el talud sin volcarse y si en dicho trayecto y al pie del terraplén no existen obstáculos, siendo también que terreno presenta una inclinación menor o del orden de un 5%, en definitiva el vehículo podrá ser detenido minimizando la severidad del accidente.

Taludes de terraplén con inclinaciones menores que 1:4 (V:H) se consideran “recuperables”, es decir el conductor tiene la posibilidad de redirigir el vehículo hacia la plataforma del camino. Lo anterior será tanto más cierto cuanto más tendido sea el talud; por ejemplo 1:6 (V:H), sin embargo, el tendido de los taludes de los terraplenes tiene un costo importante por el mayor movimiento de tierras requerido.

La ocurrencia de accidentes que impliquen la salida de un vehículo fuera de la plataforma de la ruta, aumenta entre otros factores en función del tránsito de la carretera o camino y si el sector bajo análisis se desarrolla en planta en recta o con curvas amplias, o si lo hace en curvas restrictivas cuyo radio esté comprendido entre el radio mínimo aceptable para la Velocidad de Proyecto de la ruta (Vp) y un radio correspondiente a Vp+10 Km/h.

Por otra parte, la severidad de los accidentes ocurridos en terraplenes con taludes no transitables (1:1,5 V:H), que no cuenten con Barrera de Contención, aumenta con la altura H del terraplén.

En consecuencia, el diseño de los taludes de terraplén por concepto de seguridad, en función de los factores mencionados, considerará dos alternativas: Taludes 1:1,5 y Taludes 1:3 (V:H); los que deberán emplearse con o sin Barreras de Contención, según sea el TPDA de la ruta y la altura H (m) del terraplén, empleando para ello el ***Gráfico 29 (CICLOVÍA BIDIRECCIONAL) (Ver Anexo II)***, misma que fue elaborada adaptando los conceptos planteados en el documento "Roadside Design Guide – AASHTO Enero 1.996".

701.03.4 ELEMENTOS DE LA INFRAESTRUCTURA PARA SECCIÓN EN CORTE

701.03.4.(a) La cuneta lateral en corte

Cuando la vía discurre en corte, las aguas que sobre ella caen, o las que llegan a ella superficial o subterráneamente, no pueden ser eliminadas sino mediante su conducción hacia zonas donde ello es posible.

Esta conducción debe hacerse con la mayor rapidez, para evitar que las aguas fluyan sobre la plataforma o que se infiltren dañando la estructura. Para ello se recurre a las cunetas, a los subdrenes y a los colectores de aguas lluvia.

Las primeras, situadas entre la plataforma y el talud del corte, recolectan las aguas superficiales. Si su profundidad es suficiente, también pueden dar cuenta en algunos casos, de las aguas subterráneas que amenacen las capas de base y subbase.

Los drenes sólo recogen aguas freáticas o infiltradas a través de la plataforma y de los taludes. Los colectores de aguas de lluvia se pueden considerar cuando la capacidad de la cuneta es insuficiente para evitar la inundación de uno o más carriles durante las precipitaciones de diseño.

Unos y otros dispositivos pueden ser usados combinadamente para cumplir con estas funciones, de tal manera que las excavaciones resulten razonables. ***(Véase los Gráficos a y b en el Gráfico 31 (DIVERSAS SECCIONES DE CUNETAS) (Ver Anexo II)***.

Del mismo modo, cuando no se requiera drenaje profundo, los distintos elementos de las cunetas deben combinarse adecuadamente para resolver los problemas hidráulicos y de mecánica de suelos que las motivan, a la vez que para lograr una sección transversal de la carretera que tenga costo mínimo.

Los elementos constitutivos de una cuneta son su talud interior y su fondo, ya incluidos en la plataforma de subrasante, y su talud exterior. Este último, por lo general, se confunde con el del corte, pero se limita, con el propósito de completar la definición de la cuneta, a una altura que resulta de proyectar horizontalmente el borde exterior del SAP sobre dicho talud. Para los cálculos hidráulicos pertinentes al caso de inundaciones, este límite puede alcanzar el nivel del extremo de la calzada, si éste es superior.

En los Literales que siguen se abordarán los taludes interiores, las profundidades y los fondos de las cunetas. También se reseñarán algunas secciones frecuentes de cunetas.

701.03.4.(a1) Talud Interior de Cunetas

El talud o pared interior de la cuneta se inicia en el punto extremo de la plataforma o borde exterior del SAP si la cuneta no tiene revestimiento, y en el borde exterior de la banquina si la cuneta lleva revestimiento, y se desarrolla, bajando con una cierta inclinación, hasta interceptar la plataforma de subrasante.

La inclinación mencionada dependerá, por condiciones de seguridad, de la velocidad de proyecto de la carretera o camino. Sus valores se tabulan en la ***Tabla 36***.

TABLA 36: INCLINACIONES MÁXIMAS DEL TALUD INTERIOR DE LA CUNETA

Vp Km / h	pie m / m	V : H 1 : nci
≤ 70	0,50	1 : 2
80 - 90	0,40	1 : 2.5
100	0,33	1 : 3
120	0,25	1 : 4

701.03.4.(a2) Profundidad de la Cuneta

La profundidad o altura interior de la cuneta (hc) se mide, verticalmente, desde el extremo de la plataforma hasta el punto más bajo de su fondo.

Esta dimensión depende de factores funcionales y geométricos. Si la cuneta es revestida, ella no podrá recoger aguas profundas, por lo que su profundidad quedará determinada, en conjunto con los demás elementos de su sección, por los volúmenes de las aguas superficiales a conducir.

En este caso, las aguas freáticas y/o las infiltradas a través de la plataforma deben ser recogidas mediante drenes enterrados si los materiales de la infraestructura y del suelo lo hicieran necesario. ***(Incisos a y b del Gráfico 31 (DIVERSAS SECCIONES DE CUNETAS) (Ver Anexo II))***.

Cuando la pendiente longitudinal lo permite, y si los caudales no son tan importantes como para exigir revestimientos, se puede profundizar la cuneta hasta un valor de hc que permita la salida de las aguas profundas hacia ella, preservando así los materiales de base, subbase y fundación de la carretera. En este caso, si he es el espesor de sus capas estructurales (base, subbase y pavimento), (hc – he) deberá tener valores mínimos, que dependen de la Intensidad de la lluvia de diseño, para el Período de Retorno seleccionado, de la zona y de la permeabilidad de los materiales de la infraestructura. Si estos últimos materiales son drenantes, los valores (hc – he) tenderán a ser los mínimos.

Si la cuneta del lado bajo de la curva está revestida y la subrasante posee baja permeabilidad, se deberá construir bajo ella un subdren tipo zanja o bien una colchoneta de geotextil rellena con material permeable (con o sin tubo drenante según el caudal que se deba evacuar, dren que deberá proyectarse con las pendientes y descargas adecuadas para evacuar el agua recolectada.

Cuando la plataforma de subrasante es relativamente impermeable y ella tiene una inclinación única, la profundidad de la cuneta del lado alto de la curva debe ser dimensionada con especial cuidado, puesto que el agua puede infiltrarse desde esta última y escurrir por dicha plataforma, causando graves trastornos ***(Véase incisos del Gráfico 31 (DIVERSAS SECCIONES DE CUNETAS) (Ver Anexo II))***. En estos casos se deberá disponer un subdren en el lado bajo de la curva, si la cuneta es revestida.

Esta posible función doble de las cunetas lleva a excavaciones mayores, pero en ciertos casos, la solución que ella representa es simple y definitiva.

701.03.4.(a3) El Fondo de la Cuneta

El fondo de la cuneta, transversalmente, tendrá la misma pendiente de la subrasante si se trata de cunetas trapezoidales, pudiendo también adoptar una forma triangular si se requiere excavar bajo la subrasante.

El ancho del fondo será función de la capacidad que quiera conferirse a la cuneta. Eventualmente, puede disponerse adyacente a la cuneta una banqueta si se requiere espacio de seguridad para caída de rocas. En tal caso, la cuneta puede presentar un fondo inferior para el agua y una plataforma al lado del corte a una cota algo superior, para el fin mencionado. Esta disposición resulta en oportunidades obligatoria para asegurar visibilidad de parada que de otro modo queda limitada por el talud del corte.

Si la cuneta es circular o triangular, el fondo lo constituye el punto más bajo de su sección y su ancho es nulo.

Longitudinalmente, el fondo de la cuneta deberá ser continuo, sin puntos bajos. Sus cotas y pendientes se deducen del perfil longitudinal del eje de la carretera, teniendo en cuenta, por lo general, una dimensión hc constante. Cuando esto se hace así, dicho perfil será paralelo al del fondo de la cuneta, salvo en los tramos de transición de peraltes. En estos tramos su profundidad puede necesitar retoques para cumplir la condición de continuidad. También puede ser preciso aumentar su pendiente, con respecto a la del eje de la vía, en zonas donde una rasante prácticamente horizontal pueda crear problemas hidráulicos.

Las pendientes del fondo de la cuneta pueden producir velocidades erosivas de los materiales de la misma, caso en el cual las circunstancias de diseño cambian según lo dicho en el Numeral anterior.

Las pendientes longitudinales mínimas absolutas serán 0,25% para cunetas sin revestir y 0,12% para las revestidas, debiéndose procurar inclinaciones mínimas mayores (0,5% y 0,25%) siempre que ello sea posible.

701.03.4.(a4) Secciones Tipo de Cunetas

Es impracticable describir todas las secciones posibles de cuneta, porque las dimensiones de sus elementos pueden ser cualesquiera, del mismo modo que las posiciones de cada uno de ellos con respecto a los demás. Por otra parte, como ya se ha dicho, estas dimensiones están condicionadas por aspectos técnicos y de diseño que no es posible clasificar de una manera racional.

Sin embargo, existen secciones, cuya eficiencia está sancionada por la práctica, que corresponden a las ilustradas genéricamente en el ***Gráfico 31 (*DIVERSAS SECCIONES DE CUNETAS*) (Ver Anexo II)***.

Los Gráficos a, b y c corresponden normalmente a cunetas revestidas. En la primera, de sección circular, se ha aprovechado de mostrar un dren bajo ella. En la segunda, de sección trapezoidal, se muestra el mismo dren colocado en otra posición. La tercera corresponde a un caso extraordinario de sección reducida para velocidades de diseño no superiores a 50 Km/h.

En el Gráfico d se muestran cunetas trapezoidales, de profundidad hc. En el Gráfico e se muestran cunetas triangulares. La de la izquierda tiene una sección normal y la de la derecha contempla una plataforma, de un ancho “b”, para escombros del talud.

701.03.4.(b) Taludes de corte

La inclinación de los taludes del corte variará a lo largo de la obra según sea la calidad y estratificación de los suelos encontrados.

Dichas inclinaciones podrán ser únicas en un tramo del trazado, o bien presentar variaciones en un mismo perfil. Esto último en el caso de comprobarse las ventajas técnicas y/o económicas, o de otro tipo, de tal geometría.

Un talud de corte con más de una inclinación se puede dar en dos casos básicos. El primero, cuando la inclinación con la cual él se inicia, a partir del borde exterior del fondo de la cuneta, debe ser disminuida más arriba, tendiéndolo, al existir terrenos de inferiores características estructurales.

El segundo caso se presenta cuando se elige diseñar un talud de corte con bancos intermedios, por ser esta solución, en el caso estudiado, preferible a un talud más tendido, ya sea único o quebrado.

Un talud de corte puede presentar uno o más bancos. El primer escalón, contado desde abajo, queda definido por su ancho, por su pendiente transversal y por la altura entre su borde exterior y el de la cuneta, o entre el primero y el eje de la carretera, según aconsejen las conveniencias estéticas e hidráulicas en cada caso.

Los bancos pueden ser diseñados como permanentes, o transitorios si se prevé que ellos serán cubiertos con materiales desprendidos o derramados desde los siguientes. En ambos, los bancos deben tener un ancho mínimo que es función de las características geológicas del terreno.

Sus inclinaciones transversales deben ser del orden del 4%, vertiendo hacia la pared del corte si son permanentes y no superiores al 5(H): 1 (V), vertiendo hacia la plataforma, si son transitorios.

701.03.5 ALABEO DE TALUDES

En numerosos puntos del trazado se producen pasos de un talud a otro, debiéndose dar una transición adecuada para cada caso.

En las transiciones de cortes de más de 4 m, a terraplén, o de terraplenes de más de 4 m a corte, los taludes de uno y otro deberán tenderse a partir del punto en el cual la altura del corte o del terraplén llega a reducirse a 2,0 m. En todo caso, la longitud de la zona de alabeo no debe ser menor que 10,0 m.

La transición del talud del terraplén se ejecuta pasando, linealmente, desde este último al talud interior de la cuneta, que puede ser de 4:1; 3:1; 2,5:1 y 2:1. En el corte, la transición consiste en pasar desde su valor normal al 4:1, valor límite teórico en el punto en que su altura se hace nula (punto de paso).

Si los cortes o terraplenes tienen una altura máxima inferior a dos metros, o si la longitud total de ellos es inferior a 40 m, no es necesario alabear sus taludes en las transiciones. Si dicha altura máxima está comprendida entre dos y cuatro metros, el tendido deberá hacerse a partir del punto en que ella se reduce a la mitad, y la transición se ejecuta de igual manera que para terraplenes y cortes de más de 4,0 m.

Si el paso es de un talud a otro de la misma naturaleza pero con inclinación distinta, el alabeo se dará en un mínimo de diez metros, cuidando que se realice en la zona de mejores materiales.

La parte superior de los taludes de corte (brocal) se deberá redondear tendiendo el talud, para mejorar la apariencia de sus bordes y para mejorar la estabilidad de los suelos superficiales normalmente menos consolidados que a mayor profundidad.

701.03.6 ESTRUCTURAS DE SOSTENIMIENTO DE TIERRAS

Cuando el espacio disponible para la ejecución de las obras de tierra no es suficiente para conferir a los taludes la inclinación deseable u obligada, puede ser necesaria la construcción de obras especiales que permitan contener los materiales que sin ellas serían inestables.

También pueden diseñarse estos elementos en casos en los que se desee proteger terraplenes de la acción de inundaciones o avenidas.

Para unos y otros casos, se puede recurrir a una gran variedad de estructuras, de uso habitual en ingeniería.

El proyectista deberá tener en cuenta, para estos casos, toda la gama posible de dispositivos, que reúne a los muros gravitacionales en su gran variedad de formas y materiales constitutivos los gaviones, las tablestacas, los muros de tierra mecánicamente estabilizada y a otros ingenios que, no siendo estructuras propiamente tales actúan como contenedores de tierras.

Entre estas últimas cabe mencionar los anclajes, los cosidos y las inyecciones de taludes de corte.

La elección del tipo de solución adoptada dependerá de una serie de factores, tanto económicos como estructurales y geométricos. A la vez, dicha elección condicionará el perfil transversal en la zona de aplicación, de una manera que el proyectista deberá mantener presente durante el proyecto.

701.04 OBRAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES

Los taludes tanto de terraplén como de corte, están expuestos a los agentes erosivos naturales De éstos, el más activo y frecuente es el agua. Ella cae directamente sobre sus superficies, o lo hace sobre las adyacentes que vierten hacia ellos. Si no se evita, el agua escurrirá por los taludes, con velocidades cada vez mayores según la altura, dañándolos y elevando los costos de mantenimiento de la obra.

Entre los elementos destinados a controlar y encauzar el flujo de las aguas para evitar daños en los taludes, y que deben proyectarse de acuerdo a los imperativos hidráulicos y de la mecánica de suelos que proceda, cabe mencionar, cordones, cunetas de pie de talud y cunetas de banquina. Las plantaciones en el talud confieren protección adicional o complementaria contra la erosión y en ciertos casos resultan indispensables.

Estos dispositivos serán abordados descriptivamente en la presente sección, limitándose la exposición a aquellos aspectos relativos a la sección transversal de la vía. Su dimensionamiento deberá ser resuelto de acuerdo a las circunstancias puntuales del proyecto.

701.04.1 LOS CORDONES

Los cordones son elementos que presentan una dimensión vertical y que pueden ser colocados en algún punto de la sección transversal de la plataforma, con propósitos varios.

El embellecimiento, la demarcación de la vía y la canalización de los vehículos mediante cordones que en zonas urbanas o suburbanas son finalidades atendibles, pierden gran parte de su vigencia en zonas rurales, en las cuales el propósito de éstas queda prácticamente reducido a evitar la caída de agua por los taludes de terraplenes altos, conduciéndolas hasta bajantes cuyos dimensionamientos, tipos y separaciones son objeto de estudios propios de cada caso.

Los cordones deben ser dispuestos en el SAP, firmemente adheridos a la banquina y cuidadosamente sellada la junta con esta última. Los cordones con cuneta o con zarpa pueden ser colocadas de tal modo que las partes de ellas que sean transitables o montables queden dentro del espacio reservado para la banquina.

701.04.2 LAS CUNETAS DE PIE DE TALUD

Se denominan "cunetas de pie de talud" a los canales laterales que discurren sensiblemente paralelos al pie de los terraplenes y que los preservan de las aguas que escurren superficialmente hacia ellos ya sea desde la carretera o desde el terreno adyacente.

Una cuneta de pie de talud puede estar dispuesta inmediatamente próximo al pie del terraplén si ello es necesario por exigencias de espacio y si no se temen socavamientos del mismo pero normalmente se dejará un espacio libre de 1,0 m entre el pie del terraplén y el talud adyacente de la cuneta En terraplenes bajos, una sección circular amplia para la cuneta puede añadir a la seguridad de los vehículos accidentalmente salidos de la plataforma.

Si se define una altura hc mínima ***(Véase numeral 701.03.4.(a2))***, para mantener los materiales estructurales del camino libre de la acción de las aguas infiltradas y freáticas, ello implicará que cuando la rasante discurre próxima al terreno puede aparecer un corte de poca altura intermitentemente aun cuando los bordes de la plataforma o de la plataforma de subrasante se encuentren sobre el terreno natural. Estos casos han sido discutidos en los ***numerales 701.03.4.(a1) y 701.03.5.***

Por el lado exterior de la cuneta de pie de talud se debe dejar un espacio libre de al menos dos metros cuando la vía sea autopista o carretera primaria, para permitir la operación de los equipos de limpieza o como espacio de seguridad ante la posible instalación de servicios.

Las secciones de las cunetas de pie de talud serán preferentemente semicirculares, o bien, trapezoidales dependiendo de posibles condicionamientos geométricos para la sección transversal de la vía.

Estas cunetas deben ser profundizadas hasta una cota que quede al menos 0,50 metros por debajo del extremomás próximo de la plataforma de subrasante, y más aún si se prevén inundaciones prolongadas.

Las cunetas de pie de talud, por lo general vierten a cauces preexistentes. Es necesario tener en cuenta que los caudales desaguados pueden significar una importante alteración, aguas abajo del terraplén si ellos han de discurrir por cauces que antes funcionaban con un régimen muy distinto. En tales casos el proyectista debe considerar las obras de disipación y/o encauzamientos que sean necesarias.

701.04.3 LAS CUNETAS DE CORONACIÓN O CONTRACUNETAS

Las cunetas de banquina son canales que se disponen por sobre la cota de coronamiento del corte, con el fin de evitar la llegada de agua, a veces en cantidades importantes y casi siempre con arrastres, a los taludes de corte de una carretera, proveniente de superficies adyacentes que vierten hacia ella.

La sección transversal de la cuenta de banquina o el número de ellas se ajustara a los volúmenes de agua esperados y a la disponibilidad y tamaño de los equipos de excavación.

Estas cunetas pueden influir sustancialmente en los límites de obra. Esto porque la topografía generalmente obliga a alejarlas del coronamiento del corte o porque este alejamiento es necesario para evitar posibles derrumbes por infiltración.

Dependiendo de sus pendientes, las cunetas de banquina y sus bajadas pueden requerir revestimientos, e incluso disipadores de energía. Los efectos de las descargas sobre la propiedad y el dimensionamiento de las obras deben ser objeto de estudios específicos para cada caso.

701.05 REPOSICIONES DE SERVICIOS

La construcción de una carretera o camino, cuando se ejecuta en zonas habitadas puede afectar una serie de servicios o derechos, cuyas funciones y formas pueden ser interrumpidas o alteradas durante el período de las obras, para luego ser restituidas con plenas funciones, con o sin modificaciones de ubicación o magnitud. Eventualmente, un servicio o un derecho pueden ser anulados a raíz de la construcción. En este caso las compensaciones a que haya lugar deberán ser cotejadas con el costo de modificar el proyecto.

Las interferencias pueden ser de varios tipos, siendo las más frecuentes las que interesan a la propiedad, al paso de peatones o vehículos, al riego, a los abastecimientos de electricidad, agua alcantarillado, gas, teléfonos, fibra óptica y a otros tipos de líneas y tuberías.

Las obras de reposición de los servicios afectados pueden alterar la sección transversal normal de una carretera de manera significativa, especialmente cuando ellas se refieren a caminos laterales; por ejemplo en carreteras con acceso controlado.

En la presente sección se describirán, en general, aquellos aspectos que el proyectista debe tener en cuenta para definir las secciones transversales de la carretera o camino, en aquellas zonas en las que aparecen obras de este tipo recordándose que para muchas de estas obras existen normas específicas de las entidades que las construyen, usan y atienden.

701.05.1 CAMINOS DE SERVICIO

Los caminos de servicio son vías auxiliares que discurren sensiblemente paralelas a las vías con control de acceso, y que sirven a este control y a la propiedad adyacente a la vez.

Ellos restituyen el acceso a la propiedad, limitado por la carretera a lo largo de su trazado y atienden a los desplazamientos locales. Interconexiones ocasionales de los caminos de servicio con la vía principal, frecuentemente en combinación con vías secundarias que la cruzan, permiten el desarrollo de sus zonas marginales sin afectar la condición de tener accesos controlados.

Los caminos de servicio pueden existir a uno o a ambos lados de la carretera o autopista, pudiendo ser de uno o dos sentidos, de acuerdo a los requerimientos de la zona afectada.

Sus secciones en recta deben considerar una plataforma mínima de seis metros cuando se prevean volúmenes superiores a los 50 veh/día, pudiendo reducirse a cuatro metros en caso contrario. La plataforma máxima, así como la existencia y tipo de pavimento en ella estarán determinados por las características específicas del proyecto.

Los caminos de servicio deben estar situados a una distancia mínima, del pie de los taludes, de 5,00 metros, medidos entre el pie del talud y el borde interior de la plataforma del camino de servicio.

Si la sección requiere cunetas de pie de talud o cunetas de banquina: lo más favorable es que ellas queden por fuera del camino, con lo cual sirven de protección a ambas vías. Sin embargo si por alguna razón ellas fuesen proyectadas entre la vía principal y el camino, este último deberá distar a no menos de 2,00 metros del borde de dicha cuneta de pie de talud o cuneta de banquina y siempre a 5,00 ó más metros del referido pie de acuerdo a la exigencia que resulte mayor.

Si la sección contempla otras reposiciones, se debe preferir que ellas discurran por fuera del borde exterior del camino de servicio. Si ha de existir valla, ésta deberá ser situada en su borde interior asegurando el Control de Acceso.

Siempre que haya camino de servicio cuyo trazado sea adyacente a la vía, el límite de obra y el limite teórico de expropiación coincidirán y estarán constituidas por el borde exterior del camino en cuestión o de la obra que existe más afuera de él (cunetas de pie de talud, acequia, tubería etc.) salvo eventuales regularizaciones del límite de expropiación o previsiones para obras futuras ***(Véase la Numeral 701.07)***.

701.05.2 OTRAS REPOSICIONES DE SERVICIOS

Canales de agua, tuberías, líneas subterráneas, alcantarillado, etc. son obras que afectan al límite de obra y por lo tanto a la sección transversal de la carretera y a sus límites de expropiación.

Aquéllas que discurran enterradas deben hacerlo a distancia suficientes de las obras de tierra de la vía principal como para que su mantenimiento no afecte y ni sea afectado, por el funcionamiento de ésta.

Se puede considerar como mínima, en casos favorables, una distancia de 2,00 metros entre cualquiera de estas obras y los pies de taludes de la carretera. Sin embargo, este mínimo debe ser revisado según sea la naturaleza de la reposición y las especificaciones que le correspondan según otras disposiciones vigentes.

Esta distancia de 2,00 metros puede anularse si existe camino de servicio y la reposición se hace por el exterior

del mismo.

701.06 SECCIONES TIPO

701.06.1 SECCIONES TIPO NORMALES

La ***Tabla 30*** resume los anchos de las Secciones Tipo Normales de Carreteras y Caminos según su Categoría y Velocidad de Proyecto distinguiendo anchos de carriles, cantero central si corresponde, banquinas y SAP. Los elementos auxiliares de la sección transversal, tales como cunetas, cunetas de pie de talud, cunetas de banquina, etc. se definieron en ***numerales 701.03 y 701.04***, debiendo aplicarse a la categoría de la ruta y tipo de suelos en que esta se emplaza.

701.07 FRANJA DE DOMINIO

701.07.1 ASPECTOS GENERALES

A efectos de uso, defensa y explotación de las carreteras de la Red Vial, se establece que son propiedad del Estado los terrenos ocupados por las Carreteras en general, así como sus elementos funcionales.

Es elemento funcional de una carretera, toda zona pertenecientemente afectada a la conservación de la misma o a la explotación del servicio público vial, tales como las destinadas al descanso, estacionamiento, auxilio y atención médica de urgencia, pesaje, parada de ómnibus y otros fines auxiliares o complementarios.

701.07.2 ZONA DE AFECTACIÓN

Consiste en la franja de terreno a cada lado de la vía, incluida la banquina, de (50) cincuenta metros, medida en horizontal y/o perpendicularmente a partir del eje de la carretera.

En esta zona, no podrán realizarse obras, ni se permitirán más usos que aquellos que sean compatibles con la seguridad vial, previa autorización escrita y expresa en cualquier caso del Ente Rector de acuerdo al procedimiento establecido al efecto en el Reglamento.

El Ente Rector podrá utilizar o autorizar la utilización de la zona de afectación por razones de interés General o cuando requiera mejorar el servicio en la carretera, o así lo establezca la Ley de Concesiones y su reglamento.

A objeto de evitar ocupación ilegal de la zona de afectación de las carreteras de la red Vial de Carreteras, el Ente Rector ejercerá control permanente de las áreas de derecho de vía en las carreteras y en caso de ocupación o utilización ilegal procederá a la demolición de obras y desocupación del área afectada de acuerdo a procedimiento previsto al efecto.

La línea para poder efectuar edificaciones ajenas a la carretera será fuera de los 50 (cincuenta) metros a cada lado del eje de la vía.

701.07.3 EXPROPIACIONES Y SERVIDUMBRES

En caso de que en la zona del derecho de vía existan propietarios cuya data sea anterior al diseño de la carretera, el estado mediante el correspondiente trámite de expropiación liberará el derecho de vía para la ejecución de los trabajos de mejoramiento o construcción, a cuyo efecto asignará los recursos suficientes.

Si se establece técnicamente que no es necesaria la expropiación de determinadas áreas sino que estas sean sometidas a servidumbre, para que se haga efectiva dicha servidumbre, se procesará el trámite

correspondiente.

701.08 INSTRUCCIONES Y CRITERIOS PARA OBRAS VARIAS

701.08.1 CERCOS

701.08.1.(a) Aspectos generales

El objeto de los cercos se puede clasificar principalmente bajo tres aspectos.

- Cercos de Control de Acceso
- Cercos de Propiedad
- Cercos en el Cantero central.

A continuación se describen brevemente cada uno de estos tipos de cercos.

701.08.1.(b) Cercos de Control de Acceso

Son cercos de propiedad del estado erigidos dentro del derecho de vía del camino para actuar como barreras físicas para impedir el acceso de las personas, animales y vehículos y en general para hacer observar los derechos reservados para el funcionamiento adecuado de Autopistas, Multicarril y Bidireccionales como función secundaria, este tipo de cercos pueden servir como cercos de propiedad.

701.08.1.(c) Cercos de Propiedad

Son estructuras erigidas a lo largo de las líneas que delimitan la faja de expropiación, o derecho de vía, respecto de la propiedad adyacente. Pueden ser construidos por el propietario o por el Fisco durante la construcción del camino pero su mantenimiento corresponde siempre al primero.

701.08.1.(d) Cercos en el Cantero central

Son elementos de propiedad del estado los cuales están constituidos por un cerco de malla longitudinal para prevenir cruces indiscriminados a través del cantero central de vehículos o peatones. En general este tipo de barreras físicas no son deseables a menos que existan aquellas que se describen en a) y de existir aquellas normalmente no tienen sentido estas, salvo como control anti deslumbramiento.

Los cercos de propiedad también pueden ser de propiedad fiscal y en ese caso deberán cumplir, en general con las especificaciones impartidas por el Ente Rector.

701.08.1.(e) Tipos de cercos fiscales

Los siguientes serán los tipos de cerco que serán usados en las obras viales.

701.08.1.(e1) Tipo 5AP-N y 5AP-D

Cinco alambres de púas dispuestos en postes de madera. Adecuados para caminos Colectores, Locales y de Desarrollo.

701.08.1.(e2) Tipo 7AP-N y 7AP-D

Siete alambres de púas dispuestos en postes de madera. Adecuados para caminos Colectores y Carreteras Primarias con Control Parcial de Acceso.

701.08.1.(e3) Tipo 7AM-N y 7AM-D

Cerco de alambres de púas con malla en la parte inferior. Adecuados en las Autopistas, Multicarril y Primarios con Control Total de Accesos, en zonas con baja y media densidad poblacional.

701.08.1.(e4) Tipo S.M

Cerco de secciones de mallas metálicas, enlazadas. Las secciones de la estructura son corrientemente prefabricadas. Obligatorios en Autopistas y Multicarril en zonas de alta densidad poblacional, en especial en zonas suburbanas y enlaces.

701.08.1.(e5) Tipo T

Cerco de troncos rollizos.

701.08.1.(e6) Tipo P

Muro hecho de albañilería de piedras en seco.

Para los incisos a), b) y c), los cercos Tipo N consideran un poste cada 3 m y los Tipo D consideran un poste casa 6 m con colocación de elementos distanciadotes entre alambres, los distanciadotes se fijan a cada hebra de alambre de púa insertando simultáneamente en ambos elementos, un trozo de alambre, al que luego se le doblan las puntas, para asegurar la fijación.

701.08.1.(f) Características de uso de los diversos tipos de cercos

No se instalarán cercos en los lugares en que existan muros o cercos a lo largo del derecho de vía y provean una barrera satisfactoria o cuando la violación de acceso es una posibilidad remota. Cuando sea necesaria su instalación, ésta se hará de acuerdo a la categoría del camino según las siguientes pautas:

701.08.1.(f1) Autopistas y Multicarriles

Deben usarse los tipos SM y 7 AM de acuerdo con el grado de control de acceso que tenga la carretera y el peligro de violación que exista.

701.08.1.(f2) Bidireccionales y colectores

Se usarán los tipos 7 AM y eventualmente 5AP en Colectores.

701.08.1.(f3) Locales y desarrollo

En estos caminos el proyectista podrá usar el tipo 5AP y eventualmente el Tipo T de troncos para aprovechar la madera que se pueda obtener en el desbroce y despeje de la faja o el tipo P cuando en el terreno abunden piedras sueltas, previa su justificación económica y con el objeto de reparar o completar pircas de piedra existentes.

701.08.1.(g) Ubicación de los cercos

En las Autopistas, Multicarriles y Caminos Primarios, si existen caminos de servicio, los cercos de Control de Acceso se ubicarán dentro del derecho de vía, de acuerdo al Gráfico incluido en el ***numeral 701.08.1 (j)***. En los otros caminos y demás situaciones, a lo largo de la línea demarcatoria de la faja de expropiación.

Los cercos de malla cuando se miran en forma oblicua, obstruyen la visibilidad, por lo tanto habrá que tener en cuenta este hecho cuando se proyecten cercos en intersecciones y curvas del camino.

701.08.1.(h) Portones

701.08.1.(h1). En autopistas y Multicarriles

Se podrán construir portones únicamente para los siguientes fines:

- Para facilitar el mantenimiento de la vía
- Para acceso de equipo de emergencia
- Para acceso de instalaciones de utilidad pública cuando haya que incurrir en recorridos demasiado largos para el mantenimiento de dichas instalaciones

Cuando se provean portones en el diseño, éstos deben ser plenamente justificados con el informe respectivo**.**

701.08.1.(h2). Otros caminos

En éstos los portones se limitarán a uno por propiedad, en lo posible.

701.08.1.(i) Cantero central

En el cantero central pueden colocarse los cercos de malla tipo SM por constituir ésta una efectiva barrera contra el deslumbramiento, no resultan adecuados por sí solos para controlar el movimiento de peatones y animales pues ellos no impiden el ingresa de estos a la calzada.

701.08.1.(j) Delimitación de la propiedad

El fisco construirá o pagará los cercos de delimitación de propiedad solamente como parte de costo del derecho de vía y estará limitado a:

- La reconstrucción o reemplazo de cercos existentes
- La construcción de cercos a través de propiedad que ha estado previamente cercada en forma adecuada a las necesidades del predio, en caso contrario se aplicará solamente el criterio de acceso al camino de acuerdo a lo expuesto en el ***numeral 701.08.1.(c)***

701.08.2 BARRERAS DE SEGURIDAD

701.08.2.(a) Objeto

Las Barreras de Seguridad son elementos especialmente diseñados que se ubican convenientemente en las carreteras, con los siguientes objetivos:

- Prevenir accidentes delineando mejor el camino
- Reducir la severidad de los accidentes, conteniendo y redireccionando los vehículos que chocan a una dirección más segura
- Reducir los accidentes por cruce del cantero central

701.08.2.(b) Diseño y colocación

Las barreras se instalan en el SAP en el cantero central, o en las aproximaciones de los puentes, y zonas en que existen obstáculos laterales En caminos de calzadas separadas pueden ser colocadas al centro, a la derecha o izquierda del cantero central de acuerdo a su justificación técnica, o bien a ambos lados del cantero central.

El estudio definitivo de los proyectos viales debe detallar el Tipo de Barrera a emplear su localización y particularidades de instalación; todo ello en conformidad con lo expuesto en los documentos citados precedentemente.

No obstante lo anterior, se citan a continuación algunos criterios básicos fundamentales:

La sección inicial de la barrera deberá ser curvada hacia fuera y el extremo doblado para evitar que presenten un extremo anguloso hacia el tránsito que se aproxima.

En las barreras colocadas en curvas de radios inferiores a 500 m y en los sectores de menos de 60 m de largo, se deberán instalar dispositivos reflectores poste por medio.

En las curvas de radio mayor que 500 m o en las barreras de largo mayor de 60 m se colocarán dichos dispositivos en un poste de cada cuatro.

En los casos en que se dispongan delineadores reflectorizados en la parte exterior de las barreras, los dispositivos reflectantes pueden ser omitidos. Cuando la banquina del camino está provista de un cordón montable la barrera de cordón se colocará de modo que su superficie interna quede 0,05 m sobresaliendo del pie del cordón, independientemente del ancho de la banquina. Esto tiene por objeto evitar que el cordón actúe como trampolín impulsando el vehículo fuera del carril pasando por sobre la barrera. Cuando el cordón no es montable, la cara interior de la barrera debe estar a plomo con la faz interior del cordón. Si por alguna razón se desea colocar la barrera detrás del cordón el alto de la barrera debe aumentarse en el alto del cordón.

701.08.2.(c) Barreras de seguridad en la plataforma

La necesidad de barreras en la plataforma está generalmente, determinada por los siguientes factores:

- Altura y Talud del terraplén
- Trazado
- Ancho de la plataforma
- Estadística de accidentes
- Velocidad y volumen del tránsito
- Visibilidad
- Condiciones climáticas

En el ***numeral 701.03.3.(b)*** se establecen los criterios generales respecto del empleo de Barreras de Contención en función del TPDA de la ruta, altura y talud de los terraplenes radio de las curvas.

Los sectores que pueden presentar condiciones adversas de neblina, o sectores de camino con tránsito de alta velocidad o elevado volumen, justifican la consideración de barreras de seguridad.
Se debe estudiar la necesidad de barreras especialmente en los siguientes casos:

- Súbitas restricciones del ancho del camino.
- Curvas aisladas insertas en un tramo de trazado amplio (Trazados Existentes)
- Cepas y estribos de pasos superiores; muros de boca de obras de arte; árboles y otras obstrucciones permanentes

701.08.2.(d) Barreras de seguridad en aproximaciones a puentes

Se deberán colocar barreras en los extremos de todos los puentes.

701.08.2.(d1). Criterio de colocación

En carreteras multicarril con un cantero central que se prolonga a lo largo de la estructura, la barrera debe colocarse solamente a la derecha del tránsito que se aproxima. En caminos multicarril con estructuras separadas para cada dirección de tránsito, las barreras deben colocarse a derecha e izquierda del tránsito que se aproxima.

En caminos de dos carriles, la barrera se colocará a la derecha, solamente en los puentes que tengan un ancho superior al ancho del pavimento más 1,50 m. En los puentes de ancho inferior se colocarán barreras a ambos costados de la entrada.

701.08.2.(d2). Largo

La longitud de la barrera de acceso a los puentes depende de la diferencia de ancho entre los cordones del puente y las líneas exteriores de las banquinas.

701.08.2.(d3). Peatones

Si se espera que un número importante de peatones use las veredas del puente, éstas se deben proteger con barreras adecuadas.

701.08.2.(e) Barreras de seguridad en obstrucciones en autopistas y caminos primarios

Con el objeto de reducir la posibilidad de accidentes en los caminos mencionados deberán colocarse barreras en las obstrucciones que estén a menos de 3,5 m de la orilla del pavimento, tales como, postes de señalización, pilastras y estribos de pasos superiores y extremos de muros de sostenimiento de tierra.

701.08.3 SEÑALIZADORES Y DELINEADORES

Los señalizadores serán elementos que permitirán identificar y ubicar las obras de arte y drenaje.

701.08.3.(a) Alcantarillas

En el eje de estas estructuras se colocarán dos señalizadores uno en cada extremo siempre que sean fácilmente visibles desde la calzada en caso contrario deben colocarse adyacente a las banquinas.

Cuando coincida la ubicación de un señalizador de drenaje, con la de los delineadores, aquél debe hacerse parte de la instalación. En este caso la separación de los delineadores se debe ajustar para dar cabida al señalizador de drenaje y si aquéllos se encuentran reflectorizados debe hacerse lo mismo con este señalizador.

701.08.3.(b) Drenes

En general un dren requiere un señalizador, colocado en el eje del ducto y opuesto a la salida. Se deben colocar señalizadores adicionales cuando los registros o cámaras no sean fácilmente ubicables.

Los señalizadores de drenaje se construirán de acuerdo a los planos tipo y deberán contener claramente marcadas las palabras Alcantarilla o Dren según sea el caso, además del kilometraje de la ubicación.

701.08.4 PARALELISMOS EN CAMINOS PÚBLICOS

Se entiende por "paralelismo" toda instalación u obra cuya conformaron disposición o emplazamiento requiera ocupar los terrenos de la faja vial de un camino público siguiendo el sentido longitudinal de ella, dentro de sus líneas de cierres o entre las líneas oficiales establecidas por los planes reguladores en el caso de las calles o avenidas declaradas caminos públicos.

701.08.4.(a) Requisitos exigibles

Solamente se autorizará el uso de las fajas de los caminos públicos, para los efectos de ejecutar instalaciones de paralelismos, si dichas instalaciones cumplen con los siguientes aspectos:

- Que la instalación o tendido no se oponga al uso de los caminos públicos, sus fajas adyacentes, pasos a nivel y obras de arte, o al uso de túneles o puentes
- No afecten la estabilidad de las obras, la seguridad del tránsito o el desarrollo futuro de las vías
- No obstruyan o alteren el paso de las aguas
- No produzcan contaminación ni alteración significativa, en cuanto a magnitud o duración del valor paisajístico o turístico de una zona
- Que su otorgamiento sea posible teniendo en cuenta las instalaciones anexas ya autorizadas

701.08.4.(b) Servicios facultados para solicitar autorizaciones

Existen disposiciones que facultan a ciertos servicios para utilizar bienes nacionales de uso público, como es el caso de las fajas de terreno de los caminos públicos, con sus instalaciones.

Sin embargo, este derecho debe ejercerse sin afectar el uso o finalidad principal de los caminos y cumpliendo las normas técnicas y reglamentarias correspondientes y en la forma y condiciones que el Ente Rector autorice.

En cada caso, las compañías interesadas en usar la franja de dominio de los caminos públicos deberán presentar ante el Ente Rector la respectiva solicitud de autorización, quien fijará la forma y condiciones de la misma.

701.08.4.(c) Presentación de solicitudes de paralelismos

Las solicitudes de autorización de paralelismos deberán cumplir con todos los requisitos establecidos en las disposiciones vigentes al efecto, documentos que podrán ser solicitados al Ente Rector.

Las solicitudes deberán ser presentadas por las personas naturales o jurídicas, Propietarias del paralelismo o por los concesionarios de tales instalaciones, y no por Contratistas de construcción, proyectistas, consumidores o beneficiarios de la misma.

701.08.5 ATRAVIESOS EN CAMINOS PÚBLICOS

Se entiende por "atravieso" toda instalación u obra constituida por conductos varios o líneas aéreas cuya conformación, disposición o emplazamiento requiera cruzar transversalmente los terrenos de la franja de dominio de un camino público definida por sus líneas de cierre o entre las líneas oficiales establecidas por los planos reguladores en el caso de las calles o avenidas declaradas caminos públicos.

A modo ilustrativo y sin que la enumeración sea limitativa, se mencionan a continuación varios ejemplos considerando los tipos de gases, líquidos y sólidos que por ellos se transportan.

Conductos de:

- Agua Potable
- Aguas Servidas y/o Colectores de Aguas Lluvias
- Desechos Industriales
- Petróleo y Derivados
- Gases y Vapores
- Minerales

- Productos Industriales

En cuanto a líneas aéreas conducidas mediante un conjunto de postes, destinadas al transporte de energía o impulsos eléctricos, cabe mencionar:

- Líneas Eléctricas de Baja, Media o Alta Tensión
- Líneas de Telecomunicaciones
- Líneas Telegráficas

Eventualmente las líneas de energía, telecomunicaciones y similares podrán requerir de atraviesos para cruzar la faja fiscal mediante conductos.

701.08.5.(a) Requisitos exigibles

Son válidas las exigencias enumeradas en el ***numeral 701.08.4***, reemplazando el concepto de "paralelismo" por el de "atravieso".

701.08.5.(b) Servicios facultados para solicitar autorización

Son los mismos que se enumeran en el ***numeral 701.08.4***.

701.08.5.(c) Presentación de solicitudes de atraviesos

Las solicitudes de autorización de atraviesos deberán cumplir con todos los requisitos establecidos en las disposiciones vigentes al efecto, documentos que podrán ser solicitados al Ente Rector.

Las solicitudes deberán ser presentadas por las personas naturales o jurídicas, propietarias del atravieso o por los concesionarios de tales instalaciones y no por Contratistas de construcción, proyectistas, consumidores o beneficiarios de los mismos.

701.09 TRATAMIENTO DE ZONAS MARGINALES

701.09.1 ASPECTOS GENERALES

701.09.1.(a) Objeto

El tratamiento de las zonas marginales de la carretera, que en el caso de los caminos unidireccionales incluye el cantero central, cumple propósitos funcionales y estéticos. Entre los primeros se destacan el control de la erosión, la arena, el control de los deslumbramientos, la amortiguación de los ruidos en zonas urbanas y el realzar los cambios de dirección del camino para orientar al conductor. El segundo propósito ha adquirido cada vez más importancia en las carreteras modernas, porque se ha comprobado que un trazado integrado al paisaje y con un conveniente desarrollo de los valores escénicos al hacer el viaje más placentero, disminuye el cansancio de los conductores, contribuyendo a la seguridad del camino. Por otra parte tiene importancia económica al aumentar el valor de los terrenos circundantes y contribuir el equilibrio ecológico, lo que por lo general, hace rentables las inversiones que se efectúan con dichos fines.

701.09.1.(b) Principios generales

Los objetivos perseguidos en el tratamiento de las zonas marginales se logran a través de un cuidadoso planeamiento que incluye las etapas de trazado, construcción, diseño de estructuras, plantíos y establecimientos de zonas de esparcimiento y descanso. Nos referiremos a cada una en particular.

701.09.2 TRAZADO

701.09.2.(a) Selección del camino

En esta etapa es de gran ayuda la topografía aérea, la cual permite una clara apreciación de rutas alternativas en relación con las formas topográficas y el uso de la tierra. El proyectista trazará su ruta tratando de hacer el menor daño a la propiedad y aprovechará los predios que queden aislados, por carreteras de acceso restringido para crear zonas de descanso o desarrollar valores escénicos. Igualmente aprovechará los terrenos de poco valor agrícola para ensanchar el cantero central y plantar o preservar bosquecillos que intercepten el deslumbramiento causado por el tránsito en la calzada opuesta.

701.09.2.(b) Expropiaciones

En las zonas de riego, al efectuar las expropiaciones se deberá reservar para el Fisco los derechos de agua inherentes para aprovecharlas en los plantíos y cultivos propios del tratamiento de las zonas laterales y del cantero central.

701.09.2.(c) Alineamiento horizontal

La tendencia actual es evitar las rectas largas; pero al mismo tiempo trazar curvas sin un propósito definido no es recomendable. El alineamiento debe estar compuesto de suaves curvas que se adapten al terreno, como las que resultan de aplicar una regla flexible sobre la representación topográfica de la ruta. La curva que se presta mejor para este objeto es la clotoide o espiral de transición. Sin embargo, se usarán alineamientos rectos en las zonas planas en donde no existan justificaciones culturales o naturales que hagan recomendable una desviación del trazado. No obstante ello, al final de dichas rectas la primera curva deberá permitir una Velocidad Específica concordante con la V85% correspondiente.

En caminos de menor importancia se tratará de conseguir una buena adaptación al terreno que perturbe lo menos posible las formas naturales.

El alineamiento curvilíneo provee al usuario con un paisaje cambiante que lo releva de la monotonía y al mismo tiempo le evita, en los paisajes nocturnos, el deslumbramiento provocado por los faros, en forma prolongada.

El proyectista evitará las curvas en el mismo sentido unidas por una recta demasiado corta llamadas también de lomo quebrado, porque presentan un aspecto antiestético y crea problemas de transición del peralte. Por otra parte no deberá vacilar en cambiar la ubicación de su trazado si con ello puede desarrollar una bonita vista o conservar características naturales corno ser una ribera, o un bonito conjunto de árboles.

701.09.2.(d) Alineamiento vertical

Esta etapa del diseño no tiene importancia como el trazado en horizontal para los efectos estéticos de la carretera. La relación entre las pendientes y las curvas verticales están controladas, fundamentalmente, por las distancias de visibilidad mínimas requeridas por la velocidad de diseño. Sin embargo, es beneficioso para la apariencia del camino, adoptar radios de curvas verticales mayores que los estrictamente necesarios, especialmente en las curvas cóncavas, el largo de las cuales debe sobrepasar el determinado por el alcance de los faros en la noche. En todo caso la coordinación de la planta y el alineamiento vertical, deberá lograrse respetando las directrices especificadas en el presente documento, respecto a esta temática.

Las pendientes deben disminuirse en las intersecciones o en cualquier lugar donde se quiera inducir al conductor a levantar la vista del pavimento para mirar alrededor, como en el caso de una vista interesante, por ejemplo.

El proyectista recurrirá al arquitecto paisajista para los efectos de considerar la comodidad óptica de su proyecto que tiene relación con la Perspectiva Lineal del camino, el Campo de Visión Descansada y otros conceptos que se están desarrollando actualmente para hacer de las carreteras un elemento agradable, además de útil. En el caso que no se cuente con el concurso del especialista mencionado, podemos decir como norma general que una relación armónica entre los alineamientos verticales y horizontales, convenientemente integrados a la topografía dará como resultado, en la generalidad de las situaciones, un aspecto estéticamente aceptable.

701.09.2.(e) La sección transversal

701.09.2.(e1). Banquinas

En los caminos en que las banquinas tengan tránsito ocasional o en los que las usen como cunetas, se recomienda pavimentarlas con un recubrimiento contrastante en color y textura. En las regiones húmedas, las banquinas cubiertas con césped sobre el estabilizado de grava que se especifica con fines estructurales, dan excelente resultado, tanto desde el punto de vista de las cargas ocasionales que debe resistir como desde el ángulo estético y de seguridad, por el buen contraste que ofrece con el pavimento.

701.09.2.(e2). Drenaje superficial

El diseño para el drenaje superficial ha cambiado fundamentalmente en los últimos años. En vez de las cunetas de pie de taludes laterales en V o trapezoidales, tan peligrosas para los vehículos que se salen de la calzada y difíciles de mantener, se diseñar, anchos canales de poco fondo. Este tipo de cuenta de pie de talud lateral aparece a la vista del usuario como una depresión natural, la cual se recubre con césped. La manutención con segadoras mecánicas se hace fácil en atención a las suaves pendientes de los bordes del canal que se diseñan con taludes de 4:1 o menores.

Con el objeto de interceptar las aguas que bajan de las zonas adyacentes se construyen canales interceptores o contracunetas, como se les denomina, sobre los cortes. Los colectores para evacuar las aguas acumuladas por las cunetas de banquina cerro abajo, se pueden construir como canales revestidos con césped en los taludes menores de 4:1 y revestidos con albañilería de piedras en los mayores. A estas últimas se le puede dar una apariencia de torrente natural en las zonas de belleza rústica sin un mayor costo adicional. Cuando la inclinación y altura del corte obliguen al empleo de tuberías, éstas deben ir empotradas en el talud y ocultas a la vista, por razones de seguridad en el diseño que en este caso coinciden con los requerimientos de la estética.

701.09.2.(e3). Perfilado de los taludes

Del diseño de la sección transversal, es el perfilado de los taludes la parte que tiene más significación en el control de la erosión y en el aspecto de la carretera.

El ancho de las calzadas, banquinas y cunetas de pie de taludes laterales está determinado por normas, pero el talud de cortes y terraplenes debe ser estudiado para satisfacer las condiciones del lugar. Teniendo el espacio necesario, el diseñador preferirá los taludes tendidos sobre lo requerido por el ángulo de reposo de las tierras. Un talud suave reduce la probabilidad de erosión, permite el fácil asentamiento de vegetación, favorece el mantenimiento mecanizado del césped y en general produce una apariencia más natural y por lo tanto más agradable del camino.

Este mayor tendido de los taludes, puede ser obtenido económicamente a través de una buena disposición de costos con las barreras camineras, que se pueden suprimir cuando se tienen taludes de terraplén inferiores a 4:1 y la altura no supera los 4,0 m.

Los taludes tanto de cortes como de terraplenes se alabearán de acuerdo a lo establecido en el ***numeral 701.05 REPOSICIONES DE SERVICIO*** y los bordes se redondearán para impartir de este modo una apariencia más natural al movimiento de tierras y al mismo tiempo reducir las posibilidades de erosión.

701.09.3 CONSTRUCCIÓN

701.09.3.(a) Especificaciones

La apariencia final de las zonas laterales del camino dependerá principalmente de la forma en que sean tratadas durante la construcción las características naturales o culturales, existentes en el sitio, que sean dignas de ser preservadas. Para asegurar que este tratamiento no dependa del eventual interés que pueda tener la inspección o el constructor en la materia, el proyectista deberá apreciar en el terreno los trabajos a ejecutar y el modo en que se deben realizar para un debido tratamiento de las zonas marginales desde los puntos de vista funcional y estético, y consignarlos detalladamente en las especificaciones del proyecto.

701.09.3.(b) Yacimientos y depósitos

Las excavaciones necesarias para rellenos de tierra y los depósitos de los excedentes afectan el paisaje del camino por muchos años y muchas veces se convierten en fuente de accidentes para hombres y animales. En general, no se permitirán bancos de préstamo o depósitos a la vista desde el camino salvo que cumplan con los requerimientos que siguen:

- Que se establezca una cortina de árboles que impida la vista desde el camino
- Que se conformen las excavaciones de bancos de préstamos cuando no existen facilidades de drenaje, para asemejar laguna natural o los montículos de depósitos, lomas de suaves pendientes convenientemente plantadas
- Cualquiera que sea la ubicación del banco de préstamo se debe especificar taludes naturales de los bordes y hacer la excavación abierta y con la pendiente suficiente para que tenga un drenaje natural
- En cualquiera de las situaciones el requerimiento básico es que las lomas topográficas resultantes tengan una apariencia natural
- En el caso que el banco de préstamo consista solamente en un escarpe para obtener tierra vegetal la depresión resultante deberá ser cultivada y sembrada nuevamente

701.09.3.(c) Desbroce

Esta es la primera fase de la construcción del camino y es aquí donde el constructor deberá contar con claras especificaciones que le indiquen entre otras, que el proyectista estime conveniente, las siguientes instrucciones:

- El desbroce de la vegetación natural deberá ser el mínimo que baste para asegurar las condiciones de visibilidad y el gálibo del camino
- Se indicará claramente las singularidades del terreno que deben salvarse, como afloramientos de rocas, líneas de playas, árboles, etc. y la forma en que se deberán proteger, incluso el mantenimiento, reparación y riego de los árboles
- En el desbroce se incluirá el raleo selectivo de zonas marginales boscosas. Este es un método de estética forestal que al eliminar la maleza, árboles de mala apariencia y renovales que existen haciéndose mutua competencia, obtiene un notable mejoramiento del aspecto del bosque, superando fácilmente en belleza cualquier plantío artificial y con un menor costo y plazo que estos últimos
- En esta etapa se deberán salvar los materiales provenientes del escarpe de la tierra vegetal, para ser depositada posteriormente en los taludes del camino y en los plantíos del cantero central Esta operación se considerará convenientemente en el Gráfico de compensación de tierras. También es recomendable salvar los árboles pequeños y arbustos que puedan ser trasplantados

701.09.4 ESTRUCTURAS

701.09.4.(a) Puentes

Desde el punto de vista de la estética el interés está centrado en la línea, forma, proporción y textura de los materiales usados en los puentes. La decisión al respecto debe corresponder al arquitecto paisajista. Como norma general podemos establecer que la práctica moderna ha abandonado la ornamentación extraña y la simulación de estructuras o texturas que no corresponden a la del diseño, o del material realmente empleado. En las estructuras de enlace y cruce de los caminos de acceso restringidos, que son las que más se aprecian desde la carretera, se están adoptando formas simples, constituidas por tableros abiertos apoyados en vigas y columnas, con poco énfasis en los estribos bajo la idea general que obstruyan lo menos posible.

701.09.4.(b) Muros de alcantarillas

Los muros de alcantarillas deberán tratarse desde el punto de vista estético solamente si quedan al alcance de la vista de los usuarios.

701.09.5 PLANTACIONES

701.09.5.(a) Diseño de plantaciones para caminos

El diseño de plantaciones se divide en dos gruesas categorías: la paisajista y la funcional. La primera con fines primordialmente estéticos; la segunda para contribuir a la mejor operación seguridad y mantenimiento del camino.

701.09.5.(b) Paisajismo

701.09.5.(b1). Aspectos generales

Consiste esta técnica en diseñar el camino como una parte integral del paisaje y desarrollar los márgenes para el mejor aprovechamiento y gozo del usuario.

Este objetivo se logra a través de tres características principales formas topográficas armoniosas césped continuo y bien mantenido, y árboles y arbustos atractivos.

701.09.5.(b2). Áreas urbanas

El paisajismo se aplica casi exclusivamente en áreas urbanas con el objeto de preservar y mejorar el valor de la propiedad afectada por el proyecto, siendo secundario el papel funcional. Desde el punto de vista estético los árboles del mejoramiento se unen a los que generalmente existen en las zonas urbanas para disminuir la prominencia de los edificios en el panorama.

701.09.5.(b3). Enlaces a intersecciones

El efecto de los árboles y arbustos es más destacado en los enlaces e intersecciones que en ninguna otra parte del camino. Ellos contribuyen a subordinar los macizos elementos de las estructuras y a convertir las extensas áreas requeridas por el diseño de los enlaces en parque que beneficien la comunidad. Igualmente los taludes de las rampas deberán ser cubiertos con césped o con enredaderas aunque para ello sea necesario proveerlos de sistemas de regadío.

701.09.5.(c) Plantaciones funcionales

701.09.5.(c1). Control de la erosión

Las plantaciones han probado ser muy eficientes en esta función. Para taludes con fuerte inclinación se recomiendan las enredaderas y para pendientes menores al césped. En zonas rurales es preferible escoger las variedades de plantas arbustos o árboles propios del lugar.

701.09.5.(c2). Control de la arena

Es conocido el fenómeno del depósito de arena sobre los caminos cuando el viento que los arrastra disminuye de velocidad después de pasar sobre un obstáculo. En atención a lo complejo del problema cada caso deberá ser estudiado en particular. En este capítulo nos referiremos únicamente a los métodos que tienen que ver con plantaciones.

Las barreras de árboles y arbustos tienen aplicación para el control de la arena. Estas se pueden colocar a sotavento o a barlovento dependiendo de la conformación del terreno y de la distancia de la calzada al obstáculo. Como instrucción general podemos decir que hay que acelerar el viento sobre la calzada para impedir el depósito de los elementos de suspensión, lo que se logra haciendo más aerodinámica las formas de movimiento de tierras, además de la formación de barreras en la ubicación conveniente. Esto significa disminuir los taludes de terraplenes y cortes a sotavento y colocar las barreras al otro lado del camino, o si se pone al mismo lado de donde soplan los vientos prevalecientes, recordar que los depósitos se forman después de la barrera por lo que ésta deberá estar alejada de la calzada quince a veinte veces su alto para que las acumulaciones de arena no la invadan.

701.09.5.(c3). Plantaciones para guiar el tránsito

Se utilizarán hileras de árboles en el lado exterior de las curvas pronunciadas para advertir al conductor el cambio de dirección. Se usarán también en las curvas verticales para advertir a través de la disminución de altura de los árboles al costado del camino que se aproxima una bajada y apreciar su probable pendiente. Esta técnica tiene menos significación en los caminos de alta velocidad, donde se requiere curvas de gran radio y alta visibilidad y donde los árboles tienen que estar alejados a una distancia segura de la calzada. En estos casos las plantaciones se usarán para enfatizar los lugares de conflicto, colocándolos en el ángulo de vías divergentes, o para contrastar los obstáculos y barreras camineras.

701.09.5.(c4). Plantaciones como barreras.

Tienen como objeto ocultar panoramas desagradables, amortiguar ruidos y evitar el eslumbramiento de los faros en los caminos con cantero central estrecho. Las dos primeras técnicas son recomendables, especialmente en las ciudades. La tercera tiene sus inconvenientes, porque para este objeto hay que usar arbustos que son difíciles de mantener y que se llenan de papeles y otras basuras.

Por otra parte una faja continua de arbustos conspira en contra de la estética paisajista.

701.09.5.(d) Criterios generales para plantaciones

A partir de los principios generales que hemos señalado, se establecen las normas que siguen para las plantaciones que se efectúen en los proyectos de carreteras, las cuales cumplen con las funciones descritas en el ***numeral 701.09.5***.

701.09.5.(d1). Plantaciones de árboles en hileras exteriores a la calzada

i. Disposición respecto al eje longitudinal

La distancia entre árboles se establecerá en la ***Tabla 37***.

TABLA 37: DISTANCIA ENTRE ÁRBOLES EN HILERAS DISPUESTAS EN LOS COSTADOS DECARRETERAS Y CAMINOS

Arboles de troncos de díametro mayores de 0,5 m	20,00 m
Arboles de troncos de diámetro menores de 0,5 m	16,00 m

La longitud mínima de la hilera será de 500 m salvo las interrupciones a que obliguen los párrafos siguientes:

- Las hileras deberán interrumpirse a la Distancia de Frenado de las intersecciones de caminos
- Para permitir la vista de un determinado paisaje, deberán interrumpirse por una distancia mínima equivalente a 30 seg de viaje a la velocidad de diseño
- No se plantarán árboles cuando las carreteras atraviesen plantaciones de frutales o bosques

ii. Disposición respecto a la sección transversal

Las hileras se colocarán a distancias que cumplan con los criterios de "Zona Despejada". En todo caso, en caminos con Velocidad de Proyecto inferior a 60 Km por hora y un T.P.D.A. inferior a 200 veh/día los árboles no podrán estar a menos de 3 m del borde de la plataforma. En los caminos con velocidad e intensidad de tránsito mayores, esta distancia aumentará como mínimo a 5 m del borde de la plataforma.

701.09.5.(d2). Plantaciones de árboles en grupo

Tienen por objeto quebrar la monotonía de las hileras, y aprovechar fajas de antiguos trazados o expropiaciones de parcelas que queden aisladas por el camino para crear zonas de esparcimiento o con fines estéticos. La distancia mínima al camino es la fijada en el inciso a). El tipo de árboles y su distanciamiento entre sí depende de la finalidad del proyecto (estacionamiento, mirador, acondicionamiento de un monumento, etc.).

701.09.5.(d3). Plantaciones de arbustos y matas paralelas al eje del camino

i. Disposición en sentido longitudinal

Las plantas pueden disponerse en forma continua formando un seto.

Si se colocan aisladas hay que evitar el colocarlas en forma alineada a distancias fijas, porque se produce un silbido molesto con el desplazamiento del aire por los vehículos. En general no se recomiendan los setos continuos en el cantero central, por la basura que acumulan y porque pueden ocasionar accidentes al emerger súbitamente, un animal suelto o un peatón.

ii. Disposición respecto a la sección transversal

Las plantaciones dejarán completamente libre las banquinas y se tomarán las precauciones necesarias para que las raíces no afecten los drenes de las subbase y la evacuación de las aguas superficiales.

iii. Plantas en el cantero central

En el cantero central se plantarán solamente arbustos o hierbas, en ningún caso árboles cuyos troncos sobrepasen un diámetro de 0,1 m en su madurez, salvo en los ensanchamientos del cantero central en zonas rurales con fines estéticos en cuyo caso la distancia de los árboles de mayor diámetro deberán cumplir las disposiciones del ***numeral 701.09.5.(d1)***.

La altura de las plantaciones dependerá del ancho del cantero central. Sin embargo, cuando el problema de deslumbramiento sea el objeto principal su altura deberá ser como mínimo de 1,5 m decreciendo su altura paulatinamente hasta excluir la arborización en una distancia equivalente a 1,5 Dp en los extremos del cantero central que anteceden las aberturas para cruces y giros a la izquierda. Desde el punto de vista estético y psicológico se recomienda que las plantaciones no oculten completamente la calzada opuesta ni creen la sensación de pared. En todo caso se deberá verificar el despeje lateral requerido para evitar obstrucciones a la visibilidad en curvas al momento de especificar la posición de los arbustos, los que por este concepto en general no son recomendables en Canteros centrales de menos de 9,0 m de ancho.

701.09.5.(d4). Normas generales para plantíos

i. Seguridad de tránsito

En ningún caso se debe subordinar la seguridad del tránsito (distancias de visibilidad, eventuales choques con objetos fijos, etc.) a consideraciones de orden estético o funcional.

ii. Conservación del gálibo

La posición y alcance de las ramas de los árboles permitirán en todo caso la permanencia del gálibo de diseño del camino.

iii. Señales de tránsito

Las plantaciones no deben ocultar la señalización de tránsito.

iv. Soleamiento

En zonas húmedas se evitará colocar las plantaciones de modo que formen superficies sombreadas permanentemente que impidan el rápido secado del pavimento.

v. Conservación mecanizada

Para poder mantener en forma económica las superficies cubiertas con pasto, es necesario hacer las siembras y plantíos de modo que permitan el acceso de equipo mecanizado.

701.10 EL EFECTO DEL TERRENO EN LA LOCALIZACIÓN DE LA VÍA

701.10.1 ASPECTOS GENERALES

Un factor que influye significativamente a la selección del trazado de una vía es el terreno. Que a su vez afecta al trazado de la rasante. El factor primordial que el diseñador considera para el trazado de la rasante, es el volumen de movimiento de tierras que será necesario para la rasante seleccionada. Un método para reducir el volumen de movimiento de tierras, es trazar la rasante tan cerca como sea posible al nivel natural del terreno. Esto no siempre es posible, especialmente para terreno ondulado o montañoso. También puede obtener un costo general menor si la rasante se traza de modo que haya un balance entre el volumen excavado y el volumen de terraplén.

Otro factor que debe considerarse al trazar la rasante, es la existencia de puntos fijos como los cruces de ferrocarril, las intersecciones con otra vías, y en algunos casos los puentes existentes que requieren que el trazo de la rasante se cruce con estos, además de los factores que son considerados referente al trazado de la vía. El volumen de movimiento de tierras asociado con cualquier rasante, influye en la decisión de aceptar o rechazar la rasante.

A continuación se describe como se traza una rasante en la vía, que maximice el uso del suelo natural, minimizando a su vez el volumen de corte o de terraplén en exceso. Si hay un exceso de material de corte entonces debe retirarse y almacenarse en otro lugar. Si hay un exceso de terraplén entonces el material debe comprarse y enviarse al sitio. De esta manera se presenta una situación ideal cuando hay un equilibrio entre el volumen de corte y el volumen de terraplén.

701.10.2 CÁLCULO DE LOS VOLÚMENES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

Uno de los principales objetivos al seleccionar un lugar específico para una vialidad, es minimizar el volumen de tierra que se requiere para el proyecto. Por tanto, se estima el volumen de movimiento de tierra que interviene en cada lugar alternativo, tanto en la etapa preliminar como en el final.

Para determinar el volumen de movimiento de tierra que interviene para una rasante dada se toman perfiles transversales a intervalos regulares a lo largo de rasante. En general las secciones transversales están separadas cada 10 metros, aunque a veces se aumenta esta distancia para la ingeniería preliminar. Estas secciones transversales se obtienen al graficar el nivel del terreno y la rasante propuesta para la vía, a lo largo de una línea perpendicular a la rasante para indicar las áreas de excavación y las áreas de terraplén.

En el ***Gráfico 32 (TIPOS DE SECCIONES TRANSVERSALES) (Ver Anexo II)*** se muestran tres tipos de sección transversal. Cuando el cálculo se hace manualmente, las secciones transversales se grafican en papel estándar para secciones transversales, generalmente a una escala de 1:200 en direcciones horizontal y vertical respectivamente. Entonces se determinan las áreas de corte y de terraplén para cada sección transversal con el uso de un planímetro a medida o mediante otro método adecuado.

En los libros de topografía se documentan los diferentes métodos para el cálculo de las áreas. Entonces se calcula el volumen de movimiento de la tierra a partir de las áreas de las secciones transversales y de las distancias entre estas secciones.

Un método común para determinar el volumen es el del promedio de las áreas extremas. Este procedimiento se basa en la suposición de que el volumen entre dos secciones transversales consecutivas es el promedio de sus áreas multiplicado por la distancia entre aquéllas tal como se da en la siguiente ecuación:

$$V = \frac{L}{2}(A_1 + A_2)$$

Donde:
V = Volumen (m^3)
A1 y A2 = Áreas extremas (m^2)
L = Distancia entre las secciones transversales (m)

Se ha encontrado que el método del promedio de las áreas extremas, es lo suficientemente exacto para la mayor parte de los cálculos de movimiento de tierras, ya que las secciones transversales se toman con una separación de 10 a 20 metros, y las irregularidades menores tienden a cancelarse entre sí. Cuando se requiere mayor exactitud, como en situaciones en las cuales la rasante pasa de una sección de corte a una de terraplén, el volumen puede considerarse como una pirámide o como otra forma geométrica.

Es una práctica común en la actividad de movimiento de tierras, mover el material adecuado de las secciones de corte a las secciones de terraplén, para reducir a un mínimo el volumen de material de bancos de préstamos. Cuando el material excavado de las secciones de corte se compacta en las secciones de terraplén, ocupa un volumen menor que el que ocupaba originalmente. Este fenómeno se conoce como consolidación o compactación y debe contemplarse cuando el material excavado va a volver a usarse como material de relleno. La compactación depende del tipo de material.

Se han observado consolidaciones de hasta 50 por ciento para algunos suelos. Sin embargo, los factores de consolidación o compactación que se emplean generalmente varían entre 1,10 y 1,25 para terraplenes altos, y entre 1,20 y 1,25 para terraplenes bajos. Estos factores se aplican al volumen de relleno con objeto de determinar la cantidad requerida de material de relleno.

701.10.3 DIAGRAMAS

El diagrama de la curva masa es una serie de líneas unidas que describen la acumulación neta de corte o de relleno, entre dos perfiles transversales cualesquiera. La ordenada del diagrama de la curva masa es la acumulación neta en m^3 desde un punto inicial arbitrario. Entonces, la diferencia de ordenadas entre dos perfiles transversales cualesquiera, representa la acumulación neta de corte o de relleno entre estos perfiles transversales. Si se considera que el primer perfil transversal del camino es el punto inicial, entonces la acumulación neta en este perfil transversal es cero.

701.10.3.(a) Interpretación del diagrama de la curva de masa

A partir del ***Gráfico 33 (DIAGRAMA DE CURVA DE MASA) (Ver Anexo II)*** se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Cuando el diagrama de la curva de la masa presenta una pendiente descendente (negativa) la sección anterior es un terraplén y cuando la pendiente en ascendente (positiva) la sección anterior es un corte

- La diferencia de ordenadas en el diagrama de la curva de masa entre dos perfiles transversales cualquiera, represente la acumulación neta entre los dos perfiles transversales (corte o relleno)
- Una línea horizontal en el diagrama de la masa define la ubicación para cuales, la acumulación neta es cero entre estos dos puntos. A éstos se les conoce corno "puntos de balance", porque existe un balance de los volúmenes de corte y de relleno entre estos puntos. En el ***Gráfico 33 (DIAGRAMA DE CURVA DE MASA) (Ver Anexo II)*** el eje "x" representa un equilibrio entre los puntos A' y D' y un equilibrio entre los puntos D' y E'. Más allá del punto E' el diagrama de curva de masa indica una condición de relleno, para la cual no hay un corte que lo compense
- Puede dibujarse otras líneas horizontales que unan partes del diagrama de curva de masa. Por ejemplo, las líneas J-K y S-T, que tienen cada una cinco perfiles transversales de longitud y describen un equilibrio de corte y de relleno entre los perfiles transversales en los puntos J-K y S-T

SECCIÓN 801 - CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE INTERSECCIONES

801.01 ASPECTOS GENERALES

801.01.1 DEFINICIONES Y REFERENCIAS BÁSICAS

El término intersección se usa aquí para denominar, en forma general, a los dispositivos viales en los que dos o más carreteras se encuentran en un mismo nivel, produciéndose cruces y cambios de trayectorias de los vehículos que por ellas circulan.

Cuando se alude a cada una de las partes de las vías convergentes, en el entorno de sus cruces, se habla de "rama de la intersección". Se considera que una rama es tal a partir del punto en que el perfil tipo de la carretera acusa la primera variación, en planta o elevación, destinada a permitir o favorecer alguna de dichas maniobras de cruce o de cambio de dirección.

Si un conflicto de cruce se resuelve mediante desnivelación de vías, el dispositivo es llamado "enlace", que será visto en el ***numeral 801.05***. El ***Gráfico 34 (PRINCIPALES SUPERFICIES QUE CONFIGURAN UNA INTERSECCIÓN) (Anexo III)*** muestra las principales superficies que configuran una intersección.

Calzada: Es la superficie pavimentada utilizada normalmente por los vehículos para efectuar todos los movimientos permitidos en el área de la intersección.

Excluye por lo tanto las banquinas y las superficies de carpeta demarcadas ***(Gráfico 35 (CALZADA, BANQUINAS Y SUPERFICIES DE CAPA DEMARCADA) (Anexo III)).*** Esta definición se aplica al caso de las intersecciones y no impide el uso del mismo término para aludir a partes de esta superficie única (calzada norte, calzada de ramal).

Banquinas: Superficies tratadas, adyacentes a la calzada, libres de obstáculos, que pueden ser invadidas por los vehículos en maniobras ocasionales. En las intersecciones se distingue banquinas externas, que dan continuidad a las de las ramas, y las internas, que suelen bordear las islas. Estas últimas requieren demarcación, y todas aportan a la seguridad y evitan la reducción de capacidad asociada a la presencia de obstáculos laterales en las vías.

Islas: Son las superficies que quedan inmersas en la calzada, resultantes de la especialización y delimitación de partes de esta última para atender los distintos movimientos que se producen en una intersección.

Los límites de una isla se materializan con demarcación intensiva y con cordones montables que definen una zona elevada dentro de su superficie total. Las islas dan refugio ocasional a peatones y a vehículos que ejecutan maniobras de espera y giro, y favorecen la lectura de la vialidad a todos los vehículos. Debe tratarse como un dispositivo de seguridad. En zona de intersecciones, los bandejones y canteros centrales operan y son consideradas, para efectos de diseño, como islas.

Otras superficies que completan la faja pública: su diseño no es específico de la intersección ***(Ver Gráfico 34 (PRINCIPALES SUPERFICIES QUE CONFIGURAN UNA INTERSECCIÓN) (Anexo III) y Gráfico 35 (CALZADA, BANQUINAS Y SUPERFICIES DE CAPA DEMARCADA) (Anexo III)***.

Sobreanchos de Plataforma (SAP): Recrecimiento de terraplenes y bases, que forma bandas exteriores a las banquinas.

Talud de terraplén: Explanadas inclinadas entre los límites de la plataforma (borde exterior del SAP) y el terreno, natural o sin su capa vegetal.

Taludes de plataforma en corte: Explanadas inclinadas entre los límites de la plataforma y el borde de la cuneta existente al pie del corte.

Talud de corte: Explanadas inclinadas entre los bordes superiores de las excavaciones y el borde de la cuneta existente al pie del corte. Puede incluir "bancos en corte".

Cunetas y cuneta de pie de talud, cuneta de coronación: Planos compuestos para funciones de desagüe superficial, situados al pie de los cortes y terraplenes, y en la coronación del corte, respectivamente.

Huelgas: Las franjas de ancho variable que separan cuneta de pie de talud y cuneta de coronación de pies de terraplenes o cabeceras de corte, respectivamente, y las que completan la franja pública hasta su límite oficial.

Otras: En zonas donde la actividad peatonal sea significativa, puede existir veredas, reemplazando o no a las banquinas. La presencia de peatones genera modificaciones en las superficies de calzadas, islas y veredas, como ensanches para detenciones en paradas de ómnibus rebajes de cordones asociados con rampas de cortesía, y rebajes a través de islas elevadas para cruces peatonales al mismo nivel de la calzada.

Unidades principales reconocibles en las calzadas de las intersecciones.

Calzadas de paso: Las superficies que dan continuidad, a través del área de la intersección, a los carriles tipo de las vías confluentes, y que excluyen a aquellas otras que se generan en la intersección y a las que en ella se discontinúan. Conviene distinguir la calzada de paso principal de las calzadas de paso secundarias. ***(Gráfico 37 (PRINCIPALES ELEMENTOS EN LAS CALZADAS DE INTERSECCIONES) (Anexo III)).***

Ensanches para giros: ampliación común a dos calzadas de paso, provista para facilitar virajes desde una hacia otra. Son superficies de forma aproximadamente triangular, con dos lados coincidentes con los bordes exteriores de dichas calzadas de paso y un lado curvo que se diseña atendiendo a la trayectoria de los vehículos que giran ***(Gráfico 37 (PRINCIPALES ELEMENTOS EN LAS CALZADAS DE INTERSECCIONES) (Anexo III)).***

Ramales: ampliaciones de la calzada de paso que en las intersecciones son diseñadas para acoger y facilitar las maniobras de cambio de dirección ***(Gráfico 37 (PRINCIPALES ELEMENTOS EN LAS CALZADAS DE INTERSECCIONES) (Anexo III) y Gráfico 38 (PRINCIPALES ELEMENTOS EN LAS CALZADAS DE INTERSECCIONES) (Anexo III)).***

Carriles de giro centrales: carriles alojados en islas centrales, que son generadas para tal efecto en las intersecciones o bien canteros centrales que en éstas cumplen la función de islas ***(Gráfico 36)***.

Banquinas exteriores: las que dan continuidad funcional, a través del área de la intersección, a las banquinas de las vías confluentes ***(Gráfico 35 (CALZADA, BANQUINAS Y SUPERFICIES DE CAPA DEMARCADA) (Anexo II)).***

Banquinas interiores: los tramos discontinuos de banquinas que, inmersos en la calzada, son proyección exacta o adaptada de las banquinas exteriores, o aparecen como banquina izquierda de los ramales de la intersección.

801.01.2 CAMPOS DE INFLUENCIA Y APLICACIÓN

Hay que tener en cuenta que una intersección forma parte de un sistema vial, por lo que su diseño depende de las características de dicho sistema, a la vez que afecta el funcionamiento del mismo. Las Intersecciones también pueden condicionar la clasificación de las vías comprometidas, que pueden ser:

- Autopistas, Multicarriles
- Carreteras Bidireccionales
- Caminos Colectores
- Caminos Locales
- Caminos de Desarrollo

En las tres primeras interesa la continuidad de tránsito en forma primordial. Para lograr este objetivo se debe recurrir al control de accesos, en forma total en el caso de autopistas y con restricciones en el caso de las Multicarriles y los caminos primarios.

De aquí se desprende que en las Autopistas no deberán proyectarse intersecciones sino enlaces, y que aquellas deberán ser planificadas cuidadosamente en las vías con control parcial de accesos.

En las otras clases interesa como consideración primaria el acceso y servicio de la tierra adyacente, postergando a un segundo término la continuidad del flujo.

De aquí se puede deducir que se debe determinar claramente el interés que se desea servir principalmente y con esa base definir los elementos constitutivos, entre ellos las Intersecciones.

Las normas de diseño contenidas en este capítulo se aplicarán fundamentalmente a los dispositivos que correspondan a la definición enunciada en el ***numeral 801.01.1***. Sin embargo, las intersecciones a distinto nivel, que aquí serán denominadas Enlaces, suelen presentar elementos a los que se pueden aplicar los criterios y normas del presente Capítulo.

801.02 FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UNA INTERSECCIÓN

801.02.1 ASPECTOS GENERALES

El objetivo principal del diseño de intersecciones es reducir la probabilidad y severidad de los conflictos que naturalmente pueden producirse entre peatones, biciclos, automóviles, camiones, ómnibus y los elementos verticales presentes en el dispositivo. Además, debe aportar a la conveniencia, facilidad y confort de sus usuarios; para lo cual el diseño debe ajustarse lo mejor posible a las trayectorias y características operacionales de los mismos.

La primera etapa del proyecto de una intersección consiste en la producción, análisis, interpretación y por último consideración o uso de una serie de datos, circunstancias y criterios que constituyen un cuerpo de factores concurrentes a la elección de un tipo de intersección específico entre los muchos posibles, y a su diseño.

Estos factores se agrupan en cuatro categorías básicas, que darán origen a los Tópicos que continúan la presente Sección. Estos Tópicos, ordenados más o menos según lo que podrían ser etapas sucesivas dentro del proyecto general, son:

- Factores Humanos
- Consideraciones de Tránsito
- elementos Físicos
- Factores Económicos

Se insiste en el hecho que esta división constituye una hipótesis útil para ordenar y enfrentar el trabajo, pero se recuerda que en la práctica estos factores se superponen unos con otros según una dinámica que el buen proyectista hace jugar constantemente a lo largo del proyecto.

Por último se advierte que la intención de la presente Sección es dar una visión someramente descriptiva de estos factores. Los estudios que son necesarios para precisarlos y cuantificarlos deben ser desarrollados de acuerdo a las disciplinas y normas específicas existentes para cada caso.

801.02.2 FACTORES HUMANOS

Los principales factores humanos que intervienen y que hay que tener en cuenta en el diseño de intersecciones tienen que ver con las capacidades y los usos y hábitos de los conductores y transeúntes. Entre las primeras destacan la habilidad y rapidez para tomar decisiones y la velocidad de reacción una vez tomada una decisión.

Entre los segundos, resultan relevantes los usos peatonal y ciclístico que se le dé a la plataforma pública y las conductas habituales que se presentan en estos usos y en la elección de trayectorias. Por último, debe mencionarse un aspecto de otra índole, como son las expectativas de los conductores en relación al diseño de una intersección.

801.02.3 CONSIDERACIONES DE TRÁNSITO

801.02.3.(a) Aspectos generales

Los volúmenes de tránsito que acceden por separado a una intersección y que ejecutan las maniobras allí posibles, su distribución y la proyección que de estos movimientos debe hacerse para determinar las capacidades de diseño de sus unidades constitutivas; la composición de los flujos por tipo de vehículo, sus velocidades de operación y las peculiaridades de sus interacciones mientras utilizan el dispositivo; sus relaciones con peatones y ciclistas, y la experiencia que se tenga con respecto a los accidentes de tránsito, son los principales factores que condicionan la elección de la solución tipo y las características de los elementos geométricos con los que se definirá a la intersección.

La intersección de dos carreteras supone la utilización de una misma superficie por dos tránsitos distintos, lo que equivale a una discontinuidad en la circulación y, por consiguiente, constituye un punto crítico en la seguridad y capacidad de ambas carreteras.

Al proyectar una carretera con un determinado número de intersecciones, al igual que al reacondicionar las existentes en una vía de operación, deben tenerse en cuenta sus capacidades, ya que un subdimensionamiento de estas intersecciones puede invalidar la solución elegida o perjudicar el nivel de servicio de todo un tramo.

801.02.3.(b) Elección del vehículo tipo

En el capítulo de Información general se encuentran descritas las características de los vehículos tipo que consulta este manual. Para el tratamiento de las intersecciones los vehículos allí descritos se agrupan en cuatro categorías, que son las siguientes:

L = Vehículo Liviano: automóvil y camioneta
C = Camión: camión simple de 11,0 m y ómnibus interurbano de 12,1 m; 13,2 m y 14,0 m
VA1 =Vehículo articulado corriente: tracto camión con semirremolque corriente
VA2 = Vehículo articulado especial: Tractocamión con semirremolque para automóviles

801.02.3.(b1). Vehículo liviano (L)

Cubre los diseños mínimos para automóviles y camionetas. Está representado por el Tipo P de AASHTO. Su utilización como vehículo tipo para el diseño debe reservarse sólo para aquellos casos en que el porcentaje de camiones que circulan sea muy bajo, que el espacio esté limitado o que la intersección sea de muy poca importancia. Los casos más frecuentes son:

- Vías Urbanas (bajo porcentaje de camiones y espacio limitado)
- Cruce de Carreteras Locales con Colectoras en que los movimientos de giro sean muy raros
- Cruces de Carreteras Locales con muy poco tránsito

Un vehículo Tipo C, al hacer un giro mínimo diseñado para el vehículo L, podrá hacerlo invadiendo en parte los carriles adyacentes de entrada y/o salida. Si es posible, será preferible diseñar con el vehículo tipo C.

801.02.3.(b2). Camiones y ómnibus (C)

Cubre los diseños mínimos para Camiones (Unidad Simple) y Ómnibus Interurbanos. Está representado por el Ómnibus AASHTO (L = 12,1 m). En el ***Numeral 801.04.3.(b) "Trazados Mínimos Absolutos de Bordes en Giros sin Canalización"***, se amplían los radios mínimos para dar cabida al Ómnibus Interurbano de 13,2 y 14,0 m (según ómnibus de fabricación actual). Su utilización como vehículo de diseño es, en la generalidad de los casos, el mínimo recomendable para los cruces de caminos rurales.

Debe tenerse presente que en éstos el tránsito de vehículos tipo C es, por lo general, del orden o superior al 25 % del tránsito total.

En áreas urbanas debe consultarse este vehículo tipo siempre que exista locomoción colectiva que utilice o que se prevea pueda llegar a circular por la intersección. Siempre que el porcentaje de C sea elevado, debe intentarse la superación de los límites que permite el vehículo tipo C.

Los ómnibus interurbanos pueden inscribirse en un diseño tipo C sin problemas, y la generalidad de los VA lo pueden hacer con menos problemas que los que enfrenta un vehículo tipo C ante un diseño tipo L.

801.02.3.(b3). Vehículo articulado VA1

Cubre los diseños mínimos para el Tracto Camión con Semirremolque Corriente. Está representado por valores intermedios de los vehículos AASHTO WB-15 (L = 16,7 m) y WB-19 (L = 21,0 m), que dan cabida al semirremolque corriente de 18,6 m, el más comúnmente usado. El vehículo VA1 debe ser elegido como vehículo tipo en aquellos cruces donde circulen o se prevea la presencia de tractocamiones con semirremolque corriente, que utilicen habitualmente y en número significativo los ramales de giro.

801.02.3.(b4). Vehículo articulado VA2

Cubre los diseños mínimos del Tracto Camión con Semirremolque para Transporte de Automóviles (L = 22,4 m), el más común en el mercado. Está representado por el semirremolque WB-20 de AASHTO el vehículo VA2 sólo regirá el diseño en forma excepcional, cuando se prevea presencia significativa de grandes remolques de más de veinte metros de longitud.

801.02.3.(c) Demanda y modelación

La demanda es la variable de tránsito más gravitante en el diseño de una intersección, puesto que la capacidad resultante de dicho diseño deberá satisfacerla; lo que implica el dimensionamiento en términos geométricos y estructurales de sus unidades constitutivas, la operación de semáforos si tal elemento de control existe y su coordinación si la intersección forma parte de un eje o una red así regulada.

Por otra parte, la satisfacción de la demanda está relacionada con las características que ésta presenta en el lugar y sus proyecciones, lo que relativiza y complica el problema. En efecto, como los conceptos de demanda y de nivel de servicio están ligados, es preciso establecer un nivel de servicio tolerable en el año de diseño para poder cifrar la oferta de vialidad que el diseño debe alcanzar, y esta oferta debe tener en cuenta la composición de los flujos vehiculares futuros y la forma y cuantía en que se espera la presencia de biciclos y peatones.

Actualmente existen herramientas computacionales que permiten modelar física y operacionalmente dispositivos viales. Los modelos operacionales, convenientemente calibrados para simular el funcionamiento presente, pueden también simular la operación de dichos dispositivos en las condiciones de demanda futuras. Esto permite predecir el consumo de tiempo y combustible en tales condiciones y por lo tanto comparar económicamente distintos proyectos con una situación base, y por lo tanto evaluar, en términos sociales, la rentabilidad de la inversión asociada a dichos proyectos.

Los mismos modelos son útiles para predecir los grados de saturación que las intersecciones, aisladas o en coordinación con otras, presentarán bajo las condiciones futuras de la demanda, razón por la cual resulta conveniente su utilización como herramientas de diseño.

En todo caso, como se desprende de lo dicho, el estudio de la capacidad de una intersección debe hacerse determinando el tipo de señalización que regulará el cruce. Una vez establecido este punto se puede abordar el problema del estudio de la capacidad de cada uno de los ramales de la intersección.

801.02.3.(d) Elección del tipo de control

801.02.3.(d1). Aspectos generales

La instalación de señales o semáforos en las intersecciones tiene por objeto evitar los conflictos entre el tránsito de vehículos o entre éste y la circulación de peatones. Para que estos dispositivos ejerzan la función para la que fueron proyectados, es necesario que se coloquen en aquellos lugares que reclamen su instalación y que en cada caso sea posible proceder a la elección del dispositivo más adecuado.

801.02.3.(d2). Criterios de selección

La elección del dispositivo de control más adecuado en una intersección debe hacerse analizando detenidamente las características del tránsito, los movimientos de peatones y las estadísticas de accidentes.

801.02.3.(d3). Análisis del tránsito

El análisis del tránsito que circula por la intersección requiere el estudio de los siguientes factores:

- Tránsito en la vía principal
- Tránsito en la vía secundaria incidente
- Tiempos de llegada y salida de los vehículos en ambas vías (intervalo crítico). Porcentaje de vehículos retrasados en la vía secundaria por efectos del tránsito

Los datos relativos a las intensidades de tránsito deberán ser tomados durante períodos de 12 horas que sean representativos de la situación normal en ambos accesos para un día tipo.

801.02.3.(d4). Modelación de intersecciones

La elección de un tipo de control para una intersección, asunto que involucra a su geometría, será en definitiva la aplicación de la experiencia, asistida ésta por análisis computacionales que permitan cuantificar los beneficios de los diseños en discusión. Los beneficios que se puede calcular usando los modelos más conocidos provienen de comparar, para las alternativas planteadas, los tiempos de viaje.

Existen experiencias que introduce el modelo SIDRA como adecuado para calcular los distintos tiempos de demora generados por una intersección semaforizada y métodos para calcular capacidades en intersecciones de prioridad y para determinar demoras por interferencia vehicular en intersecciones de prioridad y en rotondas.

No obstante esto último, en el ***numeral 801.04.7.(f) "Capacidad en Rotondas"*** se resume los criterios que se están aplicando a partir de las últimas investigaciones al respecto, relacionados con el modelo ARCADY.

801.02.3.(e) Intersecciones sin semáforos

801.02.3.(e1). Aspectos generales

La operación de una intersección sin semáforo supone que una de las vías que se cruzan tiene siempre prioridad sobre las demás y por consiguiente la capacidad de esta carretera principal debe calcularse como si no existiera intersección: es decir, como el caso de tránsito en condiciones ininterrumpidas. Únicamente se debe considerar el factor de giros a la izquierda para determinar si es o no necesario establecer un carril especial para este movimiento.

El criterio a seguir es que cuando el número de vehículos que giran a la izquierda en la hora punta es superior a 25 vehículos/hora, es necesario disponer de un carril adicional o, al menos, una zona de refugio y espera para este giro, con el fin de no interferir en el resto del tránsito.

801.02.3.(e2). Tramos de trenzado o entrecruzamiento

Un tramo de trenzado se define como aquella zona que se entrecruzan distintas corrientes de tránsito que siguen un mismo sentido de circulación. En el ***Gráfico 39*** se muestra los principales tipos de trenzados. Las situaciones de este tipo se diseñan apuntando a que su nivel de servicio sea consistente con el de la carretera que lo contiene. El nivel de servicio en el tramo de trenzado depende de su longitud, número de carriles, grado aceptable de congestión y de la demanda por cada movimiento, en cuantía y distribución en los momentos analizados.

Los tramos de trenzado deben tener una longitud y un número de carriles basados en un nivel de servicio apropiado, de acuerdo a lo establecido en la ***Tabla 38***.

TABLA 38: GUÍA PARA SELECCIONAR NIVELES DE SERVICIO PARA DISEÑO

TIPO DE CARRETERA	TIPO DE EMPLAZAMIENTO Y NIVEL DE SERVICIO APROPIADO			
	RURAL TERRENO PLANO	RURAL TERRENO ONDULADO	RURAL TERRENO MONTAÑOSO	URBANO Y SUBURBANO
EXPRESA	B	B	C	C
PRIMARIA	B	B	C	C
C - D	C	C	D	D
LOCAL	D	D	D	D

Fuente:"Highway Capacity Manual", Special Report Nº 209" (Transportation Research Board, Washington D.C., 1985, revisado 1994)

Los tramos de trenzado pueden ser simples o múltiples. En el ***Gráfico 40 (TIPOS DE TRENZADO) – Figura I (Anexo III)***, se muestra un ejemplo de tramo simple, en la que un empalme de entrada es seguido por un empalme de salida único. Un tramo múltiple consiste en dos o más tramos de trenzado simple que se superponen; también puede ser definido como aquel tramo de una calzada que tiene dos empalmes de entrada consecutivos seguidos cercanamente por uno o más empalmes de salida, o un empalme de salida seguido cercanamente por dos o más terminales de salida.

Este último caso se muestra en la ***Figura II del Gráfico 40 (TIPOS DE TRENZADO) (Anexo III).*** Los fundamentos y detalles relativos al análisis requerido para diseñar tramos de trenzado deben ser consultados en el manual "Highway Capacity Manual", Special Report Nº 209" (Transportation Research Board, Washington D.C., 1985, revisado 1994).

801.02.4 ELEMENTOS FÍSICOS

801.02.4.(a) Topografía, entorno y paisaje

El paisaje en general, con su topografía y elementos naturales y artificiales, y el carácter y uso del suelo colindante constituyen antecedentes físicos que pueden facilitar o dificultar el emplazamiento, la visibilidad, la canalización de los flujos vehiculares en forma económica, el drenaje, la compatibilidad estética y funcional de la obra con el entorno existente.

Para evitar problemas técnicos o de otro tipo, y las dificultades económicas consecuentes, es necesario contar con planos completos de planta y perfil de la faja de los caminos que se interceptan. Es conveniente, además, tener un levantamiento completo de las zonas adyacentes en el mayor radio que afecte la visibilidad del cruce y una descripción de los usos del suelo y las actividades presentes en ellos.

En general son preferibles las topografías llanas, que permitan rasantes suaves, sin obstáculos que dificulten la visibilidad mínima que necesitan los usuarios de la intersección para maniobrar, de acuerdo con las circunstancias del tránsito, en las vías que confluyen hacia ella.

Son deseables los relieves que faciliten un adecuado drenaje, debiendo evitarse sectores deprimidos que hagan necesarios desagües artificiales.

Si una o más de las vías que se interceptan está(n) delimitada(s) por elementos naturales o artificiales (árboles, vallas, arbustos, etc.), éstos deben ser modificados, dejados intactos o eliminados para que no entorpezcan la visión y/o sirvan, según sea el caso, como elementos anunciadores de un punto singular para los usuarios de los otros itinerarios. Si la intersección puede ser divisada con antelación por los conductores, el proyectista deberá aprovechar esta circunstancia favorable.

En algunos casos, cuando se prevean puntas de tráfico en épocas determinadas del año y a las horas de salida y/o puesta del sol, es conveniente analizar la posición relativa del astro, en las horas y períodos pertinentes, con respecto a la orientación de la o las vías principales y/o a las direcciones en que miran los usuarios de la intersección al llegar al cruce.

801.02.4.(b) Las vías a interceptar

Las vías a interceptar también constituyen antecedentes físicos: sus características materiales, sus disposiciones geométricas, las posibilidades de alterar su trazado y otras peculiaridades para adecuarlas a los propósitos del proyecto, son factores que pesan en la elección de la solución definitiva.

Es evidente que alterar la geometría de una o de todas las vías involucradas en una intersección supone un costo cada vez mayor, pero que las características del tránsito, sus proyecciones y la decisión de dar tal o cual servicio pueden justificar económicamente.

Las modificaciones pueden ser parciales o totales. Ejemplo de modificaciones parciales son la creación de canteros centrales en las vías confluentes, el ensanche de las mismas si ya existían, el aumento del número de carriles en alguna de dichas vías, la modificación de la rasante por efecto de algún mejoramiento del pavimento, etc. Ejemplo de modificaciones totales son la derivación de alguna de las vías para interceptarla en mejores condiciones, o la modificación total de las plantas de las carreteras o caminos para producir condiciones de cruce óptimas.

Asociadas a estas intervenciones debe considerarse la existencia de otros elementos físicos propios de las vías y sus intersecciones, tales como carriles de cambio de velocidad, dispositivos de seguridad y control, iluminación, ciclovías, etc.

801.02.5 ANTECEDENTES ECONÓMICOS

Los factores económicos que condicionen mayormente una solución son el costo de la construcción y los beneficios que ésta reporta. En aquellos proyectos que a juicio del Ente Rector lo requieran, se debe justificar la rentabilidad estimada del proyecto a diseñar mediante un estudio técnico-económico en que se analicen las que a juicio de los especialistas involucrados parezcan ser las mejores alternativas de solución.

Entre los costos se debe considerar los efectos negativos secundarios del diseño propuesto, por ejemplo los beneficios negativos que sobre los usuarios o los habitantes de la zona del cruce representa la eliminación de ciertos movimientos. También se debe incorporar al análisis de rentabilidad que asiste las decisiones de construir, aunque sea sólo como externalidades, los aspectos de índole ambiental que se encuentren involucrados en la zona afectada.

801.03 ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN TIPO

801.03.1 ASPECTOS GENERALES

En el primero de los dos Tópicos que constituyen la presente sección se presenta una clasificación de Intersecciones según la forma y operación de las mismas en términos muy generales. En el segundo se describe varios tipos de Intersecciones, los cuales abordan según diversos esquemas de funcionamiento el problema fundamental que ellas deben resolver.

801.03.2 DENOMINACIÓN Y CLASIFICACION DE INTERSECCIONES

Los tipos básicos de intersección se definen por el número de ramas confluentes y por su forma de operar con respecto a los conflictos de trayectorias.

Con respecto a lo primero, se llamará intersecciones francas, o simplemente intersecciones, a aquellas en las cuales al menos uno de los movimientos vehiculares se cruza con otro en un área reducida y predeterminada del dispositivo; a diferencia de lo que ocurre en las rotondas, donde los movimientos vehiculares que tienen distintos orígenes y destinos interactúan trenzando sus trayectorias a lo largo de un tramo anular del dispositivo. Unas y otras pueden ser de tres, cuatro o más ramas.

Cada uno de los tipos de intersecciones que resulta de combinar estos rasgos presenta, además, variaciones que dependen principalmente del tratamiento geométrico que reciban las vías en el área de confluencia. En efecto, la forma de resolver los conflictos de cruce, el ángulo en que se cortan las vías, esviaje, y la existencia o no de ensanches y canalizaciones determinan los tipos de intersecciones presentados en el ***Gráfico 41 (TIPOS BÁSICOS DE INTERSECCIONES) (Anexo III).***

Que una intersección sea semaforizada no siempre es relevante para su diseño geométrico.

Tal regulación hace aparecer en estos dispositivos velocidades de operación localmente nulas, pero ello no altera la necesidad de determinar velocidades de proyecto mayores que cero para todos los movimientos que se producen en las mismas, y estas velocidades determinan a su vez parámetros de diseño que son comunes a todas las intersecciones.

Las variaciones que el uso de semáforos puede inducir en las dimensiones de algunas unidades constitutivas de las intersecciones no alteran, por lo general, lo esencial de los diseños. Es el caso de la longitud de almacenamiento para los carriles de viraje, que en ciertos casos podría aumentar o disminuir, y también el de la generación de carriles adicionales en las líneas de parada, asociadas preferentemente a movimientos de viraje, las cuales podrían justificarse también sin la existencia de dicha forma de control.

Las intersecciones de tres ramas son, por lo general, la conexión terminal de una carretera (secundaria) con otra (primaria) que recibe o provee los flujos de la primera. Tal relación se manifiesta y es refrendada por la continuidad direccional de la carretera primaria y por sus flujos mayoritarios.

En la medida que estos rasgos sean claros se dice que la intersección es un empalme tipo "T". Si el ángulo de incidencia de la carretera secundaria sobre la primaria se hace 65g, si esta última presenta un cambio de dirección precisamente en el punto donde la secundaria empalma, o si ambas cosas se producen a la vez, suele decirse que la intersección es un empalme en "Y". Si a estas últimas características geométricas se agrega similitud de demanda en todos los pares orígenes-destino posibles en la intersección, es posible que se deba diseñar una rotonda.

En las intersecciones de cuatro ramas también se puede distinguir, por lo general, una vía primaria, con demanda y trazado predominante, y otra secundaria, cuya geometría aparece subordinada a la anterior y cuyos flujos, comparativamente menores, presentan una mayor componente de virajes hacia y desde la principal. Asimismo, si los flujos son parecidos en ambas vías, y además se tiene virajes a la izquierda relativamente equilibrados, se debe tener presente que las rotondas suelen ser una mejor solución que las intersecciones francas en términos de capacidad.

Si ambas carreteras se encuentran con un esviaje 35g se suele hablar de una "cruz" (+). En caso contrario se dice que la intersección es una "X".

Las intersecciones de más de cuatro ramas son indeseables, de la misma manera que lo son los empalmes y los cruces fuertemente enviados. Esta inconveniencia crece rápidamente con la importancia de la intersección. En las ***Figuras I y II del Gráfico 42 (MODIFICACIONES DE TRAZADO POR NÚMERO DE RAMAS Y ESVIAJE) (Anexo III)*** se muestran formas de mejorar tales situaciones.

Las rotondas son materia descrita en el ***numeral 801.04.7***. En el numeral ***801.04.7.(f)*** se entrega los fundamentos para el cálculo de la capacidad en estos dispositivos.

801.03.3 TIPOS Y EJEMPLOS DE INTERSECCIONES FRANCAS

801.03.3.(a) Intersección no canalizada, simple

El tratamiento mínimo que se puede dar a la intersección de carreteras de dos o más carriles es la de pavimentación completa de toda la superficie de cruzamiento. Se entiende por esto la pavimentación de los accesos a la intersección y de los redondeos de las esquinas mediante arcos de radios mínimos que facilitan los giros del vehículo tipo elegido para el diseño.

La pendiente de la superficie de cruzamiento debe ser razonablemente uniforme. No se debe introducir cambios de pendiente en la zona de cruzamiento, porque éstos dificultan las maniobras del conductor en momentos críticos. Por lo tanto, se aconseja coordinar las pendientes transversales y los bombeos de la carretera primaria, o de ambas, con las pendientes longitudinales de la secundaria. Los requisitos que plantea el drenaje superficial condicionan fuertemente el diseño en elevación de estas intersecciones.

Los anchos normales del pavimento de los caminos se mantienen, y se agrega sólo lo necesario para las zonas de giro. El tipo de intersección no canalizada simple se recomienda para caminos locales de poca importancia; se puede aceptar también para caminos de dos carriles con bajo tránsito en zonas rurales. En zonas urbanas y suburbanas se puede aceptar estos diseños incluso si los volúmenes de tránsito que las demandan son algo mayores.

Las ***Figuras A y B del Gráfico 43 (EMPALMES E INTERSECCIONES SIMPLES) (Anexo III)***, ilustran un empalme y un cruzamiento sencillos.

Este tipo de diseño requiere mantener ángulos de cruzamiento entre 60g a 120 g. En las ***Figuras III, IV, V y VI del Gráfico 42 (MODIFICACIONES DE TRAZADO POR NÚMERO DE RAMAS Y ESVIAJE) (Anexo III)*** se muestra criterios para obtener cruces perpendiculares en intersecciones muy esviadas.

801.03.3.(b) Ensanches en la sección de los accesos al cruce

Cuando las velocidades de proyecto de los caminos en cuestión sean elevadas, o cuando el número de movimientos de giro sea suficiente para crear problemas al tránsito directo y a la vez no exista espacio o presupuesto suficiente para recurrir a una canalización de la intersección, se puede recurrir al ensanche de los caminos en la zona de cruzamiento. Este recurso de diseño aumenta la capacidad de cruce y separa los puntos de conflicto. También permite crear zonas de protección para los vehículos de maniobras más lentas, con lo que facilita los flujos de tránsito directo, dependiendo de la cuantía de los flujos que demandan el cruce puede variarse la disposición del ensanche, obteniéndose con ello el efecto deseado.

El Gráfico 44 ilustra las distintas posiciones en que se puede agregar un carril a la carretera principal, según la necesidad impuesta por los flujos con volúmenes mayoritarios. Las demandas que justifican estas inversiones no pueden ser establecidas con precisión sino a partir de la modelación de cada caso, puesto que los beneficios obtenidos dependen de la cuantía y distribución de las combinaciones de flujos conflictivos.

Se analizarán los siguientes casos:

El volumen de giros a la derecha desde la carretera principal a la que empalma y viceversa, son considerables y los movimientos de giro a la izquierda no son conflictivos ***(inciso A del Gráfico 44 (ENSANCHES PARA EMPALMES "I" O "Y" E INTERSECCIONES EN CRUZ) (Anexo III))***: Se dispone un carril de deceleración en su sector de llegada al empalme, con longitud calculada según las ***Tabla 53 y Tabla 54.***

- Los movimientos de giro a la izquierda desde el camino principal representan un volumen importante y los giros a la derecha desde este mismo son despreciables (***inciso B de el Gráfico 44 (ENSANCHES PARA EMPALMES "I" O "Y" E INTERSECCIONES EN CRUZ) (Anexo III))***. Se dispone un carril auxiliar en el camino principal, opuesta al camino interceptado. Este carril permite, a los vehículos que continúan directo por el camino principal, proseguir sin interferencias con los vehículos que esperan para girar a la izquierda en el camino que empalma.

- Los movimientos de giro a la izquierda desde el camino principal representan un volumen importante y el volumen de giros del camino interceptado hacia la izquierda también es considerable (***inciso C del Gráfico 44 (ENSANCHES PARA EMPALMES "I" O "Y" E INTERSECCIONES EN CRUZ) (Anexo III)***). Similar al anterior pero con el carril auxiliar de ensanche al centro, mediante una separación de los carriles directos.

Tiene el mismo efecto que el anterior pero más marcado; además facilita el giro a la izquierda desde el camino interceptado, no así el giro hacia la derecha desde éste.

Cuando el volumen de movimientos de giro lo justifica, se debe ensanchar los accesos a la intersección como lo indica en forma general el ***inciso D del Gráfico 44 (ENSANCHES PARA EMPALMES "I" O "Y" E INTERSECCIONES EN CRUZ) (Anexo III)***. Esto da a la intersección una capacidad adicional tanto para los movimientos de giro como para el tránsito directo.

Un carril auxiliar adicional en la zona de intersección a cada lado de la calzada normal permite a los vehículos de tránsito directo adelantar a los vehículos que se preparan para maniobras de giro.

El ensanche se puede lograr mediante carriles auxiliares, como se muestra en el ***inciso D del Gráfico 44 (ENSANCHES PARA EMPALMES "I" O "Y" E INTERSECCIONES EN CRUZ) (Anexo III).*** Sus longitudes serán las correspondientes a las de los ***Gráficos 59 (PISTAS DE DECELERACIÓN CASO I: DIRECTA) (Anexo III)*** y ***60 (PISTAS DE DECELERACIÓN CASO II: EN PARALELO) (Anexo III),*** pero nunca inferiores a 100 metros como mínimo.

Se puede aumentar la seguridad en la zona de cruzamiento de una intersección ensanchada, no canalizada, mediante el uso de pintura de pavimento o lomadas. El ***Gráfico 63 (PISTA DE DECELERACIÓN CENTRAL) (Anexo III)*** muestra una intersección ensanchada en la que se separan los carriles en distinto sentido mediante demarcación en el pavimento, la que tiene un efecto similar al que tendrán las islas que se describirán más adelante. En el ejemplo recién citado, el ensanche se ha delineado en tal forma como para permitir la separación de los flujos. Además ha provisto una zona protegida para los virajes a la izquierda en el acceso mismo al cruce.

La demarcación en el pavimento debe desarrollarse gradualmente con su vértice en el comienzo del ensanche, y con un ancho en su punto máximo de 4 metros, por lo menos. El ensanche debe permitir carriles con un ancho libre al menos un metro superior a los carriles de la carretera en sección normal de aproximación.

La demarcación en el pavimento no es tan efectiva como las islas delineadoras elevadas con soleras montables, pero las primeras no representan el riesgo de impacto que las segundas siempre conllevan.

Se recomiendan para Intersecciones de carreteras de 2 carriles, con alta Velocidad de Proyecto, en zonas rurales donde las Intersecciones no son frecuentes y los cruces a la izquierda son especialmente peligrosos.

801.03.3.(c) Intersecciones canalizadas

801.03.3.(c1). Aspectos generales

Los empalmes y las intersecciones que tienen una gran superficie pavimentada, como son aquéllas que tienen radios de giros amplios, un esviaje fuerte o ambos, permiten movimientos peligrosos e inducen a confusión a los conductores. En estas Intersecciones se hace difícil el control de las maniobras de cruzamiento o intercambio, y los peatones tienen que cruzar largas zonas sin protección. Por último, estas soluciones no son económicas ya que exigen pavimentar grandes superficies que no se utilizan.

Todos estos conflictos se pueden reducir en intensidad y en extensión utilizando diseños que incluyan islas que restrinja la circulación de los vehículos a las trayectorias más apropiadas dentro de la zona de cruzamiento. Se dirá que un empalme o una intersección están canalizados, cuando las corrientes de tránsito que en ellas circulen estén independizadas en trayectorias convenientes, definidas mediante el empleo de islas.

801.03.3.(c2). Canalización de empalmes, islas divisorias y vías de giro

Las islas se usan, generalmente, en empalmes importantes; también en empalmes menores cuando el esviaje es pronunciado. En los puntos en que se justifican radios mayores a los mínimos, se puede considerar que los ramales se transforman en vías independientes de giro a la derecha.

Se diseña un carril de giro cuando el volumen de virajes en un cuadrante es considerable o cuando el ángulo de giro es muy agudo debido al esviaje del cruce. En el ***inciso A del Gráfico 45*** se muestra un carril de giro a la derecha desde la carretera primaria o de paso, obtenido mediante el diseño de una isla triangular.

El ***inciso B del Gráfico 45 (EMPALMES CANALIZADOS VALIDOS PARA TIPOS "X" O "Y") (Anexo III)*** muestra un empalme en que las velocidades y el volumen de virajes justifican carriles independientes de giro a la derecha, hacia y desde el camino secundario, con radios mayores que los mínimos. Esta forma de diseño no mejora los giros a la izquierda, e incluso debe diseñarse de manera que las islas no permitan a los vehículos del camino principal entrar por el carril de giro que no corresponde. En caminos de dos carriles en que se justifican los carriles independientes de giro, también suele justificarse un ensanche en el camino directo como se describió en el párrafo anterior (***inciso C del Gráfico 45 (EMPALMES CANALIZADOS VALIDOS PARA TIPOS "X" O "Y") (Anexo III)***

Otra forma de lograr la canalización en el camino interceptado es mediante una isla divisoria como la indicada en el ***inciso C del Gráfico 45 (EMPALMES CANALIZADOS VALIDOS PARA TIPOS "X" O "Y") (Anexo III).*** El espacio necesario para la ubicación de esta isla se obtiene ensanchando gradualmente el camino y usando radios de giro mayores que los mínimos en el viraje a la derecha. El término de la isla se diseña a 2 ó 3 metros del borde del pavimento del camino directo, para dar cabida a los movimientos de giro a la izquierda. El diseño de las islas divisorias se analiza en el ***numeral 801.04.4***.

En carreteras de dos carriles con volúmenes de tránsito alto, se aconseja diseñar carriles separados para cada uno de las corrientes importantes. En el ***inciso D del Gráfico 45 (EMPALMES CANALIZADOS VALIDOS PARA TIPOS "X" O "Y") (Anexo III)***, esto se ha conseguido mediante el empleo de dos islas (canalizadoras) y una isla divisoria en el camino directo. Un diseño como éste se calcula para volúmenes grandes de tránsito, con volúmenes horarios de punta sobrepasando los 500 vehículos. La posición y formas de la isla pueden variar en cada diseño de acuerdo a las conveniencias en cada caso.

Cuando los caminos se encuentran en ángulos agudos formando un empalme neto en "Y", el riesgo de encuentros de frente se disminuye canalizando los movimientos como se muestra en ***inciso A del Gráfico 46 (EMPALMES CANALIZADOS EN "Y") (Anexo III)***. La vía e-f ahí señalada queda subordinada a las direcciones más importantes. Los ángulos de encuentro para el tránsito en esta vía quedan aproximadamente rectos.

Este diseño exige una separación explícita de las corrientes en e-f como se ve en dicho ***Gráfico 46 (EMPALMES CANALIZADOS EN "Y") (Anexo III) inciso A***. La isla debe hacerse lo mayor posible, entre 35 y 50 m^2.

Este tipo de solución supone la aparición de dos intersecciones adicionales, por lo que su implantación debe ser cuidadosamente comparada con alternativas desniveladas. Cuando el empalme de un camino de una calzada con otro de calzadas separadas presenta esviaje, éste puede tomar la forma que se indica en el ***Gráfico 46 (EMPALMES CANALIZADOS EN "Y") (Anexo III)*** **inciso B.** Si el giro hacia la derecha desde el camino interceptado fuera considerable y fuera conveniente realizarlo a velocidades más altas que las mínimas, se puede mejorar el enlace haciendo una salida de un carril directo, como la que se indica punteada en el Gráfico.

A continuación se analizarán diseños canalizados de elevado costo, que se justifican en carreteras con volúmenes altos en todos los sentidos. Los mostrados en el ***Gráfico 47 (EMPALMES CANALIZADOS DE ALTO COSTO) (Anexo III)*** **incisos A y B se** recomiendan para cruces del tipo "T" y el del inciso C para empalmes de tipo "Y" en ángulos bastante agudos, en los que además se den condiciones muy especiales para el giro a la izquierda, como se comentará más adelante.

El primero de los nombrados (inciso A) se recomienda como empalme de dos caminos de dos carriles en los cuales los volúmenes se aproximan a su capacidad, la calzada del camino directo se ensancha hasta conformar una sección de 4 carriles separados por islas divisorias, de modo que cada corriente de tránsito cuente con un carril por separado. En el camino interceptado, mediante islas, se separa también cada corriente en vías independientes.

En el inciso B se muestra un empalme semejante, pero diseñado cuando el camino directo tiene calzadas unidireccionales, separadas por un cantero central entre 5 y 10 metros de ancho. Mediante reducciones del cantero central en la zona de intersección se proveen carriles auxiliares para los vehículos que giran a la izquierda, que los protegen del tránsito directo. Estas vías de giro se calculan según lo expresado en el ***Gráfico 48 (INTERSECCIONES CANALIZADAS) (Anexo III)***. La canalización en el camino interceptado es similar a la anterior, con el agregado de un carril auxiliar de deceleración y un incremento de los radios mínimos de las curvas, todo lo cual facilita el movimiento del tránsito.

Como último caso se presenta un esquema de empalme entre caminos de varios carriles que es especialmente apropiado cuando el camino interceptado presenta volúmenes de punta muy pronunciados y de corta duración.

Por ejemplo, entradas a una fábrica, estadio u otros lugares de recreación. La corriente que gira a la izquierda desde el camino directo al camino interceptado (***e-f en el inciso C del Gráfico 47 (EMPALMES CANALIZADOS DE ALTO COSTO) (Anexo III)***, sale primeramente a la derecha para luego cruzar la carretera. La particularidad de esta intersección es que puede dar un buen servicio para volúmenes pequeños, pero que a su vez es muy efectiva para volúmenes altos regulados adecuadamente por medio de semáforos. Determinar la cuantía de los giros que justifican uno u otro modo de regulación es materia de un análisis económico.

Para aumentar la capacidad del empalme se aumenta el ancho del ramal de salida a dos o más carriles frente al cruce de la carretera, a la vez que se dan las distancias necesarias para que los vehículos detenidos no entorpezcan otras corrientes. Las islas en el camino interceptado separan todas las corrientes en carriles separados que se deben diseñar de acuerdo a los volúmenes actuantes. Dependiendo de los anchos de pavimento y mediante un adecuado control de tiempos de semáforos, este empalme puede atender volúmenes de servicio del orden de 500 a 1.000 Veh/h.

801.03.3.(c3). Canalización de intersecciones

Los principios generales de diseño, el uso de pavimento auxiliar, así como la disposición de islas y el análisis hecho para empalmes, es válido para intersecciones.

En las intersecciones en que se tiene volúmenes de tránsito de alguna importancia y disponibilidad de espacio, se puede considerar el diseño de carriles independientes para los giros a la derecha ***(del Gráfico 48 (INTERSECCIONES CANALIZADAS) (Anexo III) inciso A).***

Estos carriles auxiliares permiten circunscribirse mejor a los vehículos largos en las curvas de radios mínimos o pequeños. Cuando el ángulo de giro en la intersección es muy superior a 90º, la canalización permite reducir considerablemente la zona pavimentada. Cuando el espacio lo permite y los movimientos de giro son importantes se puede diseñar carriles de giro en los cuatro cuadrantes. Sólo si los volúmenes son bajos y los movimientos de giro no son muy importantes, se recomienda este diseño con secciones de dos carriles. Si los volúmenes lo requieren debe recurrirse a ensanchar la zona de cruzamiento, incluso se debe introducir, en caminos de calzada simple, un cantero central en la zona de la intersección para separar los flujos de tránsito de paso, como lo indica el ***Gráfico 48 (INTERSECCIONES CANALIZADAS) (Anexo III) inciso D***.

En este diseño, el vértice del cantero central queda ubicado en el punto donde comienza el ensanche de dos a cuatro carriles. El diseño del camino interceptado es independiente de este cantero central, y puede tomar diferentes formas. En el que se presenta en el Gráfico se ha dado mayor importancia al giro a la derecha desde c. ***Gráfico 49 (INTERSECCIONES CON IMPORTANTES GIROS A LA IZQUIERDA EN UN CUADRANTE) (Anexo III)*** se pueden ver diseños en que se individualizan en forma cada vez más notoria las corrientes del flujo principal. En el inciso A, el giro a la izquierda desde a - a - d se hace desde un carril conseguido en el cantero central. En el inciso B se ha materializado el refugio con una isla separadora en la zona del cantero central que se ha angostado en el acceso al cruce.

El inciso C, presenta una solución para una intersección con fuerte tráfico de paso en ambas carreteras y alto volumen de giros a la izquierda en un cuadrante. Se crean dos nuevas intersecciones, las cuales deben distar de la inicial un mínimo de 100 metros.

801.03.3.(d) Intersecciones en estrella

Las Intersecciones en estrella se deben evitar siempre que sea posible. Cuando no se pueda, se debe recurrir a cambios de alineación en los accesos al cruce para sacar los movimientos conflictivos de la intersección principal. Se crean así Intersecciones subordinadas, las que tienen menos movimientos permitidos.

Se debe cuidar principalmente que las distancias entre el cruce principal y las Intersecciones subsidiarias sean suficientemente amplias como para no constituir problemas de visibilidad. Estos casos deben diseñarse para ser operados a velocidades bajas, no superiores a 50 (Km/h). El ***Gráfico 42 Figuras I y II***, muestran en forma esquemática la disposición de islas y canales que facilitan la regulación del cruce. El inciso VI del mismo Gráfico, muestra una intersección de dos caminos importantes en que el esviaje del cruce hace necesaria una rectificación del trazado del camino secundario respecto del otro. Se ha provisto vías de giro especiales para atender el volumen también importante de giros.

801.03.3.(e) Intersecciones rotatorias

Estas Intersecciones serán tratadas en forma especial en el ***numeral 801.04.7***, ya que su funcionamiento difiere fundamentalmente de los otros tipos expuestos en la presente sección.

801.04 DISEÑO GEOMÉTRICO DE UNA INTERSECCIÓN

801.04.1 ASPECTOS BÁSICOS DEL TRAZADO

La mejor solución para una intersección es la más simple y segura que sea posible. Cada punto de conflicto debe ser tratado cuidadosamente, recurriendo a todos los elementos disponibles (ensanches, islas, carriles auxiliares, etc.) para que el dispositivo resultante evite maniobras difíciles o peligrosas, no imponga recorridos superfluos y sea fácilmente señalizable.

Para lograr tal diseño se debe tener presente los siguientes principios:

801.04.1.(a) Preferencia de los movimientos más importantes

Los movimientos más importantes deben tener preferencia sobre los secundarios. Esto obliga a limitar los movimientos secundarios con señales adecuadas, reducción de anchura de vías, introducción de curvas de radio pequeño. Eventualmente, convendrá eliminarlos totalmente.

801.04.1.(b) Reducción de las áreas de conflicto

Las grandes superficies pavimentadas invitan a los vehículos y peatones a movimientos erráticos, que promueven accidentes y disminuyen la capacidad de la intersección. Estas grandes áreas son características de las intersecciones oblicuas y una de las causas que ellas no sean recomendables.

801.04.1.(c) Perpendicularidad de las trayectorias cuando se cortan

Las intersecciones en ángulo recto son las que proporcionan las mínimas áreas de conflicto. Además, disminuyen los posibles choques y facilitan las maniobras, puesto que permiten a los conductores que cruzan juzgar en condiciones más favorables las posiciones relativas de los demás. Se recomiendan intersecciones con ángulos comprendidos entre 65g y 135g.

801.04.1.(d) Separación de los puntos de conflicto

Mediante una canalización adecuada pueden separarse los puntos de conflicto de una intersección, de modo que los conductores no necesitan atender simultáneamente a varios vehículos. En las intersecciones reguladas con semáforos puede convenir, en ciertos casos, concentrar algunos puntos de conflicto, ya que la separación en el tiempo sustituye a la separación en el espacio.

801.04.1.(e) Separación de los movimientos

Cuando la intensidad horaria de proyecto de un determinado movimiento es importante, del orden de 25 o más vehículos, es conveniente dotarle de una vía de sentido único, completándola con carriles de aceleración o deceleración si fuera necesario. Las islas que se dispongan con este objeto permiten la colocación de las

señales adecuadas.

801.04.1.(f) Control de la velocidad

También mediante la canalización puede controlarse la velocidad de los flujos que entran en una intersección, disponiendo curvas de radio adecuado o ensanchando las calzadas. Esta última disposición permite, además de reducir la velocidad, evitar los adelantamientos en las áreas de conflicto.

801.04.1.(g) Control de los puntos de giro

La canalización permite evitar giros en puntos no convenientes empleando islas adecuadas que los hagan materialmente imposibles o muy difíciles.

La seguridad es mayor si se disponen islas con cordones que si la canalización se obtiene mediante marcas pintadas en el pavimento.

801.04.1.(h) Creación de zonas protegidas

Las islas proporcionan a los vehículos espacios protegidos en las calzadas para esperar una oportunidad de paso. Asimismo, son de utilidad cuando un vehículo necesita cruzar varios carriles de circulación, pudiéndolo hacer por etapas sucesivas, sin necesidad de esperar a que simultáneamente se produzca en todas las vías la interrupción de tráfico necesaria.

801.04.1.(i) Visibilidad

La velocidad de los vehículos que acceden a la intersección debe limitarse en función de la visibilidad, incluso llegando a la detención total. Entre el punto en que un conductor pueda ver a otro vehículo con preferencia de paso y el punto de conflicto debe existir, como mínimo, la Distancia de Frenado ***(Tabla 39)***.

801.04.1.(j) Previsión

En general, la canalización exige superficies amplias en las intersecciones. Esta circunstancia debe tenerse en cuenta al autorizar construcciones o instalaciones al margen de la carretera y en los proyectos de nueva construcción.

801.04.1.(k) Sencillez y claridad

Las intersecciones complicadas, que se prestan a que los conductores duden, no son convenientes; la canalización no debe ser excesivamente complicada ni obligar a los vehículos a movimientos molestos o recorridos demasiado largos.

801.04.2 DISTANCIAS DE VISIBILIDAD

801.04.2.(a) Aspectos generales

La Distancia de Visibilidad es uno de los elementos más importantes en la seguridad de un camino y su provisión posibilita una operación eficiente.

En este Capítulo se señalará medidas de diseño necesarias para que una intersección ofrezca, en todos sus puntos, suficiente visibilidad como para permitir a un conductor realizar las maniobras necesarias para cruzar con seguridad y con el mínimo de interferencias. Condición supuesta para ello será que los conductores se aproximen a dicha intersección a una velocidad compatible con la Velocidad de Proyecto del elemento por el cual circulan.

Las distancias mínimas de visibilidad que se consideran seguras en una intersección están relacionadas directamente con la velocidad de los vehículos y las distancias recorridas durante tiempos normales de percepción, reacción y frenado, bajo ciertas hipótesis de condiciones físicas y de comportamiento de los conductores.

801.04.2.(b) Visibilidad y distancia de parada en intersecciones

Aunque la provisión de adecuada visibilidad y de apropiados sistemas de control puede reducir significativamente la probabilidad de accidentes en intersecciones, la ocurrencia de éstos dependerá del juicio, habilidades y respuestas de los conductores por separado.

En todo punto de una carretera el conductor debe tener visión plena, en el sentido de su marcha, en una longitud por lo menos igual a la Distancia de Frenado.

En una intersección, el conductor de cualquier vehículo, en cualquiera de las trayectorias que recorra, debe tener visibilidad sobre la intersección y sus accesos con un tiempo suficiente para detener su vehículo antes del cruce, si tal fuese la maniobra necesaria para evitar un siniestro.

801.04.2.(c) Triángulos de visibilidad

En una intersección la visibilidad necesaria para maniobrar en forma segura no se refiere sólo al camino en que se desplaza el vehículo, sino que se extiende en el sentido lateral, de manera que permita al conductor observar los vehículos que accedan al cruce coincidentemente con él.

Se llama triángulo de visibilidad a la zona libre de obstáculos que permite, a los conductores que acceden simultáneamente, verse unos a otros y observar la intersección a una distancia tal que sea posible evitar conflictos ***(ver Gráfico 50)***.

Cualquier objeto de una altura determinada, que quede dentro del triángulo de visibilidad y que pueda obstruir parte de la visibilidad requerida, debe removerse o reducirse a una altura límite. Esta altura depende de las alturas relativas de las vías y debe ser estudiada en cada caso.

Si el triángulo de visibilidad fuese imposible de obtener, se debe limitar la velocidad de aproximación a valores compatibles con el triángulo de visibilidad existente.

801.04.2.(d) Triángulo mínimo de visibilidad

Consecuentemente con estas definiciones, el triángulo mínimo de visibilidad que se considera seguro corresponde a dicha zona triangular que tiene como lado, sobre cada camino, una longitud igual a la Distancia de Frenado.

Todo conductor puede acelerar, decelerar o detenerse. En cada intersección, y para cada uno de dichos casos, la relación espacio – tiempo – velocidad indica el triángulo de visibilidad que se requiere libre de obstáculos y permite establecer las modificaciones de las velocidades de aproximación cuando no se dispone de una visibilidad adecuada.

Después que un vehículo se ha detenido en una intersección, su conductor debe tener suficiente visibilidad para poder concretar una salida segura a través del área común del cruce. El diseño de la intersección deberá proveer visibilidad adecuada para cualquiera de las varias maniobras posibles en ella, tales como cruzar la vía que se intercepta o ingresar a ella. Estas maniobras deben ser asistidas con visibilidad suficiente, del mismo modo que se las debe garantizar a los vehículos que se aproximan desde la vía principal, por la derecha o por la izquierda.

La distancia "*d*" es la distancia recorrida por un vehículo sobre la calzada de paso principal, transitando a la Velocidad de Proyecto, durante el tiempo requerido para que el vehículo detenido en la vía secundaria arranque y cruce la intersección o gire hacia la rama destino en la carretera principal.

801.04.2.(e) Señalización de intersecciones

Toda intersección debe estar convenientemente regulada mediante señales informativas, preventivas y reglamentarias (imperativas).

Las señales informativas deben estar ubicadas a una distancia suficiente del cruce como para permitir que el conductor decida con anticipación las maniobras que debe ejecutar.

La señalización preventiva debe indicar al conductor el tipo y categoría de los caminos que forman la intersección, especificando cuál tiene preferencia sobre el otro. La señal preventiva deberá preceder a la señal reglamentaria en una distancia equivalente a 1,5 veces la de Visibilidad de Frenado correspondiente.
La señalización reglamentaria en la intersección misma será imperativa y responderá a los siguientes principios, sin perjuicio de lo dispuesto en el Volumen correspondiente de Seguridad Vial.

En toda intersección a nivel, en que al menos uno de los caminos es pavimentado, la importancia de un camino prevalecerá sobre la del otro y, por lo tanto, uno de ellos deberá enfrentar un signo PARE o una señal CEDA EL PASO.

La elección entre uno u otro se hará teniendo presente las siguientes consideraciones:

- Cuando exista un triángulo de visibilidad adecuado a las velocidades de proyecto de ambos caminos y las relaciones entre flujos convergentes no exijan una prioridad absoluta, se usará el signo CEDA EL PASO, que significa, para el conductor que lo enfrenta, que éste deberá reducir la velocidad hasta la detención, si fuera necesario, para ceder el derecho de vía a todo vehículo que circula por la otra vía y cuya proximidad constituye riesgo

- Cuando el triángulo de visibilidad obtenido no cumpla con los mínimos requeridos para la velocidad de aproximación al cruce, o bien la relación de los flujos de tránsito aconseje otorgar prioridad absoluta al mayor de ellos, se utilizará el signo PARE, que significa, para el conductor que lo enfrenta, que éste deberá detener completamente su vehículo y ceder el derecho a paso a los que circulan por la vía de preferencia. Podrá reiniciar la marcha sólo cuando pueda hacerlo en condiciones que eliminen toda posibilidad de accidente.

- Cuando las intensidades de tránsito en ambos caminos sean superiores a las aceptables para regulación por signos fijos (Pare o Ceda el Paso), se deberá recurrir a un estudio técnico- económico que analice las posibilidades de separar niveles. En cruces de carretera se aceptará el uso de semáforos sólo como solución provisoria o inevitable.

801.04.2.(e1) Primer caso: intersección regulada con señal "ceda el paso" que exige distancias de parada antes del cruce

Las distancias de frenado que se consideran seguras en diseño de intersecciones son las mismas usadas en cualquier otro elemento de camino. Dependen de la Velocidad de Proyecto y están dadas en la ***Tabla 39***.
Si alguna de las carreteras presenta pendientes longitudinales mayores de 2%, estas distancias deben corregirse de acuerdo a los criterios especificados en cuanto al tema.

Tabla 39: DISTANCIA DE FRENADO (m) EN CRUCES E INTERSECCIONES

Velocidad de Proyecto (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Distancia de Frenado (m)	25	38	52	70	90	115	145	175	210	250

Cuando el triángulo de visibilidad no cumple las exigencias impuestas por las velocidades de proyecto de los caminos y las características del tránsito no justifican un signo PARE, se debe ajustar la velocidad de los vehículos de la carretera de menor importancia a un valor llamado velocidad crítica. La velocidad crítica para la vía secundaria depende de la Velocidad de Proyecto de la carretera preferencial y de la distancia de visibilidad que el obstáculo permite sobre la carretera secundaria **(*Gráfico 50, caso I*)**.

Se llama velocidad crítica de la carretera B, a la velocidad única tal que la distancia d_b corresponde a la distancia de parada. Obtenido d_b se lee en la ***Tabla 39***, la Velocidad de Proyecto que corresponde a la velocidad crítica.

Se puede calcular la velocidad crítica V_b en función de la Velocidad de Proyecto "V_a" de la carretera A y de las distancias a y b entre el obstáculo y la trayectoria de A y B.

Conocido V_a se conoce la distancia mínima de frenado d_a. Cuando el vehículo en A está a la distancia d_a de la intersección y los conductores en A y B pueden verse, el vehículo B está a la distancia b de la intersección. Por semejanza de triángulos se obtiene que:

$$d_b = (a \times d_a)/(d_a - b)$$

Se debe proveer a la carretera B de la señalización adecuada que indique a los vehículos la velocidad segura de aproximación a la intersección, de manera que al pasar por el punto a distancia d_b del cruce, su velocidad no sea superior a la crítica.

801.04.2.(e2) Segundo caso: intersección en que los vehículos de una carretera que acceden al cruce deben detenerse por señalización

En una intersección en que los vehículos de la carretera secundaria deben efectuar la operación de cruce desde el estado de detención total, el conductor debe tener visibilidad sobre aquella zona de la carretera principal que le permita cruzar sin riesgo, aun cuando un vehículo aparezca en el preciso instante de su partida.

La Distancia de Visibilidad sobre la carretera preferencial debe ser mayor que el producto de su Velocidad de Proyecto por el tiempo total necesario para que el vehículo detenido se ponga en marcha y complete la operación de cruce. La distancia requerida puede ser expresada como:

$$D = 0{,}275 \cdot V \cdot (t + ta)$$

Donde:

D = Distancia de Visibilidad sobre la carretera preferencial, expresada en metros
V = Velocidad de Proyecto de la carretera preferencial, en km/h
t = Tiempo de percepción más tiempo de arranque expresado en segundos
t_a = Tiempo requerido para acelerar y despejar la carretera principal, en segundos

El tiempo t representa el lapso entre la mirada del conductor en ambas direcciones de la carretera que va a cruzar y el instante en que pone su vehículo en movimiento. La manera de actuar de los conductores es muy variable, pero el valor de t que se aconseja es el de los conductores normalmente lentos.

Se asume en estas circunstancias un valor de 2 segundos para cruces en zona rural y un valor de 1 segundo en zonas urbanas, donde el fenómeno es más repetitivo. Se hace hincapié en que al reducir estos valores en un 50%, la distancia de visibilidad necesaria sólo se reduce en un 15%.

El tiempo t_a, que depende de la capacidad de aceleración de los vehículos tipo, también depende en forma subjetiva de los conductores. Usando valores prudenciales de aceleración, de acuerdo con los vehículos tipo seleccionados, se dan en la ***Tabla 40***, los tiempos para cruzar distancias totales. Estas distancias totales de cruce se forman por adición de tres distancias parciales medidas en metros, de acuerdo con la siguiente expresión:

Donde:

$$S = d + C + L$$

S = Distancia total de cruzamiento
d = Distancia de vehículo detenido hasta el borde de la calzada de la vía que se cruza; se acepta generalmente un valor de 3 metros
C = Ancho de la calzada medida según la trayectoria del vehículo que cruza
L = Largo del vehículo que cruza: Vehículo Liviano = 5,80 m; Ómnibus Interurbano = 13,2 m; Vehículo Articulado VA1 = 18,6 m; VA2 = 22,4 m

La Distancia de Visibilidad así obtenida D = 0,275 V (t + t_a), resulta generalmente mayor que la distancia mínima de frenado. Esto da una seguridad adicional a los vehículos que cruzan desde el reposo.

Si la carretera que se debe cruzar tiene calzadas separadas se pueden presentar dos situaciones: que el cantero central tenga un ancho mayor o igual al largo del vehículo tipo escogido, caso en el cual se considera que el cruce se realiza en dos etapas; y que el cantero central tenga un ancho inferior al largo del vehículo, caso que obliga a incluir, como parte del término C (incorporado en la expresión S = d + C + L), el ancho correspondiente al cantero central.

Cuando la visibilidad a lo largo de la carretera preferencial sea inferior a la mínima calculada, debe regularse la velocidad de los vehículos de esta carretera hasta conseguir que la distancia D obtenida sea segura.

Si las condiciones son muy desfavorables se debe introducir elementos de diseño para reducir efectivamente la velocidad de aproximación al cruce. Se puede llegar incluso a recomendar la instalación de semáforos con su señalización complementaria previa, e incluso la separación de niveles.

TABLA 40: TIEMPOS (t_a) REQUERIDOS PARA CRUZAR UNA CARRETERA

Vehículo Tipo	Distancia S (m)						
	15	20	25	30	35	40	45
	t_a para cruzar y recorrer S						
V. Liviano	5,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
Camión	-	7,5	8,5	9,0	10,0	11,0	12,0
V. Articulado	-	-	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0

801.04.2.(f) Cruces a nivel con vías férreas

En zonas rurales en que existan cruces a nivel con vías férreas en operación, que no cuenten con guarda cruce y barreras físicas operando en forma continua, durante las 24 horas, se deberán considerar las siguientes normas de diseño geométrico y señalización del camino, en adición a aquellas que pueda exigir la Empresa que opera el ferrocarril y en tanto, dicha Empresa no imponga condiciones más exigentes que las que aquí se establecen.

801.04.2.(f1) Alineamiento horizontal

Es deseable que el eje del camino intercepte la vía férrea en ángulo recto o lo más próximo posible a dicha dirección. Como máximo se podrán aceptar ángulos comprendidos entre la normal a la vía férrea y el eje del camino de 25g, según se ilustra en el ***Gráfico 51***.

Tanto la alineación de la vía férrea como la del camino deben estar en recta para posibilitar la percepción del tren que viene, por parte de un conductor detenido a 1,5 m.

Si se calcula el tiempo de cruce requerido por los distintos tipos de vehículos, se puede calcular la visibilidad mínima requerida a lo largo de la vía para que el conductor detenido en la posición avanzada de observación, adopte la decisión de cruzar o no cruzar.

Sea t_c el tiempo de cruce requerido en segundos:

$$tc = tpr + \sqrt{\frac{2 \cdot (L_v + a)}{9.81 \cdot J}}$$

Donde:

t_{pr} = Tiempo de Percepción y Reacción para iniciar el movimiento = 2s

L_v = Longitud del Vehículo que cruza
Semiremolque para Transporte de Automóviles = 22,4 m
Semirremolque Corriente = 18,6 m
Ómnibus Interurbanos = 13,2 m
Camión Simple = 11,0 m
Automóviles (Quedan cubiertos por el resto de los vehículos)

a = Ancho de la Vía Férrea Simple (1,68) + 1,5 m a cada lado ≈ 4,70 m
Ancho de la Vía Férrea Doble (5,68) + 1,5 m cada lado ≈ 8,70 m

J = Coeficiente de Aceleración desde la detención
Camión Transporte Automóviles y Semiremolque J = 0,055
Camión Simple J = 0,065
Ómnibus Interurbanos J = 0,080

TABLA 41: TIEMPOS EN CRUCES A NIVEL CON VÍAS FÉRREAS

L (m) Vehiculo	J	tpr	Vía Férrea Simple $\sqrt{\frac{0.204 \cdot (L_y - 4.7)}{J}}$	Vía Férrea Simple T cruce (s)	Vía Férrea Doble $\sqrt{\frac{0.204 \cdot (L_y + 8.7)}{J}}$	Vía Férrea Doble T cruce (s)
22,4	0,055	2	9,99	~ 12 s	10,84	13
18,6	0,055	2	9,26	~ 12 s	10,02	13
13,2	0,08	2	6,76	~ 9 s	7,47	10
11	0,065	2	7,02	~ 9 s	7,86	10

Luego la visibilidad hacia los dos lados de la vía (dv) deberá ser según la ***Tabla 41***.

TABLA 42: DISTANCIAS DE VISIBILIDAD EN CRUCES A NIVEL CON VÍAS FÉRREAS

Velocidad del Tren		Vía Férrea Simple		Vía Férrea Doble	
Km/h	m/s	dvs tc =12 s	dvs tc = 9 s	dvd tc = 13 s	dvd tc = 10 s
140	38,9	467 m	350 m	506 m	389 m
120	33,4	400 m	300 m	434 m	334 m
100	27,8	334 m	250 m	361 m	278 m

En todo caso la velocidad máxima de los trenes en el sector del cruce actual y a mediano plazo debe ser informada por la Empresa Nacional de Ferrocarriles.
Para que dicha visibilidad esté disponible en la práctica, la faja del ferrocarril debe estar despejada en al menos 4,0 m desde cada riel hacia el exterior.

La visibilidad por el camino hacia la zona del cruce, debe contar con una distancia de visibilidad de frenado para una velocidad equivalente a la del Percentil 85%. Si ello no fuera posible, se deberá reforzar la señalización de advertencia.

En aquellos cruces con vías férreas existentes que presenten un historial de repetidos accidentes, se podrá construir un "rompe muelle elástico", en la calzada, según el diseño aprobado para áreas urbanas, el que se localizará 50 m antes del cruce ferroviario, debiendo estar debidamente señalizado.

Como mínimo, el alineamiento horizontal deberá disponer de sendos tramos rectos de 60 m de longitud, a cada lado de la línea.

801.04.2.(f2) Alineamiento vertical

En los 10 m contados hacia atrás del signo PARE, deberá diseñarse una rasante cuya pendiente máxima sea no mayor que 3%, enlazada con la rasante que la precede (según avance de la distancia acumulada), mediante una curva vertical que cumpla con los requerimientos de la velocidad máxima señalizada antes del cruce. La pendiente de dicha rasante no deberá superar un ± 5%.

801.04.2.(f3) Sección transversal

En la zona del cruce y 25 m antes y después, el ancho mínimo del pavimento será de 7,0 m contando con banquinas de al menos 2,0 m. Si el camino no tiene pavimento el ancho total de la plataforma a nivel de rasante será de al menos 10 m.

801.04.2.(f4) Ilustración gráfica de los cruces a nivel con vías férreas

Todo lo expuesto precedentemente se ilustra en el ***Gráfico 51*** para el tipo de cruce sin control mediante barreras de operación permanente.

801.04.3 TRAZADO EN PLANTA DE LAS VÍAS DE LA INTERSECCIÓN

801.04.3.(a) Aspectos generales

En los Párrafos siguientes se incluyen criterios y valores que deben ser asumidos y respetados en el diseño geométrico de los diferentes elementos que forman parte de las intersecciones. Algunos de estos elementos están presentes también en los enlaces, donde son aplicables los mismos criterios y valores.

Los factores básicos de diseño son la importancia de la intersección y la disponibilidad de recursos para diseñar una solución óptima. Estos factores se pueden expresar en términos técnicos mediante herramientas socioeconómicas que permiten cifrar de alguna manera dicha importancia y disponibilidad.

En los casos en que la intersección sea de poca importancia y escaso tránsito, o que los costos de ejecución superen los beneficios sociales de la inversión, su diseño responderá a los mínimos admisibles de acuerdo al radio mínimo de giro del vehículo tipo seleccionado, circulando a velocidades de 15 km/h o menores.

Cuando la importancia de la intersección así lo exija y los beneficios sociales de las inversiones superen los costos respectivos, el diseño estará controlado por la Velocidad de Operación que se desee obtener en los diversos elementos del cruce y por lo tanto serán aplicables las normas aquí expuestas.

801.04.3.(b) Trazados mínimos absolutos de bordes en giros sin canalizaciones

Cuando el espacio disponible para la intersección sea muy reducido, o los movimientos de giro de muy poca importancia, se podrá utilizar intersecciones de trazado mínimo. En estos casos el diseño está gobernado exclusivamente por las trayectorias mínimas de giro del vehículo tipo elegido.

Los diseños de borde para giros recomendados en las ***Tabla 43 y Tabla 44*** provienen de "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets" (AASHTO; USA, 1.994). Los radios mínimos que allí se indican están referidos al borde interior del pavimento en la curva y diseñados para las siguientes condiciones de operación:

- Velocidad de giro hasta 15 Km/h
- Inscripción en la curva sin desplazamiento a los carriles vecinos tanto en la entrada como en la salida
- Distancia mínima de las ruedas interiores al borde del pavimento de 0,30 m, a lo largo de la trayectoria
- Giros a la derecha y a la izquierda
- Los vehículos considerados en dichas Tabla son:

  - L: vehículo liviano. Corresponde al vehículo "P" de AASHTO
  - C: camión simple. El borde de giro para vehículo C fue adaptado para los ómnibus interurbanos de 13,2 y 14,0 m
  - VA1: tracto camión con semi-remolque corriente
  - VA2: tracto camión con semi-remolque para transporte de automóviles

La ***Tabla 43*** recomienda curvas simples de radio único para ángulos de giro pequeños y vehículos menores. A medida que el ángulo de giro crece y el vehículo de diseño es más grande, los mínimos en cuestión se transforman en curvas circulares también simples pero con retranqueos y cuñas que mejoran las condiciones de los giros y disminuyen la superficie pavimentada. La ***Tabla 44*** presenta soluciones alternativas que permiten mejor desempeño de los vehículos en la medida que éstos crecen en tamaño y giran ángulos mayores.

Aún cuando las soluciones indicadas en dichas Tabla son adecuadas en la mayoría de los casos, el proyectista podrá ensayar otras en casos especiales. El uso de alineaciones con clotoides es una alternativa posible para las curvas compuestas allí tabuladas, previa comparación de la geometría resultante con las trayectorias de los vehículos tipo.

TABLA 43: TRAZADOS MÍNIMOS DEL BORDE INTERIOR DE LA CALZADA EN INTERSECCIONES NO CANALIZADAS CURVA SIMPLE (Vp ≤ 15 Km/h)

Vehiculo Tipo	Angulo de Giro (g)	Radio Curva Simple (m)	Radio de Curva Simple con Cuña		
			Radio (m)	Retranqueo (m)	Cuña (m:m)
L	35	18,0	-	-	-
C		35,0	-	-	-
VA1		85,0	-	-	-
VA2		115,0	67,0	1,0	15 : 1
L	50	15,0	-	-	-
C		25,0	-	-	-
VA1		60,0	40,0	-	15 : 1
VA2		76,0	43,0	0,90	15 : 1
L	65	12,0	-	-	-
C		18,0	-	-	-
VA1		48,0	35,0	0,9	15 : 1
VA2		60,0	43,0	1,3	15 : 1
L	85	10,0	8,0	-	10 : 1
C		17,0	15,0	-	10 : 1
VA1		-	30,0	1,1	15 : 1
VA2		-	43,0	1,3	20 : 1
L	100	9,0	6,0	0,6	10 : 1
C		15,0	13,0	0,6	10 : 1
VA1			27,0	1,1	20 : 1
VA2			36,0	1,3	30 : 1
L	115	-	6,0	0,8	8 : 1
C		-	12,0	0,6	10 : 1
VA1		-	26,0	1,2	20 : 1
VA2		-	35,0	1,3	30 : 1
L	135	-	6,0	0,8	10 : 1
C		-	10,0	1,0	10 : 1
VA1		-	22,0	1,2	20 : 1
VA2		-	31,0	1,0	25 : 1
L	150	-	6,0	0,6	15 :1
C		-	10,0	1,0	8 : 1
VA1		-	18,0	1,4	15 : 1
VA2		-	25,0	1,6	20 : 1
L	165	-	6,0	0,5	10 : 1
C		-	10,0	1,2	8 : 1
VA1		-	15,0	1,7	8 : 1
VA2		-	19,0	1,6	10 : 1
L	200	-	5,0	0,2	20 : 1
C		-	10,0	0,5	10 : 1
VA1		-	12,5	0,3	10 : 1
VA2		-	16,0	4,2	10 : 1

TABLA 44: TRAZADOS MÍNIMOS DEL BORDE INTERIOR DE LA CALZADA EN INTERSECCIONES NO CANALIZADAS CURVA COMPUESTA (Vp ≤ 15 Km/h)

Vehiculo Tipo	Angulo de Giro (g)	Curva Compuesta de Tres Centros (Simétrica)		Curva Compuesta de Tres Centros (Asimétrica)	
		Radios (m)	Retranqueo (m)	Radios (m)	Retranqueo (m)
L	35	-	-	-	-
C		-	-	-	-
VA1		-	-	-	-
VA2		140 - 50 - 140	1,2	90 - 50 - 165	0,6 - 1,4
L	50	-	-	-	-
C		-	-	-	-
VA1		100 - 50 - 100	0,8	-	-
VA2		140 - 50 - 140	1,2	75 - 38 - 180	0,3 - 1,8
L	65	-	-	-	-
C		-	-	-	-
VA1		90 - 26 - 90	3,1	45 - 25 - 75	1,8 - 2,8
VA2		120 - 30 - 120	2,4	75 - 38 - 180	0,3 - 1,8
L	85	30 - 8 - 30	0,6	-	-
C		35 - 15 - 35	0,6	-	-
VA1		90 - 20 - 90	3,2	45 - 22 - 120	1,0 - 3,3
VA2		130 - 20 - 130	3,0	60 - 25 - 180	0,3 - 3,0
L	100	11139,0	0,8	-	-
C		36 - 15 - 36	0,6	-	-
VA1		90 - 20 - 90	2,5	42 - 16 - 85	1,3 - 3,0
VA2		130 - 20 - 130	3,0	60 - 20 - 180	0,3 - 3,4
L	115	30 - 6 - 30	0,8		-
C		30 - 12 - 30	1,0	75 - 17 - 120	-
VA1		105 - 15 - 105	3,5	60 - 20 - 180	0,9 - 3,0
VA2		150 - 15 - 150	4,0		0,3 - 3,4
L	135	30 - 6 - 30	0,6	-	-
C		30 - 10 - 30	1,0	-	-
VA1		105 - 16 - 105	2,8	35 - 14 - 115	2,9 - 5,5
VA2		165 - 14 - 165	4,6	60 - 18 - 180	0,6 - 3,8
L	150	30 - 6 - 30	0,5		-
C		30 - 10 - 30	1,2	35 - 14 - 125	-
VA1		115 - 15 - 115	3,2	60 - 17.5 - 180	1,5 - 4,3
VA2		165 - 14 - 165	5,0		0,6 - 3,8
L	165	22.5 - 6 - 22.5	0,6	-	-
C		30 - 10 - 30	1,2	-	-
VA1		100 - 15 - 100	3,3	40 - 14 - 115	1,7 - 3,6
VA2		165 - 14 - 165	5,8	60 - 17 - 180	2,0 - 5,0
L	200	15 - 4.5 - 15	0,2	-	-
C		30 - 10 - 30	0,5	-	-
VA1		140 - 10 - 140	4,5	30 - 12 - 165	3,2 - 4,2
VA2		180 - 14 - 180	6,2	30 - 17 - 120	1,8 - 4,6

En casos muy justificados, en que sea necesario utilizar trazados mínimos, como los que aquí se presentan, en caminos de importancia, esta Tabla o valores similares podrán utilizarse, siempre que se dispongan carriles de deceleración (y aceleración en el caso de calzadas unidireccionales) para poder pasar de la Velocidad de Proyecto del camino principal a los 15 Km/h que permite el ramal de giro (y viceversa), sin disminuir la capacidad de la vía principal o crear situaciones de peligro.

Donde los ramales de giro aconsejen soleras limitando el borde del pavimento, será recomendable ampliar los radios mínimos aceptables para permitir una maniobra más expedita.

Para el replanteo de curvas de tres centros, los datos del problema son: los radios de las tres circunferencias que se enlazan entre sí y los desplazamientos o retranqueos que se da a la circunferencia de radio menor (central) con respecto a cada uno de los bordes de las calzadas que se cortan. La circunferencia de radio menor se replantea definiéndola tangente a los bordes desplazados de las calzadas y determinando los puntos de tangencia de las circunferencias mayores con los respectivos bordes de la calzada y con la circunferencia de radio menor.

El ***Gráfico 52*** ilustra el problema e indica la manera de determinar analíticamente la ubicación de estos puntos de tangencia, referidos al vértice en que se cortan las alineaciones del borde de las calzadas consideradas. Para el caso de la curva de tres centros asimétrica es necesario introducir las variaciones analíticas pertinentes.

La elección de trazados mínimos depende del tipo y tamaño de los vehículos que habrán de girar y de las facilidades que debería otorgársele a los mismos para sus maniobras. A su vez, estos asuntos dependen de otros factores, tales como el tipo, naturaleza y ubicación de los caminos que se cruzan y de las demandas respectivas; del número y la frecuencia de los vehículos más grandes que realizan movimientos de giro, y del efecto que estas maniobras producen en los demás flujos.

Por ejemplo, si la gran mayoría de los giros los ejecutan vehículos particulares, sería económicamente irracional diseñar para grandes camiones que ocasionalmente podrían invadir los carriles adyacentes, pero sin interrupciones significativas del tránsito.

Es necesario entonces analizar las trayectorias probables de vehículos de mayor tamaño que los del vehículo de diseño y las correspondientes invasiones de otros carriles, para decidir, atendiendo a todos los demás datos que sean pertinentes, el diseño mínimo más adecuado. El uso de diseños mínimos para movimientos de giro es frecuente en áreas rurales, a pesar de no existir en estos casos las restricciones propias de las ciudades, especialmente cuando la velocidad o la frecuencia de los giros son bajas.

Cada uno de los ***Gráficos 53, 54 y 55*** muestran, para cada uno de los tres vehículos de diseño que cubren casi la totalidad de los vehículos del país, tres diseños mínimos, con parámetros no necesariamente coincidentes con los de las ***Tabla 43*** y ***Tabla 44***. Todos los casos corresponden a cruces en ángulo recto.

El diseño debe ser modificado cuando las condiciones de trazado, tales como la existencia de curvaturas previas o posteriores al giro, modifiquen las premisas de posición inicial aquí establecidas. Para ello se recomienda el uso de las plantillas correspondientes al vehículo de diseño respectivo.

Cuando los giros a la derecha sean bajos, se puede prescindir de carriles especiales para deceleración y giro. En tal caso, el diseño estructural de la banquina debe ser modificado para que su uso por parte de los vehículos que giran no la perjudique. Allí donde la frecuencia de estos giros sea superior a 25 veh/h en el año inicial, debe considerarse la provisión de tales carriles, con superficie similar a la de la calzada de paso.

801.04.3.(c) Trazados mínimos absolutos de curvas en intersecciones canalizadas ramales Vp - 15 Km/h

El área pavimentada en la zona de intersección crece en la medida que los ángulos de giro a la derecha se agudizan y que el vehículo tipo sea de mayor envergadura. Si se permite velocidades de giro mayores que los 15 km/h que son el límite para los trazados mínimos del párrafo anterior, con el consiguiente aumento de los radios mínimos que se debe aplicar a los bordes de giro, el área común a las ramas de origen y destino del viraje aumenta, agudizándose el problema que para los conductores representa la lectura del dispositivo y también el del aumento de los costos de pavimentación.

Las islas de canalización permiten resolver la situación planteada, al separar los movimientos de giro más importantes y conducirlos hacia ramales de giro independientes. Los elementos básicos para el trazado de ramales de giro canalizados son los siguientes:

- La alineación del borde de giro (borde interior de la curva, ***Tabla 45***)
- el ancho del carril de giro ***(Tabla 51)***.
- el tamaño mínimo aceptable para la isla de canalización (4,5 m^2; ***Numeral 801.04.4.(c)***

Estos tres controles de diseño concuerdan cuando para el borde de giro se usa curvas de radios algo mayores que las requeridas para los giros más cerrados de los diferentes vehículos tipo. Esto brinda soluciones algo más holgadas que las mínimas correspondientes al caso sin canalizar.

Las islas de canalización deben tener formas especiales que deben respetarse para que cumplan su función con seguridad. Estos elementos de diseño se encuentran descritos en el ***numeral 801.04.4.***

En la ***Tabla 45*** se entregan los valores a usar en giros mínimos canalizados. Las superficies de las islas resultantes han sido calculadas y redondeadas para dichos valores, dejando 0,60 m como mínimo entre sus bordes y los bordes del pavimento. Los anchos de ramales que allí aparecen permiten que las ruedas del Vehículo Tipo seleccionado se inscriban con una holgura de 0,60 m respecto de los bordes del pavimento. En el ***Gráfico 56 TRAZADOS PARA RAMALES DE GIRO CON ISLAS MÍNIMAS (Anexo III)*** se muestra tres ejemplos de ramales con islas triangulares mínimas.

TABLA 45: TRAZADOS MÍNIMOS ABSOLUTOS DEL BORDE INTERIOR DE RAMALES DE GIRO EN INTERSECCIONES CANALIZADAS - VP ≤ 15 km/h

Vehiculo Tipo	Ángulo de Giro (g)	Curva Compuesta de Tres Centros (Simétrica)		Ancho del ramal (m)	Tmaño aproximado de la isla (m^2)
		Radios (m)	Retranqueo (m)		
L	85	45 - 23,0 - 45	1,00	4,20	5,50
C		45 - 23,0 - 45	1,50	5,40	5,00
VA1		55 - 28,0 - 55	1,00	6,00	5,00
L	100	45 - 15,0 - 45	1,00	4,20	5,00
C		45 - 15,0 - 45	1,50	5,40	7,50
VA1		55 - 20,0 - 55	2,00	6,00	11,50
L	115	36 - 12,0 - 36	0,60	4,50	6,50
C		30 - 11,0 - 30	1,50	6,60	5,00
VA1		55 - 14,0 - 55	2,40	9,00	5,00
L	130	30 - 9,0 - 30	0,80	4,80	11,00
C		30 - 9,0 - 30	1,50	7,20	8,50
VA1		55 - 12,0 - 55	2,50	10,20	20,00
L	150	30 - 9,0 -30	0,80	4,80	43,00
C		30 - 9,0-30	1,50	7,80	35,00
VA1		48 - 11,0 - 48	2,70	10,50	60,00
L	165	30 - 9,0 - 30	0,80	4,80	130,00
C		30 - 9,0 -30	2,00	9,00	110,00
VA1		48- 11,0- 48	2,10	11,40	160,00

Por tratarse de giros mínimos, no se consulta en estas soluciones el ensanche de las carreteras que acceden a la intersección. Por lo tanto, el tipo de islas que consultan los valores de la ***Tabla 45*** se refiere a islas triangulares ubicadas en los ángulos que forma la prolongación de los bordes del pavimento de las vías que se cruzan. Cuando los diseños estén por sobre los mínimos y sea posible ensanchar las vías que acceden al cruce, este tipo de islas puede reemplazarse o combinarse con islas centrales en el camino subordinado.

Diseños mayores que los mínimos no son posibles de normalizar y el proyectista deberá estudiar cada caso de acuerdo con la disponibilidad de espacio y la importancia de los giros en la intersección.

801.04.3.(d) Ramales de intersecciones para 25 - Vp - 65 Km/h

Cuando se diseña el o los ejes de replanteo del tronco de una carretera en el tramo de ésta que contiene una intersección, se aplica, en general, las normas para carreteras en campo abierto.

Una intersección es un dispositivo vial singular, claramente señalizado, al que el conductor accede en forma consciente y en especial estado de atención. Esto refuerza su tendencia a recorrer los elementos curvos a una menor velocidad que la que el mismo comúnmente utiliza en curvas de igual radio en arcos de carreteras a campo abierto.

En las intersecciones no se presenta la dispersión de las velocidades de operación implícitas en la definición de la velocidad V85%. En efecto, los elementos amplios de las intersecciones, así como los ramales de enlace, tienen longitudes relativamente cortas, y sus circunstancias geométricas inducen actitudes y comportamientos más conservadores, por lo que no son aplicables los criterios de fondo que respaldan dicha definición de V85%. Él lo hace recomendable diseñar estrictamente para la Velocidad de Proyecto. Tampoco se aplica para el diseño de elementos amplios de intersecciones el criterio que llevó a considerar la velocidad V* para la definición de los parámetros de diseño vertical. La velocidad que debe asumirse para dichos parámetros son los correspondientes a la Velocidad de Proyecto.

Un vehículo VA2 puede inscribir su trayectoria en un diseño para vehículo VA1 a baja velocidad y sin huelgas laterales.

Consecuentemente, para los elementos amplios de intersecciones se aplican las relaciones radio- peralte, que consideran que la aceleración transversal generada por el desplazamiento de un móvil según una trayectoria circular será compensada en un 25% por el peralte y en un 75% por la fricción transversal, según se expone en el ***numeral 801.04.6.(b)***.

En el diseño de curvas de intersecciones para 25 ≤ Vp ≤ 65 Km/h se pueden usar coeficientes de fricción lateral algo mayores que los usados en caminos y carreteras, llegando en casos extremos, obligados por el espacio disponible, a utilizar los que se consignan en la ***Tabla 46***.

TABLA 46: RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS EN INTERSECCIONES CANALIZADAS PARA 25 ≤ VP ≤ 65 km/h

Vp (km / h)	25	30	35	40	45	50	55	60	65
tmáx (%)	31,0	28,0	25,0	23,0	21,0	19,0	18,0	17,0	16,0
Rmin (m) e = 0% (1)	15	25	40	55	75	100	130	170	210
Rmin (m) e = 8%	15 (2)	20	30	40	55	75	90	120	140

(1) e = 0% sólo en casos restricciones en alzados insalvables .

(2) Radio minimo < 15 m es inaceptable en intersecciones canalizadas, salvo en curvas de tres centros.

La ***Tabla 46*** muestra los valores de los radios mínimos absolutos en intersecciones canalizadas con Velocidades de Proyecto comprendidas entre 25 y 65 km/h, para peraltes de 0% y 8%. Estos valores han sido calculados mediante la expresión $R_{min} = V^2/127\ (t+p)$, utilizando los valores máximos admisibles del coeficiente de fricción, que aparecen también en dicha Tabla.

La expresión anterior para R_{min} puede ser utilizada con otros valores del peralte, pero sólo en casos en los que muy justificadamente no se puedan proyectar radios de curvaturas más amplios para la Velocidad de Proyecto requerida, o cuando los peraltes de las superficies de rodadura queden condicionados por las características en elevación de la intersección ***(Véase numeral 801.04.5)*** por la dificultad de proveer distancias suficientes para desarrollarlos.

No obstante lo anterior, la geometría deseable resulta de aplicar un radio de curvatura lo más amplio que sea económicamente posible y asignarle la Velocidad de Proyecto y el peralte que permitan el ***Gráfico 76***, que resulta de imponer la condición que t = 3e en la ecuación del Radio mínimo, con los valores de "t" que allí se consignan.

801.04.3.(e) Curvas de enlace y curvas compuestas en intersecciones

801.04.3.(e1) Aspectos generales

Cuando se accede a un ramal de intersección desde una vía cuya Velocidad de Proyecto es significativamente superior (30 ó más km/h de diferencia), el aumento brusco de la fuerza centrífuga, al pasar de la alineación amplia a la curva del ramal, aconseja intercalar curvas de enlace, que pueden ser de preferencia clotoides o curvas circulares de mayor radio.

801.04.3.(e2) Uso de clotoides

Pueden ser usadas intercaladas entre la alineación recta y la curva circular, o como espiral(es) intermedia(s) entre curvas circulares de radios muy distintos, en curvatura y/o signo. Son tangentes en sus límites a las alineaciones rectas o circulares extremas, y a sus pares en el caso de curvas en "S".

Si bien en la carretera o camino se calcula el largo de la clotoide poniendo como condición que la variación normal de la aceleración transversal "J" sea del orden de 0,4 a 0,5 m/seg^3, en intersecciones, por razones similares a las antes expuestas en relación con el cálculo de radios mínimos, se aceptan valores de "J" que van de J = 1,22 m/s^3 para 30 Km/h a J = 0,95 m/s^3 para 60 Km/h.

Utilizando la expresión de Shortt, para el cálculo de la longitud de la clotoide, se tiene:

$$L = \frac{0.02144 \cdot Vp^3}{R \cdot J}$$

Donde:
Vp = Velocidad de Proyecto en km/h
R = Radio de la curva circular en m
J = Tasa de Distribución de la Aceleración Transversal

Consecuentemente:

$$A^2 = R \cdot L = 0{,}02144 \cdot Vp^3 \ / J$$

Los valores resultantes se dan en la ***Tabla 47***.

TABLA 47: VALORES MÍNIMOS DE A EN FUNCIÓN DE VP Y J PARA RADIOS EN EL ORDEN DE LOS MÍNIMOS ABSOLUTOS

Vp (km / h)	30	35	40	45	50	55	60
Radio (m)	25	35	45	60	75	90	120
J (m/seg3)	1,22	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95
L (m)	18,98	22,26	26,75	29,60	34,04	39,64	40,63
A (m) (√RL)	21,7	28,0	34,7	42,1	50,5	59,7	69,8
A minimo adoptado	20	30	35	40	50	60	70

801.04.3.(e3) Curvas compuestas

Al usar una curva circular como forma de acuerdo entre dos alineaciones de curvaturas muy diferentes, debe cuidarse que la relación entre las curvaturas de los arcos sucesivos no sea más del doble. En caso contrario resulta un punto de discontinuidad demasiado evidente y esta forma de enlace no cumple su propósito. La relación entre curvaturas sucesivas será preferentemente 1,75. Estas relaciones no son válidas para trazados mínimos en los que el diseño está determinado por exigencias de espacios mínimos para efectuar la curva, a velocidades inferiores a 15 Km/h.

El desarrollo de un acuerdo circular no debe ser superior a ciertos mínimos. La ***Tabla 48*** indica los desarrollos aceptables que deberá tener el enlace compuesto de un arco circular entre dos arcos con relación de curvatura de 2 a 1. Estos desarrollos están calculados de manera que resulta una deceleración máxima de 5 Km/h/s o una deceleración deseable de 3 Km/h/s, para pasar de la VP de la curva de mayor radio a la menor.

La cifra de 3 Km/h/s resulta muy conveniente, pues supone un uso suave de los frenos. La capacidad de deceleración del motor de los vehículos es del orden de 1,5 a 2,5 Km/h/s.

TABLA 48: DESARROLLO DE LA CURVA CIRCULAR DE ENLACE CUANDO LA RAZÓN RADIO MAYOR A RADIO MENOR ES 2

Radio Mayor (m)	30	45	60	75	90	120	150 o más
Desarrollo Mínimo (5 km/h/s)	12	15	18	24	30	36	42
Desarrollo Deseable (3 km/h/s)	18	21	27	36	42	54	60

801.04.3.(e4) Combinación de más de dos curvas

Cuando la Velocidad de Operación a la entrada de un ramal (valores VC x A en ***Gráfico 59*** y ***Gráfico 60***) y las circunstancias del diseño obligan a diseñar curvas iniciales de radios que no permiten tener una relación de 2 o menos con el arco limitante del ramal, será necesario utilizar una tercera curva circular de radio intermedio que cumpla la relación establecida, o, de preferencia, una clotoide que enlace a ambas curvas.

El desarrollo que debe darse a una clotoide intermedia se calculará haciendo la diferencia de los valores recíprocos de los radios de curvatura a enlazar, despejando de allí el radio de una curva, que al ser interpolada en los datos de la ***Tabla 47*** permite obtener el valor de su parámetro y el desarrollo correspondiente.

801.04.3.(f) Anchos de calzada en ramales de giro

801.04.3.(f1) Aspectos generales

El ancho del pavimento y las banquinas en calzadas de giro, están regulados por el volumen y composición del tránsito que circula por el primero, así como por el radio de la curva circular asociada al giro. Se describe varias posibilidades de operación según la importancia del ramal.

Todas estas variables han dado motivo a estudios que parten de ciertos datos conocidos, como trayectoria mínima de los vehículos tipo, distancias libres deseadas a los bordes del pavimento y a otros vehículos, sobreancho por efecto de la velocidad, etc. Esto ha permitido tipificar los casos y tabular los anchos mínimos requeridos bajo cada combinación de factores. Los anchos necesarios para vehículos tipo L o C pueden calcularse matemáticamente, pero los necesarios para VA han debido estudiarse experimentalmente o mediante el empleo de modelos a escala.

801.04.3.(f2) Anchos de pavimentos en ramales de giro

Los tipos de operación que pueden acogerse en el ramal de giro dan origen a una primera clasificación:

Caso I: Un carril con tránsito en un solo sentido, en la que no se contempla la posibilidad de adelantar a un vehículo que se detenga. Se reserva para ramales de giro de poca importancia, bajo volumen de tránsito y corta longitud. Al menos uno de los bordes del pavimento debe tener una banquina que permita ser transitada en una emergencia; si hay cordones, uno de ellos debe ser fácilmente montable.

Caso II: Un carril con tránsito en un solo sentido, diseñada de modo que sea posible adelantar a un vehículo detenido por emergencia a un costado del carril. Contempla la posibilidad de adelantamiento a bajas

velocidades, con espacios libres restringidos entre vehículos, pero manteniéndose ambos dentro del carril de circulación. Esta hipótesis de diseño es adecuada tanto para bajos volúmenes de tránsito como para aquellos próximos a la capacidad del ramal.

Caso III: Dos carriles, ya sea para tránsito en uno o dos sentidos. Se reserva para las situaciones en que el volumen de tránsito supera la capacidad de un solo carril o para el tránsito en doble sentido cuando así esté contemplado.

La segunda clasificación dice relación con la composición del tránsito que utiliza el ramal, identificándola por medio de los vehículos tipo y la proporción en que intervienen.

Caso A: Predominan los vehículos ligeros L. Considera el paso eventual de camiones u ómnibus (C).

Caso B: La presencia de vehículos tipo C es superior al 5 %, pero no sobrepasa el 25 % del tránsito total. Eventualmente circulan vehículos articulados, en muy baja proporción.

Caso C: Los vehículos tipo C son más del 25 % tránsito total y/o los vehículos articulados circulan normalmente por el ramal considerado.

La ***Tabla 51*** resume los anchos que deben adoptarse según sea la hipótesis combinada de tipo de operación y tránsito que corresponda, a partir de los casos antes enumerados. Se considera además el efecto del radio mínimo interior del ramal de giro, con sus velocidades máximas asociadas.

La parte inferior de la ***Tabla 51*** indica las variaciones que pueden introducirse a los anchos base según sea las características del terreno adyacente al pavimento.

La ***Tabla 49*** identifica el vehículo tipo y la maniobra que se consideró para la determinación de los anchos de la ***Tabla 51.*** Estos anchos incluyen los espacios adicionales necesarios para que dichas maniobras puedan realizarse con seguridad. En los casos en que aparecen dos letras, la primera indica el tipo de vehículo que puede adelantar cómodamente a un vehículo estacionado, siendo el tipo de éste el que la segunda letra señala. Ejemplo: en la celda correspondiente a operación tipo II (Caso II) con composición de flujos tipo B, la clave L-C informa que un automóvil puede maniobrar holgadamente adelantando a un camión simple.

TABLA 49: VEHÍCULO TIPO Y MANIOBRA CONSIDERADA EN LA DETERMINACIÓN DE LOS ANCHOS

	A	B	C
Caso I	L	C	VA1
Caso II	L-L	L-C	C-C
Caso III	L-C	C-C	VA1-VA1

La ***Tabla 50*** permite apreciar las maniobras que pueden realizar, en ramales cuyos anchos son los de la ***Tabla 51***, los vehículos tipo que se indican. Estos son casos extremos, que requieren velocidades bajas y conductores experimentados.

TABLA 50: MANIOBRAS QUE PUEDEN REALIZAR LOS VEHÍCULOS TIPO

	A	B	C
Caso I	VA1	VA1	VA2
Caso II	L-C	L-VA1	C-VA1
Caso III	C-VA1	VA1-VA1	VA2-VA2

Ejemplo: en Caso I - A; se lee VA1, que quiere decir que en el ancho indicado un tracto camión con semi-remolque corriente puede efectuar el giro sin salirse del carril, pero prácticamente sin huelga alguna entre

la trayectoria de las ruedas y el borde del pavimento.

Caso II - B; se lee L - VA1. Esto indica que un vehículo tipo L podrá adelantar a un vehículo tipo VA1 que se encuentre estacionado al borde del carril (o viceversa) siempre con huelga mínima entre un vehículo y otro y entre los bordes del pavimento.

TABLA 51: ANCHOS DE PAVIMENTO Y BANQUINAS (1) EN RAMALES

R (m) (Radio interior)		Ancho de pavimento en Ramales, en m para:								
		Caso I			Caso II			Caso III		
		1 carril 1 sentido Sin adelantar			1 carril 1 sentido Con adelantar			2 carriles 1 o 2 Sentidos		
		Características del Tránsito								
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
15		5,4	5,4	7,0	7,0	7,5	8,7	9,3	10,5	12,6
25		4,7	5,8	5,7	6,3	7,0	8,0	8,7	9,8	11,0
30		4,5	4,8	5,4	6,0	6,6	7,5	8,4	9,3	10,5
50		4,2	4,8	5,0	5,7	6,3	7,2	8,0	9,0	9,9
75		4,0	4,7	4,8	5,6	6,2	6,8	8,0	8,6	9,2
100		4,0	4,5	4,8	5,4	6,0	6,6	7,8	8,4	9,0
125		4,0	4,5	4,8	5,4	6,0	6,6	7,8	8,4	8,7
150		3,8	4,5	4,5	5,4	6,0	6,6	7,8	8,4	8,7
> 200		3,5	4,5	4,5	5,0	5,7	6,3	7,5	8,0	8,0
Modificación de anchos (m) por efecto de banquina (1) y codón										
Banquina sin revestir		Sin modificación			Sin modificación			Sin modificación		
Cordón Montable		Sin modificación			Sin modificación			Sin modificación		
Cordon elevada	Un lado	Añadir 0,30			Sin modificación			Añadir 0,30		
	Dos lados	Añadir 0,50			Añadir 0,30			Añadir 0,50		
Banquina revestida a uno o ambos lados		En condiciones B y C ancho en recta puede reducirse a 3,50 m si ancho de banquina es 1,20 m o más			Deducir ancho de las banquinas. Ancho mínimo como Caso I			Deducir 0,60 donde la banquina sea de 1,20 m como mínimo		

(1) Cuando existen banquinas pavimentadas en ramales -principalmente en enlaces- éstas deben tener un ancho uniforme en toda su longitud. Si este ancho es inferior al de las banquinas de las calzadas de paso, el ancho de estas últimas debe mantenerse y conseguirse –respectivamente- a lo largo de las cuñas de salida y entrada, y la transición debe ejecutarse a continuación en una distancia no inferior a 15 m. En ramales de un sentido de circulación la suma de los anchos de las banquinas no debe superar los 3,00 a 3,50 m, de los cuales 0,50 a 1,00 m debieran corresponder a la banquinas izquierda. Ramales directos con VP de más de 60 Km/h deben tener banquinas pavimentadas de 2,5 m de ancho mínimo a la derecha y de 0,50 m mínimo a la izquierda. La luz libre lateral a la derecha de un ramal no debe ser inferior a 1,80 m, y a la izquierda no debe ser inferior a 1,00 m.

801.04.3.(f3) Banquinas o espacios adyacentes al pavimento del ramal de giro

Dentro de una intersección canalizada no es siempre necesario disponer banquinas a los lados de los ramales de giro: los carriles quedan delimitadas por islas y el trazado de éstas ya considera la necesaria luz libre lateral a la izquierda del pavimento; además, estos ramales son por lo general cortos y no es necesario prever banquinas a lo largo de ellos para estacionamiento temporal de vehículos, sobre todo considerando que los anchos de pavimento especificados en la ***Tabla 51*** satisfacen la mayoría de las necesidades operacionales de este tipo.

En los ramales de giro a la derecha, el borde izquierdo del pavimento delimita la zona triangular del respectivo cuadrante de la intersección. Esta zona suele llevar una isla. Cuando la isla es de dimensiones reducidas y lo exige la importancia de los movimientos, ésta se delinea con solera montable; si no, puede ser sólo demarcada. En cualquiera de los supuestos, una banquina al lado izquierdo es por lo general innecesaria en ramales de intersecciones. La demarcación de borde de calzada puede ir al pie de la solera respectiva, incluida por lo tanto en el ancho del ramal. Sin embargo, en el sector izquierdo del inicio o entrada del ramal, se debe retranquear el eventual cordón ***(Numeral 801.04.4.(d))*** para permitir un posible desplazamiento lateral de los vehículos al iniciar su maniobra de giro. El ensanche resultante en el área de retranqueo con Gráfico, con la demarcación pertinente, la "punta" de la isla ***(Numeral 801.01.1).***

En áreas rurales generalmente se dispone de banquinas a la derecha de estos ramales, aunque también puede usarse un cordón para reducir las operaciones de conservación sobre la zona que puede ser invadida y dañada por los vehículos que salgan de la calzada por el interior de la curva, o por presencia de peatones.

Cuando existe banquina derecha, es preferible que su dimensión y tratamiento sean los mismos que los de la sección normal de la carretera de la que provienen los vehículos. Si hay diferencias de ancho, las transiciones correspondientes deben hacerse después de la cuña de salida o antes de la cuña de entrada, en una longitud de 15 m.

En grandes intersecciones canalizadas los ramales de giro pueden ser de tal longitud que se consideren como independientes de las carreteras que se cortan, como ocurre en el caso de los enlaces. Bajo este punto de vista, deberán proyectarse con banquinas a ambos lados del pavimento. Los anchos mínimos de éstas serán los correspondientes a ramales de enlace.

En la ***Tabla 51*** se resume los valores recomendables para distintas condiciones de los ramales de giro. En estos ramales, si no hay cordones o éstos son montables, la banquina contigua debe ser del mismo tipo y sección de la carretera de acceso, por lo menos a su inicio. Es deseable que las banquina del lado derecho, en caso de existir, tengan un pavimento similar al de la calzada del ramal, y como mínimo un tratamiento superficial o una estabilización en un ancho de 1 m o más si los volúmenes de diseño son inferiores a 200 vehículos por hora.

801.04.3.(g) Carriles de cambio de velocidad

801.04.3.(g1) Aspectos generales

Cuando un conductor va a hacer un giro en una intersección, debe modificar su velocidad. Si se propone pasar de una carretera a un ramal de giro, deberá disminuirla para adecuarla a las inferiores condiciones geométricas de este último, y si pretende acceder a una de las carreteras, proveniente de un ramal de giro, deberá aumentarla para hacerla compatible con las condiciones de flujo de aquélla.

Para que estas operaciones, inherentes a toda intersección, se desarrollen con un mínimo de perturbaciones, se diseña carriles de cambio de velocidad. Los carriles que auxilian la maniobra de salida de una calzada reciben el nombre de Carriles de Deceleración, y son paralelas o casi a la de origen. Los carriles que auxilian la maniobra de entrada a una calzada reciben el nombre de Carriles de Aceleración, y son siempre paralelas a la de destino. Ambas permiten acomodar la velocidad según las conveniencias expuestas ***(Gráfico 57 VÍAS DE CAMBIO DE VELOCIDAD Anexo III).***

A pesar de estas características en común, es necesario abordar el tratamiento de unas y otras con enfoques teóricos distintos, puesto que la conducta del usuario, que es más o menos previsible para el caso de un carril de deceleración, lo es menos para una de aceleración, al requerir esta última una maniobra más compleja y peligrosa, y al estar dicha maniobra condicionada por las características del tránsito en la carretera.

En el caso de los carriles de aceleración, existen criterios diferentes en los E.E.U.U. y en algunos países europeos. AASHTO calcula sus longitudes suponiendo que el vehículo debe acelerar desde la velocidad de circulación del ramal hasta las proximidades de la velocidad de circulación de la carretera. En Alemania y Suiza, en cambio, se pone énfasis en las circunstancias en que se ejecuta la maniobra; esto es, se contempla que el conductor puede acelerar, si las condiciones del flujo se lo permiten, o disminuirla si percibe dificultades para ingresar a la carretera.

Este último criterio hace que para velocidades bajas de diseño los carriles de aceleración sean mayores que las calculadas por AASHTO, al considerarse necesario agregar una zona de maniobra a la longitud prevista para aumentar la velocidad. Pero, por otra parte, limita la longitud a valores máximos bastantes inferiores que los prescritos por AASHTO, para velocidades altas. Considera que puede ser peligroso dar la posibilidad de acelerar hasta ellas, si el ingreso depende más bien de las posibilidades de espacio en la carretera, y que, si hay tal espacio, no es indispensable que el vehículo ingrese a la carretera a velocidades elevadas.

Por lo anteriormente expuesto, en estas Guías se decidió adoptar, para carreteras con Velocidad de Proyecto > 80 km/h el criterio europeo antes mencionado, el cual, al considerar velocidades de incorporación al flujo menores que las prescritas por AASHTO, permite una maniobra más controlada y segura por parte de los usuarios, a la vez que redunda en un proyecto más económico. Para velocidades de proyecto ≤ 70 km/h rara vez la categoría del camino requerirá de carriles de aceleración y en todo caso se trata de velocidades suficientemente bajas como para adoptar los valores que resultan del criterio AASHTO, manteniendo un grado de seguridad adecuado si se considera que los conductores que se incorporan al flujo manejan en un estado de atención que reduce los tiempos de percepción y reacción a valores inferiores a los considerados para el caso de carretera propiamente tal. Por lo anterior, si la densidad de flujo no permite la incorporación, el conductor siempre podrá optar por la detención.

En carreteras bidireccionales de dos carriles la experiencia indica que los carriles de aceleración no son aconsejables pues inducen situaciones peligrosas que contrarrestan las ventajas que se pretende obtener. Por tanto, en este caso, los ramales de la intersección que acceden a la carretera deberán proyectarse bajo las condiciones prescritas en el ***numeral 801.04.2.(b)*** y sin carriles de aceleración, quedando estas reservadas a las carreteras de tipo unidireccional.

Los carriles de deceleración, en cambio, podrán proyectarse en carreteras bidireccionales, cuando la cantidad de vehículos que girarán en el año de inicio de operaciones sea igual o superior a 25 veh/h y su Velocidad de Proyecto sea de 60 km/h o más. Sus dimensiones se obtendrán de considerar una conducta tipo de los usuarios frente a ellas y de aplicar una expresión físico-matemática que dé cuenta del fenómeno de la deceleración de un vehículo operado según dicha conducta.

Desde el punto de vista de sus formas, los carriles de cambio de velocidad podrían agruparse en dos tipos: "en paralelo", cuando dicho carril discurre junto a la calzada de la carretera, como si fuese un carril más de ella, hasta el momento de su separación o confluencia con la misma ***(Gráfico 58 PISTAS DE ACELERACIÓN y Gráfico 60 PISTAS DE DECELERACIÓN CASO II: EN PARALELO Anexo III),*** y "directa" ***(Gráfico 59 PISTAS DE DECELERACIÓN CASO I: DIRECTA Anexo III),*** cuando el carril incide o se desprende desde el borde de la carretera de manera tal que dicho borde forma un ángulo con el borde adyacente del ramal.

En este último caso se forma una cuña de pavimento que forma parte inicial del ramal, cuya longitud puede ser menor que la requerida para conseguir normalmente el cambio de velocidad ***(Gráfico 59 PISTAS DE DECELERACIÓN CASO I: DIRECTA y Gráfico 60 PISTAS DE DECELERACIÓN CASO II: EN PARALELO Anexo III).***

El resto del carril debe desarrollarse entonces en un tramo que ya es independiente de la carretera, situado entre dicha cuña y el inicio de la curvatura limitante del ramal. Estas alternativas presentan ventajas y desventajas según sea el tipo de maniobra que sirvan. En la presente Guía se recomienda criterios unificadores para resolver el paralelismo o no de los carriles de cambio de velocidad.

En efecto, los carriles de tipo paralelo deberán ser elegidas para el caso de la aceleración, porque se desea una óptima retrovisión y la posibilidad de maniobrar (en curva-contracurva) para ingresar a la carretera en cualquier momento en que se produzcan las condiciones adecuadas. Los carriles de tipo directo, en cambio, deberán preferirse en el caso de deceleración, en el cual la maniobra de curva- contracurva no es tan natural, porque interesa clarificar la situación de salida mediante un diseño que "avise" al conductor la función del carril que se le ofrece, que es la de cambiar definitivamente su rumbo. Esto último no será válido en el caso de los carriles de deceleración centrales ***(Gráfico 63)***, o sea, aquellas dispuestas entre los carriles de una carretera, destinadas a detener y almacenar a los vehículos que giran a la izquierda. Tales carriles, por su posición, no podrán ser sino paralelas.

No obstante estas recomendaciones, algunas circunstancias especiales podrían requerir otros diseños. En casos justificados, esto podría ser autorizado por el Ente Rector, siempre que estos diseños se ajusten a criterios internacionales sancionados por la práctica. En el ***Gráfico 57*** se muestra los tipos básicos de vías de deceleración y aceleración.

801.04.3.(g2) Carriles de aceleración

Estos carriles serán del tipo paralelo, salvo autorización del Ente Rector en otro sentido. En el ***Gráfico 58*** se muestra un ejemplo de ellas, para el caso de la carretera en recta. Si la carretera va en curva, el caso es idéntico, teniendo en cuenta que podrían ser necesarios sobreanchos de carril en función del radio de curvatura. No se deben contemplar este tipo de carriles en carreteras bidireccionales.

Su longitud total (LT) es la suma de los largos de las zonas de aceleración propiamente tal y de transición o cuña. LT no superará en ningún caso los 300 m. LT se mide desde el punto de tangencia del borde izquierdo del ramal (en el sentido de avance de los vehículos) con el borde adyacente de la calzada principal (punto A' en el ***Gráfico 58***), en el caso de no existir curva de transición entre el radio limitante del ramal y el punto A', o sea, un arco de círculo de radio mayor que dicho limitante o una clotoide.

Si existe tal curva de transición, LT se medirá desde el comienzo de la curva de transición, pero con una limitación práctica que surge de los requerimientos de visibilidad: el punto desde el cual se inicia el carril de aceleración no puede quedar más atrás del punto P ***(véase Gráfico 58)***. Este punto es aquél en que la distancia entre los bordes adyacentes de las calzadas del ramal y de la carretera (PP') es de 3 m. Esta disposición permite un ahorro constructivo y se justifica porque el usuario, en esa posición, puede discernir a través del retrovisor, las condiciones de circulación existentes, y, además, está circulando por una curva que ya permite velocidades mayores que las de diseño del ramal.

En el ***Gráfico 58 PISTAS DE ACELERACIÓN (Anexo III)*** se muestra un carril de aceleración para el primero de los casos citados, sin curva de transición, en trazo lleno, y con línea de puntos se muestra la posición del carril para el segundo caso, suponiendo que el arco AP del Gráfico es una curva de transición. Los puntos B y C, fin de la zona de aceleración y de la zona de cuña respectivamente, se desplazan en este último caso hasta B' y C', cumpliéndose que BB' = CC' = A'P.

La ***Tabla 52*** presenta los valores de LT y LC en función de las velocidades de proyecto de los ramales y de la carretera. Los valores de LC son fijos para velocidades iguales o inferiores a 80 Km/h (50 m) y para velocidades superiores a ésta (75 m).

TABLA 52: LONGITUDES DE CARRILES DE ACELERACIÓN ENTRE RAMAL Y CARRETERA LT (m)= LA + LC (i = 0)

Vc (km/h)	Lc (m)	Vr = 0 (km/h)	Vr = 30 (km/h)	Vr = 40 (km/h)	Vr = 50 (km/h)	Vr = 60 (km/h)	Vr = 70 (km/h)	Vr = 80 (km/h)	Vr = 90 (km/h)
60	50	100	75	50					
70	50	150	120	100					
80	50	240	200	180	140	100			
90	75	300	275	250	220	170	140		
100	75	300	300	300	275	250	225	200	
110	75	300	300	300	300	300	250	250	250
120	75	300	300	300	300	300	300	300	300

Los valores LT y LA son válidos para inclinaciones longitudinales comprendidas entre + 3% y - 3%, debiendo corregirse si éstas exceden dichos valores límites. En la ***Tabla 53*** se entrega los factores que relacionan la longitud en pendiente (±) con la longitud en horizontal. En el caso de pendientes negativas, las correcciones sólo se hacen cuando se da el raro caso de una condición de parada previa al inicio del carril de aceleración, puesto que en este caso se supone que el vehículo parte cuando tiene planificada su maniobra, que consiste solamente en acelerar. Si el vehículo marcha a la velocidad Vr se impone el criterio ya expuesto anteriormente, según el cual interesa proveer al conductor de suficiente tiempo para adecuar su marcha a las circunstancias de su ingreso a la carretera, lo cual supone no reducir la longitud de los carriles más allá de lo que ya han sido reducidas mediante la aplicación del criterio descrito en el ***Numeral 801.04.3.(g).***

TABLA 53: RELACIÓN DE LONGITUD DE CARRILES DE ACELERACIÓN ENTRE VÍAS EN PENDIENTE Y EN HORIZONTAL

Factores de Corrección Lt (1) en Carriles de Aceleración para Velocidad de Proyecto de la Carretera (Vc) de :							
60		70		80		100 (2)	
Caso pendiente de subida: (%)							
3 - 4	5 - 6	3 - 4	5 - 6	3 - 4	5 - 6	3 - 4	5 - 6
1,30	1,50	1,30	1,60	1,35	1,70	1,40	1,90
Caso pendiente de bajada, Si Vr = 0 (3), de:							
3 - 4	5 - 6	3 - 4	5 - 6	3 - 4	5 - 6	3 - 4	5 - 6
0,50	0,50	0,75	0,65	0,90	0,80	1,00	1,00

(1) Factores se aplican a Lt pero afectan a L_A (L_C - Constante)

(2) L_Y Máximo - 300 m, V_C - 100 sirve para interpolar

(3) si $V_r > 0$ no hay reducciones

Las correcciones por pendiente se calculan sobre el total del valor LT de la ***Tabla 52***, pero la longitud adicional o la que haya que deducir, como resultado de la aplicación de los coeficientes que correspondan al caso, afectan sólo a la dimensión LA, permaneciendo LC fijo, aunque eventualmente pudiera resultar un LT menor que LC.

En la ***Tabla 54*** se entrega las longitudes de LT resultantes de aplicar los factores de la ***Tabla 53*** a las longitudes LT provenientes de la ***Tabla 52***.

TABLA 54: LONGITUDES LT (M) DE CARRILES DE ACELERACIÓN APLICANDO FACTORES DE PENDIENTE

i (%)	VELOCIDAD DE PROYECTO (km / h)															
	60			70			80 (1)					100 (2)				
	Vp Ramal (km/h)			Vp Ramal (km/h)			Vp Ramal (km/h)					Vp Ramal (km/h)				
	0	30	40	0	30	40	0	30	40	50	60	0	30	40	50	60
3 a 4	130	98	65	195	156	130	300	270	242	189	135	420	420	420	385	350
5 a 6	150	113	75	240	192	160	300	300	300	238	170	570	570	570	523	475
0	100	75	50	150	120	100	240	200	180	140	100	300	300	300	275	250
-3 a -4	50	38	25	113	90	75	216	180	162	126	90	300	300	300	275	250
-5 a -6	50	38	25	98	78	65	192	160	144	112	80	300	300	300	275	250

(1) L_t Máximo - 300 m. Valores superiores a 300 m han sido reducidos a este minimo (Negrita).

(2) Valores Calculados para V_c - 100 sirven para interpolar

En el ***Gráfico 57 VÍAS DE CAMBIO DE VELOCIDAD (Anexo III)*** se muestra los puntos singulares de los carriles de aceleración en los que se debe tener anchos de pavimentos normalizados. En C se tiene el ancho final de la cuña (c), que deberá ser de 1 m, con el fin de hacer utilizable la zona de cuña en una extensión mayor y para evitar roturas de la misma en pavimentos rígidos debido a su menor sección y circunstancias constructivas desfavorables.

En el punto B, inicio de la cuña, se debe tener el ancho total del carril (b). En recta este ancho es por lo general de 3,5 m, pero puede rebajarse a 3,0 m si el tránsito en el ramal es de poca importancia. Si el carril fuera proyectada en una curva que requiere un sobreancho e, el ancho b se modifica en igual medida e.

La transición de borde de la cuña, desde c = 1 m hasta b se hace mediante una curva de transición. El valor del ancho variable y, en función de la distancia "*x*" desde el comienzo de la transición (B o B'), se obtiene de la Tabla incluida en el ***Gráfico 58 PISTAS DE ACELERACIÓN,*** multiplicando la diferencia de anchos (b - c) por el factor F indicado.

En el punto de tangencia A, que puede ser o no el comienzo de la zona de aceleración, según lo ya dicho, se debe tener un ancho a que depende de las características del ramal. Si no existen curvas de acuerdo entre la zona de aceleración y la curva circular propia del ramal (o sea, que en A empalma tangencialmente la curva cuyo radio define la Velocidad de Proyecto del ramal, lo que hace que LT se mida a partir de este punto), entonces a debe ser el ancho de pavimento que corresponde a dicho radio, según la ***Tabla 51***. Si este valor de a es superior a b, la disminución (a - b) se consigue teniendo en cuenta este hecho en el momento de la definición del borde derecho del ramal (en el sentido del avance de los vehículos), e imponiéndose las condiciones de tenerse el ancho a en AA' y el ancho b a una distancia de A que no sea superior a 20 veces el valor (a - b). Si la zona de deceleración fuera de longitud nula dicho trazado del borde derecho empalmaría tangencialmente en A con una separación a de tal modo que la cuña pueda continuarse a partir del mismo punto.

Si en A terminara una curva circular, acuerdo entre la curva característica del ramal y este punto de empalme, a debe ser el ancho que corresponde al valor del radio de curvatura de dicha curva de acuerdo según la referida ***Tabla 51***. Este ancho a será por lo general superior a b, y la transición desde b a a se hará igual que en el caso anterior.

Se debe tener en cuenta que puede ser necesaria, además, una transición desde el ancho del ramal, en su zona de curvatura máxima, al ancho de la curva circular de acuerdo, o que, si se estuviere en el Caso II de la ***Tabla 51***, podría precisarse una transición desde su ancho correspondiente hasta el ancho del Caso I.

Si en A termina una clotoide, a = b y el aumento de ancho entre A y el primer punto de curvatura máxima del ramal, que se producirá al comienzo de dicha clotoide, se logra linealmente a lo largo de esta última.

Si L_A = 0, a coincide con b.

801.04.3.(g3) Carriles de deceleración

En el ***Gráfico 59 PISTAS DE DECELERACIÓN CASO I: DIRECTA y Gráfico 60 PISTAS DE DECELERACIÓN CASO II: EN PARALELO (Anexo III)*** se determinan los tipos de carril de deceleración que se contemplan, distinguiéndose dos tratamientos distintos según las características geométricas del ramal.

Caso I: existe curva de acuerdo de longitud ≥ que LD.

Este primer caso ***(Gráfico 59 PISTAS DE DECELERACIÓN CASO I: DIRECTA Anexo III)*** corresponde a la geometría considerada mejor para estos dispositivos, o sea, cuando se puede hacer incidir el ramal sobre la carretera con un ángulo θ que haga claramente perceptible su función.

En este caso, dicho ángulo θ es el subtendido por las tangentes a los bordes de calzada del ramal y de la carretera en su punto común B. Cuando el trazado de los ramales no corresponda al caso de los mínimos absolutos, se debe cuidar que θ no exceda los valores de la ***Tabla 55***.

TABLA 55: ÁNGULO Θ DE INCIDENCIA DE CARRILES DE DECELERACIÓN SEGÚN V

Vc (Km./h)	< 60	60	70	80	90	100	110	120
Θ (g)	12,0	10,0	8,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

Si el eje de definición geométrica es el borde derecho del ramal (en el sentido de avance de los vehículos), AB' será, en el ***Gráfico 59,*** parte de una alineación (recta, curva circular o clotoide) que cumpla:

- Que AB ≅ AB' = LC (largo de la cuña)
- Que produzca en B' una separación del borde de la carretera (B'B) igual al ancho a inicial y mínimo del carril de deceleración (3,0 m - 3,5 m)
- Que θ sea igual o inferior al valor que le corresponda según la ***Tabla 55,*** y que en lo posible se produzca tangencia en A

Si el eje de definición es el borde izquierdo del ramal, se debe cumplir con:

- Que θ sea igual o inferior al valor que le corresponda según la ***Tabla 55***
- Que el borde derecho, entre B' y A, sea resuelto mediante un trazado continuo que se adapte a la marcha de los vehículos: arco de círculo, recta, clotoide o combinaciones de ellas
- Que tal borde, entre B' y A, sea tangente, en B', con una paralela a dicho eje, trazada a 3,0 - 3,5 m a la derecha del mismo, y
- Que tal borde, entre B' y A, sea también tangente al borde de la calzada de paso en el punto A, siempre que tal cosa sea posible.

La longitud total de un carril de deceleración (LT) es la suma de dos longitudes: LC y LD. LC es el largo de la cuña o zona de transición (A B ≅ A B' en el Gráfico), que depende de la Velocidad de Proyecto de la Carretera y cuyos valores son los que aparecen en la ***Tabla 56***.

TABLA 56: Lc SEGÚN Vc

Vc (km/h)	50	60	70	80	90	100	110	120
Lc	50	55	60	70	80	85	90	100

Para fines del cálculo de la longitud de deceleración LD, se supone que al final de la zona de cuña (BB'), el vehículo que usa este dispositivo de cambio de velocidad ha disminuido la suya hasta una fracción de VC (igual a FV), que aparece, en función de la misma VC, en la ***Tabla 57***.

Los valores de FV disminuyen a medida que aumenta la velocidad en la carretera; en parte porque LC es mayor y en parte porque cualquier maniobra de deceleración, sea ésta hecha aún dentro de la calzada principal o una vez dentro de la cuña, produce efectos mayores (y no lineales) en la medida que dicha velocidad inicial aumenta.

TABLA 57: Fv SEGÚN Vc

Vc (km/h)	50	60	70	80	90	100	110	120
Fv	0,70	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60

L_D se calcula a partir de la expresión:

$$L_D = \frac{(Fv \cdot Vc)^2 - Vr^2}{26\,(d - i/10)}$$

Donde:
F_V: es el coeficiente de la ***Tabla 57***
V_C y Vr: son las velocidades de proyecto (Km/h) de carretera y ramal, respectivamente
d: es el valor de la deceleración media, que en este caso se hace igual a 2 m/s^2
i: es la inclinación del carril en % (positiva de subida y negativa de bajada

Los valores L_D aparecen graficados en los ***Gráficos 59 y 60***, para las velocidades específicas de carretera que van desde 60 Km/h hasta 120 Km/h, considerando distintas velocidades de proyecto de los ramales, y para distintas inclinaciones longitudinales de los carriles.

L_D, en este caso, se mide desde BB' hasta CC'. Se observa que esta dimensión BC ≅ B'C', en el caso más afinado, será igual a BD ≅ B´D´, que es el largo de la curva de acuerdo; puesto que al final del carril de deceleración (CC') ya se puede tener la velocidad correspondiente a la curvatura limitante del ramal. Se hace notar también que el radio de una curva circular de acuerdo, en caso de ser ésta preferida a una clotoide, debe ser compatible con la velocidad en BB' (F x VC). En el ***Gráfico 59*** se muestra los puntos singulares de estos carriles en los que se deben tener anchos de pavimentos normalizados:

- Si B'C' (o BC) es parte de una clotoide: a = 3,50 m
- Si BC es una curva circular de acuerdo que requiere un sobre ancho E1: a = 3,50 m + E1
- En DD' se debe tener el ancho de ramal que corresponda según la ***Tabla 51***. Los aumentos de ancho E2 con respecto al ancho del ramal en a se dan a lo largo de la curva de acuerdo.

Caso II: la curva de acuerdo es menor que LD o no existe.

Este caso obliga a un carril de deceleración en paralelo y se produce frecuentemente por las limitaciones de espacio que condicionan a estos diseños.

Si se proyecta un carril de deceleración de este tipo, θ ≅ 0, o sea, el ramal debe empalmar tangencialmente con el borde de la calzada de paso ***(punto C en Gráfico 60)***.

La cuña es igual que en el Caso I, sólo que ahora se inicia con un ancho de 1 m, con el fin de compensar el efecto de la maniobra de curva - contracurva que por lo general hace desaprovechar la zona de cuña, y para hacer más visible dicho inicio. El borde derecho se define igual que en el caso del carril de aceleración, según los valores de la Tabla incluida en el ***Gráfico 60***, considerando en B un ancho b = 3,5 m + E. Los valores de L_C, así como los de L_D, son los que aparecen en la ***Tabla 56*** y en los ***Gráficos 59 y 60***, respectivamente, pues son los mismos que para el primer caso.

Ahora, la longitud BC = B'C' (o ≅ B'C' en caso de curva), que se desarrolla en paralelo a la carretera, será la necesaria para conseguir una longitud L_D antes del inicio de la curva limitante del ramal (DD'). Si no existe curva de acuerdo, la totalidad del carril de deceleración transcurrirá en paralelo.

Si C'D' (ó CD) es una clotoide: a = b = 3,50 m (+ E1), y la transición de ancho requerida para llegar al valor d, ancho propio de la curvatura del ramal ***(Gráfico 60)*** se hace a lo largo de dicha clotoide, progresivamente.

Si C'D' (o CD) es una curva circular de acuerdo que requiere un sobreancho E2: a = b + E2 y el aumento de ancho se da haciendo las mismas consideraciones expuestas para el caso del carril de aceleración en paralelo.

801.04.3.(g4) Carriles centrales de deceleración

Se puede diseñar carriles de deceleración para vehículos que giran a la izquierda desde las carreteras principales. Estos carriles se sitúan, por lo general, en el centro de la carretera, entre los carriles de ella (véase excepción en el ***numeral 801.03.3.(c3)*** y el ***Gráfico 47 (inciso C).*** Si el cantero central tiene 4 m ó más de ancho será posible diseñar vías de deceleración aprovechando este espacio sin necesidad de ensanches especiales en la carretera. El ancho mínimo del cantero central será de 6 m.

En el ***Gráfico 63 PISTA DE DECELERACIÓN CENTRAL (Anexo III)*** se muestra un carril de este tipo. Las longitudes L_C y L_D son las de la ***Tabla 56*** y las de los ***Gráficos 59 y 60***, respectivamente. A L_C y L_D hay que sumarle una longitud L_E, o largo de la zona de espera, que depende del número de vehículos por hora que giran y que debe considerarse si existe condición de parada al final de la zona de deceleración, cosa que generalmente ocurre.

Si existe un semáforo en ese punto ***(D en el Gráfico 63)***, L_E estará determinada por el cálculo del largo de las filas de vehículos que esperan en un ciclo, estimando en 7,5 m el espacio promedio requerido por c/u.

Si existe una señal "PARE": LE tendrá el valor que le corresponda de la ***Tabla 58***.

TABLA 58: LONGITUD ADICIONAL EN CARRILES DE DECELERACIÓN PARA ALMACENAMIENTO Y ESPERA DE VEHÍCULOS

Nº Vehículos / hora que giran	30	60	100	200	300
Longitud adicional (m)	8	15	30	60	75

La cuña tiene la forma prevista para los casos I y II del Literal c.

El ***Gráfico 63***, con la Tabla incluida en el ***Gráfico 60*** para calcular y en función de x, indica el trazado que debe darse a esta zona de cuña para ganar un carril en base al espacio disponible en el cantero central. En general es conveniente colocar cordones delineando el cantero central en todo el sector afectado por el carril central, de modo que sea evidente el trazado de ésta y se evite movimientos prohibidos, tales como giros en U en zonas en que no están previstos.

En caminos de dos carriles, o de más de dos carriles sin cantero central de dimensiones adecuadas, será necesario proceder a ensanchar la carretera si se desea disponer de un carril central de deceleración.

El ***Gráfico 64 TRAZADO MÍNIMO CON CANALIZACIÓN PARA GIROS A LA IZQUIERDA CON ENSANCHE DEL CAMINO Y PINTURA (Anexo III)*** muestra un diseño mínimo basándose en islas delineadas mediante pintura en el pavimento. Esta solución requiere un ensanche equivalente al ancho del carril central. Su utilización está supeditada a la seguridad de un buen mantenimiento de las marcas sobre el pavimento.

Una solución similar puede lograrse introduciendo islas delineadas por cordones montables, pero en este caso debe darse al ensanche una mayor dimensión correspondiente al sobreancho que se requiere por efecto del cordón. En lo posible se dispondrá iluminación y siempre existirá la señalización que indique la existencia de la isla artificial.

801.04.3.(h) Cruces a través del cantero central

801.04.3.(h1) Aspectos generales

En carreteras divididas por una faja central o cantero central, las intersecciones obligan a interrumpir la continuidad de ésta para dar paso al tránsito que cruza o que gira a la izquierda, si tales maniobras son posibles. Según sea la importancia de la intersección y del camino de paso, deberá adoptarse distintos diseños que garanticen la fluidez y seguridad de las maniobras.

La pendiente transversal de la zona abierta de un cantero central no debe superar el 5 %.

801.04.3.(h2) Abertura mínima del cantero central en zona de cruce

Ya sea que se trata de una intersección de 3 ó 4 ramales, la abertura del cantero central debe ser a lo menos igual al ancho del camino que la cruza (pavimento más banquinas) y en ningún caso menor de 12 m de ancho. Si el camino que cruza no tiene banquinas la abertura del cantero central será igual al ancho del pavimento más 2,5 m y no menor de 12 m.

Si el camino que cruza también es una doble calzada, la abertura mínima será igual al ancho de las dos calzadas más su cantero central, y no menor que el ancho de los pavimentos más el cantero central más 2,5 m en caso de tener las banquinas un ancho inferior.

801.04.3.(h3) Trazados alternativos para rematar el cantero central interrumpido

En canteros centrales de menos de 3 m de ancho, el remate se ejecuta trazando un semicírculo, lo que da una solución tan aceptable como la que se obtiene en otros trazados que se detallan a continuación.

Si el ancho del cantero central es mayor de 3 m se preferirá el trazado que llamaremos “punta de bala". Consiste en dos arcos de círculo que se inician en el mismo punto de donde nacía el semicírculo básico, y que se cortan sobre el eje del cantero central en un ángulo agudo. Este se redondea mediante una curva de radio 0,50 m ***(ver Gráfico 65)***. Los arcos de círculo de la zona de la "punta de proyectil” son tangentes al cantero central y al eje de la calzada que cruza. Este trazado presenta dos ventajas sobre la forma semicircular en canteros centrales de más de 3 m de ancho.

Requiere menor espacio abierto para acomodar giros o cantero central de igual ancho. Canaliza mejor los movimientos de giro, ya que dirige el tránsito desde su carril al carril correspondiente del camino cruzado, en tanto que el remate en forma de semicírculo permite al tránsito que gira invadir el carril de sentido contrario.

Cuando el cruce es esviado, el remate en forma de proyectil se construye asimétrico, usando un radio de curvatura mayor que el mínimo en los cuadrantes que corresponden al ángulo obtuso que forman los ejes de la carretera. Este trazado da un mejor encauzamiento al tránsito, ya que la prolongación de dicho arco vuelve a ser tangente al eje de la calzada del camino que cruza ***(ver Gráfico 65, inciso B)***.

En canteros centrales muy anchos, mayores de 20 m, o cuando la abertura necesaria resulta de más de 25 m de largo, es conveniente estudiar un remate en forma de punta de proyectil truncado, tal como se indica en el ***Gráfico B, trazo CE***.

801.04.3.(h4) Trazados mínimos para giros a la izquierda

Los giros mínimos a la izquierda a través del cantero central de más de tres metros de ancho, se estudian a partir de la trayectoria que sigue el vehículo tipo, tal como en el caso de giros a la derecha.

No existe en este caso la limitación de ancho del ramal de giro, pues la curva debe darse obligatoriamente en la zona abierta del cantero central, que es suficientemente amplia. Sólo es necesario que, al empalmar con el carril correspondiente del camino cruzado, el vehículo se mantenga dentro de ella sin invadir el carril contrario.

Los radios mínimos que a baja velocidad garantizan una trayectoria adecuada, dejando huelgas de al menos 0,50 m entre las ruedas y los bordes de los carriles son:

- Automóviles (L) R = 12 m
- Camiones y Ómnibus (C) R = 15 m
- Tracto camión con semi-remolque corriente (VA1) R = 18 m
- Tracto camión con semi-remolque especial (VA2) R = 22,5 m

Normalmente un diseño mínimo basándose en el vehículo tipo C es adecuado a la mayoría de los casos en que los vehículos articulados son escasos. Estos podrán efectuar el giro, aunque sin huelga o eventualmente invadiendo en un corto trecho parte del carril contrario.

TABLA 59: CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA ABIERTA EN EL CANTERO CENTRAL PARA CONDICIONES MÍNIMAS DE GIRO A LA IZQUIERDA

Esviaje grados sexagesimales	Ancho cantero central (m)	Abertura en el cantero central dada normalmente al camino que cruza (m)			R1 Caso C asimétrico (m)
		Semi - círculo A	Punta de proyectil		
			Simétrico B	Asimétrico C	
0°	1,00	29,0	29,0		
	2,00	28,0	23,0		
	2,50	28,0	21,0		
	3,00	27,0	19,0		
	6,00	24,0	13,0		
	9,00	21,0	12,0 min		
	12,00	18,0	12,0 min		
	15,00	15,0	12,0 min		
	18,00	12,0	12,0 min		
10°	3,00	32,0	24,5	23,0	21,5
	6,00	28,0	17,5	16,0	18,0
	9,00	24,5	13,5	12,0 min	19,5
	12,00	21,5	12,0 min	12,0 min	19,0
	15,00	18,0	12,0 min	12,0 min	18,5
	18,00	14,0	12,0 min	12,0 min	20,5
20°	3,00	37,0	29,5	27,5	29,5
	6,00	32,5	22,0	19,5	27,5
	9,00	28,5	18,0	14,5	26,0
	12,00	24,5	14,5	12,0 min	24,5
	15,00	20,5	12,0 min	12,0 min	23,0
	18,00	16,0	12,0 min	12,0 min	21,5
30°	3,00	41,0	35,0	32,0	42,5
	6,00	36,5	27,5	23,0	39,5
	9,00	31,5	22,5	17,5	36,5
	12,00	27,5	18,5	12,5	33,5
	15,00	23,0	15,5	12,0 min	30,5
	18,00	18,0	12,0	12,0 min	27,5
40°	3,00	44,5	38,5	36,0	64,0
	6,00	40,0	32,0	27,5	58,5
	9,00	35,0	27,5	20,5	53,0
	12,00	30,0	23,5	15,5	47,5
	15,00	25,0	19,5	12,0 min	42,0
	18,00	19,5	15,5	12,0 min	36,5

* Esviaje medido como el número de grados sexagesimales que separa el camino secundario de la normal al camino principal.

La ***Tabla 59*** resume las características que debe darse a la abertura del cantero central para permitir giros a la izquierda en condiciones mínimas, según sea el ancho del cantero central y el tipo de remate que se utilice: semicírculo, punta proyectil simétrica, punta proyectil asimétrica (radio R1, asociado a él), indicando en este último caso el ángulo de esviaje en grados sexagesimales. Esta Tabla está calculada para el vehículo tipo C; por lo tanto, en los casos de remate "punta de proyectil" se aconseja un radio mínimo de 15 m.

801.04.3.(h5) Trazados por sobre los mínimos para giros a la izquierda

Siempre que sea posible deberá elegirse radios mayores que los mínimos en el diseño de los arcos del remate en "punta de proyectil". Se logra de esta manera una circulación más fluida, y la parte correspondiente al arco de mayor radio puede recorrerse a mayor velocidad que la impuesta por el diseño mínimo.

El ***Gráfico 66 ABERTURA DE CANTERO CENTRAL DE DISEÑO SOBRE LOS MÍNIMOS PARA REMATES EN PUNTO DE PROYECTIL Anexo III*** especifica el diseño que debe adoptarse indicando los elementos necesarios para el replanteo.

La abertura del cantero central queda definida en estos casos por el arco de círculo de radio R = 15 m que aparece en línea punteada en el Gráfico. Si el camino que cruza es una doble calzada, las aberturas indicadas en el ***Gráfico 66*** pueden ser estrechas. En ese caso, el diseñador fijará un valor de L adecuado y a partir de ese dato localizará el centro de la curva de radio R2. En estas condiciones el radio R queda determinado construyendo una circunferencia tangente al eje de la calzada que cruza y al punto de tangencia de R2 con el R2 elegido. Si la intersección presenta esviaje, se requerirá adaptar también los radios R y R2 para lograr una abertura de ancho adecuado.

801.04.3.(h6) Canteros centrales ensanchados para cruces por etapas

En ciertas intersecciones será conveniente que el tránsito del camino secundario pueda cruzar en dos etapas la vía principal. En estos casos el cantero central deberá proveer un ancho suficiente como para servir de refugio. El ancho requerido dependerá del largo del vehículo tipo elegido y por tanto en el sector del cruce será necesario ensanchar el cantero central de acuerdo a los siguientes valores:

- Automóvil: 6,0 m
- Camión u Ómnibus: 13,0 m
- Tracto Camiones: 20,0 m

801.04.3.(h7) Giros en U en torno al cantero central

Esta maniobra no es una práctica recomendable. Sin embargo, hay ciertos casos en que su existencia puede considerarse como un mal menor o bien puede aceptarse para volúmenes muy bajos que en otras circunstancias entorpecen el funcionamiento de una intersección.

Los casos en que puede aceptarse este dispositivo son:

- En carretera con control total de acceso, cuando se dispone para labores del personal de conservación de la carretera, uso de la policía o como lugar de estacionamiento de los vehículos utilizados por ellos. En tales casos el espacio estará cerrado por una cadena u otro dispositivo fácilmente removible por la autoridad, pero no así por el público en general. Las aberturas se construirán regularmente espaciadas a lo largo de la carretera.

- En carreteras con control parcial de accesos, para dar servicio a ciertas áreas de desarrollo marginales a la carretera. Si estas facilidades se dan de acuerdo con un estudio es posible elegir los lugares más adecuados para hacerlo; si esto no se prevé, la presión pública posterior suele obtener aberturas a través del cantero central en mayor número y en peor ubicación.

En relación con cruces a nivel de importancia o enlace, suelen diseñarse aberturas para giros en U a distancias de 400 a 600 m del cruce propiamente tal, ya sea con el objeto de permitir el retorno de aquellos pocos conductores que por desconocimiento de la intersección equivocaron la maniobra, o bien para trasladar algún giro de poca importancia desde el cruce a la abertura para giro en U, eliminándose así algunos puntos de conflicto en el cruce.

Inmediatamente antes de una intersección importante, con el objeto de posibilitar giros en U que de otro modo se darían en la intersección misma, obstaculizando el tránsito que cruza la vía principal. Esta situación es especialmente válida en zonas suburbanas en que el desarrollo lateral es de consideración.

801.04.3.(h8) Ancho del cantero central y tipo de maniobra asociada al giro en U

Para que el giro en U no produzca demasiados trastornos, es necesario que el cantero central tenga un ancho lo mayor posible. El ***Gráfico 64 TRAZADO MÍNIMO CON CANALIZACIÓN PARA GIROS A LA IZQUIERDA CON ENSANCHE DEL CAMINO Y PINTURA Anexo III*** indica los anchos mínimos requeridos según el tipo de maniobra que se esté realizando.

La posibilidad de efectuar las maniobras descritas, con un trazado mínimo según los previstos en el ***Gráfico 64***, puede resumirse como sigue:

TABLA 60: TIPO DE MANIOBRA POSIBLE

Ancho del cantero central (m)	Tipo de maniobra posible en una carretera dividida, de cuatro carriles:	Permite refugio mientras se espera en el cantera central para
18	Permite a todos los vehiculos girar en U, prácticamente de carril interior a carril interior opuesto	Todos los vehiculos
12	Permite a los automoviles girar en U de carril interior a carril interior, y a algunos camiones de carril exterior a exterior, los grandes camiones ocupan parcialmente la banquina	L y C
9	Permite a los automoviles girar de carril interior a carril exterior, y a los camiones con utilización de ambas banquinas	L y C
6	Permite a los automóviles girar de carril exterior a carril exterior o de carril interior a la banquina. Es imposible el giro de caminos	L

Cuando no pueda disponerse del ancho necesario en el cantero central y el giro en U sea importante, se recurre al empleo de otros trazados excepcionales, tales como los indicados en el ***Gráfico 67 APERTURAS DE CANTERO CENTRAL, TRAZADOS MÍNIMOS PARA GIROS EN "U" Anexo III***.

801.04.3.(h9) Aplicación de los trazados para canteros centrales abiertos a las islas divisorias en intersecciones

Todas las recomendaciones expuestas en los Párrafos anteriores para el trazado de canteros centrales abiertos son de aplicación en el caso de islas de separación de sentidos en carreteras importantes, ya que en definitiva estas últimas pueden considerarse como un cantero central que se introduce con carácter discontinuo en tales carreteras.

801.04.4 TRAZADO EN PLANTA DE ISLAS Y CARRILES CANALIZADOS

801.04.4.(a) Aspectos generales

Una isla es una zona bien definida, situada entre los carriles de circulación y destinada a guiar el movimiento de vehículos o a servir de refugio para peatones. Dentro de una intersección un cantero central

u otra separación, se considera como una isla. No es necesario que las islas tengan presencia física como tales; pueden ser desde una zona delineada por cordones elevados hasta un área limitada por marcas pintadas sobre el pavimento.

Las islas se Incluyen en el trazado de intersecciones canalizadas por una o más de las siguientes razones:

- Separación de conflictos
- Control del ángulo de conflicto
- Reducción de áreas excesivas pavimentadas
- Regulación del tránsito e indicación del uso debido de la intersección
- Trazado para favorecer los movimientos de giro predominantes
- Protección de peatones. Instalación de señales de tránsito. Necesidad de puntos de referencia
- Prohibición de determinados movimientos
- Control de velocidad

Las islas son generalmente de forma alargada o triangular, y sus dimensiones dependen del trazado particular de cada intersección. Deben situarse y diseñarse de manera que ofrezcan mínimo peligro a los vehículos y sean de construcción y conservación poco costosa.

801.04.4.(b) Tipos de islas

801.04.4.(b1) Aspectos generales

Las islas pueden agruparse en tres clases principales, según su función:

- Islas divisorias que sirven para separar sentidos de circulación iguales u opuestos
- Islas de canalización o encauzamiento, diseñadas para controlar y dirigir los movimientos de tránsito, especialmente los de giro
- Islas refugio que sirvan para proporcionar una zona de refugio a los peatones

La mayoría de las islas que se emplean en intersecciones combinan dos o todas estas funciones.

801.04.4.(b2) Islas divisorias

Este tipo de isla se emplea con frecuencia en carreteras sin división central, para avisar a los conductores de la presencia de un cruce y para regular el tránsito a través de la intersección. Son particularmente ventajosas para facilitar los giros a la izquierda en intersecciones en ángulo oblicuo y en puntos donde existan ramales para giros a la derecha.

Ejemplos de islas de este tipo se indican en el ***Gráfico 69 TIPOS Y FORMAS GENERALES DE ISLAS Anexo III***, donde las islas indicadas con las letras c, d, e y f dividen sentidos opuestos de circulación y las indicadas con las letras b y h separan corrientes de tránsito de igual sentido. La isla b separa un carril central especial para giros a la izquierda y la h separa de los carriles normales de tránsito de la vía, un pavimento adyacente para uso de servicios locales.

En carreteras secundarias, aunque sean de tránsito moderado, es conveniente disponer una isla del tipo del ***Gráfico 69 TIPOS Y FORMAS GENERALES DE ISLAS Anexo III***. Esta isla evita que los vehículos que cruzan o se incorporan a la carretera principal, utilicen el carril contiguo a la suya o efectúen maniobras falsas en sentido de circulación prohibida, sobre todo en aquellos lugares donde los conductores no están acostumbrados a la presencia de intersecciones canalizadas. Donde haya garantía de un buen funcionamiento, dicha isla puede sustituirse por una línea central continua pintada sobre el pavimento.

Cuando en las proximidades de una intersección se introduce una isla divisoria en la carretera principal, a manera de cantero central, la transición desde la sección normal de la carretera debe hacerse suavemente, sin que obligue a movimientos bruscos de los vehículos. También debe cuidarse la señalización y visibilidad de la isla, sobre todo en la noche, ya que pueden producir accidentes.

Para carreteras con intensidad media diaria superior a 2.000 vehículos, debe dejarse dos carriles de ancho normal, como mínimo, para cada sentido de circulación. Con intensidades menores, los anchos de pavimentación deben ser los del caso II de la ***Tabla 51*** (1 carril de un solo sentido con previsión para adelantar a un vehículo momentáneamente parado).

Si la isla se introduce en una alineación curva, pueden combinarse distintos radios en los bordes del pavimento para conseguir la transición a la sección deseada. Si es en una alineación recta, la transición puede efectuarse intercalando en el trazado una curva y una contracurva seguidas, sin tramo recto intermedio. Para intensidades medias diarias importantes y Velocidad de Proyecto superior a 80 km/h, los radios de estas curvas deben ser mayores a 1.700 m. Para velocidades más bajas pueden reducirse hasta 850 m, y en casos extremos, hasta 600 m. La fórmula que da la longitud L del tramo de transición desde la sección sin isla hasta la sección con separación igual al ancho deseado de la isla es:

$$L = \sqrt{Y \cdot (4R - Y)}$$

Donde: R es el radio de la curva y de la contracurva, e Y es la ordenada máxima al final de la transición.

801.04.4.(b3) Islas de canalización o de encauzamiento

Estas islas determinan el recorrido correcto que debe seguir un conductor para efectuar un movimiento específico dentro de la intersección. Pueden ser de diversas formas y tamaños, según las características y dimensiones de la intersección: triangulares, para separar giros a la derecha ***(Gráfico 69 TIPOS Y FORMAS GENERALES DE ISLAS Anexo III, inciso a),*** o centrales, alrededor de las cuales los vehículos efectúan sus giros ***(Gráfico 69 TIPOS Y FORMAS GENERALES DE ISLAS Anexo III, inciso g)***.

Estas islas deben ubicarse de manera que el recorrido correcto sea obvio, fácil de seguir y de continuidad indudable. Deben permitir que las corrientes de tránsito en una misma dirección general converjan en ángulos pequeños y los movimientos de cruce se efectúen en un ángulo cercano al recto.

Las líneas de contorno de estas islas deben ser curvas o rectas aproximadamente paralelas a la trayectoria de los vehículos. Las islas que separan el tránsito que gira del tránsito directo deben tener la parte curva con un radio igual o superior al mínimo que requiere la velocidad de giro deseada. Debe indicarse la presencia de la isla con la debida demarcación en el pavimento, obligando al tránsito que gira a tomar la trayectoria correcta y así evitar maniobras bruscas.

Las intersecciones con múltiples ramales de giro pueden necesitar tres o más islas para canalizar diversos movimientos. Existe una limitación práctica en cuanto al uso de demasiadas islas: un grupo de ellas delineando varios carriles de un solo sentido de circulación puede causar confusión en las trayectorias a seguir. En intersecciones con áreas restringidas puede ser aconsejable, para proveer múltiples ramales canalizados, probar temporalmente diferentes trazados utilizando sacos de arena, para luego elegir aquel que permite una mejor continuidad de flujo de tránsito y proceder a construir las islas definitivas.

El empleo de canalización o encauzamiento es ventajoso donde los movimientos de giro son relativamente importantes, reservándose los trazados sin canalización solamente para intersecciones de carreteras locales de pequeña intensidad de tránsito.

Las islas divisorias en carreteras importantes de alta Velocidad de Proyecto deben tener una longitud mínima de 30 m y preferiblemente de 100 m o más, sobre todo cuando sirven a su vez para la introducción de un carril central de cambio de velocidad y almacenamiento de vehículos. Si no pudieran tener la longitud recomendada deben ir precedidas de un pavimento rugoso notorio, lomadas sobre la calzada o, al menos, de marcas bien conservadas sobre el pavimento. Cuando coincidan con un punto alto del trazado en perfil o del comienzo de una curva horizontal, la isla debe prolongarse lo necesario para hacerla claramente visible a los conductores que se aproximan.

Las islas deben delinearse o delimitarse según su tamaño, ubicación y función. En un sentido físico, pueden clasificarse en tres grupos:

- Grupo (1): Islas elevadas sobre el pavimento, delimitadas con soleras montables, o elevadas si operan como refugios peatonales
- Grupo (2): Islas delineadas por marcas, clavos o barras de resalto sobre el pavimento
- Grupo (3): Zonas no pavimentadas que forman los bordes del pavimento de los distintos ramales Conviene delinear estas islas con postes guías o con un tratamiento de tierra especial en su interior

El Grupo (1) es el más frecuente y de resultados más positivos. En zonas rurales, donde el uso de soleras es poco frecuente, este tratamiento suele limitarse a islas de tamaño pequeño o intermedio.

El Grupo (2) se emplea en zonas urbanas con espacios limitados. En zonas rurales se usan sólo cuando existe garantía de una fácil y buena conservación, o en ciertos casos extremos, cuando la velocidad de acceso a la intersección sea muy alta y la presencia de soleras pueda resultar peligrosa.

El Grupo (3) está reservado a islas grandes en zonas rurales, donde la aplicación de grandes radios supone longitudes excesivas de soleras con el consiguiente encarecimiento del trazado. El interior de las islas debe rellenarse con turba o tierra vegetal. Si es espaciosa, puede plantarse con la condición que no se obstruya la visibilidad.

Cuando las islas son de grandes dimensiones se puede disponer su interior formando una depresión, con el fin de favorecer el drenaje del pavimento, si es que éste presentara dificultades. En islas pequeñas o en zonas poco favorables para el desarrollo de plantas, puede usarse cualquier tipo de tratamiento superficial.

801.04.4.(b4) Delineación de las islas

La delineación de las islas pequeñas se efectúa principalmente con cordones. Las grandes pueden quedar suficientemente definidas por su color y configuración: tierra vegetal, tierra estéril, plantaciones, postes, señales o combinación de todos estos elementos. En zonas rurales los cordones deben ser del tipo montable, excepto donde sea necesario disponerlas elevadas para defensas de estructuras, refugio de peatones, etc. Los cordones deben ser fácilmente visibles para evitar situaciones peligrosas, lo que se consigue con el empleo de pintura reflectante, capta luces, etc. Esto debe tenerse más presente cuanto mayor sea la Velocidad de Proyecto de la carretera que se diseñe.

Las narices o vértices de las islas deben redondearse o rebajarse de nivel por razones de visibilidad y sencillez constructiva. Los lados de las islas que quedan contiguos a los carriles utilizados por el tránsito directo, deben desplazarse en una dimensión que depende del contraste de la isla, longitud de la transición o pavimento auxiliar que la precede, velocidad de circulación, etc. No es necesario dicho desplazamiento referido al borde del pavimento de un ramal de giro, excepto en su vértice de entrada. Este debe desplazarse de 0,60 a 1,20 m. Si se emplean cordones elevados éstos deben desplazarse de todos los bordes del pavimento de los carriles. En el ***Gráfico 70 TRANSICIONES PARABÓLICAS MAS CORRIENTES PARA EL RETRANQUEO DE VÉRTICES DE ISLAS Anexo III***, se indica normas útiles para replantear los desplazamientos de los cordones. Cuando exista una banquina a lo largo de carreteras que se cruzan, es preferible colocar cordones en la línea exterior de la banquina, quedando así un desplazamiento con respecto al borde del pavimento igual al ancho de la banquina.

Las islas deben proveerse de toda clase de dispositivos que avisen su presencia a los conductores que se aproximan, tanto de día como de noche. Las marcas sobre el pavimento, y el uso de pavimentos ásperos, ruidosos o molestos precediendo el vértice de la isla, son prácticas ventajosas en el trazado de intersecciones. Puede emplearse otras señalizaciones, tales como soleras de hormigón blanco, cordones reflectantes o señales localizadas cerca de los vértices de las islas que sean reflectantes o iluminadas.

Hay que evitar que el conductor que llega a una intersección se vea confundido por la visión simultánea dos o más vértices de islas. En tales casos es conveniente adelantar o retrasar la posición de ciertas islas.

En carreteras de circulación rápida debe aumentarse aún más las precauciones ante la aproximación de las islas. Esto puede conseguirse mediante el empleo de molduras de hormigón que transforma paulatinamente la línea pintada sobre la calzada en isla, como se detalla en el ***Gráfico 71***. La longitud de la transición es función de la velocidad, pudiendo llegar a los 100 m o más.

En el ***Gráfico 71 DETALLES DEL TRAZADO PARA ISLAS Anexo III***, se muestra otro ejemplo de un caso típico de transición de una carretera normal con dos carriles de circulación a una sección de dos calzadas separadas con dos carriles en cada sentido.

Todas las precauciones indicadas anteriormente pueden no ser necesarias ante islas secundarias situadas en una intersección con múltiples islas; basta tomarlas únicamente con aquéllas que aparecen primero al tránsito que se aproxima a la intersección.

801.04.4.(c) Diseños para terminales de los ramales de giro

801.04.4.(c1) Aspectos generales

Se llama "Terminal" de un ramal de giro a la zona donde éste empalma con la calzada de paso. Se puede considerar dos tipos de terminales: de salida y de entrada.

Se llama terminales de salida a la zona donde un ramal de giro se separa de la calzada de paso por la que circulan los vehículos que han de ingresar al ramal.

Se llama terminales de entrada a la zona donde un ramal de giro se junta con la calzada de paso a la que se dirigen los vehículos provenientes del ramal.

En ambos casos debe diseñarse la nariz de la isla de canalización, que para el caso de terminales de salida se denomina nariz divergente y para el caso de terminales de entrada se denomina nariz convergente. El diseño de las narices de las islas de canalización se lleva a cabo aplicando los principios ya descritos en el diseño de islas, complementados por otros aspectos de diseño y operación de tránsito.

801.04.4.(c2) Terminales de salida

La salida desde una carretera, que puede ser auxiliada por un carril de cambio de velocidad, debe tener la nariz divergente retranqueado del borde del pavimento de la vía principal, para evitar que sea golpeada por el tránsito que se aproxima ***(Gráfico 72 DISEÑOS PARA TERMINALES DE SALIDA inciso A Anexo III).*** Precediendo la nariz, va una zona pavimentada en forma de huso, pintada o con resaltos o lomadas, que permite a los conductores que inadvertidamente entren en esta zona corregir su rumbo y tomar la trayectoria correcta. Se le llama "carril de recuperación". Es preferible que la nariz divergente esté delineada con cordones montables para una mejor visibilidad. En caso que esto no se haga, siempre debe hacerse el retranqueo y pavimentar el huso ante ella. La nariz debe redondearse con un radio de 0,6 a 0,9 m.

El retranqueo C en el inciso A del ***Gráfico 72 DISEÑOS PARA TERMINALES DE SALIDA Anexo III***, depende de la longitud y forma del huso pavimentado que la precede. Para el caso de una salida direccional, según se muestra con línea llena, se usa un desplazamiento de 1,2 a 3,6 m. Dentro de este rango, la elección de un retranqueo específico es materia del buen juicio del diseñador, al suponer diferentes trayectorias de los vehículos de un trazado a escala del ramal. En casos donde la canalización tiene limitación de espacio y los radios de curva sólo permiten velocidades bajas, pueden aplicarse retranqueos de 0,6 a 1,2 m. Para el caso eventual de tenerse un carril de deceleración en paralelo, según se muestra en el mismo Gráfico con línea de puntos, el desplazamiento C debe ser igual al ancho de este carril o bien 3,0 a 3,6 m.

Cuando la carretera principal tiene una banquina estabilizada o pavimentada que continúa más allá de la nariz divergente, el retranqueo C corresponde al ancho de la banquina. Las eventuales correcciones de rumbo se llevan a efecto sobre la banquina ***(Gráfico 72 inciso B).***

El tratamiento de la nariz divergente, con respecto al borde del pavimento del ramal de giro, consiste en la aplicación de un redondeo circular, con radio de 0,6 a 0,9 m. Esto es satisfactorio para la mayoría de los diseños del tipo indicado en los incisos A, B y C del ***Gráfico 72***. A medida que la importancia del ramal de giro aumenta, pueden usarse desplazamientos hasta de 1,8 m o más, según aparece en el diseño del inciso D del mismo Gráfico.

La longitud Z, que se muestra en el ***Gráfico 72*** debe ser suficiente para permitir a un conductor que erróneamente haya desviado a la derecha, corregir su rumbo y volver a la carretera principal. Esta longitud aparece tabulada en la ***Tabla 61*** para diferentes velocidades de proyecto de la carretera principal.

TABLA 61: LONGITUD DE TRANSICION (Z) PARA HACER DESAPARECER EL CARRIL DE RECUPERACIÓN

Velocidad de Proyecto carretera principal km/h	Z = longitud por metro de desplazamiento de la nariz divergente (C)
50	7
60	9
80	11
90	13
110	15
120	16

A lo largo de la distancia Z, la transición desde el desplazamiento C hasta un ancho nulo se hace linealmente con respecto al borde de la calzada.

801.04.4.(c3) Terminales de entrada

En terminales de entrada la nariz convergente de la isla de canalización debe ser lo más pequeña posible. En el caso que se empleen cordones, la nariz debe redondearse en un radio de 0,30 a 0,45 m. Cuando no se usan cordones, los correspondientes bordes del pavimento deben converger y cortarse en un ángulo agudo. Siempre que sea posible, el borde del pavimento del ramal debe alinearse casi paralelamente con la carretera principal.

Cuando la canalización tiene limitación de espacio, el largo y radio del ramal de giro pueden no ser suficientes para obtener el "casi paralelismo" con la carretera principal. En estos casos la nariz convergente de la isla de canalización es la simple intersección de los bordes del pavimento, redondeada o cuadrada a una dimensión práctica.

Cuando el tránsito converge hacia la carretera principal a alta velocidad y siempre que sea posible, es deseable realizar ajustes de alineación y/o de ancho en el Terminal de entrada.

El ***Gráfico 73 inciso A***, muestra el trazado típico de una Terminal de entrada con carril de aceleración, de tipo paralelo (línea de trazos). Si el pavimento del ramal corresponde al caso I de la ***Tabla 51***, éste se mantiene uniforme hasta la nariz convergente (en el ***Gráfico 73*** se designa con w1). Si el ancho de pavimento corresponde al caso II de la misma Tabla, (w2 en el ***Gráfico 73***), éste preferiblemente debe estrecharse en la nariz al ancho w1 para evitar que los vehículos entren abiertamente a la carretera, obligándolos

así a hacer uso de un solo carril después de la nariz.
Este estrechamiento se lleva a cabo ajustando preferiblemente el borde izquierdo del ramal, pero también puede hacerse ajustando el borde derecho ***(ver numeral 801.04.3.(g2).***

El estrechamiento de ancho del pavimento debe comenzarse gradualmente con anterioridad a la nariz convergente en una longitud (F) que permita a los conductores acomodar lateralmente su rumbo a medida que se acercan al punto más angosto. En la ***Tabla 62*** se indica las longitudes mínimas en que debe realizarse el estrechamiento del pavimento en terminales de entrada, en función de la Velocidad de Operación y de la reducción de ancho.

TABLA 62: LONGITUDES PARA REDUCCIÓN DE ANCHO DE PAVIMENTO EN NARICES CONVERGENTES

Condición	Reducción (m) del ancho del pavimento en:				
	1,2	1,8	2,4	3	3,6
	Requiere una longitud (m) de :				
Mínima	120	180	240	300	360
Deseable	180	270	360	450	540

Mínimos corresponden a velocidades de operación de 36 km/h

Deseables corresponde a velocidades de operación de 48 km/h

La introducción de un carril adicional en la carretera principal a partir del Terminal de entrada **(*Gráfico 73* inciso B)** se justifica en los siguientes casos:

- el volumen de tránsito que se incorpora a la vía principal a través del Terminal de entrada está próximo a la capacidad de un carril
- el volumen de tránsito entrante más el directo sobrecargan la capacidad de la vía principal. En el inciso C del ***Gráfico 73*** se muestra el diseño de dos carreteras de dos carriles cada una que converge a una calzada de tres carriles. Debido a la alta velocidad que este diseño implica, las alineaciones deben formar un ángulo muy agudo, de razón aproximada 50:1, para obtener un estrechamiento gradual de cuatro carriles a tres carriles

Cuando existe banquina pavimentada al lado derecho de la vía principal, se emplean los mismos detalles de diseño analizados anteriormente, excepto que se considera el borde exterior de la banquina en lugar del borde del pavimento.

801.04.5 DEFINICIÓN EN ELEVACIÓN

801.04.5.(a) Aspectos generales

Ya sea que las carreteras que se interceptan se proyecten conjuntamente con su intersección, o que esta última tenga que adaptarse a una o más vías inalterables, siempre se presentará el problema de cómo resolver la elevación de las distintas superficies que ella genera. Es preciso empalmarlas adecuadamente, respetando lo más posible las normas para peraltes y proveyendo las condiciones mínimas para drenarlas.

El problema tiende a ser menor en la medida que sea posible retocar las vías confluentes, para adecuarlas en su conjunto según algún criterio simplificador. A continuación se describe las dos maneras en que puede plantearse este asunto, sin perjuicio de su aparición combinada en una misma intersección.

801.04.5.(b) Caso de una plataforma única

801.04.5.(b1) Aspectos generales

Cuando la superficie de la intersección es pequeña y sus varios elementos están próximos entre sí, las elevaciones de dichos elementos se condicionan las unas a las otras, a la vez que dependen rígidamente de las características en perfil de las vías que se cruzan. Esto sucede en las intersecciones mínimas, canalizadas o no, y también en aquellas zonas de las intersecciones amplias en las que se utilicen radios pequeños para algunos movimientos.
En estos casos no es posible asociar a los ejes en planta de cada ramal un perfil longitudinal que sea coherente con las normas y recomendaciones aplicables a ejes que tienen un desarrollo libre considerable, ya que los perfiles resultantes generarían una superficie muy irregular, de difícil definición y propiciatoria de problemas de construcción y drenaje. La situación se resuelve inscribiendo la planta de la intersección en un plano único, que se define según las recomendaciones que siguen, distinguiéndose dos planteamientos distintos.

801.04.5.(b2) Prolongación de superficies existentes

Cuando ello es posible, es recomendable mantener inalterada la sección transversal de las vías principales, adaptando tanto la intersección como las vías secundarias a la necesidad de empalmar coherentemente con las primeras. Esto implica la prolongación de la superficie de sus carriles, con las inclinaciones que en ese punto tienen, hasta cubrir el área necesaria para la intersección.

Se observará que en estos casos no se puede hablar propiamente de peraltes, puesto que las inclinaciones transversales a la marcha de los vehículos son variables, con un valor máximo posible igual al de la línea de máxima pendiente. Por conveniencias del drenaje, esta línea de máxima pendiente deberá tener una pendiente mínima de 1,5 %.

Si la intersección tuviera ramales independientes que se deseara peraltar, esto es posible de hacer sin alterar la punta que aparece entre dichos ramales y la vía de paso (empalmes). Efectivamente, la superficie predefinida, en este caso, terminaría en los bordes izquierdos (en el sentido de la marcha de los vehículos) de los ramales en cuestión, pudiendo las calzadas de ellos, a partir de ahí, inclinarse lo necesario para conseguir su peralte.

En tal circunstancia se debe tener presente que dichos peraltes deben ajustarse a las características transversales de las calzadas con las que dichos ramales empalman, respetando también las normas contenidas en la ***Tabla 63***. Además, debe respetarse las normas relativas a la arista común de la calzada del ramal con la punta de los empalmes ***(Tabla 64)***.

Para una mejor comprensión de este tema, debe estudiarse atentamente el ejemplo del ***Gráfico 74***, donde aparece una intersección tipo "T". Allí se abunda sobre los modos de prolongar las superficies de calzada y se da recomendaciones al respecto.

801.04.5.(b3) Recrecimientos

Cuando no se desea modificar las vías existentes, pero se requiere ampliar la zona de intersección para brindar un mejor servicio, se puede efectuar un recrecimiento de los pavimentos en aquellos puntos en los que se desea ampliar los radios de giro.

Tales ampliaciones serán permitidas, sin una adaptación mayor de la superficie afectada, sólo para conseguir una intersección mínima sin canalizar, en los casos en que tal mínimo no se cumpla. Si estuviese implicada la aparición de islas y canalizaciones deberá procederse según lo especificado en el literal anterior para plataformas únicas.

La elevación de estos recrecimientos se definirá como superficie reglada entre los bordes de los carriles

que delimitan la zona a pavimentar. En el caso que dichos bordes no tuvieran pendiente uniforme, pudiendo por lo tanto existir más de una solución a tal superficie, el reglado deberá hacerse perpendicularmente a una línea próxima a la bisectriz del ángulo que forman los bordes.

Las superficies así generadas deben ser analizadas para asegurar un drenaje conveniente. En caso de producirse pendientes máximas inferiores a 1,5% ó en caso de escurrir las aguas hacia la calzada de manera contraproducente, se podrá deprimir dicha bisectriz. Los dos planos que así se generan en el recrecimiento deben encontrase en una arista redondeada y sus diferencias de pendientes no debería superar el 5%. Como método general se recomienda hacer un plano de la intersección con curvas de nivel cada 0,25 m ó menos, para detectar depresiones que puedan dar origen a charcos de agua, con el consiguiente riesgo de accidentes debidos al "planeo" de los vehículos a altas velocidades.

801.04.5.(c) Caso de eje independiente

801.04.5.(c1) Aspectos generales

Cuando en la intersección están previstos ramales de gran desarrollo, o con velocidades de proyecto superiores a 40 km/h, es conveniente definir ejes longitudinales independientes para dichos ramales. Por una parte, porque las grandes superficies comprometidas pueden no ser susceptibles de ser prefijadas sin considerables movimientos de tierras, y por otra, porque dichas velocidades requieren un perfil longitudinal homogéneo y normalizado.

Además, esta definición es casi siempre posible cuando un ramal tiene un desarrollo importante y no es paralelo y próximo a alguna otra calzada existente, ya que su perfil longitudinal se independiza rápidamente de los condicionamientos que le impone su proximidad inicial a otros elementos del trazado.

De esto se infiere que el perfil longitudinal de un eje de un ramal largo de una intersección, así como los de ramales de enlace, pueden dividirse en partes que requieren un modo de definición distinto.

En efecto, en la zona de los empalmes de un eje con algún otro elemento geométricamente definible de la intersección (bordes de calzada preferentemente), el perfil longitudinal deberá definirse en función de algunos parámetros propios de dichos elementos del empalme.

Una vez fuera de la zona de empalme, o sea, cuando el eje en planta del ramal se encuentra lo suficientemente alejado del carril al que llega o del que sale, el perfil longitudinal se puede definir según sus conveniencias aisladas, respetando los valores pertinentes de esta Guía.

A continuación se dará los valores y las recomendaciones para la ejecución de ambas partes de un eje longitudinal.

801.04.5.(c2) Zonas de empalmes

En el ***numeral 801.04.4.(c)*** se ha tratado el tema de la definición en planta de los terminales de entrada y salida. Allí se presenta normas para el diseño de las zonas involucradas en las maniobras correspondientes, para que las singularidades que ellas constituyen no signifiquen un peligro a los usuarios.

Estas disposiciones definen las zonas triangulares que se producen entre las vías y/o ramales que convergen o divergen, previéndose algunos desplazamientos mínimos de la nariz desde los bordes de los carriles principales y del pavimento de las referidas superficies triangulares o "puntas", que son previas a dichas narices.

Así el perfil longitudinal de un ramal queda condicionado, en la zona de empalme, por las características transversales de la punta y de la calzada de la cual se desprende o a la cual llega, y por las dimensiones de las banquinas correspondientes, si existen.
No es conveniente, por lo tanto, definir dicho perfil en forma independiente de los elementos citados. Si

así se hiciera, la zona de la punta podría resultar con desniveles transversales inadmisibles. Las pendientes transversales de la punta no deben ser superiores al 8%, y la diferencia algebraica de las inclinaciones en las aristas que ella puede generar en sus empalmes con las vías y con los ramales deberá estar limitada por los valores de la ***Tabla 64***. No se permitirá escalones, ni cordones, ni muros de retención que puedan significar un peligro para los vehículos que puedan haber equivocado su maniobra.

En suma, el perfil longitudinal de un ramal en la zona de empalme, o sea, desde que los carriles se empiezan a separar hasta que distan entre sí los anchos dispuestos en el ***numeral 801.04.4.(c)*** para empalmes, deberá deducirse del de la vía predefinida, considerando las pendientes transversales de los carriles involucrados y de la punta adyacente.

En el ***Gráfico 75*** se ejemplifica una situación de este tipo, para un caso en que existen banquinas tanto en la vía principal como en el lado izquierdo del ramal, y con una vía de deceleración directa. El eje de replanteo del ramal será, en esta oportunidad, el borde izquierdo de su calzada (en el sentido de la marcha de los vehículos) y empalmará con el borde correspondiente de la calzada de la vía principal.

801.04.6 DEFINICIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES

801.04.6.(a) Aspectos generales

Una vez definida la planta de la intersección y su elevación, corresponde tratar aquellos aspectos del diseño que tienen relación con las inclinaciones transversales de los elementos dispuestos, respetando las condiciones surgidas de la aplicación de criterios para resolver la elevación de las plataformas, o de los empalmes en caso de ramales.

801.04.6.(b) Relación entre radios y peraltes en función de la Velocidad de Proyecto

Los peraltes en las intersecciones están condicionados, como ya se ha descrito en el ***Numeral 801.04.5***, por las características de su trazado en planta (tamaño de la intersección, desarrollo de los ejes, etc.). Existen casos en los que sencillamente no se puede siquiera hablar de peraltes en ella (intersecciones mínimas), porque las inclinaciones de toda la superficie en la que la intersección se inscribe quedan determinadas a priori por criterios que atienden a la realidad dimensional del dispositivo.

Cuando el trazado en planta lo permite, esto es, cuando un ramal de giro es tal que la inclinación de su superficie no afecta negativamente a otras superficies de rodadura, y además se tiene desarrollos compatibles con las exigencias para transición de peraltes, se debe proveer a dicho ramal de una inclinación transversal que se relacione adecuadamente con su radio de curvatura y con la Velocidad de Proyecto asociada. Esto se consigue aplicando la expresión $R = V^2/127\ (e + f)$ como se instruye en el ***Numeral 801.04.3.(d)***. Los valores de "e" y "f" aplicados son distintos según sea el caso analizado. En la ***Tabla 46*** se tabula los valores que resultan para condiciones de peraltes mínimos y máximos.

Cuando la geometría de la intersección lo permite, los peraltes asignados a las distintas velocidades de proyecto, con sus radios de curvatura asociados, serán los que resultan de considerar que el peralte absorberá 1/4 de la fuerza centrífuga y el factor de rozamiento los ¾ restantes. Con ello, los peraltes que se puede disponer quedan determinados ($f = 3e = 0{,}197\ V^2/R$), con un valor máximo de 8%.

En el ***Gráfico 76*** se grafica los valores de la Velocidad de Proyecto, del radio de curvatura, del peralte y del factor de rozamiento que cumplen las condicione:

$$R = Vp^2/127(e + f) \qquad \text{y} \qquad f = 3e$$

801.04.6.(c) Transición de peralte

El desarrollo del peralte debe iniciarse cuando el ramal de giro haya adquirido un ancho mínimo de 0,5 m. Preferiblemente 1,0 m en los casos en que existe longitud suficiente para lograr el desarrollo total. Con anchos menores el proceso constructivo es engorroso y casi no existe ventaja para la operación, pues los conductores no utilizan este primer tramo del ramal.

Las mismas razones de comodidad y efecto estético que valen para carreteras rigen en el caso de ramales en intersecciones en cuanto al desarrollo del peralte se refiere. No obstante lo anterior, se puede aceptar pendientes longitudinales del borde peraltado, referida al eje (Δ), normalmente mayores que en el caso de carreteras.

La ***Tabla 63*** recomienda las pendientes longitudinales aceptables del borde del ramal respecto a su eje de replanteo, en función de la Velocidad de Proyecto. El ***Gráfico 77*** ilustra cuatro ejemplos de cómo desarrollar el peralte en un ramal de giro según sea el trazado del camino de paso. En cada una de ellas puede observarse que entre los puntos a y b se mantiene en el ramal de giro el bombeo propio del carril de paso y de allí en adelante se desarrolla el peralte deseado. Los cortos espacios disponibles para el desarrollo del peralte, así como la limitación impuesta por la condición que debe cumplir la arista común, obliga a desarrollar parte del peralte en plena curva, aún en los casos que existe carril de cambio de velocidad. Debe sin embargo alcanzarse prácticamente el valor total del peralte elegido alrededor del punto e de los Gráficos en estudio.

TABLA 63: VALORES ADMISIBLES PENDIENTE RELATIVA DE BORDE (Δ %)

Velocidad de Proyecto (km/h)	25 - 30	40	50	60
Pendiente longitudinal máxima normal del borde referida al eje (Δ %)	1	0,8	0,7	0,6
Pendiente longitudinal máxima absoluta del borde referida al eje (Δ %)	1,5	1,5	1,5	1,3

801.04.6.(d) Condiciones de la arista común a la carretera de paso y al ramal de giro

La segunda limitación importante que debe tenerse presente al elegir un peralte dado para el ramal de giro se refiere al ángulo que forman los planos del carril del camino de paso y del carril del ramal. Cuando esta discontinuidad es importante, los vehículos que cruzan la arista en un ángulo muy agudo acusan un efecto desagradable. En el caso de los camiones con carga alta puede eventualmente producirse el vuelco.

La situación descrita se supera manteniendo la diferencia algebraica de las pendientes de cada carril, dentro de los límites indicados por la ***Tabla 64.***

TABLA 64: MÁXIMA DIFERENCIA ALGEBRAICA ACEPTABLE ENTRE LA PENDIENTE TRANSVERSAL DEL CARRIL DEL CAMINO DE PASO Y EL PERALTE DEL RAMAL DE GIRO EN SU ARISTA COMÚN

Vp Ramal (km/h)	Diferencia Algebraica (e camino - e ramal) %
25 - 30	5 - 8
40 - 50	5 - 6
60 o más	4 - 5

801.04.7 INTERSECCIONES ROTATORIAS O ROTONDAS

801.04.7.(a) Aspectos generales

La intersección rotatoria a nivel, llamada rotonda o glorieta, se distingue porque los flujos vehiculares que acceden a ella por sus ramas maniobran al interior de un anillo vial que las conecta. Las trayectorias de los vehículos en el anillo son similares a los entrecruzamientos, razón por la cual el número de puntos de conflicto es menor que en otros tipos de intersecciones.

La operación de una rotonda se basa en la prioridad de paso de los vehículos que circulan por el anillo. Los vehículos que ingresan al anillo lo hacen cuando juzgan que los espacios entre vehículos son suficientes para ello. Esto que hace que dicho anillo no opere como una sucesión de zonas de trenzado, de la manera en que se entiende tales zonas, lo que explica que el cálculo de la capacidad de las mismas no pueda ser abordado como se hace con éstas, sino como se indica en el ***numeral 801.04.7.(f)***.

Las rotondas son especialmente ventajosas si los volúmenes de tránsito de las ramas de acceso son del mismo orden de magnitud, o si los movimientos de giro predominan sobre los de paso. Esto es particularmente así en las rotondas de tres ramas. En el ***Gráfico 78*** se muestra, para este último caso, combinaciones de demandas en la carretera primaria y en la carretera secundaria (la que empalma con el itinerario principal), expresada como Intensidad Media Diaria IMD (Mveh/día). Estas combinaciones aparecen relacionadas con el tipo de diseño más conveniente. El predominio de alguno de los flujos de paso anula tales ventajas, por las demoras que a éste impone la rotonda. En tal caso debe analizarse otra solución.

Hay tres tipos principales de rotondas: normal, mini y doble. Las demás son variantes de este tipo básico: intersección anular, desnivelada o semaforizada.

La rotonda normal tiene una isla central delimitada por cordones y de diámetro superior a 4 m (***Gráfico 79 inciso a)***. Sus entradas son generalmente ensanchadas para permitir la entrada de vehículos por múltiples carriles. El número de ramas recomendado es tres o cuatro. Si el número de ramas es mayor que cuatro, pueden ser mejores las rotondas dobles (inciso D y E del mismo Gráfico).

La mini rotonda tiene una isla central de diámetro entre 1 y 4 m, a nivel o abombada, y sus ramas pueden presentar o no ensanchamientos en sus entradas al anillo. Sólo deben usarse cuando todas las vías confluentes tienen velocidad limitada a 50 km/h. Si la actividad ciclística es intensa, no son recomendables ***(ver incisos B y C del Gráfico 79)***.

Las rotondas dobles son dispositivos compuestos por dos rotondas normales o dos mini rotondas, contiguas o conectadas por un tramo de unión o por una isla alargada delimitada por cordones.

Son útiles para acondicionar intersecciones existentes separando giros a la izquierda opuestos “a la indonesia”; para resolver intersecciones asimétricas o de planta muy esviada, en las que intersecciones convencionales generan desvíos importantes para los accesos y las rotondas normales una excesiva ocupación ***(ver figuras D y E del Gráfico 79)***. También son útiles, con desnivelaciones, para unir carreteras separadas por obstáculos lineales, como ríos, ferrocarriles o autopistas.

Las rotondas a distinto nivel son las que al menos una de sus ramas se conecta con una carretera que pasa a distinto nivel. Las más habituales son las de dos puentes y las de tipo “pesa” o “mancuerna” ***(ver figuras A y B del Gráfico 80)***.

Las intersecciones anulares son rotondas en la que la circulación normal, en sentido único en torno a la isla central, ha sido reemplazada por una circulación en doble sentido, con mini rotondas de tres ramas en cada acceso. Se requiere que los conductores que están en ésta cedan el paso a los que entran, contrariamente a lo habitual. La conversión de rotondas muy grandes en intersecciones anulares resuelve eficazmente problemas de congestión sin reducir la seguridad ***(ver figura C del Gráfico 80)***.

Las rotondas semaforizadas alivian disfunciones de rotondas con exceso de flujos o reparto desequilibrado de la demanda por rama. Los semáforos pueden colocarse en alguna de sus entradas o en todas ellas, y pueden funcionar continuamente o en los períodos donde ellos mejor sirvan a la regulación del dispositivo ***(ver inciso D del Gráfico 80)***.

801.04.7.(b) Ventajas y desventajas

Las principales ventajas de las rotondas se encuentran entre las siguientes:

- Cuando están bien proyectadas y se aplican a los casos donde estén indicadas, hacen que el tránsito circule en forma ordenada y continua, con pocas demoras y gran seguridad
- Su sencillez y simplicidad de funcionamiento facilitan su comprensión por parte de los usuarios
- Los conflictos no son tan agudos y los accidentes que puedan ocurrir no resultan tan severos
- Los giros a la izquierda se facilitan mediante maniobras de convergencia y divergencia aunque las distancias a recorrer sean mayores
- Son la única solución para intersecciones con cinco o más ramas
- Tienen un menor costo que las intersecciones con paso a desnivel que realicen funciones equivalentes, y generan menores costos de mantenimiento que intersecciones semaforizadas
- En carreteras de calzada bidireccional, cuando las posibilidades de adelantamiento son limitadas, una acertada implantación de rotondas puede mejorar la proporción de alineaciones rectas propicias para adelantamientos sin que aumente excesivamente la velocidad
- Es un elemento útil para señalar cambios de funcionalidad o categoría de la carretera, como cambios importantes de sección y capacidad, o el paso de una carretera con enlaces a otra con intersecciones, o el paso de una zona urbana a otra suburbana
- Permite efectuar cambios de alineación bruscos que no podrían lograrse con radios mínimos
- Permiten, en algunos casos, agregar nuevas ramas, y con ello resolver situaciones que de otro modo requerirían soluciones de mayor complejidad
- La forma y dimensiones del terreno ocupado favorece la evolución de la rotonda a enlace
- el impacto ambiental de una rotonda, especialmente intrusión visual y ruido, suele ser menor que el de otros dispositivos, especialmente los enlaces. La isla central es susceptible a proyectos de paisajismo de impacto favorable significativo

Por otra parte, sus principales desventajas son:

- No siempre tienen mayor capacidad que las intersecciones a nivel bien proyectadas y reguladas
- Necesitan más espacio y son generalmente más costosas que las intersecciones a nivel con función equivalente
- No son apropiadas cuando el volumen de peatones o la actividad de transporte colectivo son significativos
- Aumentan las distancias recorridas por los vehículos, aunque pueden disminuir sus tiempos de recorrido

- Hacen perder la prioridad a todas las ramas y por lo tanto la jerarquía vial a carreteras principales, e impone demoras a todos los usuarios

- No se puede ampliar con facilidad y por lo tanto no se adaptan a planes de construcción por etapas

801.04.7.(c) Elementos de diseño de rotondas

801.04.7.(c1) Trazado en planta

El ***Gráfico 81*** muestra un trazado en planta de una rotonda normal. Se destaca allí los factores más relevantes en el diseño de estos dispositivos:

- Trayectoria de los vehículos a través de la rotonda y curvatura de la trayectoria de entrada. Radio mínimo del borde externo a la entrada, entre 6 y 100 m, con un mínimo de 20 m si se prevé vehículos largos
- el ángulo de entrada a la rotonda, que debe estar en el rango de 20 g a 60 g
- Radio mínimo de salida, del orden de 40 m pero no inferior a 20 m
- Ensanchamiento de las ramas de entrada para proporcionar carriles adicionales
- Anchos de los carriles de las ramas de entrada y del anillo

801.04.7.(c2) Trazado de los accesos

La trayectoria de los vehículos a la entrada es uno de los factores más importantes para la seguridad de la circulación, que depende de la inflexión dada a la misma. Un giro inicial de unos 15g basta para advertir la presencia de la entrada, mientras que una limitación del radio de curvatura de la trayectoria a la entrada a un máximo de 100 m asegura una velocidad razonable de ingreso. Contribuye decisivamente al mismo fin el diseño de islas deflectoras en cada acceso, así como también es útil desalinear los accesos hacia la izquierda del centro de la isla central, dejando a dichas islas deflectoras enfrentando el hemisferio izquierdo de la isla central.

Se recomienda añadir al menos un carril adicional en las ramas de entrada, pero no más de dos en accesos de dos carriles y doble sentido de circulación, ni más de cuatro en accesos de más de un carril por sentido. La longitud mínima de estos carriles adicionales debe ser de 25 m en zonas rurales (5 m en ciudad). Los carriles adicionales deben distinguirse, con una anchura mínima de 2,0 m a partir de la mitad de la longitud total del ensanchamiento, la cual no deberá superar los 100 m.

La anchura mínima de los carriles a la entrada debe ser de 2,5 m, pero son preferibles anchos mayores. Tres carriles de 3,33 m son mejores que 4 de 2,5 m.

Las salidas deben tener al menos el mismo número de carriles que las ramas de las carreteras a las que desembocan. Donde sea posible debe proveerse de un carril adicional, que desaparezca por la derecha con un bisel de 1:15 a 1:20. Si la salida tiene pendiente de subida, este bisel debe prolongarse para evitar el efecto de los vehículos lentos en la operación de la rama.

En salidas de un solo carril el ancho mínimo de éstas es de 6,0 m junto a las islas deflectoras, de modo que sea posible adelantar a un vehículo momentáneamente detenido.

Para que la salida resulte fácil, se recomienda que el radio mínimo de su cordón interior sea igual o superior a 40 m (20 m mínimo absoluto, preferible cuando hay peatones).

Las banquinas pavimentadas deben terminar antes del ensanchamiento, para lo cual los cordones propios de las rotondas pueden aparecer antes de las entradas, por fuera de la banquina y reducirse éstas a cero con una transición corta y suave.

801.04.7.(c3) Calzada circular o anillo de la rotonda

Los anillos de las rotondas deben ser de preferencia circulares. El diámetro del borde interior depende del diámetro del borde exterior y del ancho del anillo. Este último debe ser constante y estar comprendido entre el 100% y el 120% del ancho de la entrada más amplia; salvo que el diámetro del borde exterior sea inferior a 36 m, en cuyo caso rigen las dimensiones de la ***Tabla 65.***

Tabla 65: ANCHOS REQUERIDOS PARA EL GIRO DE VEHÍCULOS VA1 EN ROTONDAS NORMALES PEQUEÑAS

Diámetro de la Isla Central (m)	Borde Exterior (m)
4,0	28,0
6,0	28,8
8,0	29,8
10,0	30,8
12,0	32,0
14,0	33,2
16,0	34,6
18,0	36,0

801.04.7.(c4) Carriles segregados para giros a la derecha

Si más del 50% de los flujos que ingresan a una rotonda por una de sus ramas sale por la siguiente, o si ello ocurre con más de 300 vehículos por hora en los períodos punta, se debe plantear el diseño de un carril segregado que permita a dichos vehículos obviar el trámite de ingreso a la rotonda. Esto no debe hacerse si la rama de entrada tiene menos de tres carriles, ni donde existan accesos a la propiedad a lo largo de tales carriles segregados.

El ancho de estos carriles debe mantenerse entre 3,0 m y 3,5 m.

La convergencia entre los vehículos procedentes de un carril segregado para giro a la derecha y los demás que abandonan la rotonda por la rama de salida normal equivalente debe hacerse dentro de los 50 m siguientes a dicha salida, cuando las velocidades aún son bajas, en una longitud mínima de 10 m.

La segregación puede materializarse mediante demarcación, con bloque discontinuos de ancho mínimo de 1,0 m, o físicamente mediante cordones montables o islas.

801.04.7.(c5) Pendiente longitudinal

Las rotondas deben situarse en planos con pendientes no superiores al 3%. Mejor aún en acuerdos convexos. Las pendientes longitudinales deben combinarse con las transversales para asegurar el drenaje superficial de la calzada. Los bordes de la rotonda deben tener, como mínimo, una pendiente longitudinal de 0,65% (mínimo absoluto: 0,5%).

801.04.7.(c6) Pendiente transversal

La pendiente transversal en la calzada anular de una rotonda debe ser mínimo 2%, para asegurar el drenaje superficial. En las entradas puede intentarse peraltes favorables a las maniobras respectivas, pero en el anillo sólo se dispone de una limatesa redondeada uniendo los extremos de las islas deflectoras, o también una que divida el anillo en la proporción 2:1 (con la parte más ancha adyacente a la isla central), o dos limatesas que lo dividan en tres anillos concéntricos de igual ancho.

En el caso de los anillos de rotondas no es aplicable la prohibición de usar contraperaltes para Velocidades de Proyecto inferiores a 60 Km/h. En efecto, considerando que la inclinación transversal del anillo se define por lo general de modo que la evacuación de las aguas lluvias se haga hacia su exterior, se aceptarán los radios límites con un contraperalte de 2% que se citan en la ***Tabla 66***, para los que no se supera los valores aceptados para el coeficiente de fricción transversal.

TABLA 66: RADIOS LÍMITES EN CONTRAPERALTE PARA ANILLOS DE ROTONDAS

Vp (km/h)	25	30	35	40	45	50	55
RLC (m)	30	50	75	110	160	220	290

801.04.7.(d) Aspecto estético del trazado

Un buen aspecto estético de la rotonda debe formar parte del proyecto de trazado de la misma, ya que ayuda al conductor a apreciar la existencia de la intersección y por consiguiente a ajustar su velocidad y trayectoria. Por ejemplo, un contraste en color y configuración con islas cubiertas de hierbas o con plantaciones de grupos de arbustos que destaquen a distancia, avisa al conductor que se aproxima a la rotonda y que necesita reducir la velocidad. La única precaución que hay que tener es que las plantaciones no reduzcan la visibilidad necesaria.

En zonas rurales es ventajoso disponer la isla central como montículo, ya que resulta una manera clara de avisar a los conductores la presencia de una intersección rotatoria, y además, si se sitúa una banquina a la izquierda del pavimento, permite evitar el empleo de soleras en la isla, que a veces suponen un costo excesivo.

801.04.7.(e) Señalización, demarcación de pavimento e iluminación

Las rotondas requieren señales informativas y preventivas, etc., reflectantes o preferiblemente iluminadas. Ellas desempeñan un papel preponderante en la seguridad del tránsito, en especial cuando es necesaria una reducción de velocidad en los accesos.

El empleo de líneas pintadas sobre el pavimento de la rotonda no es conveniente. La superficie pavimentada entre las islas de encauzamiento y los accesos adyacentes, así como las maniobras de convergencia y divergencia funcionan mejor sin los carriles marcados. Estas son muy útiles en los accesos, complementadas con flechas indicadoras, pero deben terminar al final de la isla correspondiente.

Por último es muy importante que las rotondas estén provistas de iluminación, aunque a veces es muy difícil de proveer por encontrarse distantes de una fuente de energía.

801.04.7.(f) Capacidad en rotondas

La capacidad de una rotonda se define para cada rama de entrada. La capacidad de entrada en una rama es el máximo flujo que puede ingresar al anillo de la rotonda desde esa entrada cuando en ella existe una demanda suficiente para causar una cola continua en la rama.

La ecuación recomendada en el apéndice 1 del "Design Manual for Road and Bridges: Volumen 6. Road Geometry, Section 2" (Department of Transport of the United Kingdom, England, 1.992) para predecir la capacidad de una entrada de rotonda, y que es utilizada en el programa "ARCADY" es la siguiente:

$$Q_E = k(F - f_C Q_C)$$

Donde:

Q_E ≡ Flujo de entrada en veq (vehículos equivalentes: 1 vehículo pesado = 2 vehículos livanos)
Q_C ≡ Flujo en el anillo que cruza la entrada (veq)
$k = 1 - 0{,}00347\ (\phi - 30) - 0{,}978\ (1/r - 0{,}05)$
$F = 303\ x_2$ (en rotondas con desnivelaciones se usa $F = 336\ x_2$)
$f_C = 0{,}21\ t_D\ (1 + 0{,}2\ x_2)$ en rotondas con desnivelaciones se usa $f_C = 0{,}294\ t_D\ (1 + 0{,}2\ x_2)$
$t_D = 1 + 0{,}5 / (1 + M)$
$M = \exp\{(D - 60) / 10\}$
$x_2 = v + (e - v) / (1 + 2S)$
$S = 1{,}6\ (e - v) / L'$
e, v, L', S, D, ϕ, r son parámetros geométricos cuyos rangos de validez y definiciones son:

- 3,6 m ≤ e ≤ 16,5 m: ancho de entrada. Se mide desde el punto A en sentido perpendicular al cordón vecino ***(figura I en Gráfico 82)***

- 1,9 m ≤ v ≤ 12,5 m: semiancho de la rama del caso. Se mide antes del inicio del ensanche, desde la línea central de la calzada (o desde el borde interior de la calzada correspondiente si se tiene doble calzada) hasta el cordón exterior, en sentido perpendicular ***(figura I de el Gráfico 82)***

- 1,0 m ≤ L' ≤ ∞ m: largo promedio de ensanche efectivo. Se determina como se muestra en ***la figura II del Gráfico 82***: La línea GFD es una paralela a la línea central HA (o borde de calzada) a la distancia v de ésta; BA es la línea a lo largo de la cual e es medido, perpendicular a GBJ y por lo tanto a la distancia (e – v) de B. La línea CF es paralela a BG (cordón vecino) y a una distancia (e – v) / 2 de ella. Normalmente la línea CF es curva y su longitud (L') se mide a lo largo de esa curva

- 0,0 ≤ S ≤ 2,9: agudeza del ensanche. Es medida de la tasa a la cual el ancho extra se desarrolla en el ensanchamiento de la entrada.

- 13,5 m ≤ D ≤ 171,6 m: diámetro del círculo más grande que pueda inscribirse dentro de la rotonda ***(figura I del Gráfico 82)***. Si el trazado es asimétrico se toma el valor local en la región de la rama analizada.

En el caso de una doble rotonda se procede como señala ***la figura III del Gráfico 82***.

- 0,0º ≤ ϕ ≤ 77º: ángulo de entrada. En rotondas con distancias entre ingresos y salidas sucesivas de unos 30 metros, este ángulo se determina según lo señalado en las ***figuras IV y V del Gráfico 82***. La ***figura IV del Gráfico 82*** muestra el caso en que el tramo del anillo entre ramas es aproximadamente recto: AD es paralela a los bordes de este tramo, "A" es el mismo de la ***figura I del Gráfico 82*** y "D" es el punto más cercano a "A" de la isla (elevada o pintada) de la siguiente rama. La ***figura V del Gráfico 82*** muestra al caso en que el tramo entre ramas es curvo o claramente no paralelo: A'D' reemplaza en este caso a la recta o casi recta AD. En ambos casos la línea BC es tangente a la línea EF (línea medianera entre la solera exterior y el borde opuesto de la entrada, que para este efecto continúa por el borde de la isla de la misma rama, sea ésta elevada o pintada), en el punto en que ésta corta la línea de cesión de paso en la entrada. El ángulo ϕ es el ángulo agudo entre las líneas BC y AD de la ***figura IV del Gráfico 82***, y en la ***figura V del Gráfico 82*** es el ángulo agudo entre las líneas BC y la tangente a A'D' en el punto en que BC y A'D' se cortan.

- Para toda otra rotonda ϕ se determina de la manera que se muestra en la ***figura VI del Gráfico 82***. La línea BC es la misma de las figuras IV y V. La línea GH es la tangente a la línea JK (línea medianera, en la salida siguiente, entre la solera exterior y el borde opuesto de la entrada, que para este efecto continúa por el borde de la isla de la misma rama, sea ésta elevada o pintada), en el punto donde esta línea corta el borde exterior del anillo. BC y GH se interceptan en L. El ángulo ϕ queda definido entonces como ϕ = 90º (ángulo GLB)/2, cuando este último término es positivo, y ϕ = 0º cuando es negativo. El ángulo GLB se mide por el exterior de la rotonda: por el lado que se opone a la isla central.

- 3,4 m ≤ r ≤ ∞ m: radio de entrada. Es el radio de curvatura mínimo de la solera próxima a la entrada, como se muestra en la ***figura I del Gráfico 82***. En algunos diseños el arco de radio mínimo se extiende hasta la salida siguiente, pero esto no es relevante mientras la mitad o más de la longitud del arco se encuentre en la región de la entrada.

801.05 ENLACES

801.05.1 ASPECTOS GENERALES

801.05.1.(a) Definición de enlace

Se llama enlace a un dispositivo vial, que resuelve el encuentro o cruce de dos o más vías mediante el paso a distinto nivel del tronco central de algunas de las vías confluyentes.

Se distinguen dos grupos principales:

- Sin solución de parada o enlaces puros, cuando resuelven el encuentro y cruce de vías a distinto nivel sin que se produzcan cruces de trayectorias ni puntos de parada de alguna de las corrientes de tráfico rodado.

- Con solución de parada o enlaces parciales, cuando disponiendo de elementos a más de un nivel, exigen la solución a nivel de algunos cruces entre trayectorias vehiculares, lo que puede exigir la parada de alguna corriente circulatoria.

Dentro de cada uno de estos dos grandes grupos, se distinguen muy diversos tipos, en función del número de ramales confluyentes, 3 o 4 generalmente, la morfología utilizada, el número y niveles de las estructuras, la regulación, etc.

Dentro de los enlaces puros, los tipos más frecuentes son:

- Entre los de cuatro ramales: trébol, trébol parcial, niveles múltiples, omnidireccionales, etc.
- Entre los de tres ramales, destacan los de tipo trompeta y los de tipo T direccional

Dentro de los enlaces con alguna condición de parada, los tipos más frecuentes son:

- Entre los de cuatro ramales, los de tipo diamante, a los que se puede agregar estructuras adicionales. Los puntos de parada pueden regularse mediante intersecciones convencionales, rotondas desniveladas, dobles rotondas o semáforos, dependiendo de las intensidades de tráfico y el suelo disponible
- Los enlaces de tres ramales con condición de parada son poco frecuentes, pero, pueden ser necesarios en condiciones de sección muy restringida

Los enlaces se encuentran compuestos por estructuras desniveladoras y ramales de interconexión, llamadas también ramales de enlace, que permite el intercambio de vehículos entre dos o más vías. La característica principal de un enlace es que no se dan en conflictos de cruce franco entre los tránsitos de paso directo de una y otra carretera.

Para ello, en la zona de enlace existe una serie de elementos que pueden dar servicio a parte o a la totalidad de los movimientos de cambio de dirección, encauzándolos y dirigiéndolos en forma segura, limitando lo menos posible la capacidad de las vías en los sectores involucrados.

Los conflictos previstos en un enlace, descartando dicho cruce franco, son:

- El inherente a las maniobras de trenzado entre vehículos con orígenes y destinos distintos
- El de ingreso a una calzada principal, desde un ramal, cediendo el paso
- El de ingreso a una calzada principal desde un ramal con acceso controlado por señal "pare"

En el caso de enlaces tipo diamante y de uno o más cuadrantes (***Gráfico 90 y Gráfico 91 incisos A, B y C***), se produce conflictos de cruce franco en las maniobras de ingreso a la carretera secundaria, mediante giro a la izquierda, desde un ramal originado en la calzada principal, y en las maniobras inversas, que corresponden a la salida, con viraje a la izquierda, desde dicha carretera secundaria, hacia un ramal conducente a la carretera primaria.

Cuando el intercambio se realiza fluidamente, sin controles de tránsito y sin conflictos distintos que el de trenzado y el de ingreso normal con carriles de aceleración desde un ramal a calzada de paso, el enlace es de libre circulación. Cuando alguno de los movimientos está restringido por señales de parada, como pueden ser las existentes en una intersección a nivel (para giros fuera del camino principal), se dice que el enlace tiene condición de parada.

Cuando hay cruce de carreteras a distinto nivel sin dispositivos para el intercambio de vehículos, no es aplicable el término enlace. A tales cruces se les llama "paso a desnivel", "paso desnivelado" o "viaducto"

801.05.1. (b) El problema de diseñar un enlace

801.05.1.(b1) Aspectos generales

Las ventajas operativas que presentan los enlaces con respecto a las intersecciones a nivel, mayor capacidad, eficiencia y seguridad se traducen en diferencias de costos privados y sociales, que son favorables a la operación desnivelada. Que dichos beneficios (ahorros) justifiquen invertir en un enlace es materia de evaluaciones económicas en las que estos ahorros, expresados principalmente en disminuciones de tiempo de viaje, de costos de operación y de accidentes, son comparados con los costos sociales asociados a la materialización de la inversión, incluyendo en estos costos los de construcción y mantenimiento. El marco teórico para tal comparación está definido, en el caso de inversiones públicas, por el Estado.

Al análisis técnico del problema se incorpora, en forma cada vez más convincente, la valoración de aspectos de tipo urbanístico y ambiental que antes concurrían sólo externamente a las decisiones de inversión. Asimismo, en las comunidades crece la conciencia con respecto a los valores pertenecientes a este último ámbito, como son los paisajes no obstruidos, los espacios no segregados y la higiene en general, incluida la auditiva y la atmosférica. Esto ha hecho más complejos y onerosos los estudios que asisten dicha toma de decisiones, pero la consideración de estos aspectos tiene consecuencias positivas que compensan holgadamente tal encarecimiento.

Las evaluaciones pueden ser de índole o ámbito local, entendiendo por tal el análisis de factibilidad económica de enlaces aislados, cuya construcción afecta sólo marginalmente la demanda en el sistema al que las intersecciones tratadas pertenecen, o pueden tener como objeto aumentos de la oferta vial que afectan dicha demanda.

El segundo caso se da generalmente cuando se planea la construcción o ampliación significativa de ejes viales inmersos en una red saturada o cercana a la saturación. Un buen ejemplo de esto último es una vía Multicarril.

Como la evaluación económica se aplica a proposiciones físicas surgidas del proceso del diseño, ya en éste se debe considerar las combinaciones de factores que gravitan sobre la decisión de desnivelar una intersección, y preevaluar de manera experta las soluciones posibles, que suelen ser numerosas, para que dicha evaluación ayude a despejar dudas o a confirmar las bondades previstas por el experto.

801.05.1.(b2) Justificación para la separación de niveles y/o la construcción de enlaces

i Carreteras con control de acceso

Si se desea construir una carretera con carácter de Autopista o Multicarril, vale decir, con control total de acceso, es condición indispensable proveer separación de niveles o un enlace para todo camino que la cruce y cuya interrupción o desvío hacia una alternativa de cruce cercana sea imposible o inconveniente.

ii Insuficiente capacidad de intersecciones a nivel

Cuando se cruzan dos carreteras y una o ambas tienen un alto volumen de tránsito, compartir elespacio de cruce origina aumento de los tiempos de viaje y de los costos de operación. Cuando estos aumentos no pueden ser aminorados convenientemente mejorando el cruce a nivel, como ocurre en las intersecciones espacialmente constreñidas y próximas a la congestión, se justifica la desnivelación.

En estos casos los métodos de la ingeniería de tránsito, modelación y simulación operativas de la infraestructura vial proyectada, son eficaces para valorar dichos aumentos de costos y demostrar económicamente que la decisión de desnivelar es acertada.

iii Condiciones topográficas del lugar de intersección

Ciertos puntos obligados de cruce pueden tener visibilidad inconveniente o pendientes fuertes que aumenten la peligrosidad, los tiempos de viaje y los costos de operación hasta niveles propios de intersecciones fuertemente demandadas. Ello puede justificar la separación de niveles.

iv Alta tasa de accidentes en intersecciones existentes

Suele existir cruces a nivel en los que el número de accidentes es desproporcionado con respecto a la demanda e insensible a las mejoras que puedan haberse introducido para remediar tal condición. En estos casos la única solución la provee el enlace que permite los mismos movimientos sin cruces francos.

801.05.1.(b3) Estructura del proyecto de un enlace

En el ***Gráfico 83 (Estructura del Proyecto de un Enlace) (Anexo III)*** se presenta un esquema de organización del proyecto de un enlace. No todo proyecto seguirá estrictamente la secuencia allí planteada ni contemplará todas o las mismas instancias consideradas; sin embargo, tal esquema es útil con fines informativos y para insertar el problema de la definición geométrica de un enlace en su contexto general.

Entre todos los antecedentes necesarios para el diseño de un enlace, destacan algunos de ellos que se agrupan en este primer nivel en cuatro títulos y que suelen ser mutuamente dependientes. El análisis de estos aspectos es materia del ***numeral 801.05.2***.

El diseño geométrico es una tarea a través de la cual se define espacialmente el enlace; o sea, se define plantas, perfiles longitudinales, perfiles transversales y detalles de todas las partes de la obra relacionada con movimientos de tierras y pavimentos, considerando la geometría externa de todas y cada una de las obras de arte, de reposición de pasos y servicios, y de cualquiera otra obra complementaria. En el ***numeral 801.05.4.(a2)***, se amplía la definición de esta actividad, que es el asunto principal de la presente Sección.

El trazado geométrico es la actividad central y coordinadora de un conjunto de otras tareas que se imbrican con ella, ya sea para definir algunas partes de la obra o para aportar datos y criterios imprescindibles para un adecuado diseño del conjunto. Estas otras actividades se han agrupado de la siguiente manera:

i Geología y geotecnia

Disciplinas que intervienen en la obtención de información relativa, en lo principal, a la capacidad de soporte de suelos y a la estabilidad de las obras de tierra proyectadas.

ii Hidrología y drenaje

Disciplinas involucradas principalmente en el diseño de desagües y drenajes, obras que persiguen impedir o minimizar la acción de las aguas sobre la obra proyectada mediante encauzamientos y evacuación inocua de las mismas, que pueden provenir directamente de la lluvia caída sobre las superficies expuestas o de las infiltraciones y escurrimientos subterráneos del caso.

iii Modificaciones de servicio

Es necesario reponer los servicios afectados, tales como los de paso, de aguas (servidas, riego y potable), de líneas (telefónicas, eléctricas, etc.), según proyectos específicos.

iv Tránsito

Actividades relativas a la cuantificación y caracterización de las demandas actuales y futuras sobre el dispositivo. Diseño de pavimentos: de acuerdo con una serie de antecedentes de tráfico, de disponibilidades de materiales, climáticos y económicos, se diseñan las sub-bases, bases y pavimentos adecuados.

v Seguridad y señalética

Se refiere al conjunto de actividades que definen la señalización horizontal o demarcación; la señalización vertical reglamentaria, preventiva e informativa, y las obras de protección y balizamiento que sea necesario proveer para minimizar los riesgos en la operación.

vi Iluminación, arquitectura y paisajismo

Disciplinas que deben ser considerados como complementos del proyecto cuando corresponda. Casos especiales son las autopistas, donde suele existir instalaciones para cobro de peajes, para mantenimiento y para descanso.

vii Electrónica y sistemas

Disciplinas que intervienen en la definición de los dispositivos de control en general, incluyendo principalmente semáforos, estaciones de control de peajes, etc.

viii Obras de arte

Las actividades anteriores pueden dar lugar a la necesidad de proyectar una serie de obras peculiares (túneles, puentes, alcantarillas, ductos, zanjas, torres, etc.).

ix Afecciones a la propiedad y al ambiente

Son tareas relativas a la definición y valoración de las propiedades y derechos afectados, y de las obras y medidas de mitigación de las afecciones al ambiente que las obras pudiesen generar.

La demanda, las obras de arte, las modificaciones de servicios, los pavimentos, las estructuras y las áreas especiales condicionan activamente las características geométricas del trazado, al imponer dimensiones y gálibos que pueden ser limitantes drásticas en algunos casos.

El proyecto se completa con las cubicaciones o metrado de las obras, las especificaciones generales y especiales de construcción, los planos definitivos y los presupuestos parciales y generales de la obra. Todo lo anterior queda reflejado en la memoria final del proyecto.

801.05.2 ANTECEDENTES PARA ABORDAR EL DISEÑO DE UN ENLACE

801.05.2.(a) Aspectos generales

Para pensar una o más soluciones tipo, para planear los elementos que las constituyen y, por último, para decidir una disposición definitiva y diseñar cada parte de ella en detalle, se requiere tener en cuenta una serie de antecedentes, de los cuales se expondrán aquí los más significativos, según la clasificación presentada en el ***numeral 801.05.1.(b3)***. Se reitera que cada proyecto es único, que por lo tanto estos antecedentes y sus interdependencias deben ser estudiados en cada caso, y que es preciso estar alerta a singularidades que puedan añadir condicionantes no consignados aquí.

801.05.2.(b) Antecedentes físicos

801.05.2.(b1) Paisaje y topografía

Entre los propósitos de un buen diseño están los de realizar un enlace con el mínimo movimiento de tierras, tratando de integrar sus elementos al paisaje de la zona en que éste se enclavará.

A diferencia del caso de las intersecciones, las topografías llanas no siempre son las mejores para lograr esto. En terrenos ondulados los enlaces suelen acomodarse bien al terreno y los caminos transversales pueden ser diseñados con un estándar superior que el que puede resultar en un terreno plano.

Por lo general algunos ramales podrán desarrollarse con pendientes moderadas y poco movimiento de tierra en tanto que otros requerirán lo contrario.

En terreno plano el diseño del enlace resulta simple, pero la separación de niveles implica que uno de los caminos y los ramales del enlace resulten con pendientes importantes, con los consecuentes quiebres en su perfil.

Los cortes de gran superficie afean el paisaje, del mismo modo que los terraplenes aislados. Cuando el trazado se adapta a la topografía, se produce una mejor armonía entre ésta y los elementos viales.
En el ***Gráfico 84 (Distancias Requeridas para Desnivelaciones en Terreno Horizontal) (Anexo III)*** se muestra la distancia horizontal (L) requerida, en terreno plano, para desnivelar dos carreteras, en función de la Velocidad adoptada, en la zona del Enlace, para la vía que se desnivela (V_O) y del desnivel (H) requerido. El Gráfico muestra las distancias requeridas para velocidades entre 50 y 110 Km/h y para pendientes entre 2% y 7% simétricas a ambos lados del obstáculo, pero puede servir de guía también para combinaciones de pendientes desiguales.

El valor L corresponde a la longitud del acuerdo vertical inicial, más la mitad del acuerdo vertical central, más la longitud de la tangente entre ambas. L está calculada con curvas de acuerdo mínimas, que deben ser evitadas en lo posible. Se puede considerar como guía tanto para pasos superiores como para inferiores, y para acuerdos centrales cóncavos o convexos, a pesar de que los desarrollos de dicha curva central pueden ser algo distintos. Por último, se hace notar que para V_O y H dados, L se reduce poco al aumentar la pendiente sobre 4% para V_O = 80 Km/h y sobre 5% para V_O = 50 y 60 Km/h.

En general Vo = Vp, de la vía que se desnivela pero en casos obligados Vo podrá ser menor que Vp, en particular si se desnivela la vía secundaria; situación que deberá estar debidamente señalizada.

Un estudio requiere planos completos de la zona afectada por el enlace, así como de las vías involucradas (plantas y perfiles). Por lo general, las restituciones aerofotogramétricas bien ejecutadas otorgan precisión suficiente para el diseño, pero éstas deben ser complementadas con datos obtenidos in situ de los elementos de borde que condicionan el trazado (caminos en zonas de empalme con el proyecto, obras de arte, límites de propiedad, conflictivos, etc.

801.05.2.(b2) Hidrológicos

Las características hidrológicas de la zona pueden ser determinantes del trazado de un enlace, porque la evacuación de las aguas interceptadas puede llegar a requerir obras especiales cuyo costo haría inconvenientes ciertas soluciones.

801.05.2.(b3) Climatológicos

En zonas de formación de heladas, es preciso modificar algunos parámetros relativos a las inclinaciones de las calzadas y banquinas, para contrarrestar las dificultades derivadas de la modificación de los coeficientes de roce.

801.05.2.(b4) Geológicos

Las características geológicas de la zona son importantes pues condicionan aspectos tales como la cimentación de las obras de arte, la inclinación de los taludes de corte y eventualmente de rellenos, las excavaciones en túnel y el eventual tratamiento de los suelos. También influye en la planificación de los movimientos de tierra, porque las calidades y ubicaciones de los materiales a emplear y transportar son factores que inciden en dicha planificación.

801.05.2.(b5) Ecológicos

Un enlace, al cubrir una gran zona que debe ser despejada de obstáculos en una parte significativa de su superficie, puede tener un efecto significativo sobre el área, en términos ecológicos. El proyectista debe tomar las precauciones tendientes a minimizar el daño que pudiera significar su materialización y a mitigar los efectos negativos de la obra, tanto en la etapa de construcción como en la operación durante su vida útil.

801.05.2.(b6) Las vías a enlazar

i. Aspectos generales

Los enlaces, o la simple separación de niveles, son un complemento esencial de las autopistas y caminos primarios en que se consulte control total de acceso. Según sea el desarrollo existente en los márgenes de las carreteras pueden ser necesarios los caminos laterales o calles de servicio, los que determinarán en cierto grado el tipo de enlace a proyectar.

Del mismo modo, la importancia y ubicación de las vías exige o permite elementos de enlace de ciertas características mínimas, al mismo tiempo que la categoría del enlace puede recomendar su emplazamiento en zonas en las que dichas vías presenten condiciones geométricas favorables.

ii. Características de la carretera principal

Específicamente, cuando la carretera principal cruza un paso superior, las pendientes de acceso no deberán superar el 3% para no inducir bajas velocidades en los vehículos pesados. Esto incita a maniobras de pasada que son peligrosas en las proximidades de los empalmes, o a ingresos y salidas de la carretera aprovechando los espacios que parecen ofrecer, por delante de ellos, dichos vehículos pesados.

iii. Características de la carretera secundaria o transversal

La carretera transversal o secundaria es aquella que cruza la carretera principal a través de un enlace y que en algunos casos puede ser de importancia igual o similar que la principal. Generalmente se tratará de caminos primarios o colectores. El proyecto de la carretera transversal también estará regido por las normas expuestas en el presente manual en las secciones correspondientes. Si dicha carretera es de igual importancia que la principal, debe hacerse las consideraciones expresadas en inciso ii anterior.

Aunque es posible un enlace entre más de dos carreteras, este caso deberá ser evitado, ya que su solución suele resultar complicada en términos de diseño y de difícil lectura para el usuario.

801.05.2.(c) Antecedentes funcionales

801.05.2.(c1) Aspectos generales

Se engloba bajo este título aquellos antecedentes relacionados con las características del tránsito en las vías que se han de enlazar y con las capacidades de ellas y de los elementos del enlace, que son fundamentales en la elección de la solución y en su dimensionamiento.

801.05.2.(c2) Tránsito

En los ***numerales 801.02.3.(a) y 801.02.3.(b)*** se resume los aspectos del tránsito que intervienen en el diseño de una intersección y los vehículos tipo que influyen en el momento de definir el ancho de las calzadas; estos aspectos, y los estudios citados en el ***numeral 801.02.3.(c)***, son válidos también para el caso de los enlaces.

801.05.2.(c3) Capacidad

No es propio hablar de la "capacidad de un enlace" pues en él participan numerosos elementos sometidos a diferentes demandas de tránsito, las que además pueden experimentar variaciones temporales diferentes en las vías que participan. En efecto, se tiene una carretera principal que normalmente estará compuesta por calzadas de tránsito unidireccional, una carretera secundaria que puede tener calzadas unidireccionales o sólo una calzada bidireccional y los ramales de enlace que conectan a ambas.

No obstante lo anterior, las zonas críticas en cuanto a capacidad se producirán en los ramales del enlace y su punto de conexión con las vías enlazadas, y ya dentro de estas, en las zonas de trenzado o entrecruzamiento, que deben compartir los vehículos que se están incorporando a una de las vías y los que están saliendo de ella.

En el ***numeral 401.02.9 de la Sección 401*** se presenta un resumen conceptual de la teoría de Capacidad, en particular en lo relativo a las carreteras o caminos, en el ***numeral 801.02.3.(e2)***, se ilustran las situaciones relativas a los tramos de trenzado. El inciso iii de esta Sección entrega criterios adicionales al respecto.

Los cálculos de capacidad en estas zonas críticas, deberán abordarse recurriendo al Manual de Capacidad de Carreteras (Highway Capacity Manual del Transportation Research Board de los Estados Unidos de Norteamérica, que se actualiza cada tres o cuatro años). Existe una versión en español publicada por la Asociación Técnica de Carreteras, Comité Español de la AIPCR en 1.995.

Los ramales de un enlace están compuestos por sus puntos de inicio y término en las carreteras que une y de una sección intermedia o ramal propiamente tal. El punto crítico en lo que a capacidad se refiere se produce justamente en el inicio y término del ramal. Si el volumen de la demanda es superior al volumen admisible para el nivel de servicio deseado, las condiciones de operación serán inferiores a las presupuestadas, afectando el tránsito directo que circula por las carreteras.

Normalmente los ramales de enlace serán de una sola pista, salvo que el volumen de demanda sea superior al volumen de servicio deseado, en cuyo caso deberá proyectarse de dos pistas.

Por otra parte, si el ramal tiene una longitud mayor de 300 metros y el tránsito previsto es elevado y con un alto porcentaje de camiones, es recomendable proyectarlo de dos carriles, aunque esto no sea imperativo desde el punto de vista de capacidad. En estos casos las conexiones con las carreteras que se cruzan deberán reducirse a un solo carril, para encauzar mejor el tránsito de entrada o salida.

La aplicación de los parámetros de diseño normativos no garantiza que los distintos elementos de los enlaces provean la capacidad suficiente a los mismos. Es responsabilidad del diseñador proveer una geometría vial acorde con la demanda que se debe satisfacer.

Una vez establecido el diseño geométrico de un enlace, es posible evaluar la calidad de la solución adoptada mediante Programas Computacionales de Simulación, los que alimentados con la geometría del enlace y con los flujos de demanda, simulan en tiempo real el comportamiento del enlace, detectando si se producen "colas" en los ramales, interferencias severas en los tramos de trenzado, etc. Ello permite actuar sobre lageometría de las zonas deficitarias y así, por iteración, resolver el problema.

801.05.2.(d) Antecedentes económicos

Un enlace es una obra de costo muy superior a una intersección a nivel. Su factibilidad debe ser demostrada mediante un estudio técnico-económico que compare esta solución con otras de menor costo.

Por otra parte, en algunos casos muy especiales, estos dispositivos pueden ser construidos por etapas, cuando el tránsito provisto para algunos ramales no justifica su realización inmediata. Cuando las estructuras de separación de niveles se proyectan independientes, una para cada calzada, la construcción por etapas permite postergar la construcción de una de ellas hasta que los volúmenes así lo justifiquen. Si la estructura proyectada es única, su construcción por etapas no suele resultar conveniente en términos económicos; sin embargo, las rampas asociadas a ella pueden ser construidas de acuerdo a las necesidades.

Siempre que se decide ejecutar un enlace por etapas, será necesario proceder a expropiar, desde el primer momento, el espacio total requerido, para evitar futuras interferencias.

801.05.2.(e) Antecedentes humanos

Existen, como ya se ha apuntado anteriormente, una serie de factores que influyen en el diseño de un enlace y que pueden ser llamados así, aunque sea reduciendo el sentido del término. Hasta aquí estos factores han estado presentes en forma tácita cuando se considera los hábitos humanos, sus capacidades de reacción, los tiempos empleados para tomar decisiones, las limitaciones económicas que impone la necesidad de asignar recursos según prioridades que ellos determinan, etc.

La interconsulta entre ingenieros, urbanistas y ecólogos debiera ser una práctica corriente. A veces, con muy poco costo adicional, o ninguno, es posible transformar una obra dañina al paisaje en una obra que concilie la presencia del hombre con la belleza del medio. Esto es particularmente importante en el caso de los enlaces, en los que se cubre áreas importantes y se altera la naturaleza y topografía del terreno, con la consiguiente notoriedad de la obra.

Por último debe decirse que el aspecto humano fundamental a ser considerado es el de la seguridad. En una intersección a nivel puede producirse toda la gama de accidentes de tránsito y nunca será posible eliminarlos del todo, por bueno y completo que sea el diseño. La separación de niveles elimina toda posibilidad de accidente entre los tránsitos directos que se cruzan. Eventualmente pueden producirse algunos choques con las estructuras de separación de niveles, pero estos son mínimos en comparación con los accidentes que ocurren en una intersección a nivel, tendiendo a desaparecer cuando se mantienen luces libres laterales como las que se recomiendan más adelante.

801.05.3 ELECCION DE LA SOLUCIÓN TIPO

801.05.3.(a) Aspectos generales

El diseño de un enlace en una ubicación dada está regido por cuatro variables fundamentales: definición funcional de las carreteras que se cruzan, condiciones de tránsito, características topográficas y análisis de costos, incluyendo entre estos últimos los sociales y ambientales. Como es muy difícil que estas cuatro variables coincidan para dos situaciones distintas, raramente el diseño apropiado para un enlace va a poder ser adaptado en otro lugar. El diseñador no debe tener una idea preconcebida que lo limite a la aplicación de un determinado patrón de solución antes de haber analizado el conjunto de soluciones posibles.

Siendo el enlace la forma más completa y evolucionada de diseño de una intersección, el diseñador debería dominar la materia referente al diseño de intersecciones ***(Sección 801)*** para abordar con éxito el diseño de un enlace.

La presente sección de este Volumen presenta una clasificación general de los patrones clásicos de solución, indicando los conceptos relevantes de cada uno de ellos, para que el diseñador esté familiarizado con estas soluciones y con las denominaciones que se aplican a sus elementos constitutivos.

801.05.3.(b) Denominación y clasificación de enlaces

Los enlaces, al igual que las intersecciones, se clasificarán de acuerdo con el número de ramas que a él concurran. Así, los enlaces pueden clasificarse como de tres, cuatro o más ramas.

- Enlaces de tres ramas
- Enlaces de tipo trompeta “T”
- Enlaces direccionales en “T”
- Enlaces direccionales en “Y"
- Enlaces de cuatro ramas con condición de parada
- Enlace tipo diamante - clásico
- Enlace tipo diamante - partido
- Enlace tipo trébol parcial (2 cuadrantes)
- Enlaces de cuatro ramas de libre circulación
- Enlace tipo trébol completo (4 cuadrantes)
- Enlaces rotatorios
- Enlaces omnidireccionales
- Enlaces de tipo turbina

Estos tipos aparecen esquematizados en forma general en el ***Gráfico 85 ENLACES TIPO Anexo III***.

801.05.3.(c) Denominación y clasificación de ramales

801.05.3.(c1) Aspectos generales

Los ramales son los elementos fundamentales de los enlaces. Ellos conectan las vías que se cruzan, pudiendo adoptar una gran variedad de formas, ser unidireccionales o bidireccionales, empalmar por uno u otro lado de las calzadas, tener o no condición de parada y servir giros a la izquierda o a la derecha.

A pesar de la gran variedad de tipos de ramales que resultan de la combinación de estos aspectos, ellos serán agrupados en tres grandes categorías, atendiendo principalmente a sus formas, y serán descritos para una posterior definición de los tipos más frecuentes de enlaces.

801.05.3.(c2) Ramales directos

Son aquellos que mantienen el mismo sentido de curvatura a lo largo de su desarrollo. Pueden atender giros a la izquierda o a la derecha, y sus empalmes, de salida en la carretera de origen y de entrada en la carretera de destino, están situados ambos a la derecha o a la izquierda en una y otra carretera. Los ramales directos, por su breve desarrollo y la simplicidad de su forma, son deseables para movimientos mayoritarios, debiendo procurarse un trazado que permita velocidades del orden de aquellas correspondientes a las carreteras enlazadas.

En todo caso, las circunstancias particulares de cada enlace pueden requerir ramales directos para flujos minoritarios.

En el ***Gráfico 86 RAMALES DE ENLACE Anexo III*** se muestra los casos posibles de ramales directos: el caso a es el de giro a la derecha, con salida y entrada por la derecha de las calzadas de origen y destino respectivamente, y el caso b es el de giro a la izquierda, con salida y entrada por la izquierda. Este último caso debe evitarse siempre que sea posible, ya que las maniobras se desarrollan en la pista de mayor velocidad.

No serán considerados directos, para fines de diseño, aquellos ramales que, aún cumpliendo con lo anterior, tengan condición de parada en algún punto de su desarrollo, o permitan giros a la izquierda en la carretera de destino, o desarrollen un giro superior a los 200g.

801.05.3.(c3) Ramales semidirectos

Son aquellos en los que se produce, a lo largo de su desarrollo, al menos un cambio del sentido de curvatura. Para efectos de diseño serán considerados semidirectos también aquellos con la fisonomía de los directos pero con alguna condición de parada o con giros a la izquierda en la carretera de destino. Los ramales semidirectos, que por lo general tienen un desarrollo mayor que los directos y trazados más complejos, son preferibles para volúmenes intermedios a los que se puede disminuir la velocidad sin grandes inconvenientes, aunque su uso, una vez más, estará también regido por las demás circunstancias del proyecto.

Así definidos, estos ramales pueden servir giros a la izquierda o a la derecha, con salida y entradas también por la izquierda o la derecha indistintamente. Se debe considerar las mismas prevenciones aplicables a los ramales directos en lo que respecta a salidas o entradas por la izquierda.

En el ***Gráfico 86 RAMALES DE ENLACE Anexo III*** *inciso c*, se muestra un tramo de ramal semidirecto con salida por la derecha. Esta configuración es típica de los enlaces tipo trompeta, cuando se completa con un ramal como el indicado con el inciso d.

En el ***Gráfico 87 RAMALES DE ENLACE Anexo III incisos a y b***, se ilustran dos casos de ramales semidirectos para giros a la izquierda, el primero con salida por la izquierda y entrada por la derecha y el segundo con la salida por la derecha y entrada por la izquierda. En el mismo Gráfico el inciso c, se indica un ramal semidirecto, propio de los enlaces tipo diamante, que presenta condición de parada en la carretera de destino. Estos también son llamados “ramales diagonales”.

801.05.3.(c4) Lazos

Son aquellos ramales utilizados para dirigirse a la izquierda, mediante una curva cerrada hacia la derecha que se desarrolla en más de 200g, unos 300g, como se aprecia en el ***Gráfico 87 RAMALES DE ENLACE Anexo III.***

Frecuentemente se da el caso de unión de un lazo con un ramal semidirecto, lo que produce configuraciones como indicada el inciso “e” ***Gráfico 87 RAMALES DE ENLACE o como la llamada "trompeta", parte de la cual aparece en el Gráfico 86 RAMALES DE ENLACE Anexo III inciso d.***

Por las características geométricas de los lazos, que generalmente obligan a velocidades de proyecto bajas, éstos deben preferirse para volúmenes reducidos, debiendo recurrirse a los otros tipos de ramales si los volúmenes son importantes y no es factible el uso de curvas amplias en el lazo.

801.05.3.(c5) Otras unidades en enlaces

i. Carriles auxiliares

Se denomina así, en el contexto de un enlace, a los carriles adicionales y adyacentes a una carretera que proveen espacio y oportunidades adicionales para maniobras de trenzado en dicha carretera, de ingreso a ella y de salida desde la misma. El ancho de estos carriles debe ser igual a los que constituyen la sección tipo de la carretera en el punto donde los carriles auxiliares se agregan.

La eficiencia operacional en un enlace puede ser mejorada usando un carril auxiliar continuo entre un terminal de entrada a una carretera y uno de salida de ella cuando los enlaces están próximos, cuando la distancia entre el final de una cuña de entrada y el inicio de una cuña de salida es corta, y cuando no existe calzada colectora distribuidora que ayude a la operación vehicular en tal circunstancia.

Un carril auxiliar puede generarse de manera simple, manteniendo la configuración determinada por el empalme del carril que converge (ramal) a la calzada principal, o en conjunto con un empalme de dos carriles. La desaparición de un carril auxiliar puede conseguirse de varias maneras:

- Mediante una salida de dos carriles, como se esquematiza en el ***inciso A del Gráfico 88 FORMAS DE DESAPARICIÓN DE CARRILES AUXILIARES Anexo III***. Esta solución cumple con el principio de equilibrio de carriles ***(ver el numeral 801.05.3.(e2)***

- Mediante una salida de un solo carril, como se esquematiza en el ***inciso B del Gráfico 88 FORMAS DE DESAPARICIÓN DE CARRILES AUXILIARES Anexo III***. Esta solución está de acuerdo con las excepciones a dicho principio de equilibrio de carriles

- Manteniendo el carril auxiliar hasta la nariz de la salida y luego haciéndola desaparecer mediante cuña normalizada ***(numeral 801.04.3.(g))***, como se esquematiza en el ***inciso C del Gráfico 88***. Este esquema provee una zona de recuperación a quienes inadvertidamente se mantienen en el carril interrumpido

Cuando se aplica estos métodos para hacer desaparecer un carril auxiliar se debe asegurar que la zona de la nariz sea visible desde cualquier punto de dicho carril auxiliar.

Si las maniobras de reingreso a los carriles de paso son recurrentes, la zona de recuperación puede extenderse entre 150 y 300 m después de la nariz, antes de hacerla desaparecer mediante cuña normalizada ***(inciso D del Gráfico 88 FORMAS DE DESAPARICIÓN DE CARRILES AUXILIARES Anexo III)***. En grandes enlaces, esta longitud puede aumentar hasta 450 m.

Cuando un carril auxiliar se mantiene a través de varios enlaces, puede desaparecer según las especificaciones anteriores o puede desaparecer unos 750 m después de concluida la influencia del último de dichos enlaces ***(inciso D de el Gráfico 88 FORMAS DE DESAPARICIÓN DE CARRILES AUXILIARES Anexo III).***

ii. Calzadas colectoras-distribuidoras

Se denomina así, en el contexto de un enlace, a las calzadas adicionales adyacentes pero separadas de las calzadas principales, con igual sentido de tránsito que éstas, que sirven para conectar dichas calzadas principales a la red local cuando las distancias entre conexiones sucesivas no son suficientes para realizarlas directamente. El trébol completo o con lazos en cuadrantes contiguos son los ejemplos típicos en los cuales se debe analizar la implantación de tales calzadas, cuyas principales ventajas son:

- Transfiere a ella las maniobras de trenzado, donde éstas se pueden realizar a velocidades reducidas

- Permite unificar las salidas en un solo dispositivo de egreso de alta velocidad, uniformar los diseños y otorgar mejor visibilidad para todo el tránsito saliente

- Simplifica la señalización y los procesos de toma de decisiones

- Permite localizar la salida antes de la estructura desniveladora, lo cual se acomoda mejor a las expectativas de los usuarios

Estas calzadas pueden estar constituidas por uno o dos carriles, dependiendo de la demanda que sobre ellos se prevé. El equilibrio de carriles ***(numeral 801.05.3. (e2)*** debe mantenerse en las entradas y salidas a y desde la calzada principal, pero no necesariamente en la colectora-distribuidora, puesto que las maniobras de trenzado se dan en ella a velocidades reducidas. Las velocidades de proyecto para estas calzadas varían entre 50 y 80 Km/h, pero no deberían ser inferiores en más de 10 y excepcionalmente en más de 20 Km/h a la de la carretera principal. También es necesario, para que estas carreteras colectoras-distribuidoras operen bien, que la señalización en ellas sea clara y oportuna, especialmente cuando ellas sirven a más de un enlace.

Como orientación general, se puede decir que para volúmenes de trenzado superiores a 1.000 veq/h las calzadas colectoras-distribuidoras son recomendables.

iii. Tramos de trenzado

Se denomina así a tramos de carretera en los que se produce entrecruzamiento de las trayectorias de los vehículos provenientes de accesos que convergen en el inicio del tramo de trenzado y que se dirigen a salidas también contiguas entre sí al final del mismo tramo; esto cuando se tiene orígenes y destinos distintos para dichas trayectorias vehiculares. Esto ocurre entre entradas y salidas sucesivas en enlaces y en segmentos de carreteras que se yuxtaponen.

Es deseable eliminar la ocurrencia de entrecruzamientos, por la pérdida de eficiencia que tales maniobras imponen a la operación de la carretera en los tramos donde éstas se producen. Para conseguirlo se puede recurrir a diseños de enlace en los cuales no se genera trenzados, o trasladarlos a una carretera colectora-distribuidora paralela a la carretera principal. Lo primero presenta como inconveniente los costos generalmente más elevados, producto de la multiplicación de las estructuras. Excepción a esto se tiene en el caso del trébol parcial en cuadrantes opuestos ***(incisos superiores e inferiores en Gráfico 93 ENLACES TIPO TRÉBOL PARCIAL Anexo III)***, por lo que éstos son recomendables cuando la estructura de la demanda es coherente con la particular geometría que dichos enlaces ofrecen a cada movimiento.

Cuando se contempla la implantación de enlaces tipo trébol, completos o con lazos en cuadrantes contiguos, se debe considerar la inclusión de tramos colectores distribuidores en la carretera principal ***(inciso B en Gráfico 90 ENLACES DE CUATRO RAMAS Anexo III)***, e incluso en ambas si ello se justificara. Como se dijo, flujos de trenzado del orden de 1.000 veq/h suelen justificar tales dispositivos.

La longitud de los tramos de trenzado y el número de carriles requerido para satisfacer la demanda en uno de estos tramos dentro de los niveles de servicio deseados son materia de estudios especiales de capacidad. La forma de hacer este análisis es materia del ***numeral 801.02.3.(e2)***. Para abordar casos más complejos se recomienda acudir al Capítulo 4 del "Highway Capacity Manual", 3ª edición Reporte Especial 209 (Transportation Research Board; National Research Council; Washington DC, 1.997).

801.05.3.(d) Tipos de enlaces

801.05.3.(d1) Enlaces de tres ramas

Un enlace de tres ramas es característico de las situaciones en las que una carretera se incorpora a otra, perdiendo en ese punto su continuidad.

Si los giros, que son sólo cuatro, se resuelven mediante ramales directos o semidirectos, se tiene el caso de los Enlaces Direccionales. Si se utilizan lazos se tiene el tipo trompeta.

En el ***Gráfico 89***, se muestra ejemplos de cada caso.

El tipo de ramal usado para cada movimiento dependerá del espacio disponible, de la compatibilidad de los ramales con la altimetría de las vías y del terreno (grandes variaciones de cotas necesitan desarrollos más amplios) y de las condiciones del tránsito, como se apuntó en el momento de describir los tipos de ramal.

801.05.3.(d2) Enlaces de cuatro ramas

i. Aspectos generales

Al tratar los enlaces de cuatro ramas se debe hacer una necesaria clasificación funcional. Se debe distinguir entre los enlaces con condición de parada, o sea aquellos que implican una detención en algunos de los flujos de tránsito, y los enlaces que tienen libre circulación de todos los flujos. En el ***Gráfico 90 ENLACES DE CUATRO RAMAS Anexo III***, se presentan los dos tipos más característicos, con y sin condición de parada: el enlace Tipo Diamante y el enlace Tipo Trébol.

ii. Enlaces con condición de parada

En estos enlaces todos los giros a la izquierda, o al menos parte de ellos, se resuelven con intersecciones a nivel en la carretera secundaria y, por consiguiente, requieren la detención del tránsito antes de su incorporación o salida a un flujo de paso.

801.05.3.(d3) Enlaces tipo diamantes

Son aquellos en los que todos los giros a la izquierda tienen condición de parada. Un diamante clásico es un enlace completo que permite ocho movimientos de giro posible. Está formado por cuatro ramales del tipo semidirecto, cada uno de los cuales permite un giro a la izquierda y un giro a la derecha. Los giros a la izquierda se desarrollan a nivel a través de los flujos de paso por la vía secundaria.

Ver en la presente sección lo referente a intersecciones a nivel para lo tocante a los cruces en los caminos secundarios.

En el ***Gráfico 91 ENLACES TIPO DIAMANTE CLÁSICO Anexo III***, se presenta tres esquemas de soluciones tipo diamante clásico en los que todos los giros a la izquierda se resuelven mediante intersecciones completas. En el inciso "b" se ha agregado al esquema básico presentado en "a" el caso con vías colectoras-distribuidoras (C-D). Los ramales semidirectos se conectan con éstas y se producen los giros en la intersección con el camino secundario.

En el Gráfico "c" dichos ramales no permiten el acceso al camino secundario del mismo enlace. Esto implica que la salida debe efectuarse en el enlace anterior y llegar a la intersección por la vía de servicio, a la vez que la entrada tampoco es permitida en el mismo enlace sino que en los adyacentes. Esta solución es adecuada en casos de varios enlaces cercanos, como ocurre cuando una vía principal pasa por un poblado en que las transferencias se pueden hacer en la red urbana.

En el ***Gráfico 92 MODIFICACIONES DE ENLACE TIPO DIAMANTE Anexo III***, se muestra algunos arreglos para reducir conflicto en las intersecciones.

En un enlace tipo diamante partido se separa los giros de entrada y de salida desde la carretera principal. Una solución de este tipo se justifica cuando hay posibilidades de tener dos enlaces sobre dos vías secundarias paralelas y a poca distancia. Es más recomendable aún cuando ambas vías secundarias son unidireccionales.

801.05.3.(d4) Enlace tipo trébol parcial

Son aquellos en los que algunos giros a la izquierda tienen movimiento continuo. Un trébol parcial se justifica cuando los movimientos que tienen condición de parada son minoritarios y las intersecciones en la carretera secundaria no presentan problemas. Dos ramales en lazo eliminan los movimientos mayoritarios de giro a la izquierda, a la vez que en esos mismos lazos se da servicio a los giros a la derecha que no se desarrollan en los otros dos cuadrantes. En ramales semidirectos exteriores a los lazos se realizan los cuatro movimientos de giro que quedan por resolver. Se debe proveer en estos casos la visibilidad conveniente para permitir intersecciones seguras en el camino secundario.

En el ***Gráfico 93 ENLACES TIPO TRÉBOL PARCIAL Anexo III***, se indica algunas de las posibles combinaciones. Se deja establecido que son equivalentes las soluciones en que se mejora uno u otro giro, independiente del cuadrante en que se realice. Sin embargo, los tréboles parciales en cuadrantes opuestos presentan la ventaja de eliminar los tramos de trenzado.

i. Enlaces de libre circulación

En estos enlaces todos los giros se resuelven sin intersecciones a nivel. El número de combinaciones posibles de realizar en un diseño de enlace de este tipo es tan grande que para establecer criterios generales se debe suponer simetría en la solución de los cuatro cuadrantes.

En el ***Gráfico 94 ENLACES SIMÉTRICOS DE LIBRE CIRCULACIÓN Anexo III***, se indica en forma descriptiva algunos casos concretos de solución. Salvo el trébol completo o la rotonda de 2, 3 ó 5 puentes, es muy difícil que estos casos se produzcan en nuestro medio.

El trébol completo o trébol de cuatro cuadrantes es un enlace cuya mayor ventaja consiste en que elimina todos los conflictos de giro a la izquierda. Requiere una estructura única ya que estos giros se resuelven mediante 4 lazos. Los giros a la derecha se resuelven mediante ramales directos (eventualmente semidirectos) en los cuatro cuadrantes, exteriores a cada uno de los lazos.

Cuando se traslapan las vías de aceleración y deceleración de los lazos, se puede hacer necesario proveer al camino principal de un elemento colector-distribuidor ***(ver numeral 801.05.3.(c5), Acápite ii)***.

En el ***Gráfico 90 inciso b***, se presentó un diseño de trébol completo. Este Gráfico sirve para ilustrar los elementos básicos de un diseño de trébol. En la práctica no va a interesar obtener un diseño simétrico, sino que el diseño de cada elemento se adaptará a las circunstancias del proyecto.

Para ilustrar el diseño de este elemento, se incluye en el trébol una pista C-D cuya disposición se deberá analizar en cada caso particular.

801.05.3.(d5) Enlaces de más de cuatro ramas

Estos enlaces resultan de tal complejidad que deben evitarse. Se deben preferir soluciones que enlacen sucesivamente a las vías involucradas. Su improbable ocurrencia en nuestro medio hace innecesario extenderse sobre el particular.

801.05.3.(d6) Rotondas desniveladas

Las formas más comunes de rotondas desniveladas son las de dos puentes ***(inciso A Gráfico 95 ROTONDAS DESNIVELADAS Anexo III)*** y la de tipo "pesa" o "mancuerna" ***(inciso B Gráfico 95)***, esta última puede ser adoptada para reemplazar esquemas de trébol parcial o diamante. Cuando se tiene el cruce de dos vías importantes y los enlaces de otro tipo no es económicamente conveniente o el suelo necesario no está disponible, podría considerarse una rotonda de tres niveles ***(inciso C Gráfico 95 ROTONDAS DESNIVELADAS Anexo III),*** en la que los movimientos de giro utilizan el anillo para ejecutar las maniobras del caso.

No se recomienda el diseño de grandes rotondas de este tipo, por los problemas de acceso que se generan debido a las altas velocidades de los vehículos que circulan por dicho anillo.

801.05.3.(e) Número y equilibrio de carriles

801.05.3.(e1) Número básico de carriles

Las carreteras deben mantener un número constante de carriles en tramos tan largos como sea posible, excluyendo de la contabilidad los carriles auxiliares que puedan ser necesarios ocasionalmente. Este número constante de carriles es denominado "básico". Esto significa que no se debe reducir el número de carriles en forma ocasional por reducciones locales de la demanda. En cuanto a la ampliación del número de carriles por aumentos puntuales de la demanda, éstos deben ser resueltos con carriles auxiliares. ***(numeral 801.05.3.(c5),Acápite i)***.

801.05.3.(e2) Equilibrio de carriles

Para que la operación vehicular sea eficiente en la zona del enlace y posteriormente a él, debe existir un adecuado equilibrio entre el número de carriles de los ramales y de las carreteras de paso. Los volúmenes de diseño y el análisis de capacidad respectivo determinan el número básico de carriles en la carretera y el número de carriles de los ramales.

Se reitera la conveniencia de mantener la continuidad del número básico de carriles en zonas de entradas y salidas, aunque entre enlaces puedan aparecer disminuciones locales de flujos y recurrir a carriles auxiliares para resolver demandas puntuales superiores. Una vez determinado el número básico de carriles en cada carretera, el equilibrio entre los carriles debe ser comprobado sobre la base de los siguientes principios:

- En las entradas, el número de carriles que debe existir más allá del ingreso no debe ser inferior a la suma de todos los carriles convergentes menos uno. En las salidas, el número de los carriles de la carretera previos a la salida debe ser igual al número de los carriles de la carretera posteriores a la salida más el número de carriles de salida, menos uno.

  Excepción a esta regla es el caso de tramos con carriles auxiliares entre ingresos y salidas sucesivas distantes menos de 450 m, como ocurre por ejemplo en los tréboles entre lazos en cuadrantes contiguos. En tales casos, el carril auxiliar puede desaparecer tras la última salida (de un carril), y se tendría que el número de carriles de llegada al dispositivo de salida sería igual al número de carriles posteriores a dicha salida más el carril de salida, ver casos señalados con (2) en el ***Gráfico 96***. No se debe reducir el número de carriles en más de uno a la vez. En el ***Gráfico 96 EJEMPLOS DE EQUILIBRIO DE CARRILES Anexo III*** se ilustra estos principios.

801.05.4 DISEÑO GEOMÉTRICO DE UN ENLACE

801.05.4(a) Aspectos generales

801.05.4.(a1) El enlace: una unidad de diseño

Las variables que condicionan el proyecto de un enlace serán más mientras mayor sea el número de las vías a enlazar y mientras mayores sean las posibilidades de modificar o proyectar totalmente el trazado de dichas vías. En todo caso, suceda esto o lo contrario, que sería tener que adecuar el enlace a una vialidad existente e inmutable, para una eficiente solución del problema es fundamental abordarlo entendiendo que su diseño abarca toda el área de la construcción, en vez de limitarlo a la definición de cada uno de sus elementos.

No obstante lo anterior, se puede distinguir en un enlace el tronco de la vía, cuya definición geométrica se rige por las normas contenidas en las Secciones anteriores del presente Volumen de Diseño Geométrico, y los ramales del mismo, para cuyo trazado en planta y elevación se aplica estrictamente la Velocidad de Proyecto.

Para el diseño en planta de ramales de enlace, al igual que en el caso de intersecciones, no se considera la dispersión de las velocidades de operación evidenciadas en la práctica, cuyo análisis condujo a definir la velocidad V85% ***(Sección 101)***. En efecto, en los ramales de enlaces, cuyas longitudes son generalmente cortas y cuyas condiciones geométricas inducen comportamientos conservadores, no son aplicables los criterios que respaldan dicha definición. Consecuentemente, tampoco se adopta las relaciones radio-peralte definidas para el caso del diseño del tronco del camino o carretera, sino que se mantiene el criterio antiguo, que recomienda que la aceleración transversal generada por el desplazamiento de un móvil según una trayectoria circular será compensada en un 25% por el peralte y en un el 75% por la fricción transversal, lo cual genera dinámicas de desplazamiento que no incentivan velocidades superiores a las reglamentarias. Esto sin perjuicio de permitir radios mínimos absolutos calculados con valores máximos de f y e=8% en la expresión $R_{MIN} = Vp^2/127(f + e)$ para velocidades inferiores a 70 Km/h.

Tampoco se aplica para el diseño de ramales de enlace el criterio que llevó a considerar la velocidad V* para la definición de los parámetros de diseño vertical. La velocidad que debe asumirse para dichos parámetros son los correspondientes a la Velocidad de Proyecto.

801.05.4.(a2) Esquema del proceso de definición geométrica de un enlace

En el ***Gráfico 97 ESQUEMA DEL PROCESO DE DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE UN ENLACE Anexo III*** se presenta una posible secuencia para el conjunto de actividades principales y centrales del diseño geométrico de un enlace. En la práctica, este esquema responderá, a grandes rasgos, a la mayoría de las situaciones que se planteen, aún cuando puedan surgir leves variaciones para cada caso especial.

Las seis etapas en que se ha estructurado el diagrama básico (columna de la izquierda) serán detalladas brevemente a continuación. En concordancia con la intención de no aislar el trazado geométrico del contexto general del proyecto de un enlace, en este diagrama se presenta en otra columna (derecha), el conjunto de actividades que, sin corresponder exactamente al trazado, interactúan con él y entre sí durante la confección del proyecto. Las flechas que aparecen entre una y otra columna serán explicadas, en cada caso, dentro del referido detalle de las seis etapas contempladas.

i. A una adecuada definición geométrica de un enlace se llega, rápida o afanosamente, tras una serie de adaptaciones sucesivas de los elementos y variables que en su conjunto configuran el problema.

De aquí en adelante se supondrá adoptado un tipo de enlace, resuelto su emplazamiento y determinada la disposición general de los ramales, con el fin de mostrar el proceso de definición geométrica propiamente tal.

Cabe hacer notar que aunque se tenga resuelto el tipo y el emplazamiento de un enlace, siempre se pueden tener varias alternativas de trazado de los ramales o de las carreteras comprometidas, puesto que existen esquemas que permiten distintas orientaciones de sus elementos y todos ellos pueden ser dimensionados según criterios diversos.

Si se desea, el proceso descrito en el ***Gráfico 97*** se puede repetir para cada alternativa con precisión y detalles que dependen de las circunstancias del proyecto para el propósito de evaluarlos y decidir la geometría definitiva.

ii. Se ejecutan esquemas preliminares en planta utilizando levantamientos a escala 1:500 ó 1:1000; se establecen los elementos que coincidirán con los ejes de replanteo de cada uno de los elementos del enlace (ejes de simetría o bordes de calzada) y, muy especialmente, de las carreteras a enlazar, vayan a ser éstas modificadas o no, puesto que con ellas han de empalmar todos los ramales en la mayoría de los casos. Si estas vías no son modificadas, es necesaria una definición taquimétrica de aquellos elementos (eje de simetría o bordes) que serán utilizados como punto de partida de la definición en planta de los ramales.

También es necesario definir, en este momento, los anchos de los carriles de las calzadas asociados a cada uno de los ramales del enlace, puesto que en algunos casos será necesario saber a qué distancia de los ejes analíticamente prefijados han de llegar otros ejes que no empalman directamente sobre ellos, sino que lo hacen sobre una línea de la vía predefinida distinta de su eje de replanteo.

La flecha que aparece en el diagrama, dirigida hacia la columna de la derecha, indica que si existe separación de trabajos por especialidades y los especialistas ya han empezado a desarrollar tareas tales como diseños de pavimentos y de estructuras, es oportuno que ellos obtengan estos datos. La flecha apunta en un solo sentido porque rara vez surgen, en esta etapa, proveniente de alguna otra actividad, condicionamientos para el ancho de calzada, y casi nunca para la elección de ejes. Especial mención merece el caso de la Topografía adicional, que en este momento puede ser requerida para las mediciones de las vías existentes y de las singularidades del terreno que afecten el diseño de las obras de arte.

iii. Se define analíticamente los ejes en planta de las carreteras, si éstas fueran objeto de trazado y de los ramales del enlace, cuidando la coherencia de los empalmes entre ellos según los anchos asignados en la etapa anterior. Se pueden hacer ya los diagramas de curvatura de los ramales (y de las carreteras) y sus diagramas de peraltes. Estos últimos deberán resolver las inclinaciones transversales de las puntas entre dos calzadas que se empalman, considerando su influencia sobre la definición en elevación, que posteriormente puede obligar a retocar dicha inclinación.

La flecha, también dirigida sólo hacia la derecha, ilustra que estos datos también son requeridos para avanzar en el diseño de las estructuras, de los drenajes transversales y de las reposiciones de servicios. En caso de ser necesaria la reposición de caminos o la previsión de caminos de servicio, sus definiciones en planta pueden ser abordadas en esta etapa.

iv. Es el momento de ejecutar los perfiles longitudinales de los ramales y carreteras ya definidas en planta. Ahora la flecha es doble, lo que indica que en este momento la interconsulta entre el proyectista y los especialistas es necesaria, puesto que es muy posible que existan condicionamientos, provenientes principalmente de los requerimientos de cotas para las obras de arte en general, que afectan el trazado en elevación. Si no hay separación de especialidades, conviene desarrollar los proyectos de dichas obras de arte, por lo menos en los aspectos relativos al trazado, antes de proceder a definir los perfiles longitudinales.

v. Se ejecuta los perfiles transversales, de los cuales se desprenden los límites de explanación y de expropiación. La flecha doble indica que existen interdependencias importantes entre ambas columnas, en aspectos tales como geotecnia (definición de taludes y cunetas), drenajes y desagüe (cunetas), estructuras (muros de contención) y expropiaciones.

vi. Resueltas todas las facetas del diseño, se ejecutan las cubicaciones y los presupuestos, con todos los proyectos anexos que provienen de la columna de la derecha.

801.05.4.(a3) Interdependencia de los trazados en planta y elevación

En el caso de un enlace, la planta y la elevación del mismo se condicionan mutuamente en mayor grado que en el caso de las intersecciones a nivel, en las que no existen grandes diferencias de cota a resolver.

Esto dificulta, aunque no imposibilita, la pretensión de estructurar la presente Sección según un proceso lineal esquemático. Se hará necesario tener en cuenta, desde el inicio del trazado en planta de los ejes de las carreteras y/o ramales, las características en elevación que habrá que dar a la configuración que se proponga.

Esta interdependencia se manifiesta inicialmente en el momento de la elección de cuál(es) carretera(s) y/o ramal(es) discurrirá(n) por el nivel inferior y cuál(es) por el superior. Esta decisión es importante, puesto que tiene gran influencia tanto en los costos de construcción como en el funcionamiento del dispositivo.

La respuesta a este problema suele estar dada por las características de la topografía, por el tipo de enlace, por las importancias relativas de las carreteras, que pueden ser tales que sea preciso subordinar por completo una de ellas a los mejoramientos de la otra, aún en contra de las conveniencias dictadas por el relieve del terreno. Esto último sólo será permisible cuando la preponderancia de una de las vías haga antieconómica la aparición de cambios de cota significativos en ella y cuando esto no signifique un deterioro notable del paisaje.

En todo caso, cuando proceda, se debe estudiar este asunto considerando los siguientes conceptos.

i. La mayor parte de los diseños quedan determinados por la economía que significa la adaptación al terreno, no sólo del trazado de las vías sino que del trazado del conjunto del enlace, puesto que no considerar oportunamente los ramales puede llevar a éstos a ser delineados inadecuadamente.

ii. El paso inferior de la carretera más importante supone ventajas para la visibilidad de sus usuarios, puesto que la estructura les avisa anticipadamente la proximidad de una singularidad del trayecto. Esto también ocurre cuando dicha carretera se eleva ostensiblemente sobre un terreno natural relativamente llano para salvar superiormente el obstáculo. Si ésta se hunde bajo un camino que cruza al nivel del horizonte, la ventaja en cuestión es mínima.

iii. El paso superior de la vía más importante favorece estéticamente a los usuarios de ésta, al prodigar una mejor visión de la zona desde una cierta altura libre de obstáculos.

iv. Cuando el tránsito que gira es importante, el paso inferior de la carretera principal favorece las maniobras de cambio de velocidad, al proveer pendientes en subida para la deceleración y en bajada para la aceleración a los vehículos que salen y entran a ella, respectivamente.

v. Si no existen conveniencias determinantes para una u otra solución deberá preferirse aquélla que confiera mejor distancia de visibilidad a la carretera principal.

vi. Un paso superior permite a veces su construcción por etapas, pudiéndose materializar parte de su sección (o una sola estructura si la carretera tiene calzadas separadas) y postergar su ampliación hasta la construcción definitiva.

vii. En zonas de drenaje problemático, el diseño se resuelve mejor para la carretera principal si ésta se eleva sobre la secundaria, no alterando el trazado de esta última.

viii. El costo de las estructuras, que suelen ser diferentes para uno y otro caso. Cuando se pueda, se deben preferir las soluciones con luces menores para la carretera principal.

ix. En general, cuando la carretera principal, con su sección tipo más amplia y sus parámetros de diseño más exigentes, puede ser adaptada al terreno, y la otra vía supeditada a este esquema, los movimientos de tierra son mínimos.

x. La elección del nivel de cruce en un punto puede depender no tanto de las condiciones locales como de la planificación del conjunto de la obra. Ejemplo de esto es el caso de vías próximas a ciudades en las que su condición de deprimidas o elevadas es producto de una decisión que no permite excepciones.

xi. Se debe tener en cuenta que la construcción del enlace altera el tránsito durante las Obras, y que estas alteraciones afectan mucho menos a la vía a la cual no se le modifica el trazado.

xii. El paso superior de la carretera principal no limita el gálibo a sus usuarios, quedando ésta apta para carga especiales.

801.05.4.(a4) Distancias de visibilidad

Los valores mínimos de distancia de visibilidad son los mismos que se aplican en intersecciones, que corresponden a las Distancias Mínimas de Frenado.

Distancias mayores que éstas deben ser provistas cuando ello sea posible. Para el caso de la comprobación de la distancia mínima de visibilidad por efecto de la estructura en acuerdos verticales cóncavos, úsense los criterios de parámetros mínimos por visibilidad de frenado y las fórmulas correspondientes si se desea proveer distancias de visibilidad de adelantamiento en carreteras bidireccionales de dos carriles.

Las limitaciones de visibilidad horizontal producida por pilares, estribos y barandas (en pasos superiores) suelen ser más importantes que las que se originan por las características en elevación, lo que refuerza lo dicho en relación a la conveniencia de trazados más amplios en estas zonas.

801.05.4.(b) Trazado en planta

801.05.4.(b1) Aspectos generales

Como en todo trazado vial, la planta de un ramal es el resultado del calce sucesivo de alineaciones rectas y curvas, acordadas entre sí por otras curvas circulares de radio más amplio o por clotoides de transición. Tal sucesión debe constituir un eje cuya tangente sea una función continua de su desarrollo. A continuación se describirá los aspectos normativos que deben regir dichos trazados de las carreteras en la zona de enlace, de los ramales y de sus empalmes con otros elementos del diseño.

801.05.4.(b2) Ajuste de las carreteras que se enlazan

Con la excepción del caso en que se proyecta enlazar carreteras que no se cruzan, todos los tipos de enlace requieren modificar o rediseñar una de ellas o ambas en la zona del dispositivo a diseñar.

La aparición de pilares, estribos, barreras de protección, cunetas especiales, cordones y otras protuberancias, supone un aumento de los riesgos para los usuarios con respecto a las secciones normales de las carreteras que acceden al enlace. Esto hace que sea necesario respetar los estándares de dichas carreteras en la zona del enlace y, si es posible, mejorarlos.

Se debe evitar las curvaturas horizontales que se inician o terminan cerca de un vértice cóncavo o convexo con pendientes de acceso acusadas.

En un enlace, una carretera de cuatro carriles debe ser de calzadas separadas. Muchas veces es preciso desdoblar una carretera bidireccional de dos carriles para evitar giros indebidos a la izquierda y para permitir la incorporación de carriles de aceleración que no estén permitidas en carreteras bidireccionales. Esto aumenta la capacidad en la zona del enlace, afectada por los empalmes de entrada principalmente. También puede servir para ubicar pilares intermedios de la estructura.

Los ensanches del cantero central se consiguen de la misma manera establecida para Intersecciones ***(Numeral 801.04.4.(b2)).***

801.05.4.(b3) Trazado de los ramales

i. Aspectos generales

Un ramal consta de dos terminales o empalmes y de un tramo de vía entre ambos o brazo. El terminal que empalma con una carretera secundaria puede contemplar giros a la izquierda con condición de parada. En tal caso tendríamos una intersección a nivel en un extremo del ramal.

En cambio, el empalme sobre la vía principal siempre será unidireccional y con las pistas de cambio de velocidad que correspondan al caso proyectado, pudiendo los vehículos acceder o salir de ellas por sus lados izquierdo o derecho, evitando siempre que sea posible la primera alternativa.

El tramo del ramal entre los empalmes, o brazo, puede estar formado por cualquier combinación de alineaciones que sirvan razonablemente al propósito de hacer cambiar de dirección a los vehículos. Estas alineaciones quedan condicionadas por la elección de una Velocidad de Proyecto para el ramal, la que a su vez depende del conjunto de circunstancias del proyecto.

A continuación se presentará los criterios que se debe aplicar para dicha elección y se describirá las características de las alineaciones utilizables.

ii. Velocidad de proyecto en ramales

Cualquier operación de giro en un enlace supone inconvenientes para el usuario: aquellos derivados de la necesidad de prever las maniobras de salida de una vía y entrada a la otra, que dependen tanto de una adecuada señalización como de un trazado conveniente; el que el conductor tenga que reducir su velocidad por la existencia de ramales con características geométricas inferiores a la de la carretera por la que circulaba; ver alargado su trayecto por los desarrollos de dichos ramales, o todos ellos a la vez.

En todo caso, estas dificultades, inherentes a prácticamente todos los dispositivos que permiten cambios de dirección quedan compensados en un enlace bien planificado por la eliminación de riesgos, por los aumentos de la capacidad, por una mayor eficiencia en la operación y, por consiguiente, por los beneficios económicos que resultan para los usuarios.

El diseño ideal de un ramal, desde el punto de vista de la operación, será aquel que permita mantener la velocidad a los vehículos que se intercambian, en el caso de hacerlo entre dos carreteras de velocidades de proyecto iguales, y aumentarla o disminuirla de acuerdo a los valores de dichas velocidades de proyecto si ellas son distintas entre sí. Todo esto con un mínimo de aumento del recorrido.

Evidentemente, esto es rara vez posible, principalmente por las grandes extensiones que serían necesarias para desarrollar ramales con velocidades de proyecto altas, las que por otra parte podrían significar incrementos de recorridos que no justifiquen operacionalmente tales diseños.

En atención a las mencionadas limitaciones, es práctica habitual permitir una Velocidad de Proyecto de ramales reducida con respecto a los valores ideales.

Existen diversas maneras de abordar este asunto. Por ejemplo, considerar la Velocidad de Proyecto de la carretera principal y permitir reducciones de ésta según algún criterio normalizador, como lo establece AASHTO en “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”, o considerar la Velocidad de Proyecto promedio de ambas carreteras y el tipo de ramal, y sobre ese valor aplicar reducciones, como lo especifica el Ministerio de Obras Públicas, España, en sus “Recomendaciones para el Proyecto de Enlaces”.

En ninguno de estos casos se contempla las diferencias operacionales que presentan entre sí los casos de los ramales de salida y de entrada desde ya carreteras con diversas velocidades de proyecto.

Estas simplificaciones son válidas, pero si se pretende permitir trazados de menor costo que en los países con mayores medios, se hace preciso aplicar algún criterio que permita afinar la elección de la Velocidad de Proyecto de los ramales.

El presente Volumen mantiene velocidades de proyecto en función del tipo de ramal, de las velocidades específicas de las carreteras y, muy importante, atendiendo a si éste es de salida o entrada respecto de la carretera principal. Esto último se toma en cuenta porque el caso de un ramal de salida desde una carretera de velocidad mayor hacia otra vía o punto de velocidad inferior, no es igual al caso inverso.

Efectivamente, al usuario que circula a baja velocidad no le significa molestia ni peligro entrar a un ramal de velocidad igual o inferior a la suya, estando dispuesto a incrementarla en el momento oportuno para ingresar a la vía más rápida. En cambio, al vehículo rápido que sale le resulta mucho más notorio el cambio de velocidad impuesto por un ramal de baja Velocidad de Proyecto, pudiéndose dar el caso de desacato a la señalización o de mal uso de los carriles de deceleración.

Por esto la ***Tabla 67*** contiene valores para las velocidades de proyecto de ramales distintos para cada par de velocidades específicas de las vías, según sea el sentido del ramal. Esto permite trazados de menor costo en los ramales que discurren desde Vp bajas hacia Vp altas y trazados que son los habituales en otros países para el caso opuesto.

Ejemplo de utilización (con interpolaciones): sea un ramal semidirecto que sale desde una carretera con Vp = 90 Km/h y llega a una de 70 Km/h.

En la columna de la izquierda (ORIGEN) aparecen los valores 80 y 100 y en la fila superior (DESTINO), para el caso de ramales semidirectos, aparecen 60 y 80. Los valores de Vp Ramal (Velocidad de Proyecto del Ramal) entre los que hay que interpolar son: 45, 50, 60 y 60, que aparecen en el recuadro segmentado de la ***Tabla 67***. La Vp Ramal mínima deseable será (45 + 50 + 60 + 60) / 4 = 55 Km/h, debiendo usarse valores mayores siempre que sea posible. Nótese que el caso contrario, o sea, un ramal que va desde Vp = 70 Km/h a Vp = 90 Km/h resulta de Vp Ramal = 45 Km/h.

Si el ramal fuera de doble sentido, se consideraría el sentido 90 - 70 que es el más exigente.

Por último, cabe hacer notar que en ramales largos, en los que se pueda efectuar un trazado con distintas curvas, la velocidad Vp Ramal puede ser menor, siempre que en la zona próxima a la salida desde la carretera más importante (o de enlace a ella) se respete el trazado mínimo impuesto por esta norma. Esto es particularmente aplicable al caso de un ramal que accede a una intersección a nivel con condición de parada, donde Vp Ramal es nula.

En ramales cortos con condición de parada, se utilizan los valores correspondientes a Vp = 40 de la fila superior, proveyendo de la distancia suficiente para detenerse en el punto requerido.

TABLA 67: VELOCIDADES DE PROYECTO MÍNIMAS EN RAMALES DE ENLACE

Vp carretera de Destino km/h		Directos Import. Entre autopistas			Directos					Semidirectos					Lazos	
		80	100	120	40	60	80	100	120	40	60	80	100	120	40 - 80	100 - 120
Vp carretera de origen km/h	40	---	---	---	---	30	30	35	40	---	30	30	35	40	25	30
	60	---	---	---	30	35	40	45	50	30	35	40		45	30	35
	80	60	65	70	45		50	55	60	40	**45**	**50**			35	
	100	70		80	70					**60**					40	
	120	80	90	100	80					70					50	

Nota 1: Si el ramal es de doble sentido, se aplica el valor que corresponde al sentido más exigente.
Nota 2: Los valores usados en el ejemplo del texto, están con negrita.

Los valores de la ***Tabla 67*** son valores mínimos que no deben utilizarse en forma independiente de la demanda que se ejercerá sobre los ramales. No considerar en la selección de una Velocidad de Proyecto para un ramal la cantidad y tipo de vehículos que lo solicitarán puede conducir a graves situaciones de congestión. Por ello, se podría exigir un análisis de capacidad cuando se estime que las características de la demanda, combinada con la geometría en planta y elevación del ramal, hagan temer la saturación del mismo.

iii. Alineaciones en ramales

El eje en planta de un ramal de enlace, al igual que un ramal de intersección o de una carretera, estará constituido por una secuencia de alineaciones rectas y curvas, empalmadas tangencialmente entre sí mediante curvas de acuerdo circulares de radios intermedios o mediante clotoides.

El trazado en planta de un ramal de enlace se puede asimilar al de un ramal largo de una intersección, puesto que ambos implican trazados en elevación independientes y, por lo tanto, es preciso compatibilizar sus empalmes con las vías de origen o destino atendiendo a sus características individuales.

La ***Tabla 68***, resume los valores mínimos absolutos de radios de curvatura de arcos circulares en ramales de enlace para velocidades de proyecto desde 25 Km/h hasta 100 Km/h. Estos valores provienen de las ***Tabla 46***, siendo estos últimos los correspondientes a caminos y carreteras en campo abierto, habiéndose adoptado en este caso un peralte de 8% para *V*p = 70Km/h y la expresión $R_{MIN}=(V\text{p})^2/127\ (f_{max}+e_{max})$.

TABLA 68: RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS CON PERALTES MÁXIMOS EN RAMALES DE ENLACE

Vp ramal (km/h)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100
f max %	31,0	28,0	25,0	23,0	21,0	19,0	18,0	17,0	16,0	14,9	12,2	11,4	10,5
e max %	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Rmin adoptado	15	20	30	40	55	75	90	120	140	170	250	330	425

Toda vez que sea posible, resulta conveniente emplear los radios y peraltes deseables que se entregan en el ***Gráfico 74*** para velocidades menores o iguales que 65 Km/h y los conceptos expuestos en la Sección correspondiente a "Curvas Horizontales con Radios sobre los Mínimos" para Vp ≥ 70 km/h.

iv. Curvas de acuerdo

Como se dijo, las alineaciones sucesivas, con distintos radios de curvaturas, deberán ser empalmadas mediante curvas de acuerdo, que podrán ser arcos circulares o clotoides.

Es aplicable, en el caso de ramales de enlace, todo lo dicho en el ***numeral 801.04.3.(e)*** relativo a este tema para el caso de las intersecciones. Sin embargo, al no existir limitaciones prácticas para el uso de clotoides, éstas deberán preferirse a las curvas de acuerdo circulares, por motivos funcionales.

A continuación, en la ***Tabla 69***, se resumen los valores de los parámetros mínimos (Amin) de las clotoides de transición según sea el caso de su utilización.

TABLA 69: PARÁMETROS MÍNIMOS DE CLOTOIDES (A mín - Vp ≤ 60 km/h) Y (ANORMAL - Vp ≥70 km/h)

Vp ramal (km/h)	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100
Rmin (m)	25	35	45	60	75	90	120	170	250	330	425
Amin (m)	20	30	35	40	50	60	70	100	130	150	175

801.05.4.(b4) Anchos de calzadas y banquinas

Los anchos de calzada para ramales de enlace son los mismos que para ramales de intersecciones.

Sin embargo, por ser los primeros de longitudes generalmente mayores, es conveniente prever banquinas que faciliten detenciones ocasionales o resguardo a los conductores vacilantes que reducen sus velocidades por efecto de cualquier desorientación que les produzca la mayor complejidad del dispositivo que están usando. En la ***Tabla 70*** se dan los anchos mínimos de banquina izquierda y derecha para calzadas de uno y dos carriles, según sea la Velocidad de Proyecto de los mismos.

Si los terraplenes son altos y/o las lluvias abundantes, el tratamiento de las banquinas y la colocación de cordones en sus márgenes externas son recomendables. En general, si el tránsito es importante o la Velocidad de Proyecto elevada, las banquinas deberán ser tratadas superficialmente o pavimentadas.

TABLA 70: BANQUINAS MÍNIMAS EN RAMALES DE ENLACE

	ANCHO MINIMO(m) EN RAMALES DE 1 CARRIL		ANCHO MINIMO (m) EN RAMALES DE 2 CARRILES		
	Vp ≤ 70 km/h	Vp > 70 km/h	1 sentido (ramales entre autopistas)	2 sentidos	
				Vp ≤ 70km/h	Vp > 70 km/h
Derecha	1,50 (1,20)	2,00 (1,20)	2,00 (1,20)	1,50 (1,20)	2,00 (1,20)
izquierda	0,60	1,00 (0,60)	1,00 (0,60)		

(1) Al existir siempre una banquina, no rigen las limitaciones.
(2) Los valores entre paréntesis corresponden a los anchos de banquinas mínimos cuando no se prevén detenciones y se utilizan soleras.
(3) Estos valores no incluyen SAP mínimo de 0,5 m.

801.05.4.(b5) Transiciones de ancho

Es frecuente, dentro de un mismo ramal de enlace, encontrar alineaciones que requieran distintos anchos de pavimento. Cuando esto ocurre, la transición de un ancho a otro se resuelve a lo largo de la curva de acuerdo, en forma lineal.

En caso de presentarse transiciones de ancho correspondiente al paso del caso II ó III de la ***Tabla 49*** al caso I de la misma, éstas se realizan en distancias que aparecen en la ***Tabla 59.***

Las transiciones de anchos en las zonas de empalmes y en las pistas de cambio de velocidad fueron abordadas en los ***numerales 801.04.3.(g2) y 801.04.3.(g3).***

Cuando existe una transición de ancho de calzada conjuntamente con una transición de peraltes, los bordes alejados del eje de giro de peraltes configuran, en elevación, una curva parabólica. Se acepta aproximar esta curva a una recta entre sus valores extremos.

801.05.4.(b6) Empalmes de ramales y carriles de cambio de velocidad

Los carriles de aceleración y deceleración en enlaces presentan las mismas características ya anotadas para intersecciones, en el ***numeral 801.04.3.(g).***

A continuación se resume las referencias más útiles:

- Formas básicas
- Carril de Aceleración Tipo
- Longitudes de Carriles de Aceleración
- Correcciones por pendiente para carriles de aceleración
- Carril de Deceleración Tipo Directa
- Carril de Deceleración Tipo en Paralelo
- Ángulo de Incidencia de Carril de Deceleración Directa
- Largos de Cuña de Carriles de Deceleración
- Longitudes de Zona Deceleración; valores para i = 0

Cabe agregar, sin embargo, algunas recomendaciones especialmente válidas para los empalmes y carriles de cambio de velocidad de los enlaces, que por lo general aparecen asociados a las estructuras de cruce de las carreteras. Es frecuente que existan empalmes de ramales, ya sea de salida o entrada, situados en las proximidades de las estructuras, lo cual produce dos inconvenientes: la visibilidad de los usuarios puede ser limitada por los estribos, pilares y protecciones de las estructuras, o éstas pueden necesitar ampliaciones, en ancho o luz, para prolongar sobre o bajo ellas los carriles de aceleración o deceleración.

Por otra parte, alejar los empalmes de las estructuras para no tener estos inconvenientes resulta frecuentemente antieconómico o antifuncional, al aumentar las superficies involucradas por el trazado de los ramales y aumentar el recorrido de los vehículos.

En los empalmes posteriores a las estructuras se recomienda dejar una distancia suficiente para que los conductores que pretenden salir de la carretera de paso puedan percibir la singularidad con antelación e iniciar las maniobras pertinentes, o para que los que entran a ella puedan tener suficiente retrovisión para la operación de ingreso.

Las distancias mínimas que se recomiendan son de 80 metros para velocidades de proyecto de la carretera entre 60 y 80 Km/h y 120 metros para velocidades entre 90 y 120 Km/h.

Los empalmes anteriores a la estructuras no tienen que estar tan distantes de ellas, ya que la situación, por lo general, no lesiona la visibilidad. En este caso, la separación se elige según las características del proyecto.

801.05.4.(b7) Terminales sucesivos

Cuando son necesarias entradas y salidas sucesivas en un tramo de carretera se generan interferencias entre los sucesivos carriles de cambio de velocidad y/o dificultades de maniobra tanto para el tránsito de paso como para el que gira. Además, se generan problemas de señalización en el caso de empalmes de salida que se suceden.

En el ***Gráfico 99 SEPARACIÓN ENTRE TERMINALES SUCESIVOS Anexo III*** se muestra distintas soluciones para el proyecto de empalmes sucesivos. Son preferibles aquellas configuraciones en las que salidas y entradas aparecen en este mismo orden (**Gráfico a**). Sin embargo, cuando es necesario lo contrario aparecen una serie de posibilidades para el tratamiento de la situación.

En el **Gráfico b** se muestra el caso relativo a los tramos de trenzado; aquí los carriles de cambio de velocidad empalman entre sí, generando un tramo de ese tipo.

En el **Gráfico c** se muestra una solución cuando la entrada es seguida por una salida muy próxima, al punto que sus carriles de cambio de velocidad deben extenderse hacia cada lado de los empalmes. La isla divisoria dispuesta pretende minimizar las interferencias que produce el insuficiente tramo de trenzado en los carriles de paso. En el ejemplo, la isla (de preferencia con cordones) está separada del carril de paso por una distancia equivalente a las banquinas, que es lo deseable, y también está distante del carril auxiliar. Esta última distancia no debe ser inferior a 0,60 m.

En el **Gráfico d** se muestra una sucesión de empalmes (entrada-salida-entrada-salida) en que se han unido los carriles de cambio de velocidad (trenzado) para constituir un carril continuo.

Por último, en el Gráfico e, se muestra la solución ideal a estos problemas, cual es la provisión de una calzada Colectora-Distribuidora (C-D), a la que se debe acudir cuando grandes volúmenes de tránsito son esperados y no se desea afectar la operación en la calzada principal.

Las dificultades mencionadas anteriormente, presentes en estos esquemas en mayor o menor grado, así como en otros no detallados en el ***Gráfico 98*** deben ser limitadas mediante una separación mínima entre los empalmes sucesivos. En el ***Gráfico 99*** se diagrama los casos más posibles de terminales combinados y se define las longitudes mínimas entre sus narices.

801.05.4.(c) Definición de la elevación

El trazado en elevación de los ramales de un enlace es similar al de los ramales largos de una intersección, tratados en el ***numeral 801.04.5.(c)***, y ejemplificados, en lo relativo a sus empalmes, en ***Gráfico 75***.

Cabe hacer notar que en los enlaces, por lo general, es preciso resolver diferencias de cota importantes, muchas veces en desarrollos relativamente cortos, cosa que no ocurre normalmente en las intersecciones.

En la ***Tabla 71*** se encuentran los valores mínimos de los parámetros de las curvas de acuerdo vertical cóncavas y convexas y sus longitudes mínimas. Asimismo, se da los máximos valores de la pendiente i (+ y -) en ramales de enlace. Todo ello en función de la Velocidad de Proyecto.

TABLA 71: PARÁMETROS MÍNIMOS ABSOLUTOS PARA EL PROYECTO EN ELEVACIÓN DE RAMALES

Vp (km/h)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100
Distancia (m) de Visibilidad de Frenado	20	25	31	38	44	52	60	70	80	90	115	145	175
Kv (m) Convexo*	300	300	300	400	525	700	900	1200	1500	1800	3000	4700	6850
Kc (m) Cóncavo	300	400	450	500	800	1000	1200	1400	1600	1900	2600	3400	4200
L (m) mínimo	15	20	20	22	25	28	32	35	40	50	60	80	100
Inclinaciones Máximas de Rasante (%)	±8,0	±8,0	±8,0	±7,0	±7,0	±7,0	±6,5	±6,0	±6,0	±5,5	±5,0	±4,5	±4,0

** Para los acuerdos vecinos a los empalmes se debe usar los valores correspondientes a Vp 10 Km/h superiores.*

***Nota 1**: Los parámetros mínimos recomendables para una Vp dada son aquellos correspondientes a Vp 10 Km/h superiores.*
***Nota 2:** En lugares donde se prevean formaciones de heladas, las pendientes no deberán exceder el 6%.*
***Nota 3**: En ramales Vp < 40 Km./h, en bajada, se aceptará excepcionalmente pendientes de –10% si no es zona de heladas .*

Es conveniente evitar los mínimos absolutos y recurrir a los mínimos recomendados (los valores correspondientes a la Vp 10 Km/h superior) siempre que se pueda, especialmente en los ramales directos o semidirectos, cuyo desarrollo suele permitirlo.

Se recalca que los parámetros mínimos absolutos para los acuerdos verticales vecinos a los empalmes de salida y entrada son aquellos tabulados para las velocidades de proyecto 10 Km/h superiores. Esta exigencia también es válida para las longitudes mínimas absolutas de dichos acuerdos. Con respecto a la visibilidad, es importante que la distancia de visibilidad, hasta la nariz del empalme de salida y desde la nariz del empalme de entrada, sea igual o superior a 1,2 veces la Distancia de Visibilidad de Frenado correspondiente a la Velocidad de Proyecto del ramal.

También se insiste que estos valores mínimos absolutos deben ser justificados, y que el número de carriles de los ramales afectados por tales mínimos debe ser analizado desde el punto de vista de la capacidad.

801.05.4.(d) Definición de las secciones transversales

801.05.4.(d1) Aspectos generales

Calzadas, banquinas, cunetas, cordones y protecciones son los elementos principales que se unen a las condiciones del terreno (taludes de corte y terraplén) para definir las secciones transversales de un ramal. Ocasionalmente pueden aparecer canteros centrales que serán tratados como islas divisorias ***(numeral 801.04.4).***

De estos elementos, hay que definir las formas, dimensiones, inclinaciones o ubicaciones que se ajusten a los antecedentes del proyecto.

Cunetas y taludes no serán abordados en la presente Sección, por quedar fuera de su ámbito de competencia; los anchos de calzada y banquinas han sido expuestos en los ***numerales 801.05.4.(b4) y (b5)***, por ser necesarios para la definición en planta del enlace.

Por consiguiente, en el presente Tópico se verá aquellos asuntos no tratados anteriormente y se hará las oportunas referencias a otras partes de este Volumen.

801.05.4.(d2) Peraltes, sus transiciones y aristas entre superficies

Los peraltes deseables que van asociados a radios de curvaturas y velocidades específicas resultan de las mismas teorías y consideraciones planteadas para ramales de intersecciones.

Las transiciones de peraltes en los ramales de enlace se abordan igual que en el caso de las intersecciones, por lo que los valores de la ***Tabla 63*** son válidos para las pendientes longitudinales aceptables de bordes de calzadas con respecto a la del eje de replanteo.

De igual manera, rigen para estos ramales los valores de la ***Tabla 64*** relativos a la máxima diferencia algebraica entre pendientes transversales de superficies adyacentes, medidas en su arista común.

En los ramales de enlace, al igual que en los de intersecciones, se recomienda que las superficies pavimentadas que anteceden a la nariz de los empalmes (puntas) tengan una inclinación transversal igual a la calzada de paso, constituyendo con ella una plataforma continua y de más fácil materialización.

Sin embargo, en estos ramales se puede presentar, con mayor frecuencia que en los de intersecciones, la necesidad de adecuar esta inclinación para mejorar el trazado de los perfiles longitudinales, cuyas pendientes en sus extremos iniciales y finales dependen en alguna medida del tratamiento que se dé a la punta en cuestión.

Cuando esto se haga, será preciso tener en cuenta, además de los imperativos que se desprenden de las necesidades de pendiente mínima de drenaje (1% en cualquier dirección), que esta zona puede ser invadida por algunos vehículos, lo que obliga a limitar su pendiente a un 8% y a no exceder los valores de la ***Tabla 64*** para las aristas entre ella y los carriles adyacentes.

Si la pendiente transversal de la punta no continúa la de la calzada de paso, puede acompañar a la del ramal, o mantener la de alguna de las banquinas que llegan a ella. En todo caso, la transición de la pendiente de estas últimas debe hacerse en un mínimo de veinte metros.

En el caso de ramales semidirectos, puede convenir utilizar contraperaltes por razones de drenaje superficial. En tal caso, pueden usarse las relaciones entre Vp y Radios Límite en Contraperalte (RLC) de la ***Tabla 63*** para velocidades.

801.05.4.(d3) Secciones transversales tipo en ramales

En el ***Gráfico 100*** se muestra el tratamiento recomendado para combinar los peraltes de calzada y de las banquinas en los distintos tipos de ramales.

Estas secciones son válidas, con los valores de peralte igual a 2% para tramos en recta. No es conveniente usar bombeos, salvo en el caso de un ramal muy largo en el que ello signifique una economía computable, o en el caso de paso por sobre una estructura cuyo tablero deba ser diseñado de tal manera. Por ser raro el caso de tramos rectos de longitudes significativas en los ramales de enlace, es generalmente más práctico continuar con la inclinación única de una sección a otra, según las normas de transiciones de peralte ya enunciadas.

La sección tipo de un ramal puede contemplar la existencia de cordones y/o barreras de seguridad, a uno o ambos lados exteriores de las banquinas. Los anchos de la calzada y banquinas según el radio de las curvas y tipo de maniobra prevista, se ajustarán a lo establecido en el ***numeral 801.04.3.(f)***.

Los Cordones son recomendables cuando la zona es lluviosa y el ramal discurre en un terraplén susceptible a daños provocados por el derrame libre del agua por sus taludes. En este caso, ellos conducen las aguas que escurren de la plataforma hacia bajantes especiales, lo cual disminuye la erosión de los taludes y minimiza los gastos de mantenimiento. En tal caso, la banquina deberá ser tratada convenientemente. Los Taludes de los Terraplenes y la oportunidad de uso de Barreras de Contención se regirán por lo establecido en el presente manual en cuanto a la temática. También son necesarios allí donde se desee proteger elementos externos al ramal. Estas barreras siempre deben ubicarse al exterior de la banquina.

SECCIÓN 901 - CRITERIOS DE DISEÑO PARA TRAVESÍAS URBANAS

901.01 INTRODUCCIÓN

Los sectores urbanos aledaños a las carreteras, generan serios conflictos de seguridad de tránsito, originados por los diferentes usos que se espera que tenga la carretera. Por un lado los peatones tienden a percibir la carretera como una vía local, atravesándola sin percibir que la Velocidad de Operación a la que viajan los vehículos supera ampliamente las velocidades por ellos estimadas. Producto de lo anterior en las carreteras que acceden o salen de nuestras ciudades o atraviesan pueblos o sectores con características urbanas tenemos los más altos índices de atropellamiento con resultados de víctimas fatales.

Un segundo aspecto relacionado con estos sectores tiene relación con los conductores. En este caso hay conductores que utilizan la carretera como vía local, deteniéndose, ingresando o realizando arriesgadas maniobras en la carretera, generando serios conflictos con los usuarios de paso, que desde su punto de vista circulan por una vía "rápida" o interurbana.

En ambas situaciones, el problema se basa en la percepción que tienen los usuarios del medio por el cual se desplazan. Cuando los usuarios perciben diferentes usos para un mismo medio, se generan los conflictos y confusiones, que en el caso de la vialidad tienen como resultado accidentes de tránsito

Para evitar lo antes expresado, el mensaje debe ser claro para todos los usuarios. Si la ruta se trata de una carretera que ingresa a un sector con presencia de peatones, comercio y accesos particulares directo a la calzada, entonces la carretera ha cambiado de hecho su jerarquía y deben generarse las medidas de diseño que transmitan a los conductores que deben bajar su velocidad, pues ya no se encuentran en una carretera. Lo anterior da entrada a una gran variedad de medidas de control de tráfico tendientes a que los conductores perciban el cambio de estándar de la ruta y se vean incentivados a desacelerar, lo cual se puede reforzar con señales de límite de velocidad máxima de 50
Km/h. Se debe tener presente que la sola instalación de señales no logra modificar las velocidades de operación, dado que el conductor no percibe la necesidad ni el riesgo de seguir transitando a la velocidad que llevaba durante su viaje en la zona interurbana.

901.02 ESTUDIO DE VELOCIDADES

901.02.1 ASPECTOS GENERALES

901.02.1.(a) Condiciones de ejecución

Toda proposición de cambio o definición de velocidad de una vía o tramo de vía, deberá ir acompañado de un estudio de velocidades que justifique, desde un punto de vista técnico, la modificación que se pretende introducir.

El estudio servirá también para sintetizar de manera adecuada los datos, argumentos técnicos y modificaciones de diseño que requiere la gestión de la velocidad y de la seguridad vial. Este deberá constar de dos partes; un “Diagnóstico" y un “Proyecto de Ingeniería" que sinteticen los aspectos técnicos definidos

El desarrollo de un Estudio de Velocidad, se requerirá en Autopistas, Multicarriles, Carreteras Primarias y Caminos Colectores, debido a que un cambio o definición de una velocidad máxima tendrá un impacto en la operación del tránsito en toda el área afectada. Se excluyen de esta necesidad los caminos locales y de desarrollo.

901.02.1.(b) Definiciones

901.02.1.(b1) Velocidad de Operación

Corresponde a la indicada en el ***numeral 401.02.4.(d) de la Sección 401***, definida como la Velocidad del Percentil 85%.

A su vez, procedimientos para estimar velocidades de operación, se establecen en el ***numeral 901.02.3*** de esta Sección.

901.02.1.(b2) Velocidad de Proyecto

Corresponde a la definida en el ***numeral 401.02.4.(a) de la Sección 401***.

Para efectos de los estudios de velocidad, la Velocidad de Proyecto asociada a las condiciones viales prevalecientes en el sector en análisis, se obtendrá a partir del análisis de los parámetros de diseño obtenidos en terreno.

Por otra parte, en caso que el proyecto vial del sector sujeto a estudio de velocidad esté disponible, la Velocidad de Proyecto será obtenida a partir de éste.

La Velocidad de Proyecto obtenida en un tramo de vía, se debe diferenciar por sentido de transito. Además cada tramo definido tiene implícito que sus condiciones de operación son homogéneas, en lo relativo a: volumen de tránsito, capacidad de la vía, fricción lateral, etc.

901.02.1.(b3) Velocidad Equivalente

Se entenderá que dos velocidades son equivalentes, cuando difieren en +20% ó -10%, de la velocidad de referencia.

En la ***Tabla 72*** se ilustra la equivalencia de las velocidades.

TABLA 72: RANGO DE VELOCIDADES EQUIVALENTES

Velocidad Km/h	Velocidad equivalente (Km/h)	
	Menor	Mayor
50	40	60
60	50	70
70	60	80
80	70	100
90	80	110
100	90	120
110	100	130

901.02.2 CONTENIDOS DE UN ESTUDIO DE VELOCIDAD

Ante la necesidad de desarrollar un Estudio de Velocidad, éste debe contar con 2 partes claramente diferenciadas. La primera de ellas es el Diagnóstico y Proposición, cuyos elementos centrales se mencionan en el siguiente numeral y tiene como objetivo definir el problema e indicar cuál es la solución a él. La segunda parte se refiere a cómo implementar la solución adoptada a través de un Estudio de Ingeniería.

A continuación, se indican los aspectos más relevantes de cada una de estas etapas:

901.02.2.(a) Parte 1 Diagnóstico y Proposición

Se deben considerar las siguientes etapas:

a. Presentación del problema
b. Datos de terreno
c. Diagnóstico y definición del problema
d. Determinación de la velocidad propuesta

A su vez para hacer el diagnóstico deben considerarse los siguientes aspectos:

- Velocidades de operación
- Distancias de visibilidad de frenado
- Jerarquía de la vía
- Velocidad límite
- Accidentes

El diagnóstico concluye con la identificación de las medidas de modificación correspondientes a la velocidad a señalizar, las medidas de seguridad vial asociadas a la solución adoptada y las condiciones de segregación requeridas, todas las cuales deben ser determinadas y definidas en detalle en el Proyecto de Ingeniería.

901.02.02.(b) Parte 2 Proyecto de Ingeniería

Corresponde efectuar un proyecto de ingeniería vial, que defina el diseño, ubicación, tipo, materiales, etc., de todas las obras, dispositivos y elementos identificados en la Parte 1.

Se debe considerar el diseño geométrico, operativo y ubicación de todos los elementos físicos y de señalización adecuados a la definición de velocidad limite en el tramo de vía en estudio.

Las modificaciones deben resumirse en un plano a escala apropiada del tramo.

En general, los diseños físicos deben ceñirse a lo dispuesto en las diferentes Secciones de este volumen.

901.02.3 MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN

901.02.3.(a) Tipos de velocidad a determinar

Se pueden distinguir al menos tres tipos de velocidad que representan fenómenos diferentes:

- Instantánea, asociada a un punto
- De recorrido, asociada a un tramo excluyendo las detenciones
- De viaje, asociada a un tramo incluyendo tiempos de detención

Las velocidades de recorrido y de viaje son variables agregadas; la primera desde el punto de vista de la circulación, la segunda desde el punto de vista del usuario.

901.02.3.(b) Aspectos temporales en la medición de velocidad

Las mediciones de velocidades de circulación vehicular, deben realizarse en momentos del año que representen las condiciones de operaciones normales habituales o más representativas del tramo de vía en estudio.

A su vez, se registran diferencias entre las características de operación de sectores urbanos y rurales, principalmente por el efecto de los períodos punta. De esta forma, los períodos horarios del día en que es factible realizar la medición de velocidad, serán distintos según si la ruta es rural o urbana.

Por otra parte, la medición de Velocidad de Operación se debe efectuar con una duración horaria tal que evite distorsiones puntuales que se puedan producir durante el día. Dado que los períodos factibles de efectuar la medición de velocidades son distintos entre los casos urbano y rural, lo mismo se aplica para la duración horaria mínima de la medición.

El periodo horario de medición de velocidad en zonas urbanas se debe determinar en función de los horarios de actividad en las distintas ciudades. En las zonas rurales se puede adoptar un horario para todo el territorio nacional, de las 07:00 a las 20:00, dado que no existen variaciones tan marcadas de flujo vehicular. En la siguiente tabla se propone la duración de las mediciones en función de la zona en que se medirá.

TABLA 73: ASPECTOS TEMPORALES MEDICIÓN DE VELOCIDADES

Tipo de ruta	Duración mínima de la medición (hr)	Duración Máxima de la Medición (hr)
Urbana	6	9
Rural	8	12

901.02.3.(c) Métodos de medición de velocidad

La utilización de cada uno de los métodos que se describen a continuación, depende más de los recursos disponibles que del objetivo: si se cuenta con un radar o un detector de velocidad, lo lógico es medir velocidades instantáneas; en cambio, si se dispone sólo de un vehículo, conviene su uso como vehículo flotante. Lo que interesa, en definitiva, es tener una estimación razonable de la Velocidad de Operación.

901.02.3.(c1) Velocidad instantánea

En estos casos, las velocidades individuales de los vehículos (Vi) se obtienen directamente de la lectura del instrumento o equipo. Es importante al definir el método a utilizar, que los us uarios no perciban que se les está midiendo la velocidad, ya que podría distorsionar los valores que se obtienen Los métodos más usuales son:

i. Radar

Usado para control de límite de velocidad (desviación estándar +/ - 2 Km/h). Este método presenta limitaciones en condiciones de circulación intensa, pues se dificulta la medición de un vehículo determinado. Es especialmente apto para vías interurbanas, cuando se desea determinar velocidades de aproximación a puntos singulares o cuando las velocidades observadas son homogéneas.

Existen sistemas de radar aptos para cualquier condición de operación, pero de preferencia se deberán utilizar los que se instalan sobre un vehículo en forma paralela a la calzada. Estos instrumentos miden en base a dos haces de láser en forma perpendicular a la vía, los que determinan la velocidad instantánea. Este método permite efectuar la medición sin que los usuarios perciban que están siendo observados.

ii. Sensores triboeléctricos

Son sensores puestos bajo el pavimento. Al pasar un vehículo produce una deformación que se transmite a un sensor, el que genera una carga eléctrica. Dos sensores ubicados a cierta distancia producirán dos cargas eléctricas en un intervalo de tiempo.

iii. Sensores de microondas

Este equipo se instala de forma transversal a la vía en análisis. Al pasar un vehículo interceptando el haz de la microonda detecta la velocidad de éste. El equipo es de tamaño reducido y se instala en la parte superior de un poste emplazado al costado de la vía.

901.02.3.(c2) Velocidad de recorrido y de viaje

En estos casos se determinan tiempos de viaje (Ti) para un cierto tramo de longitud (L) de la vía. Normalmente se trabaja con muestra (subconjunto de vehículos observados). Los métodos de medición más usuales son:

i. Medición directa

Un observador con cronómetro determina la diferencia de tiempo de viaje ΔT entre dos marcas separadas a una distancia ΔL. La velocidad individual (Vi) de cada vehículo será el cociente entre ΔL y ΔT. Es un método simple, pero sólo aplicable a tramos cortos ya que un error en la obtención de ΔT implica velocidades diferentes. Existen problemas de paralelismo y el proceso es lento, lo que implica considerar tamaños muestrales pequeños.

ii. Método de las patentes

Este método consiste básicamente en ubicar observadores a la orilla de la vía, a fin de que anoten el número de la patente y el tiempo de pasada entre dos puntos de cada vehículo motorizado, Identificando su categoría (vehículo liviano, ómnibus, camión de dos ejes, etc.). La gran desventaja de esta técnica es el requerimiento computacional posterior para el análisis y procesamiento de la información.

Para situaciones de alto flujo vehicular, normalmente se anotan las patentes de algunos dígitos en particular; por ejemplo, los dígitos pares. Este método permite obtener tiempos de viaje o velocidades conocidas y la distancia recorrida, para cada vehículo registrado. Se requiere que los cronómetros estén sincronizados. Su limitación radica en la dificultad de lectura de la patente al oscurecer.

iii. Método del vehículo flotante

Este método consiste en utilizar un vehículo que circule dentro de un pelotón de vehículos en períodos sin congestión, registrando el tiempo empleado en recorrer un tramo de vía de longitud determinada. Los inconvenientes principales consisten en que los resultados obtenidos estarán estrechamente ligados a la forma de conducción del vehículo y el número de observaciones normalmente es pequeño en comparación con otros métodos

iv. Método del seguimiento

Este método consiste en utilizar un vehículo que, a diferencia del caso anterior, está equipado con un registrador de eventos, de modo que registre, cada cierto intervalo de tiempo predefinido, la distancia recorrida y el tiempo empleado. Con esto, la información posible de obtener es el tiempo de viaje del pelotón para cada tramo recorrido. Las limitaciones del método son similares a las del vehículo flotante

v. Filmación del flujo

Método apto para tamaños muestrales grandes. Es similar al método de medición directa y su principal limitación es que el procesamiento de la información es lento y normalmente existen problemas para determinar los puntos que definen ΔL. Las velocidades individuales se estiman como el cociente entre ΔL y ΔT.

901.02.3.(d) Determinación del tamaño de la muestra

El tamaño de muestran para la medición puede estimarse de la siguiente ecuación

$$n = \left(\frac{S \cdot Za}{e} \right)^2$$

Donde:

S: desviación estándar de las mediciones (ver ecuación inferior)
e: error aceptable para toda la medición (entre 2 y 10 Km/h)
Za: parámetro para un nivel de confianza de a% en la estimación de la velocidad (para un 95% de confianza Z95 = 1,96; para un 90% de confianza Z90 = 1,65)

$$S = \sqrt{\frac{\sum \left(\bar{v} - v_j \right)^2}{n-1}}$$

Donde:

v = velocidad media

v_j =velocidad medición j-ésima

Dado que S depende del tamaño de muestra n que se está tratando de determinar, una primera aproximación es considerar un valor promedio de S = 8 Km/h (Cal y Mayor y Cárdenas, 1.994, Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones). Esto da un tamaño de muestra entre 3 y 60 vehículos para un 95% de confianza y errores aceptables de 10 y 2 Km/h, respectivamente. Por lo tanto se recomienda tomar n = 30. Calcular S y volver a estimar n.

A su vez, el horario en que se efectúen estas mediciones, debe cumplir con lo especificado en la ***Tabla 73***.

901.02.3.(e) Velocidad de Operación

Una vez obtenidas los Vi de la muestra n, se ordenan de menor a mayor hasta alcanzar el 85% de la muestra. La velocidad que completa el 85% de las observaciones, se define como la Velocidad de Operación.

901.02.3.(f) Formularios de datos

En los ***Gráficos 101 y 102*** se presentan los Formularios de Datos propuestos para la información relevante en la elaboración de los estudios de velocidades, en tramos de vías de la Red Vial de nuestro País.

901.02.4 DEFINICIÓN DE VELOCIDADES MÁXIMAS

901.02.4.(a) Velocidad límite legal máxima

Corresponde a las establecidas en las leyes de Tránsito. Para el caso de vías en zona rurales, la velocidad máxima se define según lo indicado en la ***Tabla 74***. En cualquier caso primará la Ley de Tránsito vigente a la fecha de su utilización.

T A B L A 74: VELOCIDAD LÍMITE LEGAL MÁXIMA EN VÍAS INTERURBANAS Tipo de Vehículo

Vehículos livianos de menos de 3.860 Kg, de peso bruto	Vías unidireccionales 100 Km/h
	Vías Bidireccionales 100 Km/h
Ómnibus Interurbanos	Vías unidireccionales 100 Km/h
	Vías Bidireccionales 100 Km/h
Vehículo de Transporte Escolar	Vías unidireccionales 90 Km/h
	Vías Bidireccionales 90 Km/h
Camiones 2 ejes y buses no interurbanos de más de 3.860 Kg.	Vías unidireccionales 90 Km/h
	Vías Bidireccionales 90 Km/h
Camiones de más de 2 ejes	Vías unidireccionales 90 Km/h
	Vías Bidireccionales 90 Km/h

Para el caso de vías urbanas, el límite de velocidad es de 50 km/h para vehículos livianos y para vehículos de transporte escolar, ómnibus y camiones.

Estas velocidades límites legales, se asumen válidas en todos aquellos sectores de las vías donde no existe señalización explícita que indique lo contrario.

VER: Gráfico 101 (FORMULARIO DE DATOS ESTUDIO DE VELOCIDADES (1)) (Ver Anexo IV) Gráfico 102 (FORMULARIO DE DATOS ESTUDIO DE VELOCIDADES (2)) (Ver Anexo IV)

901.02.4.(b) Velocidad límite legal señalizada

Corresponde a la señal vertical reglamentaria, instalada en un camino o carretera, que indica al conductor la velocidad máxima permitida para circular. Como regla general la Velocidad Límite Legal Señalizada es la Velocidad Límite Legal Máxima, salvo en aquellos sectores en que ha sido modificada por aspectos de operación o diseño, y respaldada mediante los estudios de velocidad contemplados en la normativa vigente, según corresponda.

901.02.4.(c) Modificaciones de velocidad máxima

De ser necesario introducir modificaciones al diseño vial de la infraestructura existente, de manera que la Velocidad de Operación y la Velocidad de Proyecto sean equivalentes, se debe evaluar el tipo de modificación más adecuado de acuerdo a las características de la vía, de los sectores próximos al tramo en estudio, de los volúmenes de tránsito y de su composición, de su régimen de operación relevante.

(De paso o de accesibilidad), de su entorno (netamente interurbano, semi urbano, urbano) y del uso de suelo.

Se tienen dos tipos de modificación posibles:

- Mejoramiento del diseño vial de manera de aumentar la Velocidad de Proyecto y hacerla equivalente con la Velocidad de Operación

- Cambios en el diseño vial de manera de disminuir la Velocidad de Operación y hacerla equivalente con la Velocidad de Proyecto

901.02.4.(c1) Rediseño vial para aumentar la velocidad

Se entienden como medidas de mejoramiento del diseño vial, a todas aquellas modificaciones tendientes a mejorar los parámetros de diseño geométrico, de pavimentos, de iluminación u otros; que de acuerdo con las instrucciones de diseño contenidas en las ***Secciones 201 y 301***, resulten en un aumento de la Velocidad de Proyecto

Se tomarán medidas técnica y económicamente factibles de mejoramiento del diseño vial, en alguna de las siguientes situaciones:

- Cuando el tramo de vía en estudio represente una restricción de diseño geométrico, en relación con los sectores próximos a éste. Es decir, una singularidad que afecta la operación de los vehículos
- Cuando la Velocidad de Proyecto del tramo en estudio, esté determinada por condición de distancia de visibilidad en planta, la cual puede ser mejorada mediante despejes laterales

901.02.4.(c2) Rediseño vial para disminuir la velocidad

Hay investigaciones que indican que la Velocidad de Operación asumida por los usuarios de una vía, depende de la interpretación de las condiciones operacionales de la vía. No debe esperarse que la sola limitación legal o la señalización reduzcan la Velocidad de Operación, si los conductores perciben que pueden circular a una velocidad mayor. Cualquier característica geométrica que aumente en los conductores la percepción de riesgo resultará en una reducción de velocidad

901.02.5 DEFINICIÓN DE VELOCIDADES MÍNIMAS

En el presente tópico, se definen ciertos criterios para determinar velocidades mínimas en las situaciones que se indican. Es importante destacar que siempre que se pretenda establecer una velocidad mínima en una vía, se deberá efectuar un Estudio Técnico que la justifique.

La eventual definición de una velocidad mínima podrá ocurrir preferentemente en carreteras con calzadas independientes unidireccionales, con al menos 2 carriles de circulación, dónde sólo en el segunda carril de la vía (carril de adelantamiento principalmente) se podrá aplicar esta condición.

Eventualmente, esta medida podría aplicarse también en un camino o tramo de éste, aunque sea bidireccional.

También podrá aplicarse en carreteras de doble calzada y 2 carriles de circulación por sentido (separados por un cantero central) y que tengan una Velocidad de Operación mayor o igual a 100 Km/h siempre que la pendiente o gradiente máxima sea de 3%.

A su vez, las velocidades mínimas que se pudieren reglamentar, de penderán de la velocidad máxima permitida para la vía, de acuerdo a lo propuesto en la siguiente Tabla:

TABLA 75: VELOCIDAD MINIMA A ADOPTAR

Velocidad Máxima Km/h	Velocidad Mínima Km/h
80	40
90	50
100	60
110	60
120	70

De acuerdo a lo indicado anteriormente, para definir una Velocidad Mínima se deberá presentar un Estudio que respalde la factibilidad técnica de dicha medida. Los alcances mínimos que se deberán abordar en estos estudios son los siguientes:

- Analizar el cambio en el Nivel de Servicio de la vía en las situaciones actual y con introducción (o eliminación) de la reglamentación de Velocidad Mínima
- Efectuar un análisis de los origen/destino de la vía que se somete a una restricción de velocidad, de forma de mantener la conectividad de todos los usuarios de la vía. Este análisis se debe efectuar para todos los usuarios actuales de la vía y los posibles potenciales
- Análisis y descripción de los elementos geométricos de la vía involucrados en el sector a restringir
- Describir la forma de implementar la restricción en la vía
- Indicar los recursos necesarios para fiscalizar el cumplimiento de la restricción a aplicar

901.02.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO DE VELOCIDAD EN VIAS RURALES

Una vía rural es aquella emplazada en zonas rurales, que son las áreas geográficas que excluyen las zonas urbanas. También se conocen como vías interurbanas.

901.02.6.(a) Situaciones posibles

Se pueden presentar dos tipos de situaciones en que se requiera cambios de velocidad máxima (Respecto a la velocidad límite legal establecida), los cuales se indican a continuación.

Caso 1: Señales existentes que definen una velocidad límite inferior a 100 Km/h, en el caso de vías de calzadas independientes con 2 ó más carriles de circulación por sentido.

Caso 2: Situaciones en que las condiciones del diseño vial y de la Velocidad de Operación de los vehículos permiten considerar aumentar la velocidad de 100 Km/h en el ámbito interurbano.

901.02.6.(b) Procedimiento

En términos generales, las decisiones de modificación de velocidad límite legal o de Velocidad de Operación se podrán comprobar midiendo la Distancia de Visibilidad a los puntos conflictivos (lugares de cruces de peatones, accesos desde vías secundarias o desde una propiedad, puntos de giro, etc.), según lo indicado y estudiando estadísticas de accidentes o conflictos de tránsito.

El principio general a aplicar, es que las limitaciones legales de velocidad (velocidad límite legal) que se adopten deben ser concordantes con la velocidad de diseño según la jerarquía de la vía y el nivel de accidentes registrados. Al mismo tiempo y, como consecuencia de lo anterior, en general todo cambio de velocidad límite, debe ir apoyado por un rediseño parcial o total, acorde a esa situación específica.

Los pasos a seguir para cada uno de los casos del ***numeral 901.02.6.(a)*** se indican a continuación:

Caso 1: Señales existentes que definen una velocidad límite inferior a 100 (según el tipo de vía) en un ámbito rural. Se debe revisar la velocidad de diseño que le corresponde a la vía en estudio de acuerdo con su jerarquía y compararla con la velocidad límite legal existente.

En ***Tabla 72*** se indican las velocidades equivalentes.

En este caso, es posible:

Que ambas velocidades sean equivalentes, lo cual significa que no correspondería realizar cambios en la velocidad límite legal. Sin embargo, debe medirse la Velocidad de Operación.

Si ésta resulta superior a la velocidad límite legal, considerando el rango de equivalencia, significa que se debe modificar el diseño de la vía o del tramo afectado, ó colocar los elementos que correspondan, con el objeto de disminuir la Velocidad de Operación hasta alcanzar la velocidad límite legal señalizada.

Que ambas velocidades sean distintas, lo cual puede conducir a dos situaciones:

Que la velocidad límite legal sea mayor que la velocidad que define la jerarquía por lo que esa debe adecuarse, disminuyéndola hasta la velocidad de diseño. Al igual que en el caso anterior, debe medirse la Velocidad de Operación y si resulta superior a la velocidad límite legal modificada, debe adecuarse el diseño vial a las nuevas condiciones de operación, a través de medidas reductoras, con el objeto de disminuir la Velocidad de Operación hasta alcanzar la nueva velocidad límite legal.

Que la velocidad límite legal sea inferior a la que define su nivel jerárquico, por lo que ésta debe aumentarse hasta igualar la velocidad de diseño, siempre y cuando el número de accidentes registrados no supere los 2 accidentes por kilómetro móvil en vías rurales, independiente del lapso de tiempo transcurrido entre los accidentes (período razonable). En todo caso, debe medirse la Velocidad de Operación y si ésta es superior a la de su jerarquía, debe rediseñarse la vía con el objeto de disminuir su Velocidad de Operación hasta la nueva velocidad límite legal.

Caso 2: Situaciones en que las condiciones del diseño vial y de la Velocidad de Operación de los vehículos permiten elevar la velocidad de 100 Km/h. En este caso, las mediciones de Velocidad de Operación y la tasa de accidentes deben ser los elementos fundamentales de apoyo. Si la Velocidad de Operación es mayor que la velocidad límite legal, esta última debe aumentarse hasta el máximo posible permitido por su jerarquía, siempre y cuando el número de accidentes registrados en la calzada analizada (Ambos sentidos si es bidireccional) no supere los 2 accidentes por kilómetro (sin límite de tiempo, período razonable); en caso contrario, el aumento de velocidad sólo puede llevarse a cabo si conjuntamente se adoptan medidas que reduzcan los accidentes. Si la Velocidad de Operación sigue siendo superior, se deberán adoptar medidas de diseño vial que sean consistentes con la velocidad límite que finalmente se adopte.

Los análisis de accidentes en ambos casos, se realizan independiente del sentido de tránsito.

901.02.6.(c) Situaciones especiales de restricción de velocidad

Existen situaciones en que se requiere restringir la velocidad límite legal máxima, generadas por las condiciones de operación especiales que tenga el entorno de la vía: cuyas limitaciones más características, hacen referencia a la presencia de peatones en las cercanías o sobre la calzada del camino. En general, debiera suponerse que, de existir peatones, la vialidad ha sido diseñada considerando sus desplazamientos. En estos entornos, la velocidad de los vehículos deja de ser determinada directamente por la velocidad de diseño, pasando a depender de la vulnerabilidad y fragilidad que presentan los peatones bajo esas circunstancias.

Por otra parte, las condiciones de operación están íntimamente ligadas con la jerarquía de una ruta o camino. La jerarquía de una ruta es una característica que varía acorde a la función de la vía, definiéndose básicamente por las variables de accesibilidad y movilidad que ofrece el camino. Debe tenerse presente ciertas condiciones especiales del entorno, como notoria presencia de maquinaria agrícola, cruce de animales, área de venta de productos al costado de un camino, ciclistas, puntos singulares, etc.

En la **Tabla 76** se proponen a modo de referencia, restricciones de velocidad en la operación de un camino para algunas situaciones especiales, sin embargo, éstas deben ser respaldadas por el Estudio de Velocidades correspondiente.

TABLA 76: VELOCIDAD MÁXIMA PROPUESTA PARA OPERACIÓN DE LA VÍA (Km/h)

Tipo de vía	Presencia de peatones o Ciclistas	Cruce de Animales	Tránsito de Maquinaria agrícola
Autopistas	-	-	-
Primarias	50	80	80
Colectoras	50	80	80
Locales	50	50	50
De Desarrollo	50	-	-

(*) El Ente Rector deberá tomar las medidas necesarias para que estos usuarios no circulen por los carriles para vehículos motorizados, debiendo proveer de las ciclovías que correspondan.

Para caminos locales y de desarrollo no se requiere efectuar estudios específicos de velocidad máxima, la cual será propuesta acorde a las condiciones mismas de la vía. En el resto de las vías deberán efectuarse los estudios pertinentes, considerando las instrucciones vigentes al respecto.

901.02.7 METODOLOGÍA DE ESTUDIO DE VELOCIDAD EN VÍAS URBANAS

Una vía urbana es aquella emplazada en zonas urbanas, que son las áreas geográficas cuyo límite es determinado y señalizado por los Municipios.

901.02.7.(a) Situaciones posibles

Se pueden presentar dos tipos de situaciones en que se requieran cambios de velocidad máxima (respecto a la velocidad límite legal establecida), los cuales se indican a continuación:

Caso 1: Señales existentes que definen una velocidad límite inferior a 60 m/h.

Caso 2: Situaciones en que las condiciones del diseño vial y de la Velocidad de Operación de los vehículos permiten elevar la velocidad de 60 Km/h.

901.02.7.(b) Procedimiento

En términos generales, las decisiones de modificación de velocidad límite legal o de Velocidad de Operación se podrán comprobar midiendo la Distancia de Visibilidad de Frenado a los puntos conflictivos (Lugares de cruces de peatones, accesos desde vías secundarias o desde una propiedad, puntos de giro, etc.) y estudiando estadísticas de accidentes o conflictos de tránsito.

El principio general a aplicar, es que las limitaciones legales de velocidad (velocidad límite legal) que se adopten, deben ser concordantes con la velocidad de diseño según la jerarquía de la vía y el nivel de accidentes registrados.

Al mismo tiempo y como consecuencia de lo anterior, en general todo cambio de velocidad límite, debe ir apoyado por un rediseño parcial o total acorde a esa situación específica.

Los pasos a seguir para cada uno de los casos del ***numeral 901.02.7.(a)*** se indican a continuación:

Caso 1: Existiendo señales que definen una velocidad límite inferior a 60 Km/h en un ámbito urbano, se debe revisar la velocidad de diseño que le corresponde a la vía, de acuerdo con su jerarquía y compararla con la velocidad límite legal existente.

En la ***Tabla 72*** se indican las velocidades equivalentes.

En este caso, es posible:

- Que ambas velocidades sean equivalentes, lo cual significa que no corresponde realizar cambios en la velocidad límite legal. Sin embargo, debe medirse la Velocidad de Operación. Si ésta resulta superior a la velocidad límite legal, considerando el rango de equivalencia, significa que se debe modificar el diseño de la vía o del tramo afectado, con el objeto de disminuir la Velocidad de Operación hasta alcanzar la velocidad límite legal señalizada

- Que ambas velocidades sean distintas, lo cual puede conducir a dos situaciones:

- Que la velocidad límite legal sea mayor que la velocidad que define la jerarquía, por lo que esa debe adecuarse, disminuyéndola hasta la velocidad de diseño. Al igual que en el caso anterior, debe medirse la Velocidad de Operación y si resulta superior a la velocidad límite legal modificada, debe adecuarse el diseño vial a las nuevas condiciones de operación, a través de medidas reductoras, con el objeto de disminuir la Velocidad de Operación hasta alcanzar la nueva velocidad límite legal

- Que la velocidad límite legal sea inferior a la que define su nivel jerárquico, por lo que ésta debe aumentarse hasta igualar la velocidad de diseño, siempre y cuando el número de accidentes registrados en la calzada del tramo analizado (ambos sentidos si es bidireccional) no supere los 4 accidentes (sin límite de tiempo, período razonable). En todo caso, debe medirse la Velocidad de Operación y si ésta es superior a la de su jerarquía, debe rediseñarse la vía con el objeto de disminuir su Velocidad de Operación hasta la nueva velocidad límite legal.

Caso 2: Pueden existir situaciones en que las condiciones del diseño vial y de la Velocidad de Operación de los vehículos permiten elevar la velocidad de 60 Km/h. En este caso, las mediciones de Velocidad de Operación y la tasa de accidentes deben ser los elementos fundamentales de apoyo. Si la Velocidad de Operación es mayor que la velocidad límite legal, esta última debe aumentarse hasta el máximo posible permitido por su jerarquía, siempre y cuando el número de accidentes registrados en la calzada del tramo analizado (ambos sentidos si es bidireccional) no supere los 4 accidentes en vías urbanas (sin límite de tiempo, período razonable) en caso contrario, el aumento de velocidad sólo puede llevarse a cabo si conjuntamente se adoptan medidas que reduzcan los accidentes.

Si la Velocidad de Operación sigue siendo superior, se deberán adoptar medidas de diseño vial que sean consistentes con la velocidad límite que finalmente se adopte.

Los análisis de accidentes en ambos casos, se realizan independiente del sentido de tránsito

901.02.7.(c) Situaciones especiales de restricción de velocidad

Existen situaciones urbanas especiales, que por condiciones fundamentalmente del entorno de la vía, requieren restringir la Velocidad Límite Legal Máxima; para lo cual se necesita disponer de los respaldos correspondientes, según los estudios de velocidades específicos.

En una zona urbana, la velocidad límite legal máxima, en ausencia de cualquier otra señal, es de 40 Km/h velocidad que puede llegar a ser reducida a 20 Km/h mediante un estudio de velocidades que así lo indique.

No obstante lo anterior basado en la normativa vigente, se debe considerar las siguientes restricciones:

- 50 Km/h en las proximidades de recintos escolares (Para optar a velocidades menores, debe efectuarse el estudio de velocidades correspondiente)

- 20 Km/h cuando exista presencia de niños jugando en la calzada

Otras situaciones que pueden requerir restricciones de velocidad se refieren a vías donde haya una notoria presencia de peatones y ciclistas; para lo cual se deben seguir las indicaciones señaladas, como también contar con el estudio de velocidades correspondiente.

901.03 ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD

901.03.1 ASPECTOS GENERALES

Una elevada velocidad del flujo vehicular en sectores poblados, contribuye a incrementar el riesgo de accidentes, especialmente los atropellos. La velocidad influye, no sólo en la probabilidad de los accidentes, sino también en la severidad de éstos, existiendo teóricamente, un potencial aumento de seguridad producto de la reducción de las velocidades.

901.03.2 ALCANCE NORMATIVO

Si bien no se cuenta con leyes que rigen a los elementos reductores de velocidad, en éste y en otros Volúmenes de Manuales Técnicos, se indican ciertas disposiciones al respecto.

Los elementos reductores de velocidad, corresponden a dispositivos cuya función es lograr una efectiva reducción en la velocidad de los vehículos motorizados que transitan por un determinado tramo o sector de una vía.

El requisito básico de estos elementos, es lograr su propósito sin poner en riesgo la seguridad de los usuarios que se pretende proteger.

901.03.3 CAMPO DE APLICACIÓN

El campo de aplicación corresponderá a todas aquellas vías que requieran introducir cambios en su infraestructura, tendientes a reducir la velocidad de operación en ellas. Esto podrá ser en un sector puntual o en un tramo de la vía.

Según lo anterior se podrán aplicar dos grupos genéricos o familias de elementos reductores de velocidad; los elementos reductores “Puntuales“, y los de “Tramo”.

En la familia de elementos reductores puntuales se tienen los siguientes tipos:

- Lomada pavimentada
- Lomada no pavimentada
- Estrechamiento puntual de carril

En la familia de los elementos reductores de tramo, se tienen los siguientes tipos:

- Disminución de anchos de carriles
- Cambios de alineamiento en planta
- Baterías de bandas reductoras de velocidad
- Aumentos de textura superficial de pavimentos
- Cambios de pigmentación superficial de pavimentos

901.03.4 TIPOS DE ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD

Según la clasificación antes señalada, a continuación se describen las características operativas y funcionales de dichos dispositivos.

901.03.4.(a) Elementos reductores de velocidad puntuales

Corresponden a dispositivos que, dispuestos puntualmente en una vía, su función principal está orientada a la reducción de la velocidad de operación de los vehículos.

901.03.4.(a1) Lomadas Pavimentadas

i. Características físicas

Las lomadas pavimentadas, corresponden en cuanto a geometría, materiales, disposición y elementos complementarios de señalización a los especificados en los Dispositivos de control de tránsito.

ii. Recomendaciones de aplicación

Las lomadas pavimentadas se aplicaran en vías pavimentadas de máximo dos carriles tanto direccionales como unidireccionales, a fin de reducir la velocidad de los vehículos motorizados a valores en torno a los 30 Km/h.

Es recomendable su aplicación tanto en vías rurales como urbanas, en los siguientes casos:

- Zonas pobladas
- Zonas de escuela
- Zonas de actividad comercial
- Previo a pasos peatonales
- Cercanías a ciertos cruces a nivel
- Zonas de juego infantil

Su uso es para vías hasta 60 Km/h, por lo cual no se puede utilizar en carreteras (autopista, multicarril, bidireccionales).

En los casos anteriores considerando que la tendencia de los conductores es a aumentar su velocidad inmediatamente si las condiciones viales lo permiten; sectores con buena visibilidad de ser necesario de acuerdo a lo observado en terreno, se deber repetir la instalación de estos elementos acorde a esa situación específica.

iii. Esquema general de instalación

Estos elementos, sólo se podrán instalar si previamente se ha colocado la señalización y dispositivos de advertencia de su proximidad y lo indicado en el ***Gráfico 104***.

901.03.4.(a2) Resalto no pavimentado

i. Características físicas

Los resaltos no pavimentados, se refieren a aquellos confeccionados en rutas no pavimentadas, corresponderán en cuanto a geometría, materiales, disposición y elementos complementarios de señalización y a lo especificado en la presente sección

ii. Recomendaciones de aplicación

Los resaltos no pavimentados, se aplicarán en vías no pavimentadas, tanto bidireccionales, como unidireccionales, en sectores en que se requiera reducir, de manera permanente, la velocidad de los vehículos motorizados, a magnitudes en torno a los 20 Km/h.

Es recomendable su aplicación tanto en vías rurales, como en urbanas, en los siguientes casos:

- Zonas pobladas
- Zonas de escuela
- Zonas de actividad comercial
- Previo a pasos peatonales
- Cercanías a ciertos cruces a nivel
- Zonas de juegos infantiles

En algunos casos especiales, puede ser necesario repetir la instalación de estos elementos acorde a esa situación específica.

iii. Esquema general de instalación

Estos elementos, sólo podrán ser instalados si previamente se ha colocado la señalización y dispositivos de advertencia de proximidad, según lo especificado en los ***Gráficos 105 y 106***.

901.03.4.(a3) Estrechamiento puntual de carril

La solución consiste en producir el estrechamiento puntual del carril de circulación, mediante el empleo de cordones, delineadores de calzadas y delineadores direccionales, en rutas viales con Velocidad de Operación menor o igual a 60 Km/h.

En carácter referencial, en la ***Tabla 77***, se indica una longitud recomendada, según el estrechamiento que se requiera.

TABLA 77: LONGITUD DEL ESTRECHAMIENTO EN FUNCION DE LA VELOCIDAD

	A (m)							
	0,3	**0,4**	**0,5**	**0,6**	**0,7**	**0,8**	**0,9**	**1,0**
V (Km/h)	**D (m)**							
40	10	10	10	10	10	10	10	15
50	10	10	10	10	15	20	25	30
60	20	20	20	25	30	35	40	45

Donde:

D: Longitud de estrechamiento en metros
A: Dimensión del estrechamiento en metros
V: Velocidad máxima permitida en Km/h

Complementariamente, tanto en casos de vías bidireccionales como unidireccionales, se deberán colocar tachones reflectantes o cordones montables en el eje de la calzada o separación de carriles, en una extensión similar a la longitud de los estrechamientos, según se señala en el ***Gráfico 103 (LONGITUD DE ESTRECHAMIENTO) (Ver Anexo IV).***

Estos reductores de velocidad se aplicaran en vías pavimentadas, tanto bidireccionales, como unidireccionales, en sectores en donde se requiera reducir la velocidad de los vehículos motorizados.

Los delineadores utilizados corresponden a delineadores direccionales para 60 Km/h.

VER Anexo IV:
Gráfico 104 (ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD LOMADAS PAVIMENTADAS)
Gráfico 105 (ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD LOMADAS NO PAVIMENTADAS)
Gráfico 106 (ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD LOMADAS NO PAVIMENTADAS ZONA DE RESIDENCIA PEATONAL)

901.03.4.(b) Elementos reductores de velocidad de tramo

Corresponden a dispositivos que dispuestos en una extensión o tramo de una vía, logran reducir la velocidad de los vehículos a valores del orden de los 50 ó 60 Km/h, según se requiera.

901.03.4.(b1) Bandas transversales vibratorias

Corresponde a una serie de bandas transversales de dimensiones y espaciamientos variables, diseñados para causar ruido y vibración intermitente en los vehículos que pasan sobre ellas.

i. Características físicas

Los reductores de velocidad del tipo bandas transversales vibratorias, corresponderán en cuanto a geometría, materiales, disposición y elementos complementarios de señalización, a lo especificado en la presente sección.

ii. Recomendaciones de aplicación

Estos reductores de velocidad se aplicarán en vías pavimentadas exclusivamente de tránsito unidireccional de altos niveles de flujo, tales como carreteras principales y colectores, en sectores en donde se requiera reducir la velocidad de los vehículos motorizados a valores en torno a los 60 Km/h.

Es recomendable su aplicación, tanto en vías rurales como urbanas en los siguientes casos:

- Previo a zonas de peaje
- Previo a zonas de geometría restrictiva
- Zonas pobladas
- Zonas de escuela
- Zonas de actividad comercial
- Previo a pasos peatonales del tipo Paso Cebra
- Zonas de juegos infantiles

En los casos anteriores, considerando que la tendencia de los conductores es a aumentar su velocidad si las condiciones viales lo permiten (sectores con buena visibilidad) en cada una de las zonas señaladas anteriormente, de ser necesario, se deberá repetir la instalación de estos elementos, cada 200 m como máximo.

Previo a la adopción conceptual de este dispositivo, en cada caso particular que se estudie, deberán evaluarse las implicancias ambientales, en lo relativo al ruido generado por estos dispositivos.

iii. Esquema general de instalación

El esquema general de instalación se puede observar en el ***Gráfico 107***. Estos elementos, no requerirán de señalización y dispositivos de advertencia de proximidad, sólo se deberá informar al usuario la proximidad del sector de velocidad restringida.

901.03.4.(b2) Demarcación de bandas transversales en pavimentos

Corresponden a tramos continuos en los que se incorporan líneas o bandas transversales de color amarillo o blanco, con microesferas de vidrio, sobre la superficie de pavimento, en una extensión de 400 metros. El espacio entre cada banda se va reduciendo progresivamente al aproximarse a la zona de restricción, generando en el conductor una sensación de gran velocidad, lo cual lo induce a reducir su velocidad de circulación.

i. Características físicas

Los reductores de velocidad del tipo "Demarcación de Bandas Transversales en Pavimentos" corresponderán en cuanto a geometría, materiales, disposición y elementos complementarios de señalización, a lo especificado en la presente sección.

ii. Recomendaciones de aplicación

Estos reductores de velocidad se pueden aplicar en vías pavimentadas, tanto bidireccionales, como unidireccionales, principalmente interurbanas de alta velocidad y altos niveles de flujos, en sectores en donde se requiera reducir, de manera permanente, la velocidad de los vehículos motorizados a valores entorno de los 80 Km/h.

Se recomienda su uso previo a estaciones de control de peaje y al aproximarse a cruces a nivel.

iii. Esquema general de instalación

El esquema general de instalación se puede observar en ***Gráfico 108.*** Estos elementos, no requerirán de señalización y ni dispositivos de advertencia de proximidad, sólo se deberá informar al usuario la proximidad del sector de velocidad restringida.

901.03.4.(b3) Lomadas

Corresponde a uno de los más eficientes dispositivos reductores de velocidad, permitiendo disminuir el flujo vehicular a rangos de 20 a 30 Km/h.

901.03.4.(b4) Bandas alertadoras

Corresponden a dispositivos que actúan en forma similar a las bandas transversales vibratorias. Corresponden a una franja dentada instalada en forma agrupada, lo que produce un efecto sonoro y vibratorio.

901.03.4.(b5) Tramos de estrechamiento de carriles

La solución consiste en producir un tramo de estrechamiento en los carriles de circulación mediante el empleo de demarcación, tachones o hitos delineadores.

Estos reductores de velocidad se aplicarán fundamentalmente en vías pavimentadas unidireccionales.

Esta solución requiere de la colocación de dispositivos de advertencia, según se indica en el presente volumen.

De acuerdo a las condiciones de terreno, y a la diferencia de velocidades que se quiere conseguir, se deberá determinar la longitud de estrechamiento, según el ancho de éste que se haya definido.

VER Anexo IV:
Gráfico 107 (ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD BATERÍAS DE BANDAS TRANSVERSALES VIBRATORIAS)
Gráfico 108 (ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD DEMARCACIÓN DE BANDAS TRANSVERSALES)
Gráfico 109 (ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD TRAMOS DE ESTRECHAMIENTO DE CARRILES DEMARCACIÓN Y TACHONES)
Gráfico 110 (ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD TRAMOS DE ESTRECHAMIENTO DE CARRILES DEMARCACIÓN E HITOS DELINEADORES (TUBULARES)

901.04 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

901.04.1 ASPECTOS GENERALES

La interacción del flujo vehicular con un acceso sorpresivo a la vía de peatones, ciclistas y animales, generan una alta probabilidad de accidentes, existiendo teóricamente un potencial mayor de riesgo para todos los usuarios.

Considerando que esta interacción no es posible eliminar, en esta sección se indican y describen los elementos de protección que permitan una adecuada seguridad en el control de accesos

901.04.2 ALCANCE NORMATIVO

Si bien no se cuenta con leyes que rigen a los elementos de protección, se entenderá como normativa al respecto, lo indicado en este y otros Volúmenes de Manuales Técnicos.

Corresponden a estructuras dispuestas en un camino para cumplir la función de controlar el acceso de ciclistas, peatones y animales; como también de proyectiles que pudieran ser lanzados a la calzada de una vía y poner en riesgo la seguridad de los usuarios de ésta, especialmente del flujo vehicular que se desplaza a mayor velocidad.

El requisito básico de estos elementos, es lograr su propósito sin poner en riesgo la seguridad de los usuarios que se pretende proteger

901.04.3 CAMPO DE APLICACIÓN

El campo de aplicación corresponderá a todas aquellas vías que requieran introducir en su operación estos elementos, tendientes a disminuir la probabilidad de ocurrencia de interacción en la calzada, entre el flujo vehicular y circunstancias ajenas al uso normal de la vía. Algunos de estos elementos de control, son tratados en la presente sección, siendo los siguientes:

- Vallados de Control para Pasarelas.
- Vallados de Control para Pasos Inferiores
- Vallados de Control en Sectores de Corte y Trincheras Abiertas en Zonas Pobladas
- Elementos de Control de Paso de Animales
- Cercos

901.04.4 TIPOS DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

901.04.4.(a) Elementos de Protección para el control en pasarelas

Corresponden a elementos destinados a impedir el lanzamiento de objetos desde pasarelas peatonales incluyendo sus rampas de acceso, que podrían poner en riesgo la seguridad de la operación vial dentro de la calzada.

Estos elementos de control deberán ser instalados en todo tipo de pasarelas peatonales, independiente de la categoría de la vía.

901.04.4.(b) Elementos de Protección para el control en pasos a desnivel

Corresponden a elementos destinados a impedir el lanzamiento de objetos hacia los carriles de circulación de la vía principal, desde estructuras de pasos superiores correspondientes a vías secundarias (incluyendo sus caminos de acceso), que cruzan fundamentalmente Autopistas, Multicarriles y Carreteras Primarias en sectores poblados, que se emplazan en zonas urbanas o rurales.

901.04.4.(c) Elementos de Protección para el control en zonas de corte y trincheras en áreas pobladas

Corresponden a elementos destinados a impedir el lanzamiento de objetos hacia los carriles de circulación de una vía, desde zonas superiores de cortes y trincheras fundamentalmente de Autopistas, Multicarriles y Carreteras Bidireccionales, que cruzan sectores poblados emplazados tantos en zonas urbanas como rurales, como también en cualquier otra ruta cuyas características propias así lo recomienden.

901.04.4.(d) Elementos de control de paso de animales

En sectores de la vía donde existen cruces y/o empalmes de caminos de menor categoría, se deberá instalar en los accesos de los predios dedicados a ganadería, estructuras de tipo guardaganados ubicado al nivel de la línea de cercos que delimita la faja fiscal de la vía de mayor categoría.

Corresponden también a puentes enrejados, sobre zanjas o canales que permiten el paso de vehículos, tractores, personas, pero que inhiben el paso de anímales, debido a que éstos, captan que sus patas pueden caber por el espacio del enrejado, lo que le produciría una fractura, por lo cual se conocen también con el nombre de "quiebra patas"

901.04.4.(e) Cercos

901.04.4.(e1) Funcionalidad

Los cercos tienen la función de delinear la franja de dominio del camino y sirven como una barrera para evitar los ingresos de personas, vehículos o animales a la faja vial. Los cercos según su ubicación, pueden ser de los siguientes tipos:

- Cercos de propiedad
- Cercos en el cantero central
- Cercos de control de acceso

i. Cercos de propiedad

Corresponden a aquellos cercos que sirven para delimitar la propiedad privada de la pública. Estos cercos son levantados por el propietario o por el Fisco, durante la construcción del camino. La conservación y mantenimiento de ellos es de cargo del propietario. Este tipo de cercos deberán disponerse en las situaciones y condiciones definidas.

ii. Cercos del cantero central y borde

Son aquellos constituidos por un cerco longitudinal instalado en el cantero central y/o en los bordes de una vía de doble calzada, y están destinados a evitar que se produzcan fundamentalmente cruces de peatones. Este tipo de cercos deberá disponerse en las situaciones y condiciones definidas.

iii. Cercos de control de acceso

Son barreras físicas destinadas a impedir el paso a las calzadas de una vía de personas, animales, vehículos de tracción humana y vehículos motorizados de carácter local, de modo de preservar el adecuado funcionamiento de las autopistas, multicarril y caminos primarios. Estos se construyen dentro de la franja de dominio. Este tipo de cercos deberán disponerse en las situaciones y condiciones definidas en volúmenes de Manuales Técnicos, debiendo cumplir con los requerimientos complementarios especificados para las situaciones particulares indicadas en este Párrafo.

901.04.4.(e2) Características físicas

Las características físicas de los Cercos de Control de Acceso dependerán del tipo de vía de acuerdo a lo indicado en la ***Tabla 78***, descrita a continuación:

TABLA 78: TIPOS Y USOS DE CERCOS

Tipos de Cercos (Definiciones en 701.08.1	Usos
5AP-N y 5AP-D	Caminos Colectores, Locales y de Desarrollo
7AP-N y 7AP-D	Caminos Colectores y Bidireccionales con control de acceso
7AM-N y 7AM-D	Autopistas, Multicarril y Bidireccionales con control total de
S.M	Autopistas y Multicarril en zonas de alta densidad

901.04.4.(e3) Recomendaciones de aplicación

Cuando el estudio de velocidad, según el ***numeral 901.02.2***, identifique zonas de riesgo por presencia potencial de animales que podrían ingresar a la vía, se deberá instalar cercos de control de acceso del tipo 7AM-N y 7 AM-D en zonas rurales y tipo SM. En zonas urbanas independiente de la categoría de la vía.

SECCIÓN 101. GENERALIDADES

101.01 CONTENIDO

La presente guía contiene criterios para la ejecución de los Estudios de Topografía para Carreteras, los cuales deberán ser aplicados como base para los informes a ser realizados por quienes elaboren un Estudio para Caminos o Carreteras emplazados en la República del Paraguay.

101.02 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

101.02.1 ESTUDIOS TOPOGRAFICOS

Los Estudios Topográficos, son un conjunto de actividades de campo y gabinete, necesarios para representar gráficamente y a una escala convenida, la topografía de un lugar mediante sus proyecciones horizontales y verticales denominadas planimetría y altimetría respectivamente. Sobre esta deben identificarse, los puntos característicos de las obras que existan en el lugar y de las que se proyecten.

Según el propósito, los estudios topográficos pueden ser los que se detallan a continuación:

101.02.2 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA CARRETERAS

Estos son Estudios elaborados para realizar el proyecto preliminar (básico) y para el proyecto a Diseño Final (de detalle), que respectivamente se definen según lo expresado a seguir. Estos Estudios se realizan con el propósito de obtener la información topográfica necesaria para proyectar el camino o carretera y las obras menores y complementarias de drenaje y subdrenaje.

101.02.2.(a) ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA EL DISEÑO PRELIMINAR DE LA CARRETERA

Es el conjunto de trabajos necesarios para trazar, nivelar y, en su caso, referenciar en el campo el eje preliminar de la carretera; obtener su perfil y la topografía de una franja de terreno, generalmente con ancho comprendido entre cincuenta (50) metros a cada lado de ese eje, según los tipos del terreno y de la carretera por proyectar, con el propósito de proveer al proyectista de la información topográfica que le permita determinar los ejes definitivos del camino así como elaborar el anteproyecto de la carretera. Se apoya en la ruta definitiva previamente seleccionada.

101.02.2.(b) ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA EL DISEÑO FINAL DE LA CARRETERA

Es el conjunto de trabajos necesarios para trazar, nivelar y referenciar en el campo los ejes definitivos del camino y de las obras menores de drenaje, así como obtener sus perfiles y sus secciones transversales, con el propósito de proveer al proyectista de la información topográfica que le permita ejecutar la ingeniería de detalle para elaborar el proyecto ejecutivo de la carretera. Se apoya en los ejes definitivos previamente determinados y en el anteproyecto correspondiente.

101.02.3 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS DE OBRAS ESPECIALES

Son todos los estudios que se realizan para desarrollar el Proyecto Preliminar (básico) y para el Diseño Final (de detalle), que se realizan con el propósito de obtener la información topográfica necesaria para proyectar una obra especial, tal como un puente, un distribuidor, una estación de peaje o un sitio de descanso entre otras, así

como sus obras menores y complementarias de drenaje y subdrenaje. A continuación se definen estas actividades para ambas etapas de proyecto.

101.02.3.(a) ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA EL DISEÑO PRELIMINAR DE OBRAS ESPECIALES

Es el conjunto de trabajos necesarios para trazar, nivelar y en su caso, referenciar en el campo los ejes preliminares de la obra especial, obtener sus perfiles y cuando sea para una carretera existente o cuando el estudio topográfico para proyecto preliminar de la carretera en proyecto no abarque toda el área requerida, la topografía del área previamente seleccionada donde se proyectará la obra, con el propósito de proveer al proyectista de la información topográfica que le permita analizar las diferentes configuraciones posibles de la obra y determinar los ejes definitivos de todos sus elementos, así como elaborar el anteproyecto correspondiente. Se apoya en la configuración posible de la obra especial y los ejes preliminares probables de sus diversos elementos, en la ubicación y dimensiones del área seleccionada y, en su caso, en el estudio aerofotogramétrico para proyecto preliminar de la carretera. Comúnmente se ejecuta en sustitución del estudio aerofotogramétrico de la obra especial.

101.02.3.(b) ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA EL DISEÑO FINAL DE OBRAS ESPECIALES

Es el conjunto de trabajos necesarios para trazar, nivelar y referenciar en el campo los ejes definitivos de los diversos elementos de una obra especial, así como obtener sus perfiles y sus secciones transversales, con el propósito de proveer al proyectista de la información topográfica que le permita ejecutar la ingeniería de detalle para elaborar el proyecto ejecutivo correspondiente. Se apoya en los ejes definitivos previamente determinados y en el anteproyecto correspondiente.

101.02.4 DERECHO DE VÍA

Es la franja de terreno de ancho variable entre dos puntos obligados, dentro de la cual es factible hacer la localización de una carretera. Mientras más detallados y precisos sean los estudios básicos para determinar la ruta, el ancho de la franja será más reducido.

101.02.5 EJE PRELIMINAR

Es el eje central del camino, que corresponderá en su mayor parte al eje de la ruta definitiva previamente seleccionada. Es decir, es el eje preliminar de la carretera, o bien, el eje preliminar de cada uno de los diversos elementos de las obras especiales, para proyecto preliminar de la carretera y se precisa mediante sus puntos característicos, tales como los puntos de inflexión (PI) y los puntos sobre tangente (PST) que identifican secciones especiales.

101.02.6 EJE DEFINITIVO

Es el eje que, después de un análisis de alternativas, se elige como el más conveniente para el camino dentro de la ruta seleccionada, con base en el eje preliminar; para una obra menor de drenaje, o para cada uno de los diversos elementos de las obras especiales, y que se determina sobre las plantas topográficas estudiadas para el proyecto definitivo de la carretera, del estudio de obra especial, del estudio topográfico para proyecto preliminar que corresponda o directamente en campo, según proceda, y se precisa mediante sus puntos característicos, tales como los puntos de inflexión (PI), de principio de espiral (TE), de principio de curva circular (PC o EC), de término de curva circular (PT o CE) y de término de espiral (ET), así como los puntos sobre tangente (PST), sobre subtangente (PSST o PSTe), sobre espiral (PSE) y sobre curva (PSC) que identifican secciones especiales; las longitudes y azimutes de sus tangentes, y los datos de las curvas horizontales, circulares y con espirales, que resultan del cálculo del alineamiento horizontal para el proyecto geométrico.

101.02.7 OBRAS MENORES DE DRENAJE

Son todas aquellas obras transversales necesarias para permitir el paso de corrientes superficiales de agua a través de la carretera, cuyo gálibo horizontal, de acuerdo con el área hidráulica necesaria, sea igual que seis (6) metros o menor, como los tubos de concreto y de lámina corrugada de acero o de algún material sintético; bóvedas de concreto reforzado o de mampostería; cajones y losas de concreto reforzado.

101.02.8 OBRAS ESPECIALES

Son aquellos elementos diferentes del camino pero que forman parte integral de la carretera, tales como:

- Distribuidores
- Intersecciones (cruces carreteros, ferroviarios, peatonales y ganaderos, así como puentes canal y puentes ducto)
- Accesos
- Casetas de cobro
- En general, todas las obras para el uso y aprovechamiento del derecho de vía

La obtención de la información topográfica necesaria para proyectar los puentes, que pudieran considerarse como obras especiales, requiere del procedimiento específico para un estudio hidráulico-hidrológico, Trabajos de Campo, por lo que está fuera del alcance de esta Guía.

SECCIÓN 201. REQUISITOS PARA LA EJECUCIÓN DE ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

Para la correcta elaboración del Estudio Topográfico de una Carretera es necesario contar con lo siguiente:

201.01 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA CARRETERAS

201.01.1 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA EL DISEÑO PRELIMINAR DE LA CARRETERA

Para la etapa de diseño Preliminar de la Carretera, se deberá contar básicamente con la siguiente información, debiendo ser la misma correctamente analizada.

201.01.1.(a) Cartas Topográficas

Deberá contarse con cartas topográficas elaboradas por la Dirección del Servicio Geográfico Militar (Disergemil) de la República del Paraguay. Esta información deberá estar en escala uno a cincuenta mil (1:50.000), cubriendo la totalidad de la zona de emplazamiento que abarca la carretera, sobre las cuales se señale el eje preliminar de la carretera.

201.01.1.(b) Plantas topográficas de aerofotogrametría

Para el proyecto preliminar de la carretera se deberá contar con Plantas Topográficas Aerofotogramétricas tomadas a escala uno a cinco mil y con curvas de nivel a cada cinco metros (1:5.000/5), las mismas deben cubrir la totalidad del territorio en la cual se desarrollará la carretera y sobre las cuales se señalen el eje preliminar de la carretera y sus puntos característicos y de control terrestre.

201.01.1.(c) Información documental

Se deberá recolectar toda la información referente a estacamientos (progresivas) y coordenadas de los puntos característicos del eje preliminar de la carretera, así como las identificaciones y coordenadas de los puntos de control terrestre.

201.01.2 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA EL DISEÑO FINAL DE LA CARRETERA

Para la etapa de Diseño Final de la Carretera, se deberá contar básicamente con la siguiente información, debiendo ser la misma correctamente analizada.

201.01.2.(a) Cartas Topográficas

Deberá contarse con cartas topográficas elaboradas por la Dirección del Servicio Geográfico Militar (Disergemil) de la República del Paraguay. Esta información deberá estar en escala uno a cincuenta mil (1:50.000), cubriendo la totalidad de la zona de emplazamiento que abarca la carretera, sobre las cuales se señale el eje definitivo de la carretera.

201.01.2.(b) Plantas topográficas de aerofotogrametría

Para el proyecto preliminar de la carretera se deberá contar con Plantas Topográficas Aerofotogramétricas tomadas a escala uno a dos mil y con curvas de nivel a cada dos metros (1:2.000/2), las mismas deben cubrir la totalidad del territorio en la cual se desarrollará la carretera y sobre las cuales se señalen el eje definitivo de la

carretera y sus puntos característicos y de control terrestre o los bancos de nivel que se hayan empleado, según sea el caso.

201.01.2.(c) Planos del perfil del eje preliminar de la carretera

Se deberá contar con los planos del perfil del eje preliminar de la carretera deducido del estudio aerofotogramétrico o del estudio topográfico para el proyecto preliminar. Estos deberán mostrar la subrasante preliminar correspondiente.

201.01.2.(d) Información documental

Se deberá recolectar toda la información referente a estacamientos (progresivas) y coordenadas de los puntos característicos del eje definitivo de la carretera, así como las identificaciones y coordenadas, incluyendo en su caso, las de sus respectivas referencias de trazo, longitudes y el azimut de las tangentes, los datos de curvas horizontales circulares y con espirales, las identificaciones y coordenadas de los puntos de control terrestre o de las referencias de nivel (RN) empleadas. Asimismo se recolectará información sobre obras menores de drenaje propuestas y la sección transversal tipo de la carretera.

201.01.2.(e) Flexibilidad

Cuando así lo apruebe la Dirección de Vialidad del MOPC, el estudio topográfico para Diseño Final y/o el estudio Preliminar, podrá efectuarse sin contar con el estudio aerofotogramétrico o sin el topográfico solo para proyecto preliminar de la carretera. En ambos casos, este estudio podrá basarse en fotografías lo más recientes posible y que sean lo suficientemente confiables, con una escala uno a veinticinco mil (1:25.000) o uno a diez mil (1:10.000) o en imágenes satelitales con la misma o mejor precisión. Sobre las mismas se señalará el eje definitivo del camino y sus puntos característicos.

201.02 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS DE OBRAS ESPECIALES

201.02.1 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA EL DISEÑO PRELIMINAR DE OBRAS ESPECIALES

Para el Diseño Preliminar de Obras Especiales de la Carretera, se deberá contar básicamente con la siguiente información, debiendo ser la misma correctamente analizada.

201.02.1.(a) Cartas Topográficas

Deberá contarse con cartas topográficas elaboradas por la Dirección del Servicio Geográfico Militar (Disergemil) de la República del Paraguay. Esta información deberá estar en escala uno a cincuenta mil (1:50.000), sobre las cuales se señale el área previamente seleccionada donde se proyectará la obra especial.

201.02.1.(b) Plantas topográficas de aerofotogrametría

Para el proyecto preliminar de Obras Especiales se deberá contar con Plantas Topográficas Aerofotogramétricas tomadas a escala uno a cinco mil y con curvas de nivel a cada cinco metros (1:5.000/5), que comprendan el área previamente seleccionada donde se proyectará la obra especial y sobre las cuales se señalen los vértices del área bajo estudio, así como la configuración posible de la obra especial y los ejes preliminares probables de sus diversos elementos, incluyendo sus puntos característicos.

201.02.1.(c) Información para diseño de Obras Especiales en Carreteras en Construcción

Para carreteras en construcción será necesario contar con la siguiente información la cual deberá ser debidamente analizada.

201.02.1.(c1) Plantas topográficas preliminares del Estudio Aerofotogramétrico

Deberá contarse con plantas topográficas del estudio aerofotogramétrico para proyecto definitivo o del estudio topográfico para proyecto preliminar de la carretera, a escala uno a dos mil y con curvas de nivel cada dos metros (1:2.000/2), que cubran el subtramo de la carretera para el que se proyectará la obra especial y sobre las cuales se señalen el eje definitivo del camino y sus puntos característicos así como los puntos de control terrestre o las referencias de nivel (RN) que se hayan empleado, según sea el caso.

201.02.1.(c2) Plano del perfil del eje preliminar de la carretera

Para el Diseño de Obras Especiales en construcción se deberá contar con el Plano de Perfil del eje preliminar de la carretera en el subtramo para el que se proyectará la obra especial, deduciendo del estudio aerofotogramétrico para proyecto definitivo de la carretera u obtenido en su estudio topográfico para proyecto preliminar que muestre la subrasante preliminar correspondiente.

201.02.1.(c3) Planos del perfil del eje preliminar de la carretera

Se deberá contar con el Plano en Planta y Perfil preliminar del subtramo perteneciente a la carretera para el que se proyectará la obra especial, donde se muestre la mayor cantidad de datos del sector.

201.02.1.(c4) Información documental

Se deberá recolectar toda la información referente a las coordenadas de los vértices del área bajo estudio así como los estacamientos (progresivas) y coordenadas de los puntos característicos del eje definitivo de la carretera en el subtramo para el que se proyectará la obra especial y de los ejes preliminares probables de sus diversos elementos.

201.02.2 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA EL DISEÑO FINAL DE OBRAS ESPECIALES

Para el Diseño Final de Obras Especiales de la Carretera, se deberá contar básicamente con la siguiente información, debiendo ser la misma correctamente analizada.

201.02.2.(a) Cartas Topográficas

Deberá contarse con cartas topográficas elaboradas por la Dirección del Servicio Geográfico Militar (Disergemil) de la República del Paraguay. Esta información deberá estar en escala uno a cincuenta mil (1:50.000), sobre las cuales se señale el área previamente seleccionada donde se proyectará la obra especial.

201.02.2.(b) Plantas topográficas de aerofotogramétria

Para el Diseño Final de Obras especiales de la carretera, se deberá contar con Plantas Topográficas Aerofotogramétricas o plantas del Estudio Topográfico para proyecto preliminar de la obra especial, tomadas a escala uno a mil y con curvas de nivel cada metro (1:1.000/1). Las mismas deben cubrir la totalidad del área previamente seleccionada donde se proyectará la obra especial y sobre las cuales se señalen los ejes definitivos del camino y de los diversos elementos de la obra especial, indicando sus puntos característicos, la probable delimitación del derecho de vía y los puntos de control terrestre o las referencias de nivel (RN) que se hayan empleado, según sea el caso.

201.02.2.(c) Planos del perfil del eje preliminar de la carretera

Se deberá contar con los planos del perfil del eje preliminar de los diferentes elementos de la obra especial, deducido del estudio aerofotogramétrico o del estudio topográfico para el proyecto preliminar. Estos deberán mostrar las subrasantes preliminares correspondientes.

201.02.2.(d) Información documental

Se deberá recolectar toda la información referente a estacamientos (progresivas) y coordenadas de los puntos característicos de los ejes definitivos de la carretera y de los diversos elementos de la obra especial, incluyendo en su caso, sus respectivas referencias de trazo, longitudes y el azimut de las tangentes, los datos de las curvas horizontales circulares y con espirales, las identificaciones y coordenadas de los puntos de control terrestre o de las referencias de nivel (RN) empleadas, según sea el caso; la relación de las obras menores de drenaje que se propongan y la sección transversal tipo de los elementos de la obra especial.

201.02.3 FLEXIBILIDAD PARA EL DESARROLLO DE ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

Cuando así lo apruebe la Dirección de Vialidad del MOPC, el estudio topográfico para Diseño Final y/o el estudio Preliminar para Obras Especiales, podrá efectuarse sin contar con el estudio aerofotogramétrico o sin el topográfico solo para proyecto preliminar de la carretera. En ambos casos, este estudio podrá basarse en fotografías lo más recientes posible y que sean lo suficientemente confiables, con una escala uno a veinticinco mil (1:25.000) o uno a diez mil (1:10.000) o en imágenes satelitales con la misma o mejor precisión, sobre las mismas se señalará el eje definitivo del camino y sus puntos característicos.

SECCIÓN 301. EJECUCIÓN DE LOS ESTUDIOS

Además de lo establecido en los anteriores numerales, respecto a los requisitos para los Estudios topográficos, según su propósito el Contratista deberá realizar las siguientes actividades.

301.01 TRABAJOS PREVIOS

301.01.1 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

El Contratista deberá recopilar toda la información complementaria que pudiera ser de utilidad para la ejecución del estudio, como fotografías aéreas preexistentes, así como cartas topográficas, geológicas, hidrológicas, edafológicas y de uso de suelo, elaboradas por la Dirección del Servicio Geográfico Militar de la República del Paraguay, a una escala uno a cincuenta mil (1:50.000), entre otras fuentes de información que pudieran existir en instituciones gubernamentales y privadas.

301.01.2 RECONOCIMIENTO DE CAMPO

Previo estudio de la información disponible a que se refiere el subnumeral 301.01.1, el Contratista deberá efectuar un reconocimiento de campo con el propósito de corroborar dicha información, recabar los datos que sean de utilidad para hacer el estudio y programar los trabajos de campo y en su caso, trabajos aéreos.

301.02 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA CARRETERAS

301.02.1 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA DISEÑO PRELIMINAR

301.02.1.(a) GENERALIDADES

La fase de Estudios Topográficos para Diseño Preliminar, tiene como fin establecer la información necesaria para la identificación caracterización y selección de la mejor alternativa de paso para unir dos puntos mediante una carretera, en aras de establecer la mejor asignación de recursos públicos en la perspectiva del bienestar económico y social del país.

Para ello se deberán realizar los estudios topográficos de manera que cumplan lo especificado a continuación.

301.02.1.(b) ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Se deberá proponer alternativas de alineamiento geométrico y en base a un estudio técnico y económico analizar cuál de ellas es la más recomendable. En todas las alternativas deberá efectuarse los siguientes trabajos topográficos.

Deberá realizarse levantamientos topográficos de las alternativas propuestas incluyendo la carretera existente en los casos en que no se trate de apertura de vía. Se presentará sobre este estudio topográfico, todos los elementos nuevos necesarios para el anteproyecto en cuestión. La frecuencia de perfiles, puntos de mira, etc. a realizarse, será la necesaria para lograr la precisión requerida a nivel de diseño preliminar (anteproyecto).

El estudio incluirá todos los trabajos topográficos necesarios, para poder presentar en planos las características topográficas del lugar donde se emplazará el proyecto. Este levantamiento será realizado en planta, perfil longitudinal y secciones transversales, en una franja de terreno cuyo ancho mínimo será de 120 metros en terreno llano (60 m a ambos lados del eje de la vía), 100 metros en terreno ondulado (50 m a ambos lados del eje de la vía) y 80 metros en serranías (40 m a ambos lados del eje de la vía), debiendo el Consultor concertar con la Dirección de Vialidad del MOPC el ancho en aquellos lugares especiales donde la topografía del terreno y/o algún otro factor no permitan desarrollar el trabajo en el ancho requerido.

Todo trabajo topográfico deberá estar referenciado al sistema de coordenadas "Transversal de Mercartor (UTM), según el Datum WGS-84". Para realizar esta actividad el Consultor deberá utilizar estación total GPS y un software que administre la información obtenida en campo. La tolerancia y las normas aplicadas para realizar este trabajo serán las especificadas en los Manuales de Ingeniería "TOPOGRAPHIC SURVEYING EM - 1110 - 1 - 1005 ''; "NAVSTAR GLOBAL POSITIONING SYSTEM SURVEYING EM 1110-1-1003" del Cuerpo de Ingenieros de los EEUU (US Corps of Enginers), que pueden ser descargados de la página www.usace.army.mil/usace-docs/eng-manuals/.

La poligonal base estará constituida por vértices fijos (monumentados) que serán los puntos de control y cierre de todos los trabajos topográficos que posteriormente se lleven a cabo en el Diseño Final, estos puntos deberán estar colocados cada 10 Km y los mismos deberán estar debidamente georeferenciados con las especificaciones definidas en el manual de Ingeniería "GEODESIC AND CONTROL SURVEYING EM 1110-1-1004" del Cuerpo de Ingenieros de los EEUU.

El Consultor deberá densificar la poligonal base, puntos georeferenciados que deberán estar ubicados cerca del eje definitivo de la vía, instalando dos puntos adicionales, espaciados cada 5 Km, cumpliendo las especificaciones y procedimientos del manual EM 1110-1-1004. Los puntos a cada 5 km deberán ser monumentados con mojones de hormigón empotrados al terreno cumpliendo lo exigido para este efecto, por la Dirección de Vialidad.

Todos los puntos importantes del eje de diseño y la poligonal de estudio elegida como ser: PI, POT, RN etc., serán debidamente georeferenciados cumpliendo con las especificaciones definidas en el manual de Ingeniería "GEODETIC AND CONTROL SURVEYING EM 1110-1-1004" del Cuerpo de Ingenieros de los EEUU, los cuales serán graficados en planos con sus correspondientes croquis de ubicación y sus coordenadas absolutas que permita ubicar estos puntos en la etapa de Diseño final.

Para la nivelación el Consultor deberá establecer en los vértices de la poligonal densificada, el nivel de los mismos en concordancia con los establecidos por la Dirección del Servicio Geográfico Militar de la República del Paraguay. La Dirección de Vialidad podrá exigir según necesidades u observaciones la construcción de RN's, donde considere necesario.

El Consultor levantara secciones transversales sobre el eje de las alternativas cada 60 metros en tangentes y 20 metros en curvas y en sectores donde la Dirección de Vialidad considere necesario, podrá modificar esta precisión. Donde se prevea la construcción de obras de arte mayores y menores, se levantarán secciones adicionales y se referenciarán las zonas con monumentos de hormigón.

Este estudio incluirá también los yacimientos o bancos de préstamo de materiales identificados en el estudio de suelos y materiales, determinando aproximadamente su distancia y posible volumen de explotación.

Los levantamientos topográficos adicionales tendrán por objeto, delimitar el derecho de vía a fin de evaluar aproximadamente las probables expropiaciones, tanto de viviendas como de áreas de cultivo.

Los datos de campo, memorias de cálculo y los planos obtenidos en esta fase deberán presentarse a la Dirección de Vialidad.

Los planos de planta, perfil longitudinal y las secciones transversales así como otra información gráfica referida a este punto, deberá también ser presentada a la Dirección de Vialidad en memorias magnéticas, en formato compatible con ACAD o MICRO STATION u otra alternativa, previa aprobación de la misma.

Los puntos geodésicos de control utilizados, y los correspondientes elementos del diseño de la carretera, deberán también presentarse en un formato compatible al Arcview, en coordenadas geográficas WGS-84 con la misma precisión que fueron obtenidas en campo.

Sin embargo para el estudio de alternativas, no así para el diseño preliminar, el Consultor podrá proponer una metodología alternativa, la cual deberá ser aprobada por la Dirección de Vialidad.

301.02.1.(c) VALORACION DE OBRAS ALEDAÑAS

Se deberá efectuar el levantamiento planimétrico necesario para determinar la geometría y ubicación en planta de todas las construcciones; colindancias, postes y cableados; torres de alta tensión; ductos superficiales y subterráneos; ríos, arroyos, canales y otras masas de agua; vías de comunicación y cualquier otro elemento fijo, que existan dentro de la franja en estudio, los que se incluirán en plantas topográficas, señalando su tipo.

301.02.2 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA DISEÑO FINAL

301.02.2.(a) GENERALIDADES

A objeto de realizar un trabajo profesional, los proyectos de carreteras deben cumplir con una serie de parámetros en lo que respecta al Estudio Topográfico, para que se cumplan adecuadamente con los objetivos y controles de precisión. Lo que lleva a enunciar que solo con la ejecución de trabajos de topografía de alta precisión y confiabilidad se puede garantizar que se obtendrán los resultados esperados para los fines que se desarrollen.

En este entendido deberán desarrollarse las actividades topográficas con el equipo y los profesionales descritos en los siguientes numerales.

301.02.2.(b) PERSONAL REQUERIDO

Dependiendo de la magnitud, importancia y el plazo previsto para el desarrollo del Estudio de Topografía, se deberá conformar los siguientes grupos de trabajo conformados por una o más brigadas constituidas por el personal descrito en los siguientes numerales.

301.02.2.(b1) Jefe del Equipo de Topografía:

Un Ingeniero Civil Especialista en Carreteras y en Estudios Topográficos.

301.02.2.(b2) Grupo de replanteo de los puntos base de control:

- Un topógrafo
- Dos ayudantes
- Un chofer

301.02.2.(b3) Grupo Puntos de control Vertical y Poligonal Base:

- Un Nivelador
- Dos ayudantes
- Un chofer

301.02.2.(b4) Grupo de relleno Taquimétrico:

- Un topógrafo
- Dos ayudantes
- Un chofer

301.02.2.(b5) Grupo de levantamiento de zonas de préstamo y sectores de variante:

- Un topógrafo
- Dos ayudantes
- Un chofer

301.02.2.(b6) Grupo Procesamiento Topográfico.

- Un Ingeniero Civil especialista en programas de topografía
- Dos procesadores de datos, responsables del área de cálculos y generación de documentos
- Dos dibujantes Cadistas, responsables del área de representación gráfica

301.02.2.(c) EQUIPO REQUERIDO

El equipo necesario para la realización de los trabajos topográficos y de control geométrico deberá ser el que se describe a continuación:

301.02.2.(c1) Equipo de Campo

- Receptores estación total GPS de doble frecuencia, con las siguientes características:
  - Función tiempo real, con combinación de todos los observables GPS (Fase portadora L1 y L2, código P(L1) Código C/A, Código P(L2)
  - Número de canales: 12 L1 y 12 L2, rastreo continuo
  - Métodos de observación: Estática, Estática Rápida, Cinemática, Cinemática con inicialización el vuelo, Reocupación, Stop and Go y tiempo real
  - Medición de fase con toda la longitud de onda de las frecuencias L1 y L2
  - Precisión en medición estática: +/- (5+1ppm*D) mm
  - Precisión en medición cinemática: +/- (10+1ppm*D) mm
  - Antenas para Geodesia tipo micro Strip, con plano de tierra integrado

- Nivel Digital, con las siguientes características:

  - Precisión +/- 1,2 mm. por km en doble nivelación
  - Módulo de registro REC, para almacenamiento de información
  - Lecturas y medición por proceso de imagen, tanto en elevación como en distancia

- Estación Total, con las siguientes características:

  - Libreta electrónica: Incorporada y Rayos Láser
  - Alcance: 4,200 m
  - Precisión lineal: +/-(2+2ppm*D) mm
  - Precisión angular: +/- 2”

301.02.2.(c2) Equipo de Gabinete

- Computadora con microprocesador de 3,2Ghz., Multimedia, H.D. 80,0 GB. 2 GB. en RAM. o superior
- Computadora Portátil con las mismas características del computador estacional o superior
- Plotter con impresión en color, con bandeja formato A1
- Impresora a color, con bandeja formato A2
- Fotocopiadora B/N y a color, con bandeja formato A2
- Software para manejo datos Topográficos
- Software para manejo de gráficos CAD
- Programas varios de manejo de planillas, cálculo y procesadores de palabras

301.02.2.(d) METOLOGÍA PARA EL ESTUDIO TOPOGRÁFICO

El levantamiento topográfico deberá cumplir las condiciones y características detalladas en las Guías de diseño de carreteras.

El estudio incluirá todos los trabajos topográficos necesarios, para poder presentar en planos las características topográficas del lugar donde se emplazará el proyecto. Este levantamiento será de planta, perfil longitudinal y secciones transversales, en una franja de terreno cuyo ancho mínimo será de 100 metros (50 m a ambos lados del eje de la vía) que permita la representación de la faja de ubicación de la carretera proyectada con todas sus obras, debiendo el Consultor concertar con la Dirección de Vialidad el ancho en aquellos lugares especiales donde la topografía del terreno y/o algún otro factor no permitan desarrollar el trabajo en el ancho requerido.

Asimismo todo el trabajo topográfico deberá estar referenciado al sistema de coordenadas “Transversal de Mercartor (UTM), según el Datum WGS-84”. Para realizar esta actividad el Consultor deberá utilizar estación total GPS y un software que administre la información obtenida en campo. La tolerancia y las normas aplicadas para realizar este trabajo serán las especificadas en los Manuales de Ingeniería “TOPOGRAPHIC SURVEYING EM - 1110 - 1 - 1005 ’’; “NAVSTAR GLOBAL POSITIONING SYSTEM SURVEYING EM 1110-1-1003” del Cuerpo de ingenieros de los EEUU (US Corps of Enginers), que pueden ser descargados de la página www.usace.army.mil/usace-docs/eng-manuals/.

En la alternativa elegida, el Consultor emplazará una poligonal base con pares de puntos intervisibles entre sí, en los que se realizarán lecturas GPS estáticas de alta precisión a cada 10 km, los puntos deberán estar debidamente georeferenciados con las especificaciones definidas en el manual de Ingeniería "GEODESIC AND CONTROL SURVEYING EM 1110-1-1004" del Cuerpo de ingenieros de los EEUU. Los puntos de la poligonal base y las dos referencias que se colocarán en correspondencia con cada punto contaran con monumentos de hormigón empotrados en el terreno.

El Consultor deberá densificar la poligonal base, con puntos georeferenciados que deberán estar ubicados cerca del eje definitivo de la vía, instalando dos puntos adicionales, espaciados como mínimo cada 2 Km, cumpliendo las especificaciones y procedimientos del manual EM 1110-1-1004. Los puntos deberán ser monumentados con mojones de hormigón empotrados al terreno cumpliendo lo exigido para este efecto, por la Dirección de Vialidad

Todos los puntos importantes del eje de diseño y la poligonal en estudio, como ser: PI, POT, etc., serán debidamente georeferenciados con las especificaciones definidas en el manual de Ingeniería "GEODETIC AND CONTROL SURVEYING EM 1110-1-1004" del Cuerpo de ingenieros de los EEUU, los cuales serán graficados en planos con sus correspondientes croquis de ubicación y sus coordenadas absolutas que permita ubicar estos puntos en la etapa constructiva.

El Consultor deberá ubicar y referenciar mediante monumentos de concreto, las referencias de nivel RN (Con dimensiones establecidas en normas) a lo largo del eje proyectado, los cuales deberán estar controlados con RN's establecidos por la Dirección del Servicio Geográfico Militar de la República del Paraguay. Estos monumentos deberán ser colocados cada 500 m, a una distancia transversal del eje que permita su adecuada visibilidad. La Dirección de Vialidad podrá exigir si considera necesario la construcción de nuevos RN's o la reposición de las referencias que no cumplan los requisitos mencionados. En las obras de arte mayores, se deberán poner referencias de nivel auxiliares ubicadas fuera del área de construcción y adecuadamente referenciados. Finalmente se presentará en los planos su exacta ubicación, los cuales deberán contener como mínimo, croquis de ubicación y las leyendas características de estos puntos.

El Consultor levantará secciones transversales sobre el eje de la alternativa seleccionada cada 20 metros en tangentes y 10 metros en curvas y en sectores donde el ejecutor o la Dirección de Vialidad considere necesario, pudiendo modificar esta precisión. Donde se prevea la construcción de obras de arte mayores y menores, se levantarán secciones adicionales y se referenciarán las zonas con monumentos de hormigón.

En aquellos sectores donde el consultor considere la posibilidad de nuevas variantes, que salgan de la faja topográfica del proyecto existente, deberá realizar levantamientos topográficos complementarios con la precisión adecuada para el nivel del estudio. Este trabajo incluye una poligonal auxiliar con cierre en el proyecto existente, nivelación trigonométrica, levantamiento altimétrico de faja y todos los otros aspectos mencionados para este tipo de trabajo.

En las obras de arte mayores, se deberán poner referencias de nivel auxiliares ubicadas fuera del área de construcción y adecuadamente referenciados. El ejecutor presentará en los planos, la ubicación exacta, además del siguiente contenido mínimo: croquis de ubicación y las leyendas características de estos puntos.

En el estudio topográfico se verificará la ubicación de los yacimientos o bancos de préstamo de materiales identificados en el estudio de suelos y materiales, determinando distancias al eje proyectado y el volumen potencial del yacimiento a ser explotado. Estos datos deberán ser complementados con planos a escala apropiada y con croquis de ubicación.

Los levantamientos topográficos adicionales tendrán por objeto, delimitar el derecho de vía a fin de evaluar las probables expropiaciones, tanto de viviendas como de áreas de cultivo.

Los datos de campo, memorias de cálculo y los planos obtenidos en esta fase deberán presentarse a la Dirección de Vialidad.

Los planos de planta, perfil longitudinal y las secciones transversales así como otra información gráfica referida a este punto, deberá también ser presentada a la Dirección de Vialidad en memorias magnéticas, en formato compatible con ACAD o MICRO STATION u otra alternativa previa aprobación de la misma.

Los puntos geodésicos de control utilizados, y los correspondientes elementos del diseño de la carretera, deberán también presentarse en un formato compatible al Arcview, en coordenadas geográficas WGS 84 con la misma precisión que fueron obtenidas en campo.

Los trabajos topográficos presentados deberán ser definitivos, por tanto deben ser completos y abarcar todos los elementos que recomienda la práctica aceptada a nivel nacional e internacional y que serán presentados con el detalle apropiado en la memoria topográfica y planos.

301.03 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA OBRAS ESPECIALES

301.03.1 ESTUDIOS PARA DISEÑO PRELIMINAR

Se deberá ubicar y estimar las magnitudes de los escurrimientos superficiales y otras masas de agua que crucen o afecten al camino, con base en un análisis de las condiciones topográficas e hidrológicas que se observen durante la ejecución del estudio y dependiendo del tipo y naturaleza de los materiales detectados a lo largo del camino, así como recomendar los puentes que se requieran y proponer el tipo, ubicación y características generales de las obras menores de drenaje que se estimen necesarias, lo que se incluirá en planos e información documental necesaria.

Para los casos de obras menores de drenaje que se propongan, se deberá tomar los datos del eje del fondo de los cauces, en todo el ancho de la franja en estudio, con el propósito de determinar los perfiles de esos ejes y elaborar los correspondientes perfiles de los cauces es decir, los planos topográficos en los que se representa la configuración vertical del terreno en dichos ejes, a escalas horizontal uno a doscientos (1:200) y vertical uno a cien (1:100), aunque en el caso de cauces largos o muy inclinados se pueden utilizar escalas menores, planos que se utilizarán para determinar los ejes definitivos de las obras menores de drenaje.

301.03.2 ESTUDIOS PARA DISEÑO FINAL

En los sectores de cauce de ríos, en los que esté previsto el emplazamiento de obras de arte mayor, el Consultor deberá realizar levantamientos topográficos complementarios, estacando poligonales auxiliares a lo largo del cauce del río, hasta una longitud de 500 m aguas arriba y 500 m aguas abajo. Dependiendo de factores especiales como el desarrollo del río, la geomorfología y áreas de influencia de las cuencas, y otros relevantes que impliquen un detalle mayor respecto al levantamiento topográfico, la longitud deberá ser definida en consulta con la Dirección de Vialidad. Estas poligonales auxiliares serán niveladas y se complementará este trabajo con secciones transversales al cauce del río, estos levantamientos deberán ser perfeccionados con datos que resulten del estudio Hidráulico – Hidrológico, como ser el NAME, sección hidráulica, tirante normal y otros que sean importantes.

En todas las obras de arte proyectadas en el diseño se deberá referenciar mediante monumentos de hormigón los ejes principales de estas estructuras, así como realizar levantamientos topográficos con mayor detalle.

SECCIÓN 401. ENTREGA FÍSICA EN EL CAMPO

Una vez concluidos los trabajos de campo, el ejecutor deberá mostrar y entregar físicamente en el campo, al personal que indique la Dirección de Vialidad, las referencias de nivel, las referencias del trazo y los mojones correspondientes a los puntos característicos de los ejes trazados o los puntos de control terrestre, del estudio topográfico realizado.

Durante la entrega física en el campo, la Dirección de Vialidad podrá solicitar al ejecutor del Servicio responsable del estudio, realizar en ese momento una verificación de la nivelación entre referencias de nivel o entre puntos de control terrestre, para comprobar la veracidad de los trabajos de campo.

Esta entrega se hará constar mediante una minuta que será firmada por el representante del ejecutor y por el personal del responsable dependiente de la Dirección de Vialidad.

SECCIÓN 501. PRESENTACION DE INFORMES

El informe, tanto para el Estudio de Alternativas como para el Estudio a Diseño Final, deberá constar mínimamente del siguiente contenido, el cual podrá ser enriquecido por el ejecutor del proyecto.

1. Objetivo
2. Introducción
3. Ubicación del Tramo de Proyecto
4. Alcances de Trabajo
4.1. Actividades preliminares (Recopilación y Revisión de Información Existente)
4.2. Movilización
4.3. Documentación
4.4. Medición de la Poligonal Base
4.4.1. Metodología Empleada
4.4.2. Equipo y Personal
4.5. Nivelación Geométrica de la Poligonal Base y Referencias de Nivel
4.5.1. Metodología Empleada
4.5.2. Trabajos de Campo Realizados
4.5.3. Equipo y Personal
4.6. Relleno Taquimétrico
4.6.1. Introducción
4.6.2. Metodología Empleada
4.6.3. Programas Utilizados
4.6.4. Equipo y Personal
4.7. Procesamiento de la Información
4.7.1. Introducción
4.7.2. Equipo y Personal
4.7.3. Productos
4.8. Elaboración de Planos
5. Conclusiones y Recomendaciones

ANEXO I - GRÁFICOS

SECCIÓN 601/602

GRÁFICO 10
ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR

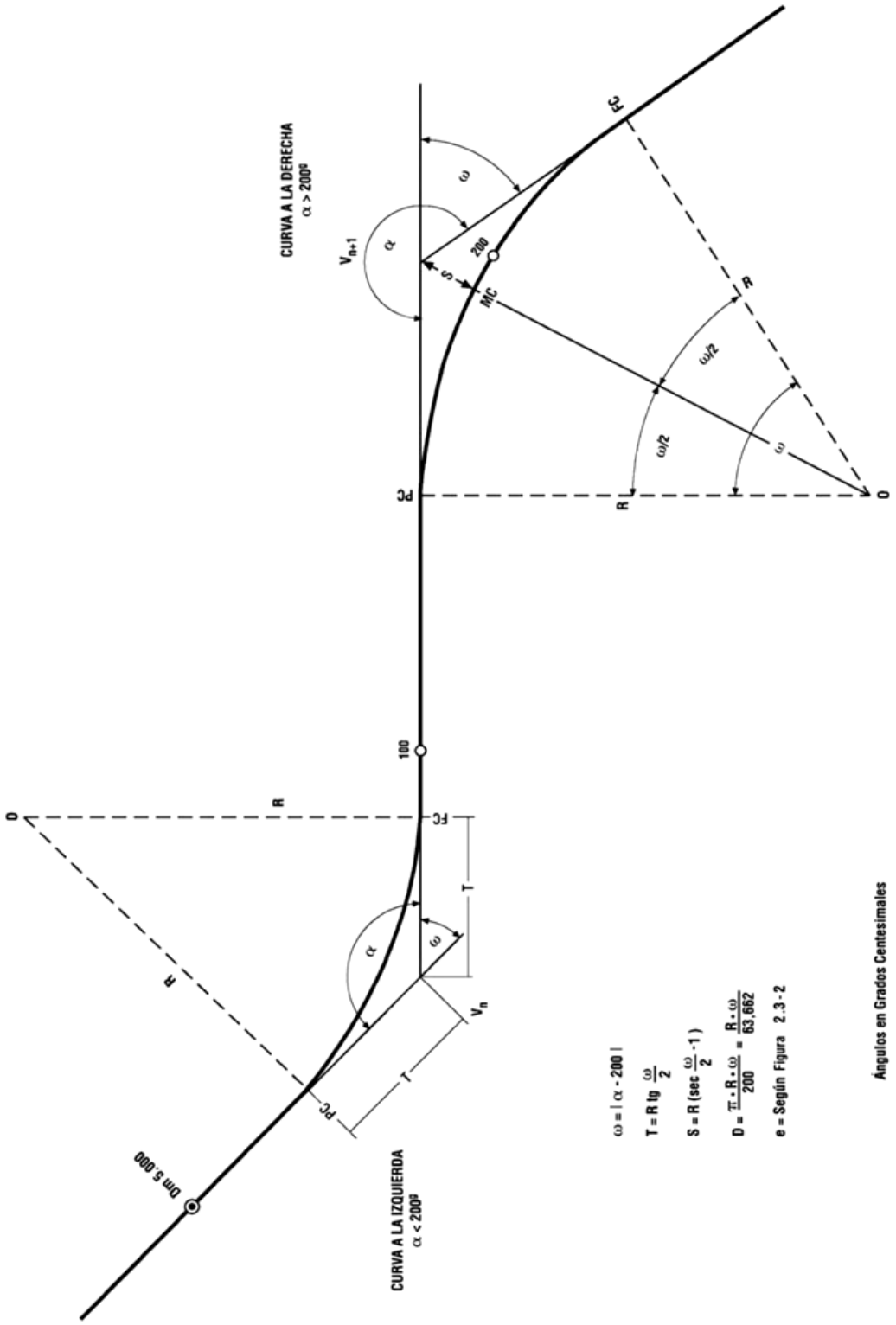


GRÁFICO 11: DESARROLLO DEL PERALTE EN CURVASCIRCULARES SIN CURVAS DE ENLACE

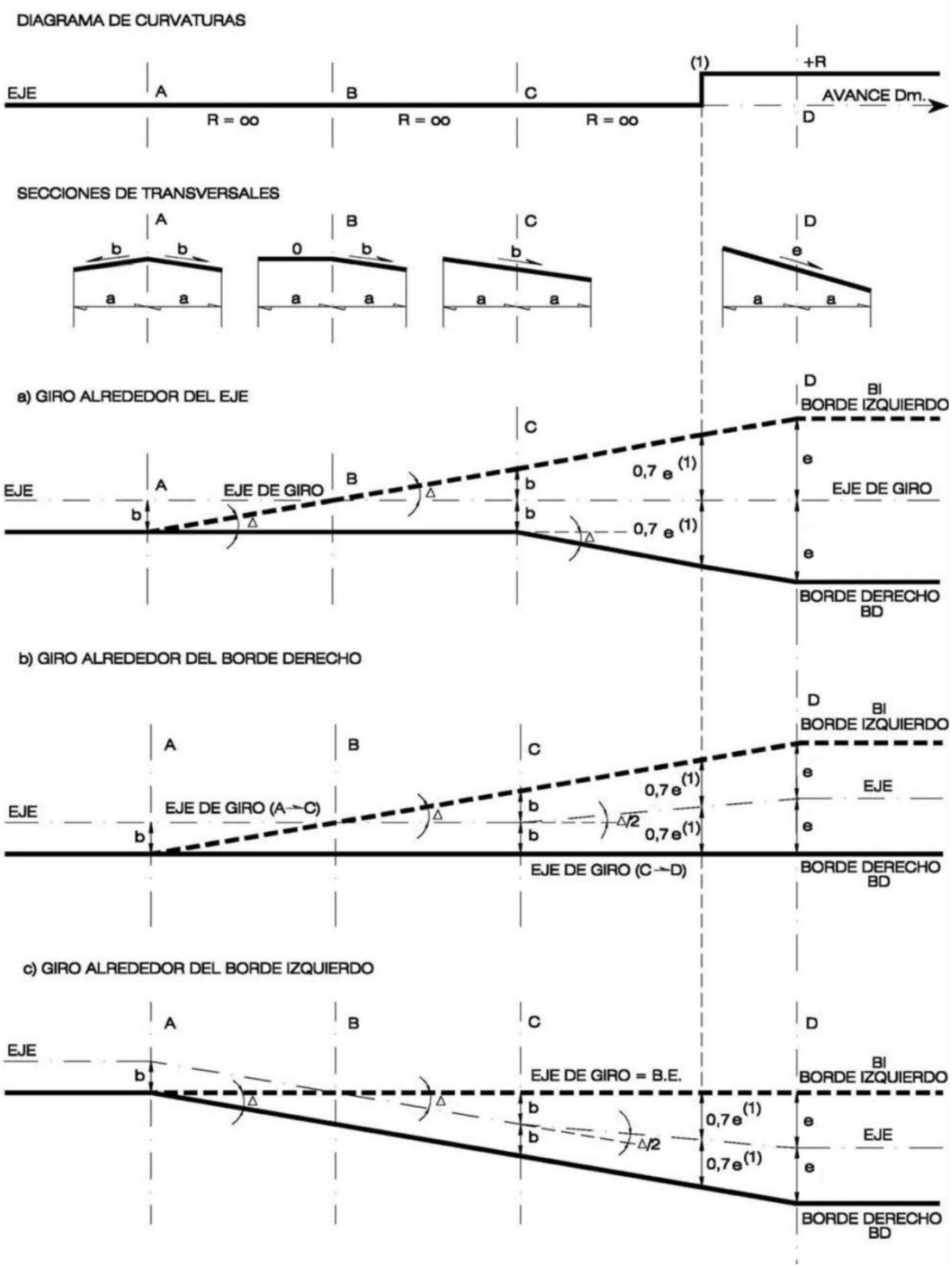
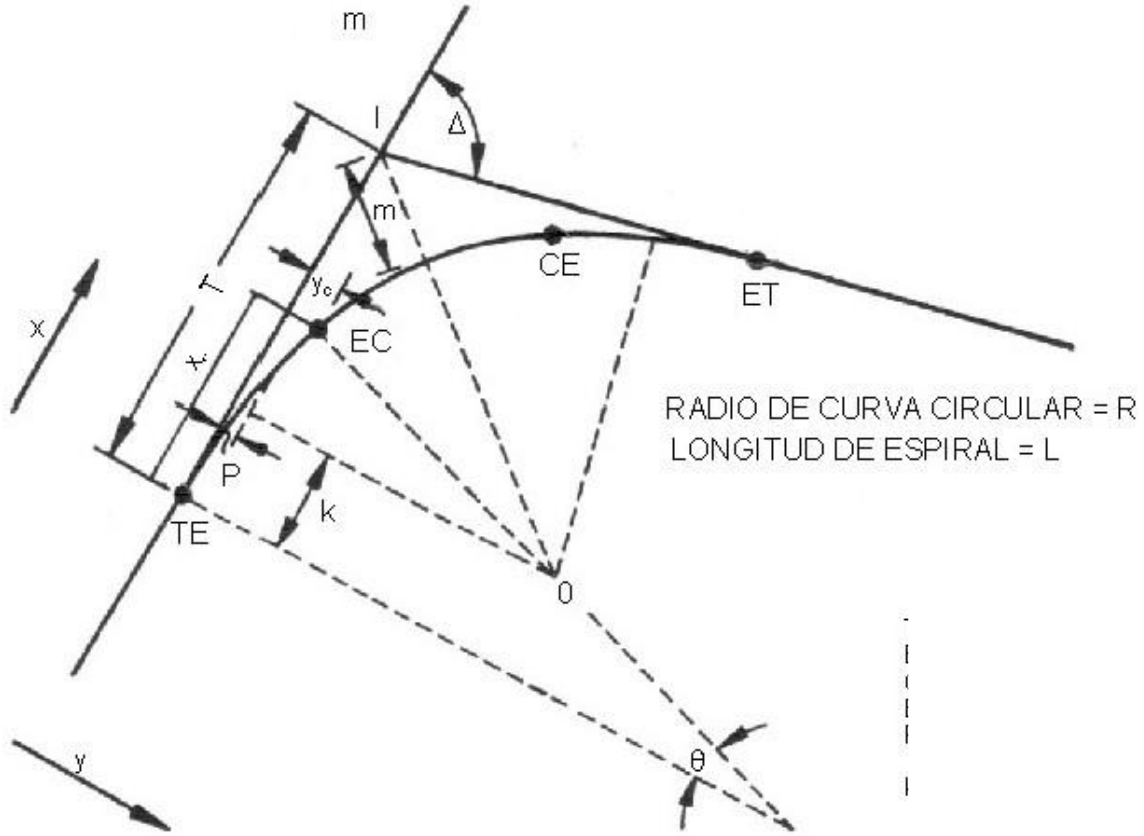


GRÁFICO 12:
COMPONENTES DE LA CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES



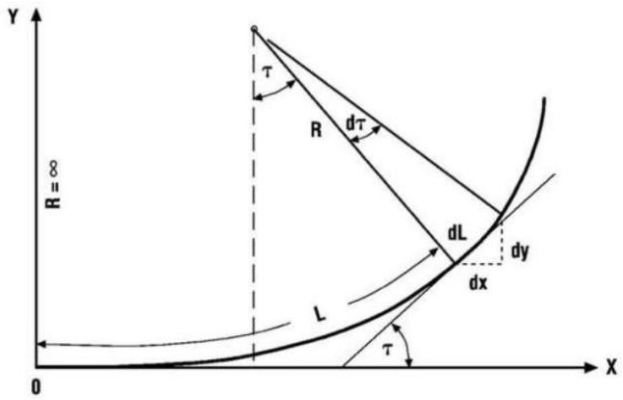
(1) Proporción normal de peralte a desarrollar en la recta: 0.7e.
(2) Dados e y Δ, la longitud necesaria para desarrollar el peralte en los casos b) y c) es mayor que para el caso a).

Δ mín. = 0.35 % para toda Vp

X_c = L Yc = 4P T = Longitud de Tangente igual a K+(R+P) Tang Δ / 2 E = Distancia Externa u Ordenada Media igual a (R+P) Sec Δ / 2 – R θ = Angulo sustendido por la Espiral igual a L / 2R en Radianes. Longitud de curva circular igual a R (Δrad – 2 θrad)	TE = Unión de Tangente con Espiral EC = Unión de Espiral y Curva Circular CE = Unión de Curva Circular y Espiral ET = Unión de Espiral y Tangente P = Desplazamiento Curva Circular y Curva de Transición Aproximadamente igual a L^2 / 24R. K = Aproximadamente

GRÁFICO 13:
CARACTERISTICAS GENERALES DE LA CLOTOIDE

a) RELACIONES GEOMETRICAS FUNDAMENTALES



$$A^2 = RL$$

$$R d\tau = dL$$

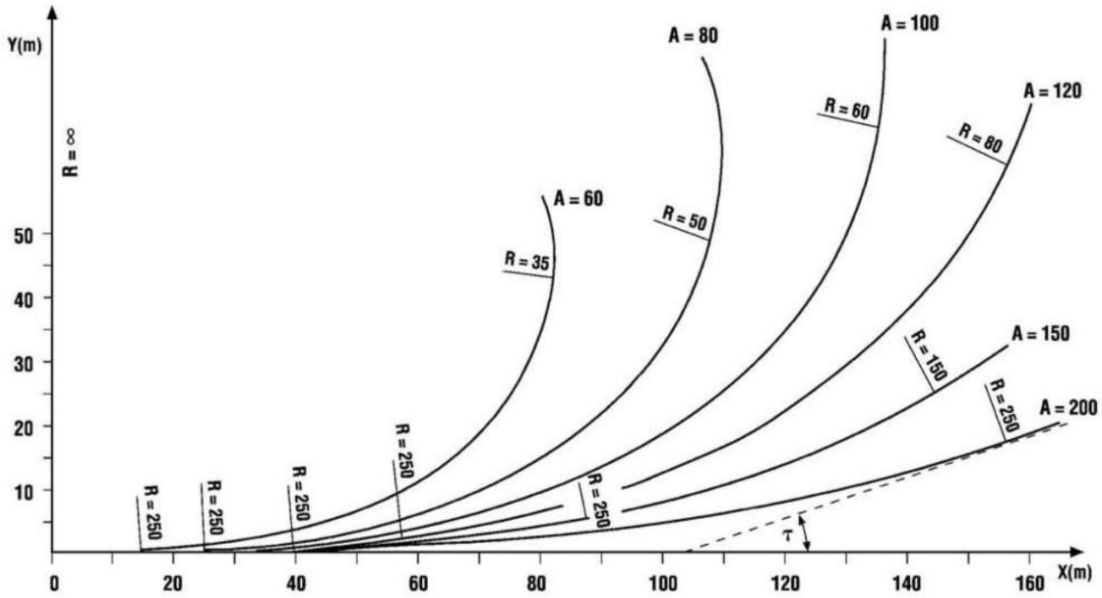
$$\int d\tau = \int \frac{L dL}{A^2}$$

$$\tau = \frac{L^2}{2A^2} + cte.$$

$$L = 0 \; ; \; \tau = 0 \ldots cte = 0$$

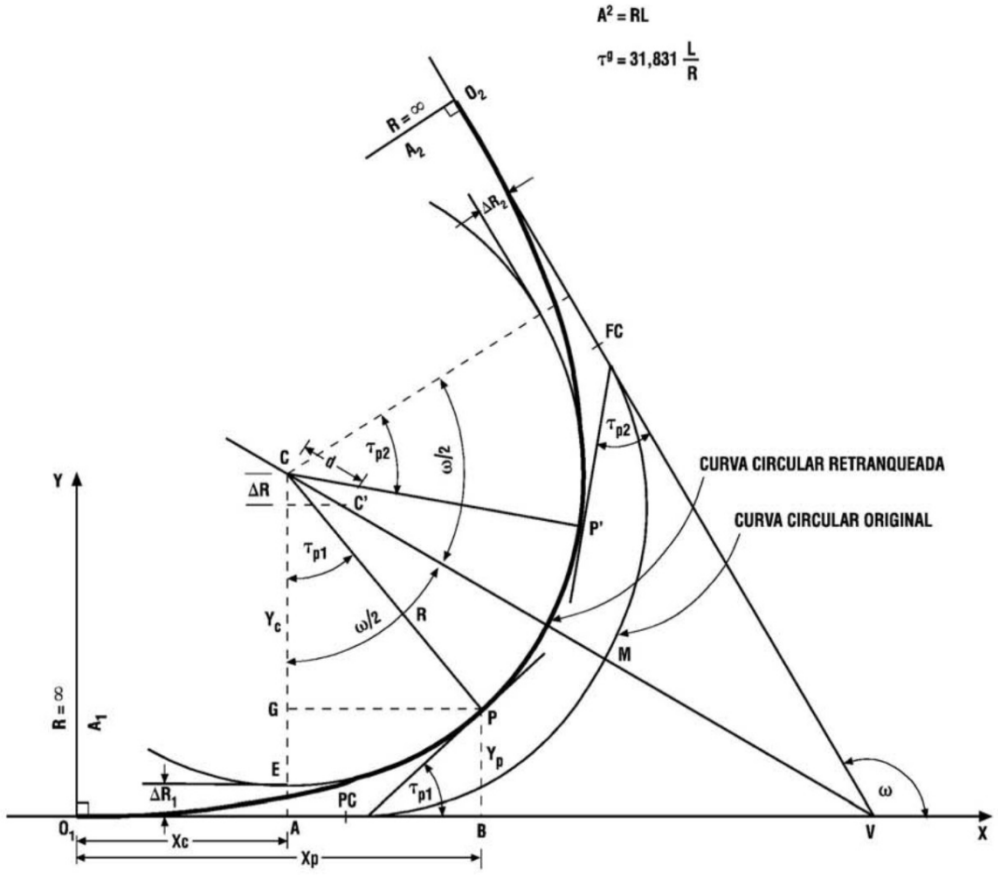
$$\tau = \frac{L^2}{2A^2} = 0.5 \; \frac{L}{R}$$

b) FAMILIA DE CLOTOIDES - MAGNITUDES SEGUN PARAMETRO



EFECTO VARIACION DEL PARAMETRO PARA R CONSTANTE					
A	R	L	τ°	X	Y
60	250	14,40	1,8335	14,399	0,138
80	250	25,60	3,2595	25,593	0,437
100	250	40,00	5,0930	39,975	1,066
120	250	57,60	7,3339	57,524	2,210
150	250	90,00	11,4592	89,709	5,388
200	250	160,00	20,3718	158,369	16,942

GRÁFICO 14:
ELEMENTOS DEL CONJUNTO: ARCO DE ENLACE – CURVA CIRCULAR



CLOTOIDES SIMETRICAS:

$A_1 = A_2 = A$; $\tau_{p1} = \tau_{p2} = \tau_p$ y todos los elementos función de A y τ_p son iguales.

$$CE = CP = C'M = R$$

RETRANQUEO: $\Delta R = EA = (PB - GE)$

$$\Delta R = Yp - R\,(1 - \cos \tau p)$$

RETRANQUEO CENTRO: $d = \overline{CC'} = \Delta R / \cos \frac{\omega}{2}$

ORIGEN CURVA ENLACE: $OV = Xp + AV - AB$

$$OV = Xp + (R + \Delta R)\ tg \frac{\omega}{2} - R \operatorname{sen} \tau p$$

COORDENADAS DE C: $Xc = Xp - R \operatorname{sen} \tau p$

$$Yc = Yp + R \cos \tau p = R + \Delta R$$

DESARROLLO CIRCULAR: $\widehat{PP'} = R \cdot (\omega - 2\,\tau p) / 63,662$

CLOTOIDES ASIMETRICAS:

$A_1 \neq A_2$; $\tau_{p1} \neq \tau_{p2}$ y todos los elementos se calculan en función del respectivo A, τ_p.

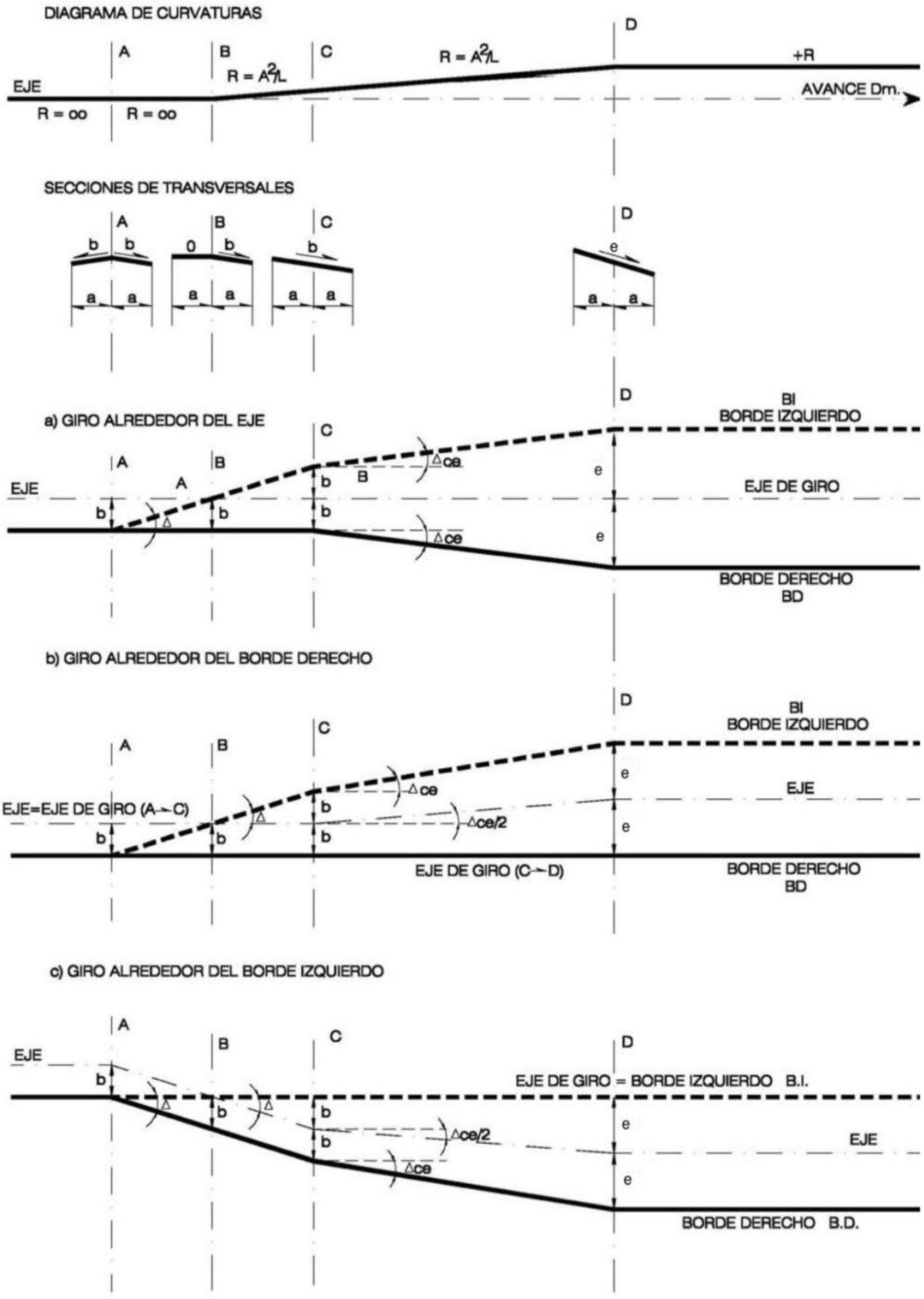
Además:

$$O_1V = X_{p1} + (R + \Delta R_1)\ tg \frac{\omega}{2} - R \operatorname{sen} \tau_{p1} + (\Delta R_2 - \Delta R_1) / \operatorname{sen} \omega$$

$$O_2V = X_{p2} + (R + \Delta R_2)\ tg \frac{\omega}{2} - R \operatorname{sen} \tau_{p2} - (\Delta R_2 - \Delta R_1) / \operatorname{sen} \omega$$

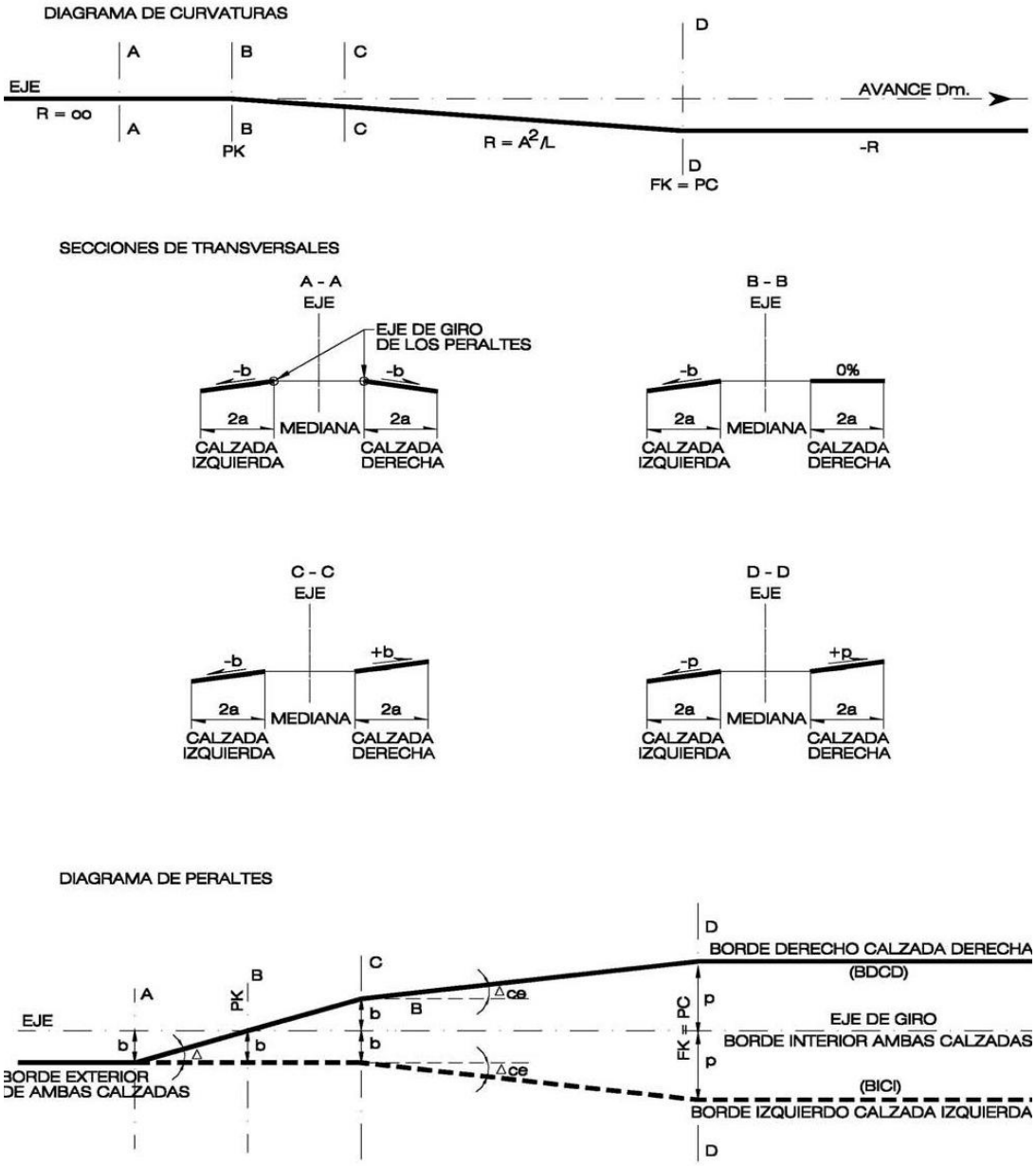
$$\widehat{PP'} = R \cdot (\omega - \tau_{p1} - \tau_{p2}) / 63,662$$

GRÁFICO 15: DESARROLLO DEL PERALTE EN ARCOS DE ENLACE, CALZADAS BIDIRECCIONALES



△ mín. = 0.35% para toda Vp.

GRÁFICO 16: DESARROLLO DEL PERALTE EN ARCOS DE ENLACE, CALZADAS UNIDIRECCIONALES



Δ mín. = 0.35% para toda Vp.

GRÁFICO 17: DESARROLLO DEL PERALTE: CALZADAS UNIDIRECCIONALES, CASO CURVAS CONTRAPUESTAS O EN S

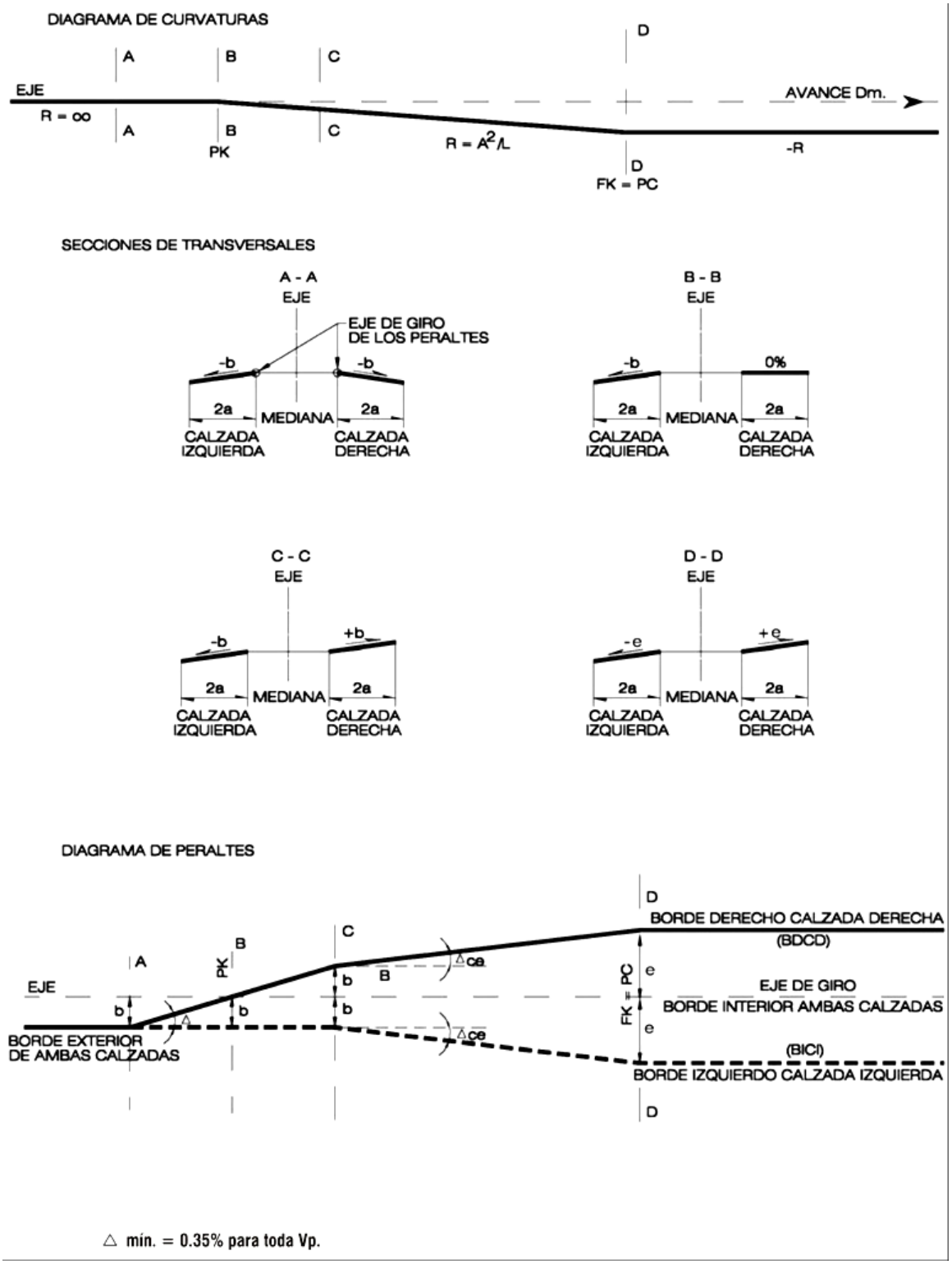


GRÁFICO 18: PERFIL LONGITUDINAL DE UN TRAMO CON TANGENTES DE PENDIENTE DIFERENTE

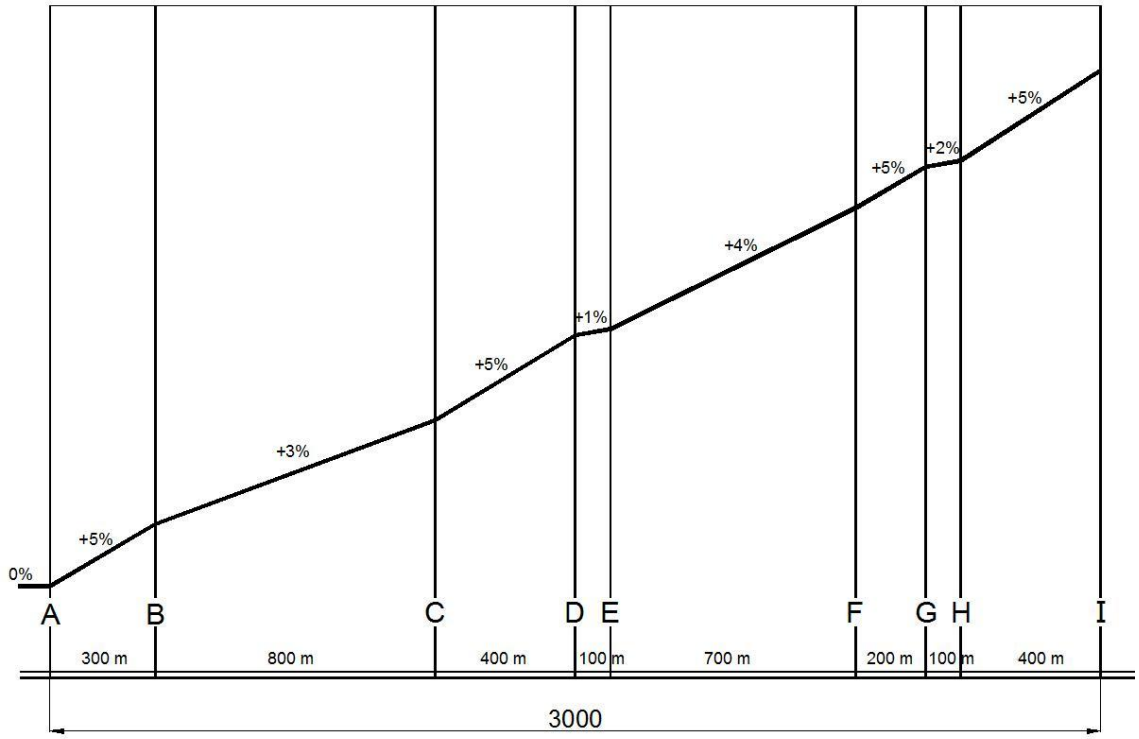


GRÁFICO 19:
TIPOS DE CURVAS VERTICALES

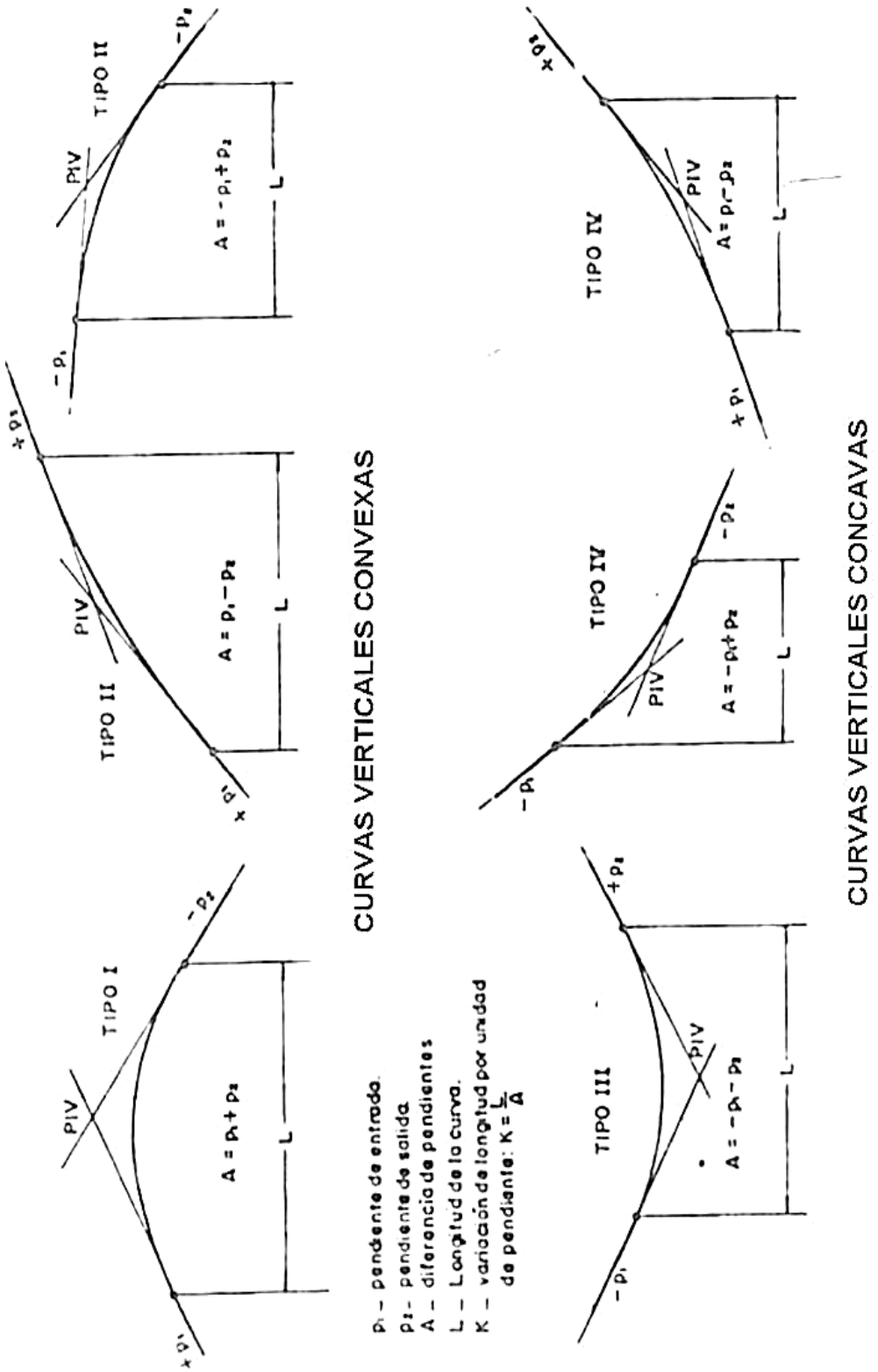
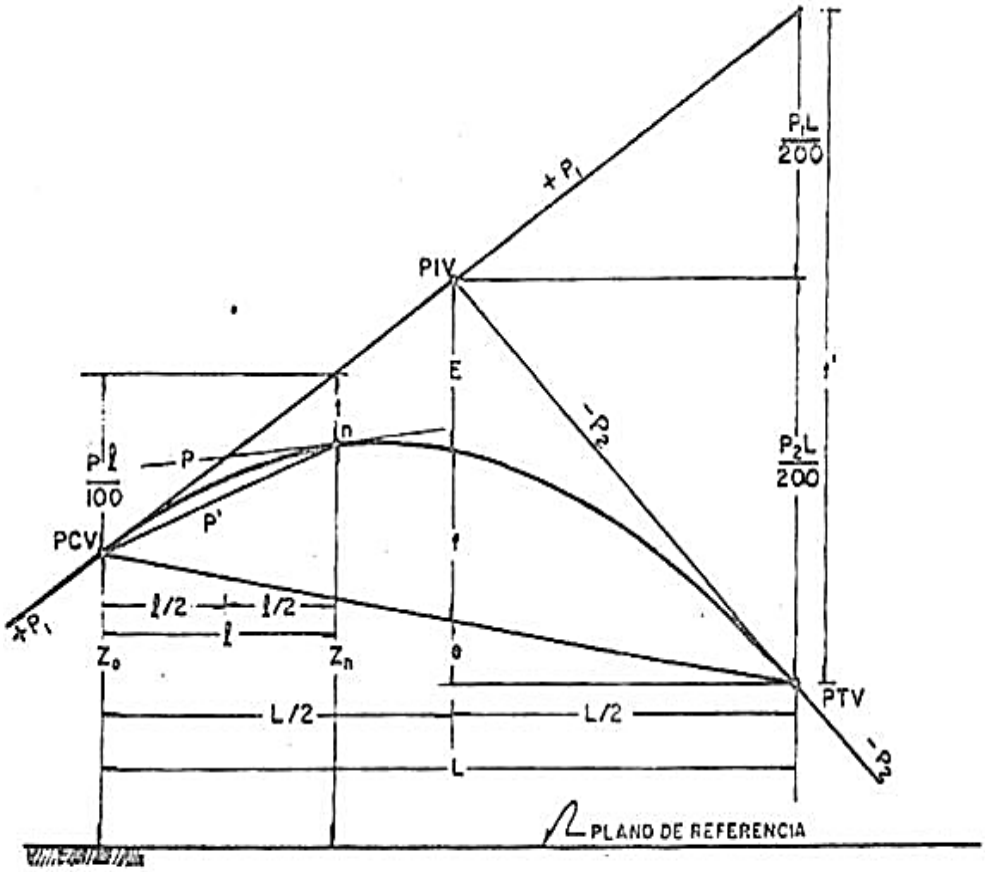
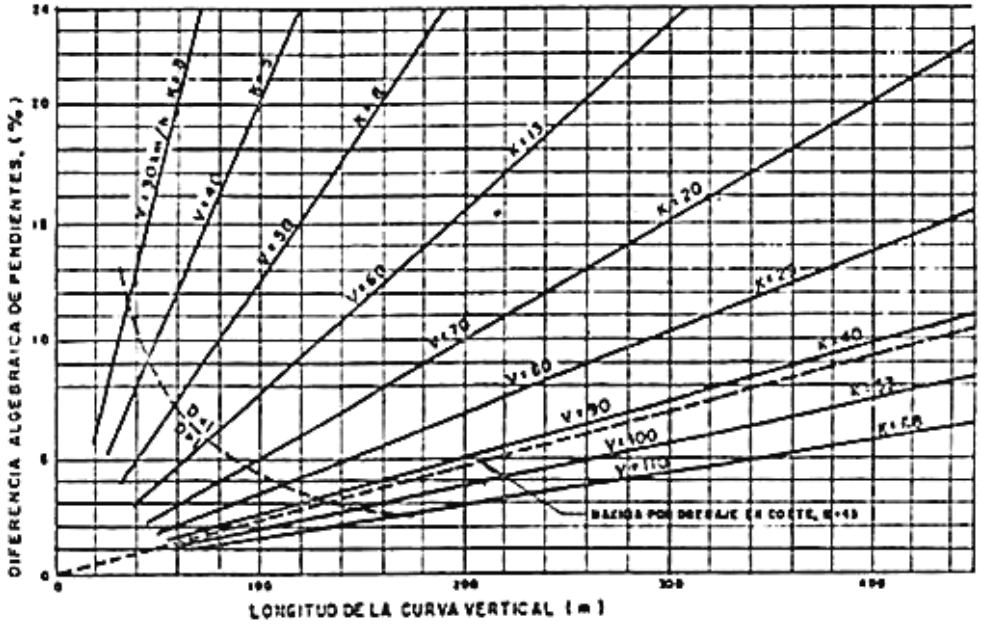


GRÁFICO 20:
ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL

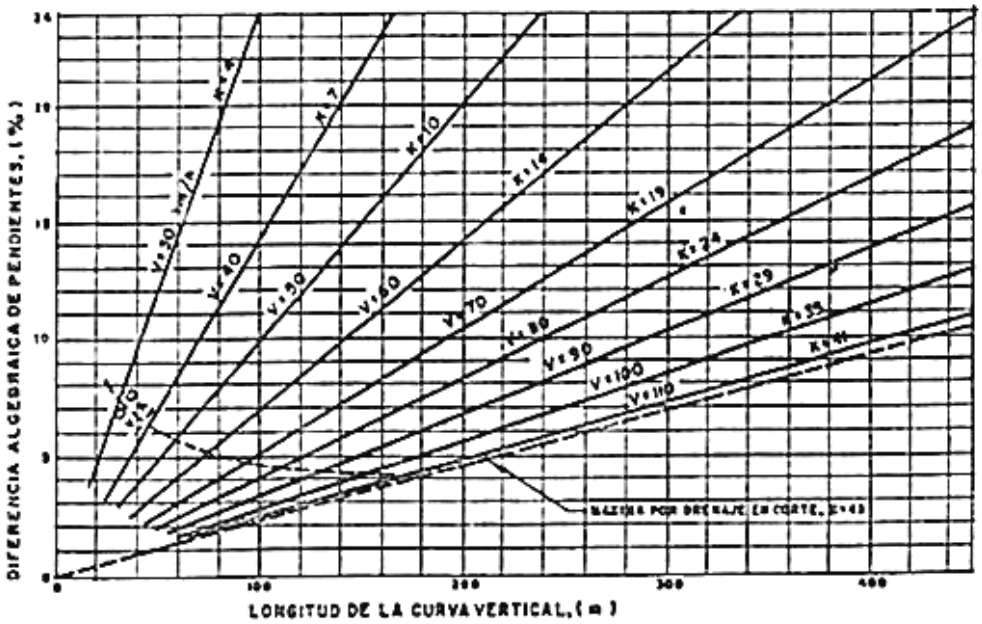


PIV — Punto de intersección de las tangentes.
PCV — Punto en donde comienza la curva vertical.
PTV — Punto en donde termina la curva vertical
n — Punto cualquiera sobre la curva.
P_1 — Pendiente de la tangente de entrada en porciento.
P_2 — Pendiente de la tangente de salida en porciento.
P — Pendiente en un punto cualquiera de la curva en porciento.
P' — Pendiente de una cuerda a un punto cualquiera en porciento.
A — Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y la de salida.
L — Longitud de la curva.
E — Externa
f — Flecha
ℓ — Longitud de curva a un punto cualquiera
t — Desviación respecto a la tangente de un punto cualquiera.
K — Variación de longitud por unidad de pendiente, $K = L/A$
Z_c — Elevación del PCV.
Z_n — Elevacion de un punto cualquiera.

GRÁFICO 21:
ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL



LONGITUD DE CURVAS VERTICALES CONVEXAS PARA CUMPLIR CON LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA



LONGITUD DE CURVAS VERTICALES CONCAVAS PARA CUMPLIR CON LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

ANEXO II - GRÁFICOS

SECCIÓN 701

GRAFICO 22
SECCIÓN TRANSVERSAL DOBLE CARRIL

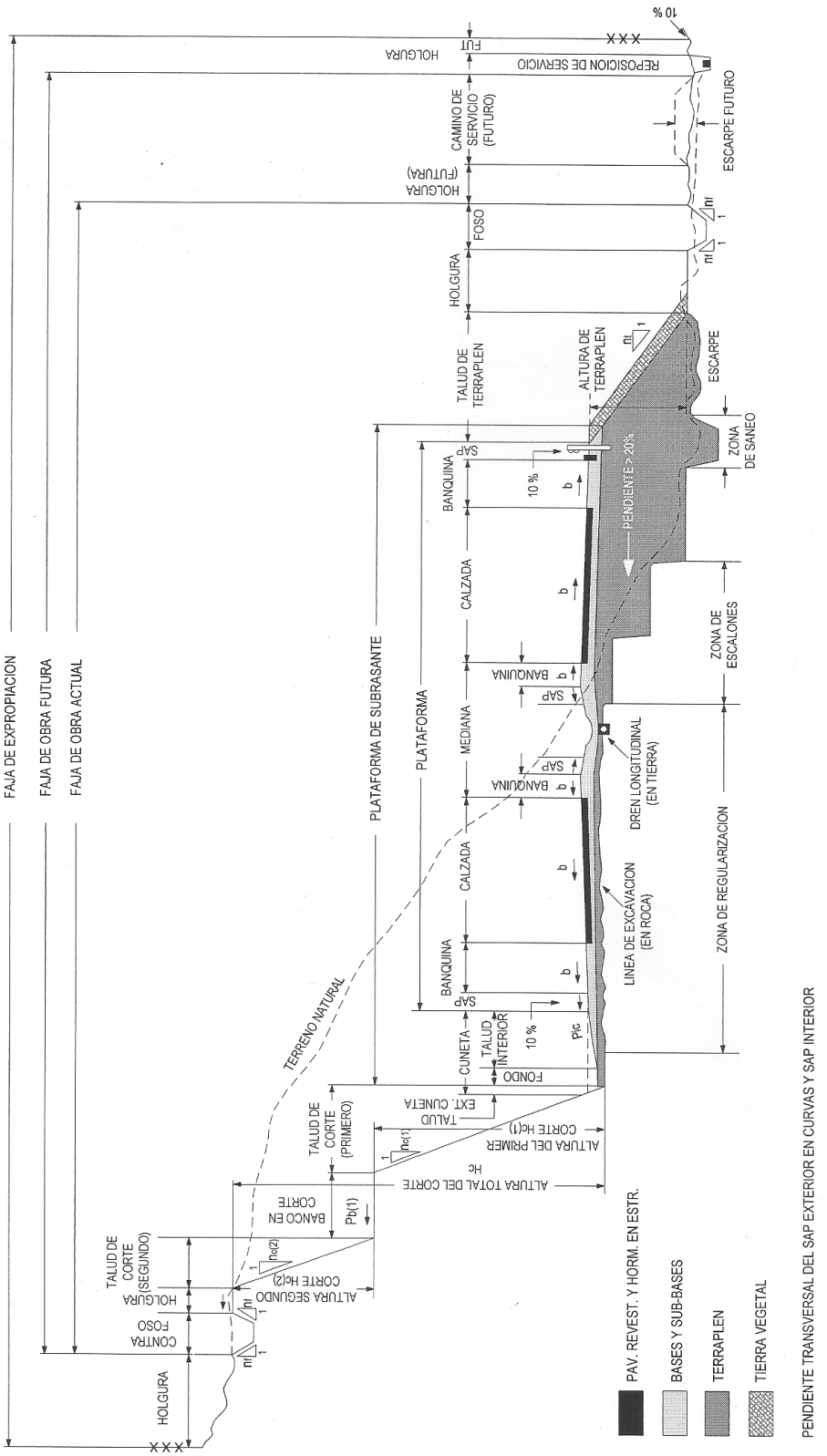


GRAFICO 23
SECCION TRANSVERSAL CALZADA UNICA EN CURVA

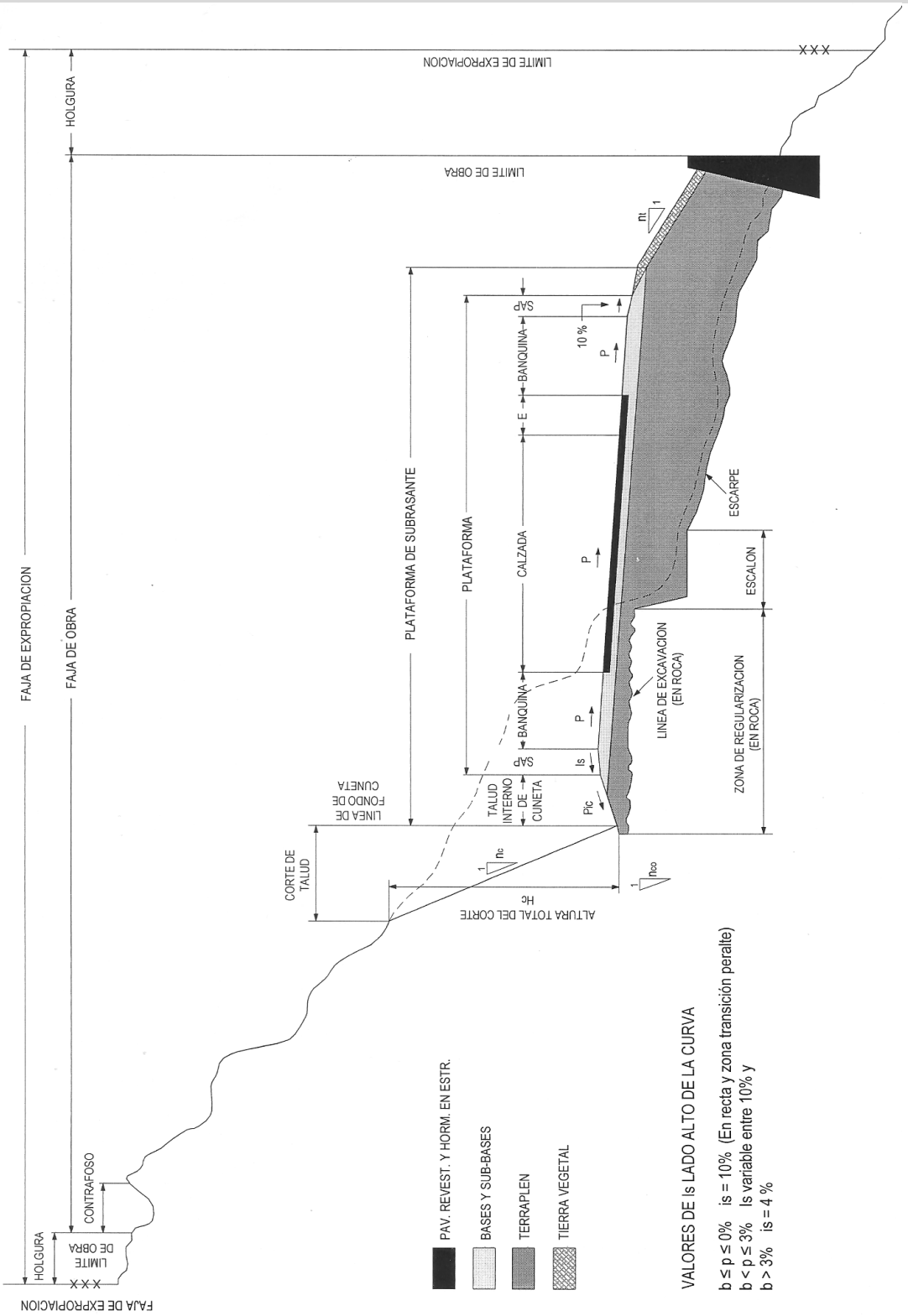


GRAFICO 24
SECCIONES TIPICAS DE CORDÓN-CUNETA EN CARRETERAS

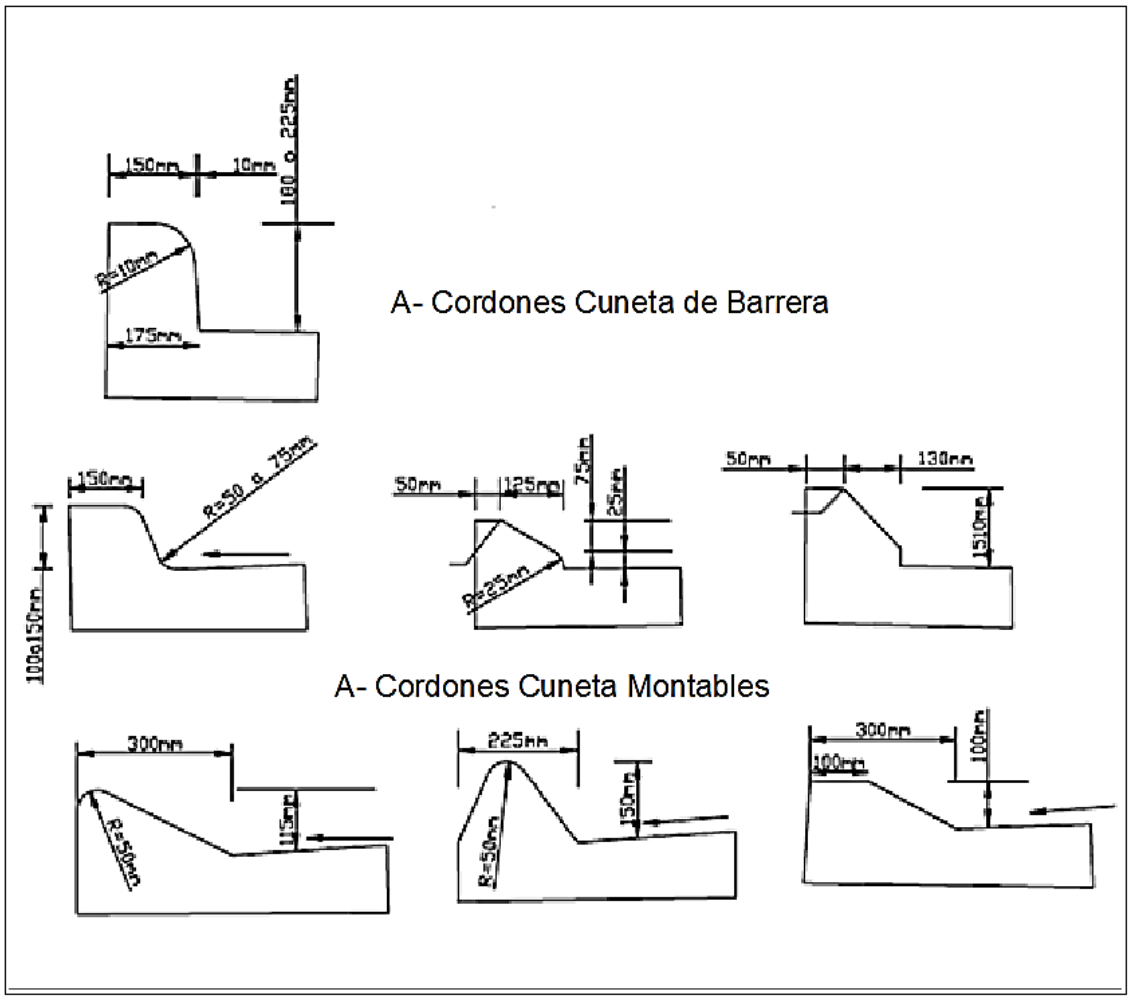
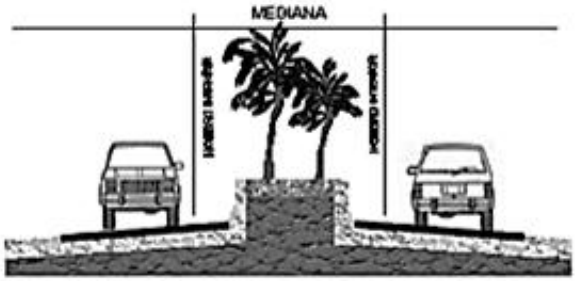
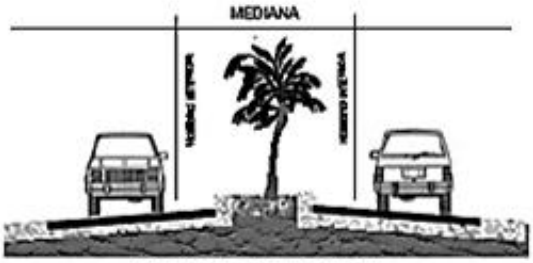


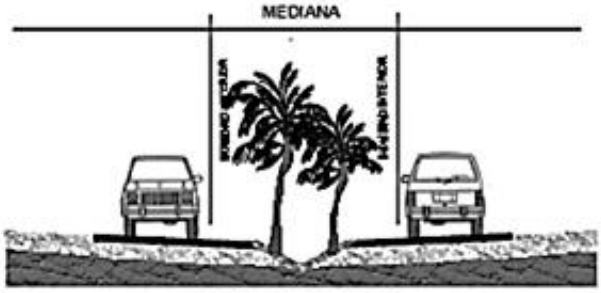
GRAFICO 25
SECCION TIPO EN RECTA DE VIAS CON MEDIANERA



MEDIANA ELEVADA



MEDIANA CON CORDONES



MEDIANA CON CUNETA

GRAFICO 26:
PARADAS DE OMNIBUS SOBRE LA BANQUINA
CAMINOS DE DESARROLLO Y LOCALES

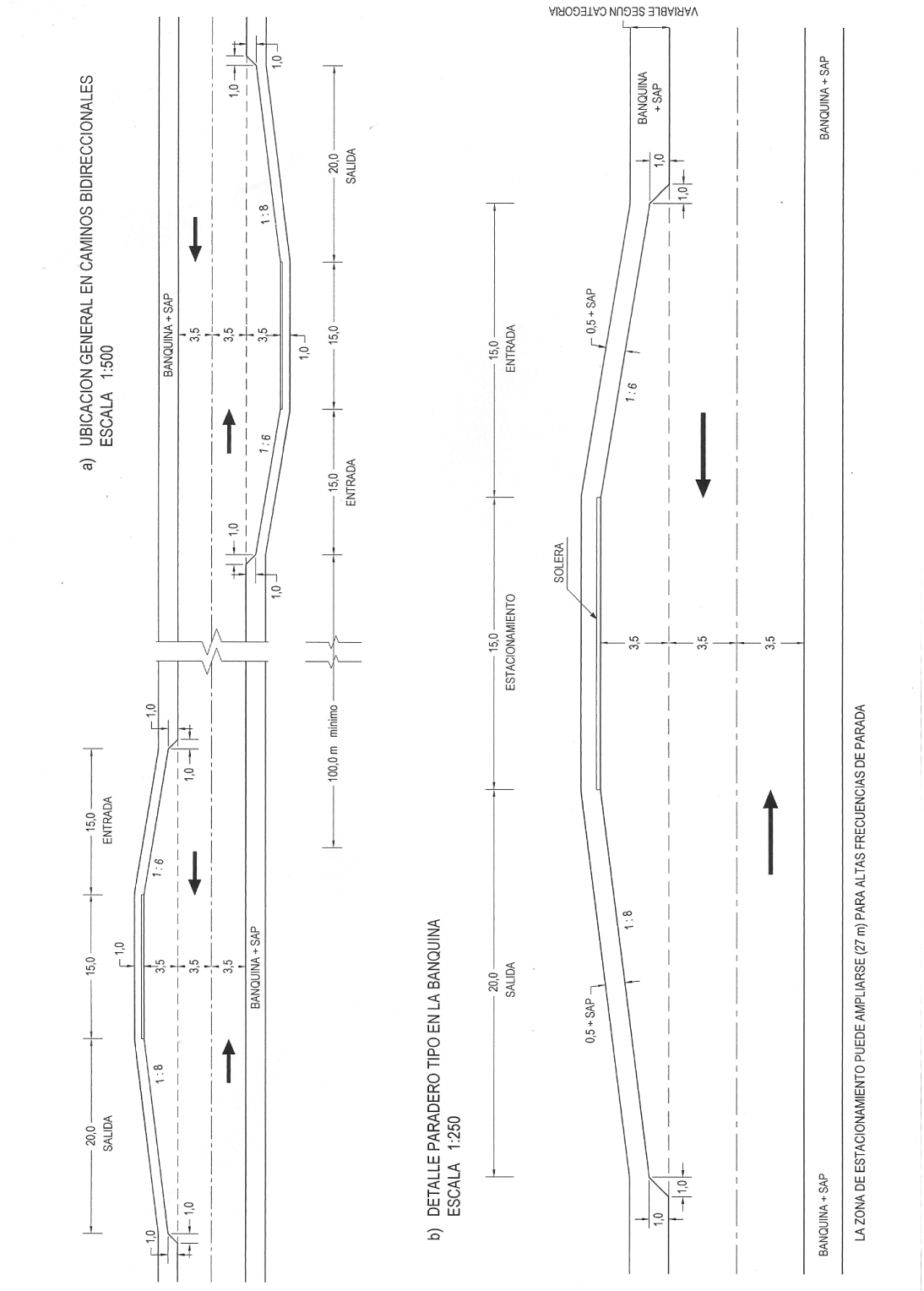


GRAFICO 27
PARADAS DE OMNIBUS FUERA DE LA BANQUINA VIAS BIDIRECCIONALES Y COLECTORES

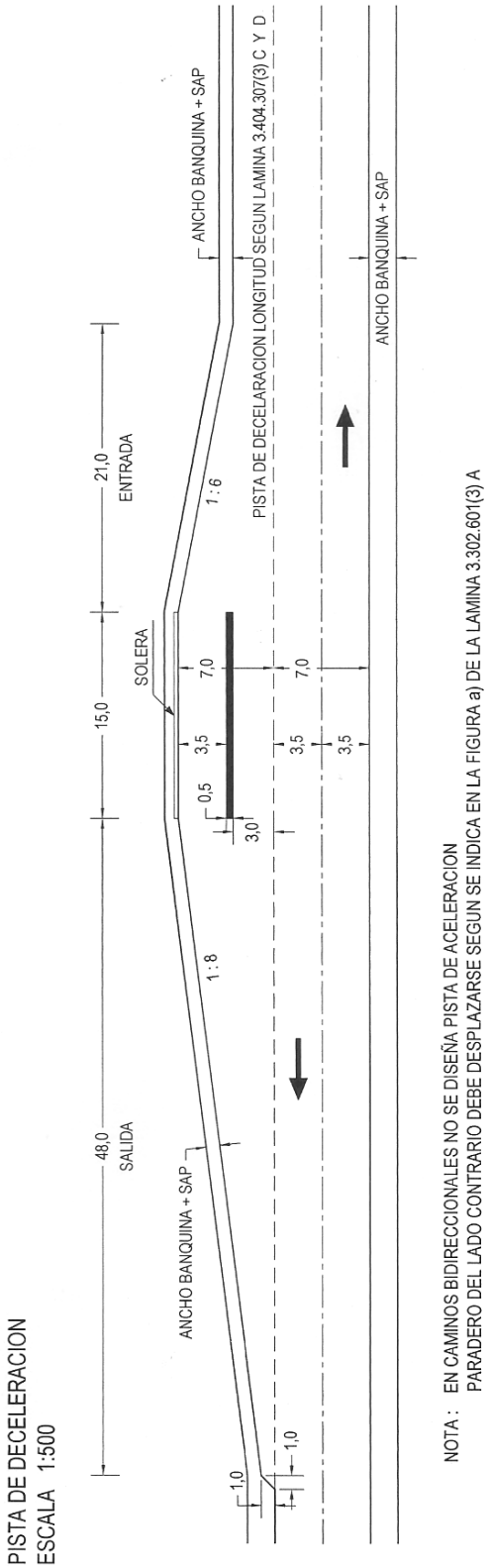


GRAFICO 28
PARADAS DE OMNIBUS FUERA DE LA BANQUINA

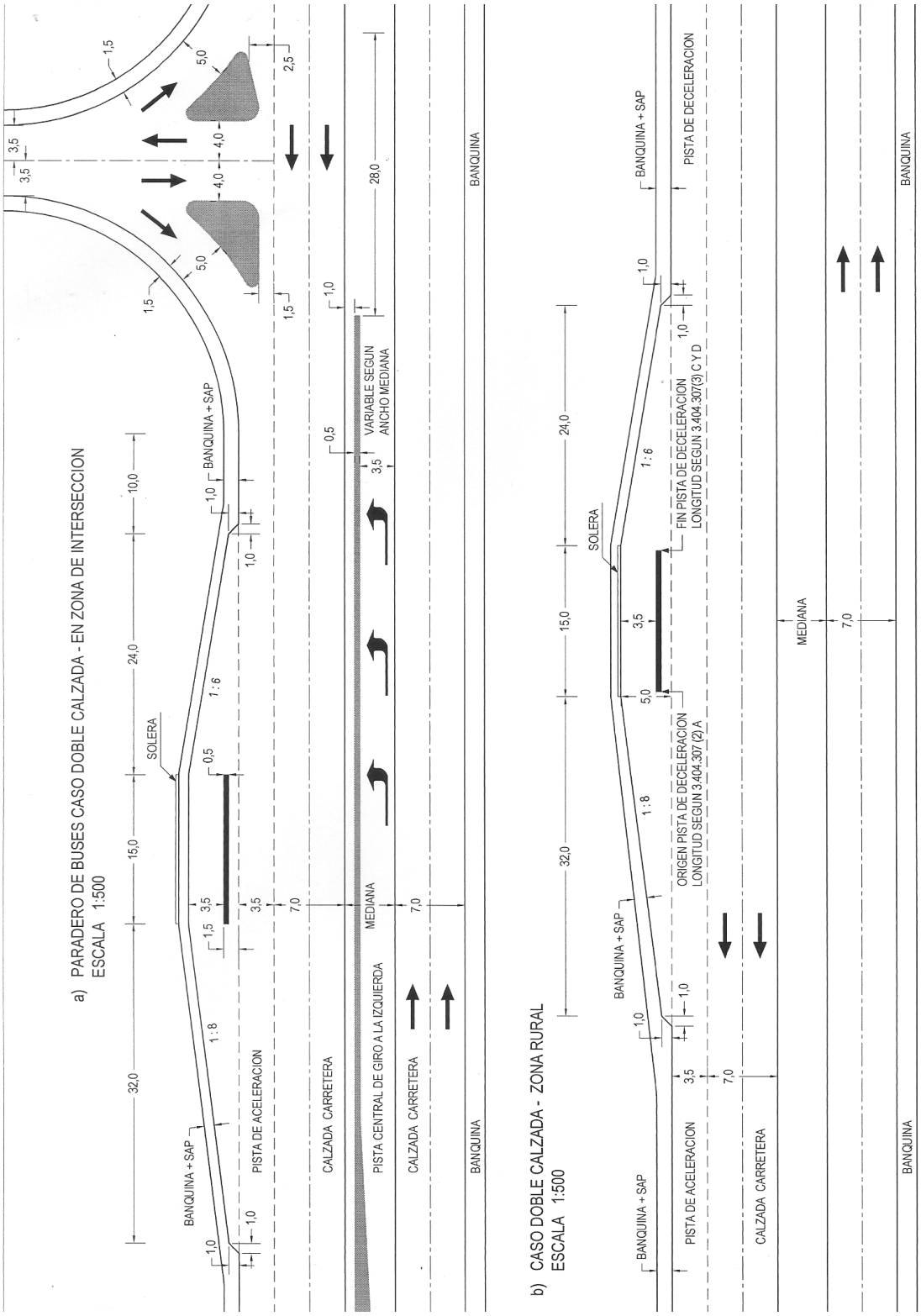
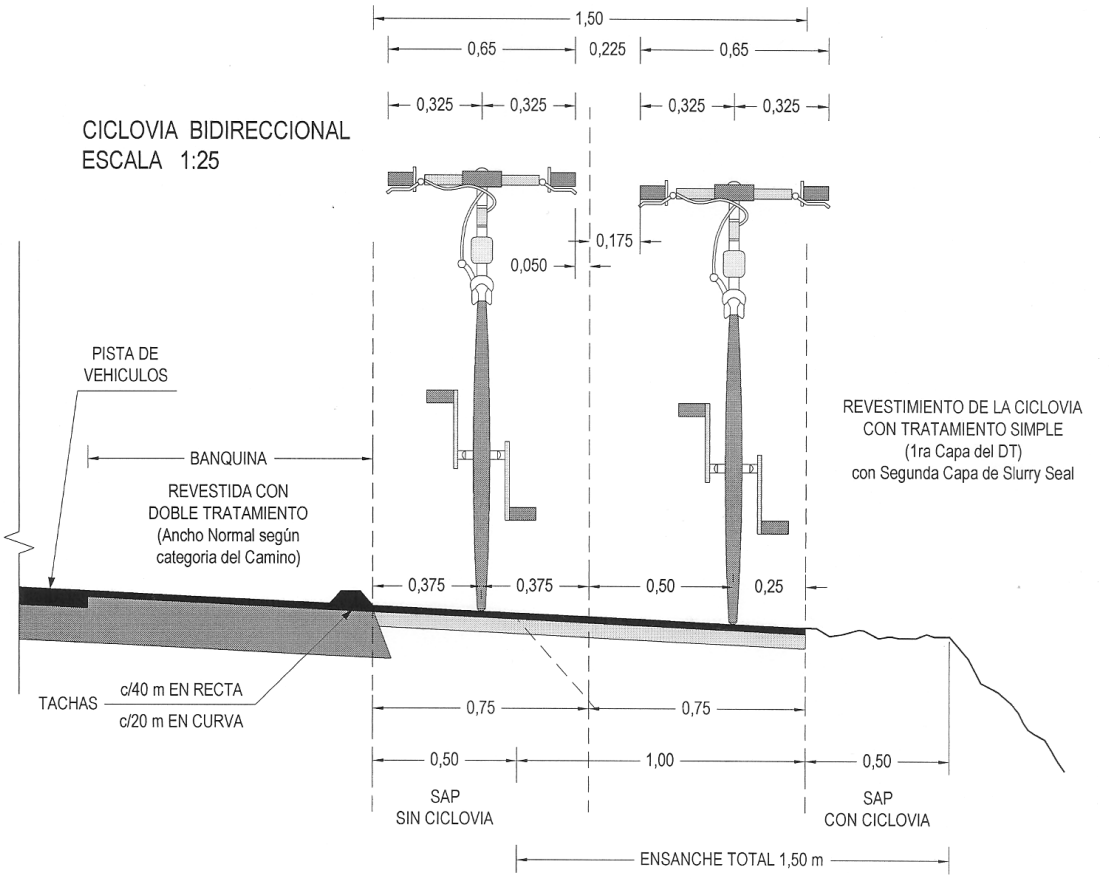
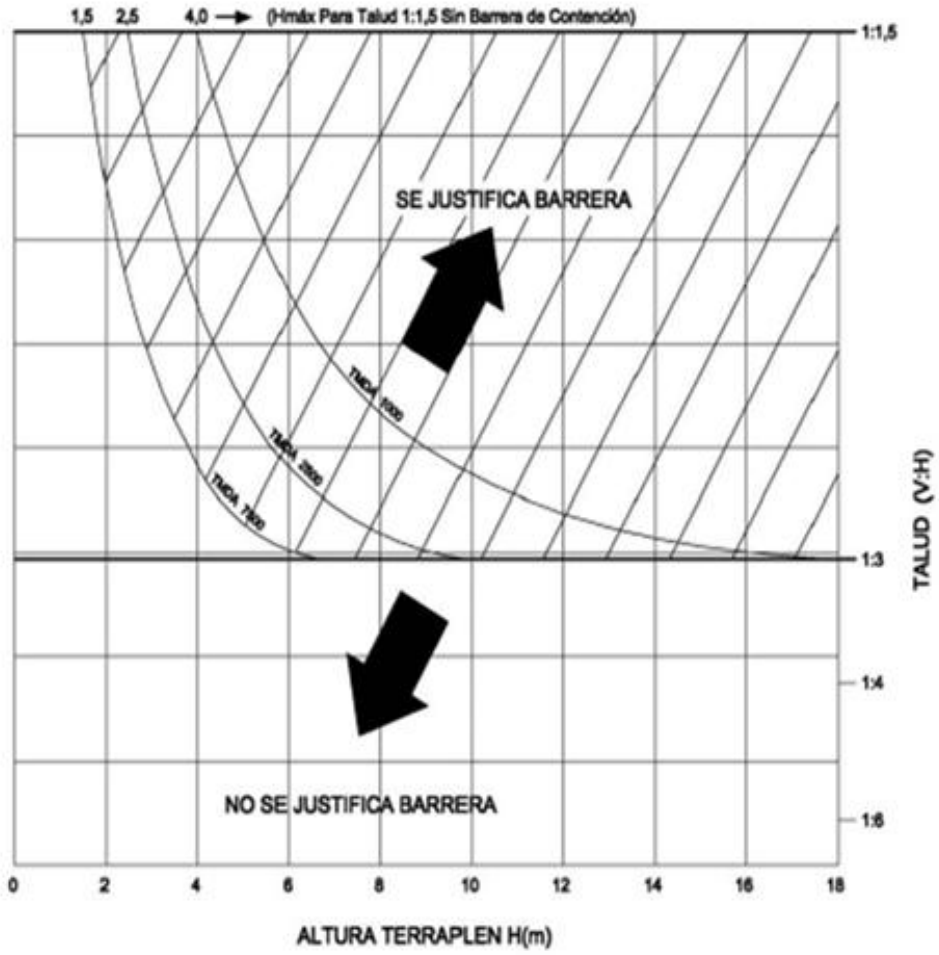


GRAFICO 29
CICLOVIA BIDIRECCIONAL



Si el SAP es de 80 cm., las dimensiones se modifican consecuentemente, dando el mayor ancho a la pista interior

GRAFICO 30
TALUDES DE TERRAPLEN EN FUNCION DEL TRANSITO Y DE SU ALTURA Y CRITERIOS DE INSTALACION DE BARRERAS DE CONTENCION



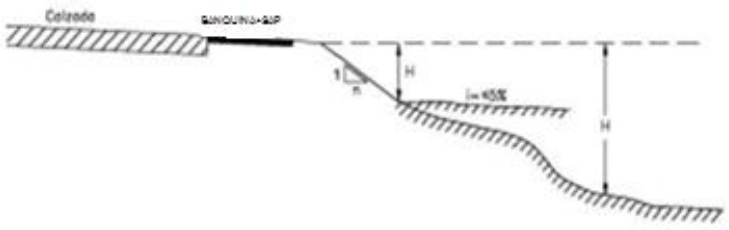


GRAFICO 31
DIVERSAS SECCIONES DE CUNETAS

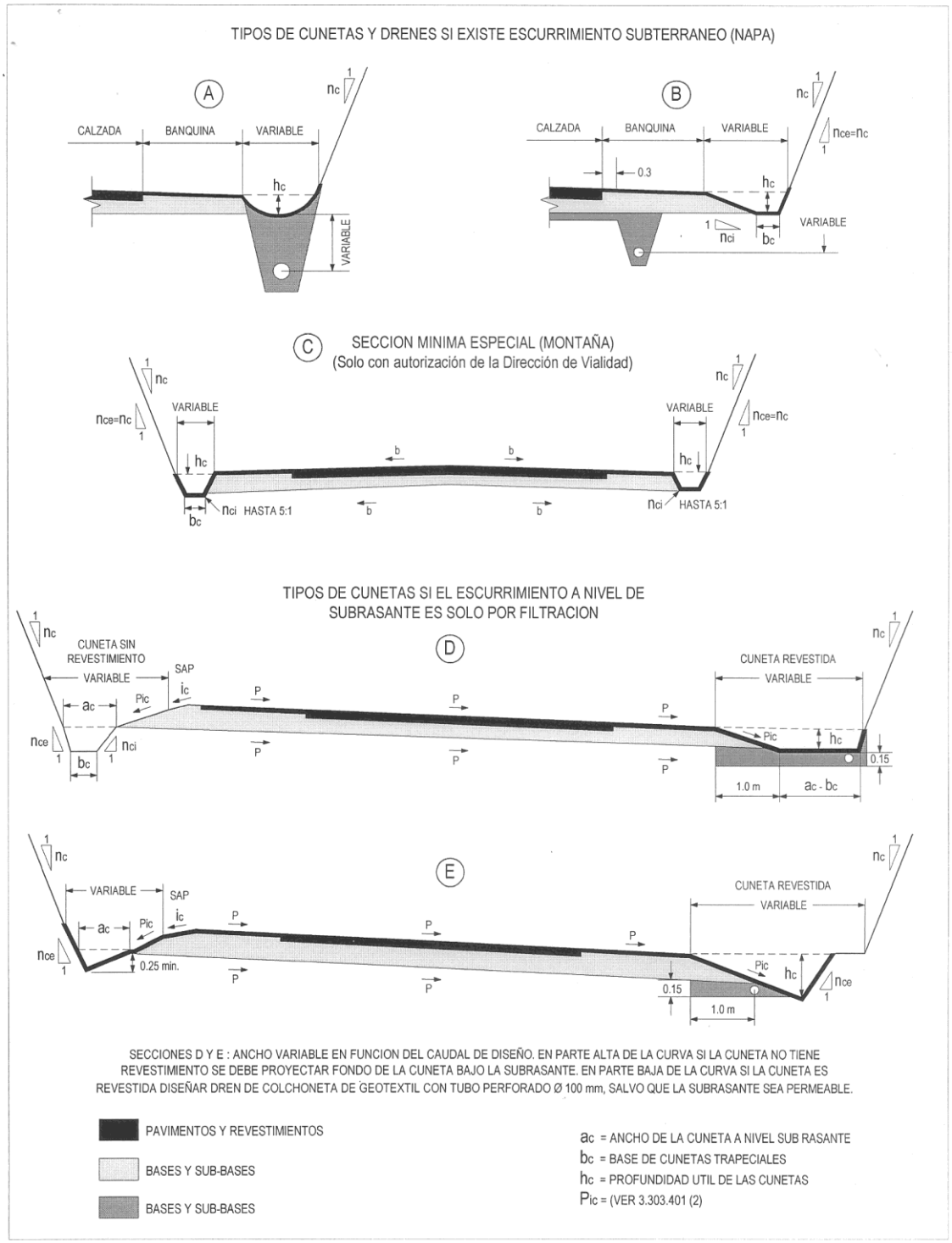


GRAFICO 32
TIPOS DE SECCIONES TRANSVERSALES
RERAS DE CONTENCION

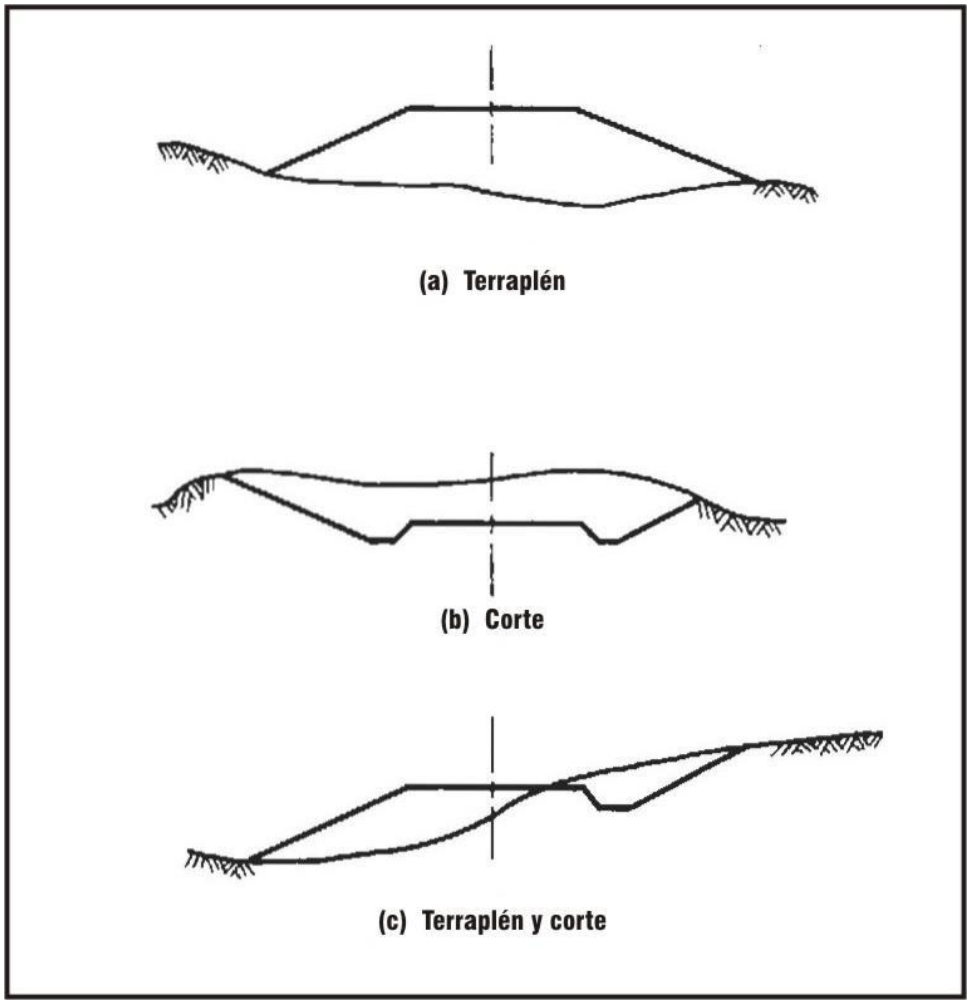
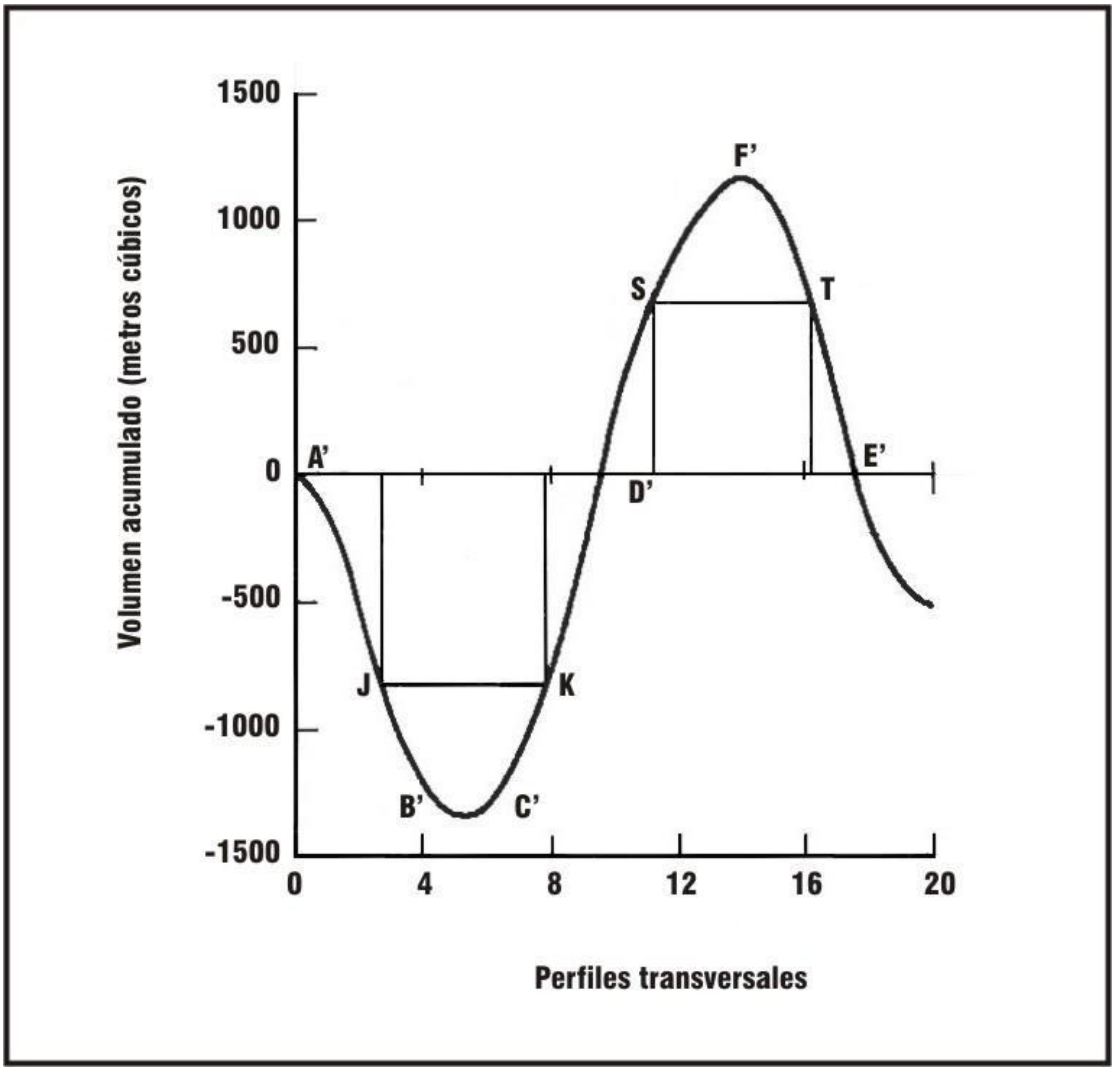


GRAFICO 33
DIAGRAMA DE CURVA DE MASA



ANEXO II - GRÁFICOS

SECCIÓN 801

GRÁFICO 34
PRINCIPALES SUPERFICIES CON GRÁFICO EN UNA INTERSECCION.

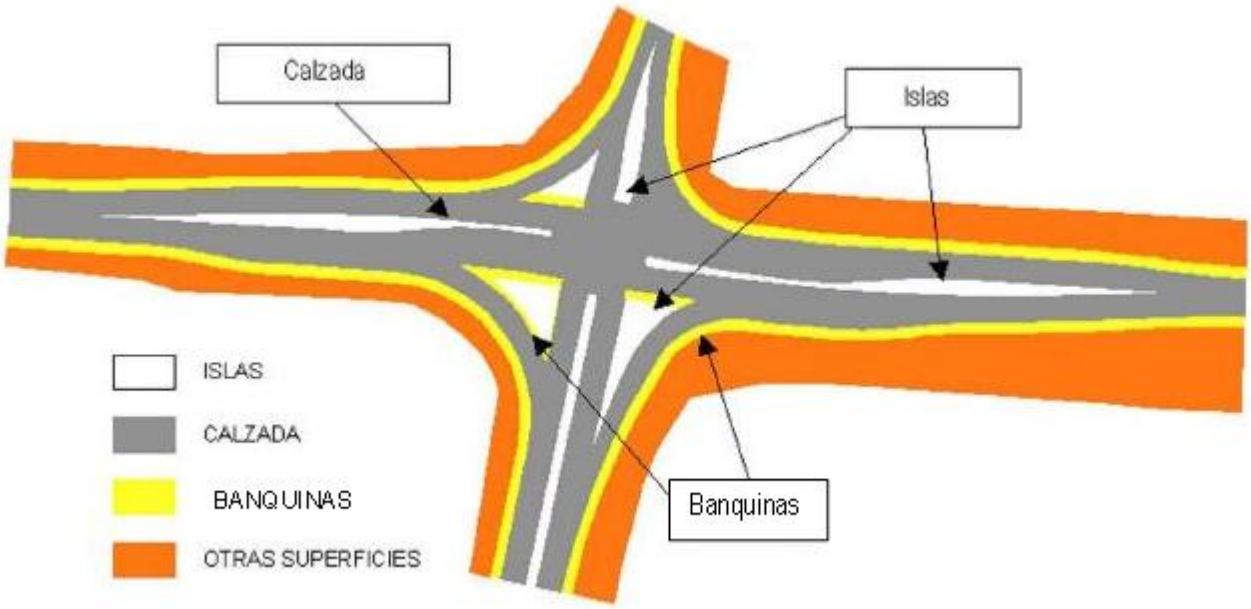


GRÁFICO 35
CALZADA, BANQUINA Y SUPERFICIES DE CAPA DEMARCADA.



GRÁFICO 36
DETALLE DE ISLAS

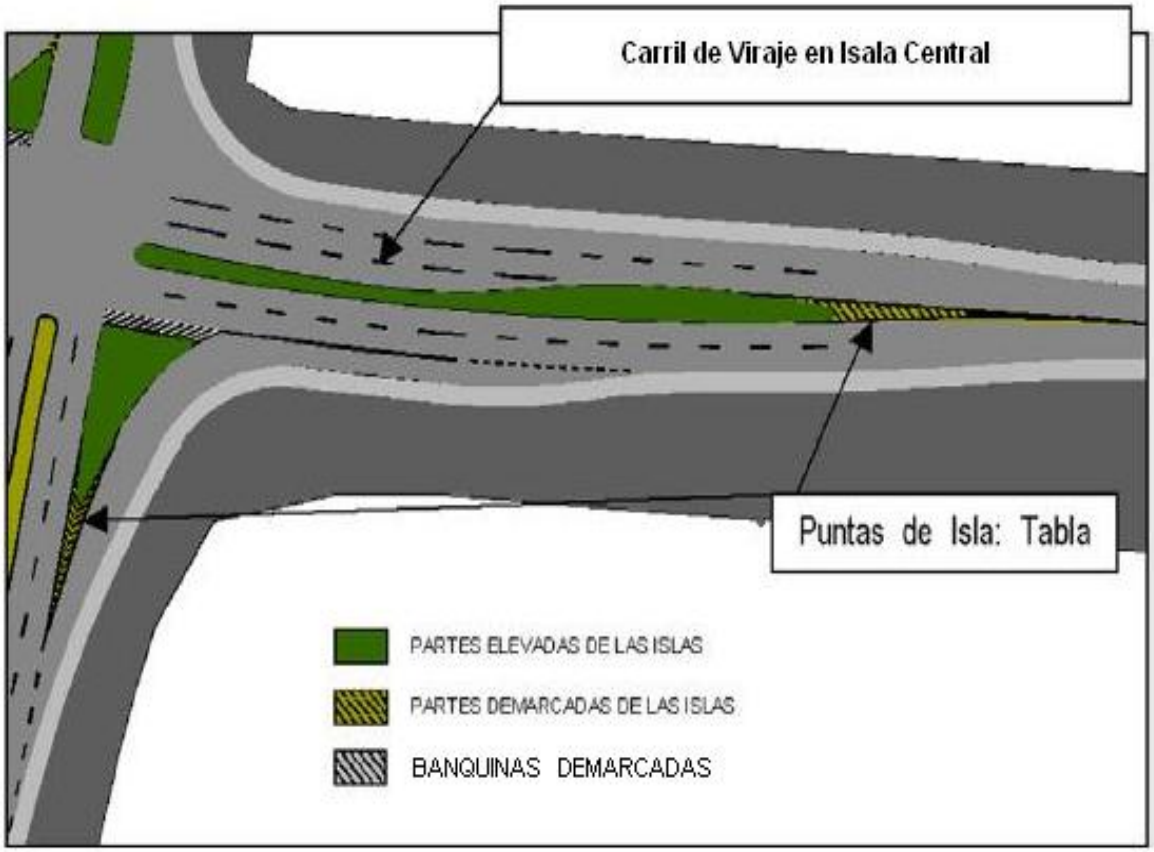


GRÁFICO 37
PRINCIPALES ELEMENTOS EN LAS CALZADAS DE INTERSECCIONES.

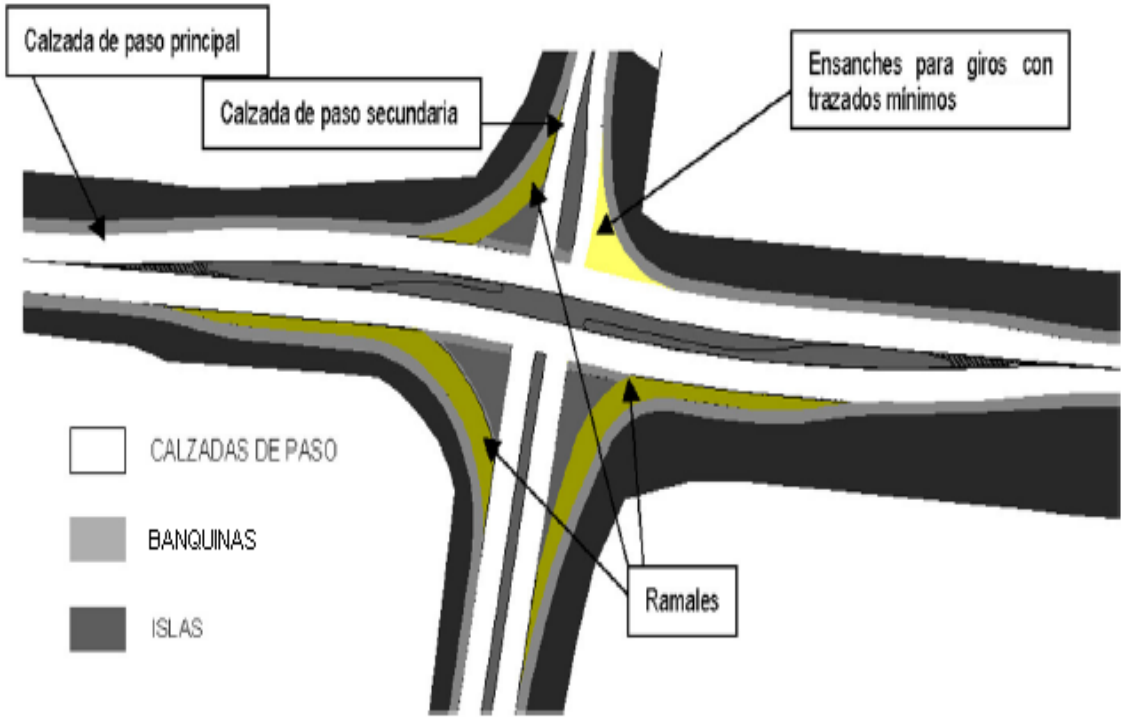


GRÁFICO 38
PRINCIPALES ELEMENTOS EN LAS CALZADAS DE INTERSECCIONES.

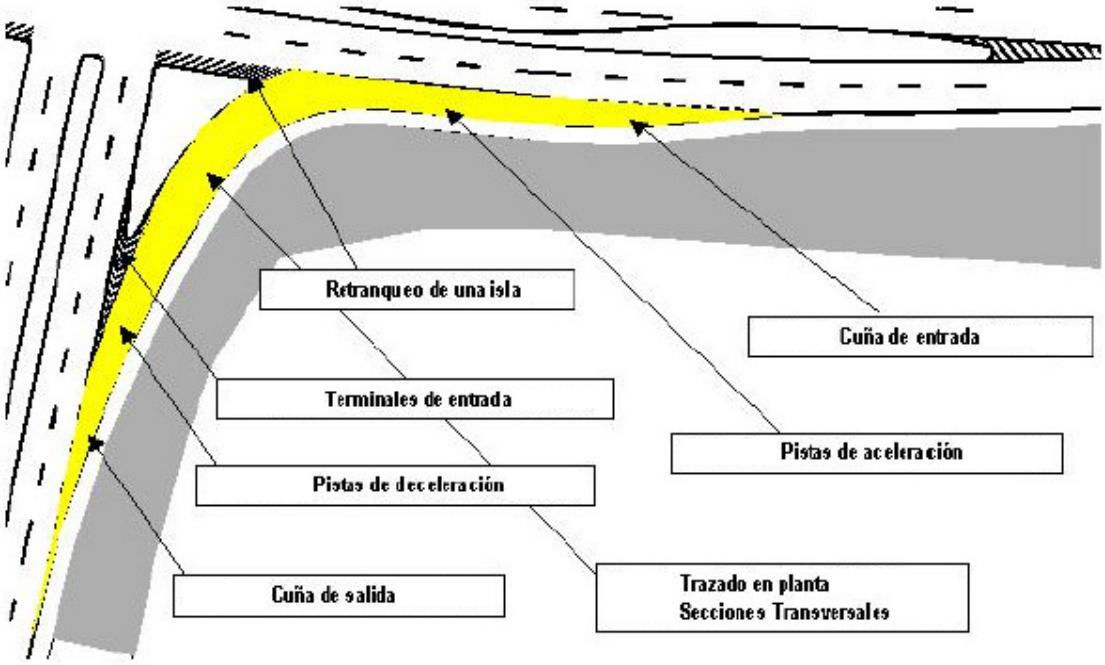


GRÁFICO 39
EJEMPLOS DE TRAMOS DE TRENZADO.

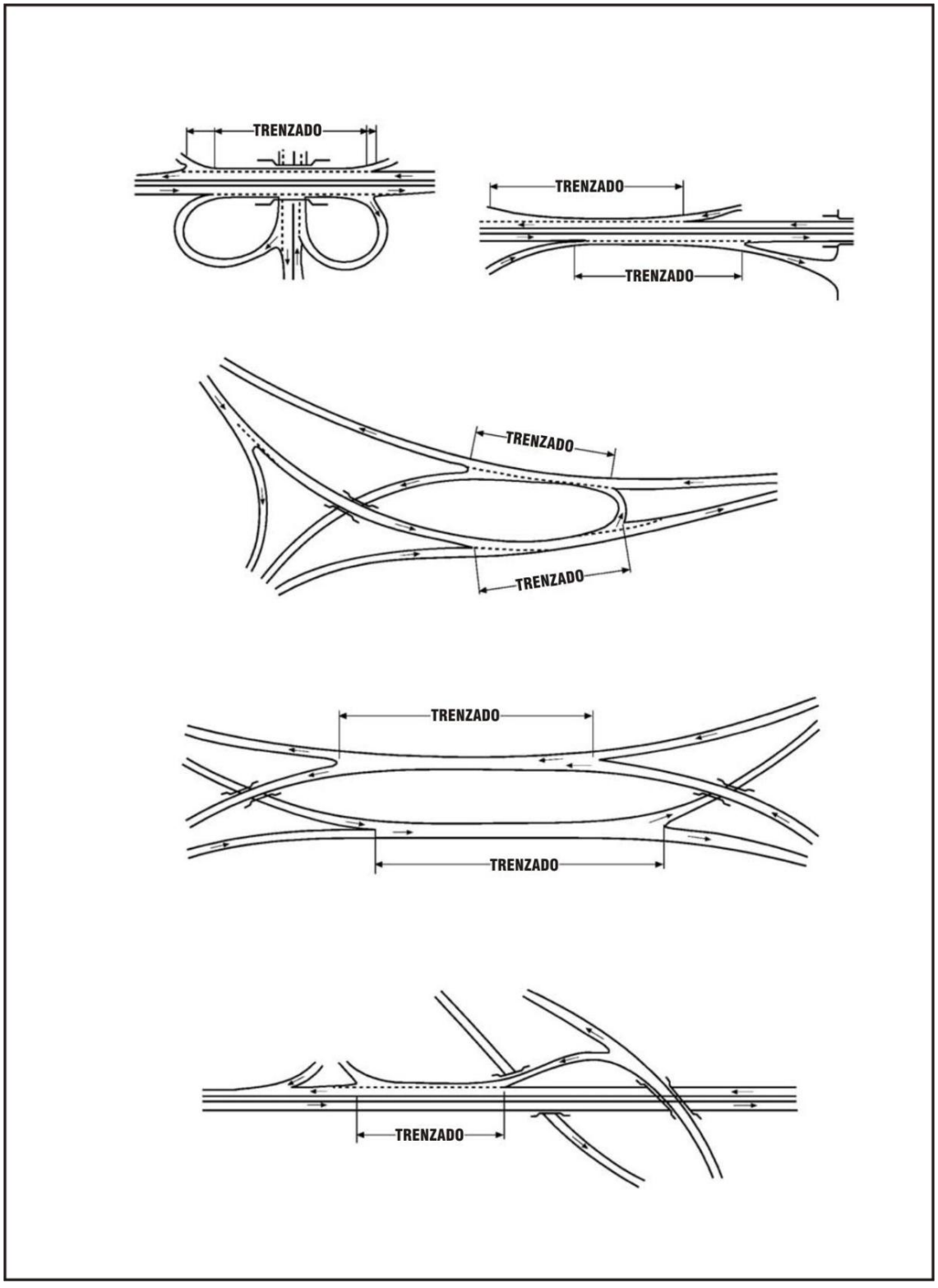


GRÁFICO 40
TIPOS DE TRENZADO.

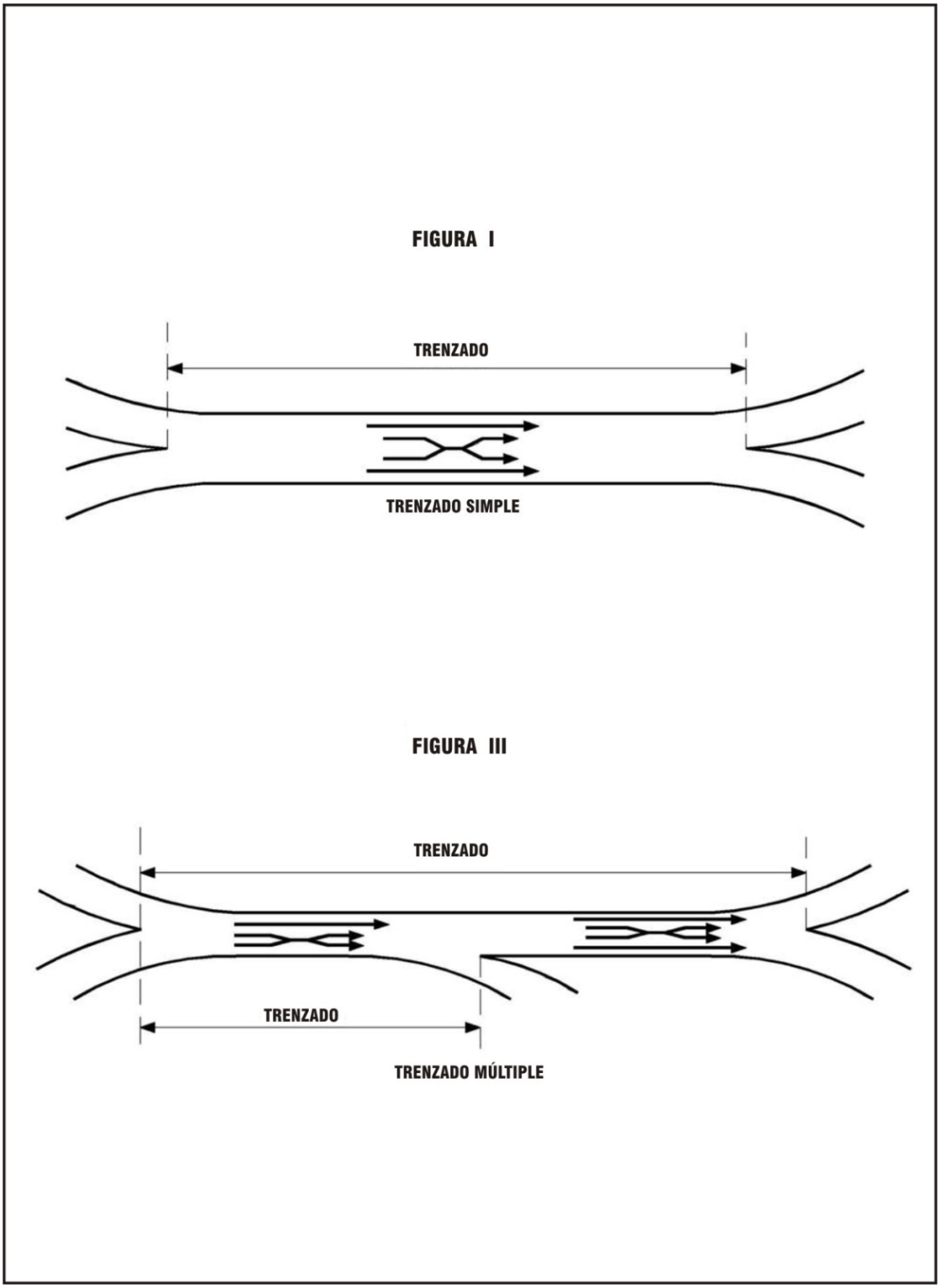


GRÁFICO 41
TIPOS BASICOS DE INTERSECCIONES.

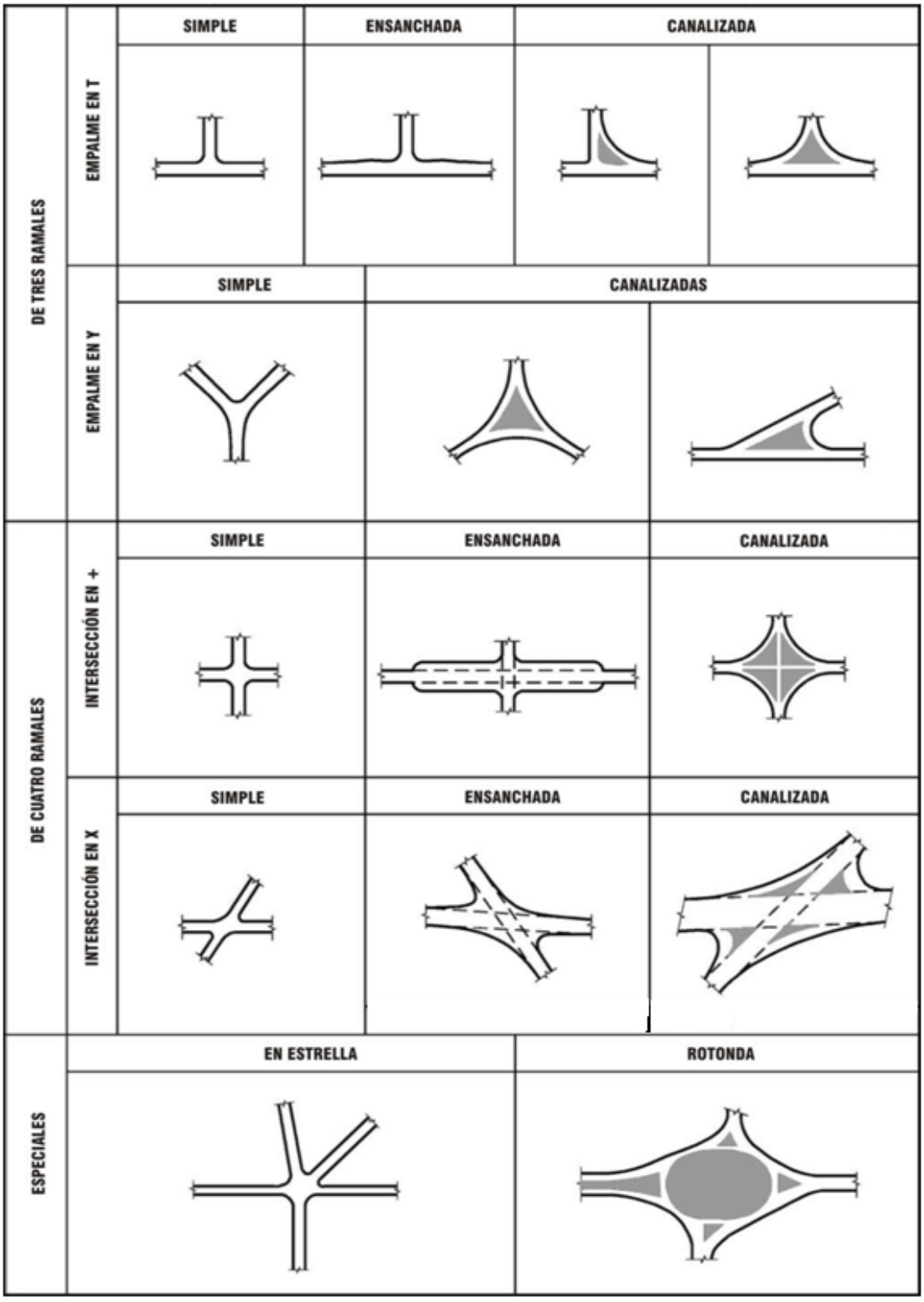


GRÁFICO 42
MODIFICACIONES DE TRAZADO POR NÚMERO DE RAMAS Y ESVIAJE.

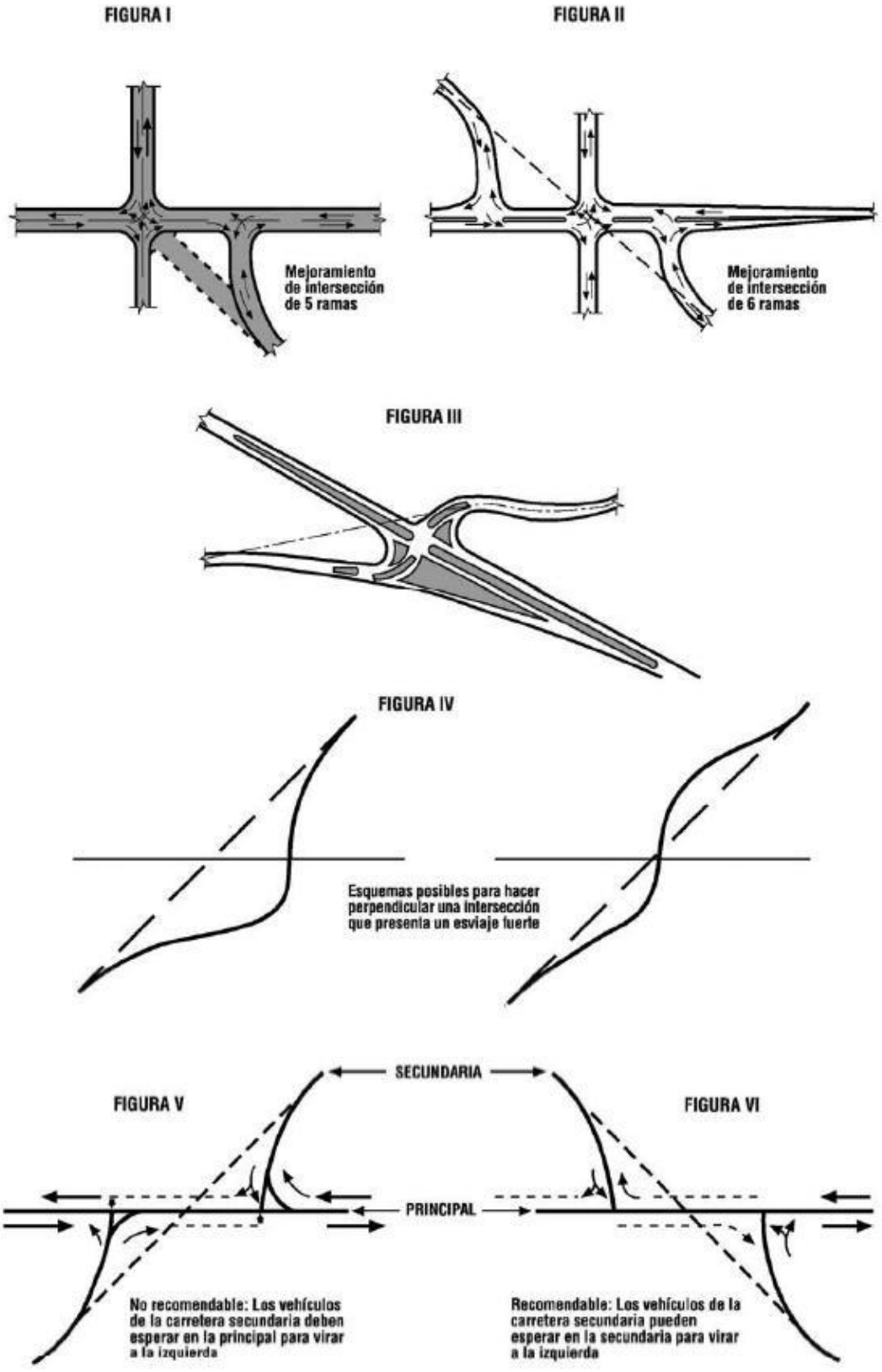
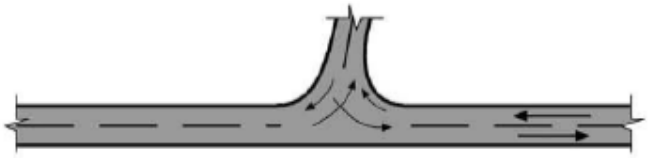
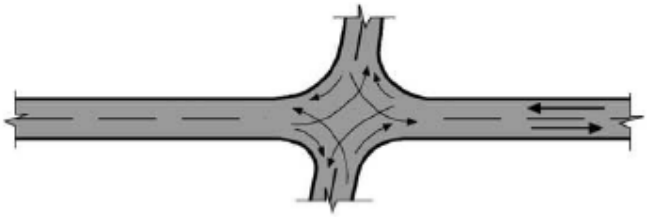


GRÁFICO 43
EMPALMES E INTERSECCIONES SIMPLES.

A. EMPALME



B. INTERSECCION



C. INTERSECCION DE UN CAMINO DE DOBLE VIA

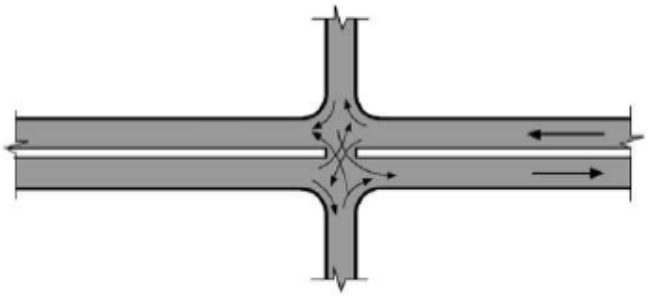
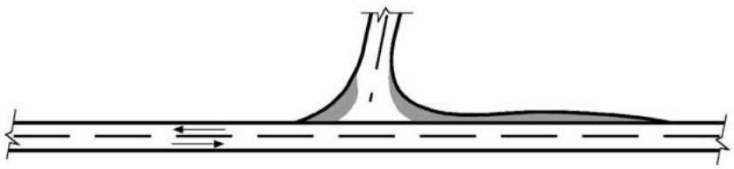
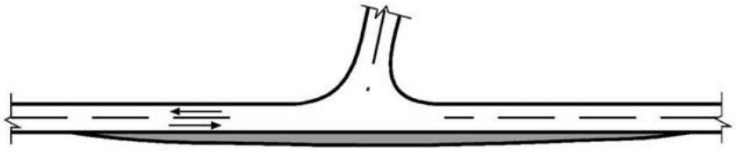


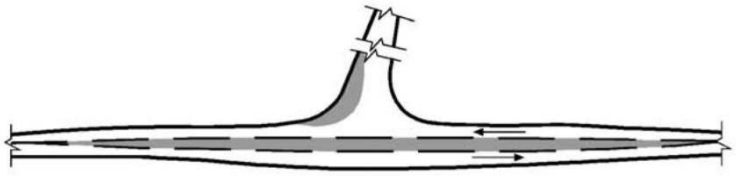
GRÁFICO 44
ENSANCHES PARA EMPALMES "I" O "Y" E INTERSECCIONES EN CRUZ



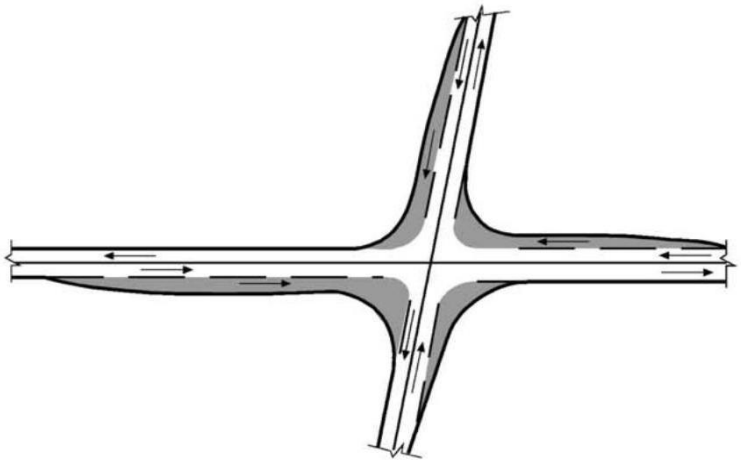
A. ENSANCHE MEDIANTE CARRIL ADYACENTE AL MISMO LADO DEL CAMINO INTERCEPTADO



B. ENSANCHE MEDIANTE CARRIL OPUESTO AL CAMINO INTERCEPTADO



C. SOLUCIÓN DE ENSANCHE CON CARRIL INTERMEDIO Y ENSANCHE EN EL CAMINO INTERCEPTADO



D. ENSANCHES LATERALES EN AMBOS CAMINOS

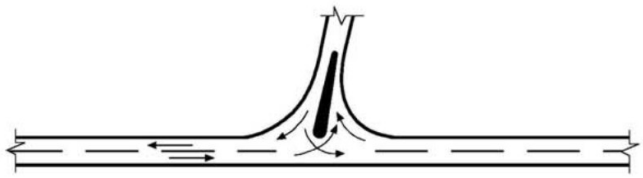
GRÁFICO 45
EMPALMES CANALIZADOS VALIDOS PARA TIPOS “X” O “Y”.



A. CARRIL DE GIRO A LA DERECHA DESDE EL CAMINO DE PASO



B. CARRILES INDEPENDIENTES DE GIRO DESDE EL CAMINO INTERCEPTADO

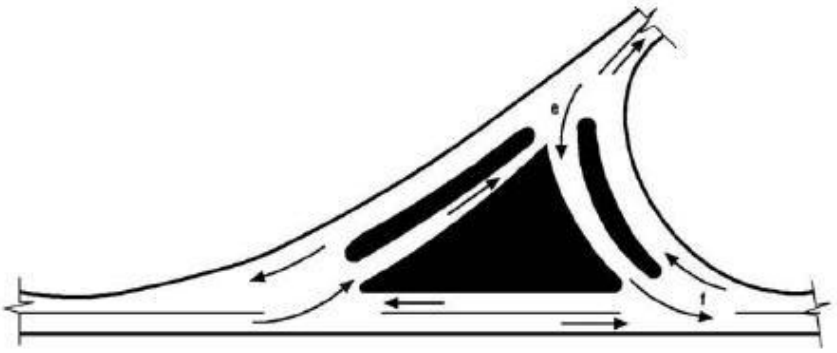


C. SEPARACIÓN DE CORRIENTES MEDIANTE ISLAS DIVISORIAS

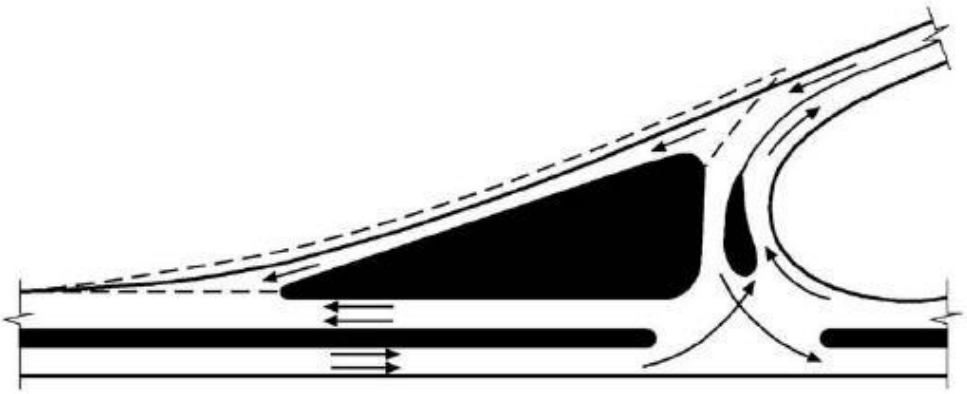


D. SEPARACIÓN COMPLETA DE MOVIMIENTOS DE GIRO Y ENSANCHE EN CAMINO DE PASO

GRÁFICO 46
EMPALMES CANALIZADOS EN "Y".



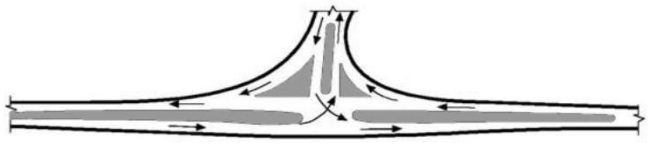
A. PISTAS DE GIRO BIDIRECCIONALES, CAMINO DE PASO DE SIMPLE VIA



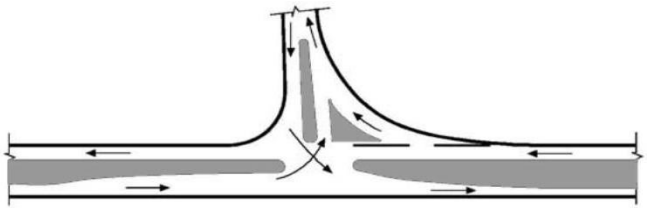
B. SEPARACION DE PISTAS DE GIRO VALIDA CUANDO EL CAMINO DE PASO TIENE DOBLE VIA

NOTA:
ESTE TIPO DE SOLUCION IMPLICA ISLAS TRIANGULARES DE GRANDES DIMENSIONES.
LADO MINIMO 30 A 50 METROS.

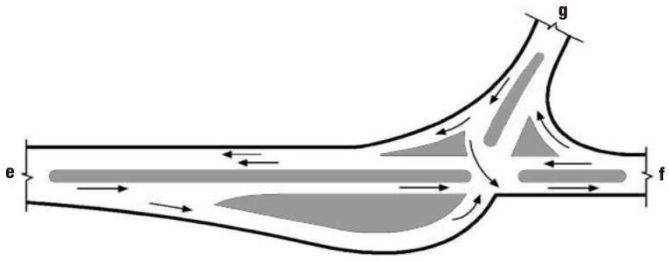
GRÁFICO 47
EMPALMES CANALIZADOS DE ALTO COSTO.



A. EMPALME T DE ALTO COSTO



B. EMPALME T CON ENSANCHE EN MEDIANA

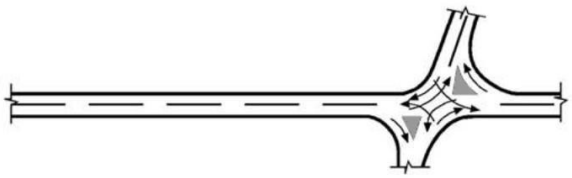


C. EMPALME DE ALTO COSTO

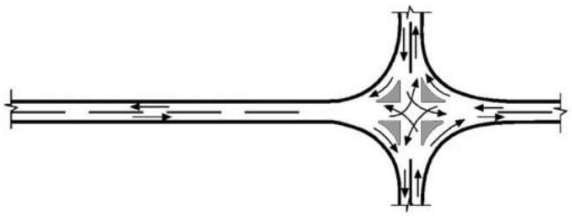
NOTA: SOLO PARA VOLUMENES DE PUNTA MUY PRONUNCIADOS Y DE CORTA DURACIÓN.

GRÁFICO 48
INTERSECCIONES CANALIZADAS

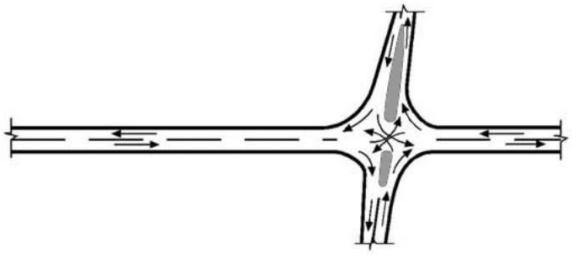
A. VÍAS A LA DERECHA MEDIANTE ISLAS TRIANGULARES EN CUADRANTES AGUDOS



B. ISLAS TRIANGULARES EN TODOS LOS CUADRANTES



C. SEPARACIÓN MEDIANTE ISLAS DIVISORIAS



D. CREACIÓN DE CANTERO CENTRAL EN ZONA DE CRUCE

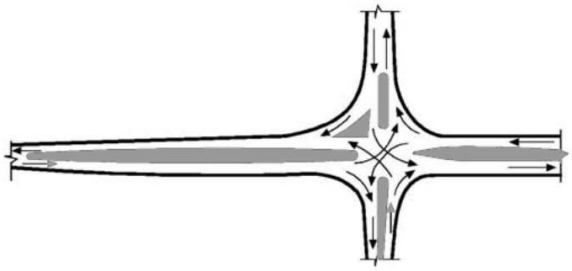
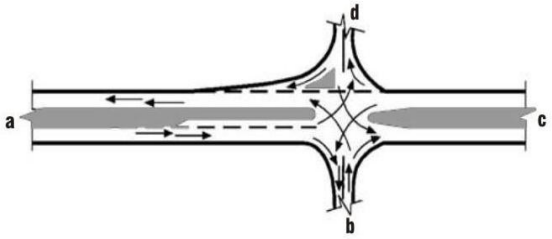
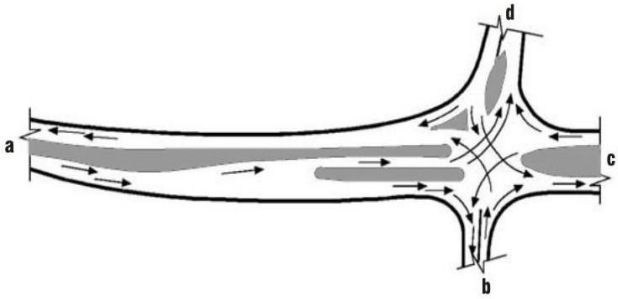


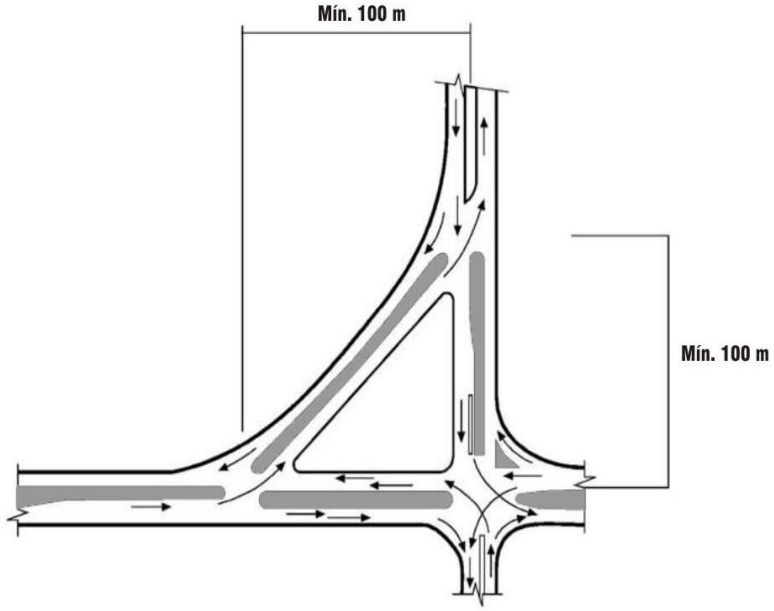
GRÁFICO 49
INTERSECCIONES CON IMPORTANTES GIROS A LA IZQUIERDA EN UN CUADRANTE.



A. GIRO DELINEADO POR CANTERO CENTRAL ANGOSTO



B. GIRO PROTEGIDO POR EL CANTERO CENTRAL E ISLA DIVISORIA



C. GIRO SACADO DEL CRUCE MEDIANTE DIAGONAL

GRÁFICO 50
VISIBILIDAD EN INTERSECCIONES.

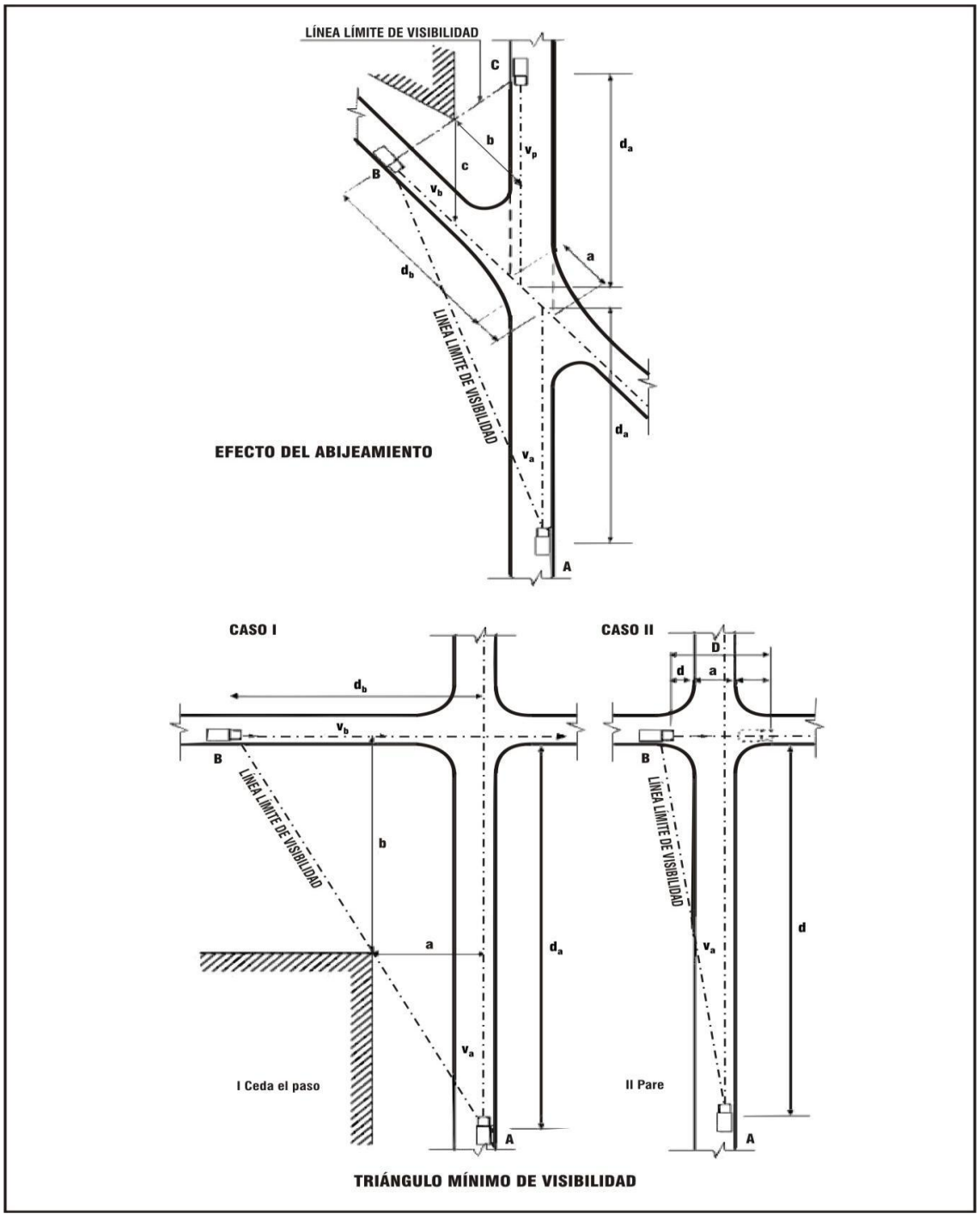


GRÁFICO 51
ESQUEMAS EN PLANTA Y ALZADO (ELEVACION) DE CRUCES A NIVEL CON VÍAS FERREAS.

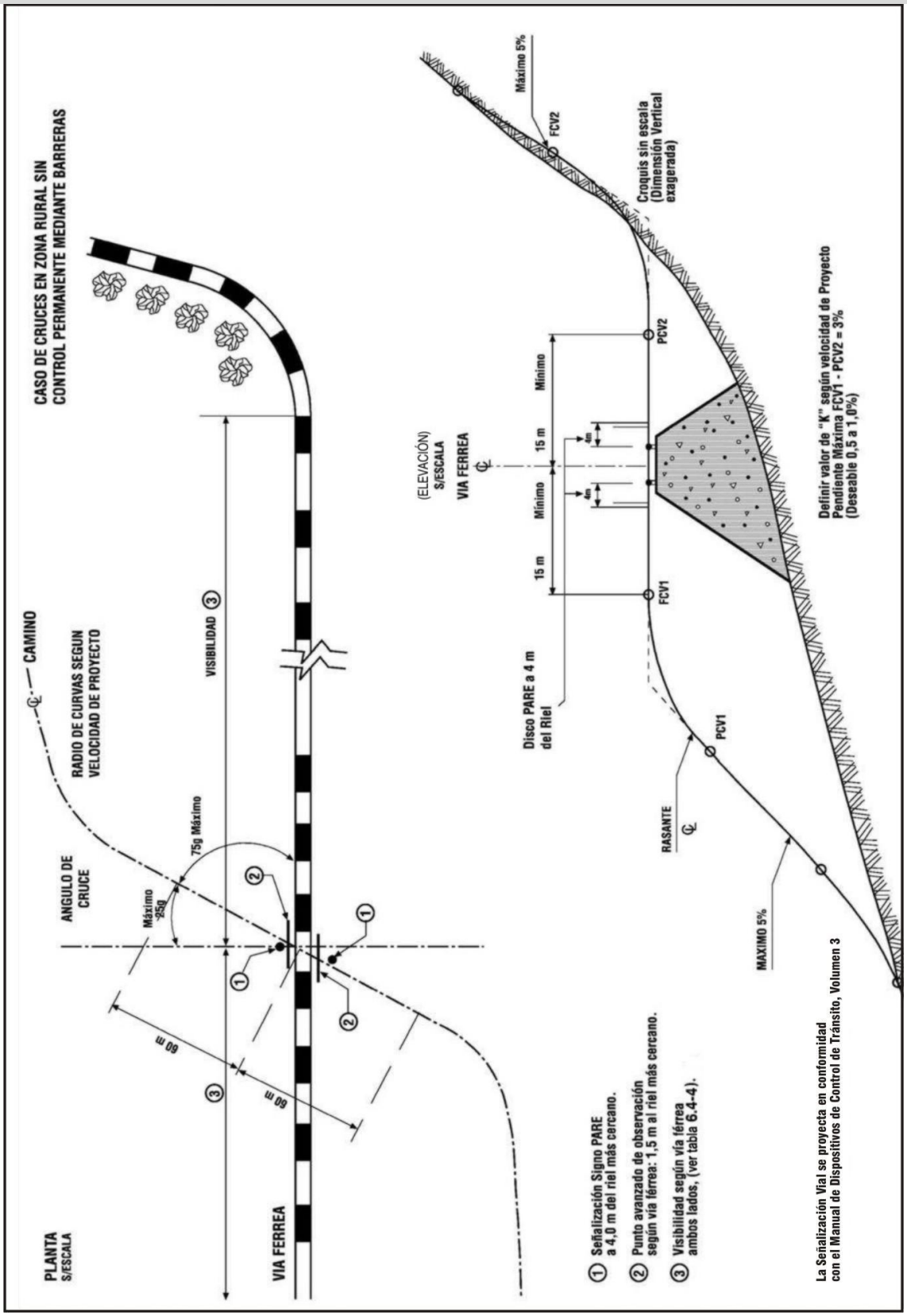


GRÁFICO 52
TRAZADO DE CURVA DE TRES CENTROS.

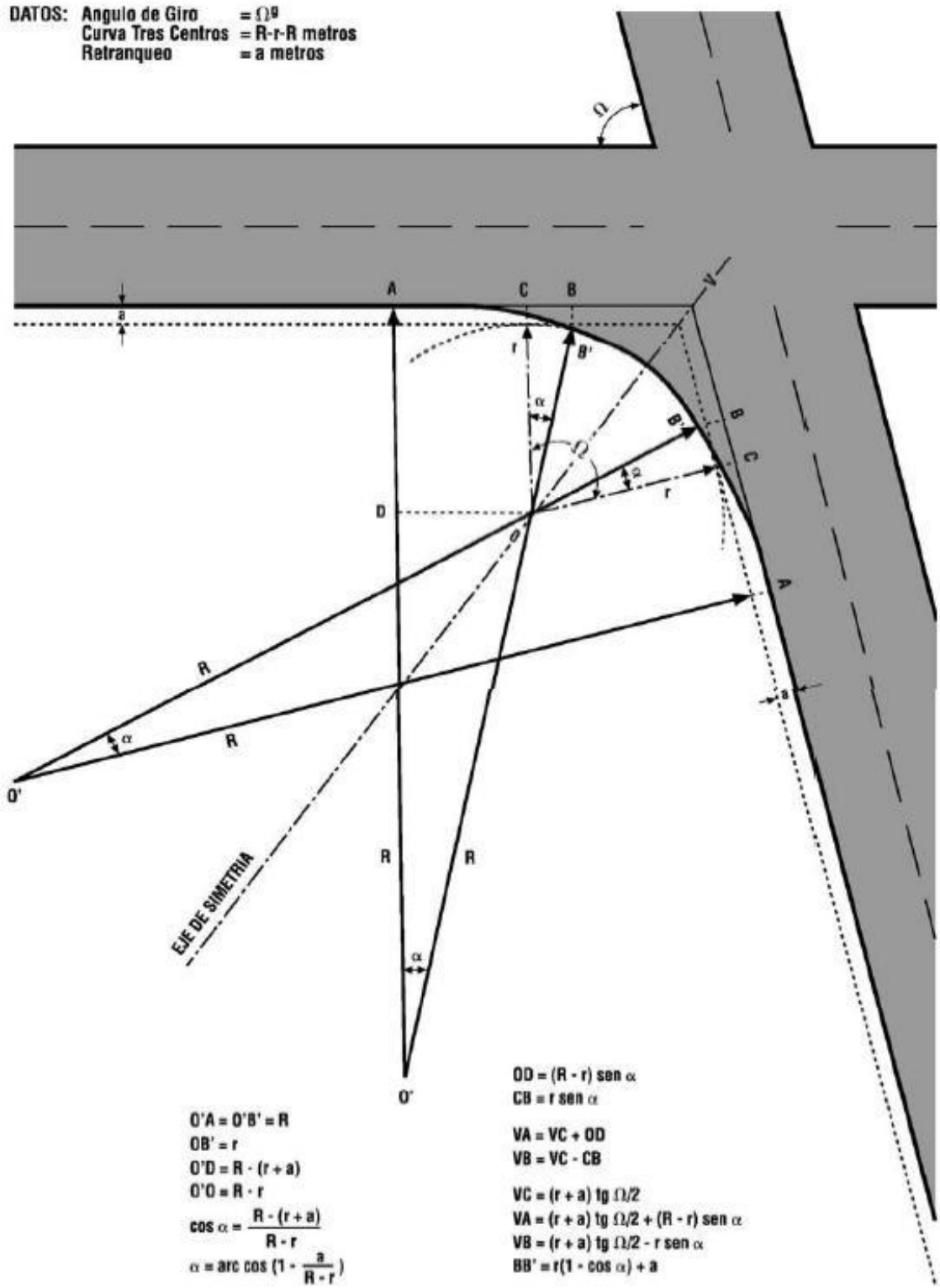
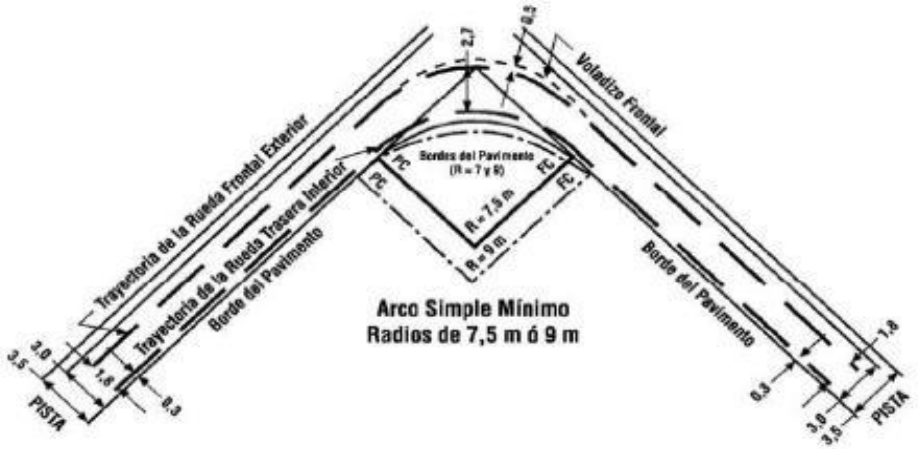


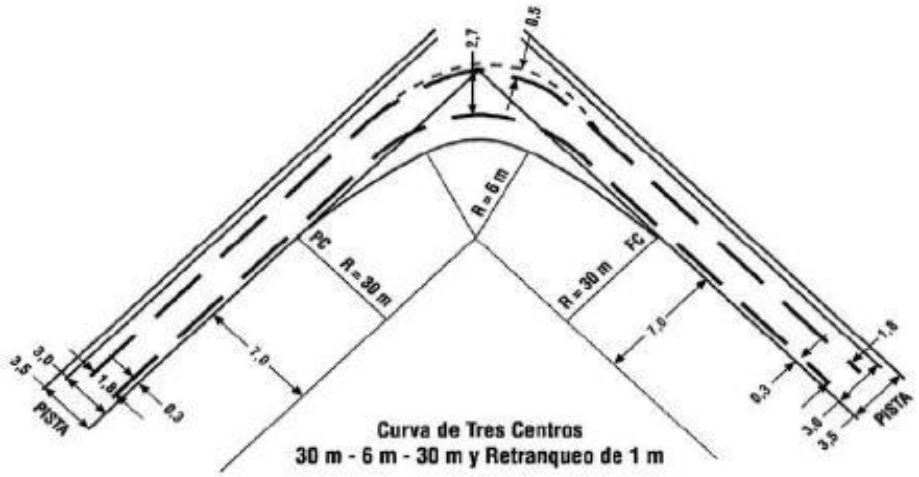
GRÁFICO 53
TRAZADOS MÍNIMOS PARA VEHÍCULOS LIVIANOS (L).



Arco Simple Mínimo
Radios de 7,5 m ó 9 m



Arco Simple Mínimo con Cuña
Radio de 6 m y Retranqueo de 1 m



Curva de Tres Centros
30 m - 6 m - 30 m y Retranqueo de 1 m

GRÁFICO 54
TRAZADOS MÍNIMOS PARA CAMIÓN SIMPLE (C) APLICABLE A OMNIBUS.

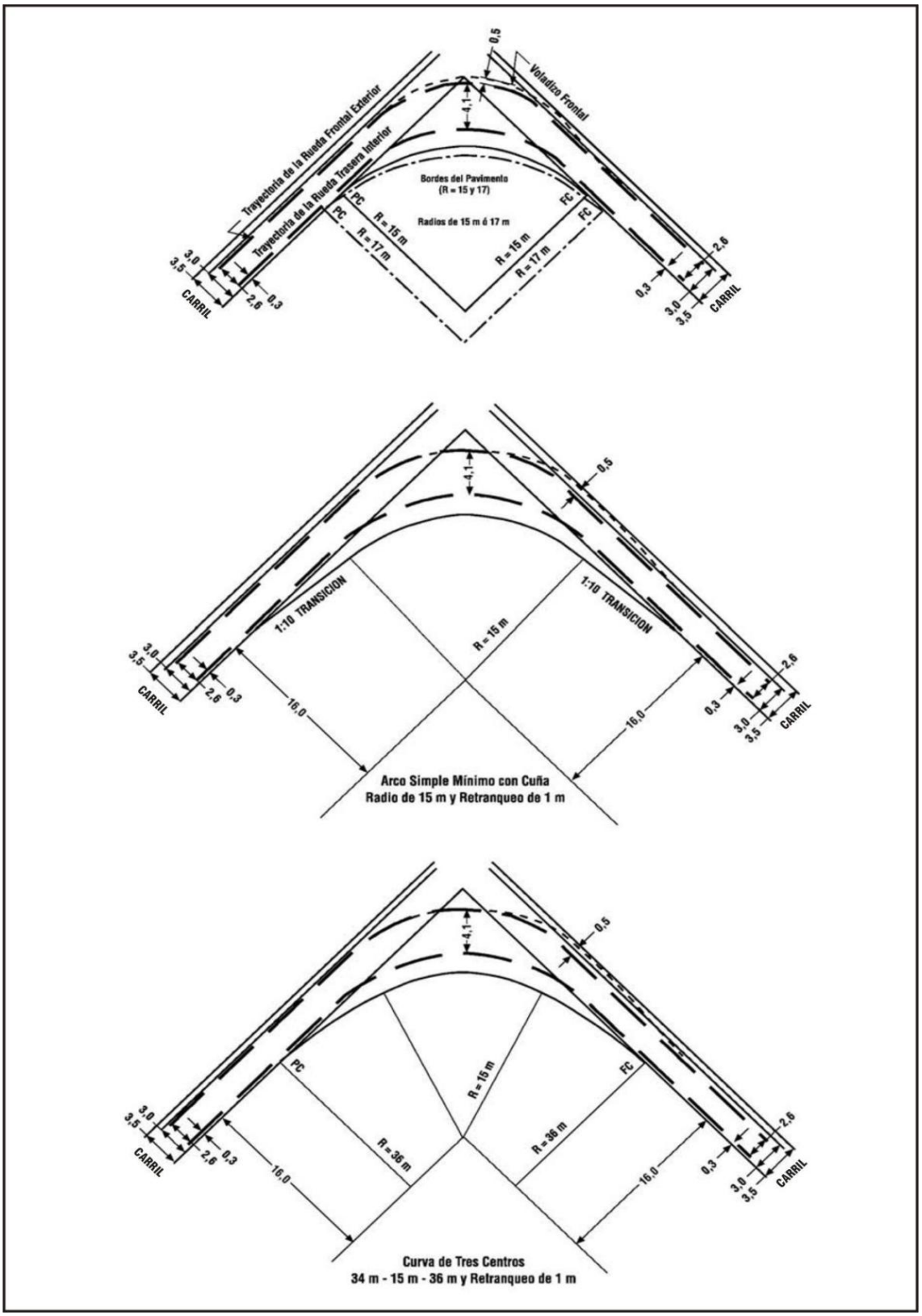


GRÁFICO 55
TRAZADOS MÍNIMOS PARA TRACTO CAMIÓN CON SEMIREMOLQUE CORRIENTE (VA)

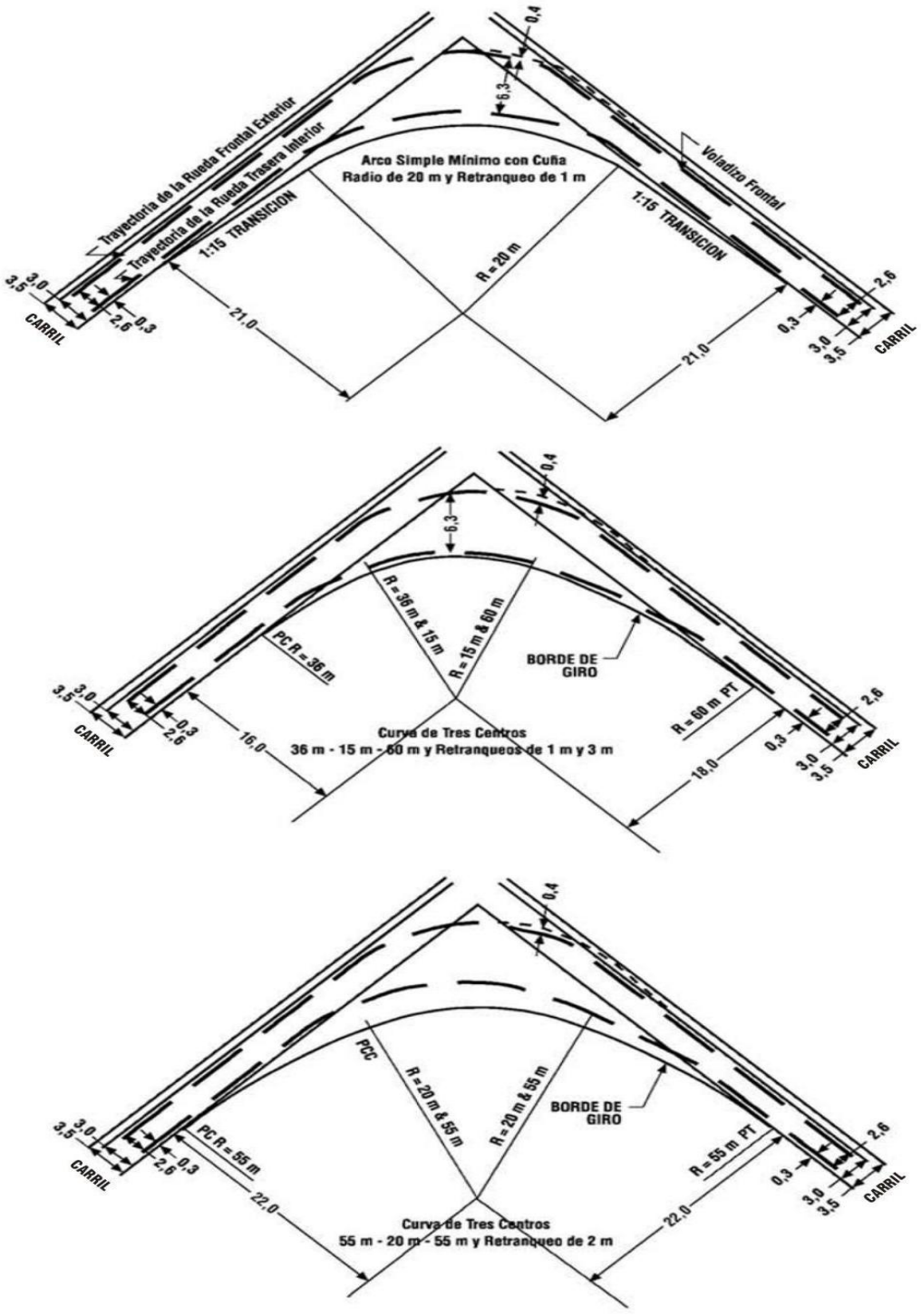


GRÁFICO 56
TRAZADOS PARA RAMALES DE GIRO CON ISLAS MÍNIMASÁFICO

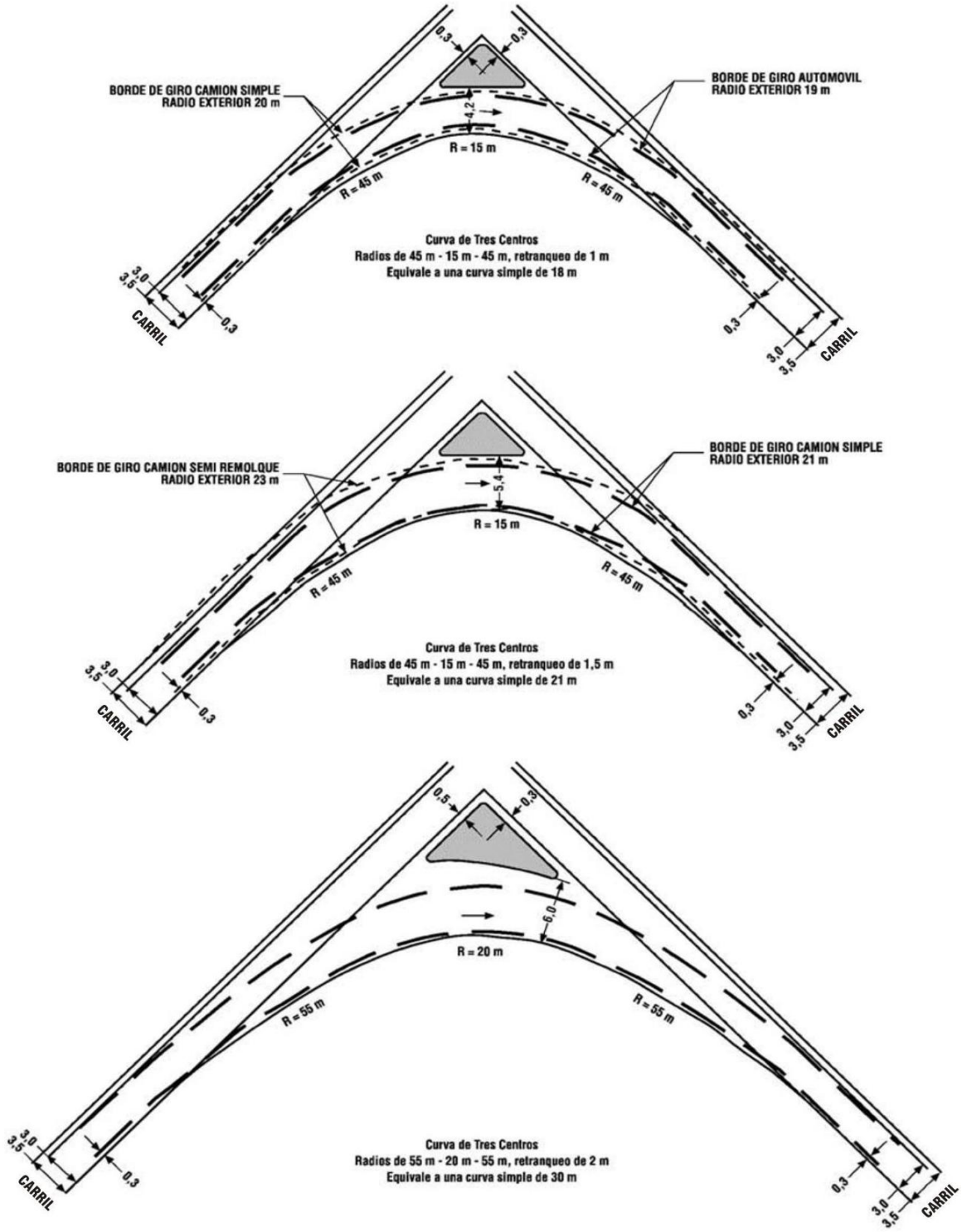


GRAFICO 57
VÍAS DE CAMBIO DE VELOCIDAD

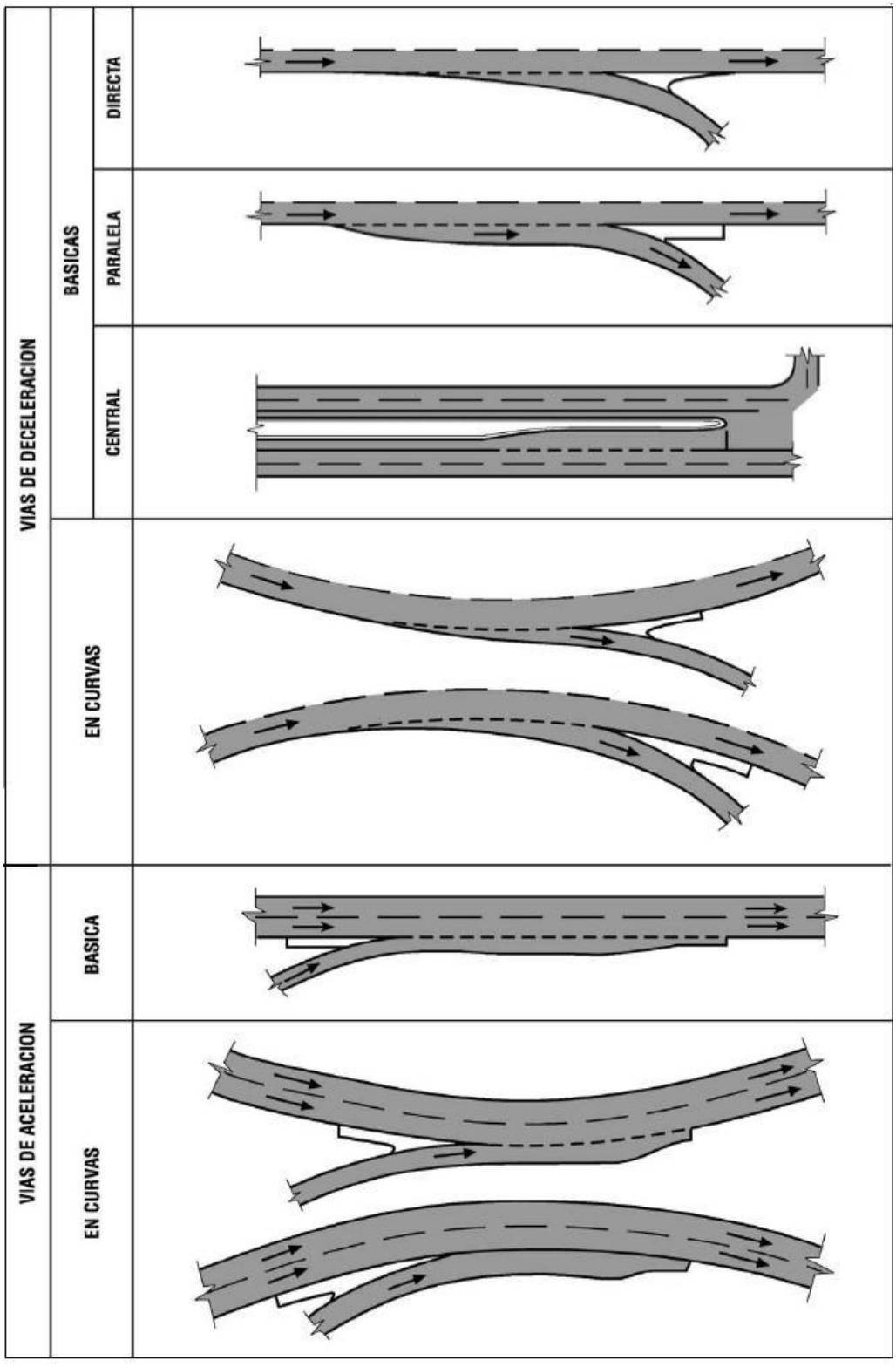
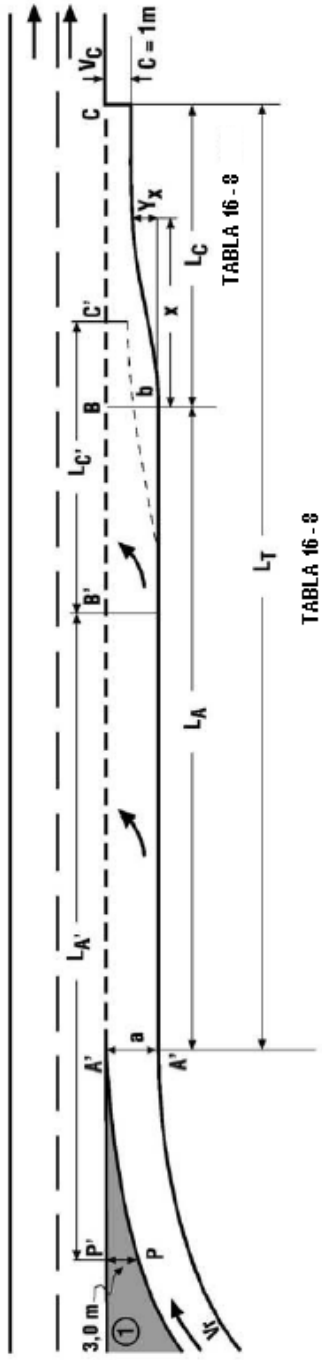


GRÁFICO 58
PISTAS DE ACELERACIÓN



NOTAS:

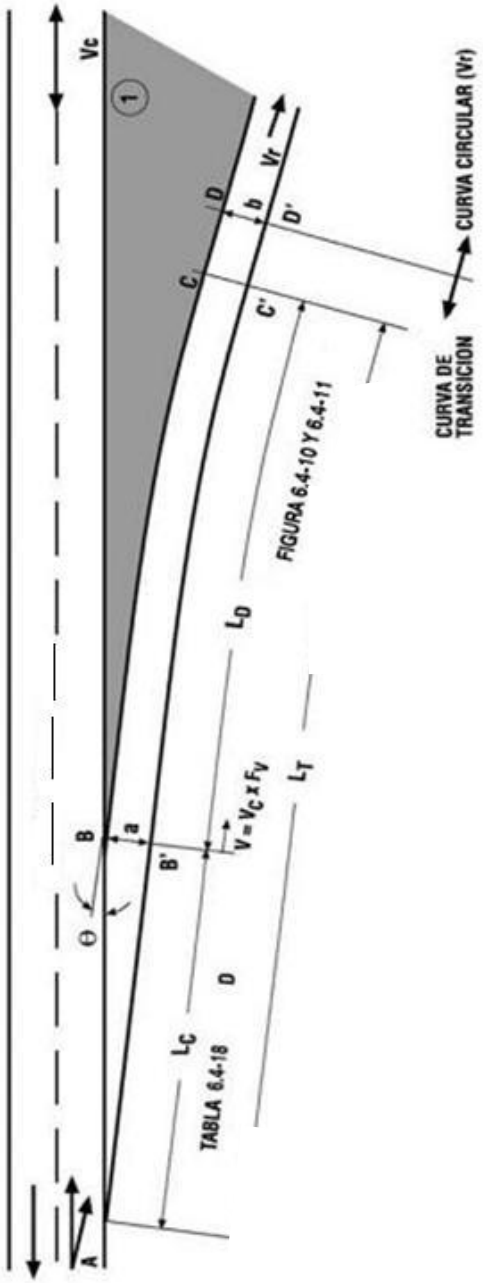
(1) Esta zona se define según párrafos 301.04.4 (d) y 302.04.4 (e) Si el ramal se define en elevación mediante eje longitudinal independiente, véase también 301.04.5 (c) a. b.

(2) Peraltes y Transiciones en tópico 301.04.6 (a)

(3) $Y_X = F\ (b\text{-}c)$ (F en tabla)

		DISTANCIAS "X" DESDE EL PUNTO B O B' (M)														
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Velocidad de Proyecto (Km/h)	Largo de Cuña (Lc) (m)	VALORES "F" PARA EL CALCULO DE Y_X														
60 - 80	50	0,0127	0,0629	0,1656	0,3190	0,5000	0,6810	0,8344	0,9371	0,9873	1,0000					
90 - 120	75	0,0053	0,0245	0,0629	0,1252	0,2129	0,3190	0,4382	0,5618	0,6810	0,7881	0,8748	0,9371	0,9755	0,9947	1,0000

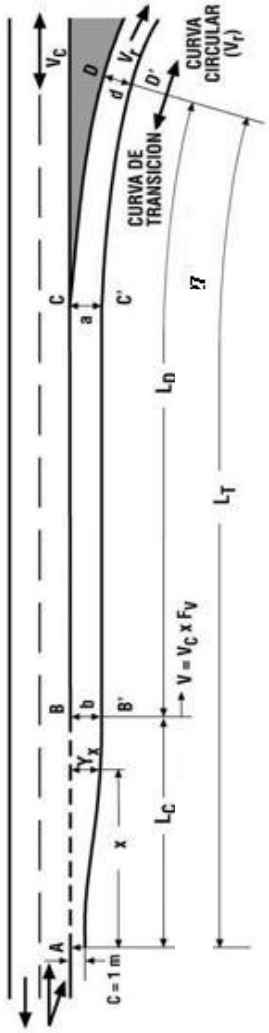
GRÁFICO 59
PISTAS DE DECELERACIÓN CASO I: DIRECTA



NOTA:

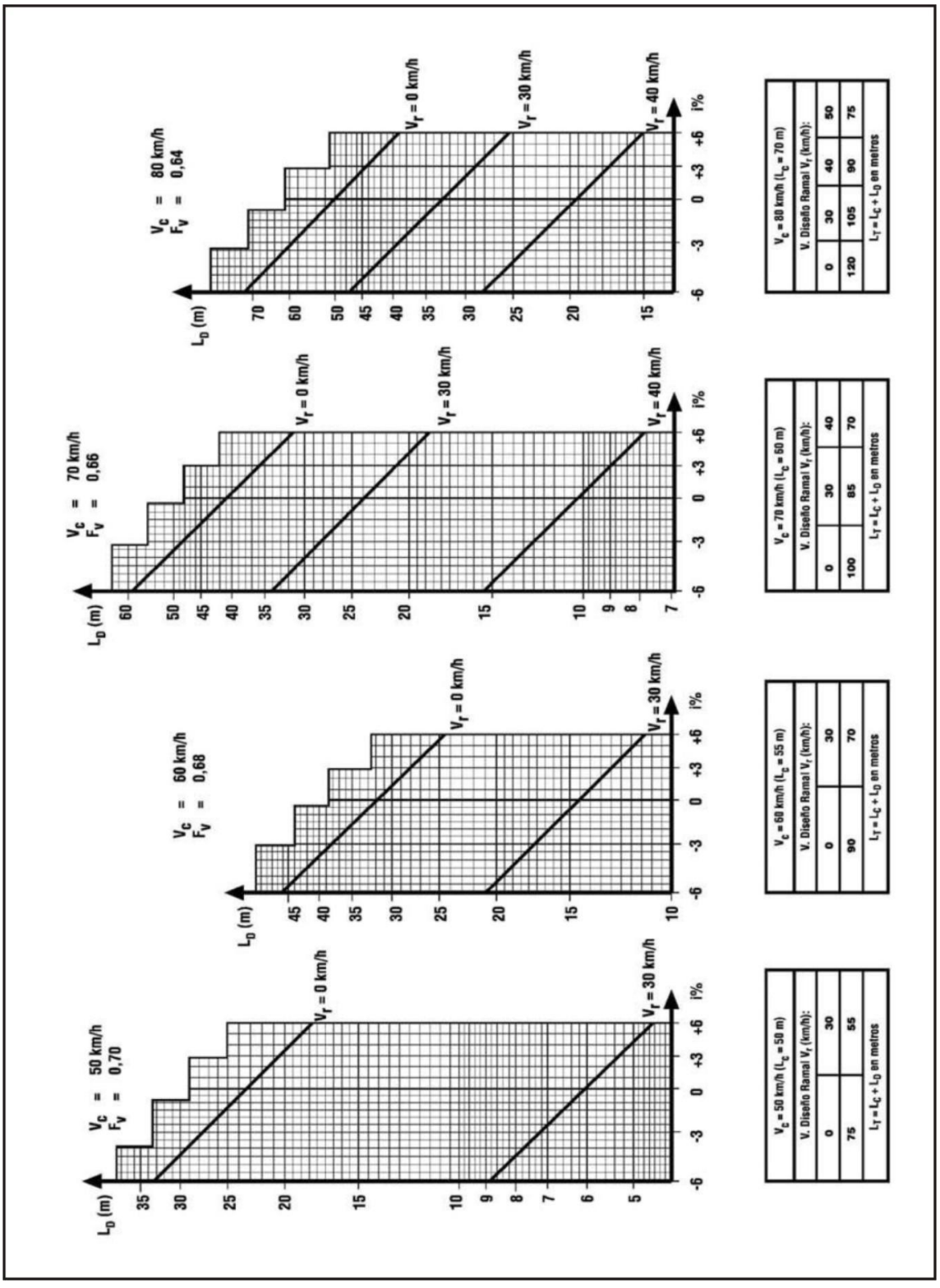
Caso óptimo: $\overline{CD} = 0$, o sea $\overline{BD}$ (curva de transición) = L_D

GRÁFICO 60
PISTAS DE DECELERACIÓN CASO II: EN PARALELO



Velocidad de Proyecto (km/h)	Largo de Cuña (Lc) (m)	DISTANCIAS "X" DESDE EL PUNTO A (m)																				
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
		VALORES "FF" PARA EL CALCULO DE Y_X																				
60	55	0,0104	0,0503	0,1320	0,2586	0,4160	0,5840	0,7414	0,8680	0,0497	0,9896	1,0000										
70	60	0,0086	0,0411	0,1073	0,2119	0,3481	0,5000	0,6519	0,7881	0,8927	0,9589	0,9914	1,0000									
80	70	0,0061	0,0287	0,0742	0,1474	0,2481	0,3691	0,5000	0,6309	0,7519	0,8526	0,9258	0,9713	0,9939	1,0000							
90	80	0,0046	0,0211	0,0540	0,1073	0,1822	0,2771	0,3851	0,5000	0,6149	0,7229	0,8178	0,8927	0,9460	0,9789	0,9954	1,0000					
100	85	0,0040	0,0183	0,0469	0,0928	0,1580	0,2414	0,3395	0,4455	0,5545	0,6605	0,7584	0,8420	0,9072	0,9531	0,9817	0,9960	1,0000				
110	90	0,0036	0,0160	0,0411	0,0809	0,1389	0,2119	0,3000	0,3976	0,5000	0,6024	0,7000	0,7881	0,8611	0,9191	0,9589	0,9840	0,9964	1,0000			
120	100	0,0029	0,0127	0,0321	0,0629	0,1073	0,1656	0,2370	0,3190	0,4077	0,5000	0,5923	0,6810	0,7630	0,8344	0,8927	0,9371	0,9679	0,9873	0,9971	1,0000	

GRÁFICO 61
LONGITUDES DE PISTA DE DECELERACION



Vc = 80 km/h (LC = 70 m)	
V. Diseño Ramal Vr (km/h):	
0	30
120	105
LT = LC + LD en metros	

Vc = 70 km/h (LC = 60 m)		
V. Diseño Ramal Vr (km/h):		
0	30	40
100	85	70
LT = LC + LD en metros		

Vc = 60 km/h (LC = 55 m)		
V. Diseño Ramal Vr (km/h):		
0	30	
90	70	
LT = LC + LD en metros		

Vc = 50 km/h (LC = 50 m)		
V. Diseño Ramal Vr (km/h):		
0	30	
75	55	
LT = LC + LD en metros		

GRÁFICO 62
LONGITUDES DE PISTA DE DECELERACION

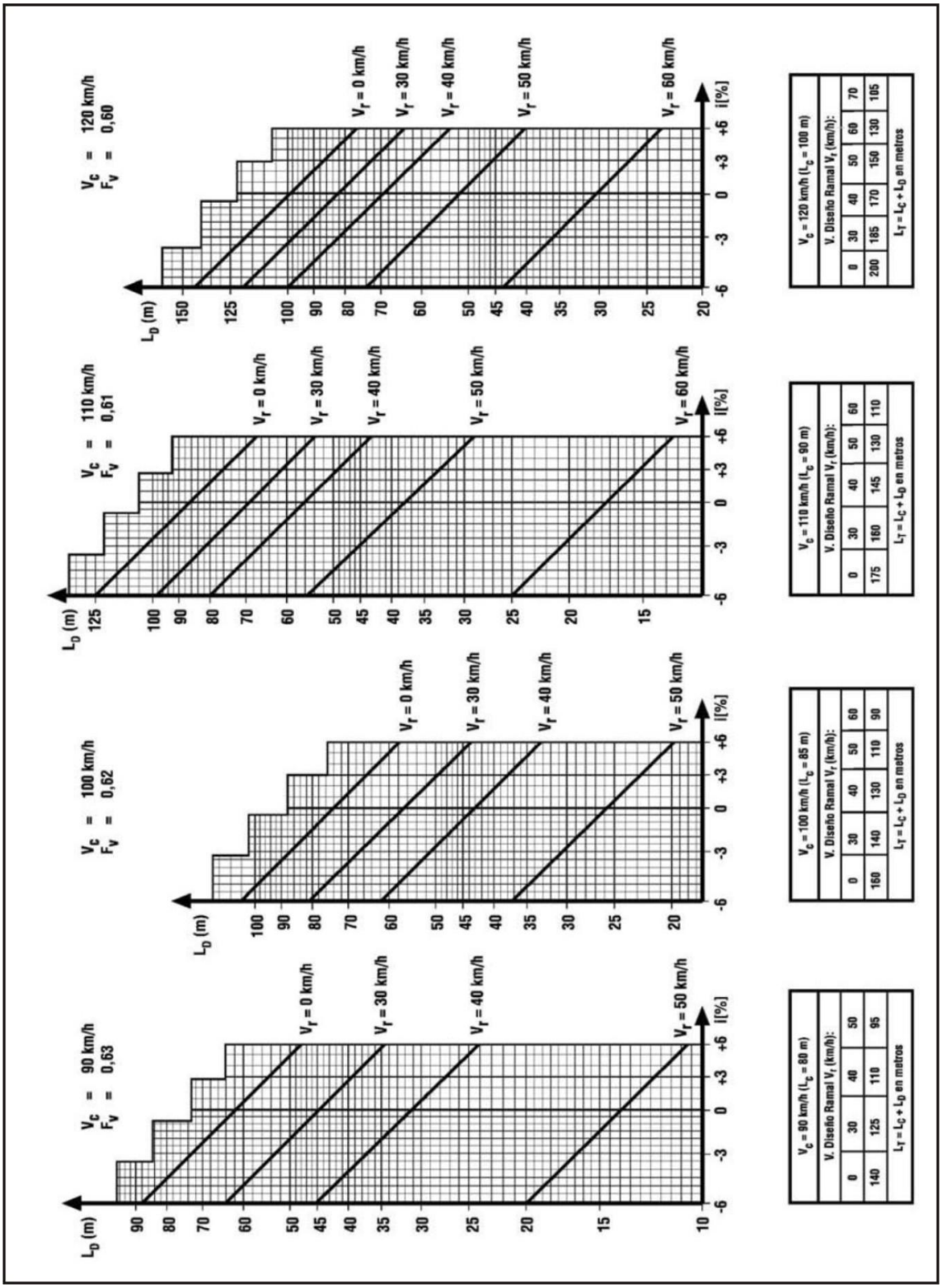


GRÁFICO 63
PISTA DE DECELERACIÓN CENTRAL

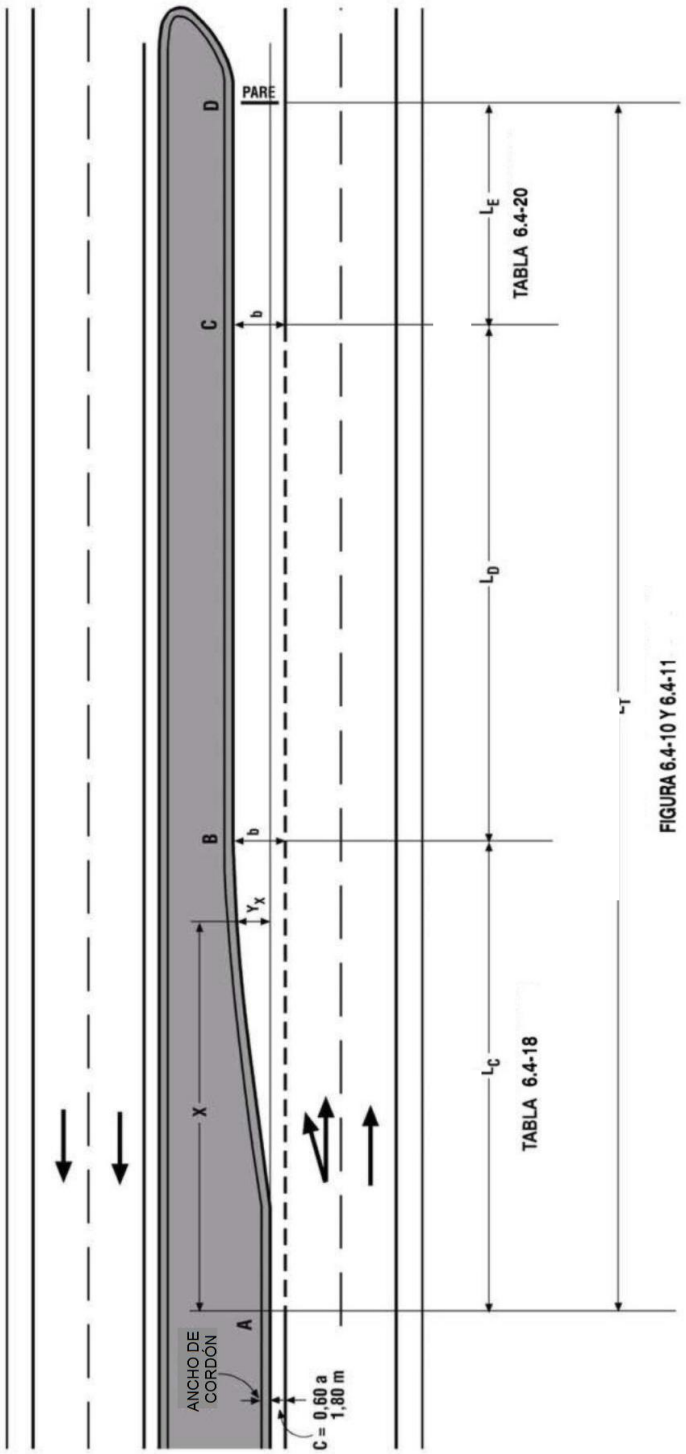


GRÁFICO 64
TRAZADO MÍNIMO CON CANALIZACIÓN PARA GIROS A LA IZQUIERDA CON ENSANCHE DEL CAMINO Y PINTURA.

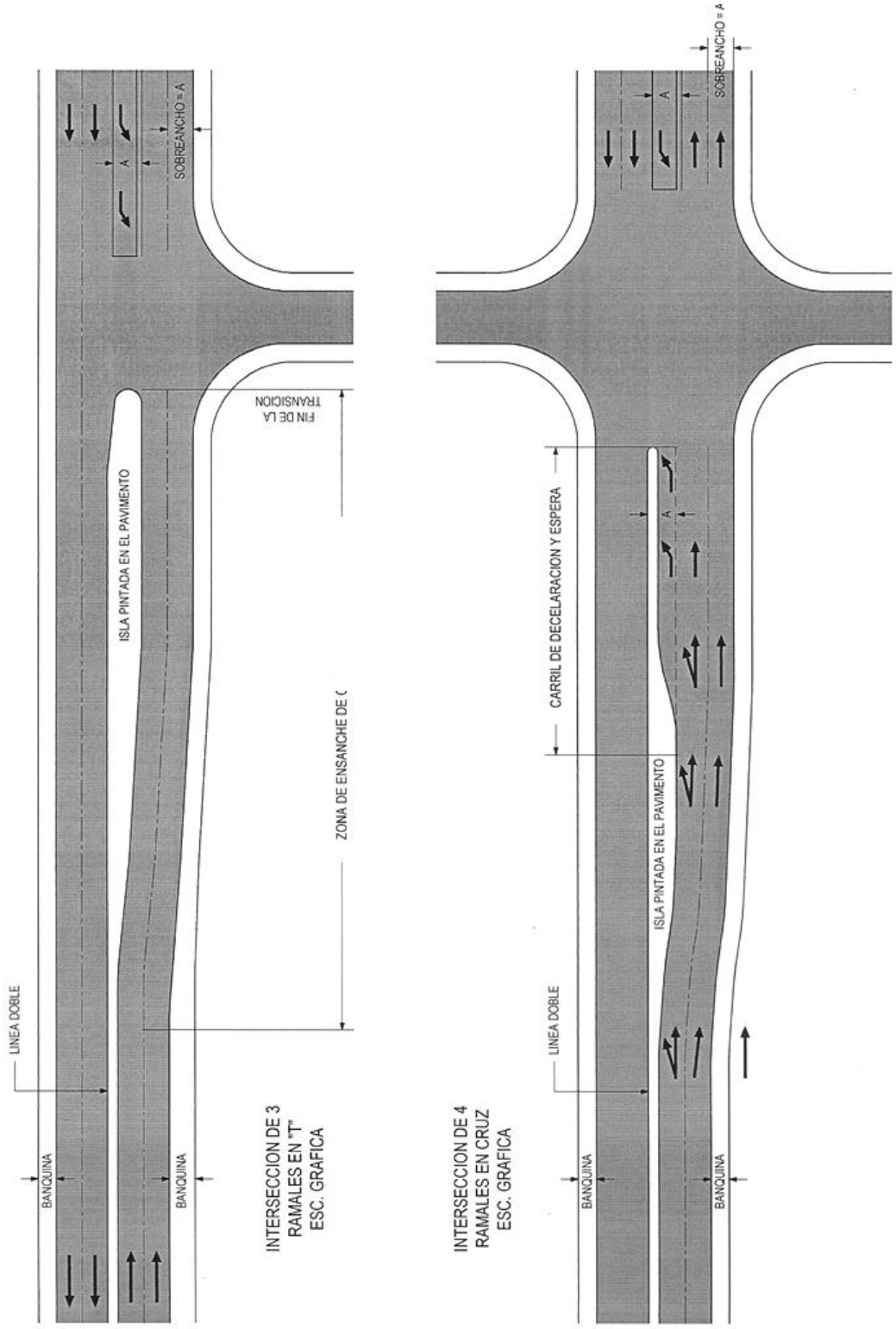
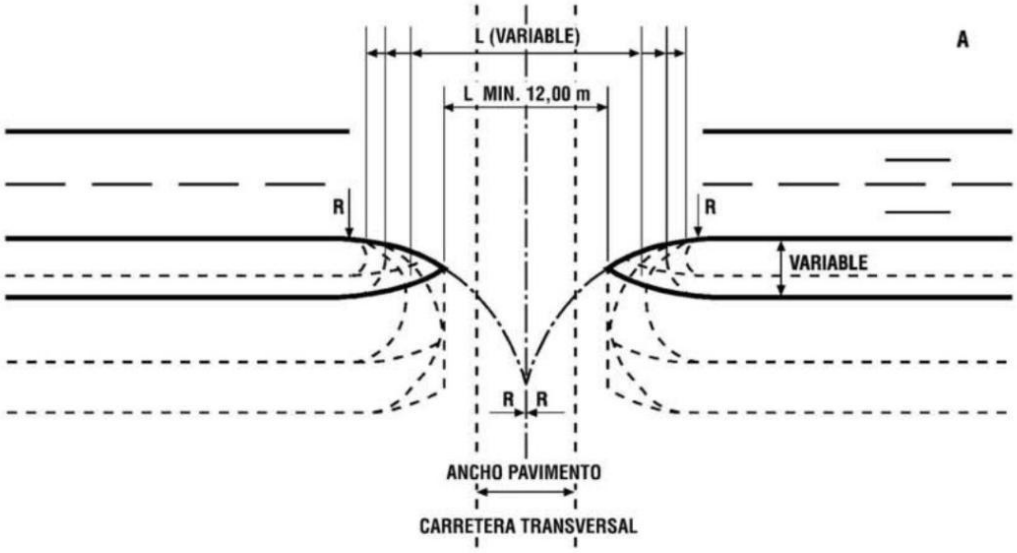


GRÁFICO 65
ABERTURAS DE CANTEROS CENTRALES, TRAZADOS PARA RADIOS DE GIRO MÍNIMOS CON Y SIN ESVIAJE EN EL CRUCE.



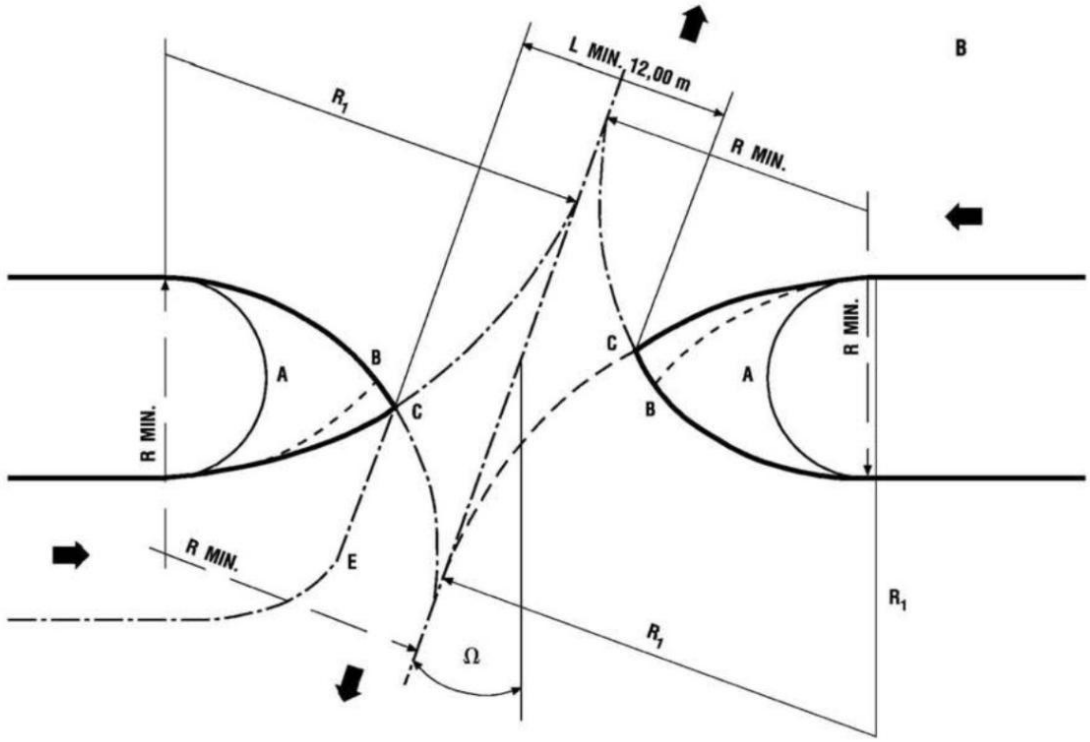
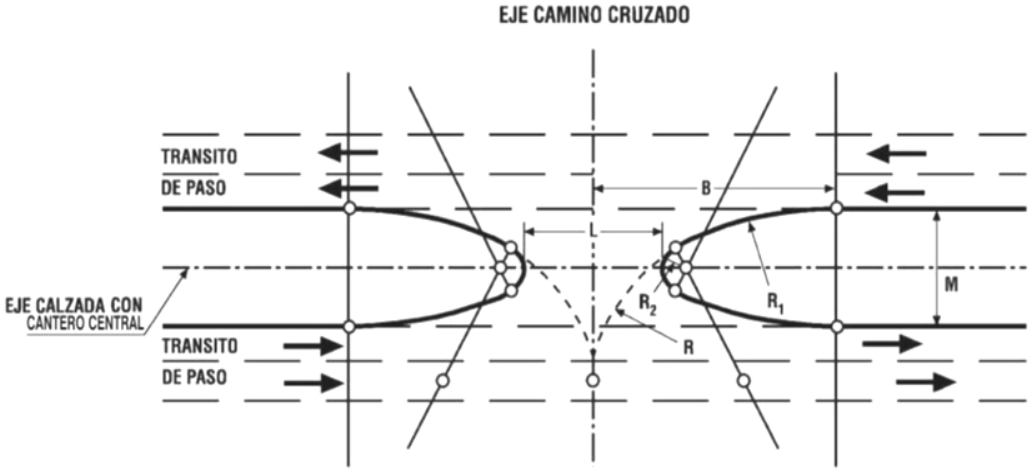


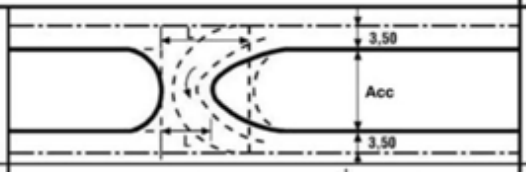
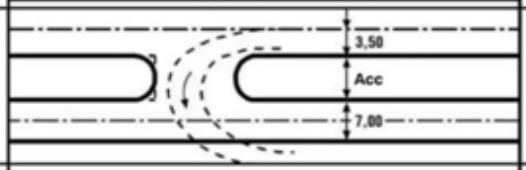
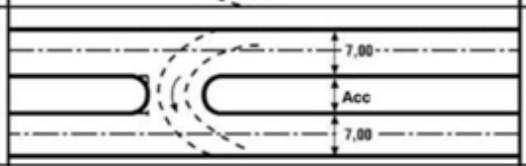
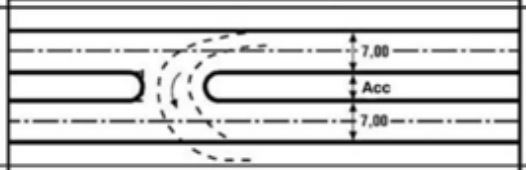
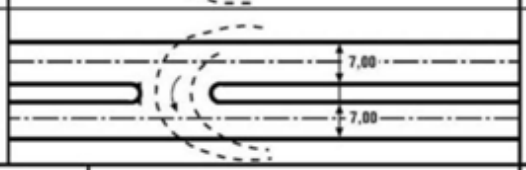
GRÁFICO 66
ABERTURAS DE CANTERO CENTRAL DE DISEÑO SOBRE LOS MÍNIMOS PARA REMATES EN PUNTA DE PROYECTIL.



R = 15 metros
R_2 = Acc/5 metros

Acc Ancho CANTERO CENTRAL metros	DIMENSIONES (m)					
	$R_1 = 30$		$R_1 = 45$		$R_1 = 70$	
	L	B	L	B	L	B
6	18	20	20	24	21,5	27,5
9	15	21	17	26	19,5	31
12	12,5	22	15	27,5	17,5	33
15	-	-	13,5	29	15,5	35
18	-	-	-	-	14	37
21	-	-	-	-	12,5	39

GRÁFICO 67
APERTURAS DE CANTERO CENTRAL, TRAZADOS MÍNIMOS PARA GIROS EN "U".

TIPO DE MANIOBRA		ANCHO MÍNIMO DEL CANTERO CENTRAL Acc EN m PARA VEHÍCULOS TIPO		
		L	C	VA
CARRIL INTERIOR A CARRIL INTERIOR		12	21	20,50
CARRIL INTERIOR A CARRIL EXTERIOR		8,50	17,50	17
CARRIL INTERIOR A BERMA		5,50	14,50	14
CARRIL EXTERIOR A CARRIL EXTERIOR		5	14	13,50
CANAL EXTERIOR A BANQUINA		2	11	10,50
BANQUINA A BANQUINA		0	8	7,50
LONGITUD MINIMA DE APERTURA, m	L - REMATE CON TRANSICION (1)	6	6	9
	L^1 - REMATE SEMICIRCULAR (2)	7	6	9

NOTAS:

1. Usar las siguientes combinaciones de radios:
   Para Acc = 9 m ó menos 15 - 0,4 m - 15
   Para Acc = 12 a 15 m 22,5 - 0,4 m - 22,5
   Para Acc = 19 a 24 m 30 - 0,4 m - 30
2. La longitud L' es mayor cuando Acc > 15 m remate con transiciones preferible

GRÁFICO 68
TRAZADOS PARA GIROS EN "U" CON CANTERO CENTRAL ESTRECHO.

Figura A

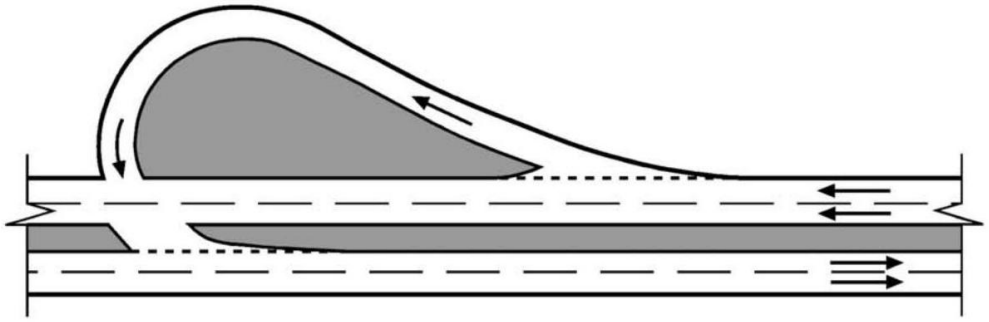


Figura B

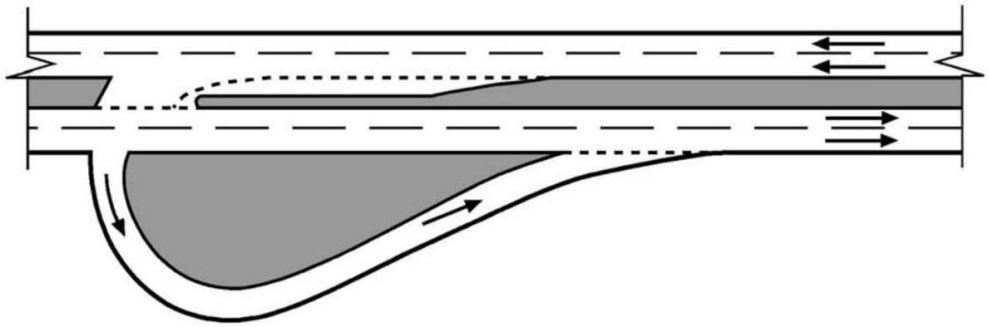


GRÁFICO 69
TIPOS Y FORMAS GENERALES DE ISLAS

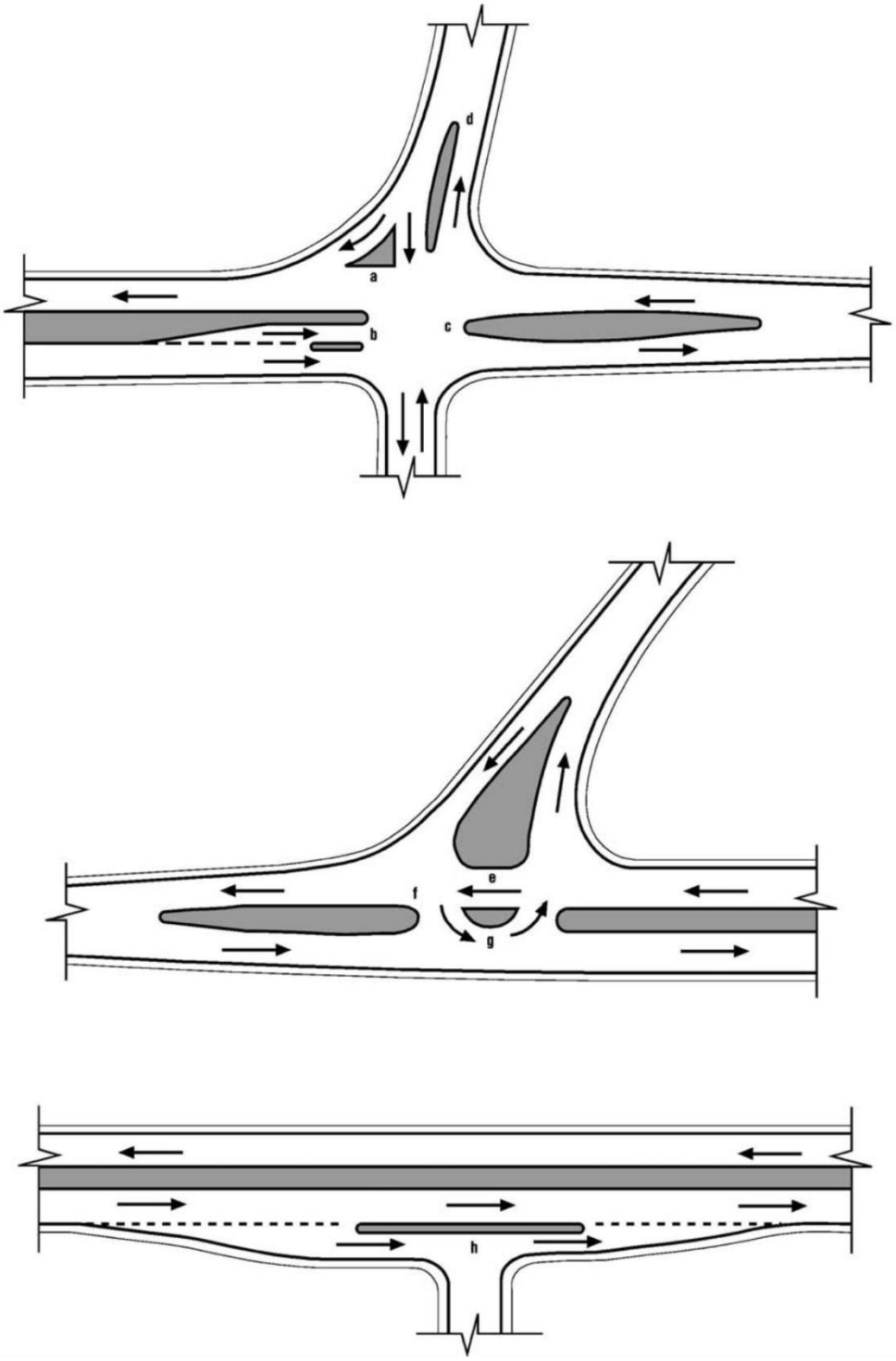


GRÁFICO 70
TRANSICIONES PARABÓLICAS MÁS CORRIENTES PARA EL RETRANQUEO DE VÉRTICES DE ISLAS.

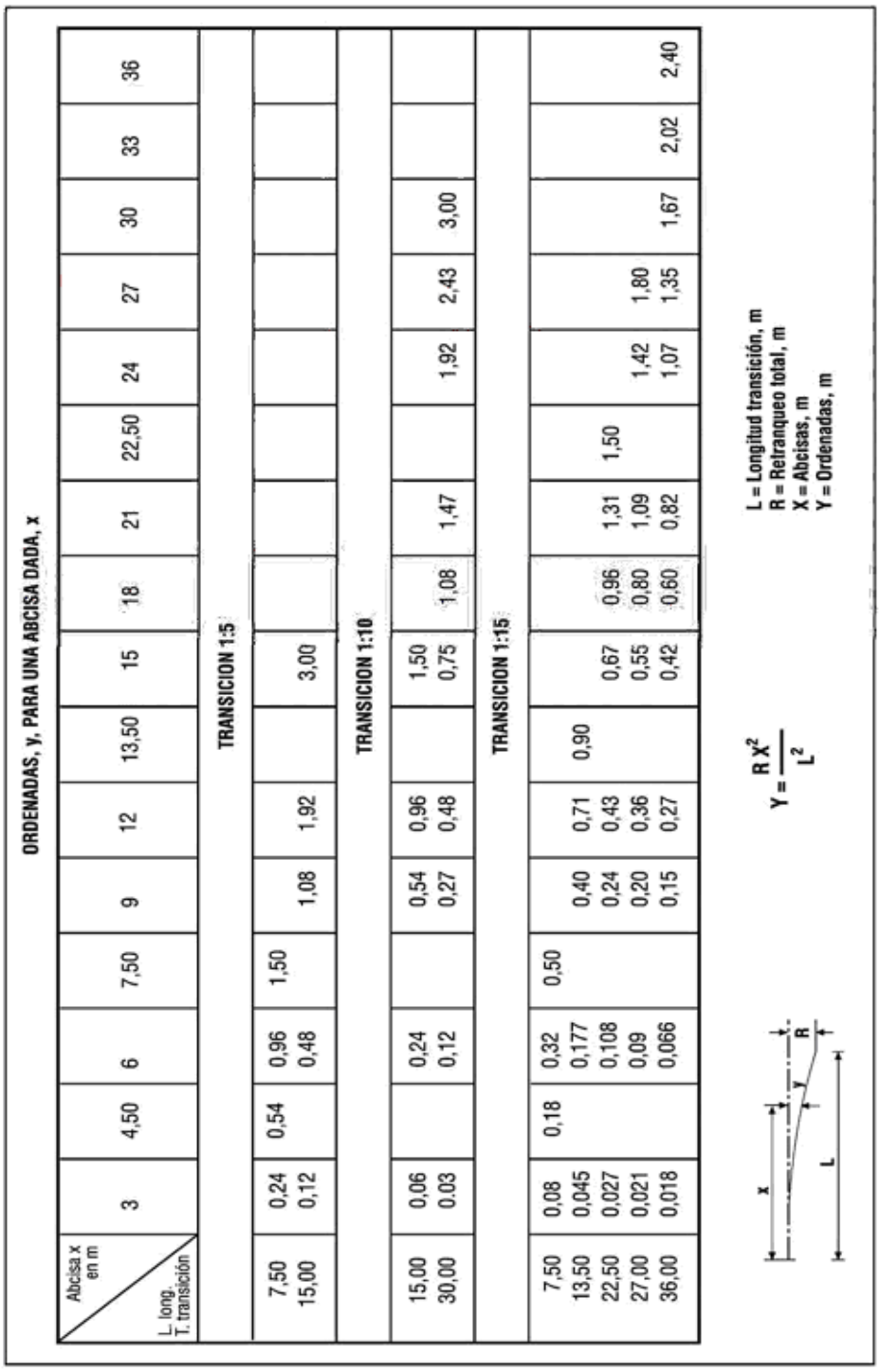
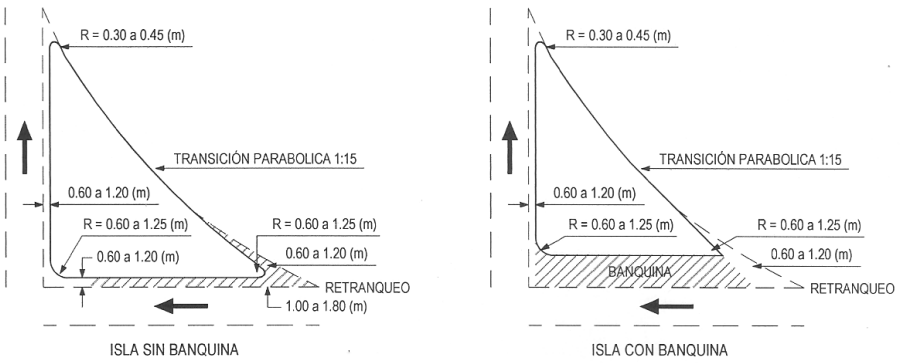
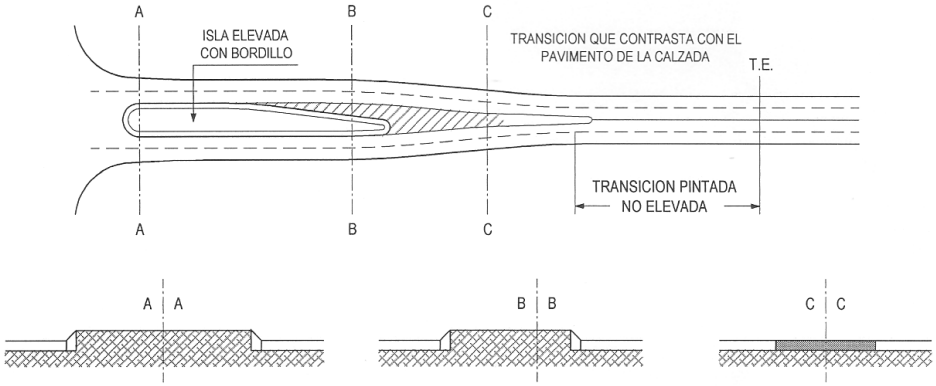


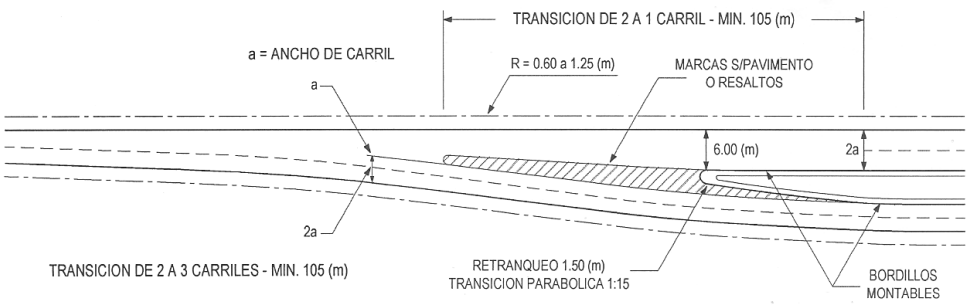
GRÁFICO 71
DETALLES DEL TRAZADO PARA ISLAS



DETALLE DEL TRAZADO DE ISLAS TRIANGULARES



TRANSICION PARA LA APROXIMACION DE UNA ISLA DE SEPARACION DE SENTIDOS
EN UNA CARRETERA DE CIRCULACION RAPIDA



DETALLE DE TRANSICION DE DOS CARRILES A CUATRO CON CALZADAS SEPARADAS

GRÁFICO 72
DISEÑOS PARA TERMINALES DE SALIDA

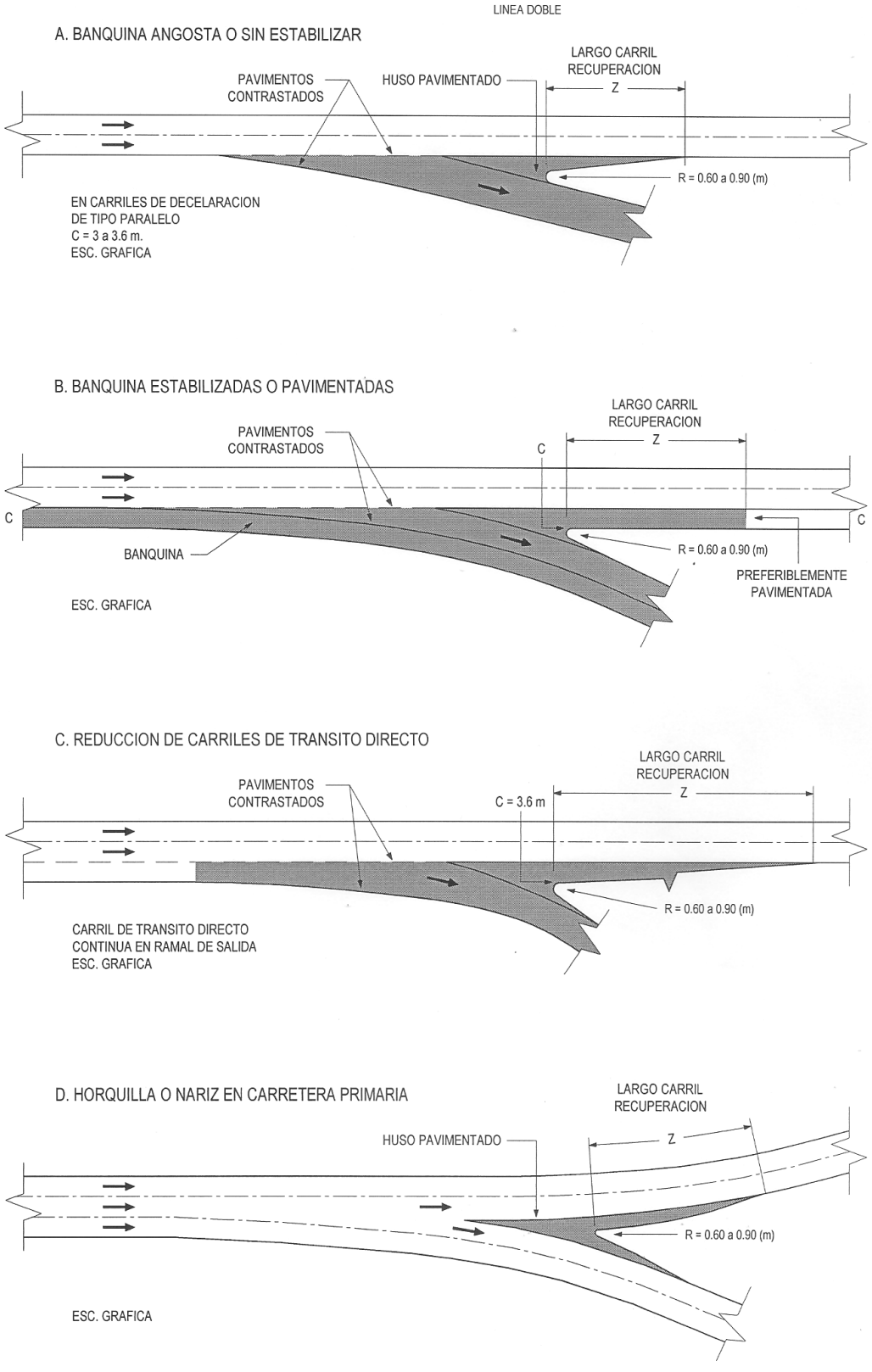
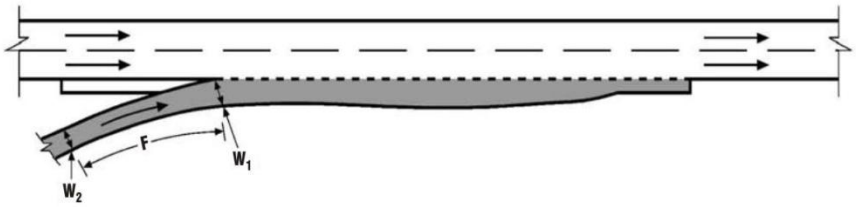
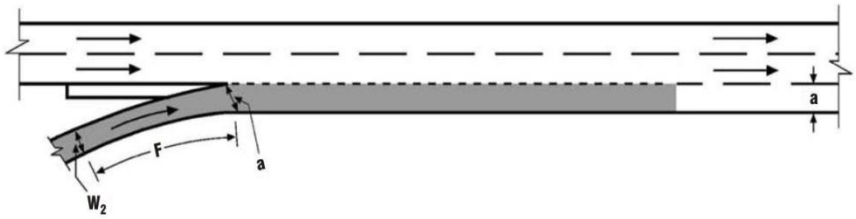


GRÁFICO 73
DISEÑOS PARA TERMINALES DE SALIDA

A. TERMINAL DE ENTRADA CON CARRIL DE ACELERACIÓN



B. AUMENTO DEL NÚMERO DE CARRILES EN LA VÍA PRINCIPAL



C. CARRETERAS PRIMARIAS

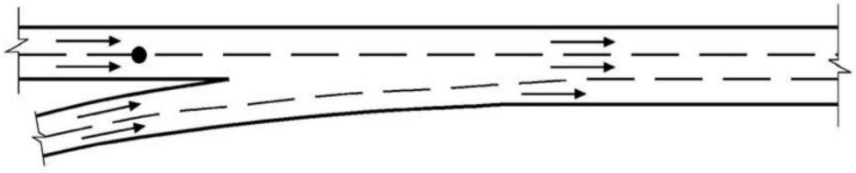
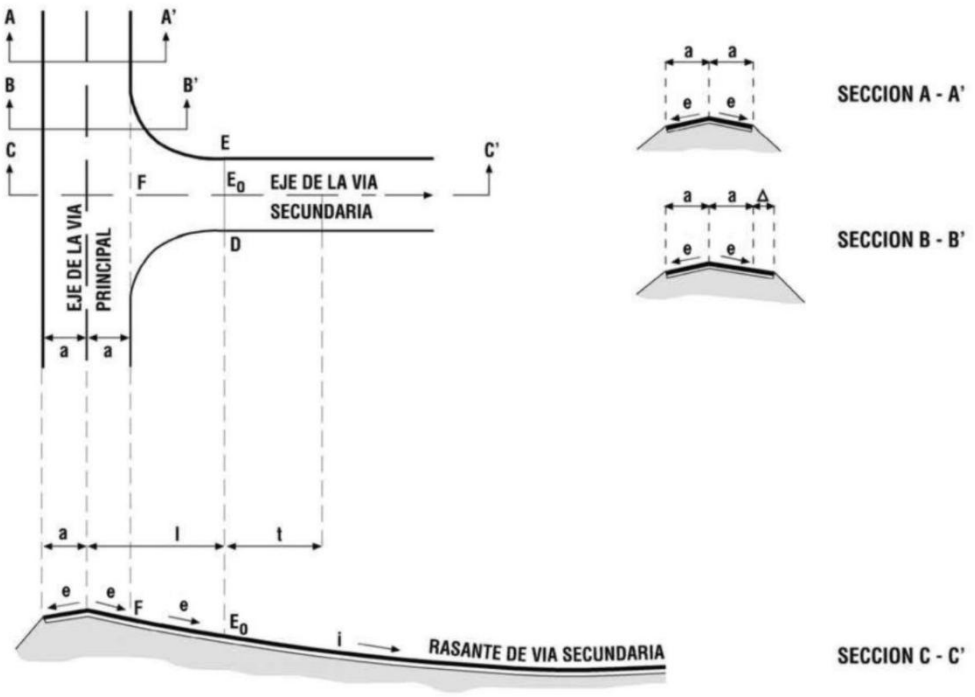


GRÁFICO 74
ELEVACIÓN EN INTERSECCIONES, EJEMPLO: CASO DE PLATAFORMA ÚNICA.

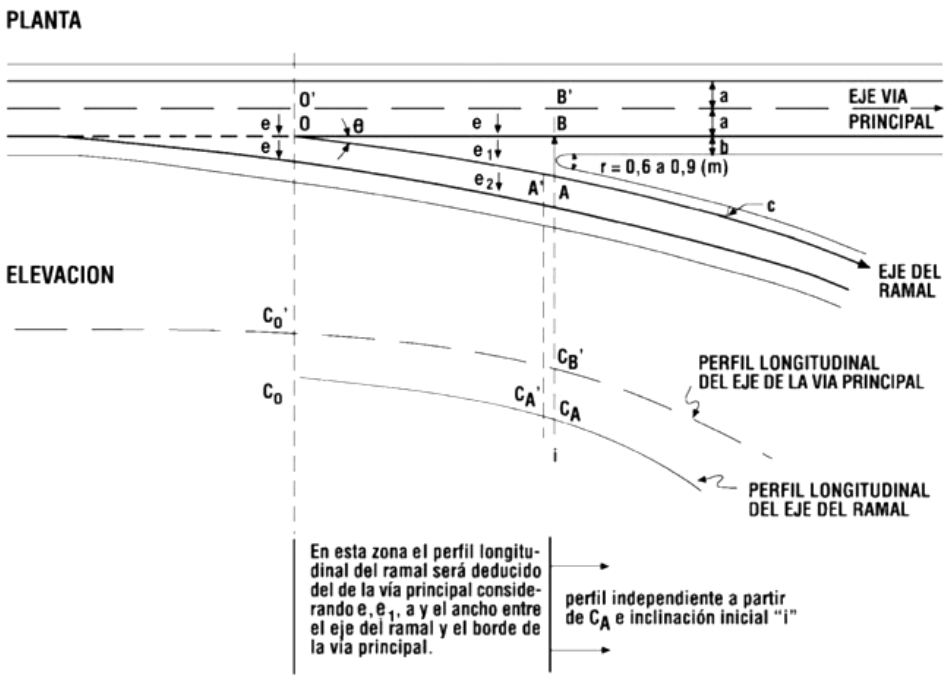


E_0 = Punto a partir del cual el perfil longitudinal de la vía secundaria se independiza.
i = Inclinación longitudinal de la vía secundaria. Variable de preferencia a partir a E_0 con un valor inicial igual a **e**.
t = Zona de transición de peraltes de la vía secundaria; en DE el peralte debe coincidir con la pendiente de la plataforma.
F = Punto donde se cortan el eje de la vía secundaria y la prolongación de los bordes de la vía principal.

NOTAS:

1) El perfil longitudinal de la vía secundaria puede iniciarse en un punto cualquiera entre E_o y F. si esto es necesario o conveniente. Con esto, el plano en el que se inscribirá la intersección seguirá siendo una prolongación del carril correspondiente, pero con una pendiente variable en el sentido del eje de la vía secundaria si existe algún acuerdo vertical en esa parte de dicho eje.
2) La pendiente inicial del perfil longitudinal de la vía secundaria deberá ser de preferencia la del carril prolongado. Sin embargo, en casos justificados, podrá permitirse una artista con diferencias de inclinación hasta un 4% en el caso de condición de frenado, y de un 0.5% en el caso de un "CEDA EL PASO".

GRÁFICO 75
PERFIL LONGITUDINAL DE RAMAL, EJEMPLO DE SOLUCIÓN



a = ancho carril vía principal (V.P.)
O = origen del eje ramal (en este caso, sobre el borde de la calzada de V.P.)
O' = proyección de O sobre el eje de la vía principal
e = peralte del carril de la V.P. contigua al ramal
e_1 = inclinación transversal de la punta (de preferencia igual a **e**)
e_2 = peralte del ramal (es variable en la zona de transición)
$\overline{AB}$ = ancho de la punta en la nariz: distancia entre bordes de calzada a partir del cual el eje longitudinal del ramal se independiza. En este caso:
$c + b + 0{,}6 < \overline{AB} < c + b + 0.9$
perpendicularidad aproximada)
A' = punto próximo a A dentro de la cuña y sobre el eje del ramal ($AA' \cong 1m$)
C_0' = Cota en O'
C_0 = Cota de origen del ramal ($C_0 = C_0' \pm a \bullet e$)
CB' = Cota del eje de la vía principal en la nariz (en B')
CB = Cota del borde del carril en la nariz ($CB = CB' \pm a \bullet e$)
CA = Cota de partida del perfil longitudinal del ramal en su zona independiente ($CB \pm \overline{AB} \bullet e_1$)
CA' = Cota del puente A' (Se deduce igual que CA)
i = Pendiente inicial del P.L. del ramal en su zona independiente
$(CA - CA') / \overline{AA'}$

GRÁFICO 76
RADIOS Y PERALTES DESEABLES EN INTERSECCIONES CUANDO NO EXISTEN CONDICIONAMIENTOS LIMITANTES.

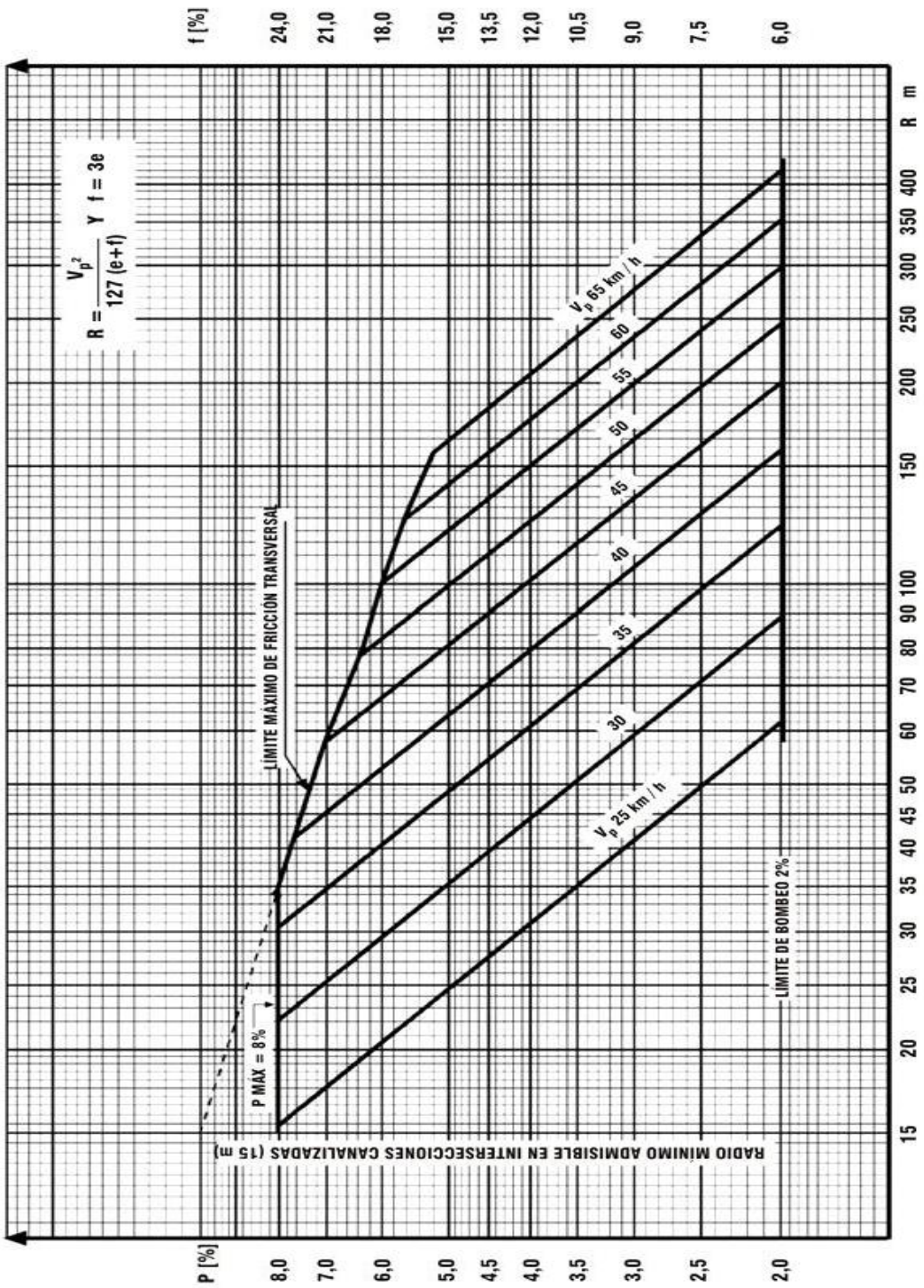


GRÁFICO 77
DESARROLLO RECOMENDABLE DE PERALTE EN EMPALMES DE RAMAL Y CARRETERA.

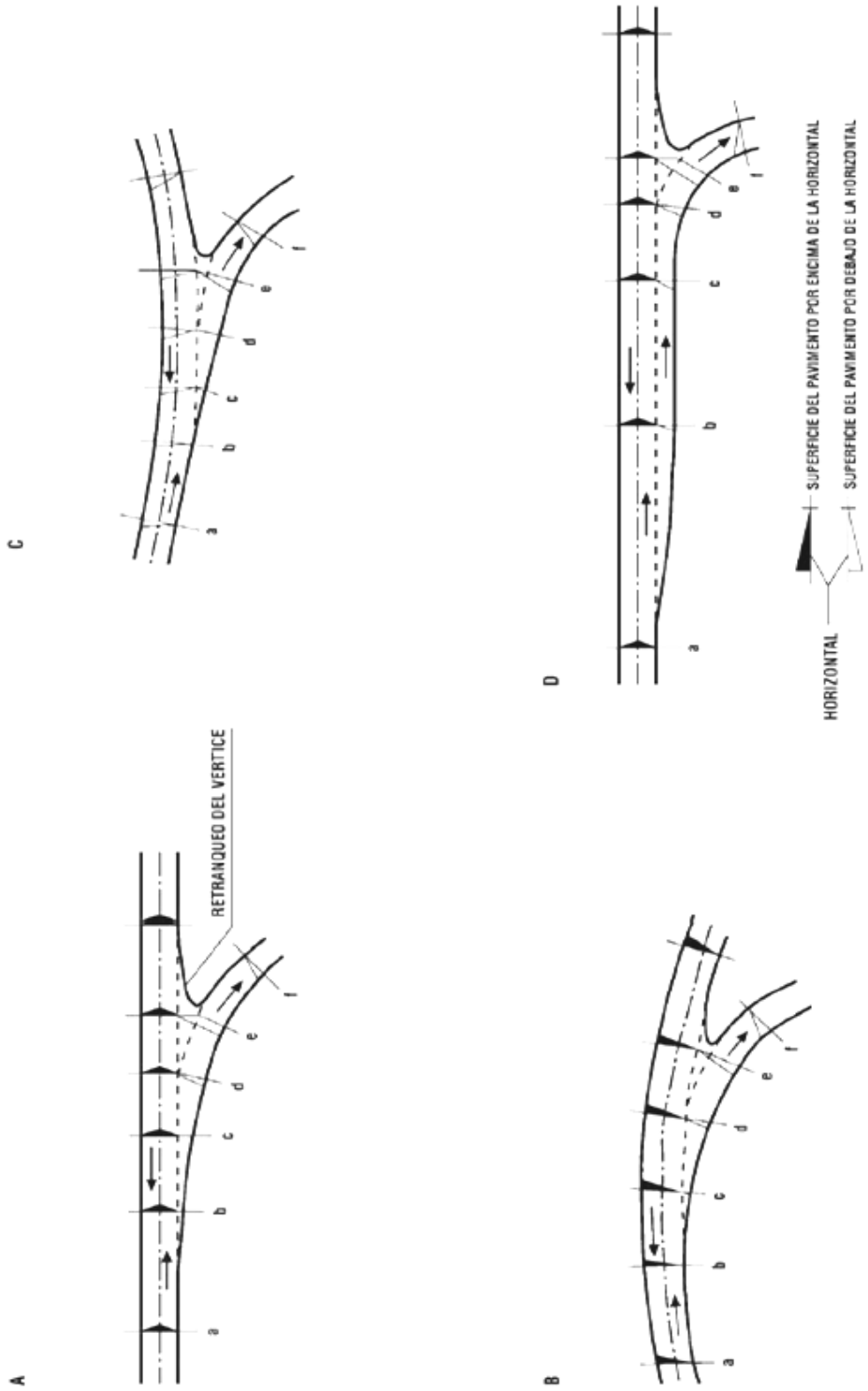


GRÁFICO 78
TIPO DE INTERSECCIÓN APROPIADO SEGÚN INTENSIDAD MEDIA DIARIA EN UN NUDO DE TRES RAMAS.

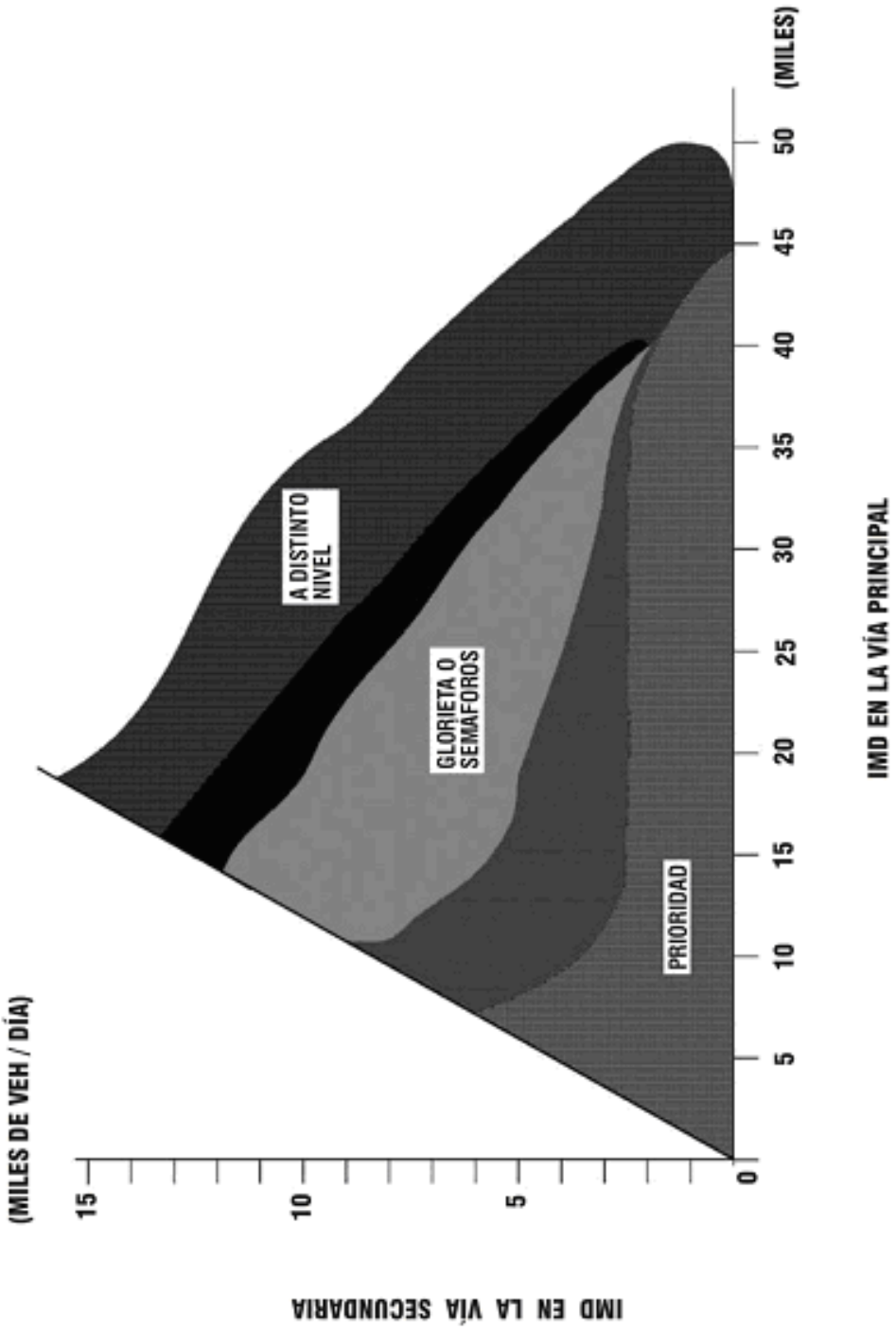


GRÁFICO 79
ROTONDAS TÍPICAS

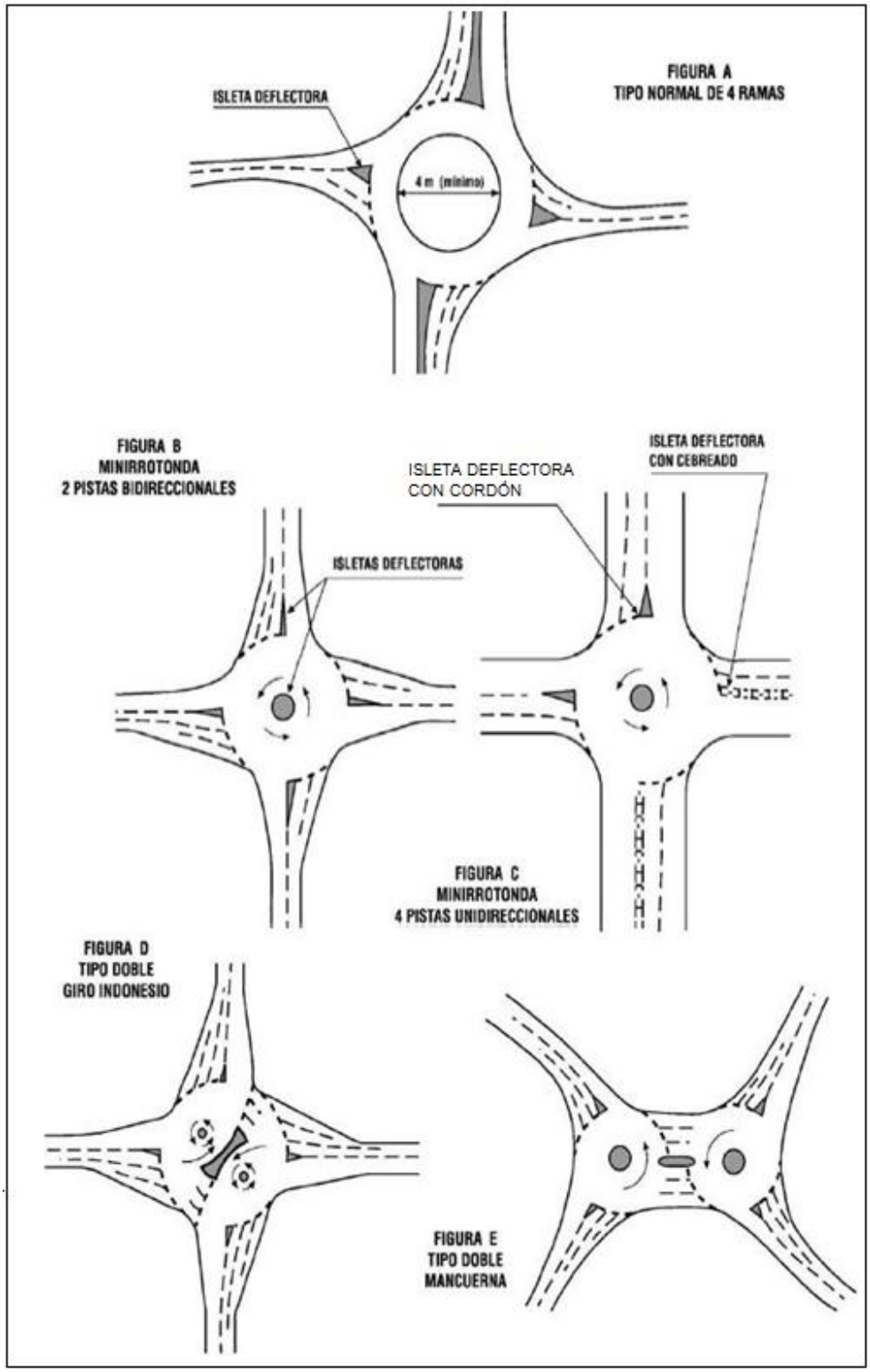


GRÁFICO 80
ROTONDAS ESPECIALES

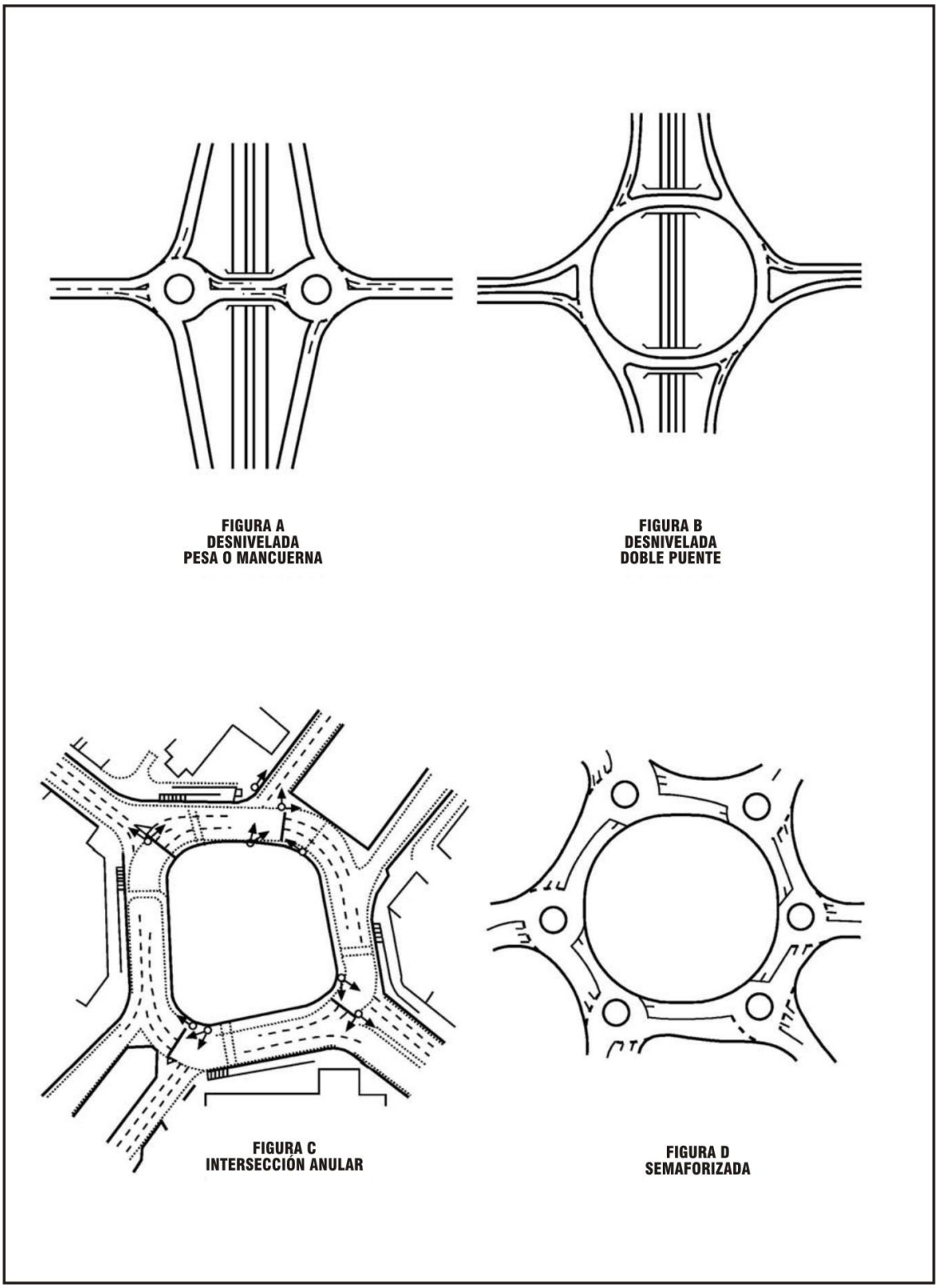


FIGURA A
DESNIVELADA
PESA O MANCUERNA

FIGURA B
DESNIVELADA
DOBLE PUENTE

FIGURA C
INTERSECCIÓN ANULAR

FIGURA D
SEMAFORIZADA

GRÁFICO 81
FACORES RELEVANTES PARA EL DISEÑO DE ROTONDAS

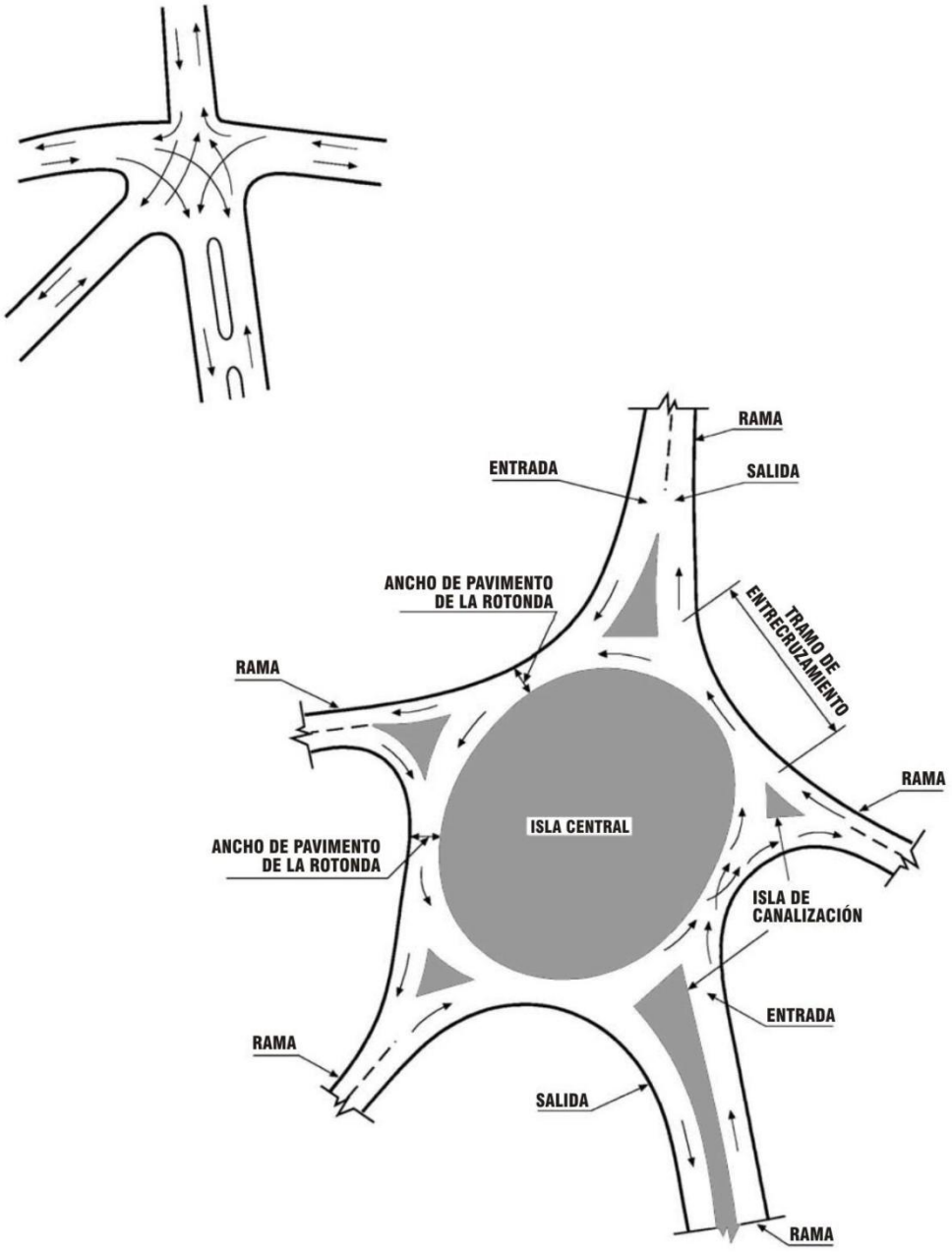


GRÁFICO 82
CAPACIDAD DE ROTONDAS, PARÁMETROS GEOMÉTRICOS PARA EL CÁLCULO

FIGURA I

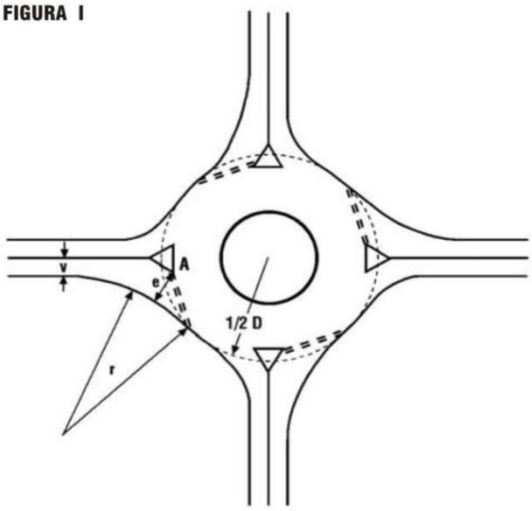


FIGURA II

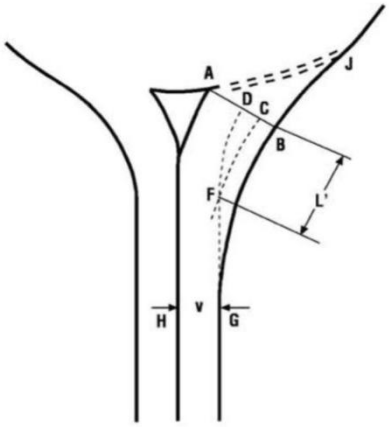


FIGURA III

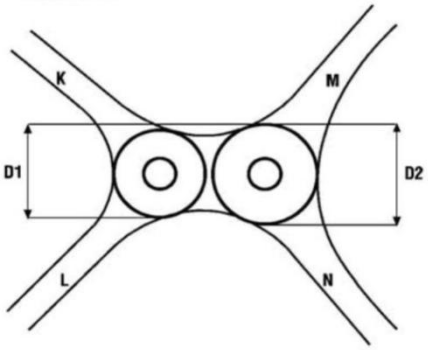


FIGURA IV

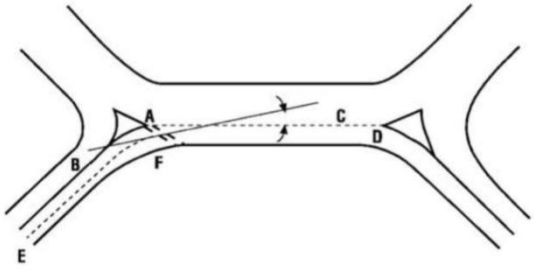


FIGURA V

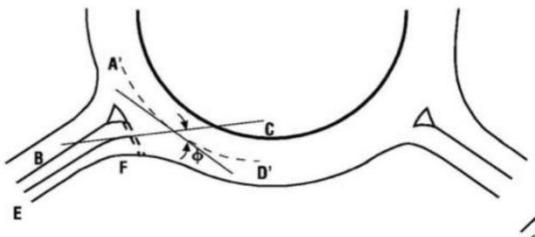


FIGURA VI

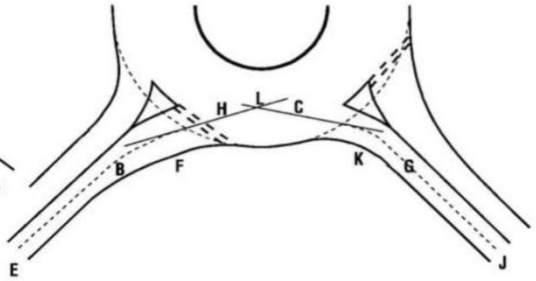


GRÁFICO 83
ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE UN ENLACE

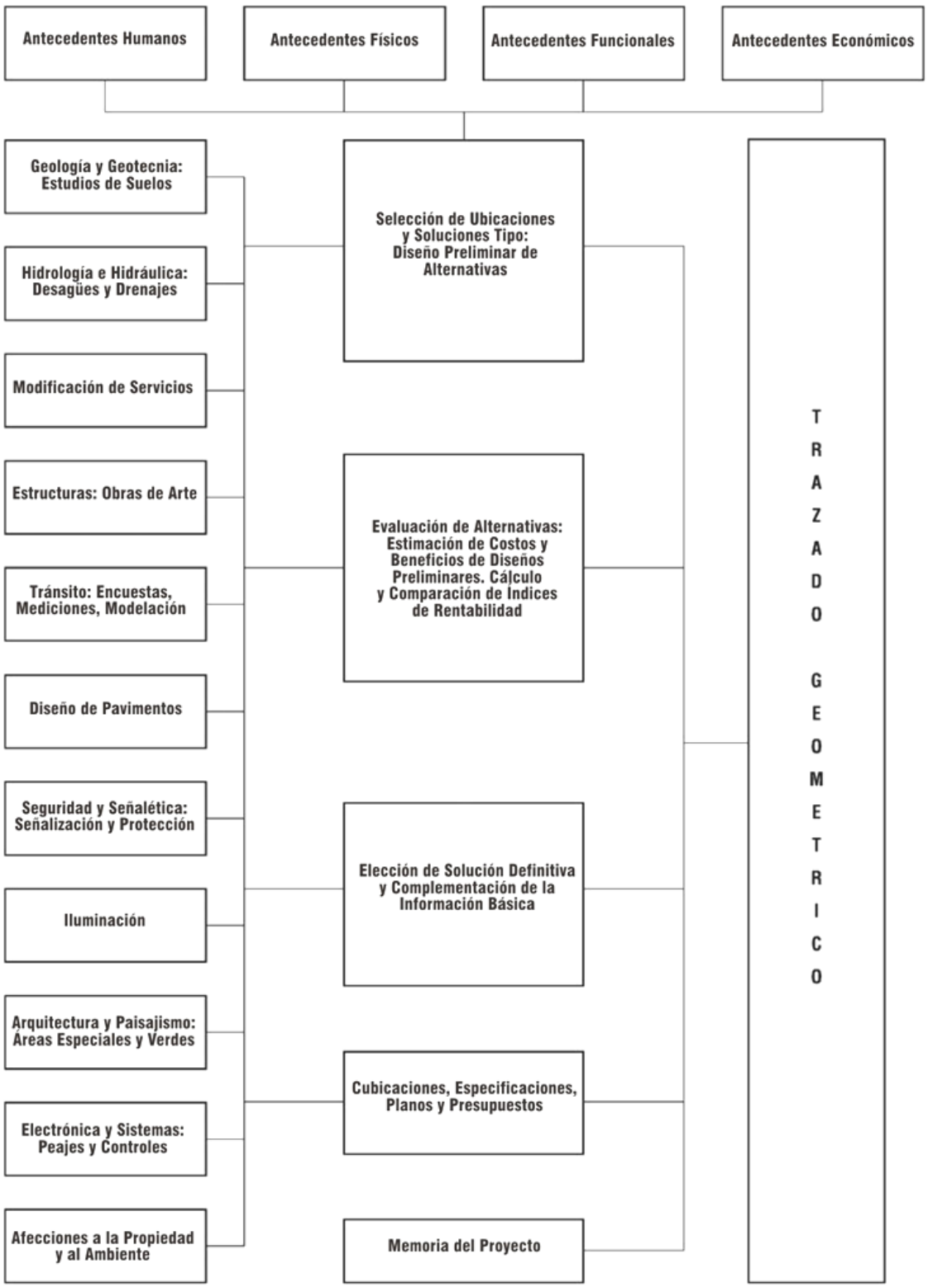
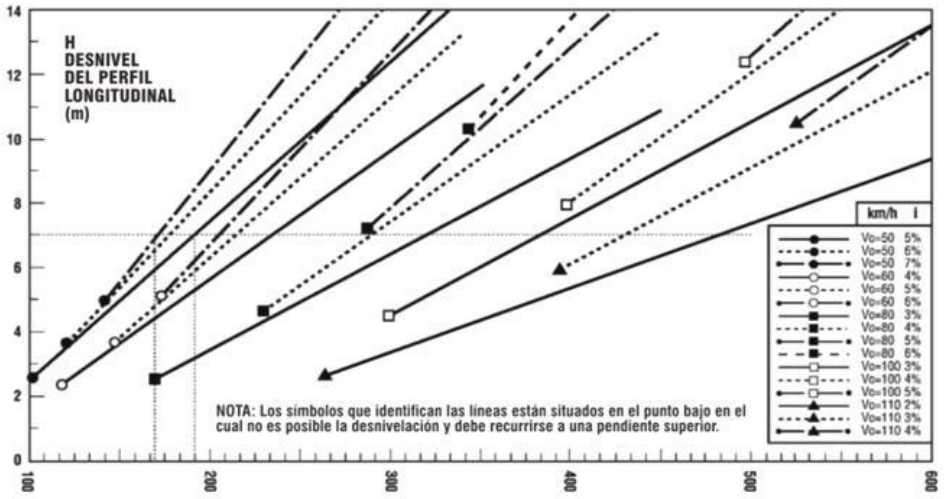


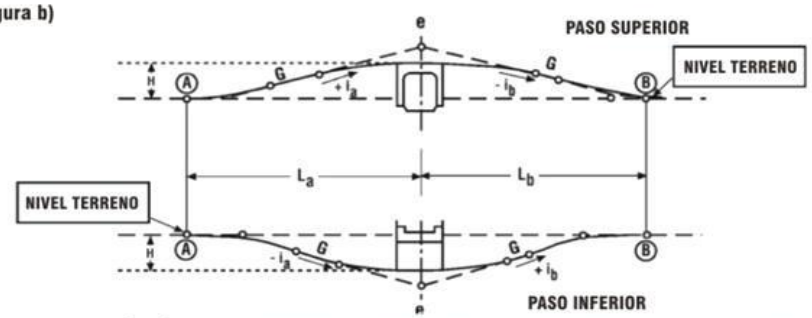
GRÁFICO 84
DISTANCIAS REQUERIDAS PARA DESNIVELACIONES EN TERRENO HORIZONTAL

Figura a)



L=La ó Lb = DISTANCIA HORIZONTAL MÍNIMA PARA LOGRAR LA DESNIVELACIÓN H (m)

Figura b)



e→e = Vertical generada por la intersección de los planos que contienen los ejes de las vías

H = Desnivel del Perfil Longitudinal (m)

$\overline{Ae}$ = L_a (m), según figuras a) y b)

$\overline{eB}$ = L_b (m), según figuras a) y b)

G = Tramo en pendiente uniforme entre curvas verticales sucesivas (m); Gmín = 0

LONGITUD TOTAL DE LA DESNIVELACIÓN = $L_a + L_b$ (m)

GRÁFICO 85
ENLACES TIPO

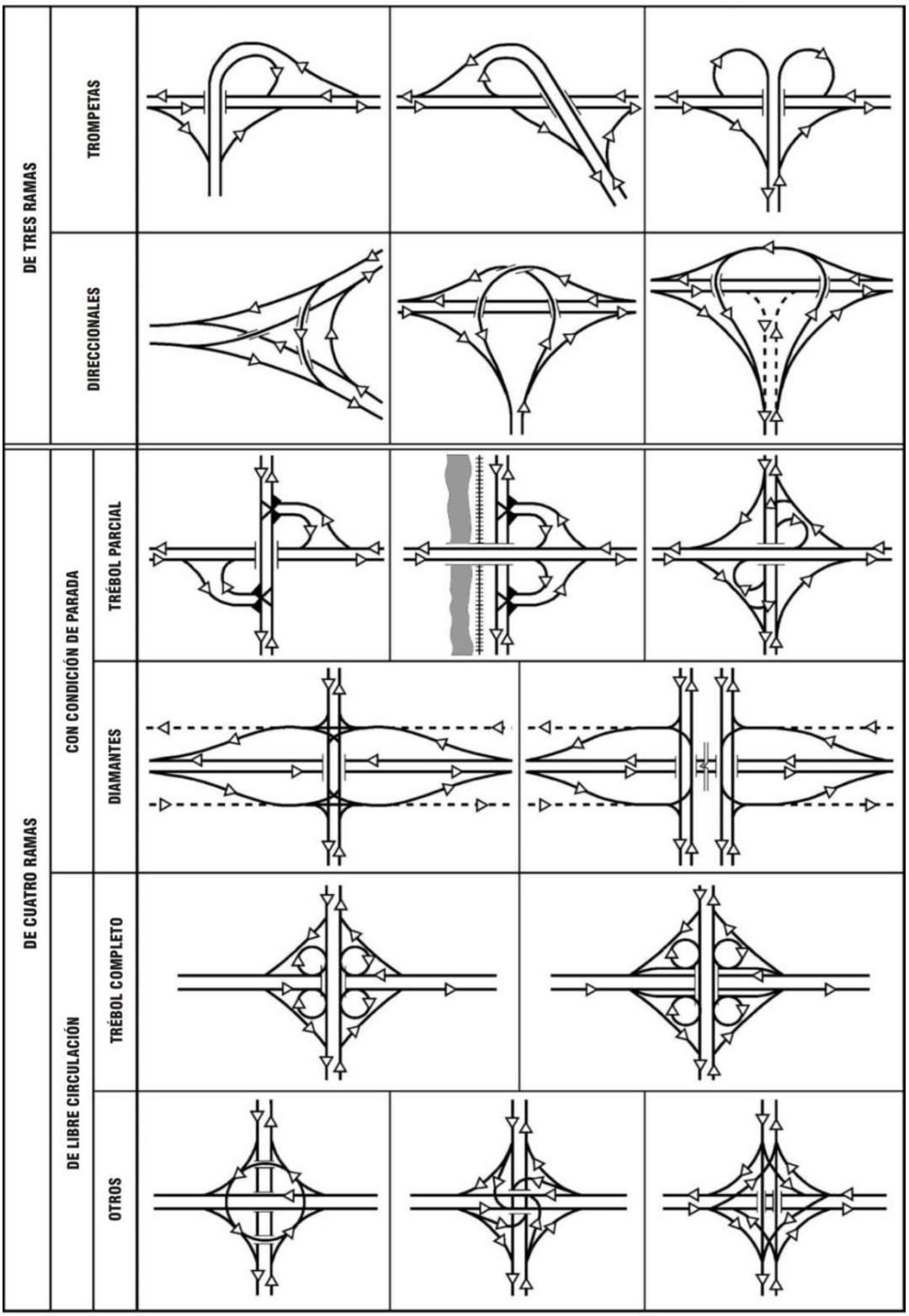
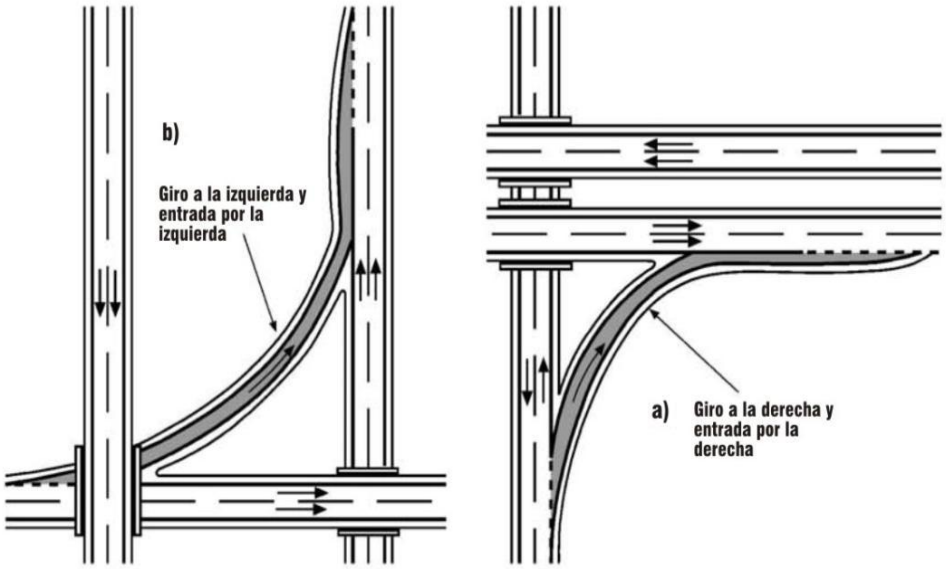


GRÁFICO 86
RAMALES DE ENLACE

Ramales Directos



Ramal Semidirecto y Lazo

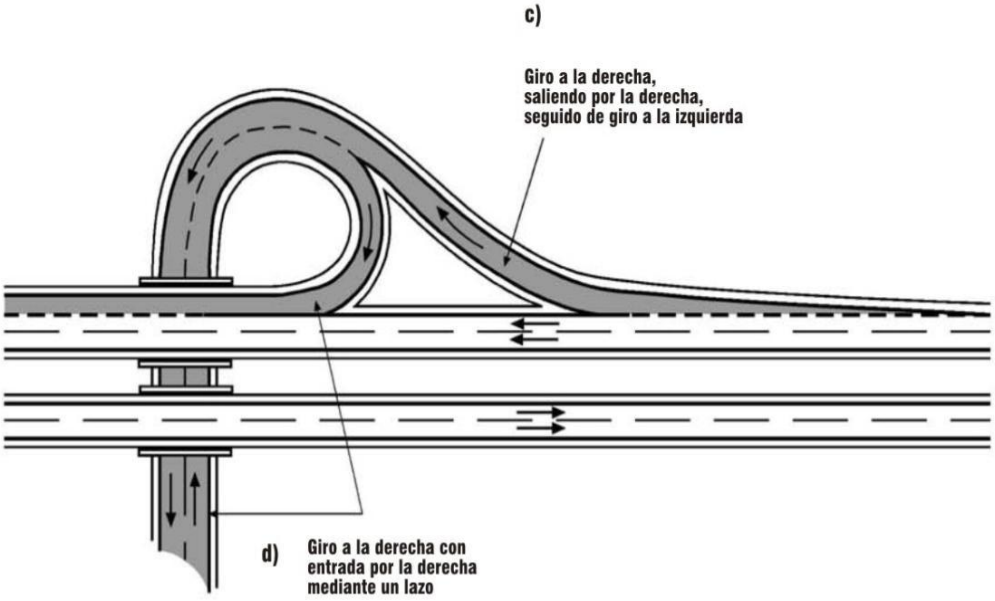


GRÁFICO 87
RAMALES DE ENLACE

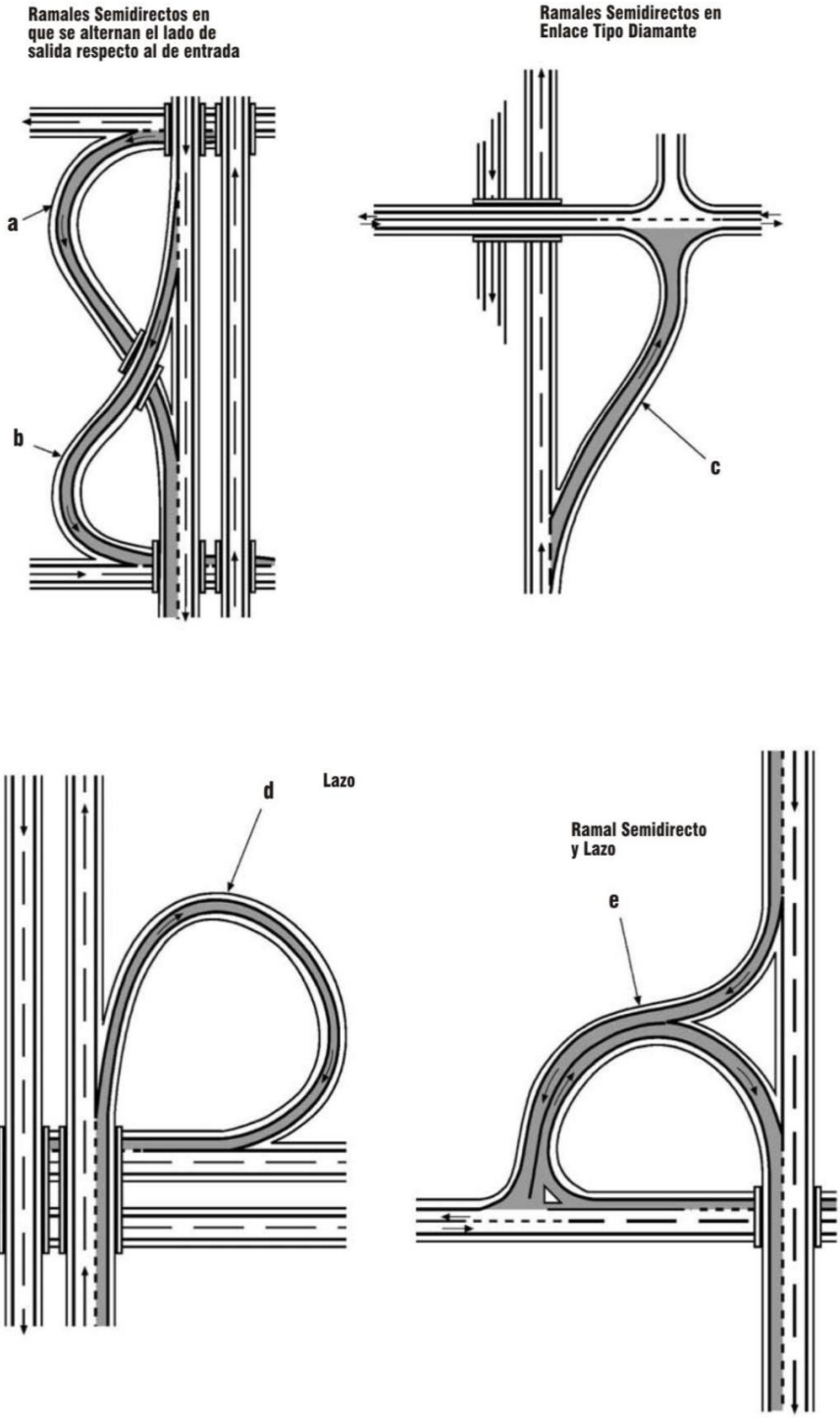


GRÁFICO 88
FORMAS DE DESAPARICIÓN DE CARRILES AUXILIARES

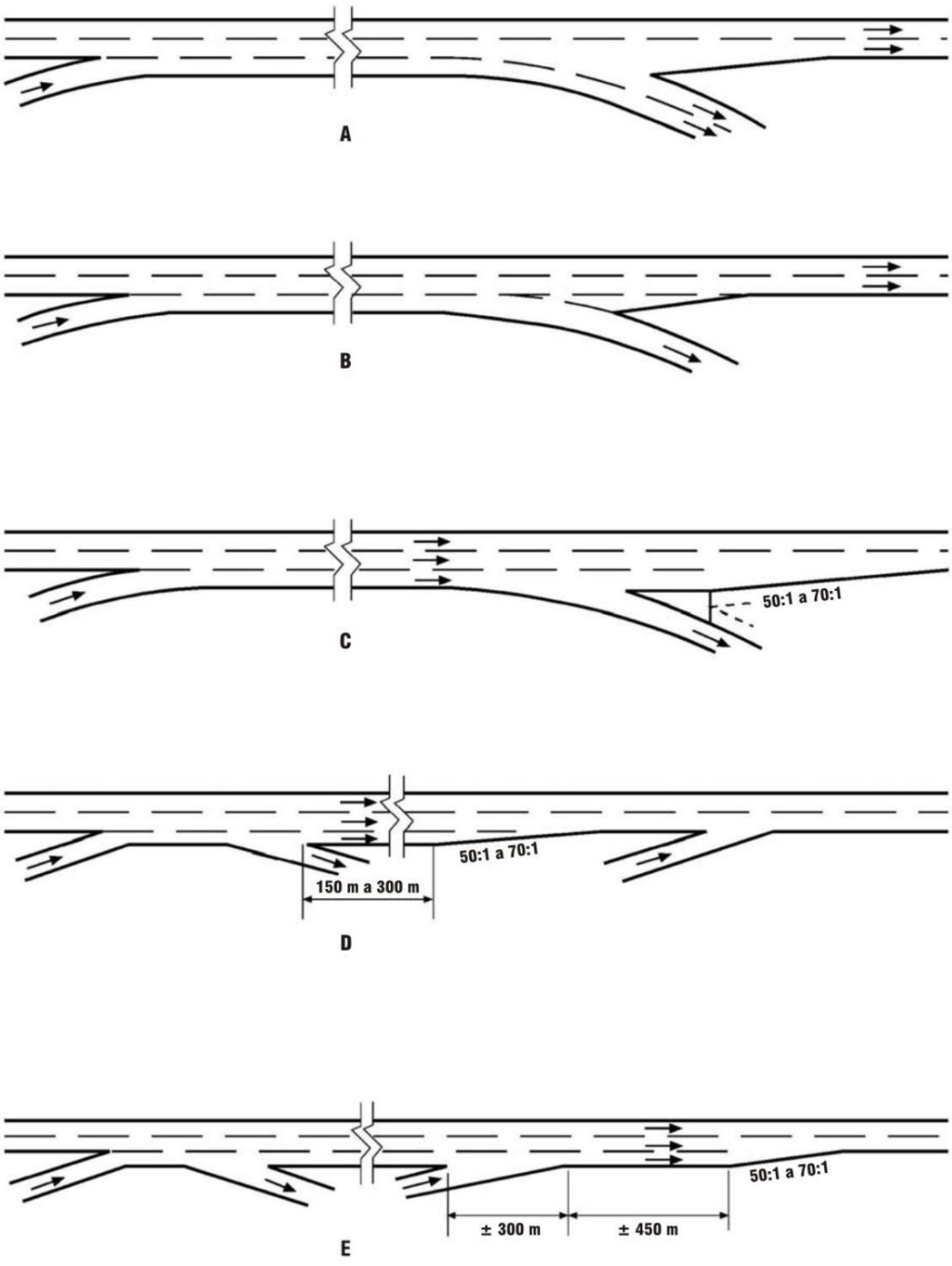


GRÁFICO 89
ENLACE TIPO DE TRES RAMAS

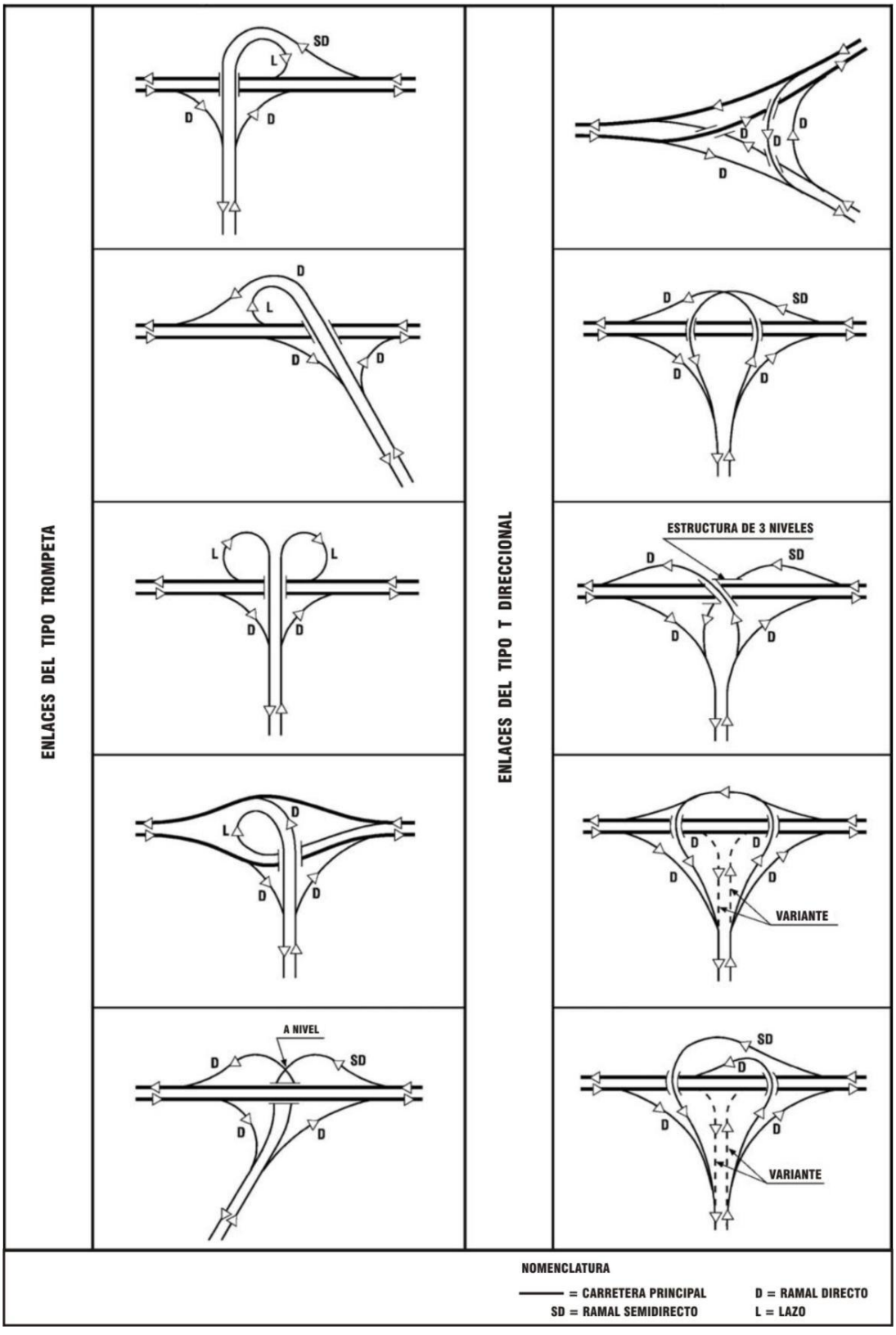
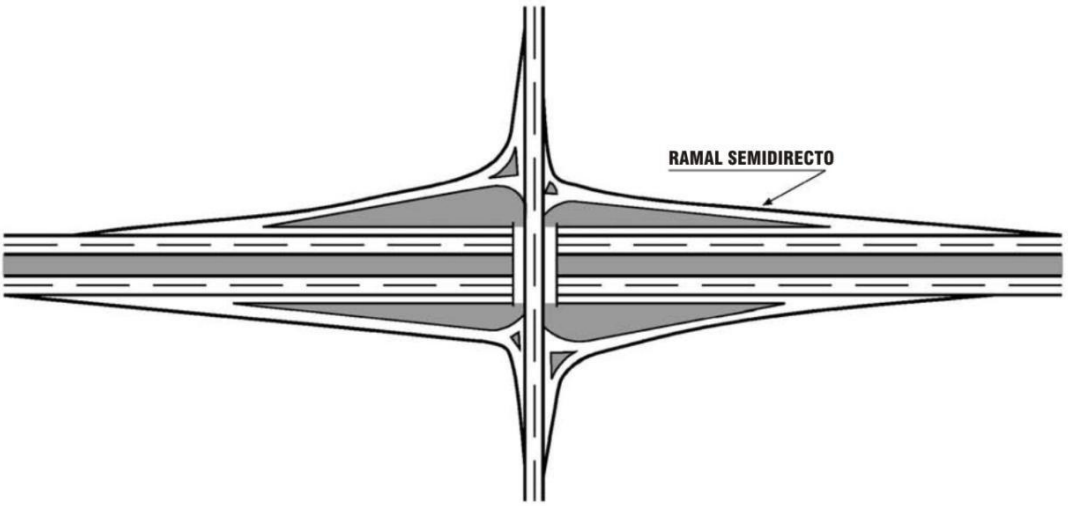


GRÁFICO 90
ENLACES DE CUATRO RAMAS

A. DIAMANTE (ELEMENTOS BÁSICOS)



B. TRÉBOL DE 4 CUADRANTES (ELEMENTOS BÁSICOS)

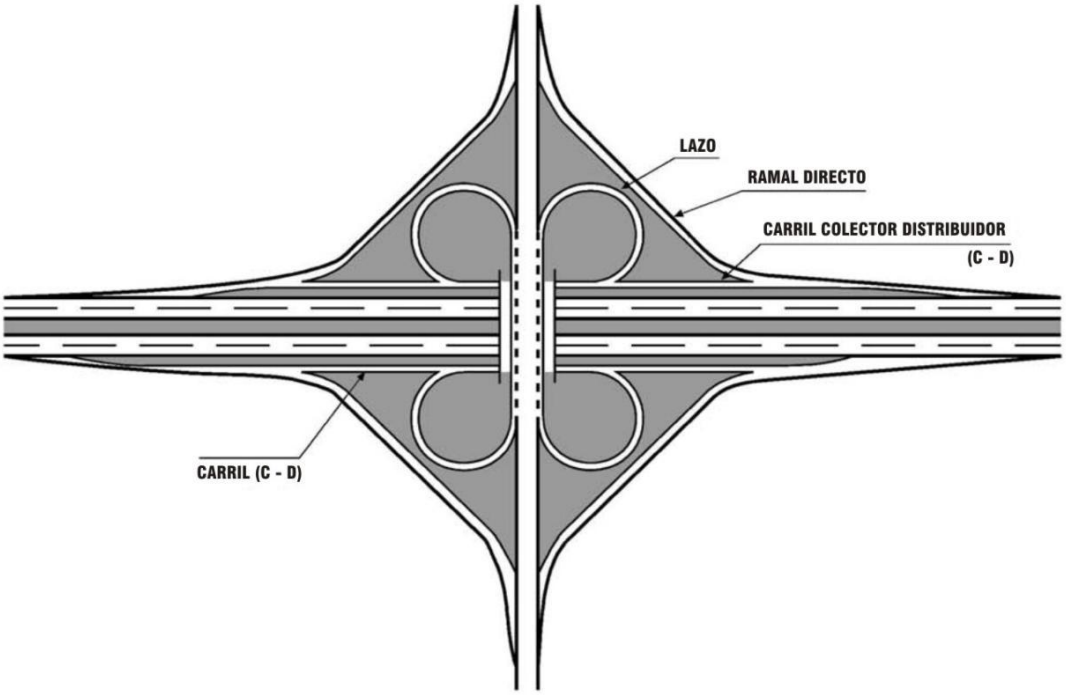


GRÁFICO 91
ENLACES TIPO DIAMANTE CLÁSICO

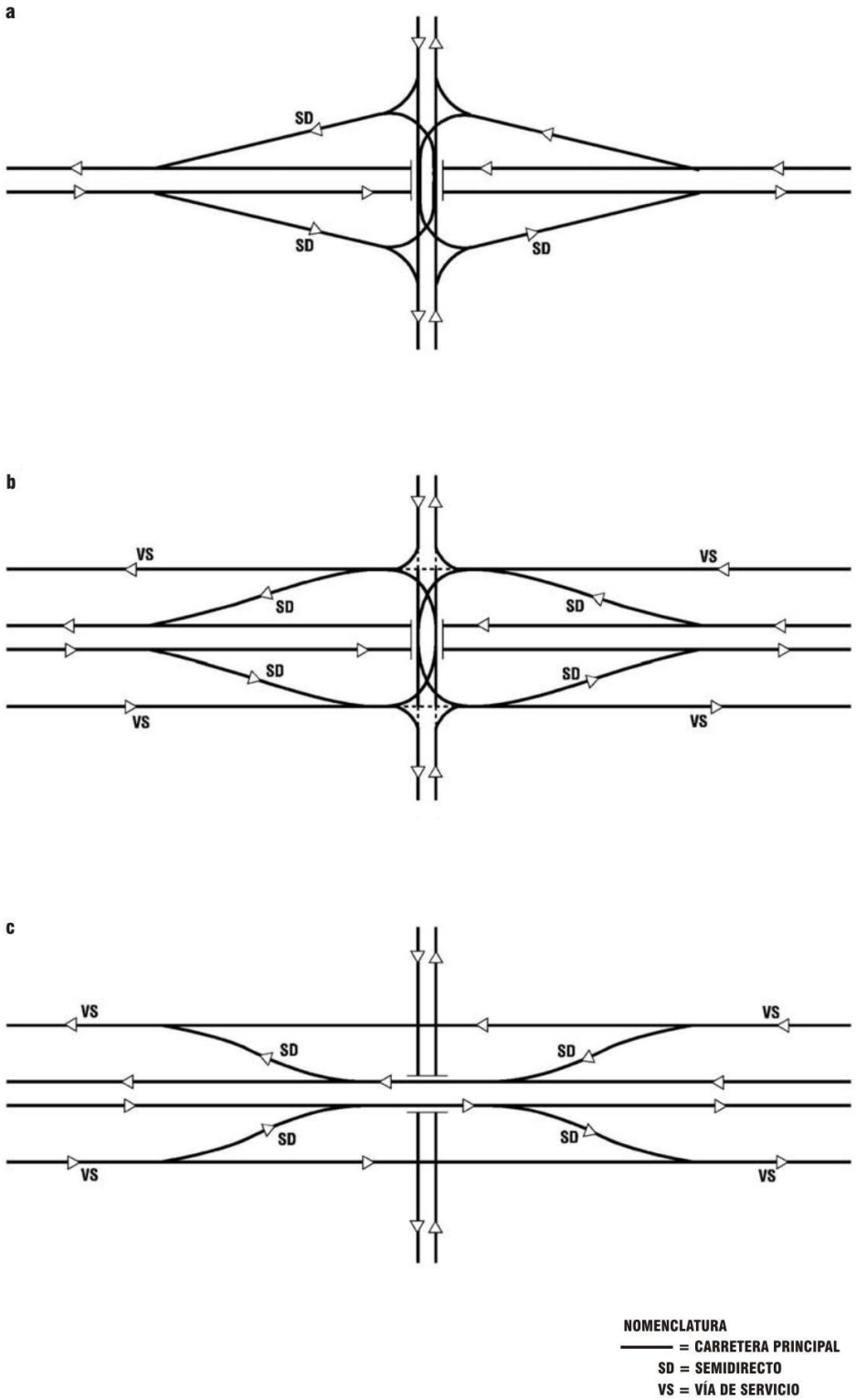
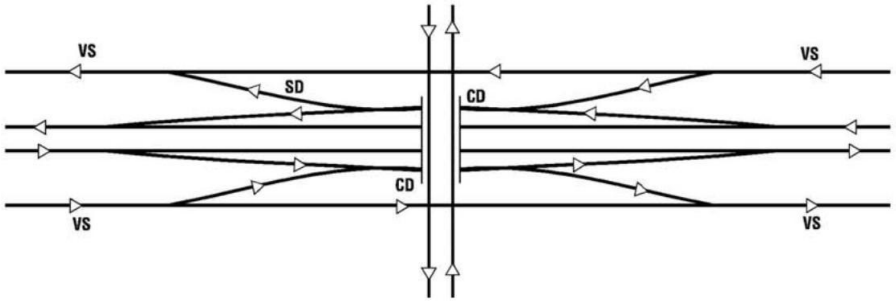
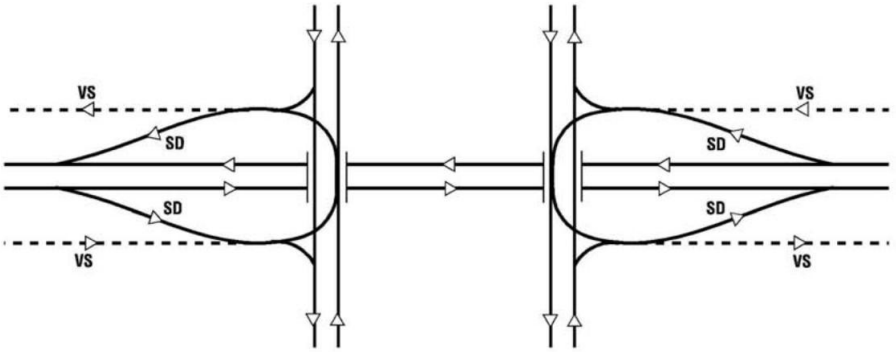


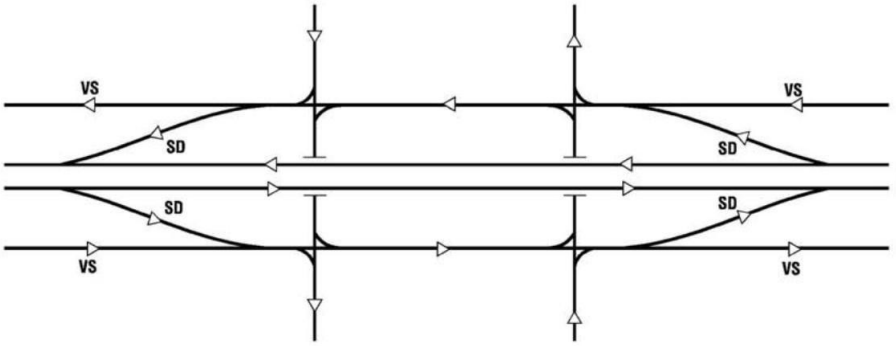
GRÁFICO 92
MODIFICACIONES DE ENLACE TIPO DIAMANTE



ENLACE TIPO DIAMANTE CON VÍAS COLECTORAS - DISTRIBUIDORAS



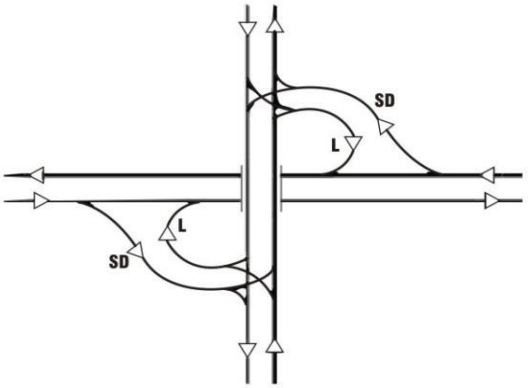
ENLACE TIPO DIAMANTE PARTIDO



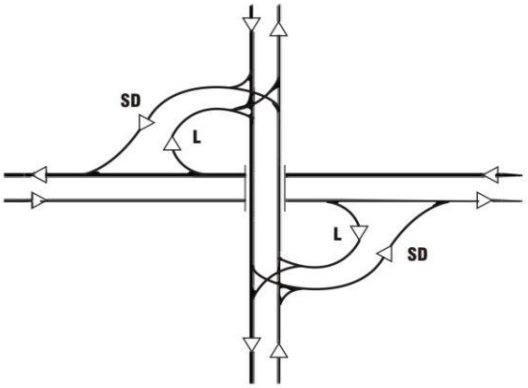
VÍAS TRANSVERSALES DE UNA SOLA DIRECCIÓN

NOMENCLATURA
——— = CARRETERA PRINCIPAL
CD = VÍA COLECTORA DISTRIBUIDORA
SD = SEMIDIRECTO
VS = VÍA DE SERVICIO

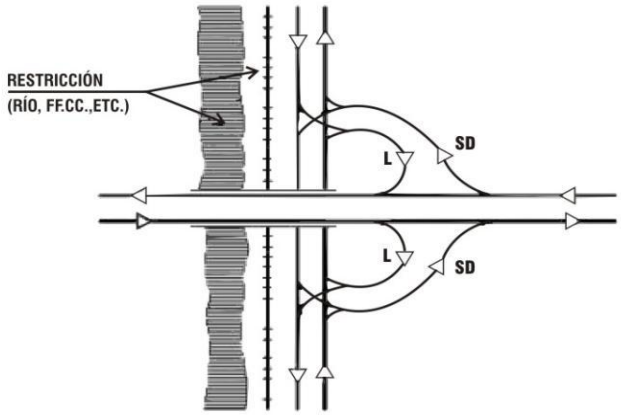
GRÁFICO 93
ENLACES TIPO TRÉBOL PARCIAL



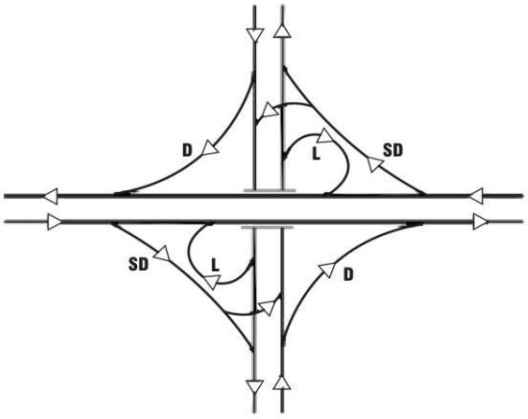
DOS CUADRANTES (A)



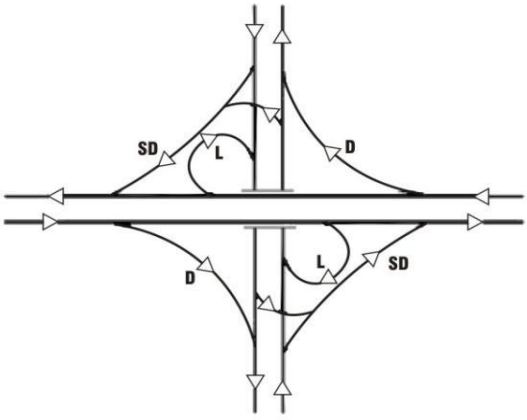
DOS CUADRANTES (D)



DOS CUADRANTES (AD)



CUATRO CUADRANTES (A)



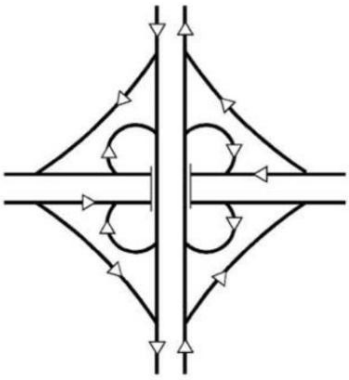
CUATRO CUADRANTES (D)

NOTA: LA DESIGNACIÓN A ó D DEL TRÉBOL PARCIAL SIGNIFICA QUE LA SALIDA DE LA CARRETERA PRINCIPAL ESTÁ ANTES O DESPUÉS DE LA ESTRUCTURA.

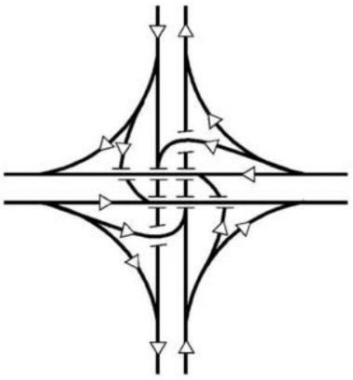
NOMENCLATURA

——— = CARRETERA PRINCIPAL
SD = RAMAL SEMIDIRECTO
D = RAMAL DIRECTO
L = LAZO

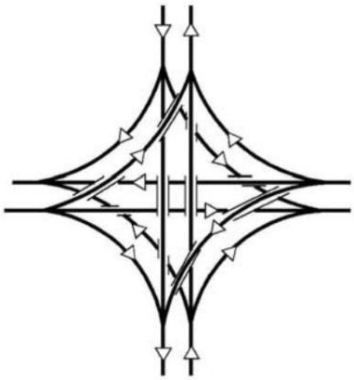
GRÁFICO 94
ENLACES SIMÉTRICOS DE LIBRE CIRCULACIÓN



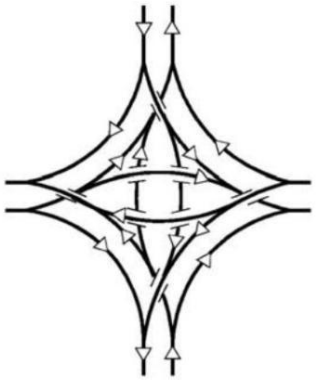
TRÉBOL



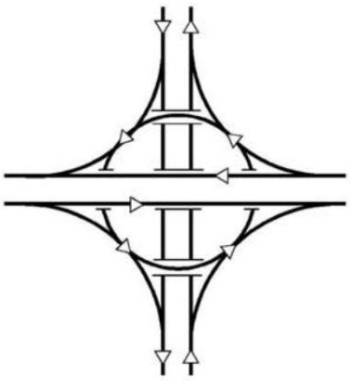
SEMI - DIRECTO
(con una salida)



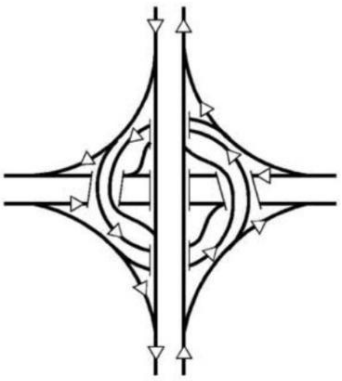
OMNI DIRECCIONAL



OMNI - DIRECCIONAL
(calzadas transpuestas)



ROTATORIO



TURBINA

GRÁFICO 95
ROTONDAS DESNIVELADAS

FIGURA A
Rotonda de Dos Puentes

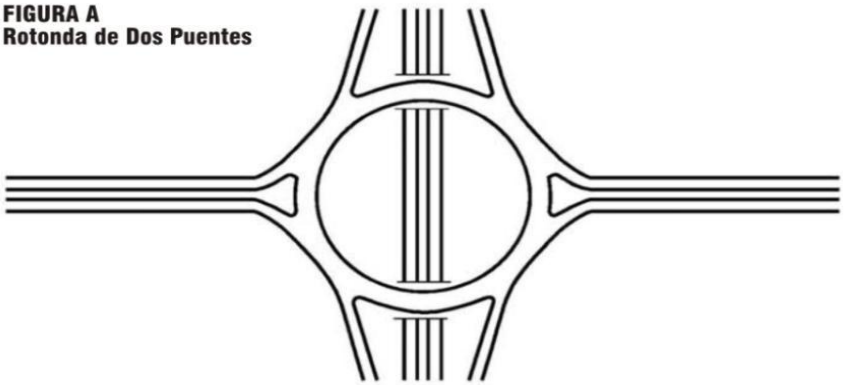


FIGURA B
Rotonda Tipo Pesa

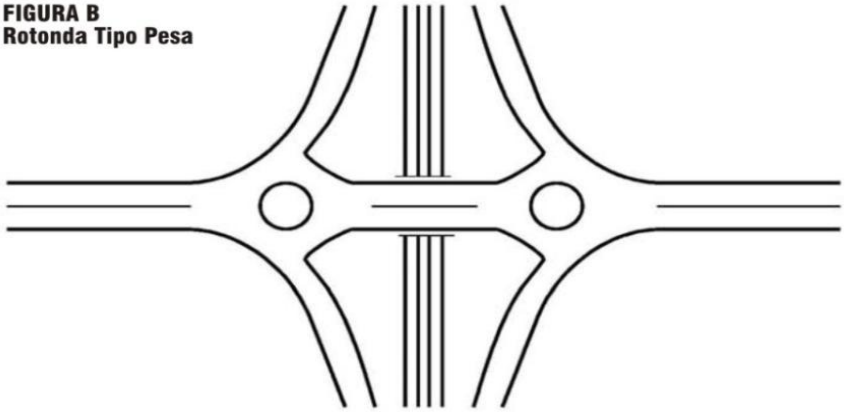


FIGURA C
Rotonda de Tres Niveles

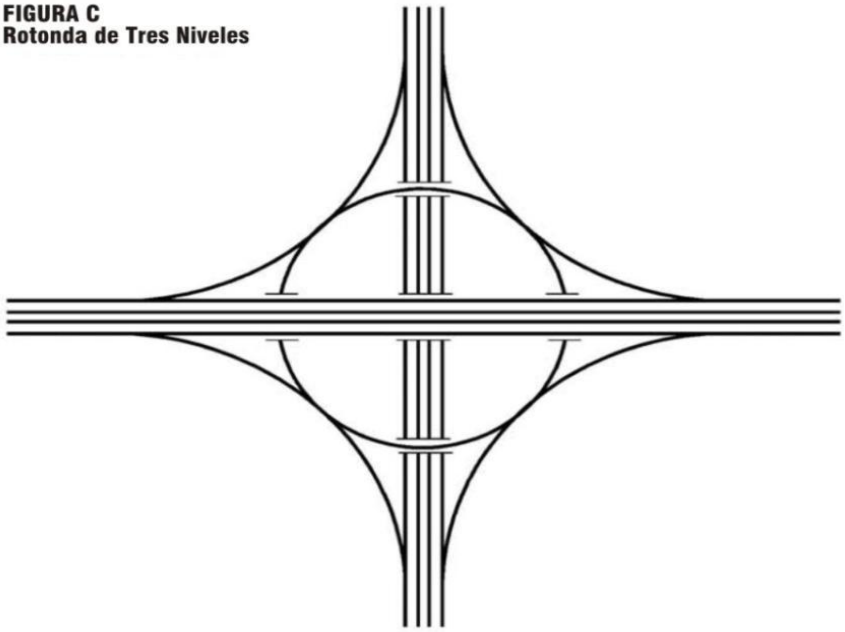


GRÁFICO 96
EJEMPLOS DE EQUILIBRIO DE CARRILES

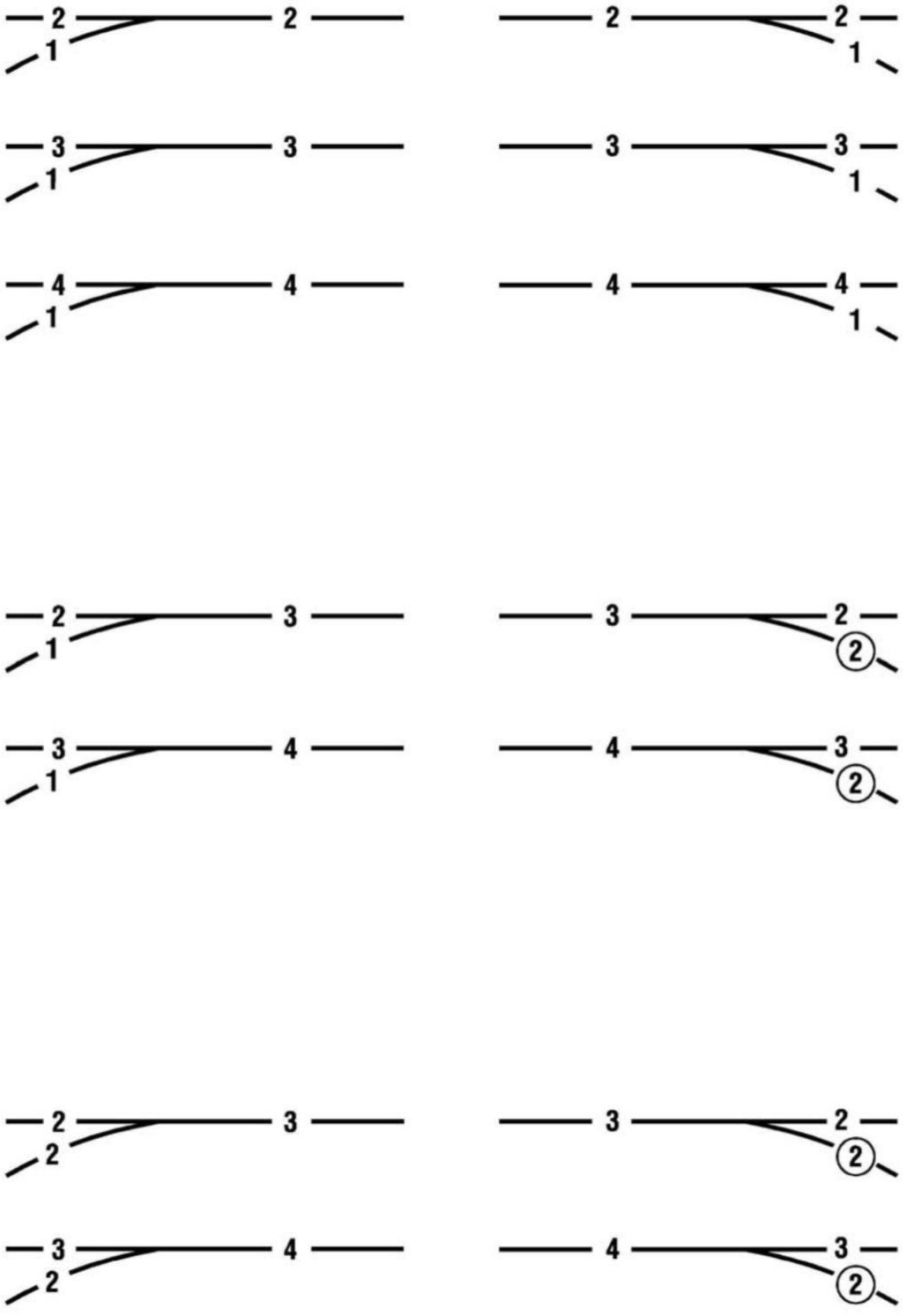


GRÁFICO 97
ESQUEMA DEL PROCESO DE DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE UN ENLACE

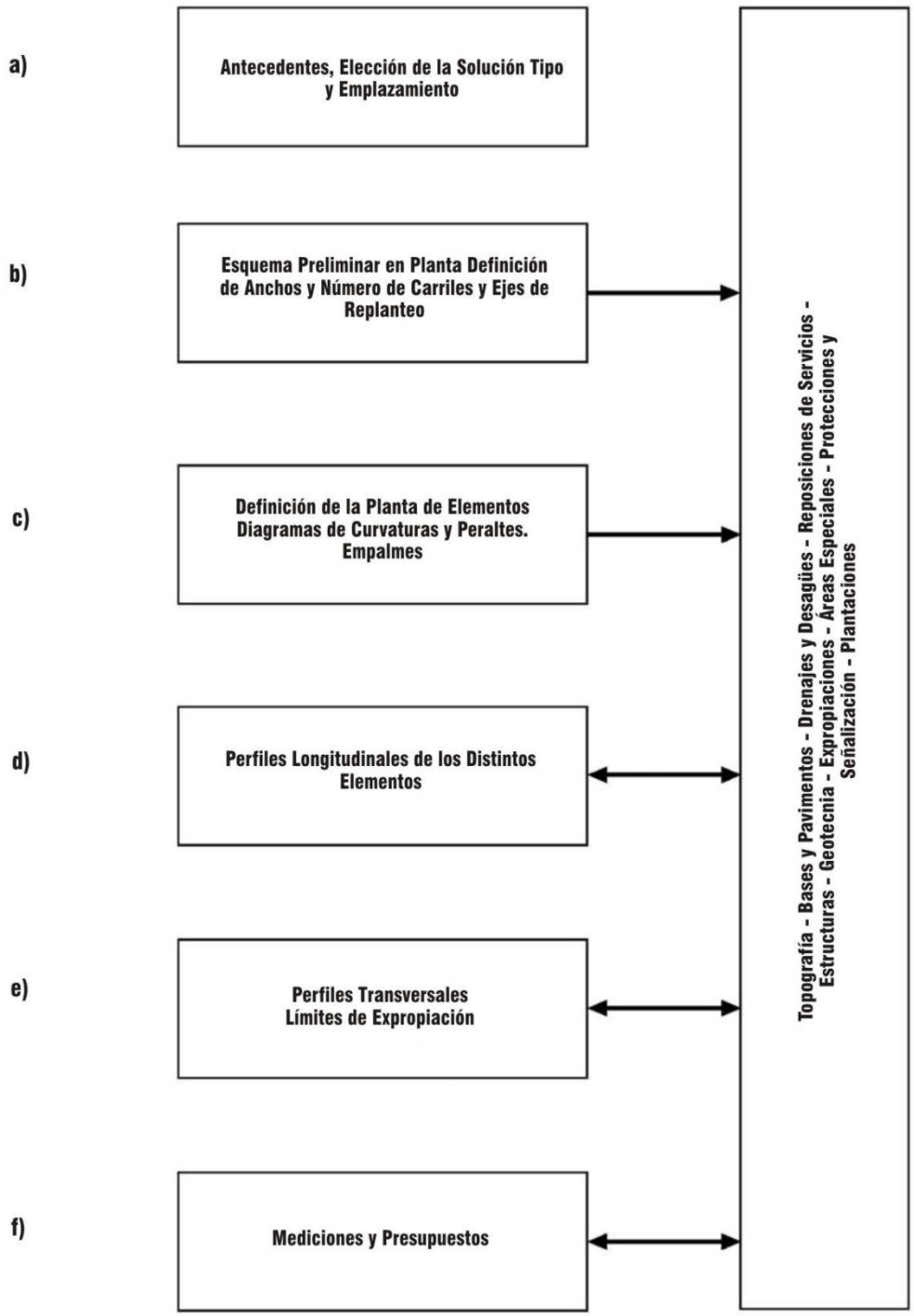


GRÁFICO 98
TERMINALES SUCESIVOS

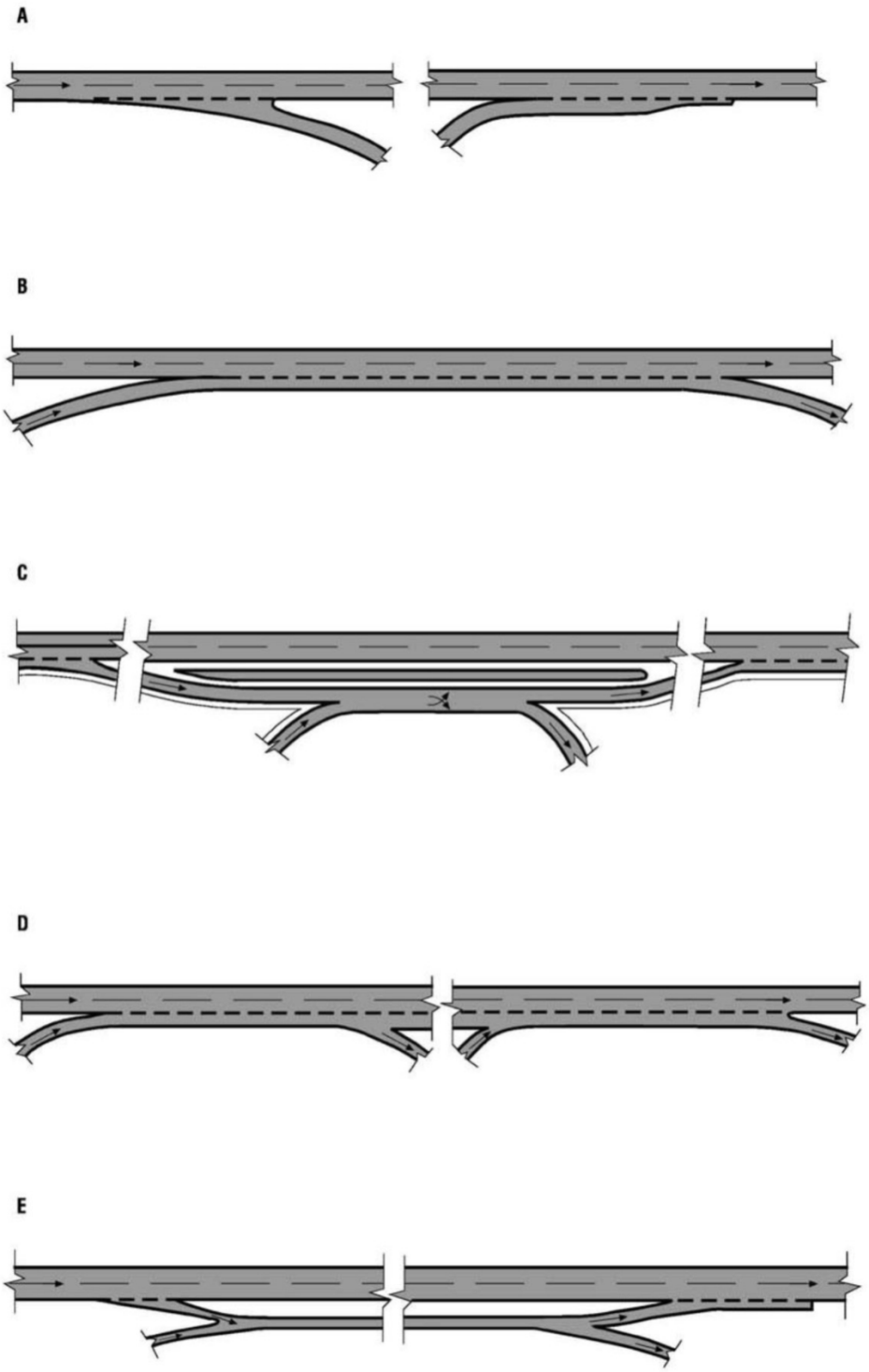
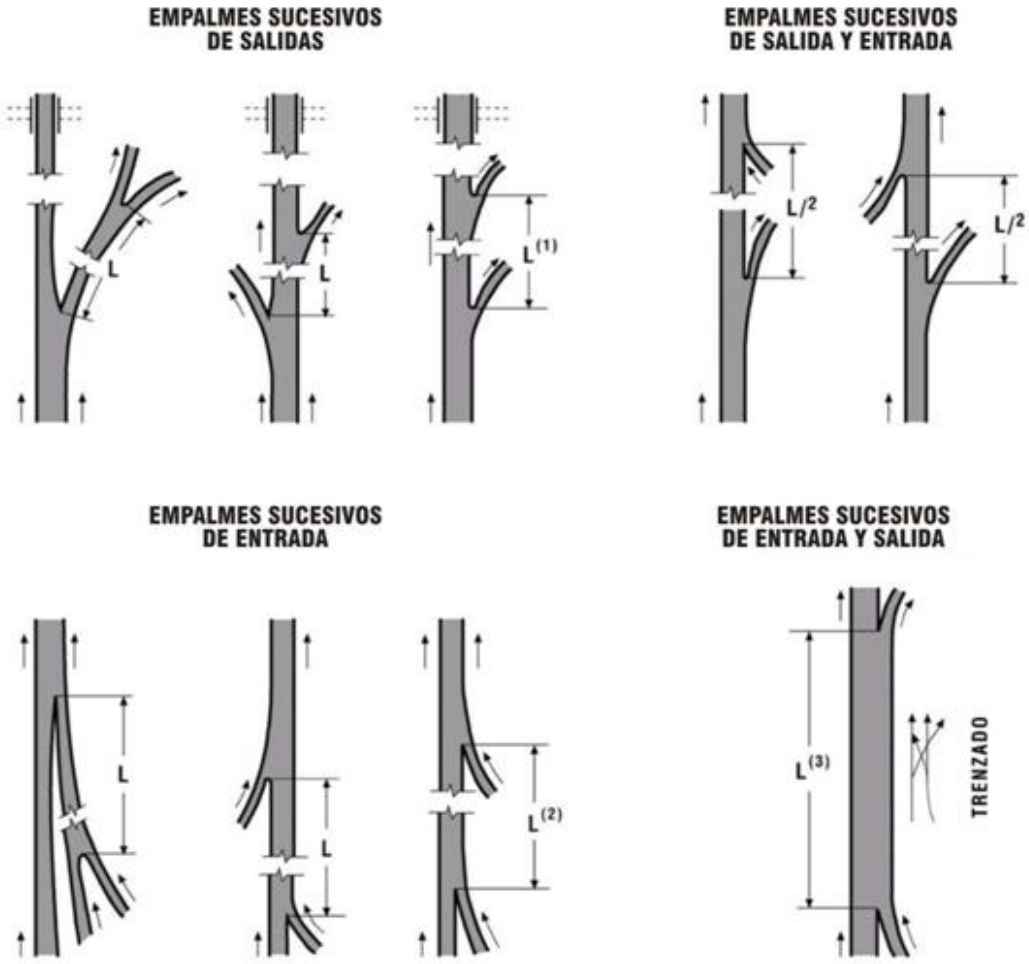


GRÁFICO 99
SEPARACIÓN ENTRE TERMINALES SUCESIVOS



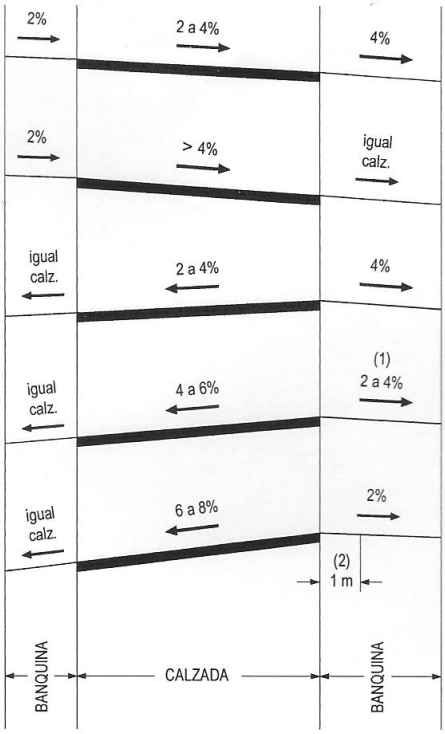
L(1) como en Tabla — No Inferior a LT
L(2) como en Tabla — No inferior a LT
L(3) como en Tabla — No inferior a Longitud de Trenzado

DISTANCIAS "L" ENTRE EMPALMES SUCESIVOS				
V_P (Km/h) (carretera)	< 60	70 - 80	90 - 110	120
L (m) Mínimo	60	120	150	200
L (m) Deseable	120	200	250	300

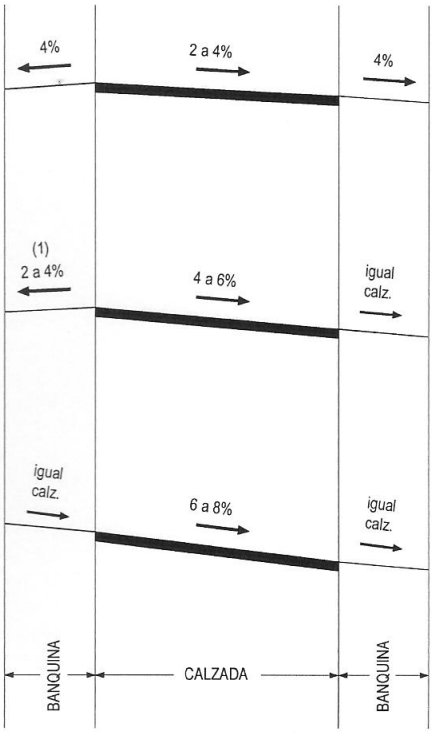
GRÁFICO 100
SECCIONES TRANSVERSALES TIPO DE RAMALES

RAMALES DE DOS CARRILES

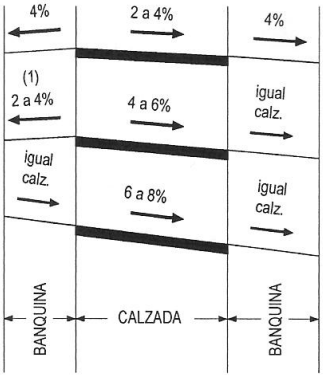
A. UNIDIRECCIONAL

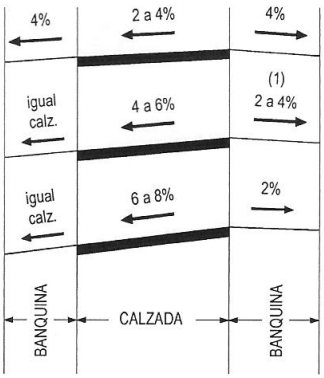


B. BIDIRECCIONAL



RAMALES DE UN CARRIL





NOTA 1 : SUMA DE PENDIENTES IGUAL A 8%
NOTA 2 : REDONDEO DE LA ARISTA

ANEXO III - GRÁFICOS

SECCIÓN 901

GRÁFICO 101
FORMULARIO DE DATOS ESTUDIO DE VELOCIDADES (1)

Fecha: _____

Identificación y Datos Generales.

Nombre de la Ruta: _____
Rol de la Ruta: _____ Código de la Ruta: _____

Jerarquía funcional de la Ruta _____
Sector: _____

Tramo en estudio: (indicar km de inicio y km. Termino, además de topónimos del tramo si los hay)

Area de Influencia: (indicar vías o singularidades que limitan el área de influencia del tramo, adjuntar croquis)

Características Físicas del Tramo.

(indicar en un plano de planta a escala).

Intersecciones o cruces viales: _____

Cruces peatonales: (formales) - (informales)
Presencia de Peatones: (SI) - (NO)

Paradas de Buses: (existen en el tramo si/no, ubicación km., lado Izq./Der., sobre:carriles/ bermas / fuera de bermas)

Accesos a Propiedad: (km., lado, tipo de propiedad: particular / comercial / industrial / etc..)

Trazado en planta: (recto, curva, zona de curvas, etc..)

Trazado en elevación: (sector sin pendiente, con pendiente subida, con pendiente bajada, en curva vertical, etc..)

Tipo de calzada: (bidireccional, unidireccional)

Numero de carriles: (1) - (2) - (3) - (4) Ancho Carriles: (3,0 m.) - (3,5 m.) Rodadura: (Pavimentada) - (No pavimentada)

Tipo de Pavimento: (Hormigón) - (Asfalto) - (DTS) - (Granular) Situación General del Pavimento: (Bueno) - (Regular) - (Malo)

Bermas: BI (SI) (NO) Ancho Bermas: BI = (2,0 m) (1,5 m) (0,5 m) Revestimiento: (Pavimento) - (Granular)
BD (SI) (NO) Ancho Bermas: BD = (2,0 m) (1,5 m) (0,5 m) Estado (Bueno) - (Reg.) - (Malo)

Cantero Central: (SI) (NO) Ancho Cantero Central (m): _____

Croquis del sector: Adjuntar

Observaciones:

Se debe indicar la señalización existente en el tramo en análisis
Se debe incluir una monografía de señalización
Se deben indicar las singularidades del tramo:tales como veredas, barreras, colegios, cruce de caminos, distancia de visibilidad, paso de cebra, etc.

GRÁFICO 102
FORMULARIO DE DATOS ESTUDIO DE VELOCIDADES (2)

Información Operativa del Tramo Fecha: _____

Nota 1: La información operativa del tramo, que se indica en este formulario debe ser recolectada, observada o medida para al menos tres (3) períodos en cada sentido de tránsito. Cabe señalar, que en vías unidireccionales y bidireccionales en que se este estudiando un tramo restrictivo ya sea por geometría o entorno, el análisis por sentido de transito, requiere controlar velocidades de aproximación, en puntos kilométricos no coincidentes.

Nota 2: La información de velocidades de operación a completar en el presente formulario, presupone la medición previa de velocidades instantáneas mediante instrumento del tipo radar o sensores de microonda.

Punto Control de Velocidades:		km.	Sentido 1: según avance de kilometrajes del camino.
Punto Control de Velocidades:		km.	Sentido 2: según inverso de avance de kilometrajes del camino.

Fecha (día/mes/año)	Período 1 Desde (hr.)	Período 1 Hasta (hr.)

	Flujos Vehiculares (Veh/hr) Vehículos Livianos	Flujos Vehiculares (Veh/hr) Vehículos Pesados
Sentido 1		
Sentido 2		

	Velocidad de Operación (km/h) Vehículos Livianos	Velocidad de Operación (km/h) Vehículos Pesados
Sentido 1		
Sentido 2		

Fecha (día/mes/año)	Período 2 Desde (hr.)	Período 2 Hasta (hr.)

	Flujos Vehiculares (Veh/hr) Vehículos Livianos	Flujos Vehiculares (Veh/hr) Vehículos Pesados
Sentido 1		
Sentido 2		

	Velocidad de Operación (km/h) Vehículos Livianos	Velocidad de Operación (km/h) Vehículos Pesados
Sentido 1		
Sentido 2		

Fecha (día/mes/año)	Período 3 Desde (hr.)	Período 3 Hasta (hr.)

	Flujos Vehiculares (Veh/hr) Vehículos Livianos	Flujos Vehiculares (Veh/hr) Vehículos Pesados
Sentido 1		
Sentido 2		

	Velocidad de Operación (km/h) Vehículos Livianos	Velocidad de Operación (km/h) Vehículos Pesados
Sentido 1		
Sentido 2		

Nota: Vehículos livianos son aquellos ≤ 3.860 kg de peso bruto.

GRÁFICO 103
LONGITUD DE ESTRECHAMIENTO

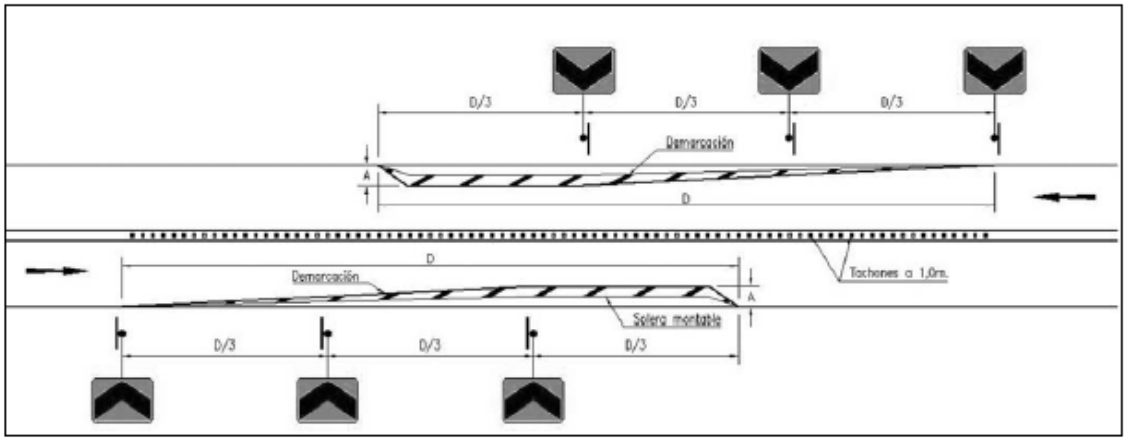
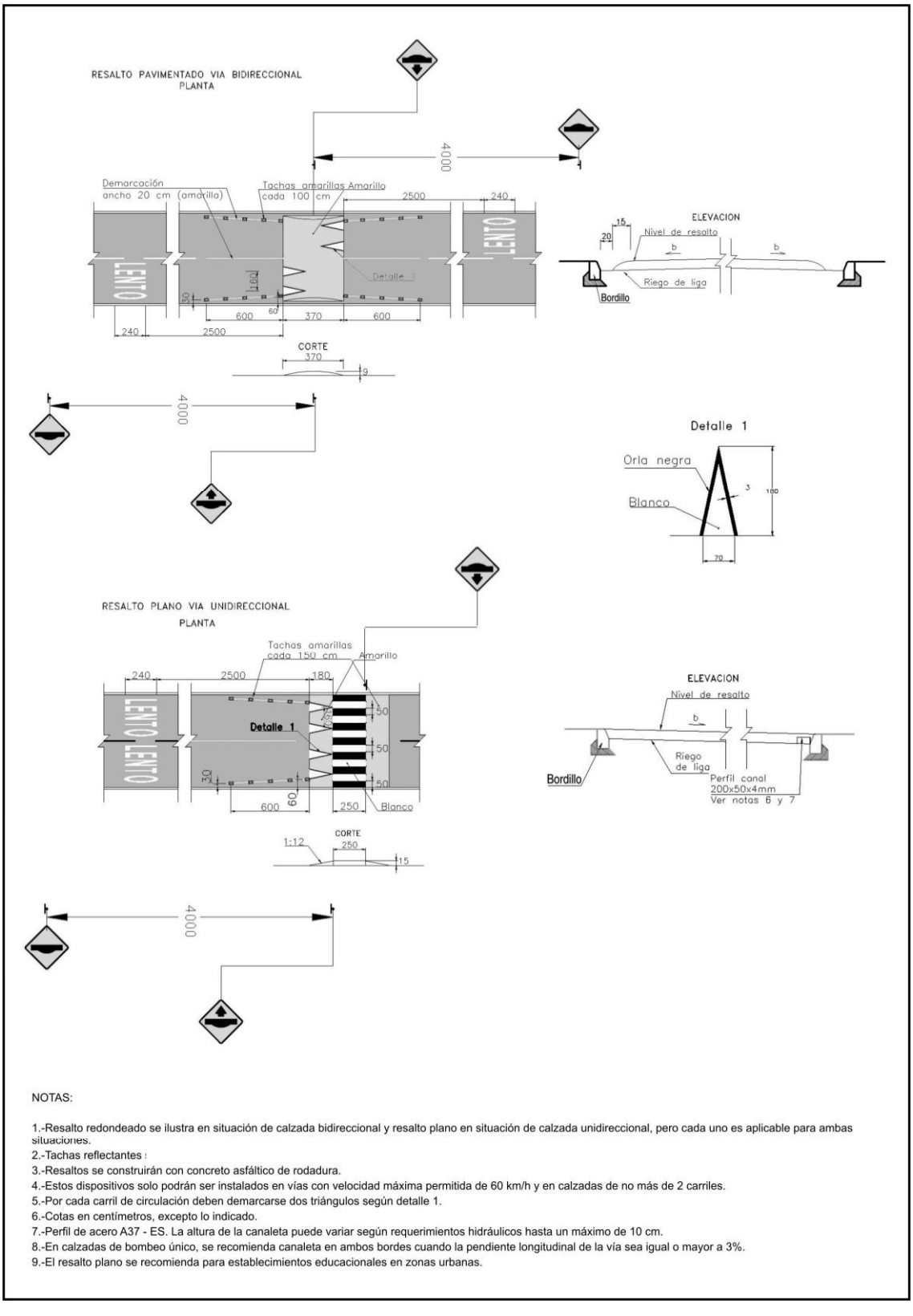


GRÁFICO 104
ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD LOMADAS PAVIMENTADAS



NOTAS:

1.-Resalto redondeado se ilustra en situación de calzada bidireccional y resalto plano en situación de calzada unidireccional, pero cada uno es aplicable para ambas situaciones.
2.-Tachas reflectantes :
3.-Resaltos se construirán con concreto asfáltico de rodadura.
4.-Estos dispositivos solo podrán ser instalados en vías con velocidad máxima permitida de 60 km/h y en calzadas de no más de 2 carriles.
5.-Por cada carril de circulación deben demarcarse dos triángulos según detalle 1.
6.-Cotas en centímetros, excepto lo indicado.
7.-Perfil de acero A37 - ES. La altura de la canaleta puede variar según requerimientos hidráulicos hasta un máximo de 10 cm.
8.-En calzadas de bombeo único, se recomienda canaleta en ambos bordes cuando la pendiente longitudinal de la vía sea igual o mayor a 3%.
9.-El resalto plano se recomienda para establecimientos educacionales en zonas urbanas.

GRÁFICO 105
ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD LOMADAS NO PAVIMENTADAS

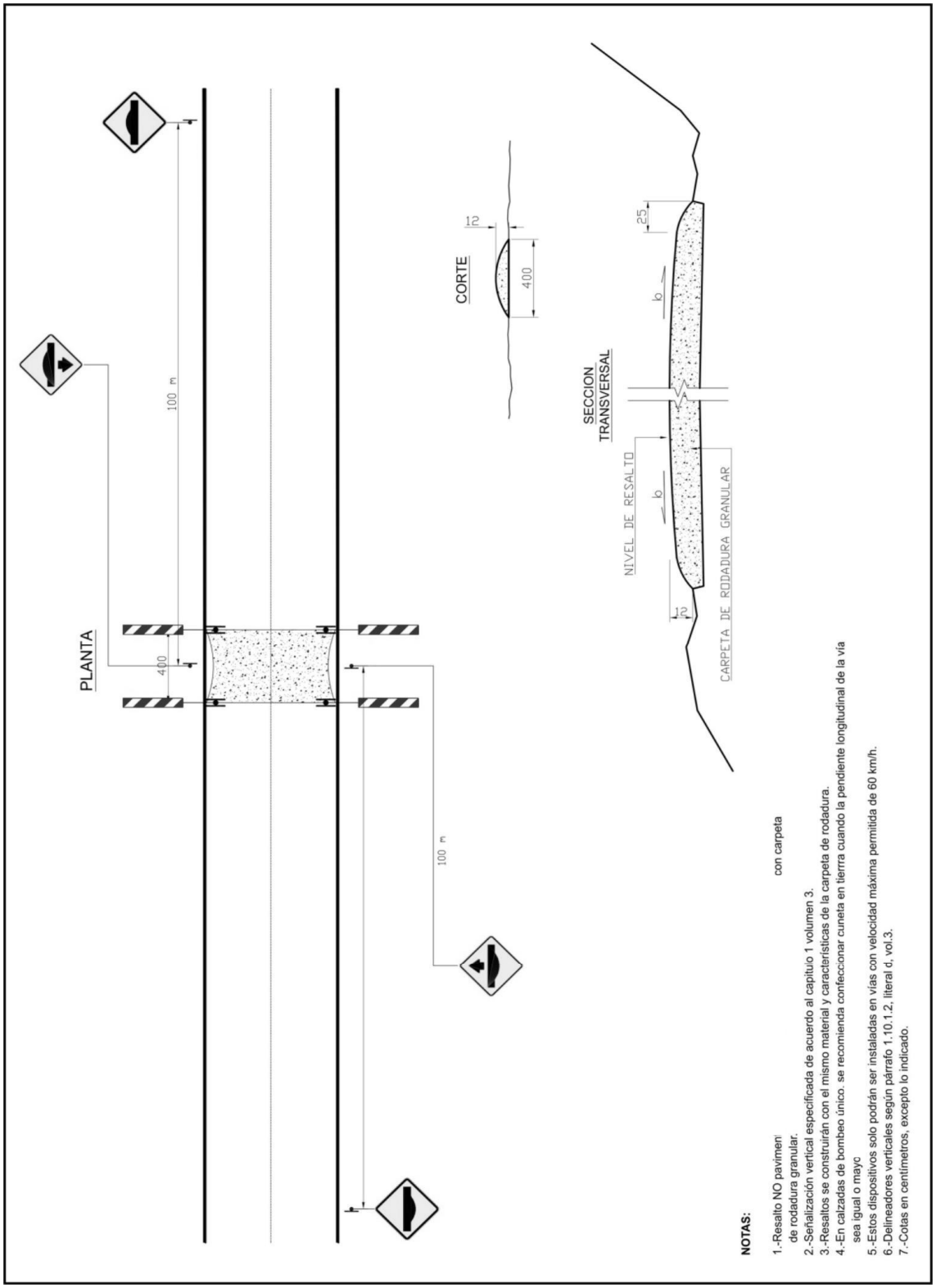
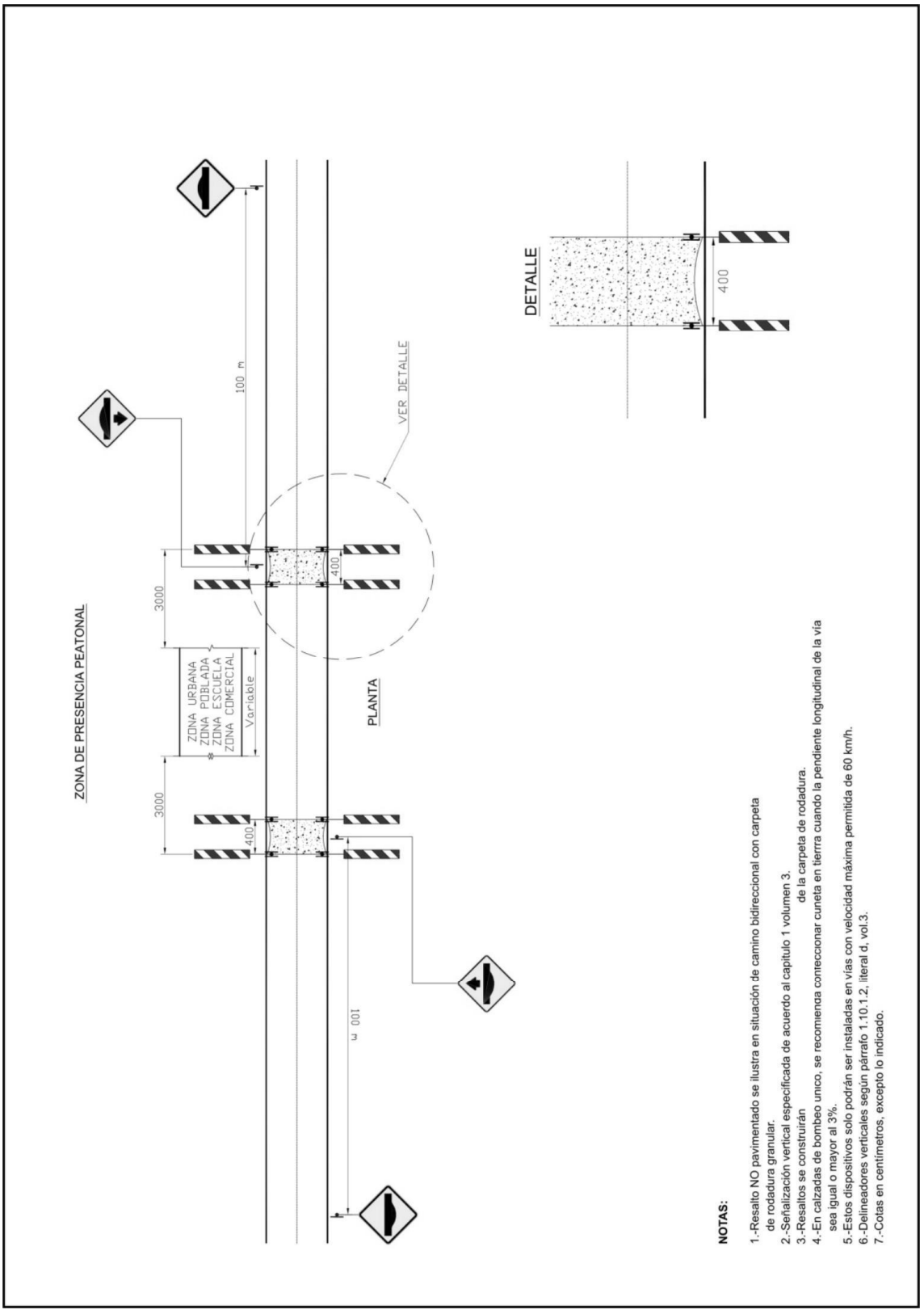


GRÁFICO 106
ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD LOMADAS NO PAVIMENTADAS ZONA DE RESIDENCIA PEATONAL



NOTAS:

1.-Resalto NO pavimentado se ilustra en situación de camino bidireccional con carpeta de rodadura granular.
2.-Señalización vertical especificada de acuerdo al capitulo 1 volumen 3.
3.-Resaltos se construirán de la carpeta de rodadura.
4.-En calzadas de bombeo unico, se recomienda conteccionar cuneta en tierra cuando la pendiente longitudinal de la via sea igual o mayor al 3%.
5.-Estos dispositivos solo podrán ser instalados en vías con velocidad máxima permitida de 60 km/h.
6.-Delineadores verticales según párrafo 1.10.1.2, literal d, vol.3.
7.-Cotas en centimetros, excepto lo indicado.

GRÁFICO 107
ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD BATERÍAS DE BANDAS TRANSVERSALES VIBRATORIAS

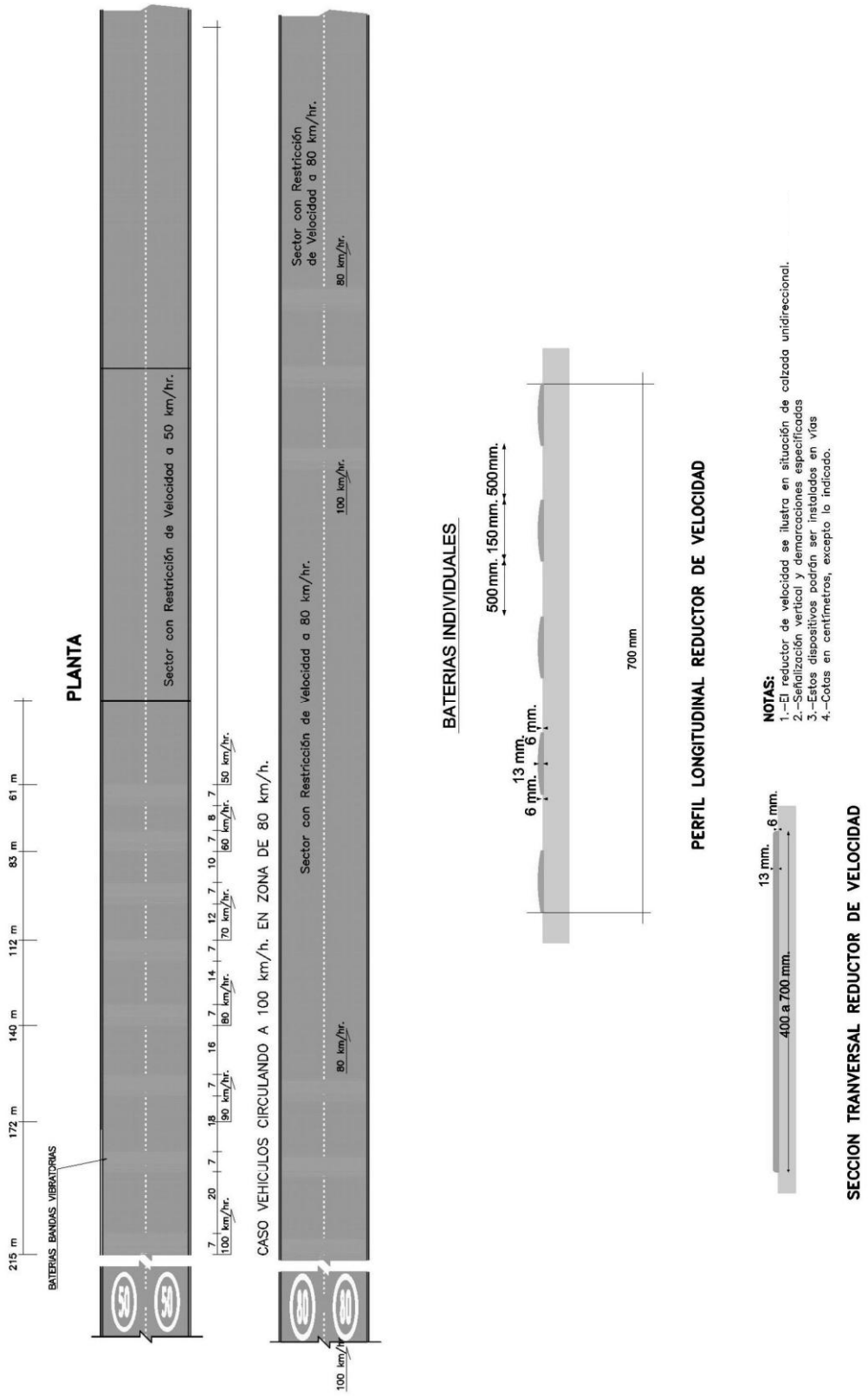
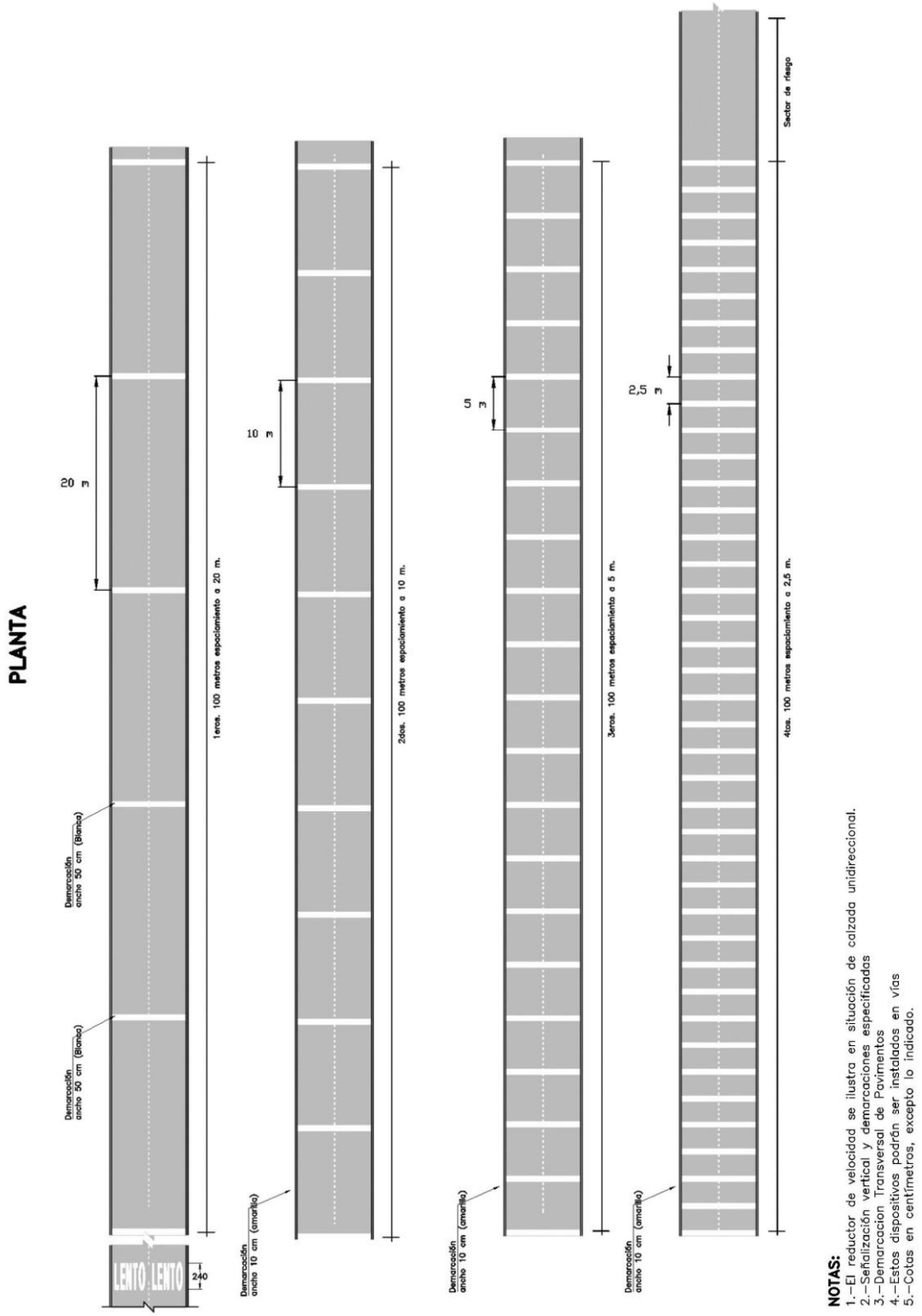


GRÁFICO 108
ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD DEMARCACIÓN DE BANDAS TRANSVERSALES



NOTAS:
1.–El reductor de velocidad se ilustra en situación de calzada unidireccional.
2.–Señalización vertical y demarcaciones especificadas
3.–Demarcacion Transversal de Pavimentos
4.–Estos dispositivos podrán ser instalados en vías
5.–Cotas en centímetros, excepto lo indicado.

GRÁFICO 109
ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD TRAMOS DE ESTRECHAMIENTO DE CARRILES DEMARCACIÓN Y TACHONES

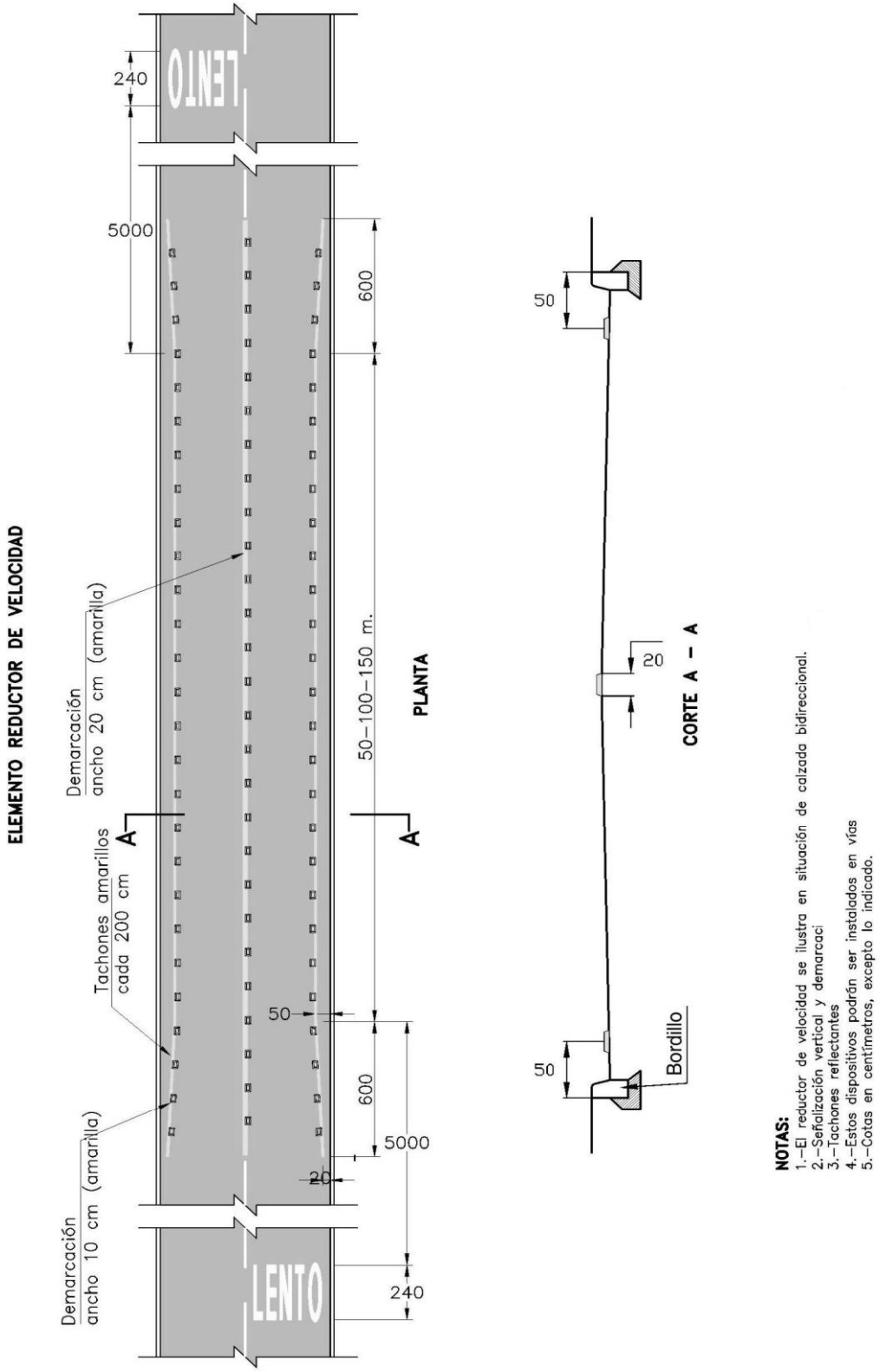
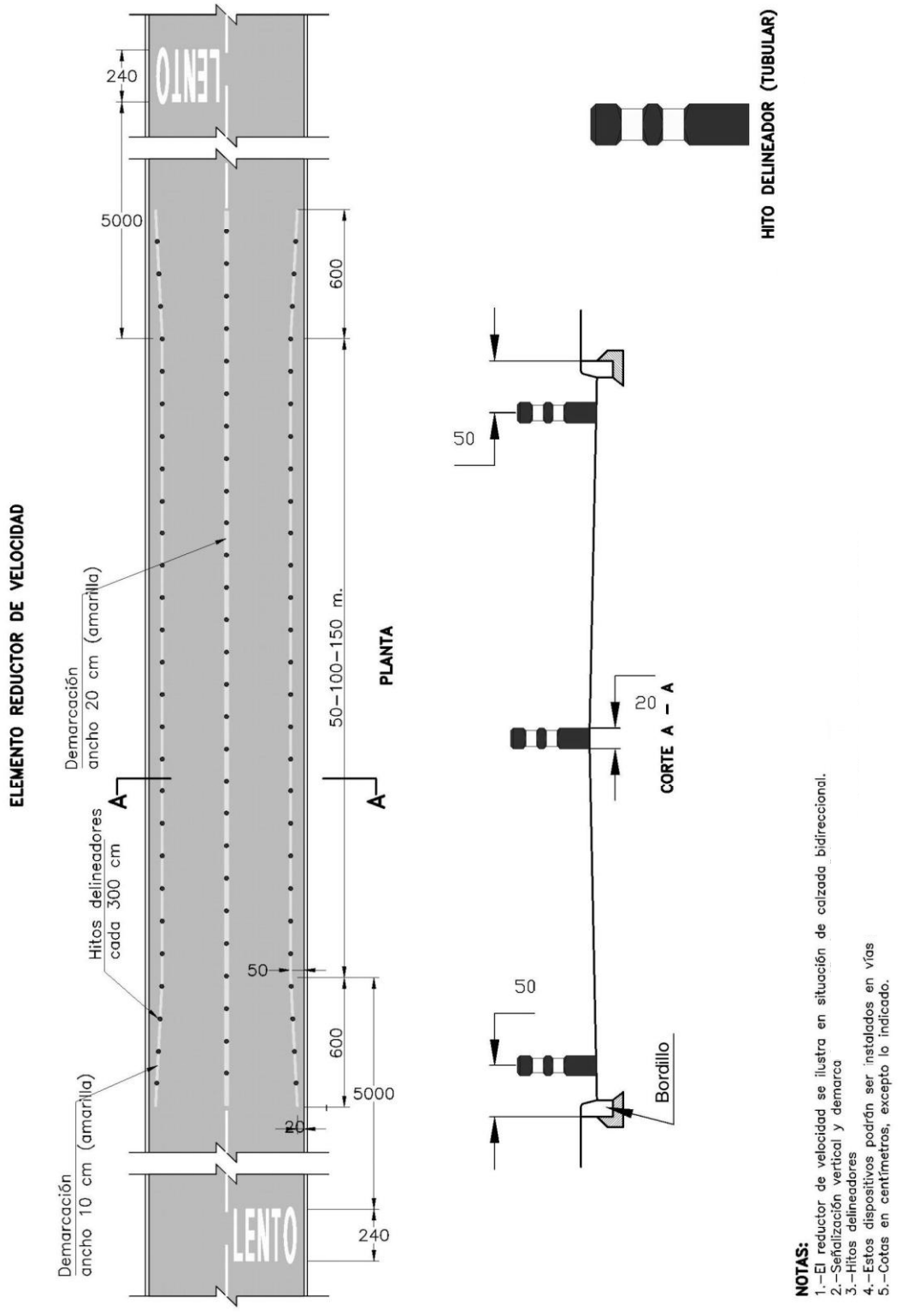


GRÁFICO 110
ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD TRAMOS DE ESTRECHAMIENTO DE CARRILES DEMARCACIÓN E HITOS DELINEADORES (TUBULARES)



BIBLIOGRAFÍA

.- Diseño Geométrico de Carreteras, James Cárdenas Grisales, 2008

.- Carreteras Estudio y Proyecto, Jacobo Carciente, 1985

.-Manual de Carreteras, Luis Bañón Blázquez – José F. Beviá García,2000

.- A Policy on Geometric, Design of Highways and Streets , American Association of State Highway and Transportation Officials, 1994

.-Manual de Diseño Geométrico, Dirección Nacional de Vialidad Ministerio de Obras Públicas Gobierno de Chile, 2004

.-Geometric Design Guidelines, South African National Road Agency Limited, 2006

.-Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, COMITRAN,Consultor Responsable: Raúl Leclair,2001

.-Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos Calles y Puentes, Ministerio de Transportes e Infraestructura República de Nicaragua.

-Plan Puebla Panamá Iniciativa de Integración Vial, Red Internacional de Carreteras , Mesoamericanas (RICAM), 2002

.-Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Administradora Boliviana de Carreteras, República de Bolivia, 2007

.-Manual de Carreteras, Dirección General de Carreteras (SOPTRAVI), República de Honduras,1996

.-Manual de Diseño Geométrico para Carreteras, Instituto Nacional de Vías, Ministerio de Transporte, República de Colombia, 1998

.-Manual de Diseño de Proyecto Geométrico de Carreteras de SCT, Subsecretaria de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio, Dirección General de Ordenación del Territorio, República de México.

.- Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, Dirección de Normatividad Vial, República del Perú, 2000