FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS DE LA DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del Jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia sólamente a los alumnos que tengan un mínimo del 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el período de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tésis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

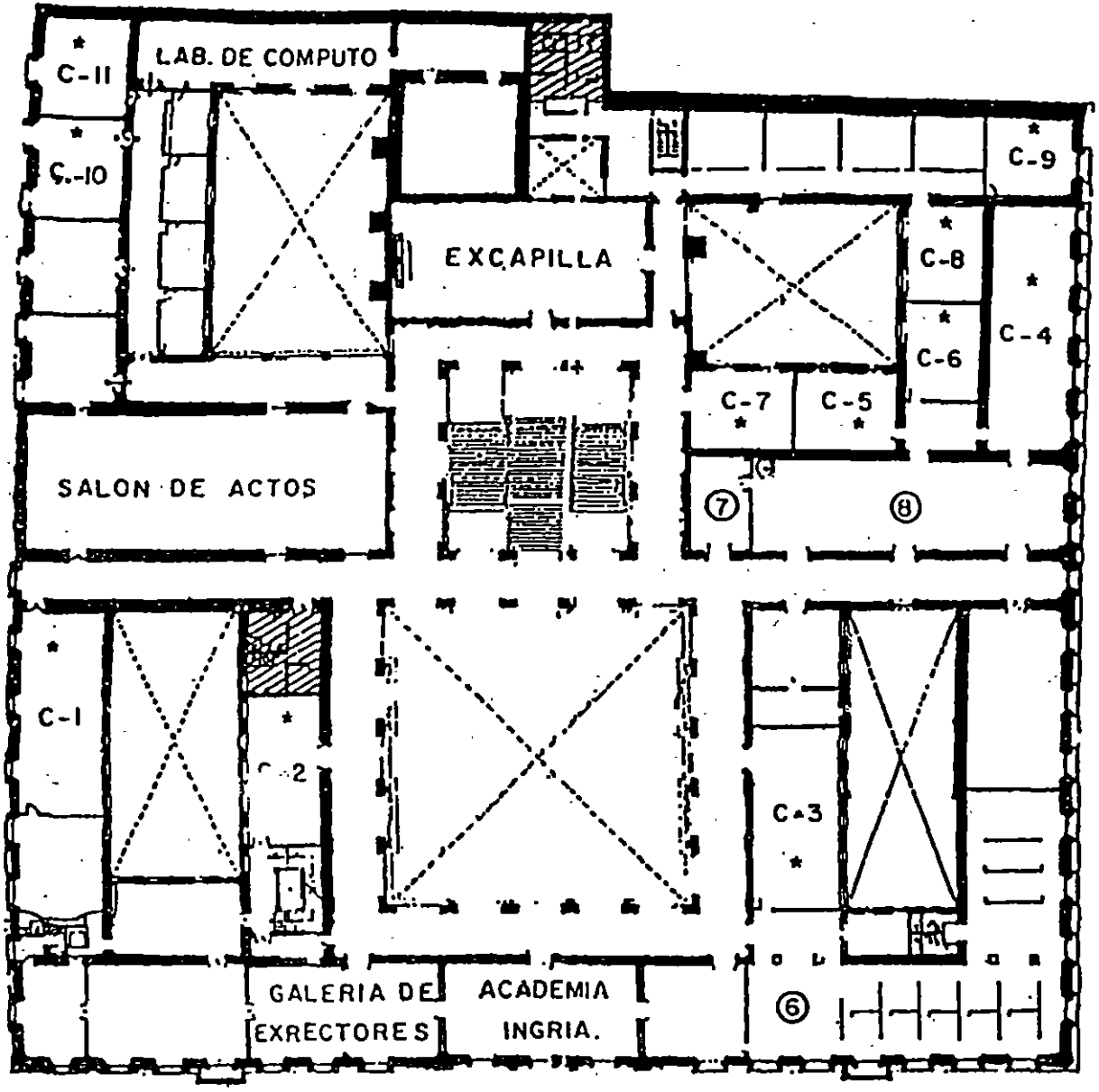
Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con ésto sean más fehacientes sus apreciaciones.

¡ G R A C I A S !

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. APDO. Postal M-2285
Teléfonos: 512-8955 512-5121 521-7335 521-1987 Fax 510-0573 521-4020 AL 26



1er. PISO

GUIA DE LOCALIZACION

1 – ACCESO

2 – BIBLIOTECA HISTORICA

3 – LIBRERIA U N A M

4 – CENTRO DE INFORMACION Y DOCUMENTACION "ING. BRUNO MASCANZONI"

5 – PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACION

* AULAS

6 – OFICINAS GENERALES

7 – ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA.

8 – SALA DE DESCANSO

SANITARIOS

FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES

NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA PROYECTOS CARRETEROS

Del 12 al 14 de Junio de 1995

DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

MATERIAL DIDACTICO

AUTOR: ING. LUIS DOMINGUEZ POMMERENCKE

INSTRUCTOR: ING. FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtemoc 06000 México D.F. APDO. Postal M-2285
Teléfonos 512-8955 512-5121 521-7335 521-1987 Fax 510-0573 512-5121 521-4020 AL 26

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

NORMAS DE PROYECTO GEOMETRICO DE CARRETERAS

CONTENIDO

OCTUBRE DE 1994

N O R M A S S. C. T.
LIBRO 2
P R O Y E C T O
PARTE 2.02
PROYECTO GEOMETRICO DE CARRETERAS

TITULO 2.02.01

INTRODUCCION

CAPITULO 001 ANTECEDENTES

Durante muchos años, la referencia principal utilizada por los proyectistas de carreteras, ha sido el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras editado por la SCT en 1971. Hay que reconocer que dicho Manual ha venido cumpliendo una función vital como auxiliar de los técnicos responsables de esta actividad, en México y en varios países de Latinoamérica. Además, su carácter didáctico ha servido para difundir esta disciplina en el ámbito académico.

Varios años después, se recogen los aspectos esenciales de índole práctico, relacionados con el proyecto de los elementos básicos del alineamiento horizontal y vertical de una carretera. Es así que en 1984, salen a la luz las Normas de Proyecto Geométrico de Carreteras, que forman parte de las Normas de Servicios Técnicos de la SCT.

CAPITULO 002 CONSIDERACIONES GENERALES

Sin dejar de reconocer el indudable valor de los documentos citados anteriormente, se ha estimado conveniente preparar una nueva versión de las Normas de Proyecto Geométrico de Carreteras con una perspectiva y enfoque diferentes que permitan desarrollar los proyectos sin las restricciones que normalmente impone una normatividad convencional.

En estas Normas, concebidas con un carácter conceptual, se establecen los criterios técnicos esenciales que pueden servir de orientación en el proyecto. Su contenido se ha despojado del sentido obligatorio con objeto de que el proyectista pueda desarrollar su trabajo con entera libertad y creatividad.

Con el fin de no perder ese carácter conceptual, se ha tratado en lo posible, de evitar desarrollos matemáticos extensos que pretendan deducir fórmulas o expresiones ya conocidas, sin embargo para aclarar dudas que pudieran surgir, al final de cada Título de estas Normas se incluyen varias referencias bibliográficas sobre el tema.

Cuando se ha reconocido su utilidad práctica y su aplicación en nuestro medio, se han incorporado aquellos conceptos sobre proyecto geométrico que han surgido en los últimos años. Los aspectos de naturaleza invariable relacionados con el proyecto geométrico se han tomado del Manual Geométrico de Carreteras y de las actuales Normas de Servicios Técnicos.

En diferentes partes del cuerpo de estas Normas se ha enfatizado la conveniencia de que el Proyecto Geométrico de Carreteras se contemple no como un fin, sino como el medio para lograr que el transporte de personas y mercancías se haga en las mejores condiciones de eficiencia y seguridad. En estas circunstancias, más allá del simple objetivo de

realizar proyectos que conduzcan a obras con el menor costo posible, se destaca la necesidad de analizar en cada caso, las implicaciones que pudieran tener los distintos rasgos del Proyecto sobre la operación del transporte. Ahorros aparentemente considerables en costos iniciales de construcción pueden tener, en el largo plazo, consecuencias negativas incalculables que pueden afectar a la economía nacional al hacerse extensiva esta práctica.

Se han incorporado también, los resultados de las investigaciones realizadas por el Instituto Mexicano del Transporte sobre aspectos tales como: relación peso/potencia de los vehículos de carga que circulan en la red nacional de carreteras, comportamiento de los camiones en pendientes ascendentes, capacidad vial en carreteras de dos carriles y aspectos relacionados con el proyecto del tercer carril de ascenso en carreteras de dos carriles.

Tomando en cuenta el intenso desarrollo que está experimentando la red de autopistas, se ha incluído un título específico que enfatiza los aspectos relevantes de este tipo de vías y uno sobre entronques y pasos a desnivel que complementa al anterior y que contiene un gran número de ejemplos y soluciones geométricas de intersecciones.

Considerando la importancia que tiene la integración de las carreteras en el medio urbano, las Normas contemplan aspectos relacionados con el proyecto de libramientos que consideren el tránsito de paso y el acceso controlado del flujo vehicular hacia y desde el área urbana.

Se incluyen también los criterios que conviene incorporar al Proyecto Geométrico para no afectar el patrimonio histórico y ecológico en el entorno de las obras que se pretendan construir, y un título dedicado al proyecto de los servicios complementarios que deben proporcionarse a S
los usuarios de las carreteras.

N O R M A S S. C. T.
LIBRO 2
P R O Y E C T O
PARTE 2.02.02
PROYECTO GEOMETRICO DE CARRETERAS

TITULO 2.02.02

CONTROLES Y CRITERIOS DE PROYECTO

CAPITULO 001 INTRODUCCION

En este capítulo se discuten aquellas características de los vehículos de los peatones y del tránsito que intervienen en el desarrollo de criterios para la optimización o mejoramiento del proyecto geométrico de carreteras.

CAPITULO 002 VEHICULOS DE PROYECTO

002.A Características Generales.

Las características físicas de los vehículos y la proporción de los diferentes tamaños de vehículos que usan las carretas, son controles indispensables en el proyecto geométrico. Es necesario por consiguiente, que todos los tipos de vehículos sean agrupados en clases generales para establecer el tamaño de los vehículos representativos dentro de cada clase. Los vehículos de proyecto elegidos son aquellos cuyo peso, dimensiones y características de operación se utilizan como controles de proyecto para acomodar una clase determinada de vehículos. Cada vehículo de proyecto posee dimensiones físicas más grandes y radios de giro mayores que casi todos los vehículos en su clase. En autopistas, por ejemplo, se da cabida usualmente a los vehículos de proyecto más grandes. En la Tabla 2-1, se muestran las dimensiones máximas autorizadas a los vehículos que circulan en la Red Nacional de Carreteras. (Referencia 2-5). Y otras dimensiones asociadas a los vehículos de proyecto, obtenidas directamente en el campo.

Para fines de proyecto geométrico de carreteras, se han seleccionado dos clases generales de vehículos: 1) vehículos ligeros (automóviles, camionetas y vehículos ligeros de reparto) y 2) vehículos pesados (todos los tipos de camiones de dos o más ejes y autobuses). Las dimensiones de los vehículos representativos dentro de estas dos clases generales se muestran en la tabla 2-2.

En el proyecto de cualquier carretera se elegirá aquel vehículo de proyecto de dimensiones más grandes, con probabilidad de circular con mayor frecuencia, o un vehículo de proyecto cuyas características especiales tengan que ser tomadas en cuenta en el dimensionamiento de ciertos elementos críticos como son el radio en intersecciones o el radio de curvatura en carreteras.

002.B Trayectorias de Giro Mínimas.

Las dimensiones principales que afectan el proyecto son el radio de giro mínimo, la distancia entre la huella de las llantas, la distancia entre ejes extremos y la trayectoria de la llanta trasera interna. Se supone que el efecto de las características de conducción del vehículo y el ángulo de las

Tipo de Vehículo	Simbolo	Dimensiones (m) (1)									
		Ancho	Largo		Alto	DE		VD	VT	LR	LS
		Max.	Min.	Max.	Max.	Min.	Max.	Max.	Max.		
Vehículos ligeros											
Automóvil particular	Ap	2 14	nd	5 80	1 67	nd	3 35	0 92	1 53		
Autobuses de pasajeros											
Autobús integral 2 ejes	B2	2 60	12 50	14 00	4 15	5 80	6 40	2 30	3 30		
Autobús convencional 2 ejes	B2c	2 60	12 50	14 00	4 15	6 00	7 90	0 90	3 05		
Autobús integral 3 ejes	B3	2 60	12 50	14 00	4 15	7 50	8 00	2.40	3 20		
Autobús integral 4 ejes	B4	2 60	12 50	14 00	4 15	nd	nd	nd	nd		
Camiones sencillos de carga											
Camión de 2 ejes	C2	2 60	12 50	14 00	4 15	3 10	7 00	1 00	3 20		
Camión de 3 ejes	C3	2 60	12 50	14 00	4 15	6 10	7 10	1 20	2.60		
Camión de 4 ejes	C4	2 60	12 50	14 00	4 15	nd	nd	nd	nd		
Camiones articulados de carga											
Camión de 2 ejes con remolque de 2 ejes	C2-R2	2 60	22.50	31 00	4 15	nd	nd	nd	nd	nd	
Camión de 3 ejes con remolque de 2 ejes	C3-R2	2 60	21 50	28 50	4 15	nd	25 10	1 30	2 20	14 00	
Camión de 3 ejes con remolque de 3 ejes	C3-R3	2 60	21 50	28 50	4 15	nd	22 90	1 03	2 30	15 00	
Tractor de 2 ejes con semiremoque de 1 eje	T2-S1	2 60	16 50	20 80	4 15	nd	nd	nd	nd		nd
Tractor de 2 ejes con semiremoque de 2 ejes	T2-S2	2 60	16 50	20 80	4 15	nd	nd	nd	nd		nd
Tractor de 3 ejes con semiremoque de 2 ejes	T3-S2	2.60	16 50	20 80	4 15	14 20	17 00	1 30	2 10		14 60
Tractor de 3 ejes con semiremoque de 3 ejes	T3-S3	2 60	16 50	20 80	4 15	17 70	14 60	1 20	1 50		14 60
Tractor de 3 ejes con semiremoque de 1 eje y remolque de 2 ejes	T3-S1-R2	2.60	23 50	31 00	4 15	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tractor de 2 ejes con semiremoque de 2 ejes y remolque de 2 ejes	T2-S2-R2	2 60	23 50	31 00	4 15	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tractor de 2 ejes con semiremoque de 1 eje y remolque de 2 ejes	T2-S1-R2	2 60	23 50	31 00	4 15	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tractor de 3 ejes con semiremoque de 2 ejes y remolque de 2 ejes	T3-S2-R2	2 60	23 50	31.00	4.15	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tractor de 3 ejes con semiremoque de 2 ejes y remolque de 3 ejes.	T3-S2-R3	2 60	23 50	31 00	4 15	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tractor de 3 ejes con semiremoque de 2 ejes y remolque de 4 ejes	T3-S2-R4	2.60	23 50	31 00	4 15	26 12	31 00	1 20	1 03	9 14	14 60

(1) Las dimensiones de ancho, largo y alto, son las autorizadas por la SCT en el "Reglamento de Pesos y Dimensiones de 1994", las demás (DE, VD, VT, LR y LS) son dimensiones obtenidas en campo

DE = Distancia entre ejes
VD = Vuelo delantero
VT = Vuelo trasero.
LR = Longitud del remolque
LR = Longitud del semiremolque
nd = no disponible

Tabla 2-1. Dimensiones principales de los vehículos que circulan por la red nacional carretera.

CARACTERISTICAS	VEHICULO DE PROYECTO				
	DE-335	DE-610	DE-1220	DE-1525	DE-2520
Longitud total del vehículo	580	1050	1525	1800	2720
Distancia entre ejes extremos del vehículo	335	610	1220	1525	2520
Vuelo delantero	92	150	122	110	100
Vuelo trasero	153	290	183	165	100
Ancho total del vehículo	214	250	255	255	255
Entrevía del vehículo	183	250	255	255	255
Altura total del vehículo	167	350	410	410	410
Altura de los ojos del conductor	107	205	250	250	250
Altura de los faros delanteros	61	105	112	112	112
Altura de los faros traseros	61	125	100	100	100
Angulo de desviación del haz de los faros	1°	1°	1°	1°	1°
Radio de giro mínimo	732	1281	1220	1372	nd
Relación Peso/Potencia	nd	180	210	210	210
Vehículos representados por el proyecto	Ap	B2, B3 C2, C3	T2-S1 T2-S2	T3-S2 T3-S3	T3-S2-R4
Por ciento del total de vehículos pesados	--	57	1	39	2

Tabla 2-2 Características de los principales vehículos de proyecto.

llantas, se minimizan si se supone que la velocidad del vehículo en los giros más cerrados es inferior a 15 km/h. Los requerimientos de proyecto para camiones y autobuses son mucho más severos que para automóviles. Los camiones y autobuses son más anchos, tienen entrevías más grandes y radios de giro mínimos mayores. Estas son las principales dimensiones que afectan el proyecto del alineamiento horizontal de las carreteras.

Los radios de giro mínimo y las longitudes de transición que se muestran, corresponden a giros realizados a menos de 15 km/h. Mayores velocidades requieren de curvas de transición más largas y de radios de giro mínimos mayores, aunque algunos conductores son capaces de reducir estos radios.

A título de ejemplo, en la Figura 2-1, se muestran las principales dimensiones del vehículo de proyecto DE-610, así como su radio de giro mínimo y las trayectorias de las ruedas para un giro de 180º. Estas trayectorias, para unidades combinadas o articuladas, se obtienen de modelos a escala y dibujos de computadora. Las trayectorias para otros vehículos pueden consultarse en las Referencias 2-1 y 2-3.

002.C Aceleración y Desaceleración.

La capacidad de aceleración y desaceleración de los vehículos, son parámetros críticos en el diseño de una carretera. Estos gobiernan a menudo ciertos elementos del proyecto como intersecciones, rampas en autopistas, carriles de ascenso y bahías para autobuses. En general, el proyecto será controlado por los camiones y autobuses debido a sus mayores relaciones peso/potencia.

002.D Contaminación Vehicular.

Los contaminantes que emiten los vehículos de motor y su impacto en los usos del suelo adyacentes son factores que afectan el proyecto de una carretera. Al circular, los vehículos emiten contaminantes a la atmósfera y transmiten ruido al área circundante. El proyectista debe reconocer estos impactos y evaluarlos durante el proceso de selección de alternativas. Hay muchos factores que afectan la emisión de contaminantes, entre ellos están la mezcla de vehículos de diferentes tipos, la velocidad, la temperatura ambiente, la edad de los vehículos y los vehículos que operan con el motor frío, especialmente en áreas urbanas.

El ruido del motor es generado por el funcionamiento del equipo dentro del vehículo, por su aerodinámica, por la acción de las llantas sobre el camino y en áreas metropolitanas, por el accionar de los frenos, el escape del motor, bocinas y sirenas de los vehículos de emergencia. Los camiones, particularmente los más pesados propulsados por diesel, presentan los problemas más difíciles de ruido en una

003.C.01 Ubicación en el Camino.- Las decisiones del conductor para ubicarse en un carril y desplazarse detrás de otro vehículo, son básicas en la tarea de guiar a éste; los movimientos del volante y el juicio sobre la velocidad representan los elementos principales. El conductor usa un proceso de retroalimentación para seguir el alineamiento y la pendiente y mamntenerse en el camino bajo las condiciones ambientales prevalecientes. Las decisiones para evitar obstáculos se integran a las actividades de conservar su carril y guardar la distancia con el vehículo que le precede. De esta manera, la tarea de guiar al conductor es permanente.

003.C.02 Ubicación en la Corriente de Tránsito.- Al conducir detrás de otro vehículo, los conductores modifican constantemente su velocidad para mantener una distancia de seguridad. Para ello, tienen que evaluar la velocidad del vehículo de adelante y la velocidad y posición de los otros vehículos en la corriente de tránsito y detectar, evaluar y responder continuamente a los cambios.

003.C.03 Alcances y Rebases.- Las decisiones de alcanzar y rebasar son aún más complejas requiriendo modificar su ubicación en el camino, al seguir a otro vehículo y en el control de la velocidad. Al rebasar los conductores tienen que juzgar la velocidad y aceleración potencial de su propio vehículo, la velocidad y el ritmo con que se acerca el vehículo que se aproxima así como la presencia de un espacio aceptable en la corriente de tránsito.

003.D El Sistema de Información.-

El sistema de información de la carretera está constituido por los distintos elementos que orientan al usuario en su recorrido; las fuentes de información formalmente utilizadas son los dispositivos para el control del tránsito diseñados específicamente con ese propósito. Las fuentes informales incluyen ciertos elementos del proyecto como son las juntas de pavimento, las líneas de árboles y el propio tránsito. Conjuntamente ambas fuentes despliegan la información que requieren los conductores para guiar sus vehículos con seguridad; al interrelacionarse refuerzan y aumentan su utilidad al máximo.

003.D.01 Dispositivos para el Control del Tránsito.- Los dispositivos para el control del tránsito constituyen la guía y orientación que requieren los conductores. Incluyen información de carácter restrictivo, preventivo e información para guiar al conductor en su ruta. Los dispositivos como marcas en el pavimento y delineadores despliegan también información que hace más conspicuo el entorno durante el viaje.

003.D.02 El Camino y su Entorno.- La elección de velocidades y trayectorias depende de la capacidad que tengan los conductores para visualizar el camino. Los conductores deben ver el camino directamente enfrente de sus vehículos y con suficiente anticipación para predecir con un grado razonable de precisión las características del alineamiento, de la pendiente, de la anchura y de los demás elementos que conforman el camino.

003.E Captación de Información.

Al circular, los conductores realizan varias funciones casi simultáneamente. Dirigen su atención a las fuentes de información, toman numerosas decisiones y ejecutan las acciones de control necesarias. La información deberá estar siempre en el campo de visión del conductor, disponible cuando éste la requiera y en posición adecuada para captar su atención. Los conductore evalúan la información que reciben fijando su atenciòn durante períodos cortos, cambiándola con frecuencia a fuentes alternas; algunas decisiones las toma inmediatamente y otras las retarda basándose en su juicio, capacidad de predicción y evaluación de las incidencias durante su viaje.

003.E.01 Tiempo de Reacción.- El tiempo de reacción de los conductores aumenta en la medida en que aumenta la complejidad de las decisiones y el contenido de la información. Mientras mayor sea el tiempo de reacción, más grande será la posibilidad de caer en el error. De acuerdo con investigaciones, algunos conductores requieren hasta 2.7 segundos para reaccionar y actuar ante situaciones simples e inesperadas. Si las decisiones son complejas con varias alternativas el tiempo de reacción puede ser varios segundos mayor. La figura 2-2 muestra esta relación para el 85 percentil de conductores.

003.E.02 Prioridad.- La prioridad se refiere a la importancia relativa que, para la seguridad del conductor, tiene la información que está compitiendo entre sí. Por consiguiente, el proyecto debe dirigir la atención del conductor hacia los elementos críticos de seguridad o fuentes de información con más alta prioridad.

003.E.03.- Expectativas del Conductor.- Las expectativas del conductor son resultado de su experiencia y entrenamiento. El conductor almacena en su acervo de conocimientos aquellas experiencias que han ocurrido generalmente de la misma manera y para las cuales ha tenido una respuesta.

La expectativa se refiere a la rapidez del conductor para reaccionar de manera predecible y adecuada ante situaciones comunes. Reforzar sus expectativas ayuda a los conductores a responder rápida y correctamente.

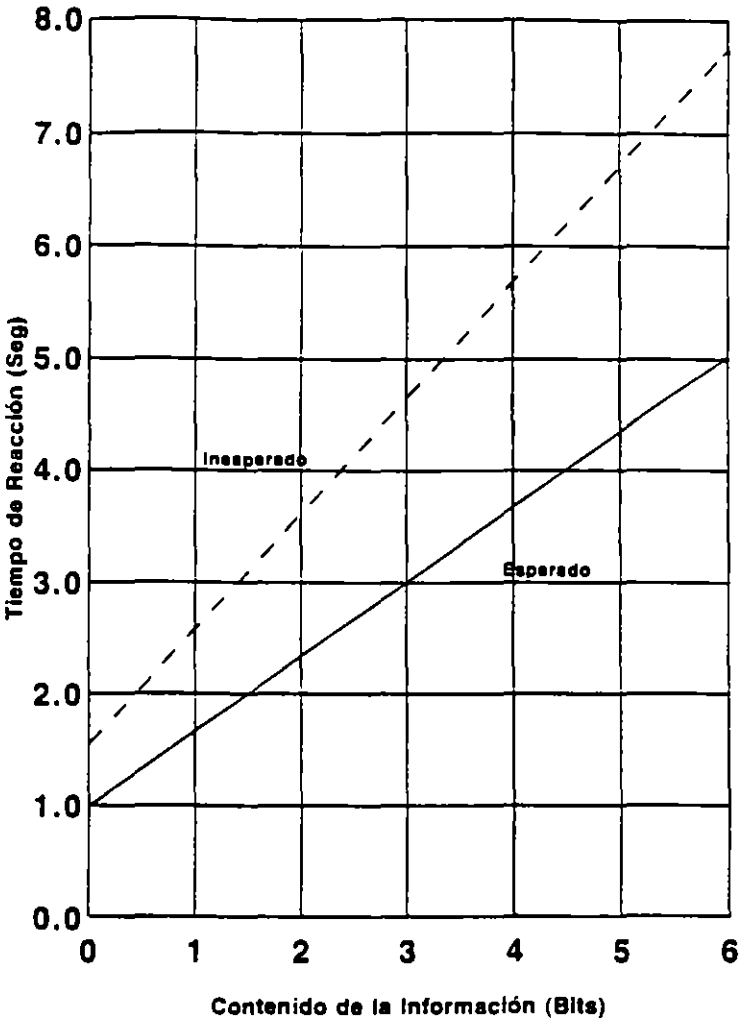


Figura 2-2 Tiempo de reacción para el 85 percentil de los conductores.

Las características del proyecto deberán ser suficentemente consistentes para crear expectativas semejantes relacionadas con aspectos geométricos y operacionales comunes durante su recorrido. Por ejemplo, como en las autopistas las salidas están usualmente del lado derecho, los conductores esperan siempre encontrarlas de ese lado.

La realización de proyectos acordes con las expectativas prevalecientes es una de las formas más importantes de mejorar la operación de un camino. Los elementos del proyecto deberán aplicarse consistentemente en toda la carretera evitando proyectos poco usuales o fuera de los estándares establecidos.

003.F Errores del Conductor.

Una característica común de lugares con alta incidencia de accidentes es que se demanda del conductor una gran capacidad para procesar información.

En lugares donde el proyecto es deficiente aumenta la probabilidad de cometer errores y se propician comportamientos inadecuados del conductor.

003.F.01.- Errores por Deficiencias del Conductor.- Muchos errores se deben a deficiencias de capacidad y a estados emocionales temporales que sumados a proyectos inadecuados provocan errores del conductor. Por ejemplo, un entrenamiento deficiente contribuye a menudo a dificultar la recuperación después de un derrapamiento del vehículo. Igualmente el riesgo excesivo que toman algunos conductores al juzgar los espacios libres para cruzar una corriente vehicular pueden hacerlo caer en el error.

No es posible, en general, durante el proceso de proyecto, reducir los errores causados por deficiencias innatas de los conductores. Por esta razón los proyectos deberán ser, hasta donde sea posible, concebidos generosamente para disminuir las consecuencias de este tipo de fallas. Los errores de conductores competentes se pueden reducir, como es natural, cuando los proyectos y la operación son adecuados.

003.F.02 Errores Debidos a Situaciones Complejas.- Los conductores cometen errores cuando tienen que desarrollar varias tareas complejas, simultáneamente y bajo presión excesiva de tiempo. Este tipo de errores ocurre usualmente en localidades urbanas con puntos de decisión muy cercanos entre sí, uso del suelo intensivo, elementos del diseño complicados y tránsito muy intenso.

003.G Velocidad y Proyecto.

La velocidad reduce el campo visual, restringe la visión periférica y limita el tiempo disponible para recibir y

procesar información. Las carreteras con altas especificaciones de proyecto ayudan a compensar estas limitaciones al simplificar las acciones de control y de guía del vehículo. Es posible en estos casos auxiliar a los conductores con información apropiada colocada en el cono de visión más claro, eliminando así gran parte de la visión periférica; mediante un espaciamiento adecuado, de los puntos potenciales de conflicto se pueden simplificar las decisiones y reducir la demanda ejercida sobre los conductores para procesar la información.

Las autopistas propician que los conductores tiendan a extender la longitud y duración de sus viajes, lo cual provoca fatiga, reacciones más lentas y menor atención y vigilancia de las incidencias del camino. Conducir durante períodos largos en carreteras donde el conductor tiene que tomar pocas decisiones, contribuye a evitar que éste fije su atención en el entorno que lo rodea. El proyecto deberá tomar en cuenta estos efectos adversos y disminuir sus consecuencias. Lo anterior se consigue evitando tramos largos en tangente, en terreno plano y procurando que los alineamientos sigan el contorno natural del terreno hasta donde sea posible. La ubicación de paradores o áreas de descanso a intervalos convenientes puede ser útil también para evitar las consecuencias arriba señaladas.

003.H Calificación del Proyecto.

Al diseñar un tramo de carretera, los proyectistas deberán valorar el proyecto imaginando a éste en condiciones reales de operación. Deberá determinarse la manera en que interactúa la carretera con el medio que la rodea, evaluar el potencial sistema de información y la forma en que dicho sistema podría responder ante situaciones reales de operación del tránsito. El proyecto en general, deberá examinarse desde el punto de vista de los conductores que aún no están familiarizados con la nueva vía, de su probable respuesta al entrar en operación y del efecto que tendrá en la conducción de sus vehículos.

CAPITULO 004 CARACTERISTICAS DEL TRANSITO

004.A Consideraciones Generales.

El proyecto de una carretera o de cualquiera de sus elementos deberá basarse en datos reales, entre los cuales están los relativos al tránsito.

Las características de tránsito son indicativas del servicio que prestará la carretera y afectan directamente a los diversos elementos que integran el proyecto geométrico.

En general, los datos del tránsito se encuentran disponibles en el acervo de información sobre datos viales que

periódicamente publica la SCT; estas publicaciones contienen datos sobre el tránsito diario promedio anual (TDPA), composición vehicular, pesos y dimensiones de los vehículos de carga y otros datos relevantes para el proyecto.

004.B Volumen de Tránsito.-

004.B.01 Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA).- La unidad de medida que se utiliza generalmente para medir el tránsito en una carretera es el Tránsito Diario Promedio Anual, definido como el volumen de tránsito durante un período (en días completos) mayor que un día y menor que un año, dividido entre el número de días que abarca ese período. El TDPA en una carretera puede determinarse rápidamente cuando se dispone de datos de estaciones de aforo permanentes. En el caso de datos registrados en ciertos períodos únicamente, el TDPA puede obtenerse corrigiendo los resultados de acuerdo con factores que tomen en cuenta la estacionalidad, el mes o el día de la semana.

El TDPA es importante para efectos de planeación, asignación de recursos financieros o para el diseño de los elementos estructurales de la carretera. Sin embargo, no es apropiada su utilización directa en el proyecto geométrico porque no proporciona variaciones del tránsito en períodos cortos cuyas fluctuaciones pueden ser considerables a lo largo del año.

004.B.02 Hora de Máxima Demanda.- El volumen de tránsito en períodos menores a un día refleja de manera más adecuada las condiciones de operación que deben usarse en el proyecto si se pretenden satisfacer los requerimientos del tránsito de una manera apropiada; en este sentido resultan significativos los períodos cortos con alta demanda. Para fines de proyecto, en casi todos los casos, se utiliza el período de una hora.

El patrón de tránsito en una carretera acusa considerables variaciones durante las diferentes horas del día con fluctuaciones horarias importantes a lo largo del año. Por consiguiente, tendrá que determinarse cuál de estos volúmenes de tránsito horario deberá usarse en el proyecto.

Sería ocioso predicar la utilización en el proyecto, del volumen de tránsito de la hora del año con mayor demanda ya que esto conduciría a situaciones de sobrediseño con el consiguiente desperdicio de recursos. Por otra parte, la utilización del volumen de tránsito de la hora promedio del año conduciría a diseños inapropiados. Como regla general el volumen de proyecto no deberá ser excedido demasiado ni con mucha frecuencia. Asimismo, no deberá ser tan alto que rara vez sea utilizada plenamente la carretera. Una guía para determinar el tránsito horario adecuado para proyecto es la curva que muestra la variación horaria de volúmenes durante todas las horas del año.

La figura 2-3 muestra la relación entre los volúmenes horarios más altos del año y el tránsito diario promedio anual en carreteras rurales, tomados del análisis de datos de algunas carreteras de México.

De estas curvas se concluye que el volumen horario utilizado en el proyecto debe ser el correspondiente a la treintava hora del año. Lo razonable de este criterio se infiere cuando se observa la desviación que puede resultar al elegir volúmenes por arriba o por abajo de esa treintava hora.

En carreteras rurales donde se presentan flucturaciones promedio en los flujos de tránsito, el treintavo volumen horario representa alrededor de 15% del TDPA.

004.C Distribución Direccional.

En carreteras rurales el TDPA es el tránsito total para ambas direcciones.

En carreteras con más de dos carriles o en carreteras de dos carriles con intercepciones importantes en su desarrollo o con carriles adicionales proyectados para construirse en etapas posteriores es esencial para fines de proyecto, conocer el volumen horario de tránsito en ambas direcciones.

La distribución direccional del tránsito durante las horas de mayor demanda, en carreteras rurales, es generalmente consistente año tras año y día tras día excepto en algunas carreteras de carácter turístico o recreacional. Por lo tanto puede aplicarse la distribución direccional observada en el presente, al volumen horario futuro elegido para proyecto.

El volumen horario de proyecto aplicable a carreteras de carriles múltiples puede calcularse multiplicando el tránsito diario promedio anual por el porcentaje que el treintavo volumen horario represente de ese TDPA y a continuación multiplicar el resultado obtenido por el porcentaje del tránsito correspondiente a la dirección predominante durante la hora de proyecto.

En el proyecto de intersecciones a nivel y distribuidores, es necesario conocer los volúmenes de tránsito de todos los movimientos que ocurren en la hora de proyecto. Esta información debe obtenerse para los períodos máximos de la mañana y de la tarde debido a que los patrones de tránsito pueden cambiar significativamente de un período a otro.

Normalmente el diseño se basa en el volumen horario de proyecto que va a ser alojado durante la hora de máxima

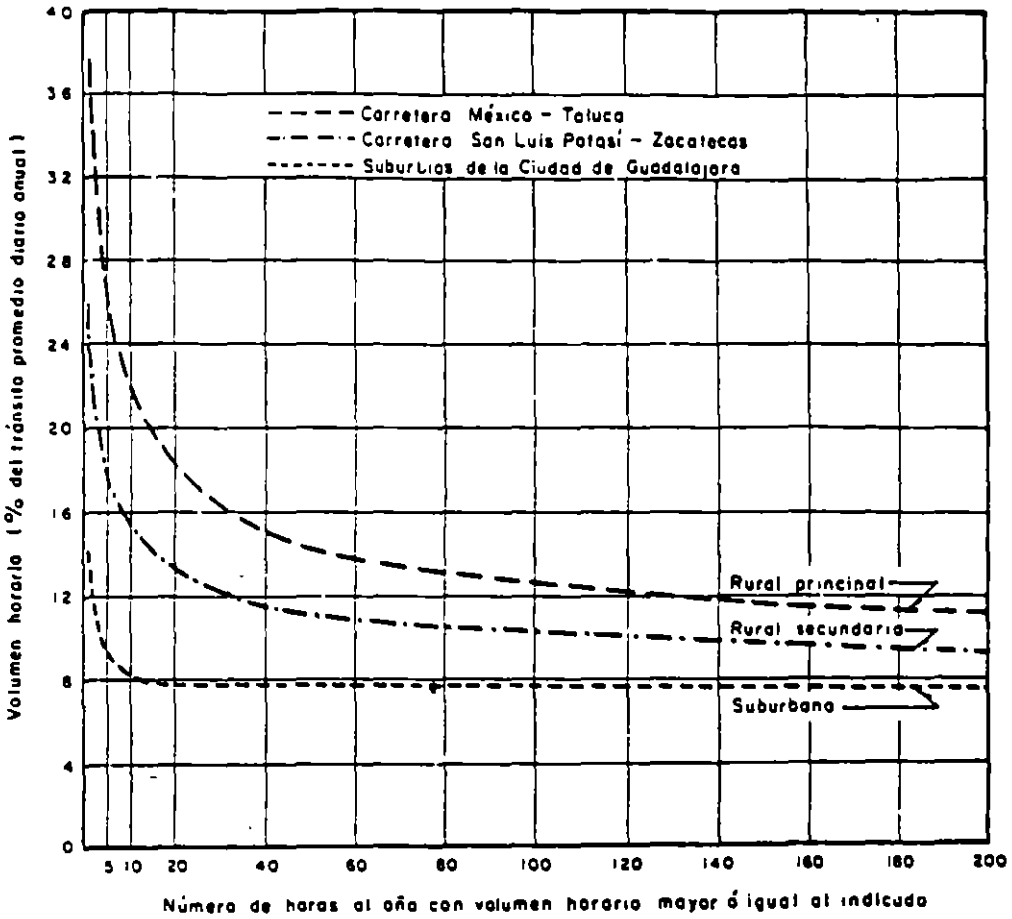


Figura 2-3 Relaciones entre los volúmenes horarios más altos del año y el tránsito promedio diario anual.

demanda de la mañana en una dirección y durante la hora de máxima demanda en la tarde, en la dirección opuesta.

En intersecciones deberán determinarse en forma separada, para los períodos de la mañana y de la tarde los porcentajes de tránsito que dan vuelta a la derecha y a la izquierda en cada uno de los accesos de la intersección.

004.D Composición del Tránsito.

En el proyecto de una carretera deberán considerarse las características de operación de vehículos de diferentes tamaños y pesos. Además de ser más pesados, los camiones son generalmente más lentos y ocupan mayor espacio en el camino, produciendo un efecto significativamente mayor que el de los vehículos ligeros. El número de vehículos equivalentes depende de la pendiente del camino y de la distancia de visibilidad disponible. Cuanto mayor sea la proporción de camiones en la corriente de tránsito, mayor será la capacidad requerida por la carretera.

Para condiciones de flujo contínuo del tránsito, típicas de áreas rurales, los tamaños y pesos de los vehículos se pueden agrupar en dos categorías según el efecto que producen en la operación:

1. Vehículos Ligeros.- (Todos los automóviles, camionetas y vehículos ligeros de reparto).

2. Camiones.- (Todos los autobuses, camiones de dos ejes y camiones con diversas combinaciones de tractor y semi-remolque o remolque).

En la categoría de los camiones, las características pueden variar mucho, particularmente en tamaño y en relación peso/potencia. Aunque la diferencia puede ser significativa entre dos camiones, la evaluación del efecto de todos los vehículos pesados en la corriente del tránsito generalmente conduce a resultados similares, bajo condiciones comparables. En estas circunstancias, es esencial, para el proyecto geométrico de una carretera, disponer de datos relativos a las características de los camiones. El número de camiones y autobuses de los distintos tipos, se expresa como un porcentaje del tránsito total que se espera utilice la carretera.

004.E Proyección de la Demanda de Tránsito.

El proyecto de nuevas carreteras o el mejoramiento de las existentes no puede basarse en los volúmenes de tránsito actuales sino en el tránsito que se espera en el futuro. Una carretera deberá proyectarse para alojar el tránsito estimado durante la vida útil de la obra, en condiciones razonables de mantenimiento.

Es difícil definir la vida útil de una carretera porque los segmentos principales de ésta, pueden tener longitudes y duraciones diferentes. Cada segmento está sujeto a variaciones respecto a las expectativas de vida útil estimadas, debido a que pueden existir influencias no previstas en el análisis, como son la obsolescencia y cambios inesperados en el uso del suelo, los que a su vez inciden en el patrón y magnitud de los volúmenes de tránsito.

Se considera que el volumen de tránsito correspondiente al año de proyecto debe ser aquél que pueda pronosticarse con una aproximación razonable. El rango generalmente utilizado comprende períodos que van de 15 a 25 años.

004.F Velocidad.

La velocidad es uno de los factores más importantes para que el usuario elija entre rutas o modos de transporte alternos. El atractivo de un sistema de transporte o de una carretera es apreciado por los usuarios en términos del tiempo y del dinero ahorrados así como del confort y de la seguridad que proporcionan.
El objetivo del proyecto de una carretera deberá ser el de satisfacer las demandas de servicio de la manera más segura y económica. La nueva obra deberá ser capaz de acomodar adecuadamente todas las demandas y soportar aquellas condiciones extremas de tránsito y de carga que se puedan presentar durante su vida útil. Al aplicar este principio a las velocidades de proyecto, deberán considerarse las expectativas de la mayoría de los usuarios.

004.F.01 Velocidad de operación.- Velocidad de operación es la máxima velocidad a la cual un vehículo puede viajar en un tramo de carretera en las condiciones prevalecientes del tránsito y bajo condiciones atmosféricas favorables, sin exceder en ningún caso la velocidad de proyecto del tramo.

004.F.02.- Velocidad de Proyecto.- Es la velocidad máxima que pueden sostener los vehículos con seguridad al circular en un tramo de carretera bajo condiciones atmosféricas y de tránsito, tan favorables, que sean las características del proyecto, las que gobiernen.

Dentro de lo posible deberán considerarse velocidades de proyecto altas, siempre y cuando se mantengan niveles adecuados de seguridad, movilidad y eficiencia y se consideren aquellas restricciones e impactos de índole económico, ambiental, estético, social y político que pudieran existir.

Una vez seleccionada la velocidad de proyecto, todos los elementos de la carretera deberán relacionarse con ella para obtener un proyecto balanceado.

Siempre que sea posible deberán usarse valores de la velocidad por arriba del máximo, sin embargo, debido a las restricciones que normalmente surgen durante el proceso de proyecto es necesario fijar valores prácticos.

La velocidad de proyecto deberá ser consistente con las expectativas del conductor. Cuando existen condiciones difíciles que son obvias, los conductores están mejor dispuestos a aceptar velocidades de operación menores, no así, cuando no hay una razón aparente que lo justifique.

En carreteras de primer orden se justifica el uso de velocidades de proyecto más altas que en vías de menor importancia cuando las condiciones topográficas son similares, particularmente cuando los ahorros en costos de operación son significativamente más altos que los de construcción y conservación.

En general, deberán evitarse velocidades de proyecto bajas en carreteras secundarias cuyo trazo se desarrolle en terreno plano ya que los conductores, en tales circunstancias, esperan circular a mayor velocidad.

Algunas características del proyecto como son la curvatura, la sobreelevación y la distancia de visibilidad están relacionadas directamente y pueden variar de manera apreciable con la velocidad de proyecto.

Aunque la velocidad de proyecto condiciona el máximo grado de curvatura y la distancia mínima de visibilidad, en algunos casos podrá ser aconsejable utilizar curvas horizontales más suaves y distancias de visibilidad más grandes si las condiciones de carácter económico del proyecto lo permiten.

Una consideración digna de tomarse en cuenta cuando se elige la velocidad de proyecto, es la longitud de los viajes. Mientras más largos sean los viajes mayor será la necesidad de que exista un movimiento expedito. En proyectos de carreteras con longitudes sustanciales, es deseable considerar velocidades de proyecto constantes. Los cambios en la topografía del terreno y otros controles físicos pueden sugerir un cambio en la velocidad de proyecto de ciertos tramos de la carretera; si este fuese el caso, la reducción de velocidades deberá hacerse gradualmente para que los conductores puedan acceder con seguridad al tramo de menor velocidad.

004.F.03.- Velocidad de Marcha.- En el proyecto es necesario conocer la velocidad de todo el tránsito en aquellos tramos de carretera que tienen velocidades de proyecto diferentes. La velocidad de todo el tránsito, mejor conocida como velocidad de marcha, es una medida del servicio que presta una carretera y es un parámetro que permite la evaluación de

beneficios y costos. Se obtiene dividiendo la distancia recorrida entre el tiempo efectivo de viaje (tiempo en que el vehículo está en movimiento).

La relación entre velocidades de proyecto y de marcha se ilustra en la figura 2-4.

004.F.04.- Relaciones del Flujo de Tránsito.- En un camino se mide en términos del número de vehículos por hora, de la velocidad en kilómetros por hora y de la densidad del tránsito en vehículos por kilómetro. Las tres variables, volumen, velocidad y densidad permiten describir las interrelaciones que existen en el flujo de tránsito. La figura 2-5 muestra la relación entre velocidad promedio y densidad, en tanto que la figura 2-6 muestra la relación entre volumen de tránsito y densidad.

CAPITULO 005 CAPACIDAD DE CARRETERAS

005.A Características Generales.

El término capacidad se utiliza para expresar el máximo número de personas y vehículos que pueden pasar razonablemente por un punto, por un tramo de carretera o por un carril durante un período determinado de tiempo, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y del camino.

005.B Aplicación.

La información sobre capacidad de carreteras persigue tres propósitos generales:

1. Se utiliza en estudios de planeación del transporte para adecuar la red de carreteras existentes al tránsito actual y al tránsito futuro que se estima circulará por dicha red.

2.- La información sobre capacidad es vital para el diseño de carreteras. Los análisis de capacidad permiten dimensionar diferentes elementos de la carretera como pueden ser el número de carriles y las longitudes de entrecruzamiento mínimas.

3.- La información sobre capacidad se utiliza también para identificar tramos y puntos con problemas en la operación del tránsito que sirven de base para proponer mejoramientos a la geometría del camino.

005.C La Capacidad como Control del Proyecto.-

005.C.01 Volumen de Proyecto y Volumen de Servicio de Proyecto.- El volumen de proyecto se refiere al flujo vehicular que se estima utilizará una vía durante el año de

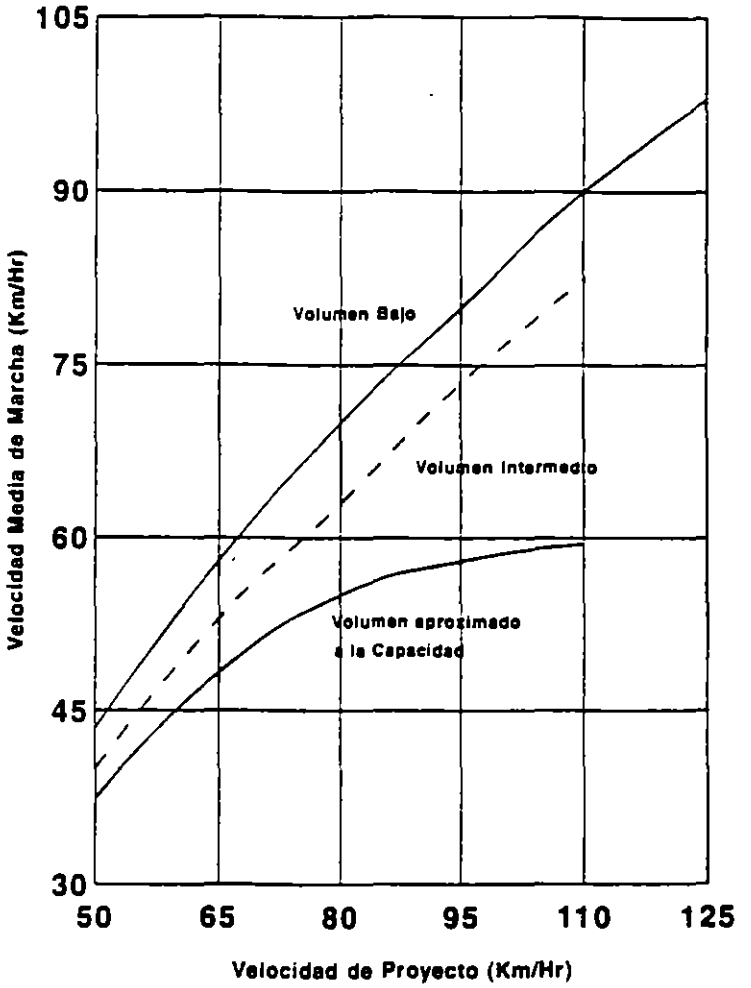


Figura 2-4 Relaciones entre la velocidad de proyecto y la velocidad de marcha.

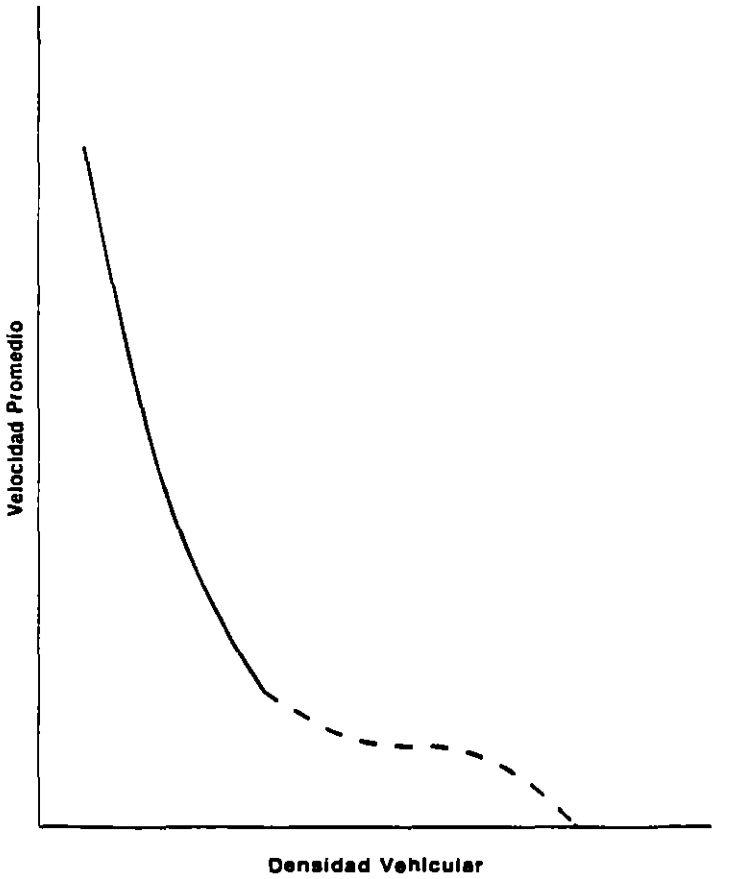


Figura 2-5 Relaciones entre la densidad vehicular y la velocidad promedio.

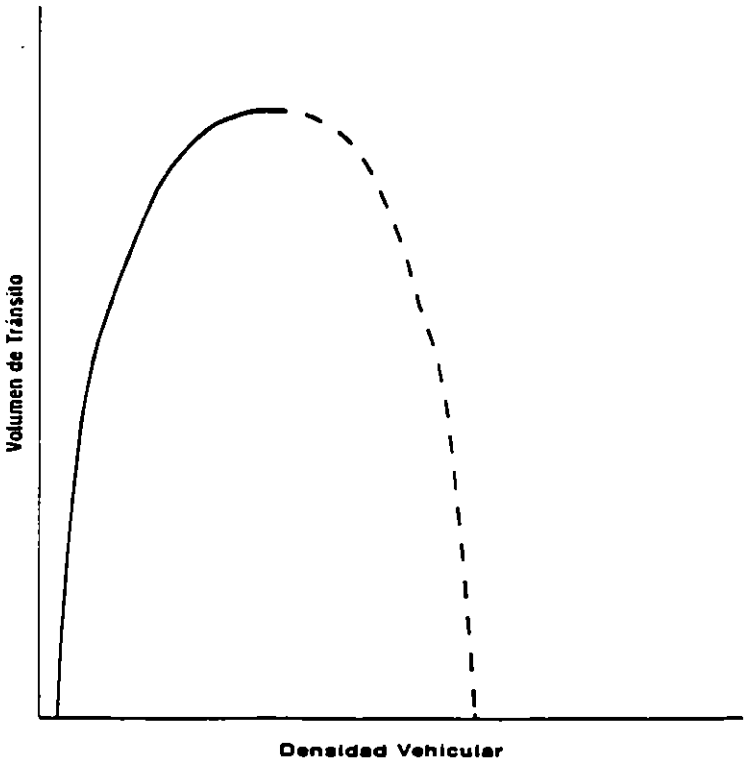


Figura 2-6 Relaciones entre la densidad vehicular y los volúmenes del tránsito.

proyecto; éste varía usualmente entre 10 y 25 años, usándose con frecuencia, en la práctica, 20 años.

El volumen de servicio de proyecto se refiere al volumen de tránsito máximo horario que una carretera sería capaz de alojar sin que se produzca deterioro en las condiciones de operación correspondientes al nivel de servicio seleccionado.

Dentro de este contexto, el proyecto de carreteras tiene por objeto concebir ciertas dimensiones de los elementos que conforman su geometría y características de su alineamiento, de tal manera, que la obra pueda alojar un volumen de servicio de proyecto cuando menos igual a la demanda de tránsito durante el período máximo de 15 minutos correspondiente a la hora de proyecto. Cuando se cumple este objetivo puede llegarse a un sistema de carreteras económico y balanceado.

005.C.02 Medidas de Congestionamiento.- Para condiciones de flujo contínuo donde no exista la influencia de intersecciones con semáforos, la operación queda definida por tres parámetros principales: velocidad, volumen (o flujo de tránsito) y densidad. La densidad es el parámetro crítico que describe la operación del tránsito; explica la proximidad entre vehículos y refleja la libertad de maniobrar dentro de la corriente de tránsito. Al incrementarse la densidad desde cero, el flujo de tránsito también crece al existir más vehículos en el camino. Al mismo tiempo, la velocidad empieza a declinar debido a la interacción entre vehículos siendo imperceptible este fenómeno a bajas velocidades. Al seguir creciendo la densidad se alcanza un punto en que la velocidad declina abruptamente.

El flujo de tránsito máximo que puede alojar una vía, es su capacidad. La densidad correspondiente a ese flujo máximo se le denomina densidad crítica y, velocidad crítica, a la velocidad correspondiente.

En condiciones de capacidad no existen espacios libres en la corriente de tránsito y cualquier perturbación producida por los vehículos no puede ser disipada inmediatamente.

005.D Niveles de Servicio.

Nivel de servicio es una medida cualitativa que define condiciones operacionales dentro de la circulación vial percibidas por el conductor y en general por los usuarios de la vía. Cada uno de los niveles de servicio establecidos, A al F (del mejor al peor) se explican en términos de la densidad, velocidad promedio de recorrido y relaciones volumen/capacidad (v/c) o en el caso de intersecciones a nivel, en términos de la demora de los vehículos detenidos.

005.E Volúmenes de Servicio de Proyecto.

Al flujo de tránsito que puede alojar una vía en cada nivel de servicio se le denomina volumen de servicio. Una vez identificado el nivel de servicio aplicable al proyecto es posible determinar el flujo o volumen de servicio correspondiente, el cual representa, lógicamente, el volumen de servicio de proyecto. Lo anterior, significa que si el volumen de tránsito que va a utilizar la vía excede a ese volumen de servicio, las condiciones de operación caerían por debajo del nivel de servicio elegido.

Una vez elegido el nivel de servicio, es deseable que todos los elementos del camino sean consistentemente proyectados para lograr congruencia en las condiciones de operación. La tabla 2-3 puede servir de guía para elegir niveles de servicio apropiados, según sea la importancia de la vía y su ubicación geográfica.

005.E.01 Zonas de Entrecruzamiento.- Se presentan zonas de entrecruzamiento, cuando en una corriente de tránsito se producen maniobras de convergencia y divergencia de los vehículos. Las principales situaciones de entrecruzamiento se ilustran en la figura 2-7. El proyectista tendrá que verificar y ajustar estas zonas para que el nivel de servicio sea consistente con el resto del camino. La designación del nivel de servicio en una zona de entrecruzamiento depende de su longitud, del número de carriles, del grado aceptable de congestionamiento y de los volúmenes relativos de tránsito de las corrientes vehiculares que se entrecruzan. Las zonas de entrecruzamiento deberán proyectarse con una longitud y un número de carriles congruente con el nivel de servicio elegido. En la tabla 2-3 se muestran algunos valores recomendables.

005.E.02 Intersecciones con Semáforos.- La capacidad entre intersecciones con semáforos está sujeta a un gran número de variables. En la medida en que estas variables puedan pronosticarse con certeza para el año de proyecto, se podrán estimar razonablemente las capacidades de proyecto.

005.F Análisis de Capacidad y Niveles de Servicio.

Para el análisis de capacidad y niveles de servicio de los diferentes elementos que integran una carretera, se sugiere la utilización de los procedimientos contenidos en la Referencia 2-7.

CAPITULO 006 CONTROL Y ACCESOS

La restricción regulada del acceso vehicular a una vía se le conoce como Control de Accesos. Esta regulación puede referirse a un control total o a un control parcial de accesos.

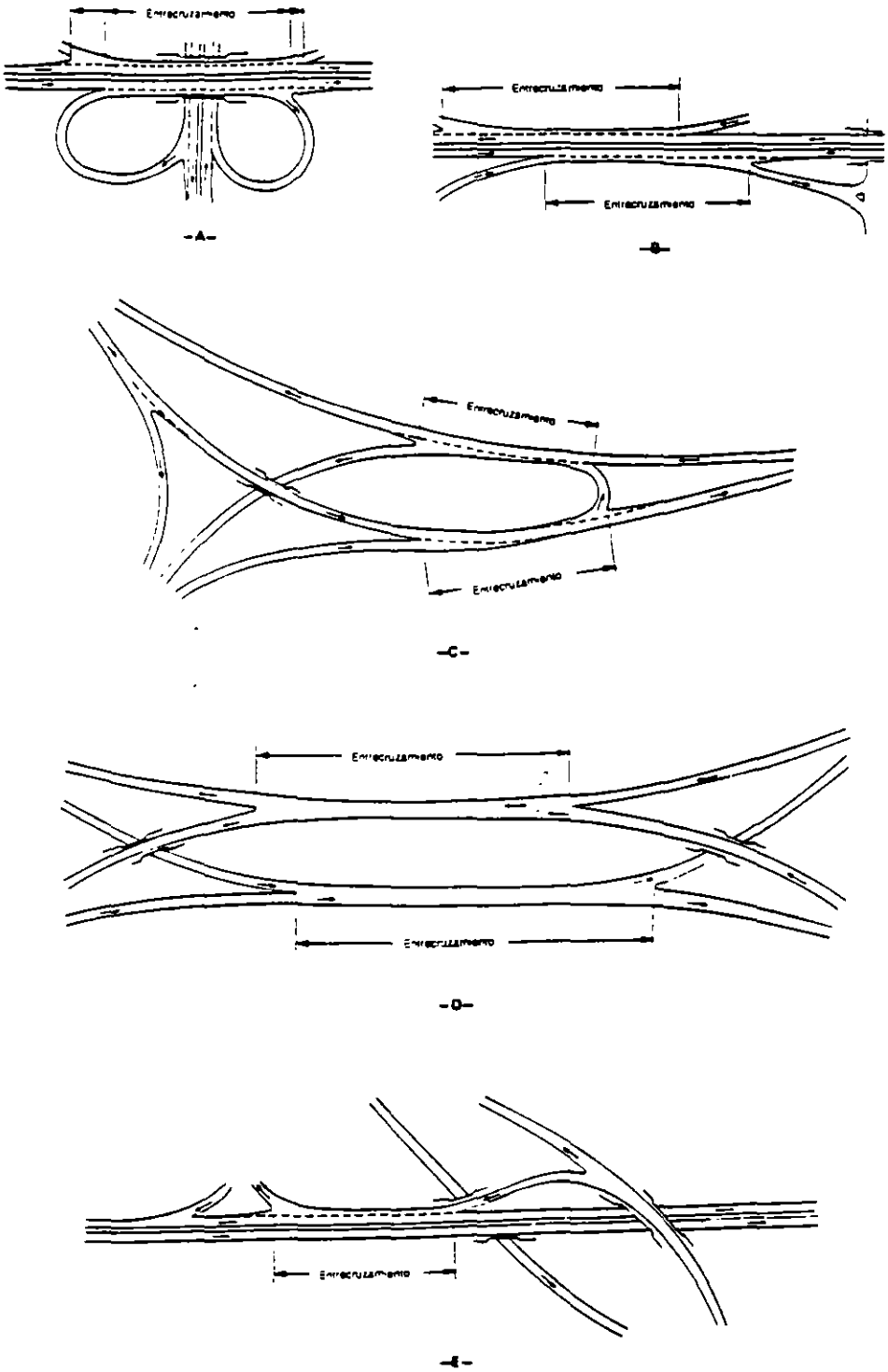


Figura 2-7 Zonas de entrecruzamiento

Tipo de Carretera	Tipo de Terreno y Nivel de Servicio Apropiado			
	Plano	Lomerío	Montañoso	Urbano y Suburbano
Autopista	B	B	C	C
Carretera principal	B	B	C	C
Colectora	C	C	D	D
Local	D	D	D	D

Nota: Condiciones generales de operación del Nivel de Servicio.

A – Flujo libre, con bajos volúmenes de tránsito y altas velocidades.

B – Flujo razonablemente libre, pero iniciales restricciones de velocidad por las condiciones del tránsito.

C – Estabilidad del flujo en la zona, pero con mayores restricciones para los conductores en la libertad de seleccionar su propia velocidad.

D – Aproximación al flujo forzado, los conductores tienen poca libertad de maniobrar.

E – Flujo forzado, puede ser que se presenten cortas paradas.

Tabla 2-3 Guía para seleccionar el nivel de servicio de proyecto.

Control total de accesos significa dar preferencia al tránsito de paso mediante conexiones para el acceso vehicular desde algunas vías previamente seleccionadas. En este caso, quedan prohibidos los cruces a nivel.

Con el control parcial de accesos también se da preferencia al tránsito de paso, estableciendo conexiones con otras vías en puntos específicos, sin embargo, en este caso, se admiten intersecciones a nivel en algunos sitios.

La ventaja principal del control total de accesos es la preservación de un alto nivel de servicio a lo largo de la vía y de condiciones de seguridad superiores. Puede afirmarse que el control total de accesos es el factor más importante en el proyecto de carreteras que hace posible proporcionar condiciones de operación de alta calidad.

CAPITULO 007 EL PEATON

007.A Consideraciones Generales.

La participación de los peatones en la corriente de tránsito debe ser una consideración primordial en la planeación y en el proyecto de nuevas vialidades. Los peatones forman parte del ambiente que rodea a una vía y debe ser objeto de atención especial por parte del proyectista. Su presencia, como es natural, es más intensa en zonas urbanas que en zonas rurales.

007.B Características Generales.

Para planear y proyectar correctamente una vía peatonal, es necesario conocer previamente algunas de sus características principales. Los peatones en general, no caminan más de 1.5 km cuando van a su trabajo ni más de 800 m para abordar un autobús. Por lo regular el 80% de los trayectos son menores a un kilómetro.

Los peatones son menos predecibles que los conductores de vehículos. Muchos de ellos consideran que no están sujetos a las leyes y reglamentos de tránsito; por otra parte generalmente no existe una vigilancia estricta de las autoridades sobre su comportamiento en la vía pública.Lo anterior hace difícil proyectar vías que propicien un movimiento peatonal ordenado y seguro.

Los peatones tienden a trayectorias que representen la menor distancia entre dos puntos, lo que origina a menudo que éstos no caminen por las aceras. Los peatones se resisten a utilizar pasos elevados yo deprimidos cuando tienen que cruzar una carretera.

Un factor importante en relación con los accidentes de peatones es la edad. Los peatones muy jóvenes se despreocupan

del tránsito por ignorancia, en tanto que los de mayor edad ponen poca atención o adoptan actitudes desafiantes hacia vehículos y conductores. Los accidentes de peatones ocurren también por la falta de aceras adecuadas que obligan a las personas a compartir el arroyo con los vehículos. Las siguientes, son algunas medidas que pueden ponerse en práctica para auxiliar a los peatones de mayor edad:

- Estudiar proyectos alternos para el cruce de peatones mayores de edad.

- Considerar menores velocidades de los peatones, especialmente en intersecciones muy amplias.

- Proveer isletas de refugio en aquellos accesos de intersecciones con anchuras excesivas.

- Proporcionar iluminación en aquellos sitios donde el peatón requiera captar y procesar mucha información.

- Considerar el sistema de control de tránsito dentro del contexto del proyecto geométrico para asegurar la compatibilidad entre ambos.

- Utilizar dispositivos para el control de tránsito con mayor realce para hacerlos más visibles.

- Proporcionar señales reflejantes con visibilidad adecuada.

- Localizar los semáforos estratégicamente y dotarlos de indicaciones más grandes.

- Realzar las marcas sobre el pavimento.

- Hacer uso de la repetición y la redundancia en el señalamiento.

007.C Características Físicas

007.C.01 Area Corporal.- Para el dieño de aceras, escaleras o áreas de ascenso y descenso de pasajeros, es de la mayor importancia conocer la anchura y profundidad del cuerpo humano. Los estudios han demostrado que en adultos del sexo masculino la anchura de los hombres es de 52 cm y su profundidad de menos de 33 cm. Para fines de proyecto el área del cuerpo humano es aproximadamente un elipse de 60 cm de anchura y 45 cm de profundidad. Estas dimensiones mínimas son aplicables a situaciones donde existe gran proximidad entre los individuos. Si se requiere mayor confort y comodidad, deberá considerarse una área mayor.

007.C.02 Velocidad de los Peatones.- Entre los peatones existe un amplio rango de velocidades al caminar. Este rango varía de 0.8 m/seg. a 1.8 m/seg. Para fines de proyecto puede considerarse un valor de 1.2 m/seg.

007.D Capacidad de las Vías Peatonales.

En la figura 2-8, se puede apreciar que la velocidad del peatón disminuye a medida que la densidad en la vía aumenta.

007.D.01 Niveles de Servicio.- Para cuantificar la movilidad relativa del peatón y los conflictos con otros peatones, que inciden en su velocidad, espacio para maniobrar y confort, se ha introducido el concepto de niveles de servicio de manera similar al manejado en carreteras.

Se establece también, un rango de niveles de servicio, del A al F (del mejor al peor). En el nivel A se considera un promedio de 12 m2 de espacio por persona, libertad total para elegir la velocidad y ausencia de conflictos con otros peatones. En el nivel F, que sería el más crítico, se considera una área de menos de 0.6 m2 por persona; en este nivel, los peatones carecen prácticamente de movilidad, el contacto con otros peatones es inevitable y su desplazamiento es excesivamente forzado y difícil.

Los procedimientos de análisis de capacidad y niveles de servicio pueden consultarse también en la Referencia 2-7.

CAPITULO 008 SEGURIDAD

Los diferentes elementos que integran una carretera deberán proyectarse considerando que es de vital importancia brindar máxima seguridad a conductores, peatones y pasajeros del transporte.

Existen diversos factores que pueden influir en la ocurrencia de accidentes de tránsito. Las influencias pueden separarse en tres grupos: el elemento humano, el vehículo y el camino.

Las carreteras deberán proyectarse de manera que los conductores tengan que tomar una sola decisión al mismo tiempo y no verse sorprendidos por situaciones en las que tengan que tomar decisiones sin disponer del tiempo suficiente, ya que los accidentes aumentan en la medida en que se incrementa el número de decisiones del conductor. La estandarización de los diferentes elementos del proyecto y de los dispositivos para el control de tránsito, juega un papel importante en la reducción del número de decisiones. Manejados apropiadamente dichos elementos pueden alertar al conductor, con anticipación, de las incidencias que éste encontrará durante su travesía. Una de las características del proyecto de una carretera que contribuye de manera más importante a la seguridad es el control total de accesos.

En carreteras sin control de accesos, es necesario planear y proyectar cuidadosamente los diferentes elementos y características de operación de la carretera para reducir los conflictos y minimizar la interferencia entre vehículos. La

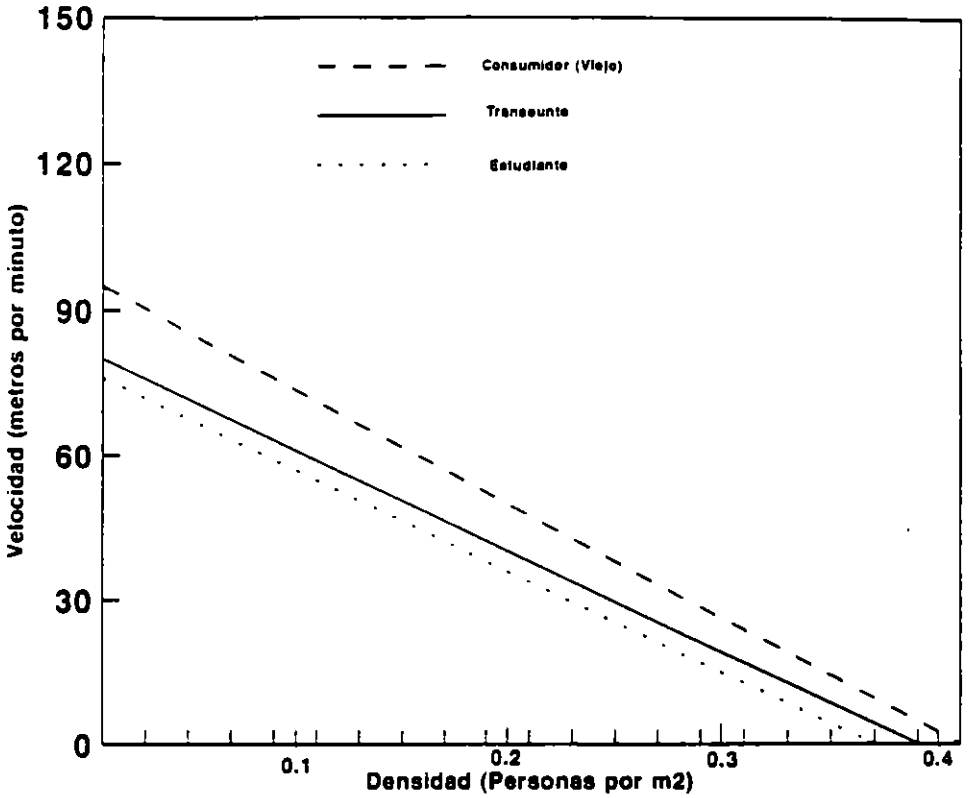


Figura 2-8 Relaciones entre la velocidad peatonal y la densidad.

velocidad que permite circular con mayor seguridad depende de las condiciones generales del proyecto, de las particularidades del camino, del desarrollo del uso del suelo adyacente y de la importancia de los volúmenes de tránsito de las vías transversales.

Independientemente de la velocidad de proyecto promedio, en carreteras principales, es mayor la probabilidad de accidentes cuando los conductores experimentan desviaciones significativas de su velocidad respecto a la velocidad promedio del camino.

Desde el punto de vista de la seguridad el proyecto deberá considerar el propósito de los viajes de los usuarios y las características de los distintos tipos de vehículos que se estima utilizarían la vía y cuyo rango en dimensiones y peso puede ser muy amplio.

En carreteras divididas con fajas separadoras centrales de 15 m de anchura o mayores, la incidencia de accidentes por colisiones de frente con vehículos que cruzan desde el arroyo contrario es muy baja, por esta razón es deseable que las fajas separadoras tengan, dentro de lo posible anchuras en el rango de 20 a 30 m. En el caso de fajas separadoras angostas, las barreras centrales pueden eliminar con eficacia las colisiones de frente, sin embargo, al reducirse el área de recuperación, pueden incrementarse los accidentes con otros vehículos que circulan en la misma dirección o con objetos fijos localizados en el derecho de vía; existe además el riesgo de que el vehículo accidentado obstruya uno o varios carriles de la vía.

En carreteras con tangentes extremadamente largas, los conductores tienden a relajarse especialmente después de conducir en zonas muy congestionadas. Muchos accidentes provocados por conductores que se duermen al volante, pueden ser evitados si se proyectan alineamientos horizontales con curvas suaves y se hacen variar las secciones transversales de aquellos tramos con tangentes muy prolongadas. Lo anterior puede lograrse variando la anchura de la faja separadora central y aprovechando las ondulaciones de la topografía cuando sea posible.

La seguridad de una carretera depende también de los dispositivos para el control del tránsito (señales, marcas en el pavimento y semáforos) cuya misión es transmitir información para prevenir y guiar a los usuarios. Es indispensable que exista gran uniformidad y una alta calidad en la fabricación de estos elementos, independientemente de que el proyecto geométrico de la sección transversal, alineamientos y diseño estructural haya sido desarrollado con un alto grado de excelencia.

CAPITULO 009 REFERENCIAS

2.1 *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México 1971.

2.2 *Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico de Carreteras*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México 1984.

2.3 AASHTO *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington, D. C. 1990.

2.4 Mendoza D. Alberto y Cadena R. Arturo. *Estudio de Pesos y Dimensiones de los Vehículos que Circulan Sobre las Carreteras Mexicanas*; Instituto Mexicano del Transporte, SCT 1991.

2.5 *Reglamento Sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Transporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes; México 1992.

2.6 Stevens Tignor y Lojacuno. *Offtracking, Calculations Charts for Trailer Combinations*; Highway Research Record No. 159, Washington, D. C. 1967.

2.7 *Highway Capacity Manual*, Transportation Research Board, Special Report 209, National Academy of Sciences, National Research Council; Washington, D. C. 1985.

2.8 *Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras*; Dirección General de Servicios Técnicos, Subsecretaría de Infraestructura, Secretaría de Comunicaciones y Transportes; México 1986.

N O R M A S S. C. T.
LIBRO 2
P R O Y E C T O
PARTE 2.02
PROYECTO GEOMETRICO DE CARRETERAS

TITULO 2.02.03

ELEMENTOS BASICOS PARA EL PROYECTO

CAPITULO 001 CLASIFICACION DE CARRETERAS

001.A Introducción

La clasificación de carreteras tiene como objetivo principal agrupar a las carreteras de acuerdo con sus características físicas y en atención a sus funciones, para utilizarlas en redes o esquemas propios que satisfagan necesidades o propósitos ya sea de comunicación o de transporte facilitando las acciones de planear, proyectar, construir, modernizar, conservar y operar un sistema carretero.

Las normas aplicables a una determinada vía dependen, fundamentalmente, del carácter de la carretera, rural o urbana, de la función que debe cumplir dentro del sistema carretero, de la intensidad del tránsito, de las condiciones topográficas o limitaciones físicas y de los tipos de vehículos que normalmente la utilizarán.

001.B Clasificación Funcional

Para fines de planeación, proyecto, construcción, conservación y operación de la Red Nacional de Carreteras, se establece un sistema de clasificación técnico-funcional con los siguientes subsistemas o categorías de carreteras:

1.- Red de Autopistas

2.- Red Troncal

3.- Red Colectora

4.- Red Alimentadora

001.B.01.- Red de Autopistas.- La red de autopistas conforma junto con la red troncal, los itinerarios básicos que sirven al transporte y a todo tipo de vehículos, proporcionando a los grandes flujos vehiculares un movimiento rápido y eficiente entre regiones altamente desarrolladas, centros de actividad comercial o industrial o centros de población importantes. Estas vías pueden tener un control total o parcial de accesos. Su geometría permite el tránsito de todos los vehículos cuyas dimensiones máximas y peso por eje hayan sido establecidas en el Reglamento Sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal. (Referencia 3-5).

001.B.02 Red Troncal.- La red troncal conjuntamente con la red de autopistas conforman los itinerarios básicos que integran una red de rutas contínuas para el transporte de personas y mercancías y en razón de su función cumplir con lo siguiente:

a) Operar como corredores para el tránsito de largo itinerario, es decir, servir a movimientos con longitudes de recorrido característicos de grandes trayectos ya sea estatales o interestatales.

b) Servir a todas las capitales de los estados, a ciudades con más de 50,000 habitantes y a la mayoría de las zonas urbanizadas con más de 25,000 habitantes.

c) Proporcionar una red integrada que permita un flujo expedito del tránsito.

001.B.03 Red Colectora.- La red colectora vinculada a la red troncal tiene por objeto la comunicación regional. Sus características geométricas permiten una velocidad de recorrido relativamente alta con interferencias menores en los movimientos de largo itinerario. Sus principales funciones son las siguientes:

a) Se integra con la red troncal para proporcionar un servicio estatal o intermunicipal.

b) Se ubica a intervalos consistentes con la densidad de población de tal manera que las zonas desarrolladas estén a distancias razonables de la red troncal.

001.B.04 Red Alimentadora.- La red alimentadora presta servicio principalmente dentro del ámbito municipal, con longitudes promedio de recorrido relativamente cortas y establecen la conexión con la red colectora. Comunican a todas las poblaciones en su área de influencia y proporcionan acceso a los predios y parcelas colindantes. Sus principales funciones son:

a) Servir a los puntos más alejados, comunicando a las poblaciones de 100 ó más habitantes.

b) Conectar las zonas potencialmente productivas con la red secundaria.

c) Conectar las cabeceras municipales con la red secundaria.

d) Servir al transporte de productos de la región y al tránsito de maquinaria agrícola.

001.C Elementos que Intervienen en la Clasificación

Los elementos de la clasificación asociados a cada una de las categorías anteriores son los siguientes:

1). Tránsito diario promedio en el horizonte de proyecto.

2). Tipo de terreno (montañoso, lomerío, plano).

3). Velocidad de proyecto.

4). Vehículos de proyecto.

Otras características asociadas al alineamiento horizontal y vertical y a la sección transversal, son consecuencia del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) en el horizonte de proyecto y de la velocidad de proyecto, por consiguiente, tendrán que determinarse para cada caso particular en estudio, basándose en un análisis económico que considere los costos de construcción, conservación y operación del transporte. Los elementos principales de la clasificación asociados a cada una de las categorías anteriormente citadas, son los siguientes:

001.C.01 Autopistas:

- TDPA en el horizonte de proyecto: mayor de 3,000.

- Velocidad de proyecto: en el rango de 70 km/h a 110 km/h.

- Vehículos autorizados: todos los aprobados en el Reglamento de Pesos y Dimensiones. (Clasificación A4 y A2 del Reglamento).

001.C.02 Carreteras Troncales:

- TDPA en el horizonte de proyecto: mayor de 3,000.

- Velocidad de proyecto: en el rango de 60 km/h a 110 km/h.

- Vehículos autorizados: todos los aprobados en el Reglamento de Pesos y Dimensiones con restricciones en el peso y las dimensiones de algunos de los vehículos, respecto a lo autorizado en las autopistas. (Clasificación B4 y B2 del Reglamento).

001.C.03 Carreteras Colectoras:

- TDPA en el horizonte de proyecto: en el rango de 500 a 3,000.

- Velocidad de proyecto: en el rango de 40 km/h a 110 km/h.

- Vehículos autorizados: todos los aprobados en el Reglamento de Pesos y Dimensiones con restricciones en el peso y las dimensiones de todos los vehículos, respecto a lo autorizado en las clasificaciones anteriores. (Clasificación C del Reglamento).

001.C.04 Carreteras Alimentadoras:

- TDPA en el horizonte de proyecto: en el rango de 100 a 500.

- Velocidad de proyecto: en el rango de 30 km/h a 70 km/h.

- Vehículos autorizados: los aprobados en el Reglamento de Pesos y Dimensiones con excepción de los camiones articulados y de todos los tractocamiones. A los autorizados en esta clasificación se aplican también restricciones en el peso y las dimensiones. (Clasificación D del Reglamento).

CAPITULO 002 DISTANCIA DE VISIBILIDAD

002.A Consideraciones Generales.

La capacidad de los conductores de ver lo que hay adelante, es de vital importancia para la seguridad y operación eficientes de un vehículo en la carretera. Las trayectorias y velocidades de los vehículos en carreteras y calles dependen de conductores cuya habilidad y experiencia es muy diversa. Para garantizar la seguridad en una carretera, el proyectista debe considerar las distancias de visibilidad con el fin de que los conductores puedan maniobrar sus vehículos evitando colisiones potenciales con los objetos que éste pudiera encontrar en el camino. Algunas carreteras de dos carriles deben contar con distancia de visibilidad suficiente que permita a los conductores ocupar el carril opuesto para rebasar a otros vehículos sin peligro. En este tipo de carreteras se proporcionan generalmente distancias de visibilidad a intervalos frecuentes y con longitudes apropiadas.

La determinación de la distancia de visibilidad comprende: 1) La distancia necesaria para detener el vehículo, aplicable a todas las carreteras; 2) Las distancias requeridas para rebasar a otros vehículos; 3) Las distancias necesarias para tomar decisiones en situaciones complejas; 4) El criterio para medir las distancias de visibilidad en el proyecto.

002.B Distancia de Visibilidad de Parada.

Es la distancia con visibilidad necesaria para que un conductor, viajando a la velocidad de proyecto sea capaz de detener su vehículo antes de alcanzar cualquier objeto fijo localizado en su trayectoria.

La distancia de visibilidad de parada se divide en dos partes: 1) Distancia recorrida desde el instante en que el conductor percibe un objeto en el camino y decide detenerse, hasta el instante en que acciona los frenos del vehículos y 2) Distancia requerida para que el vehículo se detenga, desde el momento en que el conductor acciona los frenos. Las distancias anteriores se conocen como distancia de reacción de frenado y distancia de frenado, respectivamente.

002.B.01 Tiempo de Reacción.- El tiempo de reacción es el intervalo que transcurre entre el instante en que el

conductor reconoce la presencia de un objeto o situación peligrosa en el camino y el instante en que opera los frenos. El tiempo de reacción varía considerablemente dependiendo de la distancia al objeto, la agudeza visual del operador, la rapidez para reaccionar del conductor, las condiciones atmosféricas, las condiciones y tipo de camino y el tipo, color y condiciones del objeto.

De acuerdo con estudios realizados se ha encontrado que un tiempo de reacción de 2.5 segundos es adecuado para la mayoría de situaciones que pueden presentarse. Sin embargo, algunas situaciones con mayor grado de complejidad como es el caso de intersecciones a nivel controladas por semáforos de fases múltiples, o puntos de conexión con caminos principales pueden requerir tiempos más grandes.

002.B.02 Distancia de Frenado.- La distancia aproximada de frenado de un vehículo en un camino a nivel se puede determinar usando la fórmula

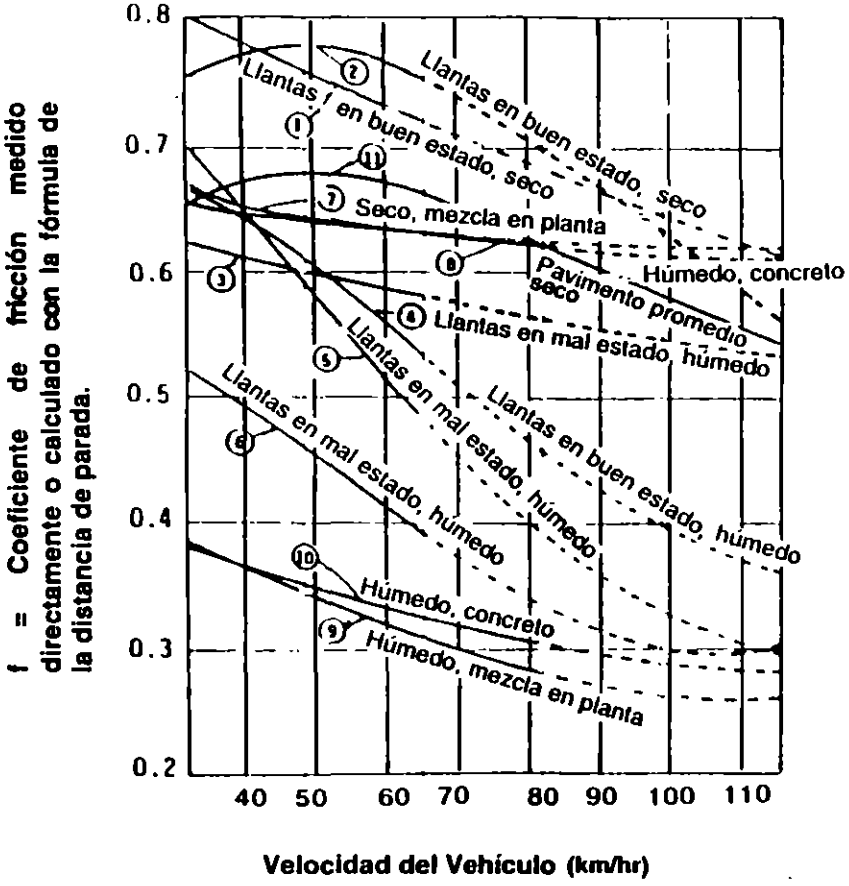
$$d = \frac{V^2}{254\ f}$$

en donde:
- d= Distancia de frenado en metros
- V= Velocidad inicial en km/h
- f= Coeficiente de fricción entre las llantas del vehículo y la super - ficie del camino.

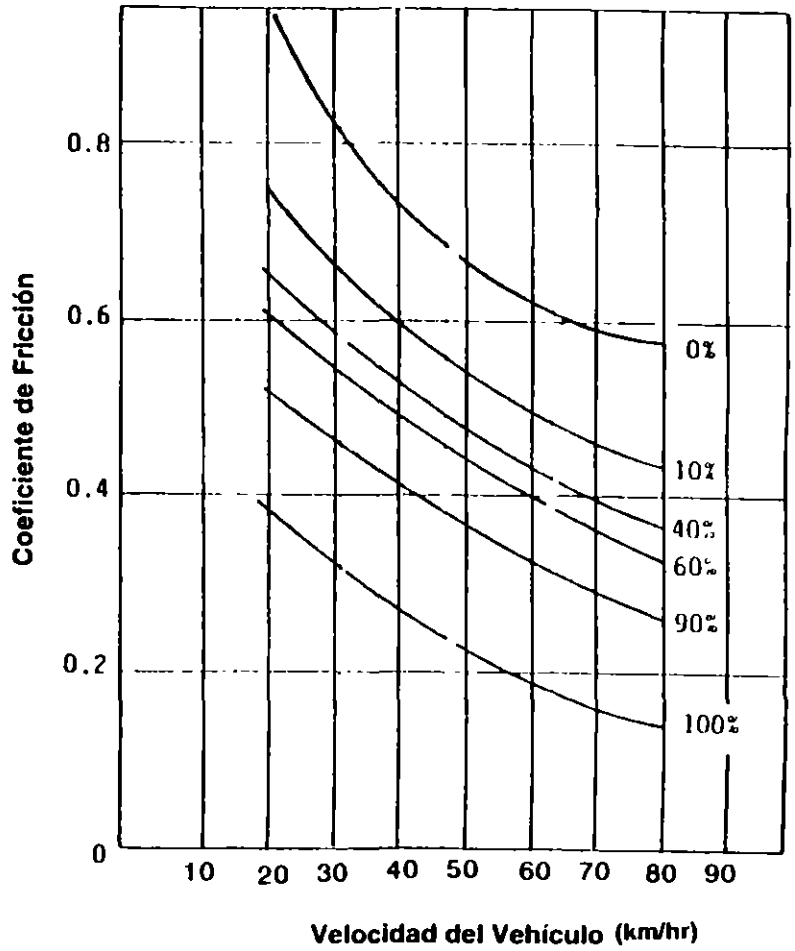
El valor de f puede variar considerablemente debido a factores como la presión de inflado de las llantas, composición de las llantas, dibujo y profundidad de la huella y condiciones de la superficie del pavimento. Inciden además, la presencia en la superficie del camino, de combustibles, aceites, lodo, nieve o hielo.

Las condiciones de pavimento húmedo gobiernan en el proyecto, debido a que los coeficientes de fricción, en esas condiciones, son más bajos. Los valores del coeficiente de fricción deben abarcar los tipos posibles de superficies del pavimento y las probables condiciones de campo. La Figura 3-1 muestra que existe una variación muy amplia en coeficientes de fricción para diversas condiciones del pavimento que reflejan el efecto que la textura de la superficie tiene en la distancia de visibilidad de parada.

002.B.03 Valores de Proyecto.- La distancia de visibilidad de parada de proyecto, es la suma de la distancia recorrida por el vehículo durante el tiempo de reacción más la distancia de frenado.



A. Resistencia al derrapamiento para varias condiciones de llantas y de pavimentos.



B. Resistencia al derrapamiento sobre el pavimento.

Figura 3-1 Variación del coeficiente de fricción con la velocidad.

002.B.04 Efecto de la Pendiente.- Cuando la carretera se aloja en una pendiente, la fórmula para la distancia de frenado es la siguiente:

$$d = \frac{v^2}{254\ (f \pm G)}$$

en donde G es la pendiente, en porciento, dividido entre 100 y los otros términos, los ya definidos en el párrafo 002.B.02. Las distancias de frenado en pendientes ascendentes son más cortas y en pendientes descendentes, más largas.

002.B.05 Variación para los Camiones.- Las distancias de visibilidad mínimas de parada anteriores, reflejan la operación de los vehículos ligeros y pueden ser discutibles al diseñar para condiciones de operación de vehículos pesados. Los camiones en general y especialmente las unidades más grandes y pesadas requieren distancias de visibilidad de parada mayores. Existe sin embargo, un factor que tiende a compensar la longitud adicional requerida por los camiones; el operador de un camión puede percibir con antelación las obstrucciones del camino debido a la posición más elevada de sus ojos con respecto a la superficie del camino. Por esta razón, en el proyecto no se utilizan separadamente distancias de visibilidad para camiones y para vehículos ligeros.

002.C Distancia de Visibilidad de Decisión.

Es evidente que existen muchos lugares cuya complejidad hace aconsejable proporcionar distancias de visibilidad más grandes. Debido a que la distancia de visibilidad de decisión concede a los conductores un margen adicional para el error otorgándoles una longitud suficiente para maniobrar sus vehículos a la misma velocidad o a una velocidad menor, en lugar de simplemente detener sus vehículos, los valores correspondientes a esta distancia son considerablemente mayores que los de visibilidad de parada.

Las distancias que aparecen en la Tabla 3-1, son distancias de visibilidad de decisión apropiadas que pueden utilizar los proyectistas en lugares críticos. Debido a la seguridad y maniobrabilidad adicionales que se consiguen con estas longitudes es recomendable que se utilicen sólo en lugares realmente problemáticos. En caso de que no fuese factible proporcionar estas distancias por circunstancias especiales del alineamiento horizontal y vertical, deberá estudiarse la posibilidad de utilizar señalamiento preventivo que permita alertar a los conductores sobre las condiciones poco usuales que encontrará adelante en su camino.

Velocidad de Proyecto (km/hr)	Distancia de Visibilidad de Parada para Evitar Maniobras (m)				
	A	B	C	D	E
50	67	152	137	152	190
65	105	221	183	221	251
80	152	297	229	274	312
95	207	396	305	350	389
112	274	465	335	396	442

Tabla 3-1 Distancia de visibilidad de parada.

002.D Distancia de Visibilidad de Rebase en Carreteras de Dos Carriles.-

002.D.01.- Criterios para el Proyecto.- En carreteras de dos carriles, las maniobras de rebase se realizan en los carriles utilizados por el tránsito que circula en dirección opuesta. Para que la maniobra de rebase se lleve a cabo con seguridad, el conductor debe disponer adelante, de una distancia suficiente, libre de vehículos que le permita completar la maniobra. En caso de requerirse, el conductor puede regresar a su carril sin completar la maniobra de rebase, si percibe que el vehículo que se aproxima en dirección opuesta está demasiado cerca.

La distancia de visibilidad de rebase de proyecto, debe de terminarse sobre la base de una longitud que permita realizar la maniobra de rebase con seguridad. Aunque existen situaciones que pueden involucrar rebases múltiples, porque existan varios vehículos adelante, no es práctico considerar tales condiciones al desarrollar los criterios mínimos de proyecto.

La distancia de visibilidad de rebase en carreteras de dos carriles, es determinada por la suma de cuatro distancias según se muestra en la parte alta de la Figura 3 2.

d1 = Distancia recorrida durante el tiempo de percepción-reacción.

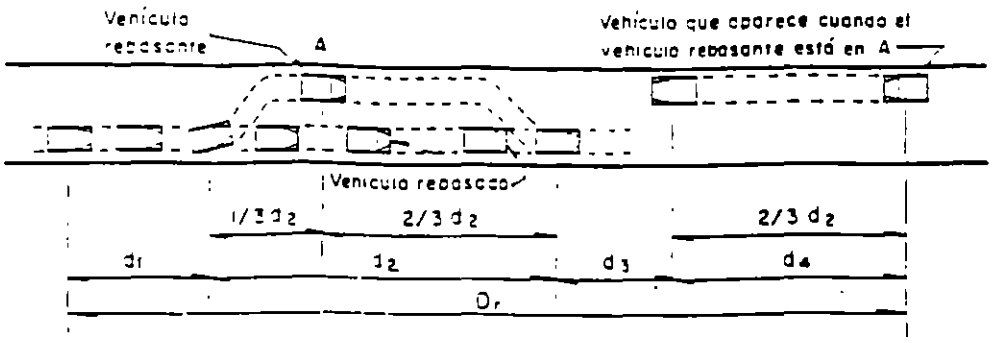
d2. = Distancia recorrida mientras el vehículo que rebasa ocupa el carril izquierdo.

d3. = Distancia entre el vehículo que rebasa y el vehículo en dirección opuesta, al final de la maniobra.

d4. = Distancia recorrida por el vehículo que se aproxima en dirección opuesta durante dos tercios del tiempo en que el carril opuesto es ocupado por el vehículo que rebasa, es decir, 2/3 de d2.

Para calcular la distancia de visibilidad de rebase de proyecto, puede usarse la expresión simplificada D = 4.5V, la cual involucra las consideraciones anteriores. En el proyecto de una carretera dichas distancias deberán excederse tanto como sea prácticamente posible y dentro de un contexto de costos razonables, proporcionar la mayor cantidad de oportunidades de rebase.

002.D.02 Efecto de la Pendiente en la Distancia de Visibilidad de Rebase.- Cuando existen pendientes pronunciadas se incrementa la distancia de visibilidad requerida para rebasar con seguridad. La maniobra de rebase es más fácil para el vehículo que circula cuesta abajo debido a que el conductor puede acelerar más rápidamente que en



d_1 – Distancia recorrida durante el tiempo de reacción y durante la aceleración inicial hasta el punto en donde el vehículo rebasante invade el carril izquierdo.

d_2 – Distancia recorrida por el vehículo rebasante desde que invade el carril izquierdo hasta que regresa a su carril.

d_3 – Distancia entre el vehículo rebasante al terminar su maniobra y el vehículo que viene en sentido opuesto.

d_4 – Distancia recorrida por el vehículo que viene en sentido opuesto.

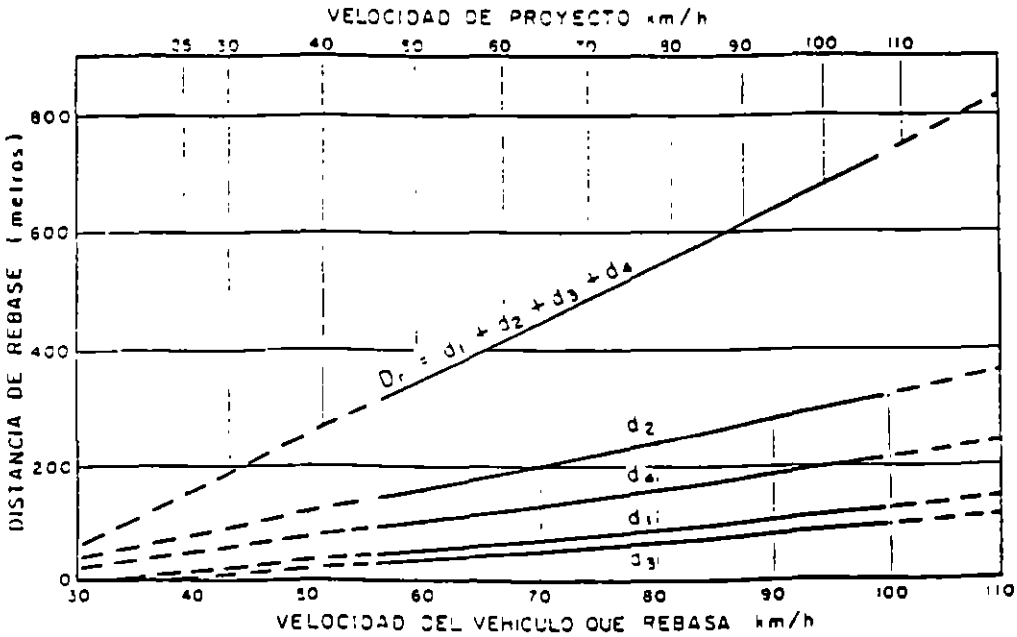


Figura 3.2. Maniobra de rebase según AASHTO.

terreno a nivel y por lo tanto puede reducir el tiempo necesario para rebasar, sin embargo, debido a que el vehículo rebasado puede acelerar también con facilidad, se crean situaciones indeseables de competencia.

Las distancias requeridas por los vehículos para rebasar con seguridad, cuesta arriba, son mayores que las necesarias en caminos a nivel, debido a que se reduce la capacidad de acelerar del vehículo que rebasa. Lo anterior se compensa de alguna manera por el hecho de que los vehículos rebasados son con frecuencia camiones que reducen sustancialmente su velocidad en el ascenso. Para que las maniobras de rebase se lleven a cabo con seguridad en las pendientes ascendentes, la distancia de visibilidad de rebase deberá ser más grande que la mínima calculada. Aunque los ajustes durante el proyecto son inevitables, el proyectista deberá reconocer la conveniencia de incrementar en lo posible, los valores calculados.

002.D.03 Frecuencia y Longitud de los Tramos para Rebasar.- La frecuencia y longitud de los tramos con suficiente visibilidad para rebasar depende principalmente de la topografía del terreno, de la velocidad de proyecto del camino y del costo que esto significa. Considerando los factores anteriores, las carreteras de dos carriles deberán contar con suficientes tramos para realizar las maniobras de rebase con seguridad.

Cuando en la carretera se esperan altos volúmenes de tránsito con porcentajes importantes de camiones es virtualmente obligatorio proporcionar suficientes tramos con visibilidad adecuada para mantener los niveles de servicio previstos y particularmente para reducir los sobrecostos de operación del transporte.

002.E Distancia de Visibilidad de Rebase en Carreteras de Carriles Múltiples.

En carreteras con dos o más carriles en cada sentido no es necesario considerar distancias de visibilidad de rebase, ya que se supone que las maniobras se realizan en carriles adyacentes con el mismo sentido del tránsito. Aquellas maniobras de rebase donde los vehículos tienen que cruzar la línea divisoria porque no exista una faja separadora o barrera central, son peligrosas y deberán prohibirse.

002.F Criterios para Medir la Distancia de Visibilidad.

Distancia de visibilidad, es la distancia a lo largo de un camino, en que un objeto con altura especificada es visible continuamente para el conductor. Esta distancia depende de la altura de los ojos del conductor y de la altura del objeto, sobre la superficie del camino.

002.F.01 Altura de los Ojos del Conductor.- Para calcular la distancia de visibilidad, en el caso de vehículos ligeros, se considera que la altura de los ojos del conductor se encuentra a 1.07 m sobre la superficie del camino. Esta altura se basa en estudios que demuestran que a través de los años, la altura ha disminuido de 1.14 m a 1.07 m. El cambio anterior afecta la longitud de las curvas verticales en cresta en aproximadamente cinco porciento.

002.F.02 Altura del Objeto.- Para el cálculo de distancias de visibilidad de parada, se considera una altura del objeto sobre la superficie del camino de 0.15 m. Esta altura es representativa de la altura de aquellos objetos que pueden crear situaciones peligrosas y que logran ser percibidos a tiempo por el conductor. Utilizar alturas menores de 0.15 m en los cálculos conduce a longitudes considerablemente mayores de las curvas verticales en cresta. Para el cálculo de distancias de visibilidad de rebase, se considera una altura del objeto sobre la superficie del terreno de 1.20 m; esta altura ha variado de 1.37 a 1.30 m desde 1940.

Es necesario tomar en cuenta que la disminución en la altura de los ojos del conductor, de 1.14 m a 1.07 m, ocasiona que las curvas verticales en cresta, del alineamiento vertical, sean aproximadamente 5 porciento más largas.

002.F.03 Obstrucciones Laterales.- En tangentes, la obstrucción que limita la visibilidad del conductor es la superficie del pavimento de curvas verticales en cresta. En curvas horizontales las obstrucciones pueden ser la superficie del pavimento en algunos puntos de curvas verticales en cresta o algunos elementos fuera del camino como barreras longitudinales, terraplenes de acceso en puentes, follaje de árboles, o los taludes de secciones en corte. Por consiguiente, deberán verificarse en los planos de construcción, las obstrucciones a la visibilidad de los alineamientos horizontal y vertical.

CAPITULO 003 ALINEAMIENTO HORIZONTAL

003.A Consideraciones Teóricas.

Para establecer un proyecto balanceado, es necesario que todos los elementos geométricos de un camino se proyecten para lograr una operación eficiente, económica y segura. El elemento de control general para alcanzar dicho propósito, es la velocidad de proyecto.

En el proyecto de las curvas horizontales de una carretera es necesario establecer una relación apropiada entre velocidad de proyecto y curvatura y su correspondiente relación con la sobreelevación y la fricción lateral. Aunque estas relaciones parten de las leyes de la mecánica, los valores reales para

proyecto, dependen de límites prácticos y de ciertos factores determinados más o menos empíricamente.

De las leyes de la mecánica, la fórmula básica que describe la operación de un vehículo en una curva, es la siguiente:

$$\frac{e + f}{1 - ef} = \frac{0.0079V^2}{R} = \frac{V^2}{127\ R}$$

en donde: e= Sobreelevación del camino m/m
f= Coeficiente de fricción lateral
V Velocidad del vehículo en km/h
R= Radio de la curva m.

003.B Consideraciones Generales.

Como resultado de la investigación y la experiencia se han establecido los valores para e y f. Cuando se usa el valor de la sobreelevación máxima (e máx) con un valor conservador del coeficiente de fricción, en la fórmula básica, se puede determinar el radio mínimo de la curva para diferentes velocidades de proyecto. Cuando se usan curvas con radios mayores que el mínimo, para una velocidad dada de proyecto, es necesario balancear los factores involucrados en la determinación de sobreelevaciones debajo de las máximas.

003.B.01 Coeficiente de Fricción Lateral.- Con la variación tan amplia de velocidades de las curvas, se produce con frecuencia un desequilibrio de fuerzas, bien sea que la curva tenga o no, sobreelevación. Esta fuerza resulta en un empuje lateral de las llantas que es neutralizado por la fricción entre éstas y la superficie del camino. La fuerza en sentido opuesto es desarrollada por la distorsión del área de contacto de la llanta.

El coeficiente de fricción f, es la fuerza de fricción, dividida entre el peso del vehículo, perpendicular al pavimento y se expresa de manera simplificada, como sigue:

$$f = \frac{V^2}{127\ R} - e$$

El coeficiente de fricción para el cual se produce un derrapamiento lateral inminente, depende de varios factores entre los cuales, los más importantes son la velocidad del vehículo, el tipo y condiciones de la superficie del pavimento y el tipo y condiciones de las llantas.

Las curvas no deberán proyectarse directamente, sobre la base de coeficientes de fricción máximos. La porción del coeficiente de fricción que puede usar la mayoría de los conductores con seguridad y confort, corresponde al valor máximo permisible para proyecto. El proyecto geométrico deberá basarse en condiciones aceptables de la superficie de rodamiento que puedan lograrse a costos razonables.

Puede aceptarse como control de la cantidad máxima de fricción lateral permisible, la velocidad que produce una falta evidente de confort en el conductor.

Las curvas con línea interrumpida de la Figura 3-3 describen los hallazgos de estudios y pruebas relacionadas con el coeficiente de fricción lateral

003.B.02 Distribución de e y f en el Rango de Curvas.- Para tener en cuenta las distintas combinaciones de grado y velocidad se han planteado cuatro procedimientos para calcular la sobreelevación en curvas de grado menor al máximo; estos procedimientos son:

a) Calcular la sobreelevación proporcionalmente al grado de curvatura de manera que S = 0 para G = 0 y S = Smáx. para G = Gmáx; o sea que para un grado G cualquiera: S = (Smáx./Gmáx.)G.

b) Calcular la sobreelevación de manera que un vehículo que circule a la velocidad de proyecto tenga toda la fuerza centrífuga contrarrestada por la sobreelevación; esto se hará hasta que se llegue a la sobreelevación con un grado menor al máximo. Para curvas más agudas o sea con un grado comprendido entre el antes citado y el máximo, se utilizará el coeficiente de fricción para que, junto con la sobreelevación máxima, contrarreste la fuerza centrífuga.

c) Calcular la sobreelevación en la misma forma que en el procedimiento anterior, pero considerando la velocidad de marcha en vez de la velocidad de proyecto.

d) Calcular la sobreelevación a través de una relación parabólica con valores comprendidos entre los obtenidos con el procedimiento a) y el procedimiento c).

En la Figura 3-4 se ilustra la variación de la sobreelevación y el coeficiente de fricción con el grado de curvatura en un caso particular, según los procedimientos descritos. La AASHTO (Referencia 3-3) recomienda el procedimiento (b) que reduce el coeficiente de fricción sin que llegue a tener valores negativos nulos. En la SCT se emplea el procedimiento (a) que distribuye uniformemente el coeficiente de fricción y la sobreelevación, de lo que resulta que la sobreelevaciones calculadas con este método, son menores que las calculadas

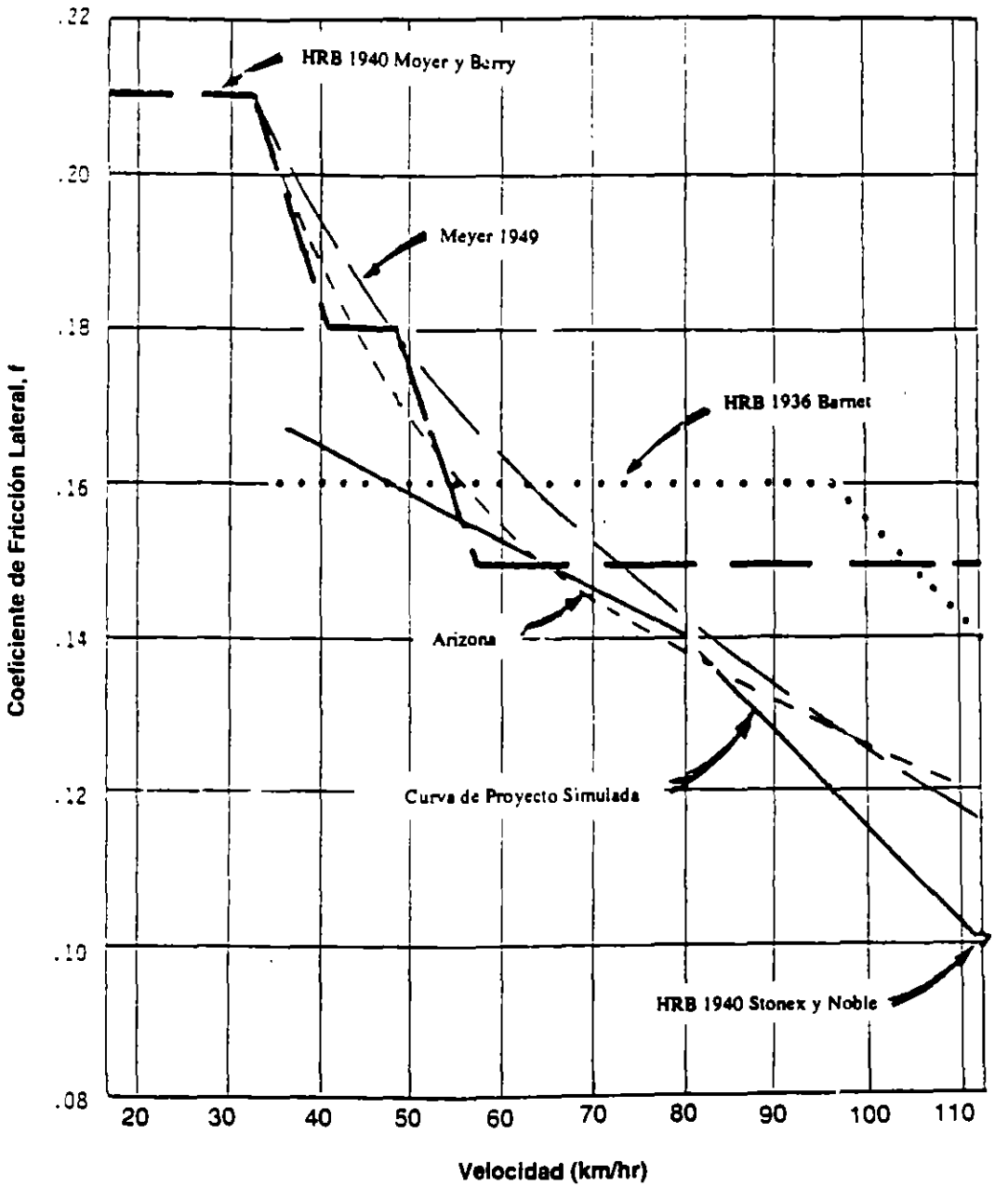


Figura 3-3 Coeficiente de fricción lateral para carreteras rurales y vías urbanas de alta velocidad.

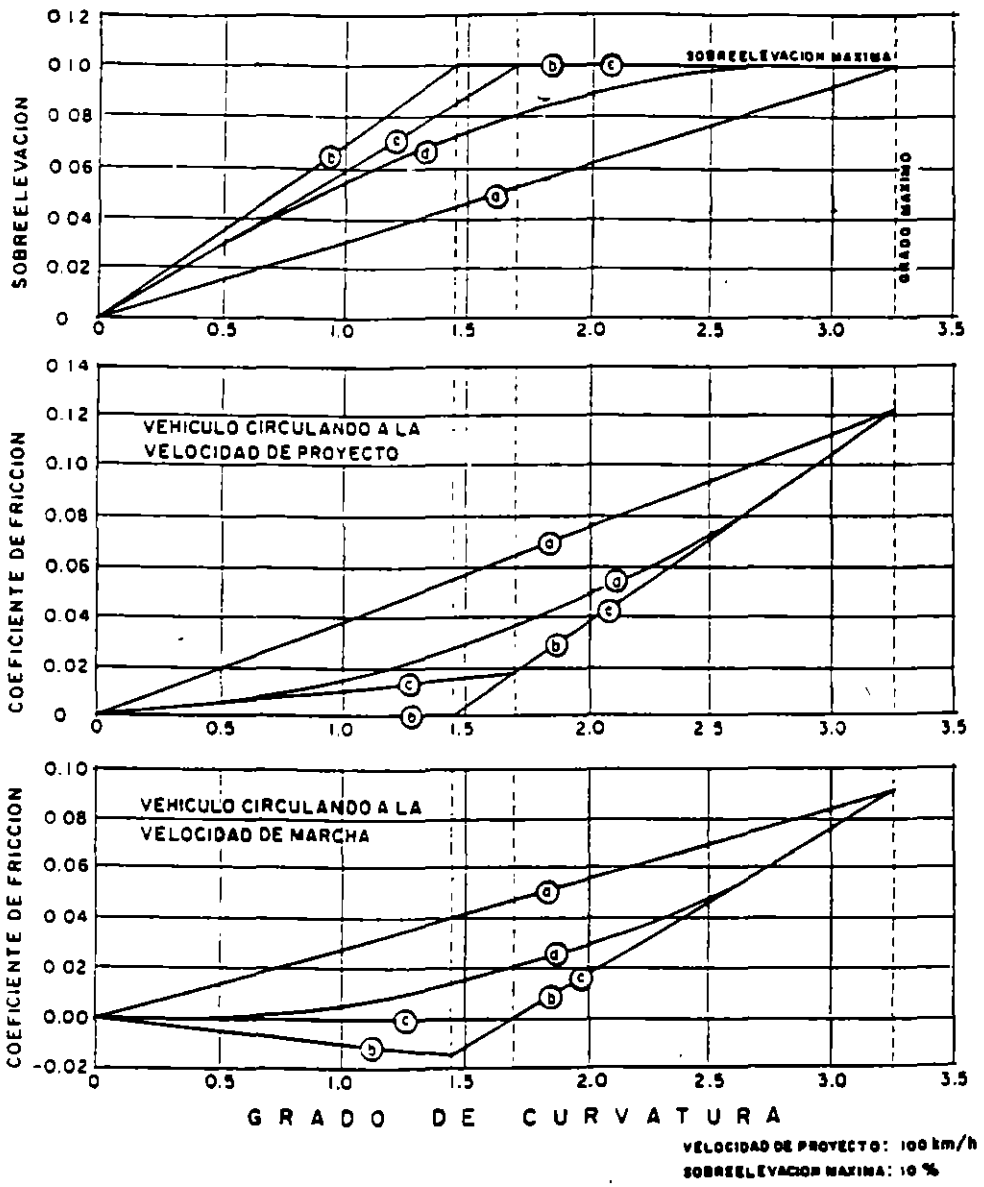


Figura 3-4 **Distribución de la sobreelevación y del coeficiente de fricción en curvas de alineamiento horizontal.**

con el método AASHTO, puesto que los coeficientes de fricción son mayores, pero siempre abajo de su valor máximo.

003.C Consideraciones de Proyecto.

En el proyecto de curvas, es necesario determinar la sobreelevación aplicable al rango correspondiente a cada velocidad de proyecto. Un extremo de este rango es la sobreelevación máxima que se establece a partir de consideraciones prácticas y que se utiliza para determinar la curvatura máxima para cada velocidad. La sobreelevación máxima es distinta para condiciones diferentes de la carretera. En el otro extremo, no es necesaria la sobreelevación para carreteras en tangente o para curvas con radios extremadamente grandes. Para curvaturas, entre estos dos extremos y para una velocidad de proyecto dada, la sobreelevación deberá distribuirse de tal manera que exista una relación lógica entre el coeficiente de fricción lateral y la sobreelevación aplicada.

003.C.01 Sobreelevaciones Máximas.- Para una velocidad en particular, el máximo grado de curvatura queda determinado por la sobreelevación máxima en combinación con el valor máximo supuesto para el coeficiente de fricción lateral. La sobreelevación máxima en carreteras está controlada por varios factores: condiciones climáticas (frecuencia y magnitud de las precipitaciones de nieve y de hielo); condiciones del terreno (plano o montañoso); tipo de área (rural o urbana) y finalmente, por la frecuencia de vehículos muy lentos sujetos a condiciones inciertas de operación. La consideración conjunta de estos factores lleva a la conclusión de que no hay una sobreelevación máxima única que sea universalmente aplicable y, en consecuencia, que sea conveniente utilizar un rango de valores para la misma.

La sobreelevación máxima en camino abierto, que se usa comúnmente, es del orden de 0.10 y algunas veces 0.12. El uso de valores arriba de 0.08 se hace invariablemente en áreas con nieve y hielo. Aunque las sobreelevaciones más altas ofrecen cierta ventaja al grupo de conductores que viajan a altas velocidades, sobreelevaciones por arriba de 0.12 rebasan los límites prácticos en camino abierto. Lo anterior reconoce ciertas dificultades durante el proceso de construcción, de mantenimiento y de operación de los vehículos que circulan a bajas velocidades.

En tales condiciones, el valor de 0.12 representa un valor práctico máximo de la sobreelevación para sitios donde no existe nieve o hielo. En el caso de caminos revestidos con bajos volúmenes de tránsito, pueden usarse sobreelevaciones de 0.12 para facilitar el drenaje transversal, sin embargo, valores de este orden propician altas velocidades que pueden provocar la formación de roderas y el desplazamiento del

material de revestimiento. Se reconoce generalmente que 0.08 es un valor razonable para la sobreelevación.

Cuando la nieve y el hielo son factores a considerar, las pruebas y la experiencia señalan que un valor del orden de 0.08 es un máximo razonable para minimizar el deslizamiento transversal de los vehículos que circulan a bajas velocidades en la carretera.

En situaciones de congestionamiento de tránsito o cuando los desarrollos adyacentes a la vía limitan las velocidades, es práctica común utilizar valores bajos para la sobreelevación máxima, usualmente de 0.040 o 0.060. De manera similar en intersecciones importantes o en lugares donde se conduce a bajas velocidades debido a que existen frecuentes movimientos de cruce o de giro, se utilizan sobreelevaciones muy bajas o bien se proyecta sin sobreelevación.

De lo anterior se puede concluir: 1) Al establecer los controles para el proyecto de curvas en carreteras, debe reconocerse la conveniencia de utilizar varias sobreelevaciones máximas en lugar de una sola. 2) No exceder el valor de 0.12 y suprimir la sobreelevación en proyectos de calles urbanas con bajas velocidades sujetas a restricciones severas. Por consiguiente, para fines prácticos, las sobreelevaciones recomendables son: 0.040, 0.060, 0.080, 0.100 y 0.120.

003.C-02 Grado Máximo de Curvatura y Radio Mínimo.- El grado máximo de curvatura (o el radio mínimo) es un valor que limita la curvatura para una velocidad de proyecto dada y se determina a partir de la sobreelevación máxima y del coeficiente de fricción máximo permisible.

El radio mínimo en condiciones de seguridad, se calcula directamente de la fórmula simplificada de la curva explicada en el párrafo 003.B.01

$$\mathbf{Rmin} = \frac{v^2}{127\ (e + f)}$$

El grado de curvatura, de una curva circular, es el ángulo (o número de grados) subtendido en el centro por un arco de 20 m de longitud. Al usar G como el grado de la curva circular, G = 1145.92/R, la fórmula simplificada de la curva circular es la siguiente:

$$\mathbf{Gmax} = \frac{46000\ (e + f)}{v^2}$$

003.D Proyecto de Curvas Horizontales en Carreteras Rurales y Arterias Urbanas de Alta Velocidad.

La Figura 3-3 muestra, con una línea sólida superpuesta al conjunto de curvas, los valores recomendables del coeficiente de fricción lateral para carreteras rurales y arterias urbanas de alta velocidad. Dichos valores proporcionan un margen razonable de seguridad a altas velocidades y valores algo menores para velocidades de proyecto bajas, que permiten neutralizar la tendencia que tienen muchos conductores de circular con exceso de velocidad en carreteras con velocidades de proyecto bajas.

El procedimiento descrito previamente en el párrafo 003.B.02, para la distribución de e y f, es recomendable para todas aquellas curvas de carreteras rurales y arterias urbanas de alta velocidad con grados de curvatura menores que el máximo.

El radio de giro mínimo de cada una de las sobreelevaciones consideradas, puede calcularse a partir de la fórmula estándar de la sobreelevación, usando los valores de f, de la Figura 3-3.

003.D.01 Efecto de las Pendientes.- En pendientes pronunciadas los conductores tienden a viajar a velocidades más altas en descenso que en ascenso. En el proyecto de una carretera debe reconocerse esta tendencia y hacerse algunos ajustes en la sobreelevación. En el caso de carreteras divididas donde la sobreelevación de cada calzada es independiente, o en rampas de un solo sentido, el ajuste puede hacerse rápidamente. Una forma simple y práctica es suponer una velocidad de proyecto más alta para el descenso y más baja para el ascenso. Las variaciones en el proyecto dependerán necesariamente de condiciones particulares, especialmente de la longitud e inclinación de la pendiente y del valor relativo del grado de la curva, al ser comparado con los grados de otras curvas de tramos adyacentes.

003.D.02 Curvas de Transición (Espirales).- Cualquier vehículo de motor sigue una transición en su trayectoria al entrar o salir de una curva horizontal. El movimiento del volante del vehículo y la consiguiente ganancia o pérdida de fuerza centrífuga no pueden efectuarse instantáneamente. En la mayoría de las curvas el conductor promedio puede lograr una transición adecuada de su trayectoria dentro de los límites fijados por la anchura del carril en que éste circula, sin embargo, la combinación de altas velocidades y curvas cerradas, obliga a transiciones más largas que pueden propiciar la ocupación de carriles adyacentes. En tales circunstancias, puede ser apropiado el uso de curvas de transición para hacer que el conductor conserve más fácilmente su vehículo en el carril por donde circula. El empleo de curvas de transición entre tangentes y curvas circulares agudas y entre curvas circulares de radios

substancialmente diferentes es necesario que se cumplan ciertos requisitos. Las principales ventajas de las curvas de transición en el alineamiento horizontal, son las siguientes:

1. Cuando se proyectan correctamente proporcionan trayectorias que son fáciles de seguir por los conductores.

2. La longitud de la transición proporciona un arreglo conveniente y deseable para el desarrollo de la sobreelevación.

3. La espiral facilita la transición de la anchura del pavimento cuando la sección transversal tiene que ser ampliada a lo largo de una curva circular.

4. La apariencia de la carretera se mejora y realza con la aplicación de espirales.

Generalmente se usa la espiral de Euler, conocida también como clotoide. El grado de la curva varía desde 0 en tangente o punto final de la espiral, hasta el grado del arco, al final de la curva circular. Por definición, el grado de la curva en cualquier punto de la espiral varía con la distancia medida a lo largo de la misma espiral. En el caso de espirales que conectan dos curvas circulares de diferente radio, hay un grado inicial de la curva en lugar de un valor de cero.

Longitud de la Espiral.- La siguiente ecuación desarrollada en 1909 por Shortt para alcanzar una aceleración centrípeta gradual en curvas de ferrocarril, es la expresión básica utilizada en el cálculo de longitudes mínimas de espirales

$$L = 0.214 \frac{V^3}{C\,R}$$

en donde: L = Longitud mínima de la espiral en metros.
V = Velocidad en km/h.
R = Radio de la curva en metros.
C = Incremento de la aceleración centrípeta en metros/seg^3.

El factor C es un valor empírico que indica el confort y la seguridad involucrados. Un valor de C = 0.305 m/s^3, se acepta generalmente en la operación de ferrocarriles, pero en carreteras, se han usado valores en el rango de 0.305 m/s^3 a 0.914m/s^3. En algunos casos, esta fórmula es modificada para tomar en cuenta el efecto de la sobreelevación que resulta en longitudes mucho más cortas. Las carreteras aparentemente no requieren mayor precisión que la obtenida con esta fórmula o su modificación. Un control más práctico para la longitud de

la espiral, es aquél en que dicha longitud es igual a la requerida para el desarrollo de la sobreelevación.

003.D.03 Desarrollo de la Sobreelevación.- Longitud Requerida.- El término desarrollo de la sobreelevación se refiere a la longitud necesaria para completar el cambio de pendiente transversal, desde el bombeo hasta la sobreelevación total correspondiente a la curva o viceversa. En general, la longitud de la espiral debe ser tal, que permita hacer adecuadamente el cambio de pendientes transversales.

La práctica cotidiana indica, que para lograr una apariencia agradable y un grado aceptable de confort, la longitud para el desarrollo de la sobreelevación no debe exceder una pendiente longitudinal (la orilla comparada con la línea central de una carretera de dos carriles) de 1:200. En otras palabras, cuando se consideran calzadas de dos carriles, la diferencia en pendiente longitudinal entre el perfil de la orilla del pavimento y el perfil de su línea central no debe exceder 0.5 porciento.

En ciertos lugares se usa la pendiente 1:200 para velocidades de proyecto de 80 km/h y mayores. Cuando las velocidades de proyecto están en el rango de 50 a 65 km/h se usan pendientes relativas de 1:50 y de 1:75 respectivamente. Estos valores corresponden a pendientes relativas de 0.67 y 0.58 porciento. Para reflejar la importancia de una velocidad de proyecto más alta y para armonizar con curvaturas más suaves tanto horizontales como verticales, parece lógico extrapolar el cambio de pendiente relativa a velocidades de proyecto mayores.

La longitud para el desarrollo de la sobreelevación es directamente proporcional a la sobreelevación total, la cual es el producto de la anchura del carril por la sobreelevación relativa.

La longitud en que se desarrolla la sobreelevación es aplicable a todas las curvas sobreelevadas pudiendo usarse este valor en espirales con longitudes mínimas.

La longitud para desarrollar la sobreelevación en calzadas con más de dos carriles se basa en consideraciones similares. Sobre esta base las longitudes correspondientes a calzadas de carreteras de cuatro carriles serían el doble y en carreteras de tres carriles el triple.

Localización con Respecto al Final de la Curva.- En el proyecto de alineamientos con espirales de transición, el desarrollo de la sobreelevación se lleva a cabo en su totalidad sobre la curva de transición. Cuando no se usan espirales usualmente se colocan 2/3 del desarrollo de la sobreelevación sobre la tangente y 1/3 sobre la curva.

Métodos para Lograr la Sobreelevación.- Para pasar del bombeo a la sobreelevación se puede utilizar alguno de los siguientes métodos:

1. Girar la sección sobre el eje de la corona.

2.- Girar la sección sobre la orilla interior de la corona.

3.- Girar la sección sobre la orilla exterior de la corona.

4.- Girar la sección (cuando ésta es plana o recta) sobre la orilla exterior de la corona.

Considerando el número tan grande de arreglos que puede haber del perfil y reconociendo algunos problemas específicos como el drenaje, la eliminación de pendientes críticas, la estética y el acomodo del pavimento en el terreno, no es posible recomendar un método en particular, de los citados anteriormente. Se reconoce sin embargo, que el primer procedimiento es el más conveniente por requerir menor longitud de transición.

Proyecto del Perfil de la Orilla del Pavimento.- Al dar la sobreelevación se producen ángulos de quiebre en los perfiles, que conviene redondear por razones de apariencia y seguridad, insertando curvas verticales. Como una guía aproximada de carácter práctico la longitud mínima de la curva vertical en metros puede ser numéricamente igual a 1/5 de la velocidad de proyecto en km/h, siendo convenientes longitudes más grandes cuando así lo determine el perfil.

Desarrollo de la Sobreelevación en Carreteras Divididas con Faja Separadora Central.- En el proyecto de carreteras divididas, la inclusión de una faja separadora central en la sección transversal, puede alterar de alguna manera el tratamiento del desarrollo de la sobreelevación. Dependiendo de la anchura de la faja y de su sección, hay tres casos generales para el desarrollo de la sobreelevación:

Caso I.- Toda la sección, incluyendo la faja separadora, se sobreeleva conservándola en una plano.

Caso II.- La faja separadora se mantiene en un plano horizontal girando separadamente las dos calzadas alrededor de las orillas de la faja.

Caso III.- Las dos calzadas se tratan separadamente para desarrollar la sobreelevación, lo que resulta en una diferencia de altura de las orillas de la faja separadora.

El caso I, se limita necesariamente, a fajas separadoras angostas y a sobreelevaciones moderadas para evitar diferencias sustanciales de altura entre las orillas de la faja. El caso II, se aplica a cualquier anchura de la faja

separadora pero generalmente a anchuras que fluctúan alrededor de 10 m. El caso III, es preferible en fajas separadoras más anchas porque la diferencia de altura entre las orillas se minimiza debido a la pendiente transversal de la faja.

003.E Curvatura en Enlaces de Intersecciones.

003.E.01 Radio Mínimo para Velocidad de Giro Mínima.- Los vehículos que dan vuelta en intersecciones proyectadas por radios de giros mínimos, tienen que operar a bajas velocidades, probablemente a menos de 15 km/h. Aunque es deseable y a menudo factible, proyectar para que los vehículos operen a mayor velocidad es necesario, a veces, por seguridad y economía, usar velocidades de proyecto bajas en la mayoría de las intersecciones. Es conveniente que la velocidad de proyecto utilizada sea la velocidad de marcha del tránsito de la carretera que se aproxima para dar vuelta en la intersección. El proyecto a tales velocidades causa poca interferencia y puede justificarse en los enlaces de algunos entronques o en intersecciones donde el conflicto con los peatones sea menor.

Los conductores generalmente conducen en las intersecciones a velocidades más altas en relación con el grado de curvatura, que en el caso de curvas de carreteras en camino abierto. Se alcanzan mayores velocidades porque los conductores aceptan y usan coeficientes de fricción más altos en curvas de intersecciones, en camino abierto. La Figura 3-5 muestra las relaciones velocidad-curvatura en términos de la distribución de velocidades y del coeficiente de fricción lateral, en curvas de intersecciones.

Para el proyecto de curvas en intersecciones, es deseable establecer un solo radio de giro mínimo para cada velocidad de proyecto. Esto se logra asumiendo una sobreelevación mínima para cada radio.

Además de la velocidad de proyecto, se usa también la velocidad de marcha promedio para el diseño de curvas en intersecciones. Con este propósito puede utilizarse la Figura 3-6 que relaciona las velocidades de proyecto con las velocidades promedio de marcha, tanto en camino abierto como en intersecciones.

Los radios de giro mínimos que se indican deberán usarse, de preferencia, para la orilla interna en lugar del centro del pavimento. En todos los casos deberá darse la mayor sobreelevación posible, dentro de los límites prácticos. Para los radios que se sugieren deberá procurarse una sobreelevación de por lo menos 0.08 en todos los casos y de 0.08 a 1.00 donde la nieve o el hielo sean factores dominantes. Asimismo, cuando la intersección aloje un porcentaje importante de camiones, debe evitarse la

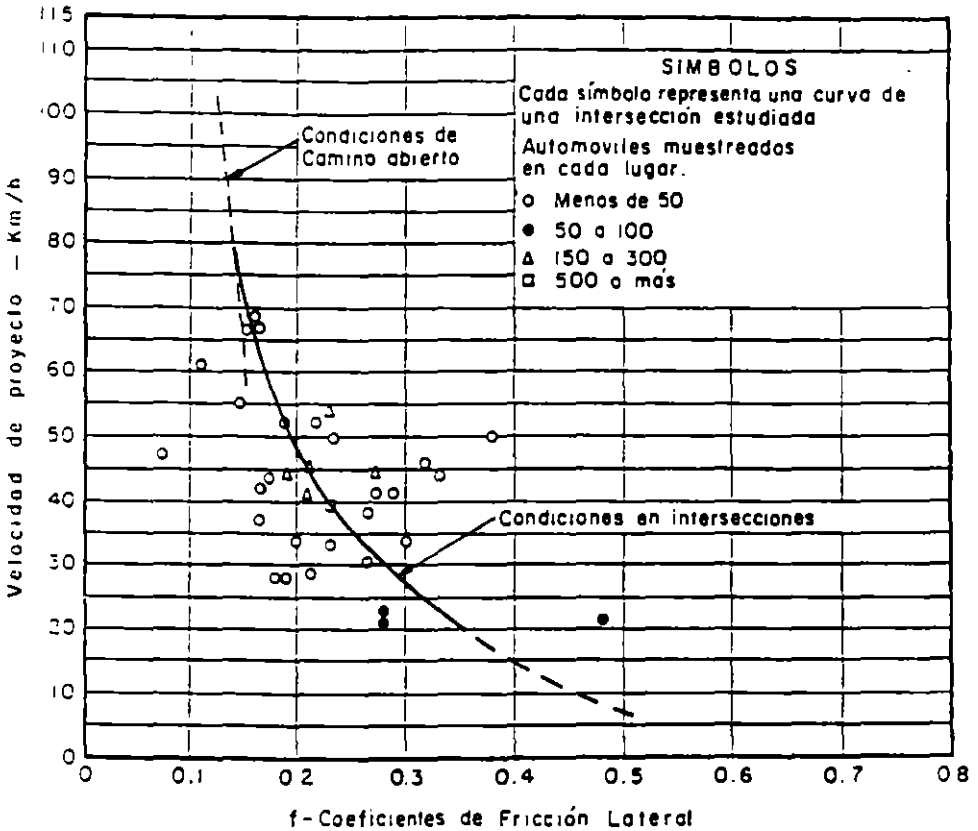


Figura 3-5 **Relación entre la velocidad de proyecto y el coeficiente de fricción lateral en intersecciones.**

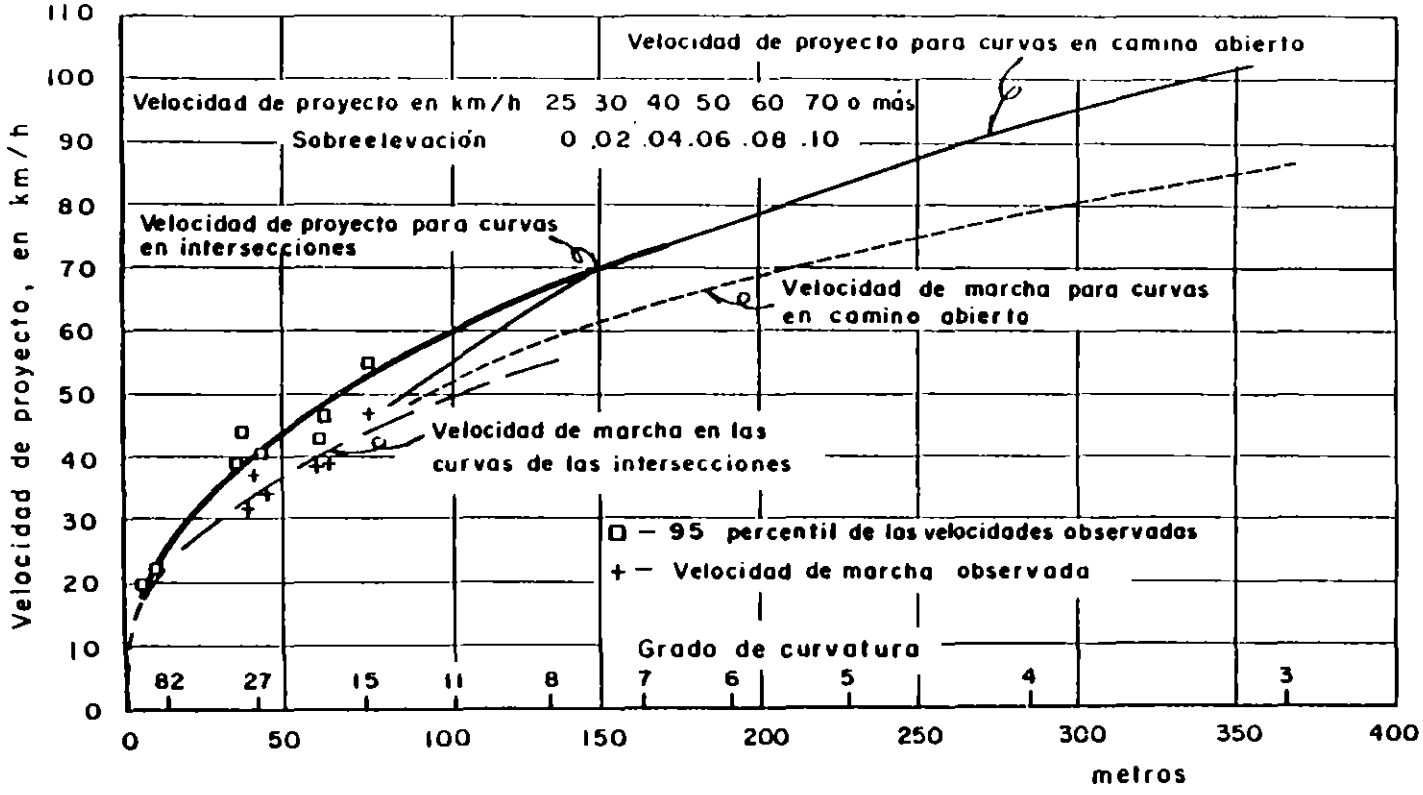


Figura 3-6 Radios mínimos para curvas en intersecciones.

sobreelevación, debido a que los vehículos pesados tienen mayor dificultad para desplazarse.

003.E.02 Curvas de Transición y Curvas Compuestas.- Los conductores siguen trayectorias de transición cuando hacen maniobras de giro en intersecciones, de la misma manera que en curvas de carreteras en camino abierto. Por consiguiente, el proyecto deberá contemplar la incorporación de curvas espirales o curvas circulares compuestas que faciliten las trayectorias naturales de los vehículos.

003.E.03 Longitud de la Espiral.- La longitud de espirales en intersecciones, se determina de la misma manera que en camino abierto. En intersecciones las curvas espirales pueden ser más cortas porque los conductores aceptan cambios de dirección más rápidos donde existen restricciones para circular libremente.

003.E.04 Curvas Circulares Compuestas.- Las curvas circulares compuestas son efectivas para mejorar la apariencia de los enlaces en intersecciones a nivel y en rampas de entronques a desnivel. Cuando se usan curvas de arco circulares muy diferentes el alineamiento se torna abrupto o forzado y los conductores requieren de un considerable esfuerzo para maniobrar sus vehículos y mantenerlos dentro de trayectorias adecuadas.

Para curvas compuestas en camino abierto, se acepta generalmente una relación de 1.5:1 entre el radio de la curva más abierta y el radio de la más cerrada. En curvas de intersecciones donde los conductores aceptan cambios más rápidos, la relación entre la curva más abierta y la más cerrada puede a ser de 2:1. En lo posible deberán usarse relaciones de 1:1.75. Cuando la relación sea mayor de 2:1 deberá insertarse una espiral o un arco circular de radio intermedio entre las dos curvas.

003.F Anchura de los Enlaces en Intersecciones.

Las anchuras de calzada en los enlaces de intersecciones, están gobernados por el volumen de tránsito que da vuelta y el tipo de vehículos que éstos pueden alojar en uno ó en dos sentidos de circulación, dependiendo de la geometría de la intersección.

003.F.01 Anchura de Calzada.- Las anchuras de calzada en enlaces, se clasifican de acuerdo con los siguientes tipos de operación:

I. Operación en un solo sentido, con un solo carril y sin previsión para rebase.

II. Operación en un solo sentido, con un solo carril y con previsión para el rebase de vehículos estacionados.

III. Operación en uno ó en dos sentidos de operación y con dos carriles.

El caso I, se utiliza para enlaces de corta longitud, donde los volúmenes de tránsito son moderados.
En el caso II, la anchura permite la operación a bajas velocidades y con distancias libres restringidas para rebasar a un vehículo estacionado. Estas anchuras son aplicables a todos los movimientos de vuelta, donde los volúmenes de tránsito, fluctúan entre moderados y altos, siempre y cuando no excedan la capacidad de un solo carril.
La anchura en el caso III, es aplicable cuando la operación es en dos sentidos, pero son necesarios dos carriles para acomodar el volumen de tránsito.

La anchura de la huella del vehículo U, es la distancia entre las trayectorias externas de las ruedas del vehículo mientras circula dentro de la curva. La anchura de la huella en tangente es la entrevía EV. Cuando un vehículo circula en una curva, la anchura de la huella es mayor que cuando circula en tangente. Para vehículos ligeros y camiones de dos ejes (DE-335 y DE-610) la anchura de la huella en curva es igual a la huella del vehículo en tangente, más el desplazamiento de la misma huella. Esta, se puede calcular con la siguiente expresión:

$$U = EV + R - \sqrt{R^2 - DE^2}$$

donde: EV = Entrevía (huella del vehículo en tangente) en metros.
R = Radio de giro de la rueda delantera externa en metros.
DE = Distancia entre ejes extremos del vehículo - en metros.

La ecuación anterior se aplica, únicamente, a vehículos formados por una sola unidad. Los valores correspondientes a vehículos integrados por combinaciones de tractor semi-remolque y/o remolque, se obtienen de modelos a escala y modelos de computadora. Los valores de U, para diferentes radios de giro de algunos vehículos de proyecto se muestran en la Figura 3-7.

La proyección del vuelo delantero F^A, es la distancia radial entre la cara exterior de la rueda delantera externa y el borde de la carrocería. Sus valores para algunos vehículos de proyecto y diferentes radios de giro se muestran en la Figura 3 8.

La proyección del vuelo trasero F^B, es la distancia radial entre la cara exterior de la rueda trasera interna y el borde de la carrocería.

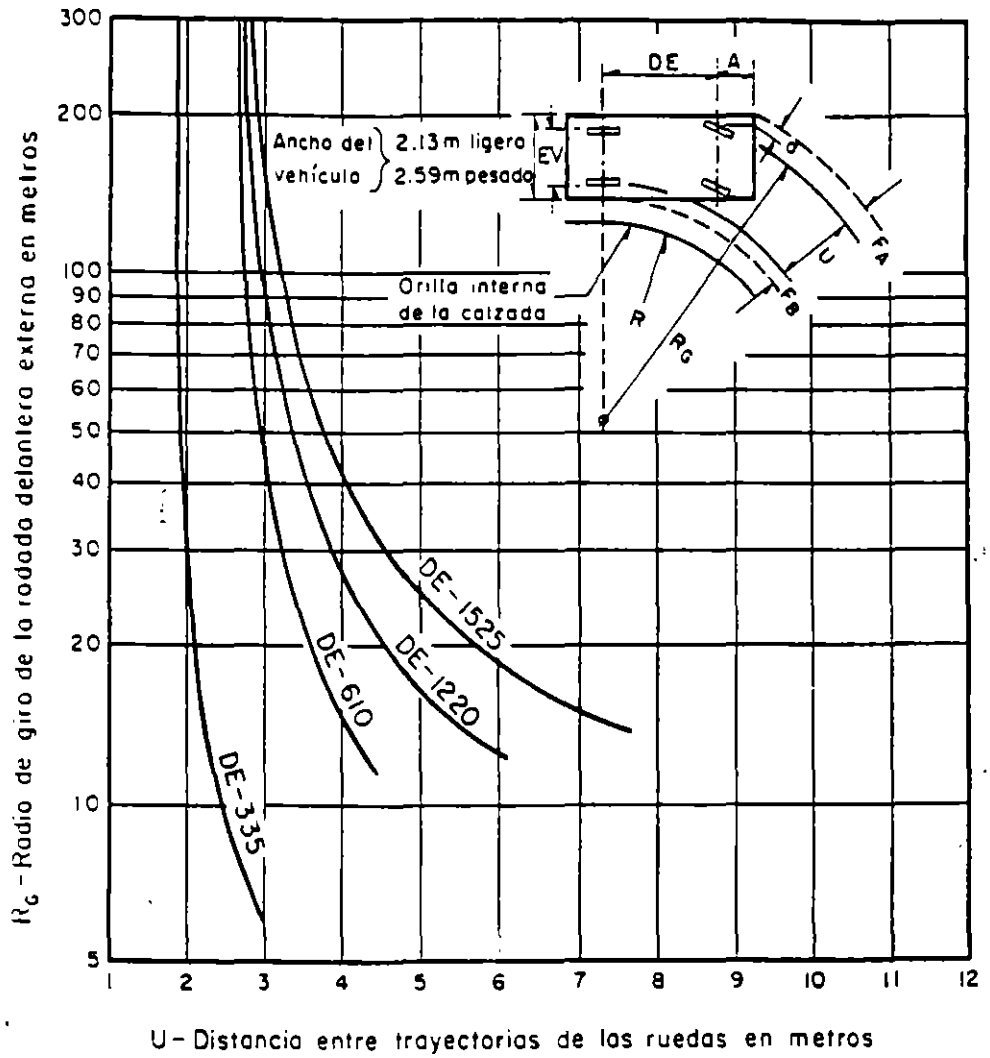


Figura 3-7 Distancia entre las trayectorias externas de las ruedas del vehículo dentro de la curva.

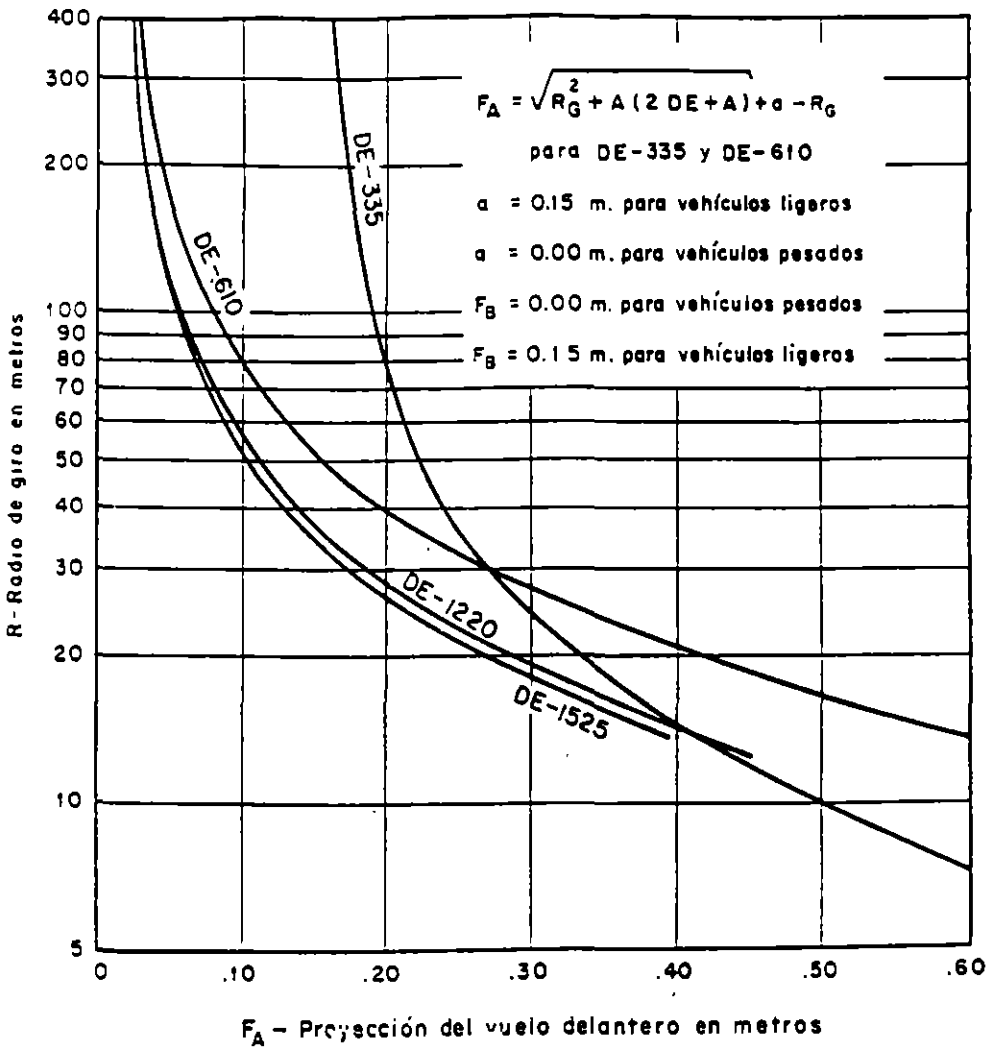


Figura 3-8 Proyección del vuelo delantero del vehículo.

El ancho adicional (Z) proporciona una tolerancia que considera la dificultad de maniobrar en las curvas y las distintas formas de manejar los conductores. Se mide radialmente y se aplica en la orilla interior de la calzada, siendo uniforme a lo largo de toda la curva. Su valor se obtiene a partir de la siguiente expresión empírica:

$$Z = \frac{0.10\ V}{\sqrt{R}}$$

en donde: Z = Anchura adicional por dificultad de maniobra en metros.
V = Velocidad de proyecto en km/h.
R = Radio de la orilla interna de la calzada en metros.

Para los valores de V y de R empleados usualmente en intersecciones, Z es un valor casi constante de 0.60 m.

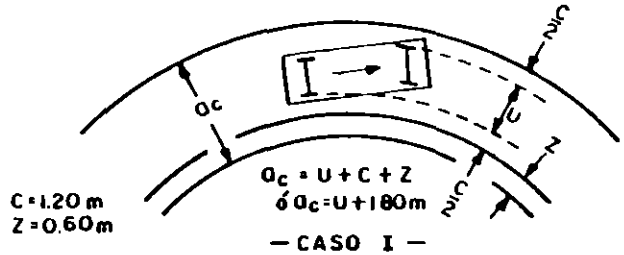
La distancia libre entre vehículos C es el espacio entre la orilla del pavimento y la trayectoria de la rueda más cercana a dicha orilla; se refiere además, al espacio libre o separación que existe entre las carrocerías de los vehículos que se encuentran o rebasan en la curva. Su valor para proyecto se considera igual o mayor a 1.20 m. Las expresiones para calcular la anchura total de calzada correspondiente a cada una de las tres condiciones de operación mencionadas se muestran en la Figura 3 9.

Para poder determinar la anchura del enlace, además de considerar el tipo de operación para el cual se haya decidido proyectar, es necesario conocer los tipos de vehículos que circularán en el mismo y su grado de participación en la corriente de tránsito.

Las calzadas de los enlaces, usualmente alojan varios tipos de vehículos y rara vez se proyectan para que circulen exclusivamente tractores con semi-remolque o vehículos más grandes; por consiguiente, una guía adecuada, es proyectar los enlaces considerando diversos tipos de vehículos. Sin embargo, cuando un enlace va a ser utilizado por vehículos muy grandes, sus trayectorias deberán poder alojarse en enlaces cuya operación sea del tipo I.
Las condiciones de tránsito que usualmente se consideran, en combinación con los tres tipos de operación descritos en el párrafo 002.F.01, son los siguientes:

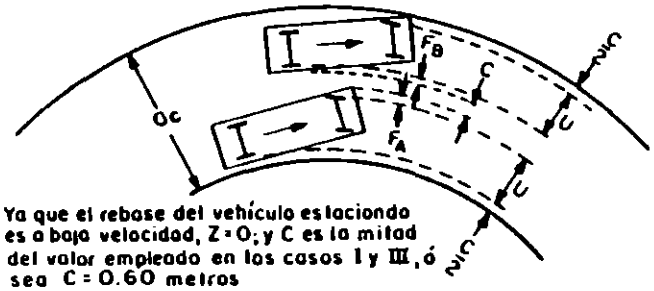
Condición de Tránsito A: predominantemente vehículos de proyecto DE-335 pero con algunos camiones DE-610.

Condición de Tránsito B: un número suficiente de vehículos DE-610 como para gobernar el proyecto, pero con algunos semi-remolques.



— CASO I —

OPERACION EN UN SOLO SENTIDO, CON UN SOLO CARRIL Y SIN PREVISION PARA REBASE



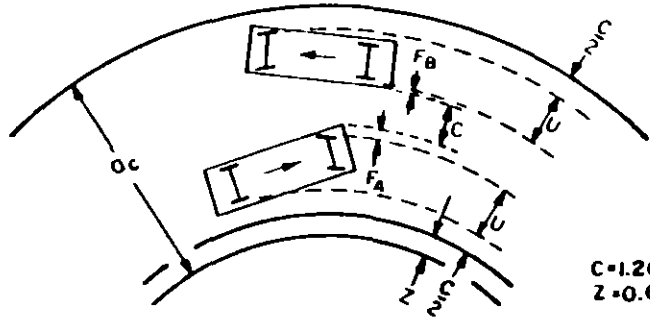
Ya que el rebase del vehículo estaciondo es a baja velocidad, Z = 0; y C es la mitad del valor empleado en los casos I y III, ó sea C = 0.60 metros

$O_c = 2(U+C) + F_A + F_B$ ó

$O_c = 2U + F_A + F_B + 1.20m.$

— CASO II —

OPERACION EN UN SOLO SENTIDO, CON UN SOLO CARRIL Y CON PREVISION DE REBASE A VEHICULOS ESTACIONADOS



C = 1.20 m
Z = 0.60 m

$O_c = 2(U+C) + F_A + F_B + Z$ ó

$O_c = 2U + F_A + F_B + 3.00m$

— CASO III —

OPERACION EN UNO O EN DOS SENTIDOS DE CIRCULACION Y CON DOS CARRILES

U = Distancia entre las trayectorias extremas de las ruedas del vehículo dentro de la curva, (m)

F_A = Proyección del vuelo delantero, (m)

F_B = Proyección del vuelo trasero, (m)

C = Distancia libre entre vehículos, (m)

Z = Ancho adicional por dificultad de maniobra, (m)

NOTA: En las fórmulas para los casos II y III si el vehículo rebasado es de diferente tipo, 2U se convertirá en $U_1 + U_2$.

Figura 3-9 Ancho de la calzada en los enlaces.

Condición de Tránsito C: suficientes vehículos DE-1220 o DE-1525 para gobernar el proyecto.

En la Tabla 3-2 se sugieren las anchuras de proyecto que consideran la combinación de los tipos de operación y condiciones de tránsito tratadas con anterioridad. Es necesario, sin embargo, tener presente los cambios tan dinámicos que están experimentando las dimensiones y pesos de los vehículos de carga que circulan en la red nacional de carreteras y la nueva reglamentación con el fin de ponderar el efecto que dichos cambios pudieran tener en el proyecto.

003.F.02 Acotamientos en los Enlaces.- En intersecciones canalizadas, usualmente no son necesarios los acotamientos. Los carriles pueden delinearse con guarniciones, marcas en el pavimento o isletas.

Cuando existen enlaces independientes para dar vuelta a la derecha, la orilla izquierda del enlace sirve para delinear uno de los lados de la isleta triangular. Si la isleta es pequeña o especialmente importante para encauzar movimientos, ésta debe ser delimitada por guarniciones o marcas en el pavimento. Por otra parte, cuando el radio de giro es grande, el lado de la isleta puede ser delimitado por delineadores (fantasmas) o simplemente, con marcas en el pavimento. En cualquier caso, el acotamiento del lado izquierdo es innecesario.

En áreas rurales, el acotamiento se proporciona del lado derecho de los enlaces que se utilizan para dar vuelta en esa dirección. Al igual que en camino abierto, el acotamiento derecho es esencial como tratamiento general de la sección transversal, sin embargo, es posible que éstos tengan que ser más angostos, debido a las condiciones de la intersección. En virtud de que los vehículos tienen tendencia a invadir los acotamientos, deberá considerarse la conveniencia de que sean robustos para que soporten el paso frecuente de camiones. En la Tabla 3-3 se indican los rangos recomendables para proyecto.

003.G Anchura de la Calzada en Tangente.

Para determinar la anchura de calzada en tangente, es necesario establecer el nivel de servicio deseado para el año de proyecto. Esta información junto con estudios económicos que consideren los costos de construcción, conservación y operación, pueden conducir a la determinación del número adecuado de carriles y del ancho necesario de éstos, para satisfacer la futura demanda de tránsito. Las anchuras usuales son 2.75 m, 3.00 m, 3.30 m y 3.65 m, proyectándose normalmente dos, cuatro ó más carriles; sin embargo, cuando el volumen de tránsito es muy bajo, de 75 vehículos por día o menos, pueden proyectarse de un solo carril para las dos direcciones del tránsito, con una anchura de 4.50 m.

R Radios de la orilla interna de la calzada, metros	ANCHO DE CALZADA EN METROS								
	CASO I Operación en un sólo sentido, con un sólo carril y sin previsión para el rebase			CASO II Operación en un sólo sentido, con un sólo carril y con previsión para el rebase a vehículos estacionados.			CASO III Operación en uno o dos sentidos de circulación, y con dos carriles.		
	CONDICION DE TRANSITO								
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15.00	5.50	5.50	7 00	7.00	7.50	8.75	9.50	10.75	12.75
23.00	5.00	5.25	5.75	6.50	7 00	8.25	8.75	10.00	11.25
31.00	4 50	5.00	5.50	6.00	6.75	7.50	8.50	9.50	10.75
46.00	4 25	5.00	5.25	5.75	6.50	7.25	8.25	9.25	10.00
61.00	4.00	5.00	5.00	5.75	6.50	7.00	8.25	8.75	9.50
91 00	4.00	4 50	5.00	5.50	6.00	6.75	8.00	8.50	9.25
122.00	4 00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.75	8.00	8.50	8.75
152.00	3.75	4.50	4.50	5.50	6.00	6.75	8.00	8.50	8.75
Tangente	3.75	4 50	4.50	5.25	5.75	6.50	7.50	8.25	8.25

Modificaciones al ancho de acuerdo con el tratamiento de las orillas de la calzada			
Guarnición achaflanada	NINGUNA	NINGUNA	NINGUNA
Guarnición vertical Un lado Dos lados	Aumentar 0.30 m Aumentar 0 60 m	NINGUNA Aumentar 0 30 m	Aumentar 0 . 30m Aumentar 0 60m
Acotamiento, en uno o en ambos lados.	NINGUNA	Restar el ancho del acotamiento; Ancho mínimo de la calzada el del Caso I	Cuando el acotamiento sea de 1 20m o mayor, reducir 0.60 m

Tabla 3-2 Ancho de calzada en los enlaces.

Condiciones de operación	Ancho del Acotamiento o Espacio Lateral Fuera de los Límites del Camino (m)	
	Izquierdo	Derecho
Longitud corta, usualmente para canalizar el transito en intersecciones	0.60 a 1.20	0.60 a 1.20
Longitud media y larga, o en corte o en terraplén	1.20 a 3.00	1.80 a 3.60

Tabla 3-3 Rangos del ancho del acotamiento o espacio lateral equivalente fuera de los límites del camino. Todas las dimensiones deben ser incrementadas, hasta donde sea necesario por la distancia de visibilidad.

003.H Ampliaciones en Curvas.

En algunas ocasiones se amplían las curvas horizontales para que sus condiciones de operación sean comparables con las condiciones en tangente. Las ampliaciones son necesarias en ciertas curvas por cualquiera de las siguientes razones: 1) Los vehículos o los camiones ocupan mayor espacio, debido a que la huella es más ancha. 2) Los conductores experimentan dificultad para mantener sus vehículos en el centro del carril.

La anchura adicional requerida cuando se circula en una curva, puede ser calculada geométricamente para cualquier combinación de radios y distancias entre ejes extremos (DE).

En autopistas con carriles de 3.65 m y altas especificaciones de alineamiento, se reduce considerablemente la necesidad de ampliar las curvas, sin embargo, bajo ciertas condiciones de velocidad y curvatura, puede subsistir ese requerimiento.

La anchura de calzada en curvas de caminos de dos carriles, se calcula sumando a la distancia entre huellas U de los vehículos circulando en curva, la distancia libre lateral C que debe existir entre ambos vehículos y entre éstos, y la orilla de la calzada y el sobreancho F^A (proyección del vuelo delantero) del vehículo que circula por el lado interior de la curva; al valor resultante hay que sumar una distancia adicional Z que toma en cuenta la dificultad de maniobra en la curva. La Figura 3-10 ilustra la forma en que intervienen, cada uno de los elementos mencionados, en el cálculo de la ampliación necesaria para obtener la anchura de calzada en curva.

Para fines de proyecto no se consideran aquellas ampliaciones que resulten menores de 0.20 m.

En curvas circulares con espirales, la ampliación puede darse proporcionalmente a la longitud de las espirales. En curvas circulares sin espirales, puede usarse el mismo criterio.

El cálculo de cada caso deberá tratarse de manera individual considerando las condiciones prevalecientes del tránsito y características particulares de proyecto.

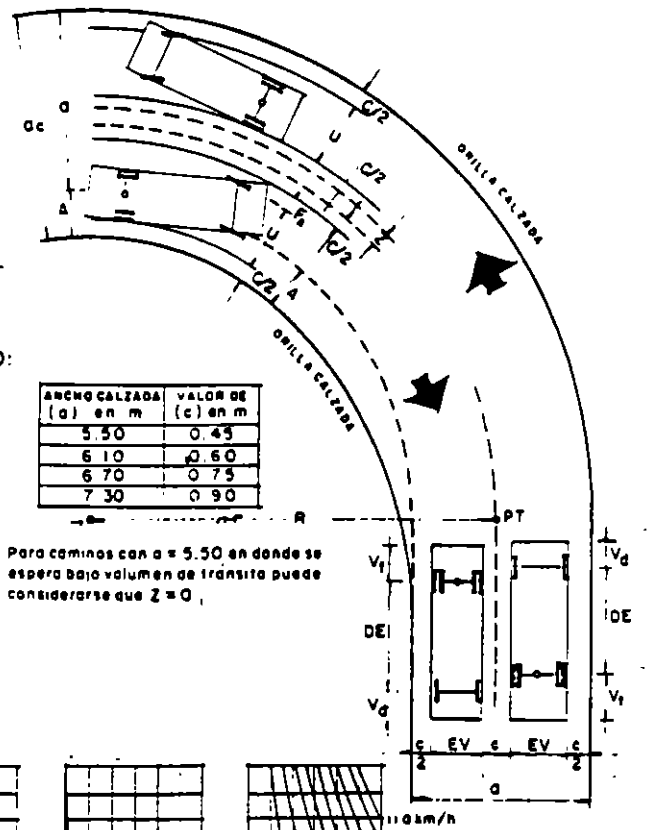
003.I Distancia de Visibilidad en Curvas Horizontales.

Otro elemento del alineamiento horizontal, es la distancia de visibilidad en el interior de curvas horizontales. Cuando existen obstrucciones a la visibilidad como muros de contención, cortes del terreno, edificios, barreras longitudinales, etc., en la parte interior de las curvas, pueden requerirse ajustes al proyecto de la sección transversal de la carretera o cambios al alineamiento si la obstrucción no puede ser removida.

SIMBOLOS

- a – Ancho de calzada en tangente
- a_c – Ancho de calzada en curva
- A – Ampliación en curva
- V_t – Vuelo trasero
- V_d – Vuelo delantero
- DE – Distancia entre ejes
- EV – Entrevía (en este caso igual al ancho total del vehículo)
- C – Distancia libre entre vehículos
- U – Distancia entre huellas externas
- F_a – Proyección del vuelo delantero
- Z – Sobreancho por dificultad de maniobra

NOTA. Todas las medidas en metros y normales al alineamiento horizontal.



EXPRESIONES PARA EL CALCULO:

$$A = a_c - a$$

$$a_c = 2U + 2C + F_a + Z$$

$$U = \overline{EV} + R - \sqrt{R^2 - \overline{DE}^2}$$

$$F_a = \sqrt{R^2 + V_d(2\overline{DE} + V_d)} - R$$

$$Z = 0.1\,\frac{V}{\sqrt{R}}$$

ANCHO CALZADA (a) en m	VALOR DE (c) en m
5.50	0.45
6.10	0.60
6.70	0.75
7.30	0.90

Para caminos con a = 5.50 en donde se espera bajo volumen de tránsito puede considerarse que Z = 0

GRAFICAS PARA EL CALCULO.

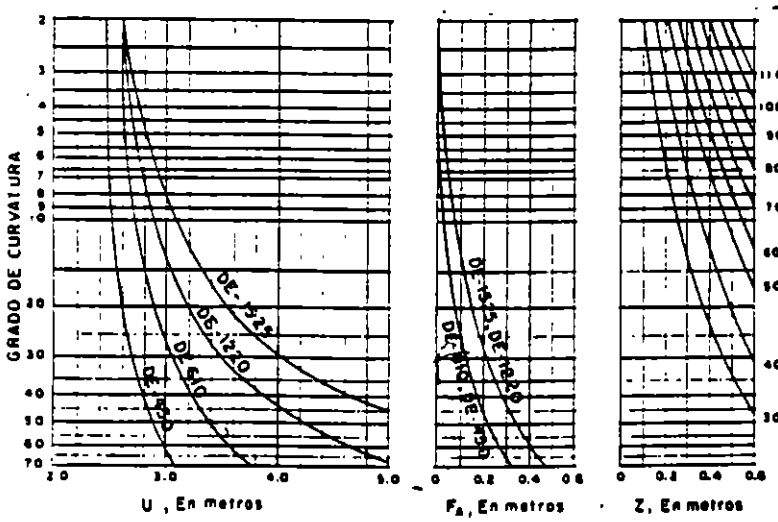


Figura 3-10 Ampliaciones en curvas de alineamiento horizontal.

Debido a que los alineamientos, las secciones transversales y el número, tipo y localización de las obstrucciones pueden variar considerablemente, será necesario realizar estudios en cada caso. Con la velocidad de proyecto y la distancia de visibilidad como controles, el proyectista deberá verificar las condiciones reales y hacer los ajustes necesarios para proporcionar la distancia de visibilidad apropiada.

003.I.01 Distancia de Visibilidad de Parada.- En el proyecto de curvas horizontales, la línea de visión del conductor está representada por una cuerda de la curva y la distancia de visibilidad de parada, por la longitud de la curva medida siguiendo el centro del carril interior. La Figura 3-11 ilustra la razón para proyectar de tal manera que los obstáculos estén suficientemente alejados de la orilla de la calzada. Esta distancia puede calcularse con la siguiente expresión:

$$R_1 = R - \frac{a + 3A}{4}$$

Cuando no se disponga de la distancia de visibilidad mínima, debido a la presencia de obstrucciones como defensas o parapetos, deberán considerarse, por seguridad y por razones económicas, otras alternativas. Remover la obstrucción, disminuir el grado de curvatura o aceptar velocidades de proyecto más bajas, pueden ser algunas de estas alternativas.

003.I.02 Distancia de Visibilidad de Rebase.- Para una misma velocidad de proyecto, la distancia de visibilidad de rebase en una carretera de dos carriles es alrededor de cuatro veces más grandes que la distancia de visibilidad de parada. Para disponer de esas distancias, es necesario que el interior de las curvas cuente con áreas despejadas mucho más amplias. La fórmula de la distancia de visibilidad de parada puede aplicarse directamente para calcular la distancia de visibilidad de rebase, sin embargo, desde el punto de vista práctico, su valor es limitado, excepto en el caso de curvas muy largas. Se llega a la conclusión de que sólo se puede proporcionar la distancia de visibilidad de rebase en curvas muy amplias. En general, para fines prácticos, las distancias de visibilidad de rebase están limitadas a alineamientos localizados en terreno plano o lomeríos suaves.

003.J Controles Generales para el Alineamiento Horizontal.

Además del proyecto de los elementos específicos del alineamiento horizontal, hay ciertos controles generales que se utilizan en la práctica cotidiana para lograr mayor eficiencia en la operación de una carretera.La curvatura excesiva, además de limitar la capacidad, puede ocasionar

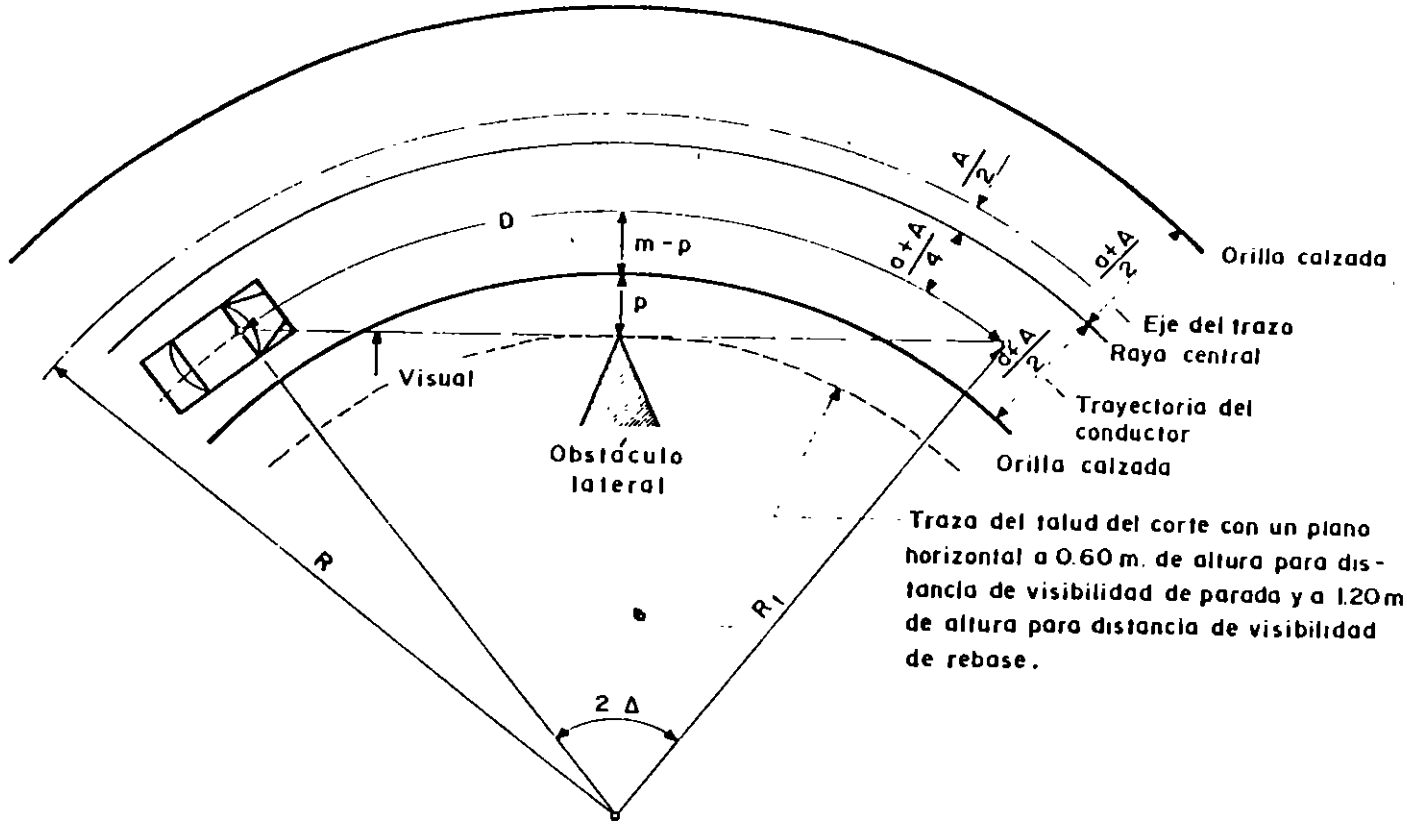


Figura 3-11. Distancia a obstáculos laterales en curvas horizontales.

pérdidas económicas cuantiosas al aumentar los sobrecostos del transporte, especialmente cuando la carretera forma parte de algún corredor de transporte donde se desplazan mercancías con un alto valor económico. Para evitar prácticas de proyecto pobres, cuyo objetivo generalmente es lograr ahorros iniciales en los costos de construcción, se sugieren los siguientes controles de proyecto siempre que sea posible:

1. Procurar alineamientos tan direccionales como sea posible pero al mismo tiempo, consistente con la topografía y con la preservación de las propiedades y valores de la comunidad. En general, conviene mantenerse en un mínimo el número de curvas de poca longitud y evitar curvas sucesivas de este tipo, ya que pueden provocar una operación errática. Hasta donde sea posible, incorporar tangentes en un alto porcentaje de la longitud, con el fin de proporcionar suficientes tramos con visibilidad de rebase.

2. Evitar siempre que sea posible, la máxima curvatura admisible correspondiente a la velocidad de proyecto de la carretera. El proyectista deberá intentar, en general, utilizar curvas suaves, reservando la curvatura máxima para las condiciones más críticas.

3. Procurar alineamientos que sean consistentes evitando el uso de curvas agudas al final de tangentes muy largas. En general, deberán evitarse cambios bruscos cuando se pase de una zona de curvas suaves a una zona de curvas pronunciadas.

4. Evitar el uso de curvas compuestas cuando existan curvas muy agudas, sin embargo, cuando la topografía o las restricciones en derecho de vía lo hagan necesario, el radio de la curva más suave no deberá exceder 1.5 veces el radio de la curva más aguda. En todo caso, una solución más conveniente es la utilización de curvas espirales de transición.

5. Evitar el uso de curvas inversas en el alineamiento, porque los conductores tienen dificultad para mantener sus vehículos en el carril por el que circulan; además de ser más difícil la sobreelevación adecuada de ambas curvas, la operación puede volverse errática.

6. Evitar tangentes cortas entre dos curvas con la misma dirección, excepto donde existan condiciones topográficas o de derecho de vía poco usuales. La razón de lo anterior es que la mayoría de los conductores no espera encontrarse con dos curvas sucesivas de esas características.

7. Para evitar una apariencia distorsionada o inconsistente del alineamiento horizontal, éste deberá proyectarse considerando al mismo tiempo, el perfil del proyecto.

CAPITULO 004 ALINEAMIENTO VERTICAL

004.A Tipo de Terreno.

La topografía de la zona donde se desarrolla el trazo de una carretera, influye en las características de su alineamiento. Aunque la topografía afecta al alineamiento horizontal, su efecto es más evidente en el alineamiento vertical. En terreno plano el trazo puede realizarse con pendientes y curvas poco pronunciadas y proporcionar distancias de visibilidad en gran parte de su desarrollo, a costos relativamente bajos. En lomerío, las irregularidades del terreno son más frecuentes presentándose algunas pendientes pronunciadas que pueden restringir el alineamiento horizontal y vertical del camino. En terreno montañoso los cambios de elevación, con respecto al camino son abruptos requiriéndose frecuentes cortes y terraplenes para lograr un alineamiento aceptable.

004.B Pendientes.

En general, los terrenos en lomerío generan pendientes longitudinales del camino que obligan a los camiones a reducir su velocidad por debajo de la velocidad de los automóviles. En terreno montañoso esta situación se agrava al provocar que algunos camiones operen a velocidades excesivamente bajas.

Desde el punto de vista económico, el proyecto del alineamiento horizontal y particularmente del alineamiento vertical, es de la mayor importancia porque incide directamente en los costos de operación del transporte. Si se considera que los costos de construcción representan en el tiempo solo una pequeña parte de los costos de operación, es indispensable revisar con todo cuidado la magnitud de los efectos que cualquier modificación del alineamiento, pueda producir en la economía global del proyecto.

004.C Características de Operación de los Vehículos en las Pendientes.

Vehículos Ligeros.- Se acepta generalmente, que casi todos los automóviles y camionetas pueden ascender en pendientes de 4 ó 5 porciento sin una pérdida apreciable de velocidad.

Vehículos Pesados.- El efecto de las pendientes de los camiones es mucho más pronunciado que en los vehículos ligeros. Bajo condiciones normales de carga, los camiones desarrollan a nivel, velocidades semejantes a las de los automóviles. La velocidad máxima que pueden sostener los camiones en una pendiente, depende principalmente de la longitud e inclinación de la pendiente y de la relación peso-potencia, expresada como el cociente que resulta de dividir

el peso bruto del vehículo entre su potencia, medida en caballos de fuerza.

El Instituto Mexicano del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, ha realizado estudios para determinar el efecto que tienen las pendientes en los camiones de carga (Referencia 3-6). En la Figura 3-12 se muestra el efecto que tienen diversas inclinaciones u longitudes de las pendientes en los vehículos de carga que transitan usualmente en la red nacional de carreteras. La relación peso-potencia que se ha encontrado para los vehículos de carga en México, es de 210 kg/HP, la cual contrasta con la relación peso-potencia de 136 kg/HP correspondiente a los vehículos que circulan en carreteras de EUA.

004.D Pendientes de Control para el Proyecto.

004.D.01 Pendiente Gobernadora.- 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. Es el elemento que tiene un impacto directo mayor en los costos de construcción de la carretera y en los costos de operación de los vehículos. Los costos de construcción, son función del tipo del terreno y de las características geométricas de la carretera, mientras que los costos de operación dependen de las características de los vehículos, del volumen de tránsito, de su composición y tasa de crecimiento, pero fundamentalmente, de la pendiente gobernadora que se elija. En el análisis económico, por consiguiente, deben involucrarse todas estas variables para determinar el costo total representado por la suma de costos de construcción, de conservación y de operación de los vehículos. Dentro del análisis, el costo total mínimo es el criterio económico para definir la pendiente gobernadora recomendable considerando diversas condiciones de terreno y características del tránsito.

004.D.02 Pendiente Máxima.- Se considera pendiente máxima a la mayor pendiente que se permite en un proyecto. En general, ésta queda determinada por el volumen y la composición del tránsito y por la configuración del terreno. La pendiente máxima deberá usarse con poca frecuencia en lugar de que se convierta en una regla general.

004.D.03 Pendiente Mínima.- La pendiente mínima se fija para permitir el drenaje de la carretera. En los terraplenes puede ser nula. En cortes se recomienda 0.5 porciento mínimo para garantizar el buen funcionamiento de las cunetas. En ocasiones la longitud de los cortes y la precipitación pluvial en la zona pueden hacer necesario aumentar la pendiente mínima.

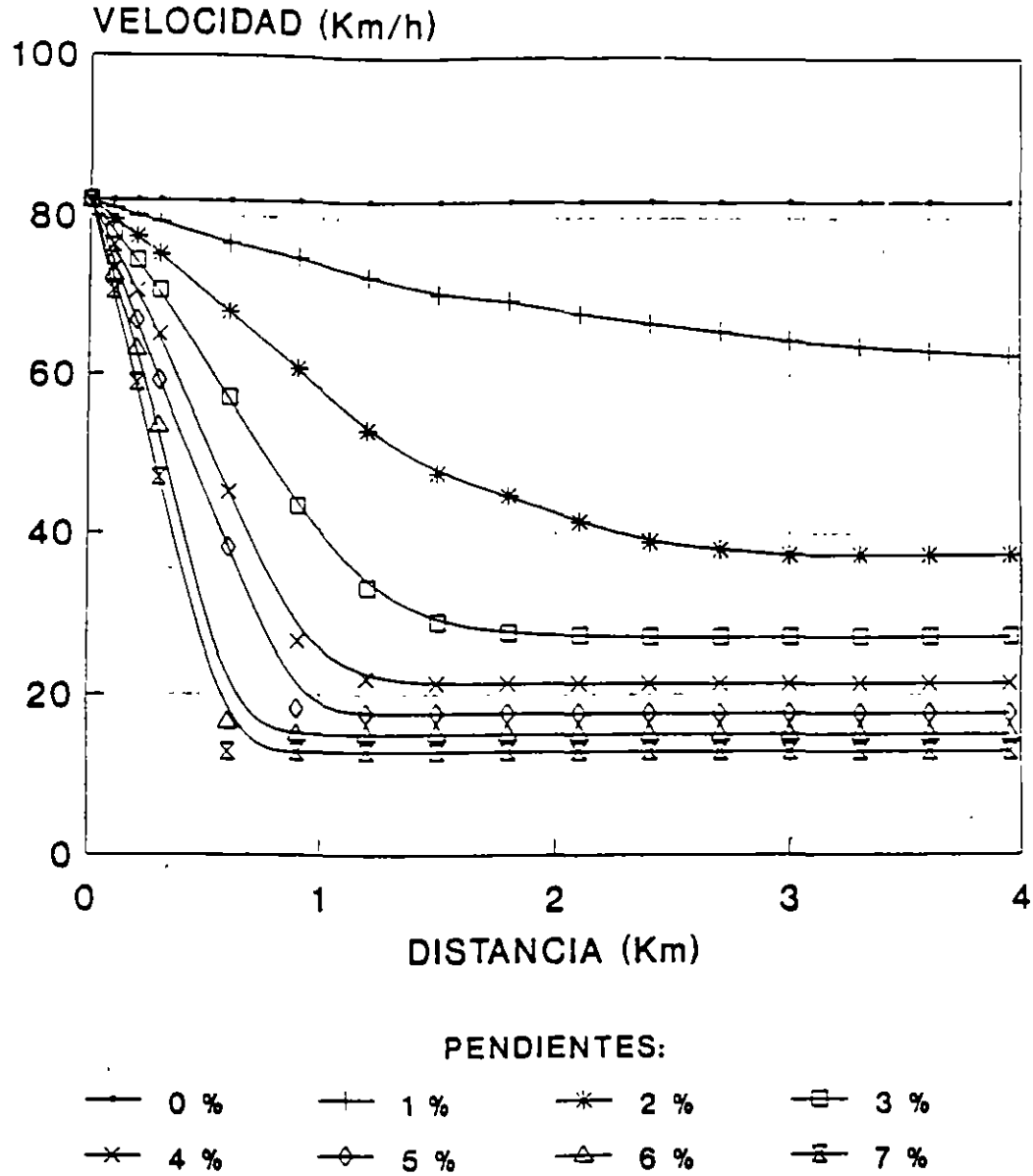


Figura 3-12 Efecto de las pendientes en los vehículos con relación peso/potencia de 210 kg/hp.

004.D.04 Longitudes Criticas de las Pendientes de Proyecto.- La pendiente máxima por sí misma, no es un control completo del proyecto. Es necesario considerar también la longitud de la pendiente en relación con la operación vehicular que se desea. El término "longitud crítica de la pendiente" se usa para indicar la longitud máxima de una determinada pendiente sobre la cual pueda operar un camión cargado sin que experimente una reducción anormal de su velocidad. Para una pendiente dada, las longitudes menores que la crítica conducen a condiciones de operación aceptables en el rango de velocidades usuales. Si se desean mejores condiciones de operación, en longitudes mayores que la crítica, deberán hacerse ajustes de localización al proyecto para reducir las pendientes o en su defecto incorporar carriles adicionales para el ascenso.

Al establecer los valores de proyecto para las longitudes críticas, son necesarios los siguientes datos:

1) Peso y potencia del camión que será utilizado como vehículo de proyecto junto con los datos de su comportamiento en las pendientes.

Para las condiciones mexicanas, una relación peso-potencia de 210 kg/HP es representativa del tipo de vehículos que circulan en carreteras principales. Los datos de la Figura 3-12 son aplicables a vehículos de esas características.

2. Velocidad al Inicio de la Pendiente Crítica. Se puede utilizar la velocidad de marcha promedio relacionada con la velocidad de proyecto, como valor representativo de la velocidad de los vehículos que inician el ascenso. Cuando los vehículos circulan a nivel, antes de llegar al inicio de la pendiente, puede usarse directamente la velocidad de marcha. Si los vehículos que se aproximan al inicio de la pendiente vienen descendiendo, la velocidad puede incrementarse en cierta proporción y si se aproximan ascendiendo, reducirla en proporción semejante.

3. Velocidades mínimas de los vehículos pesados en la pendiente, que interfieren de manera importante la operación de otros vehículos.

Velocidades mínimas entre 40 y 60 km/h probablemente no representen una molestia para aquellos conductores que no pueden rebasar en carreteras de dos carriles, si el tiempo que tienen que esperar para realizar esa maniobra no es muy grande. En general, las carreteras deben proyectarse para que las velocidades de proyecto no se reduzcan más allá de límite en que los costos de operación se incrementan excesivamente o que ocasionen demasiadas demoras y molestias a los conductores que circulan detrás de vehículos lentos. Un factor adicional importante es la seguridad, como puede apreciarse en la Figura 3-13.

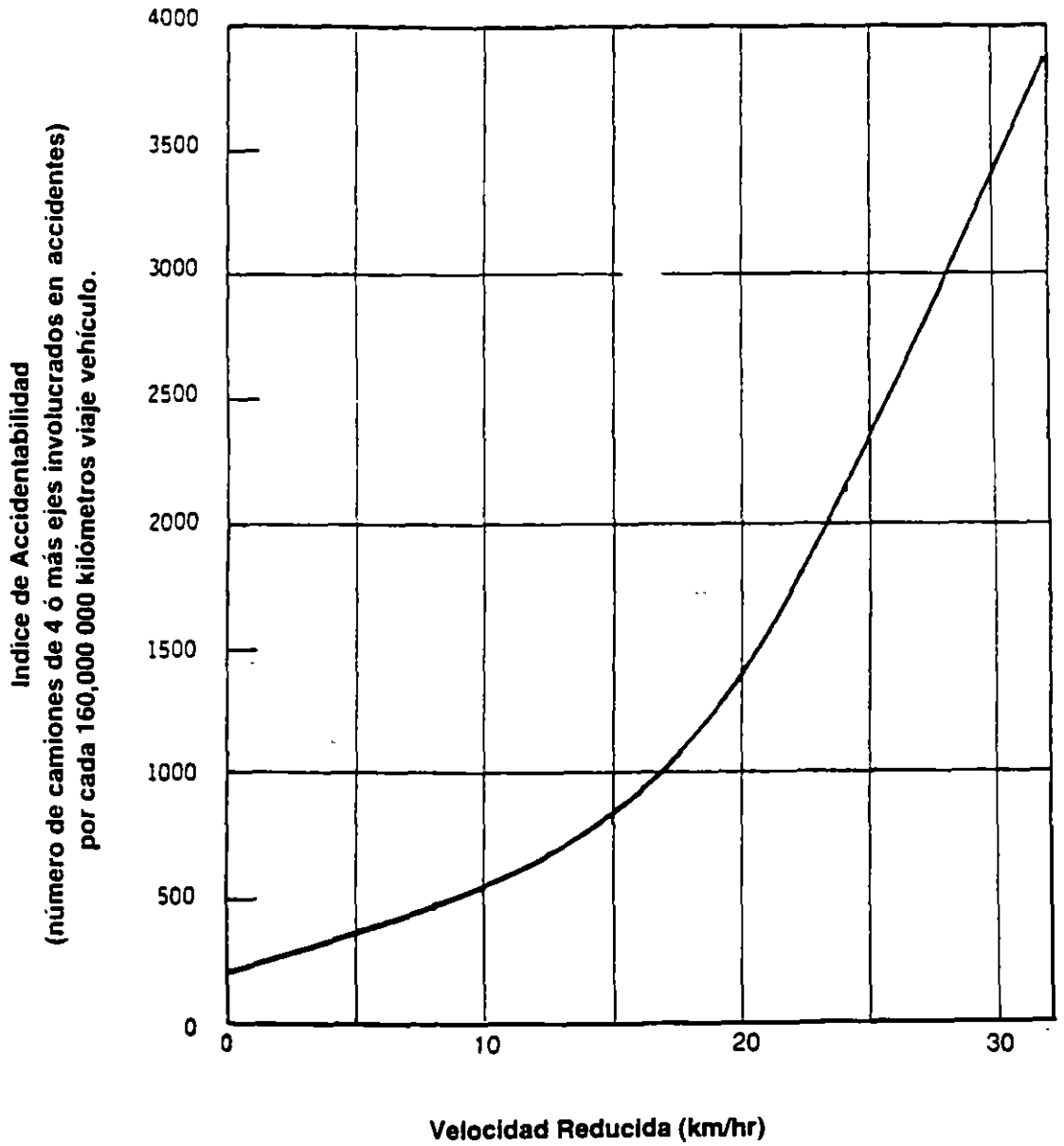


Figura 3-13 Indice de camiones involucrados en accidentes para la cual la velocidad de marcha se reduce por debajo de la velocidad media del tránsito mixto.

Un criterio para determinar la longitud crítica de una pendiente es la reducción de velocidad de los camiones, por debajo de la velocidad de marcha. Sobre esta base es recomendable usar una reducción de 15 km/hr como criterio general para determinar longitudes críticas de las pendientes. Los criterios de proyecto sugeridos, para determinar las longitudes críticas de las pendientes, no pretenden ser un control estricto sino, más bien, una guía para los proyectistas. En ciertos casos, el terreno o controles físicos de otra índole pueden hacer recomendable el acortamiento o reducción de la inclinación de las pendientes.

004.E Carriles de Ascenso.

004.E.01 Carriles de Ascenso en Carreteras de Dos Carriles.- La incorporación de un tercer carril de ascenso en carreteras de dos carriles tiene como propósito alojar a los vehículos que se mueven lentamente en el ascenso y que entorpecen a otros vehículos que circulan normalmente en el carril derecho. Además de incrementar la eficiencia en la operación del tránsito y de reducir sustancialmente los sobrecostos de operación, el tercer carril de ascenso contribuye a mejorar la seguridad como se aprecia en la Figura 3-13.

El Instituto Mexicano del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha realizado trabajos de investigación muy extensos relacionados con la operación y el proyecto geométrico de carriles de ascenso en carreteras de dos carriles. Estos estudios abarcan las características y el comportamiento de los vehículos pesados destinados al transporte de carga en pendientes específicas y todos los aspectos relacionados con la relación peso/potencia, el análisis de capacidad, el análisis económico y los aspectos relativos al proyecto. (Referencias: 3-5 y 3-6).

Con base en las investigaciones antes citadas, a continuación se establecen algunos criterios que es conveniente considerar para la incorporación de carriles de ascenso en carreteras de dos carriles.

1. Aquellos tramos con volúmenes de tránsito entre 100 y 500 vehículos por hora (TDPA entre 1,500 y 8,000) con pendientes longitudinales superiores a 3 porciento y longitudes mayores de 800 m, pueden considerarse como candidatos a ser mejorados mediante la construcción de un tercer carril de ascenso.

2. Los tramos con un tercer carril de ascenso deberán ubicarse en sitios donde no sea posible realizar maniobras de rebase (carentes de la distancia de visibilidad de rebase necesaria) ya que en esos lugares tienden a formarse con mayor frecuencia y severidad caravanas o pelotones de vehículos.

3. El tercer carril de ascenso deberá ubicarse en sitios donde se minimicen los costos de movimientos de tierras derivados de la construcción de las ampliaciones, donde no existan intersecciones o cruces de poblaciones a lo largo de su desarrollo y donde se tenga buena visibilidad tanto al inicio como al final.

4. Los tramos con tercer carril de ascenso deben iniciarse a partir del sitio en que un vehículo de carga con la relación peso/potencia característica (210 kg/HP) alcance una velocidad de 50 km/h. Es conveniente que el inicio del carril se ubique donde no exista obstrucciones de visibilidad.

5. Es recomendable que la terminación del tercer carril de ascenso se haga después de la curva vertical en cresta en el sitio donde un vehículo con la relación peso/potencia característica pueda retamar la velocidad de 50 km/h. Por razones prácticas es preferible iniciar su terminación cuando menos 60 m después del punto en que la carretera vuelve a contar con distancia de visibilidad suficiente.

6. El sitio de inicio de un tramo con tercer carril debe estar precedido por una transición que permita gradualmente su ampliación. Con el mismo propósito debe proporcionarse una transición después del sitio de terminación del carril de ascenso. Las transiciones de entrada y salida inducen la divergencia y convergencia de los vehículos y ayudan a minimizar los conflictos.

7. Los esquemas operativos que se consideran recomendables para este tipo de instalaciones se ilustran en la Figura 3-14. El tercer carril de ascenso se construye a la derecha de la sección normal de dos carriles y está destinado a la circulación de los vehículos lentos en tanto que las operaciones de rebase deberán realizarse en el carril existente, a la izquierda del carril adicional.

8. La sección transversal recomendable para estas instalaciones está constituida por carriles de circulación de 3.50 m de anchura y acotamientos de 1.50 m en el sentido de la ampliación y 1.80 m en el sentido opuesto así como una faja separadora de sentidos de 0.40 m y líneas divisorias entre carriles y entre carriles y acotamiento de 0.10 m. La anchura total de la sección recomendable es de 14.50 m. Cualquier reducción de esa anchura puede tener efectos en la seguridad del tránsito. Ver Figura 3-15.

004.E.02 Carriles de Ascenso en Autopistas y Carreteras de Carriles Múltiples.- En autopistas o en carreteras de carriles múltiples no se justifica tan fácilmente el uso de carriles de ascenso, porque no existe el mismo problema de rebasar a otros vehículos utilizando el carril que ocupa el tránsito en dirección opuesta, como es el caso de carreteras de dos carriles. Los problemas derivados de insuficiencia en

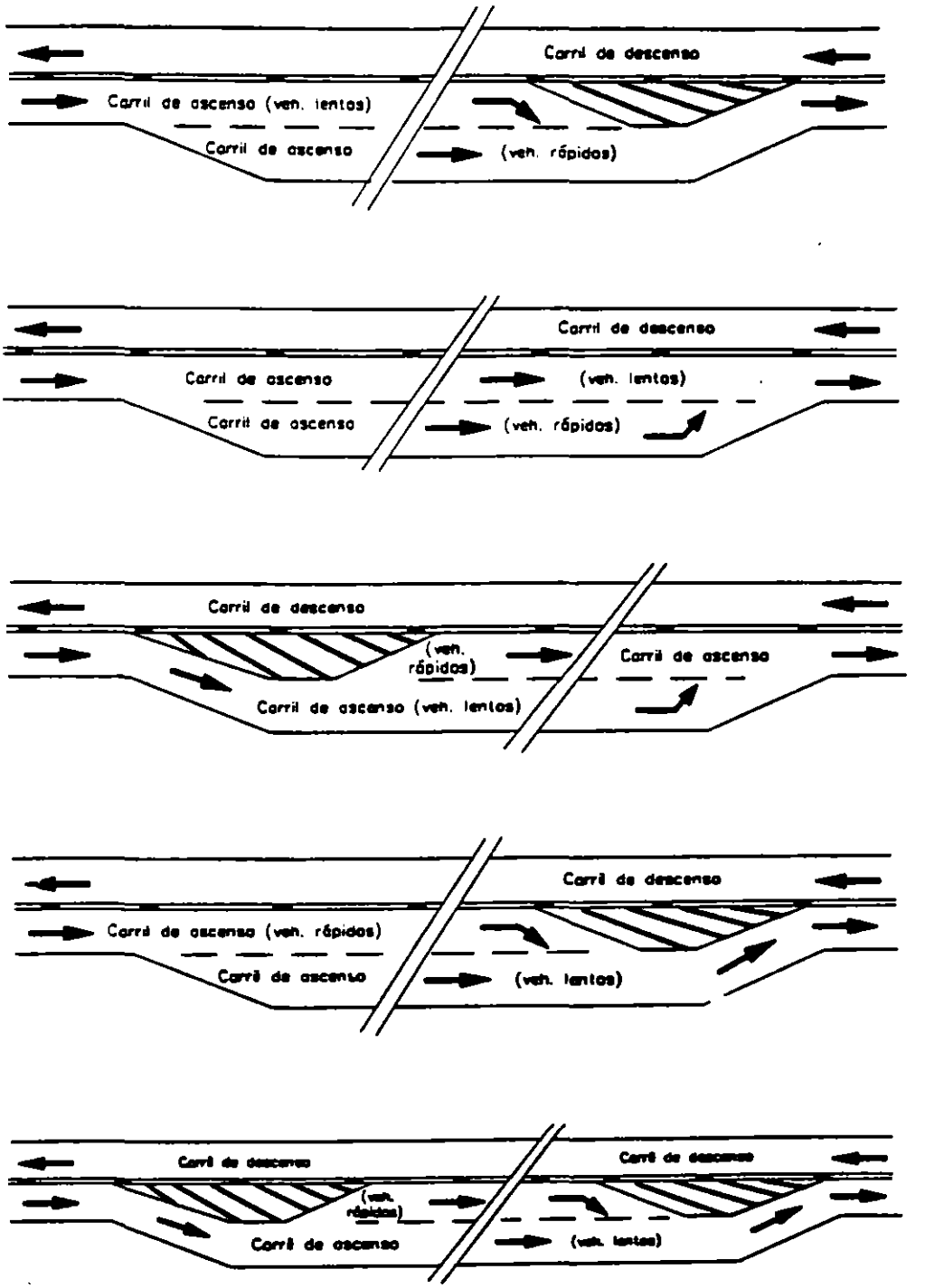


Figura 3-14 Esquemas de operación del tercer carril de ascenso.

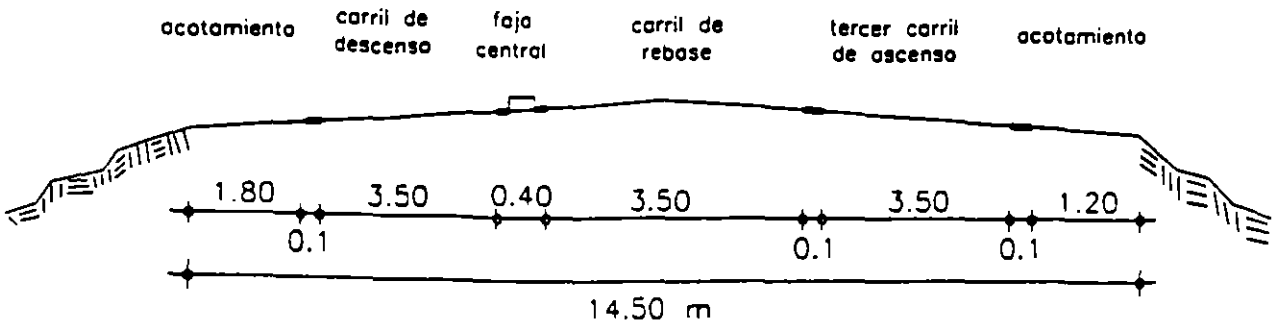


Fig. 3.2a

Para caminos tipo B y C con TDPA entre 1500 y 3100 (intensidad entre 100 y 200 veh/h), se propone la sección mostrada en la Fig. 3.2b.

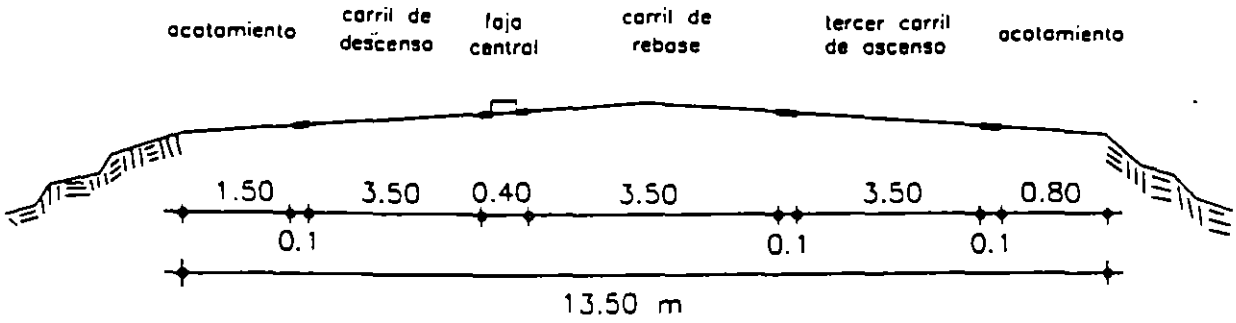


Fig. 3.2b

Para caminos tipo C con TDPA menor a 1500 (intensidad inferior a 100 veh/h), se propone la sección mostrada en la Fig. 3.2c.

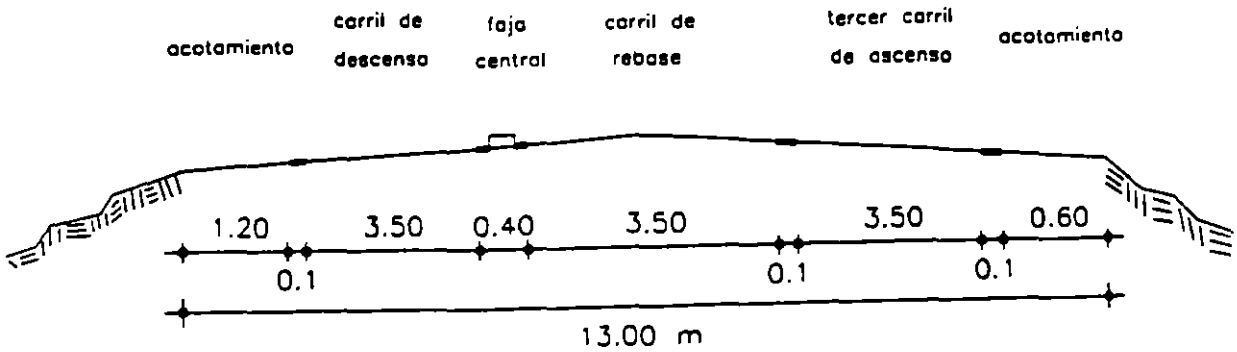


Figura 3-15 Secciones transversales típicas para el tercer carril de ascenso.

distancias de visibilidad de rebase revisten también menos importancia debido a que las maniobras de rebase pueden hacerse en carriles adyacentes con el mismo sentido de circulación.

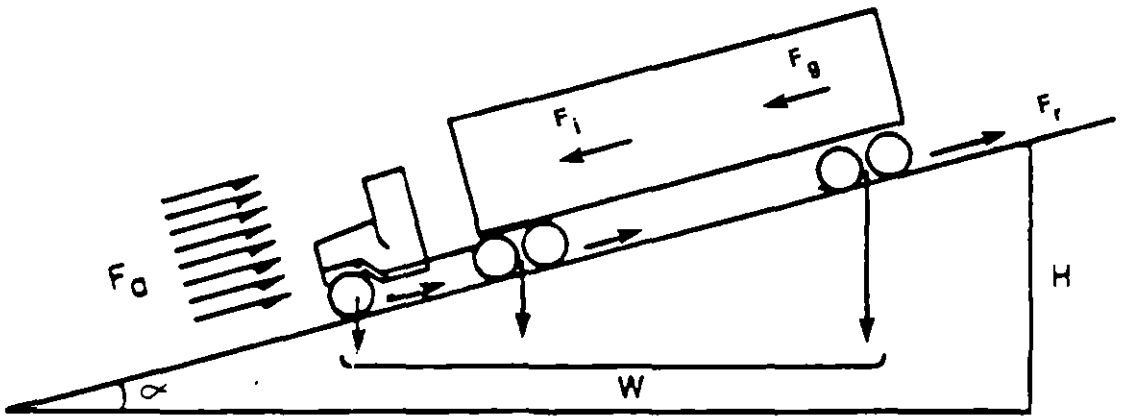
Como las carreteras se proyectan normalmente para satisfacer la demanda que se presenta en 20 ó 25 años, es poco probable que se requieran carriles de ascenso antes de que se cumpla ese plazo. Sin embargo, es frecuente que se presenten problemas de capacidad en ciertas pendientes críticas como consecuencia de incrementos imprevistos en la cantidad de vehículos de carga que utilizan la vía. Estos problemas pueden llegar a ser significativos, desde el punto de vista económico, cuando las autopistas o carreteras divididas forman parte de corredores importantes de transporte.

En general, los carriles de ascenso deberán considerarse cuando el volumen de tránsito en el ascenso sea mayor que el volumen de servicio correspondiente al nivel de servicio D. En cualquier caso la justificación de carriles de ascenso en autopistas y carreteras de carriles múltiples deberá basarse en un análisis de capacidad y niveles de servicio y en un análisis económico que involucre los costos de construcción y los costos de operación del transporte.

004.F Rampas de Escape para Emergencias.

Cuando las condiciones topográficas determinan el proyecto de pendientes descendentes muy largas, es deseable considerar la incorporación de rampas de escape que permitan segregar de la corriente de tránsito a los vehículos que quedan fuera de control por sobrecalentamiento, falla de los frenos o fallas mecánicas, deteniéndolos con seguridad en lugares apropiados localizados fuera de la carretera. Hasta el momento se carece de guías específicas para el proyecto de rampas de escape, sin embargo, la experiencia adquirida con rampas construidas en algunas carreteras, puede auxiliar en el proyecto e instalación de rampas efectivas que contribuyan a salvar vidas y reducir daños materiales.

Existen varias fuerzas de resistencia que actúan afectando la velocidad de los vehículos. Estas incluyen al motor, los frenos y las fuerzas tractivas. Las fuerzas de resistencia del motor y de los frenos, pueden pasarse por alto debido a que las rampas se proyectan para la situación más crítica cuando la caja de velocidades y los frenos del vehículo han fallado. La resistencia tractiva comprende cuatro elementos: inercia, aire, rodamiento y pendiente. Las fuerzas generadas por la inercia y por las pendientes negativas actúan para mantener al vehículo en movimiento; por otra parte, mientras el vehículo está rodando las fuerzas de resistencia de la pendiente positiva y del aire actúan retardando su movimiento. La Figura 3-16 ilustra la acción las diversas fuerzas de resistencia que actúan sobre el vehículo.



Fa - Resistencia al aire

Fi - Resistencia inercial

Fg - Fuerza de gravedad

Fr - Resistencia al rodamiento

W - Peso bruto del vehículo

H - Altura

α Angulo de la pendiente

Figura 3-16 Fuerzas que actúan sobre un vehículo en movimiento.

La resistencia al rodamiento es un término que se usa para describir la resistencia al movimiento, en el área de contacto de las llantas del vehículo con la superficie del camino siendo aplicable únicamente cuando el vehículo está en movimiento. Esta resistencia depende del tipo y características del material de la superficie del camino. Cada material tiene un coeficiente expresado en Kg/1000 Kg de peso bruto del vehículo que determina la cantidad de resistencia al rodamiento de un vehículo. Los valores de la Tabla 3-4 han sido estimados a partir de datos de campo de carreteras de EUA.

La resistencia por pendiente se debe al efecto de la gravedad y se expresa como la fuerza requerida para mover un vehículo a través de una distancia vertical determinada. Para que la resistencia por pendiente actúe positivamente en una rampa de escape, el vehículo deberá moverse en sentido ascendente, en contra de la gravedad. En la resistencia por pendiente influye el peso total del vehículo y la magnitud de la pendiente. Por cada uno porciento de pendiente, la resistencia es de 10 Kg/1000 Kg bien sea que la pendiente sea positiva o negativa.

004.F.01 Tipos de Rampas.- Existen cuatro tipos básicos de rampas de escape que son las que normalmente se utilizan: 1) con montículo, 2) descendentes, 3) horizontales y 4) ascendentes. Los cuatro tipos se ilustran en la Figura 3-17.

Las rampas con montículo de arena suelta y seca tienen usualmente una longitud no mayor de 120 m. La influencia de la gravedad depende de la pendiente que tenga el montículo de arena. La resistencia rodamiento es suplida en este caso por la arena suelta.

La rampa horizontal y la descendente son más bien largas, debido a que el efecto gravitacional no ayuda a reducir la velocidad del vehículo. En los casos de rampas horizontales y rampas descendentes la fuerza gravitacional actúa en la dirección en que se mueve el vehículo. El incremento de resistencia al rodamiento es suplido por la arena suelta.

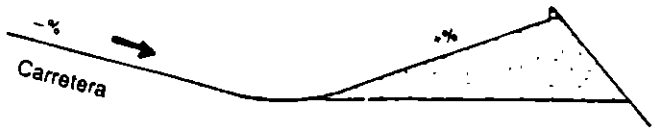
En rampas ascendentes, la cama de arena y el efecto de gravedad reducen la longitud necesaria. El material suelto además de incrementar la resistencia al rodamiento sirve para detener al vehículo.

004.F.02 Consideraciones de Proyecto.- Las rampas de escape deberán proyectarse para velocidades mínimas de entrada de 120 km/h y de preferencia para 140 Km/h. Para que la rampa sea efectiva, debe ser capaz de detener al vehículo más grande que se estime pueda llegar a utilizar la rampa. Generalmente se tratará de un DE-1525 (T3-S2 ó T3-S3). El proyecto de una rampa de escape implica la consideración de los siguientes factores:

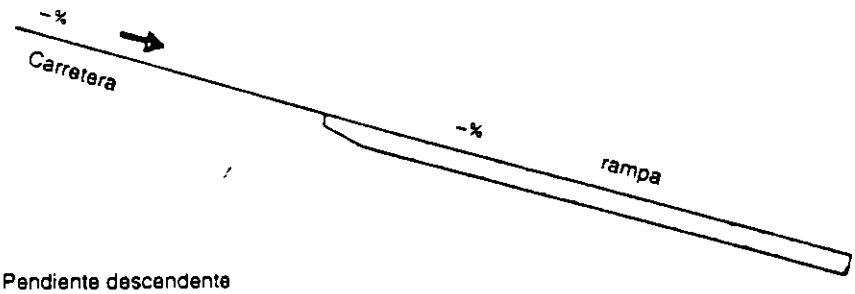
Material de la Superficie	Resistencia al Rodamiento (1kg/1000kg PBV)	Pendiente Equivalente (porciento)[a]
Concreto hidráulico	10	1.0
Concreto asfáltico	12	1.2
Grava compactada	15	1.5
Tierra arena, suelta	37	3.7
Agregado triturado	50	5.0
Grava suelta	100	10.0
Arena	150	15.0
Grava de río	250	25.0

[a]Resistencia al rodamiento expresada como un equivalente de la pendiente.

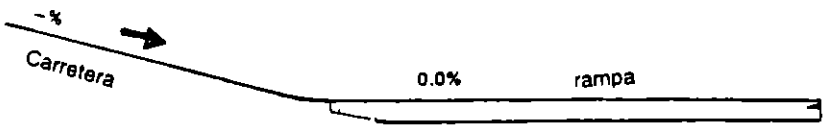
Tabla 3-4 Resistencia al rodamiento por tipo de material de la superficie del camino.



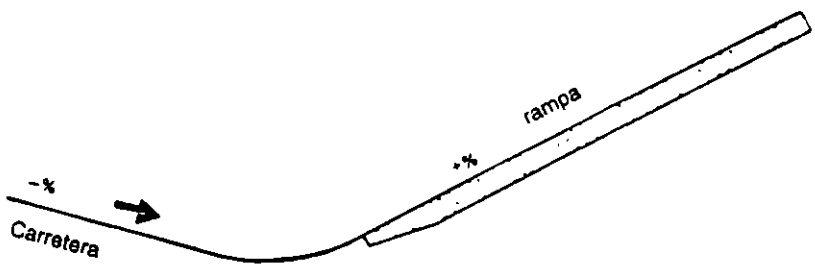
A. Montículo de arena



B. Pendiente descendente



C. Pendiente horizontal



D. Pendiente ascendente

Nota: El perfil esta a lo largo de la línea de base de la rampa

Figura 3-17 Tipos básicos de salida de emergencia.

1. Para que el vehículo se detenga con seguridad, la longitud de la rampa deberá ser suficiente para disipar la energía cinética del vehículo.

2. La anchura de la rampa debe ser tal que pueda acomodar a más de un vehículo. Una anchura mínima de 8 m y de ser posible de 12 m se considera apropiada para alojar a dos ó más vehículos fuera de control.

3. El material de la cama debe ser limpio, difícil de compactar y tener un coeficiente alto de resistencia al rodamiento. El agregado pétreo deberá ser redondo, predominantemente de un solo tamaño y en lo posible, libre de finos.

4. La cama debe construirse con una profundidad mínima del agregado, de 30 cm y de preferencia entre 30 cm y 90 cm. Para ayudar a que la desaceleración del vehículo sea suave deberá proporcionarse una transición de 30 m a la entrada de la rampa, iniciando con 8 cm de profundidad y terminando con la profundidad total.

5. El pavimento de la carretera deberá extenderse hasta el lugar donde empieza la rampa de tal manera que el vehículo pueda entrar a la cama de retención con las dos ruedas simultáneamente.

6. El acceso a la rampa debe ser obvio para los conductores. Para ello, deberá instalarse un señalamiento adecuado con suficiente anticipación para proporcionar al conductor un tiempo de reacción que impida que la entrada de la rampa pase inadvertida. Igualmente deberá utilizarse señalamiento restrictivo a la entrada de la rampa para desalentar el acceso de otros vehículos.

7. Es conveniente proporcionar una calle de servicio adyacente a la rampa con una anchura de cuando menos 3 m para que los vehículos de mantenimiento puedan maniobrar con facilidad.

8. Deberán localizarse anclas adyacentes a la cama de retención, espaciadas a cada 30 m, con el fin de asegurar las grúas encargadas de retirar a los vehículos averiados.

9. El alineamiento de la rampa de escape debe ubicarse en tangente o donde existan curvas muy suaves, para evitar problemas de control del vehículo a los conductores.

Para determinar la distancia requerida para detener un vehículo, tomando en consideración la resistencia al rodamiento y la resistencia por pendiente, puede usarse la siguiente ecuación:

$$L = \frac{V^2}{254\ (R \pm G)}$$

en donde: L = Distancia requerida para parar (longitud de la cama de arena.
V = Velocidad de entrada en km/h.
G = Inclinación de la pendiente en porciento, dividido por 100.
R = Resistencia al rodamiento, expresada como porcentaje equivalente de la pendiente, dividido por 100.

004.G Curvas Verticales.

004.G.01 Consideraciones Generales.- Las curvas verticales tienen como propósito enlazar gradualmente a dos tangentes del alineamiento vertical. De acuerdo con el sentido de la concavidad, las curvas pueden ser en cresta o en columpio. Su aplicación debe ser sencilla y conducir a proyectos seguros, confortables en la operación, de apariencia agradable y adecuados para el drenaje. Ver Figura 3-18.

La distancia de visibilidad es el control principal para lograr una operación segura, en curvas verticales en cresta. En los dos casos deberán proporcionarse distancias de visibilidad adecuadas, acordes con la velocidad de proyecto. Cuando física y económicamente sea factible, deberán usarse con mayor libertad las distancias de visibilidad de parada.

Para proporcionar un nivel adecuado de confort a los usuarios, es necesario que el cambio de pendiente se mantenga dentro de límites tolerables. Esta consideración es más importante en curvas verticales en columpio donde las fuerzas gravitacional y centrífuga actúan en la misma dirección. La apariencia es otro elemento importante a considerar. Una curva larga tiene mejor apariencia que una curva corta cuya apariencia puede dar la impresión de un quiebre en el perfil del camino.

El drenaje del pavimento en curvas verticales en columpio, con guarniciones como el tipo III de la Figura 3-18 requieren un proyecto cuidadoso del perfil para que las pendientes no sean inferiores a 0.5 porciento y en algunos casos a 0.35 porciento para los bordes externos del pavimento.

En el proyecto del alineamiento vertical se utilizan, por simplicidad curvas parabólicas con un eje vertical equivalente centrado en el punto de intersección de las tangentes (PIV).

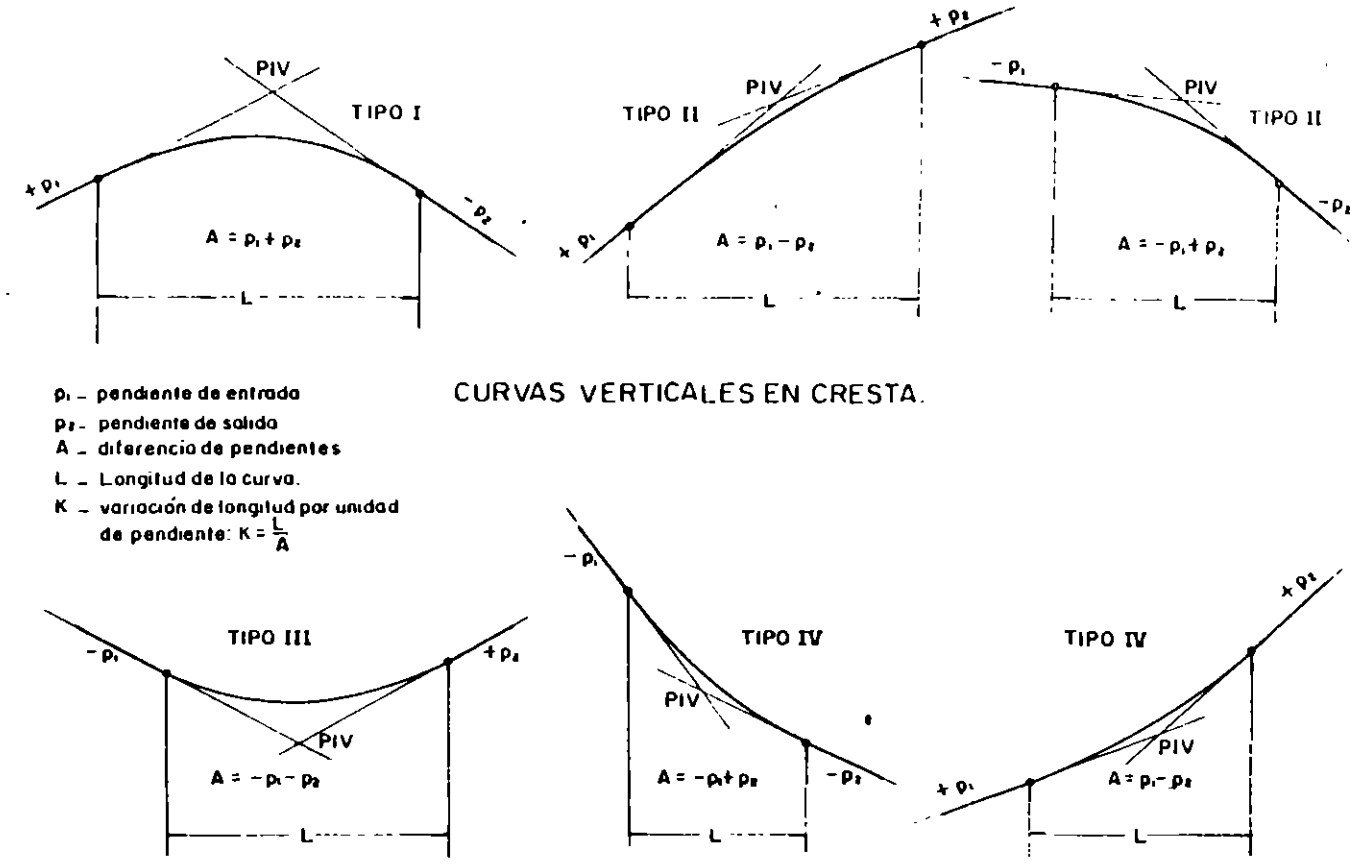


Figura 3-18 Tipos de curvas verticales.

004.G.02 Curvas Verticales en Cresta.- Las longitudes mínimas de curvas verticales en cresta que se determinan con base en requerimientos de distancia de visibilidad, son generalmente satisfactorias desde el punto de vista de seguridad, confort y apariencia.

Las fórmulas básicas para calcular la longitud de curvas verticales parabólicas, en términos de la diferencia algebraica dependientes y de la distancia de visibilidad son las siguientes:

Cuando D es menor que L:

$$L = \frac{AD^2}{200\ (\sqrt{H} + \sqrt{h})^2}$$

Cuando D es mayor que L:

$$L = 2D - \frac{200\ (\sqrt{H} + \sqrt{h})^2}{A}$$

en donde: L = Longitud de la curva vertical en metros.
D = Distancia de visibilidad en metros.
A = Diferencia algebraica de pendientes en porciento.
H = Altura del ojo del conductor en metros.
h = Altura del objeto en metros.

Cuando la altura del ojo y la altura del objeto son 1.07 m y 0.15 m respectivamente, las fórmulas anteriores se convierten en:

Cuando D es menor que L:

$$L = \frac{AD^2}{405}$$

Cuando D es mayor que L:

$$L = 2D - \frac{405}{A}$$

Los valores de proyecto de curvas verticales en cresta para distancia de visibilidad de rebase, difieren de los correspondientes a distancia de visibilidad de parada, debido a que el criterio para manejar la altura del objeto es diferente. En este caso las fórmulas 1 y 2 son aplicables y, al cambiar la altura del objeto a 1.30 m, se convierten en:

Cuando D es menor que L:

$$L = \frac{AD^2}{945}$$

Cuando D es mayor que L:

$$L = 2D - \frac{945}{A}$$

Para distancias de visibilidad de rebase las longitudes requeridas de las curvas verticales en cresta son sustancialmente mayores que las correspondientes a la distancia de visibilidad de parada.

No es práctico en general proyectar curvas verticales en cresta para distancia de visibilidad de rebase, debido a los altos costos involucrados y a la dificultad de ajustar al terreno longitudes tan largas de las curvas, particularmente en caminos de alta velocidad. La distancia de visibilidad de rebase en curvas verticales puede ser factible en aquellos caminos donde existan combinaciones poco frecuentes de velocidades de proyecto bajas y pendientes suaves. Ordinariamente la distancia de visibilidad de rebase se proporciona en lugares donde la combinación de los alineamientos horizontal y vertical no requieren el uso de curvas verticales en cresta.

004.G.03 Curvas Verticales en Columpio.- Se reconocen cuando menos cuatro criterios para establecer las longitudes de curvas verticales en columpio. Estos son: 1) distancia de visibilidad proporcionada por los faros del vehículo, 2) confort del conductor, 3) control del drenaje y 4) reglas prácticas asociadas con la apariencia general.

La distancia de visibilidad que proporciona la luz de los faros es la práctica usual y constituye la base para determinar la longitud cuando un vehículo recorre una curva vertical en columpio durante la noche. La zona iluminada adelante del vehículo depende de la posición de los faros y de la dirección del rayo de luz que éstos emiten. En general,

se usa una altura de los faros de 0.60 m y un ángulo de divergencia del rayo de luz a partir del eje longitudinal del vehículo, de un grado. La dispersión del haz proporciona visibilidad adicional pero en general esto es ignorado. Las siguientes fórmulas muestran la relación de D, L y A cuando se usa D como distancia entre el vehículo y el punto donde el rayo de luz incide en la superficie del camino.
Cuando D es menor que L:

$$L = \frac{AD^2}{2(TD + H)}$$

Cuando D es mayor que L:

$$L = 2D - 2\,\frac{H + TD}{A}$$

Como medida general de seguridad en carreteras, las curvas verticales en columpio deberán ser suficientemente largas para que la distancia que alumbra el rayo de luz, sea casi igual a la distancia de visibilidad de parada. De acuerdo con lo anterior es conveniente utilizar la distancia de parada, como valor de D, en las fórmulas anteriores.

El efecto que tiene el cambio de dirección vertical, en el confort, es mayor en curvas verticales en columpio que en curvas verticales en cresta, debido a que las fuerzas gravitacional y centrífuga se combinan. El confort por el cambio de dirección vertical no se puede medir directamente debido a que se ve afectado de manera apreciable por la suspensión del vehículo, flexibilidad de las llantas, peso transportado y otros factores. Los intentos que se han hecho para medir el confort, han llevado a la conclusión de que es confortable conducir en curvas verticales en columpio cuando la fuerza centrífuga de aceleración no excede 0.30 m/seg^2. La expresión general para este criterio es:

$$L = \frac{AV^2}{395}$$

004.I Controles Generales para el Alineamiento Vertical.-

Además de los controles específicos ya mencionados, hay algunos controles generales que conviene considerar en el proyecto:

1. Siempre serán preferibles los perfiles suaves con cambios graduales, consistentes con el camino de que se trate y con el carácter de terreno donde éste se aloje, en lugar de perfiles con numerosos quiebres y curvas verticales cortas. La manera en que se acomodan las pendientes máximas y las longitudes críticas en el desarrollo del alineamiento determinan la calidad y apariencia del proyecto.
2.Deberán evitarse perfiles, que conduzcan a depresiones profundas detrás de curvas verticales en cresta. Esto ocurre normalmente en alineamientos relativamente rectos donde el perfil del camino coincide con el terreno natural. Aparte de ser poco agradables estéticamente, implican mayor dificultad para los conductores. Los alineamientos con depresiones propician que las maniobras de rebase sean problemáticas ya que los conductores se desconciertan al no saber con certeza si vienen vehículos en sentido opuesto, detrás de la cresta. Estos perfiles pueden evitarse con el uso de curvas horizontales o con pendientes más suaves.

3. Aquellos perfiles con ondulaciones, desarrollados en grandes longitudes, que permiten aprovechar el impulso de los vehículos en descenso, deben ser evaluados por su efecto en la operación del tránsito. Tales perfiles permiten que los camiones pesados operen a velocidades más altas que en pendientes ascendentes que no son precedidas por una pendiente descendente. Sin embargo, pueden alentar velocidades excesivas de los camiones que pueden afectar al resto del tránsito.

4. Aquellos perfiles con dos curvas verticales en la misma dirección, separadas por una tangente corta, generalmente deberán ser evitados, particularmente si la apariencia de ambas curvas no es agradable.

5. En lugar de una sola pendiente sostenida, que puede ser ligeramente inferior a la máxima permisible, es preferible introducir segmentos de pendiente más suave.

6. Cuando existen intersecciones a nivel en un tramo de camino con pendientes moderadas o altas, es deseable reducir la pendiente en la zona de la intersección para facilitar los movimientos de vuelta y reducir peligros potenciales.

7. Evitar curvas verticales en columpio localizadas en cortes, a menos que pueda proporcionarse un drenaje adecuado.

CAPITULO 005 COMBINACION DE LOS ALINEAMIENTOS HORIZONTAL Y VERTICAL.

005.A Consideraciones Generales.

Los alineamientos horizontal y vertical son elementos permanentes que requieren de un estudio concienzudo. Es extremadamente difícil y costoso corregir deficiencias de

alineamiento después de que una carretera ha sido construida. Las diferentes alternativas de alineamiento deberán ponderarse cuidadosamente para no caer en ahorros iniciales mal entendidos que puedan verse ensombrecidos, en poco tiempo, por pérdidas económicas cuantiosas en accidentes, demoras y sobrecostos de operación.

005.B Controles Generales del Proyecto.

Los alineamientos horizontal y vertical no deben proyectarse de manera independiente, ya que son geométrica y funcionalmente complementarios. La excelencia en el diseño de la combinación de ambos, incrementa la eficiencia y la seguridad y mejora casi siempre la apariencia de la carretera, sin costo adicional.

La velocidad de proyecto reviste gran importancia para mantener a todos los elementos del proyecto en un justo balance. La velocidad de proyecto determina los límites de los valores mínimos de elementos como la curvatura y la distancia de visibilidad y tiene influencia sobre muchos otros como la anchura, distancias libres horizontales y verticales y pendientes máximas.

Una combinación apropiada del alineamiento vertical y del perfil se obtiene mediante un estudio cuidadoso de ingeniería y aplicando los siguientes controles generales:

1. La curvatura y las pendientes deben guardar un balance apropiado. Los alineamientos en tangente o con curvas suaves, logrados a expensas de tramos con pendientes pronunciadas o muy largas y curvaturas excesivas, se consideran proyectos pobres. Un proyecto más lógico, es el que ofrece la mayor seguridad, capacidad y uniformidad en la operación. Una apariencia agradable, dentro de las limitaciones impuestas por la topografía del terreno, es un compromiso entre ambos extremos.

2. La curvatura vertical, superpuesta a la curvatura horizontal, o viceversa, conduce generalmente a una obra más agradable, pero debe analizarse siempre su efecto en el tránsito.

3. No deben introducirse curvas horizontales agudas cerca o en la parte más alta, de una curva vertical en cresta. Esta condición es indeseable ya que el conductor no puede percibir el cambio horizontal del alineamiento, especialmente en la noche cuando la luz de los faros del vehículo apunta directamente al espacio. Esta dificultad se evita si la curva horizontal se coloca adelante de la vertical (la curva horizontal se hace más larga que la vertical). Se pueden lograr también proyectos adecuados usando velocidades de proyecto mayores que la mínima.

4. Relacionado con el punto anterior, no conviene introducir curvas horizontales cerradas cerca, o en el punto más bajo de una curva vertical en columpio, porque resulta una apariencia distorsionada y desagradable, además de que la operación de los vehículos puede ser errática, especialmente en la noche.

5. En carreteras y calles de dos carriles la necesidad de tramos frecuentes con distancia de visibilidad de rebase en un porcentaje apreciable de la longitud de la carretera, generalmente sobrepasa lo deseable, al hacer la combinación de alineamientos. En estos casos, es necesario procurar la incorporación de tramos largos en tangente con distancia de visibilidad suficiente.

6. En intersecciones donde la distancia de visibilidad de ambos caminos es importante, la curvatura horizontal y el perfil deberán proyectarse tan planos como sea posible.

7. En carreteras y calles divididas, la variación de la anchura de la faja separadora central y el uso de perfiles y alineamientos horizontales separados, conlleva las ventajas del proyecto y de la operación de caminos de un solo sentido.

8. En zonas residenciales el alineamiento deberá proyectarse para minimizar los factores que causan molestias al vecindario. Una obra deprimida generalmente causa menos molestia y es menos visible para los residentes.

9. El alineamiento deberá proyectarse para realzar vistas escénicas atractivas, paisajes de carácter natural como ríos o formaciones rocosas y obras de especial significación realizadas por el hombre como monumentos, edificios sobresalientes, parques, etc.

CAPITULO 006 REFERENCIAS

3.1 *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras.* Secretaría de Comunicaciones y Transportes; México 1971.

3.2 *Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico de Carreteras.* Secretaría de Comunicaciones y Transportes; México 1984.

3.3 *Policy on Geometric Design of Highways and Streets.* AASHTO, Washington, D. C. 1990.

3.4 Chavelas C. Pedro. *Clasificación de Carreteras en la Integración de Redes, Ventaja de su Integración.* Décima Reunión Nacional de Vías Terrestres, Guanajuato 1992.

3.5 *Reglamento Sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal*.Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México 1994.

3.6 Mendoza D. Alberto. *Relación Peso/Potencia de los Vehículos de Carga en México*. Instituto Mexicano del Transporte, Publicación. Técnica No. 26. Querétaro 1991.

3.7 Mendoza D. Alberto y Mayoral G. Emilio. *Análisis de Capacidad para Rampas en Carreteras Mexicanas de Dos Carriles*. IMT, Publicación Técnica No. 42. Querétaro 1993.

3.8 Aguerrebere S. Roberto y Durán H. Gandhi. *Análisis Económico de la Pendiente Gobernadora en Carreteras*. IMT, México 1994.

3.9 Mendoza D. Alberto y Mayoral G. Emilio. *Recomendaciones para el Diseño Geométrico del Tercer Carril de Ascenso en Carreteras Mexicanas de Dos Carriles*. IMT, Publicación Técnica No. 46, Querétaro 1993.

3.10 *Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras*. SCT. México 1986.

N O R M A S S. C. T.
LIBRO 2
P R O Y E C T O
PARTE 2.02.02
PROYECTO GEOMETRICO DE CARRETERAS

TITULO 2.02.04

ELEMENTOS DE LA SECCION TRANSVERSAL

CAPITULO 001 PAVIMENTO

001.A Tipo de Pavimento

La selección del tipo de pavimento a utilizar en una carretera depende del volumen y composición del tránsito, de las características del suelo, de los factores ambientales, del comportamiento de diferentes tipos de pavimentos en el área, de la disponibilidad de materiales, del consumo de energéticos y del costo inicial de mantenimiento y de operación de la carretera durante su vida de servicio. Los pavimentos deben diseñarse estructuralmente de acuerdo con alguno de los métodos que han probado ser adecuados (Referencias 4-1 y 4-2).

Los pavimentos pueden ser, en general, de tres tipos: de propiedades buenas, propiedades intermedias y propiedades bajas. Una alta intensidad de tránsito justifica la utilización de un pavimento de buenas propiedades, que cuente con una superficie de rodamiento, sustentada en capas resistentes y con una respuesta adecuada al derrapamiento ante cualquier condición climatológica. Un pavimento de estas características, debe ser capaz de soportar el volumen de tránsito y los pesos vehiculares esperados sin experimentar fatiga, de tal forma que se minimicen el mantenimiento preventivo y correctivo y las molestias al tránsito. Dentro de los pavimentos clasificados como de propiedades intermedias se incluyen los tratamientos superficiales. Dentro de los pavimentos de bajas propiedades se incluyen las terracerías tratadas, los materiales estabilizados y las capas superficiales granulares de grava o piedra triturada.

En la selección del tipo de pavimento debe considerarse también la velocidad de proyecto elegida para el mismo.

001.B Pendiente Transversal o Bombeo

La pendiente transversal o bombeo de un camino es la forma de la sección transversal del mismo, que tiene como fin principal el drenar hacia los lados el agua que caiga en el camino mismo.

Las secciones carreteras no-divididas de dos carriles (uno por sentido) ubicadas en tangente o en curvas planas tienen un punto medio más elevado y una pendiente descendente hacia ambos lados de tal punto. Estas pendientes pueden corresponder a una sección plana, curva o a una combinación de ambas. Las secciones curvas son usualmente parabólicas, con una superficie ligeramente redondeada en el punto medio. Estas últimas tienen la ventaja de facilitar el drenaje y la desventaja de que son más difíciles de construir que las secciones planas.

En carreteras divididas, cada cuerpo puede tener su propio punto medio más elevado y pendientes descendentes hacia ambos lados (como se muestra en las Figuras 4-1.A a 4-1.C), o tener una sola pendiente descendente a todo lo ancho del cuerpo (como se indica en las Figuras 4-1.D a 4-1.G), descendente preferentemente en la dirección del carril externo.

El primer esquema tiene la ventaja de que el agua drena más fácilmente; sin embargo, tiene la desventaja que requiere un mayor número de lavaderos y obras de drenaje. Por lo tanto, sólo deben utilizarse en zonas de alta precipitación pluvial.

El segundo esquema es más confortable para los conductores ya que no experimentan el cambio de pendiente al pasar de un carril a otro. El drenaje en este caso, puede ser hacia el centro (Figura 4-1.F) o hacia los carriles externos de la sección compuesta por los dos cuerpos (Figuras 4-1.D, 4-1.E y 4-1.F). El primer caso tiene la ventaja de que minimiza la cantidad de agua en los carriles extremos de la sección compuesta, que son los más transitados. El segundo caso, requiere menos obras de drenaje y se minimiza la cantidad de agua en los carriles internos de la sección compuesta, que son los de mayor velocidad.

La Tabla 4-1 resume el rango de pendientes transversales recomendadas para caminos con diferentes tipos de pavimentos.

Tabla 4-1. PENDIENTES TRANSVERSALES PARA CAMINOS CON DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS

Calidad del Pavimento	Rango de la Pendiente Transversal (%)
Buena	1.5 - 2
Intermedia	1.5 - 3
Baja	2 - 6

001.C Resistencia al Derrapamiento

La carretera debe tener la suficiente resistencia al derrapamiento en condiciones de pavimento mojado, que permita realizar con toda seguridad, las maniobras de frenado y cambio de dirección de los vehículos. Las causas principales de escasa resistencia al derrapamiento en pavimentos húmedos son: el desarrollo de roderas, la pérdida de textura en el pavimento por pulido del agregado superficial o por sangrado del asfalto y la contaminación de la superficie con aceite, hidrocarburos, polvo o material orgánico. La Referencia 4-3

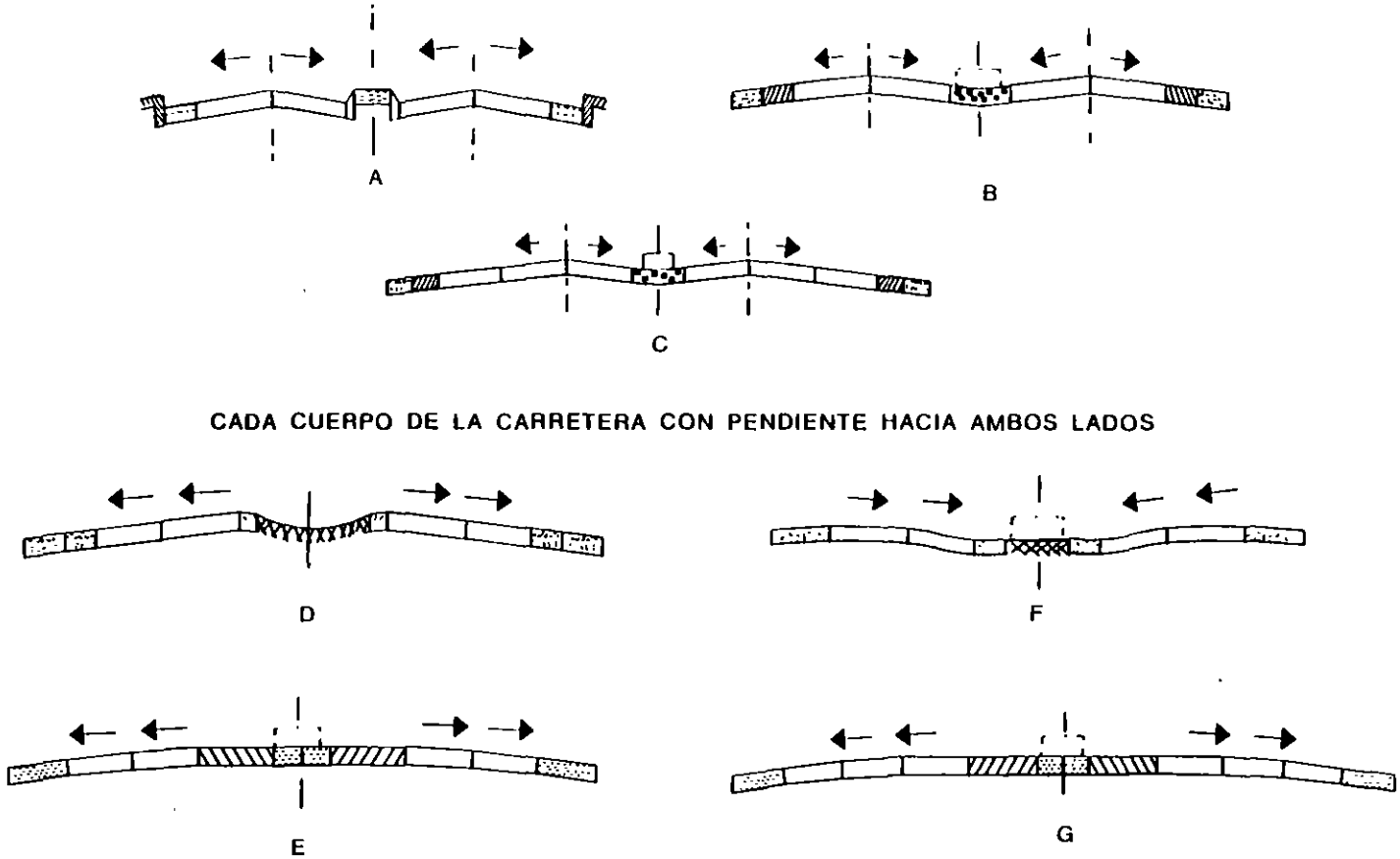


Figura 4-1 Secciones transversales para carreteras divididas (Arreglos básicos de pendiente transversal).

es una guía para obtener y mantener en los pavimentos una adecuada resistencia al derrapamiento.

CAPITULO 002 ANCHURAS DE CARRIL

La anchura de carril es un factor que afecta, preponderantemente, la capacidad de la carretera, la seguridad y el confort al conducir. Se recomienda utilizar anchuras de carril de entre 3 y 4 m, con un valor predominante de 3.65 m. Este último valor es adecuado para carreteras principales. La Referencia 4-4 cuantifica el efecto en la capacidad de una vía, con diferentes anchuras de carril y distancias a obstrucciones laterales.

CAPITULO 003 ACOTAMIENTOS

003.A Características Generales

Los acotamientos son porciones de la sección transversal, contiguas a los carriles de circulación, que sirven para alojar vehículos detenidos, proporcionar espacio para emergencias y brindar apoyo lateral a la base, la subbase y la capa superficial de la sección estructural. La anchura de los acotamientos varía desde 60 cm en caminos rurales de poca importancia (en los cuales los acotamientos no se pavimentan o sólo se aplica una capa superficial sobre el terreno natural) hasta 3.65 m de anchura en carreteras principales con acotamientos pavimentados o construidos con materiales estabilizados.

Los acotamientos se construyen generalmente de grava, roca triturada, aditivos químicos o minerales, tratamientos superficiales y diversas formas de pavimentos de concreto hidráulico y asfáltico.

En carreteras con volúmenes de tránsito importantes como es el caso de autopistas, es indispensable proyectar y mantener adecuadamente los acotamientos. Las ventajas más importantes de éstos son:

1. Proporcionan espacio para estacionamiento en caso de problemas mecánicos, ponchaduras de llantas, otros tipos de emergencia y otras razones.
2. Proporcionan espacio para evitar accidentes potenciales o reducir su severidad.

3. En secciones en corte, mejoran la distancia de visibilidad, incrementando la seguridad.

4. Algunos tipos de acotamientos contribuyen a mejorar la estética de la carretera.

5. Incrementan la capacidad del camino.

6. Proporcionan espacio para la realización de las actividades de mantenimiento del camino.

7. Contribuyen a drenar el agua que caiga, fuera de la sección estructural y a reducir la filtración adyacente a la sección estructural.

8. Proporcionan soporte estructural al pavimento.

9. Proporcionan espacio para las paradas de autobuses.

003.B Anchura de los Acotamientos

La anchura ideal de los acotamientos debe ser tal que exista una distancia libre de cuando menos 30 cm y preferentemente 60 cm entre cualquier vehículo que se estacione y la orilla de la calzada. Con base en este criterio, son recomendables los acotamientos de 3.50 m en carreteras importantes; en autopistas, sin embargo, es preferible unn anchura de 3.65 m. En carreteras de poca importancia, el acotamiento mínimo puede ser de 60 cm y de preferencia entre 1.80 y 2.45 m.

Los acotamientos deben construirse con la misma anchura, a todo lo largo del camino y a través de las estructuras (como son los puentes). El angostamiento o eliminación total de los acotamientos, especialmente en el paso por estructuras, puede ocasionar serios problemas operativos y de seguridad.

003.C Sección Transversal de los Acotamientos

Los acotamientos son elementos importantes del sistema de drenaje transversal del camino. Deben tener una inclinación que favorezca el drenaje del agua de los carriles de circulación. En carreteras divididas con barrera o faja separadora central angosta, los acotamientos interiores deben tener la misma pendiente transversal que los carriles de circulación.

Todos los acotamientos deben tener pendiente suficiente para drenar rápidamente el agua superficial, sin que se exceda cierto valor arriba del cual se ponga en riesgo la seguridad de los usuarios.

Por razones de drenaje, la pendiente transversal de los acotamientos debe determinarse tomando en cuenta su tratamiento superficial; para acotamientos de concreto hidráulico o asfáltico, se recomienda una inclinación de 2 a 6 %; para acotamientos de grava o roca triturada, de 4 a 6 %; para acotamientos cubiertos con césped, convienen pendientes de alrededor de 8 %.

Por razones de seguridad, el quiebre o diferencia entre la pendiente del acotamiento y la pendiente (en tangentes o curvas horizontales de gran radio) o sobreelevación (en

curvas horizontales cerradas) del camino, no debe ser mayor de 8 %.

003.D Estabilidad de los Acotamientos

Los acotamientos deben ser suficientemente estables para soportar las cargas vehiculares sin que se produzcan roderas o se pierdan sus propiedades de resistencia al derrapamiento, evitando también que los vehículos se atasquen en cualquier condición climatológica.

Todos los acotamientos deben ser construidos y mantenidos conservando el mismo nivel de la superficie pavimentada. Los acotamientos sin estabilizar, generalmente experimentan consolidaciones con el paso del tiempo, pudiendo generarse escalones de varios centímetros entre el acotamiento y el borde del pavimento. El mantenimiento regular elimina estos escalones que pueden generar situaciones de peligrosidad, reducir la capacidad del camino e inhibir el uso de los acotamientos.

En carreteras importantes se recomienda el uso de acotamientos pavimentados o estabilizados, ya que: (1) proporcionan un área para la operación vehicular en situaciones de emergencia, (2) facilitan el drenaje, (3) se minimiza la posibilidad de que se formen roderas en los acotamientos y escalones en el borde de la sección de circulación, (4) se reducen los costos de mantenimiento y (5) se proporciona un soporte lateral óptimo para la base y la capa superficial de la sección estructural.

003.E Contraste de los Acotamientos

Es deseable que el color y la textura de los acotamientos sean diferentes con el fin de que los carriles normalesde circulación puedan ser claramente percibidos durante la noche, particularmente en condiciones climatológicas desfavorables. Cuando el pavimento de la calzada es de concreto hidráulico, los acotamientos de concreto asfáltico, grava, roca triturada o césped proporcionan un excelente contraste. En pavimentos de concreto asfáltico es más difícil obtener un contraste satisfactorio. El uso de rayas separadoras entre carriles y acotamientos reduce la necesidad de contraste.

CAPITULO 004 ESPACIO LIBRE A OBSTRUCCIONES LATERALES

El término "espacio libre" se utiliza para designar el área libre de obstrucciones y relativamente plana que se proporciona después de la orilla de la calzada para que los vehículos fuera de control puedan retornar a los carriles de circulación. La anchura de la calzada no incluye acotamientos ni carriles auxiliares adicionales.

El espacio libre debe determinarse considerando el volumen de tránsito, la velocidad y la pendiente de los terraplenes. La Referencia 4-5 puede utilizarse para definir este espacio en autopistas, arterias y vías colectoras rurales de alta velocidad. En vías rurales de baja velocidad, es conveniente una zona libre de obstrucciones de alrededor de 3 m.

CAPITULO 005 BORDILLOS

Los bordillos se utilizan principalmente con los siguientes propósitos: mejorar el drenaje, reducir el derecho de vía, mejorar la estética del camino, delinear el borde del pavimento, delimitar los espacios destinados a los peatones, reducir las operaciones de mantenimiento y controlar el desarrollo en las inmediaciones de la carretera. En carreteras rurales, no conviene utilizar bordillos, por razones de seguridad, particularmente si ese objetivo puede lograrse con otros medios.

La Figura 4-2 muestra varios bordillos típicos. El de la Figura 4-2.A es un bordillo denominado "barrera"; su forma tiene como propósito inhibir o cuando menos dificultar que los vehículos se salgan del camino. El uso de este tipo de bordillos puede ser conveniente a lo largo de túneles, particularmente, si no se proporcionan acotamientos completos. Por otra parte, los bordillos mostrados en las Figuras 4-2.B a 4-2.G se denominan "montables", ya que su forma está diseñada para que los vehículos puedan cruzarlos fácilmente. Las secciones montables pueden usarse como parte del sistema longitudinal de drenaje del camino, combinándolas con cunetas laterales. En casos particulares, pueden colocarse en la orilla exterior de los acotamientos para controlar el drenaje, delinear el borde del pavimento y reducir la erosión. En general, no deben colocarse bordillos adyacentes a los carriles de alta velocidad.

CAPITULO 006 ACERAS O ANDADORES

Las aceras o andadores son parte integral de las vías urbanas. En vías rurales, sólo se emplean en raras ocasiones, aunque pueden ser de gran utilidad para reducir los accidentes peatonales. En áreas rurales o suburbanas, pueden justificarse cuando existan desarrollos adyacentes importantes como escuelas, plantas industriales y zonas comerciales, que impliquen concentraciones considerables de peatones a lo largo del camino.

Los acotamientos pueden eliminar la necesidad de instalar aceras o andadores, si son del tipo que induzcan a los peatones a utilizarlos ante cualquier situación climática. Sin embargo, si las aceras o andadores son imprescindibles, éstas deberán construirse junto a los acotamientos. Las aceras o andadores deben diseñarse de forma tal que puedan ser utilizados también, por los minúsvalidos.

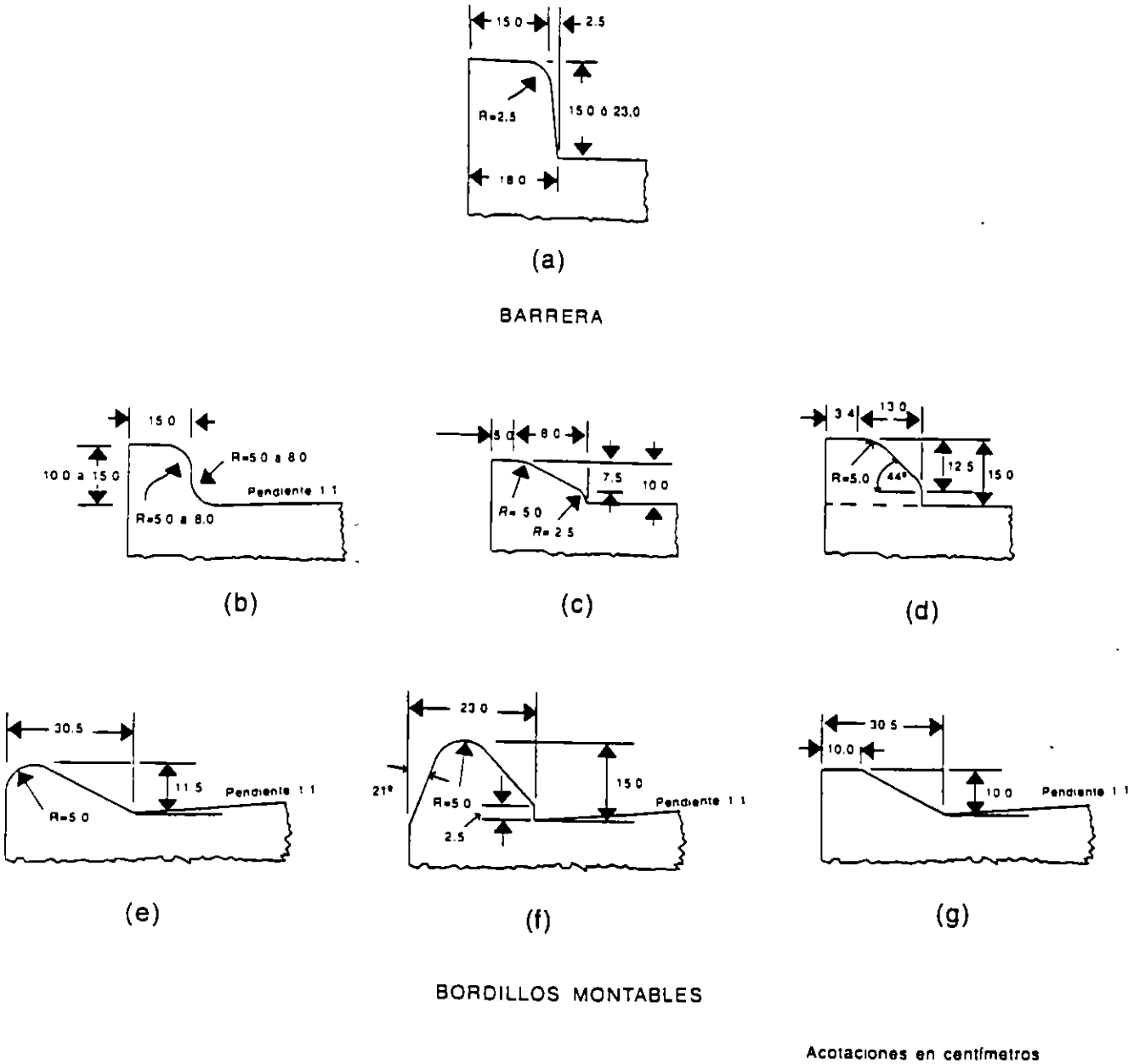


Figura 4-2 Bordillos típicos para carretera.

Estas mismas consideraciones son aplicables a aceras o andadores que se instalen en puentes.

CAPITULO 007 CUNETAS Y TALUDES PARA EL DRENAJE

007.A Consideraciones Generales

En el diseño del drenaje de las carreteras modernas deben tomarse en cuenta la seguridad del camino, su buena apariencia, el control de contaminantes y aspectos de tipo económico tanto en su construcción como en su mantenimiento. En general, todos los aspectos anteriores se ven beneficiados con el uso de taludes planos, cunetas amplias y secciones alabeadas o redondeadas. Las características de las cunetas y taludes deben definirse considerando la seguridad de posibles vehículos fuera de control que se salgan de la sección de circulación.

007.B Cunetas

Las cunetas tienen como función recolectar y transportar el agua superficial que caiga en el derecho de vía de la carretera. Deben tener la capacidad suficiente para transportar los flujos de diseño sin causar daños al camino. Asimismo,la forma y los sitios donde se construyan, no deben crear situaciones de peligrosidad para el tránsito. Las cunetas deben protegerse de la erosión mediante revestimientos de bajo costo que resistan las velocidades esperadas de los flujos de agua y mantenerse limpias y libres de material que pueda reducir su capacidad.

Las cunetas comprenden: (1) cunetas en corte para remover el agua de la sección transversal del camino, (2) cunetas al pie de pendientes para transportar el agua hacia los cauces naturales de cualquier sección en corte y de pendientes adyacentes, (3) contracunetas de intercepción construidas en la parte superior de cortes con el fin de interceptar el agua y (4) lavaderos para transportar el agua recolectada a través pendientes de cortes o terraplenes.

Los sistemas de drenaje más económicos son cunetas abiertas construidas mediante cortes del terreno natural en el derecho de vía. Desde el punto de vista de eficiencia hidráulica, los taludes de las cunetas deben ser tan inclinados como sea posible. Sin embargo, las siguientes son algunas limitantes en la inclinación de los taludes: (1) su estabilidad, (2) su construcción y mantenimiento y (3) requerimientos de seguridad de vehículos fuera de control que crucen las cunetas. En general, los vehículos sufren daños menores al cruzar cunetas con anchuras de 1.20 m a 2.40 m, independientemente de la forma de las mismas. Las cunetas pueden ser de forma V o trapecial. No es recomendable el empleo de cunetas de sección rectangular porque muy pocas

veces conservan sus taludes verticales, ya que generalmente tienden a derrumbarse y asolvarse.

La profundidad de las cunetas debe ser suficiente para remover el agua, evitando la saturación de la subrasante del pavimento. La profundidad del agua que puede tolerarse, particularmente en cunetas con pendientes planas, depende de las características del suelo. El desnivel mínimo bajo la subrasante que se requiere para remover el agua es de 30 cm, y el máximo de 90 cm, a fin de evitar la saturación de la subrasante y que la cunetas resulte peligrosa para los vehículos que se salgan de la carretera.

La pendiente longitudinal mínima deseable para las cunetas debe ser aquella que genere una velocidad de flujo que impida la sedimentación. La pendiente máxima deseable en cunetas no revestidas debe generar una velocidad de flujo menor a la que produzca destrucción de la vegetación o deslave del suelo que se tenga. La Referencia 4-6 proporciona una serie de guías para la determinación de estos parámetros.

Las cunetas de intercepción tienen por lo general una sección transversal plana formada por una zanja hecha con material de préstamo con el fin de evitar alterar la superficie del terreno natural.

Las cunetas en las inmediaciones de las fajas separadoras centrales de las carreteras divididas son áreas deprimidas de poca profundidad, formadas por las pendientes transversales de la carretera. Estas cunetas se proyectan con cierta pendiente longitudinal a efecto de hacer correr el agua, la cual es interceptada a intervalos regulares por drenes transversales (lavaderos), que descargan fuera de la carretera en alcantarillas o drenes.

Los lavaderos o conductos para transportar el agua recolectada a través de las pendientes de cortes o terraplenes pueden ser canales abiertos o tubos.

La erosión de las cunetas puede prevenirse mediante recubrimientos que pueden realizarse de concreto, asfalto, piedra, nylon y césped. El material del recubrimiento debe definirse considerando la velocidad del flujo, el tipo de suelo y la pendiente y geometría de la cuneta. La Referencia 4-7 puede servir de guía para la definición de este importante aspecto.

007.C Taludes de las Cunetas

Los taludes de las cunetas deben diseñarse para garantizar la estabilidad de la carretera y proporcionar una buena oportunidad de recuperar el control a aquellos vehículos que salgan de la carretera.

En lo referente a seguridad, hay tres regiones del área adyacente a la sección de circulación que son importantes: la parte superior del talud interior (punto de articulación), su pendiente y la parte inferior del mismo (intersección del talud interior con el piso de la cuneta o con el talud exterior). La Figura 4-3 ilustra estas tres regiones.

En el punto de articulación, el vehículo puede perder adherencia con la superficie de sustentación, haciendo que el conductor pierda el control del vehículo. Con el fin de evitar este efecto, se recomienda redondear la superficie de este punto.

La inclinación de la pendiente del talud interior no debe ser mayor de 4:1 (desplazamiento horizontal a vertical). Por su parte, la pendiente del talud exterior no debe ser mayor de 3:1. En caso de que se utilicen taludes con inclinaciones mayores a las anteriores, pudiera ser necesaria la construcción de muros de contención o barreras para detener a los vehículos fuera de control dependiendo de la estabilidad del suelo y/o de consideraciones referentes a la seguridad del tránsito.

La Referencia 4-5 proporciona sugerencias relacionadas con el diseño de los taludes de las cunetas de drenaje.

CAPITULO 008 SECCION TRANSVERSAL RECOMENDABLE

La Figura 4-4 muestra la sección transversal recomendable para carreteras modernas, incluyendo los elementos laterales adicionales a la calzada. Cuenta con acotamientos de anchura adecuada tanto en el lado del corte como en el del balcón. La pendiente de los acotamientos oscila entre 2 % para superficies pavimentadas y 8 % para superficies recubiertas con césped. La cuneta a la derecha de la figura está formada por el talud interior y el talud exterior o pendiente del corte. Estos taludes deben seleccionarse de tal forma que puedan ser cruzados con seguridad por vehículos fuera de control que salgan de la carretera. La anchura del fondo de la cuneta y su profundidad, deben ser tales que ofrezcan la capacidad de drenaje requerida y proporcionen una adecuada estabilidad a la subrasante del camino. En este sentido, se recomiendan profundidades entre 0.30 y 1.20 m por debajo de la orilla del acotamiento. Como indica la Figura 4-4, es importante también redondear todos los ángulos que forman las diferentes pendientes de los taludes.

La Figura 4-5 muestra la sección transversal recomendable en secciones sobreelevadas. El lado bajo de esta sección es similar al de la Figura 4-4, excepto por la pendiente del acotamiento. Desde un punto de vista operativo, es recomendable que la pendiente del acotamiento sea igual a la sobreelevación del pavimento. Por su parte, como ya se dijo anteriormente, en la orilla de la calzada del lado elevado de

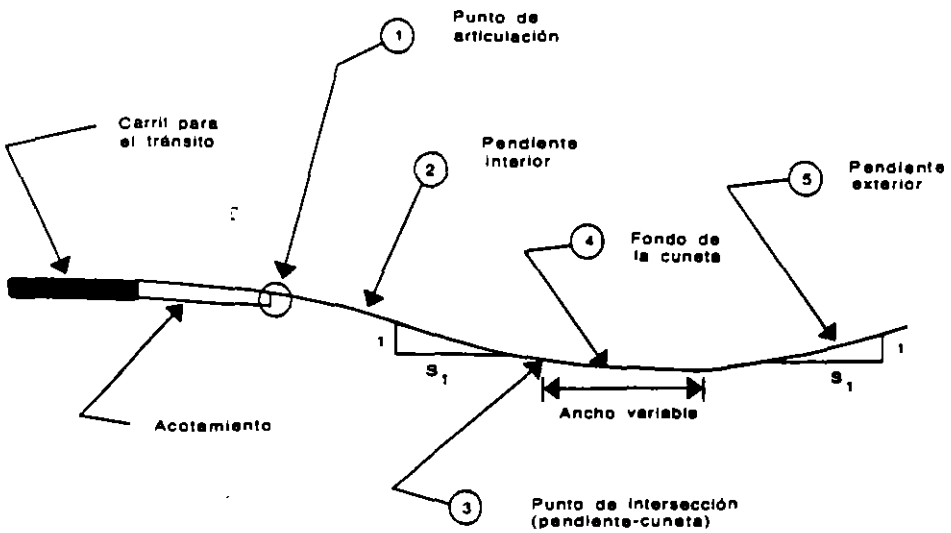
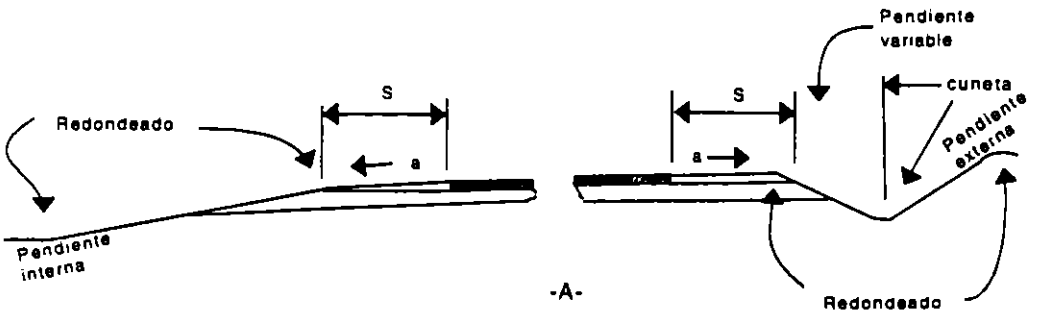


Figura 4-3 Regiones de las cunetas



S=Acotamiento en operación.
a=Pendiente de 2 a 3 porciento.

Figura 4-4 Sección transversal típica.

la sección transversal, la diferencia algebráica entre las pendientes del pavimento y del acotamiento no debe exceder de 8 %, con el fin de evitar que los vehículos tiendan a volcarse.

CAPITULO 009 BARRERAS

009.A Consideraciones Generales

Las barreras se utilizan para reducir la severidad de accidentes potenciales que puedan sufrir vehículos fuera de control que tiendan a salirse del camino, y que las consecuencias de chocar contra la barrera sean menores que las ocasionadas por salirse del camino. Debido a que las barreras mismas son una fuente potencial de accidentes, sólo deben instalarse cuando se justifiquen plenamente.

El término "barrera" se refiere a barreras longitudinales y a amortiguadores de impacto. Las primeras tienen como objetivo fundamental hacer que los vehículos fuera de control vuelvan a su dirección original. Las segundas, por su parte, tienen por objeto detener a los vehículos, aunque también los pueden reencauzar

Las barreras longitudinales se instalan en la parte central o al borde de los caminos. Pueden ser de tres tipos: flexibles, semi-rígidas o rígidas, dependiendo de la cantidad de deformación que puedan experimentar con el impacto de un vehículo.

Los sistemas flexibles, con el impacto, pueden experimentar una deflexión dinámica considerable. Su resistencia se debe, principalmente, al desarrollo de fuerzas de tensión en un miembro longitudinal sostenido por postes (los cuales no deben ofrecer resistencia al impacto directo). Este sistema se diseña para contener a los vehículos en vez de reencauzarlos y requiere una mayor distancia lateral libre a objetos fijos con el fin de acomodar la deflexión experimentada durante el impacto.

En los sistemas semi-rígidos, la resistencia al impacto se obtiene por la flexión o tensión del riel o elemento longitudinal. Los postes que soportan este riel se diseñan también para que cedan fácilmente en caso de impacto directo.

Los sistemas rígidos no se deforman al ser impactados. En las colisiones, la energía se disipa por levantamiento del vehículo y deformación de su lámina. A medida que el ángulo del impacto es mayor, las fuerzas de desaceleración de la barrera aumentan, razón, por la cual, este sistema sólo debe utilizarse donde se esperen ángulos de impacto pequeños, como es el caso de barreras instaladas a lo largo de acotamientos o de fajas separadoras centrales angostas. Este sistema ha

demostrado ser muy efectivo en áreas donde se realizan trabajos de mantenimiento vial.

En resumen, al seleccionar un sistema de barrera longitudinal deben tomarse en consideración las propiedades de deformación de los distintos sistemas, sus capacidades, comportamiento y área disponible para acomodar la deflexión de la barrera en caso de impacto.

009.B Barreras Longitudinales

009.B.01 Laterales. Una barrera lateral es un sistema longitudinal que se utiliza a ambos lados del camino para proteger a los conductores de los peligros naturales o creados por el hombre. En ocasiones se pueden utilizar para proteger del tránsito vehicular, a peatones, ciclistas y otras personas que se encuentren en las inmediaciones del camino.

Algunos peligros potenciales que ameritan la construcción de estas barreras son: (1) terraplenes o cortes laterales y (2) otros obstáculos laterales.

Recientemente se ha demostrado que el redondeo del pie de los terraplenes o cortes laterales (en las inmediaciones del acotamiento) puede reducir el potencial de accidentes.

La Referencia 4-5 proporciona información adicional en relación con estas barreras.

009.B.02 Centrales

Las barreras ubicadas en la faja separadora central se utilizan para reducir la posibilidad de que vehículos fuera de control invadan los carriles de circulación del sentido opuesto. La posibilidad de que esto ocurra aumenta cuando la intensidad vehicular es mayor y la anchura de la faja central o separación entre ambos sentidos es menor. La necesidad de estas barreras debe detectarse, fundamentalmente, a partir de registros históricos de colisiones frontales por invasión de los carriles del sentido opuesto.

Estas barreras pueden ser particularmente necesarias en carreteras divididas en que los cuerpos de cada sentido están separados por una faja separadora central, pero se encuentran a diferente elevación.

Dentro de los tipos más comunes se cuentan: (1) las vigas de acero de sección W en ambas caras, instaladas en postes muy resistentes; (2) las vigas en forma de cajón instaladas en postes de escasa resistencia y (3) barreras de concreto con caras inclinadas. La Referencia 4-5 presenta información adicional sobre estos tipos de barreras. La deflexión máxima ante un impacto vehicular es un factor esencial que es

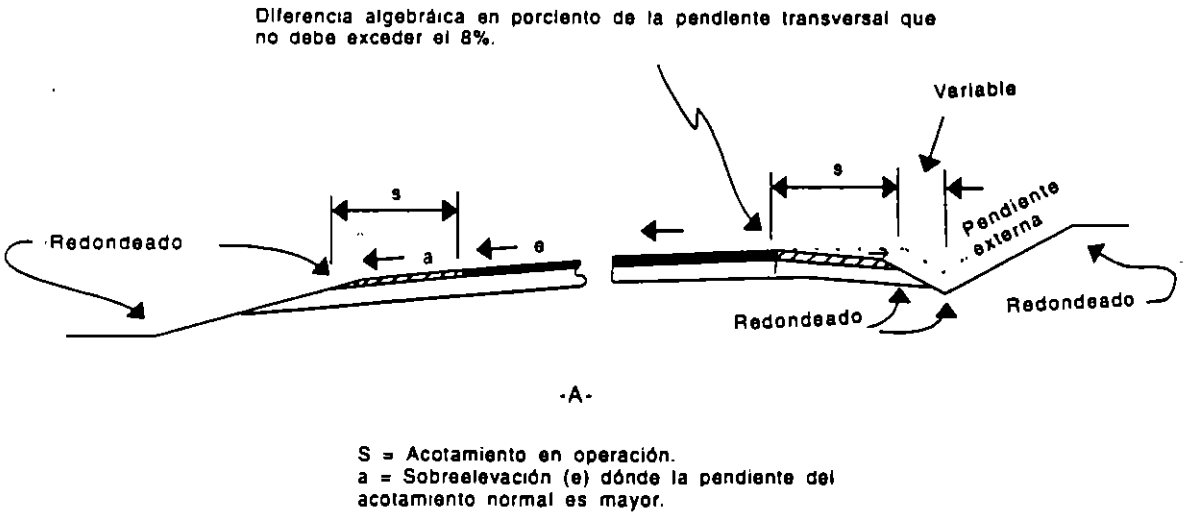


Figura 4-5 Sobreelevación de la sección transversal típica.

necesario tomar en cuenta al seleccionar el tipo de barrera ya que ésta debe no sólo impedir que los vehículos invadan el sentido opuesto sino también evitar que al deformarse, obstruyan la circulación del sentido opuesto.

009.C Parapetos de Puentes

Los parapetos de puentes sirven para evitar que vehículos, peatones o ciclistas se caigan de la estructura. La Referencia 4-8 especifica los requerimientos geométricos y de cargas y esfuerzos máximos que deben satisfacerse en el diseño de estos elementos. Su diferencia con otros tipos de barreras radica, esencialmente, en que no se cimentan en el suelo sino que son extensiones de la estructura.

009.D Amortiguadores de Impacto

Son sistemas de protección que impiden que los vehículos fuera de control choquen violentamente contra obstáculos laterales del camino, reduciendo su aceleración para reencauzarlos nuevamente. Se utilizan comúnmente en pilas de estructuras, soportes de anuncios elevados, muros de contención, cortes o terraplenes adyacentes y en los extremos de barreras y parapetos. La Referencia 4-5 proporciona información adicional en relación con estos elementos.

CAPITULO 010 FAJAS SEPARADORAS CENTRALES

Las fajas separadoras centrales son deseables en carreteras de 4 ó más carriles. Se definen como la porción de una carretera dividida que separa las calzadas de circulación de los dos sentidos opuestos. La anchura de la faja separadora central se define como la dimensión entre los bordes internos de las calzadas incluyendo los acotamientos del lado izquierdo. Las funciones principales de las fajas separadoras centrales son: separar los flujos vehiculares de los sentidos opuestos, proporcionar un área de recuperación para los vehículos que pierdan el control, proporcionar un área de estacionamiento en caso de emergencia, proporcionar espacio de almacenamiento para los vehículos que den vuelta a la izquierda o en U, minimizar el deslumbramiento nocturno de los vehículos circulantes en uno u otro sentido y proporcionar un ancho de reserva para la construcción de carriles adicionales futuros.

Por razones de seguridad, es preferible proporcionar fajas separadoras centrales que construir barreras centrales. En este sentido, en lo posible, la anchura de las fajas separadoras centrales debe ser tal que elimine la necesidad de construir barreras centrales. Las fajas separadoras centrales deben ser tan anchas como sea necesario, prácticas y económicas. El rango de anchuras de la faja separadora central oscila desde 1.20 m hasta 24 m ó más. En general, entre más ancha es la faja, se proporciona una mejor y más

segura operación, aunque esto también encarece el costo de la carretera (se requiere un derecho de vía más amplio, los costos de construcción y mantenimiento son mayores, etc).

Las fajas separadoras centrales pueden ser: deprimidas, elevadas o a nivel con la superficie del pavimento. Las deprimidas son más convenientes en autopistas debido a la necesidad de contar con un drenaje más eficiente. La pendiente de ambos lados de este tipo de faja central debe ser 6:1 (desplazamiento horizontal a vertical) de preferencia, aunque 4:1 puede ser conveniente. Las fajas separadoras centrales a nivel con la superficie del pavimento suelen también requerir de la construcción de barreras centrales.

CAPITULO 011 VIAS LATERALES

Estas vías tienen funciones diversas dependiendo del tipo de carretera a la que sirven. Pueden utilizarse para controlar el acceso de carreteras principales segregando el tránsito local del de largo recorrido. Por lo tanto, en carreteras rurales se utilizan mayormente al cruzar por áreas urbanas. Se construyen en tramos donde el tránsito local se combina con el de largo recorrido de la carretera cuyo volumen y características pueden ocasionar frecuentes situaciones de peligrosidad. Estas vías se utilizan principalmente en autopistas siendo su función primordial distribuir y recolectar el tránsito entre las vialidades locales y la autopista.

Pueden ser de uno ó de dos sentidos. En el primer caso, cada sentido corre en un cuerpo separado, a ambos lados de la carretera. En el segundo, un solo cuerpo alberga a los dos sentidos del tránsito. En general, las primeras proporcionan una operación más eficiente y segura.

CAPITULO 012 FAJAS SEPARADORAS LATERALES

Son cada una de las áreas comprendidas entre los carriles de circulación de la carretera principal y de sus vías laterales. Sirven como zonas de almacenamiento vehicular y de separación entre los flujos que circulan por la carretera principal y los que circulan por sus vías laterales. Proporcionan espacio para dos acotamientos, uno de la carretera principal y otro de la vía lateral adyacente, y para alojar las rampas de entrada y salida de la carretera.

Cuanto más ancha es esta separación, menor influencia ejercerá el tránsito local que circula por la vía lateral sobre el tránsito que circula por la carretera principal.

Cuando la vía lateral es de doble sentido de circulación, el conductor que circula por la carretera principal tendrá a cada lado, a un flujo vehicular que circula en sentido

opuesto (uno por la carretera principal y otro por la vía lateral). Por lo tanto, la separación exterior deberá ser más ancha en este caso que cuando la vía lateral es de un solo sentido, con el fin de minimizar el deslumbramiento nocturno de los conductores que circulan por la carretera principal. La Figura 4.6 muestra una separación exterior típica, a través de la cual se desarrolla una rampa de entrada o salida de la carretera principal.

CAPITULO 013 CONTROL DEL RUIDO

El ruido puede definirse como sonido no deseado. En los vehículos automotores, tanto el motor como la aerodinámica, el escape y la interacción de las llantas con el pavimento, generan ruido. Debe realizarse cualquier esfuerzo por minimizar la irradiación de ruido hacia áreas sensibles al ruido ubicadas en las inmediaciones de la carretera. Es necesario que el proyectista evalúe los niveles de ruido probables en vías de futura construcción así como la efectividad de reducir éstos mediante posibles modificaciones del trazo del camino o la instalación de ciertos elementos. La Referencia 4-9 presenta un método para predecir niveles de ruido así como para detectar la necesidad de tomar medidas de abatimiento de estos niveles, tomando en cuenta los usos del suelo.

Un método efectivo para reducir el ruido del tránsito en las áreas adyacentes al camino consiste en diseñar la carretera de tal forma que algún tipo de cuerpo sólido bloquee la línea de transmisión del ruido entre su fuente y los receptores. En el caso de las carreteras deprimidas por debajo del nivel del suelo, las paredes laterales del camino constituyen esa barrera. En el caso de carreteras construidas sobre un terraplén, en un área sensible al ruido, deben instalarse barreras contra el ruido de concreto, metal, madera o paredes de mampostería. Los arbustos y árboles no son elementos muy eficientes para bloquear la transmisión del ruido, dada su permeabilidad a los flujos de aire.

En el Título 010 "Impacto Ambiental" de estas Normas, se tratan con mayor detalle los aspectos anteriores.

CAPITULO 014 TUNELES

014.A Consideraciones Generales

Ciertas carreteras pueden requerir la construcción de secciones en túnel, ya sea para salvar obstáculos naturales o para minimizar los impactos de la carretera en las comunidades o instalaciones aledañas. Las condiciones generales que pueden justificar la construcción de túneles son:

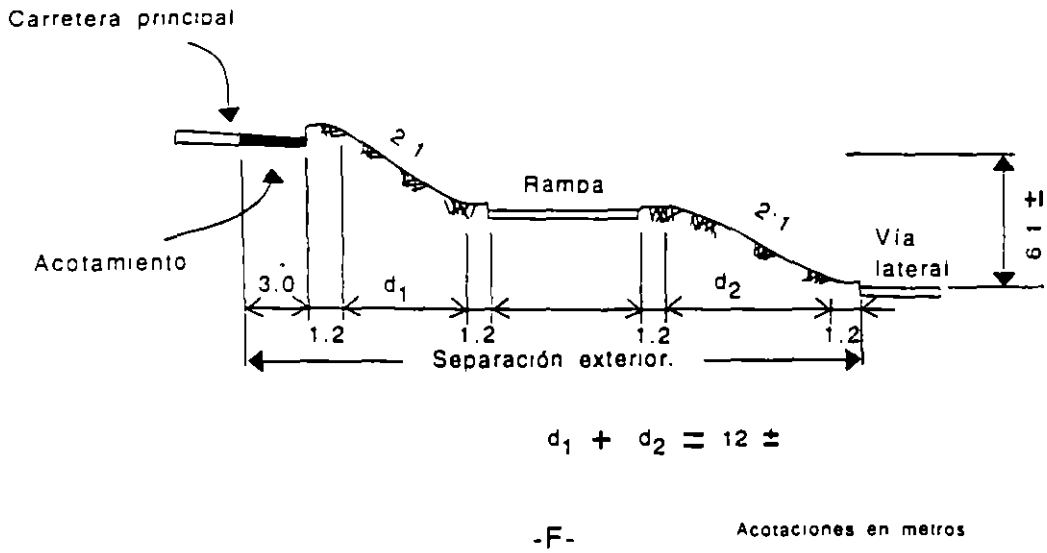


Figura 4-6 Separación exterior típica.

1. La necesidad de cruzar cordilleras largas y angostas, en donde la realización de cortes pudiera resultar demasiado costosa o de consecuencias ambientales muy negativas.
2. La necesidad de cruzar instalaciones de importancia que no puedan ser afectadas (p. ej. aeropuertos, parques, etc).
3. En aquellos casos en que el costo del derecho de vía sea mayor que el costo de construir y operar el tunel.

014.B Tipos de Túneles

Puede clasificarse como: (1) construidos utilizando métodos de minería y (2) construidos mediante métodos de corte y cobertura.

Los primeros se construyen sin remover la capa superior de roca o suelo y su construcción resulta más barata en roca sólida que en terreno suave.

Los segundos, por su parte, se construyen haciendo un corte abierto y rellenando la parte superior del mismo después de construir la estructura. Este segundo método es el más económico para construir túneles de poca profundidad. También se utiliza para construir túneles subacuáticos. En este caso, se abre una zanja en el lecho del cuerpo del agua, se instalan secciones de tunel prefabricadas que se van uniendo y al completarse la estructura, se rellena la parte superior de la zanja y se extrae el agua del interior de la estructura.

014.C Consideraciones Generales de Diseño

Debido a que los túneles son las estructuras carreteras más costosas, deben construirse de la menor longitud posible. Por esta razón, deben ubicarse fundamentalmente en tangente, lo cual no sólo reducirá su costo sino que también mejorará su eficiencia operativa.

Tanto la pendiente de los túneles como su longitud deben definirse tomando en cuenta el confort de los usuarios, sus costos constructivos, de operación y mantenimiento así como sus requerimientos de ventilación e iluminación. En los extremos del túnel debe proporcionarse una transición adecuada entre la iluminación interna y la luz natural del exterior.

En general debe evitarse la instalación de señalamiento en el interior de los túneles por el elevado costo que significa ampliar vertical u horizontalmente la sección.

Debe evitarse la construcción de rampas de salida de la carretera a menos de 300 m de los extremos del túnel, ya que distancias menores a ésta son insuficientes para proporcionar

la señalización necesaria. Deben evitarse también, operaciones de entrecruzamiento, incorporación y separación de flujos en el interior del túnel.

014.D Secciones de Túneles

Las Figuras 4-7 y 4-8 muestran, respectivamente, las secciones mínima y deseable para túneles de 2 carriles. La sección deseable proporciona acotamientos adecuados para vehículos averiados y para la realización de operaciones de mantenimiento, así como banquetas o andadores para permitir la circulación de peatones en casos de emergencia y para proteger las paredes del túnel.

CAPITULO 015 CRUCES PEATONALES

En segmentos carreteros donde existan movimientos peatonales fuertes combinados con flujos vehiculares importantes, debe considerarse la posibilidad de instalar cruces o pasos peatonales. En carretera dividida con barrera central son indispensables a distancias relativamente cortas.

Los cruces o pasos peatonales pueden ser superiores o inferiores. En general, los peatones son más renuentes al uso de pasos peatonales inferiores que superiores.

De preferencia, las subidas y bajadas de los cruces peatonales deben ser en rampa, para que los minúsvalidos, que requieran sillas de ruedas, puedan desplazarse.

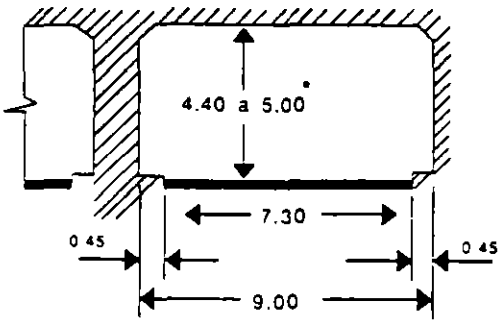
El gálibo de los pasos peatonales superiores debe ser ligeramente mayor que el gálibo mínimo para estructuras vehiculares, ya que los primeros son menos resistentes que los segundos y por lo mismo pueden sufrir daños mayores al ser impactados por vehículos excedidos en altura. El gálibo recomendable para estas estructuras oscila entre 5.10 y 6.60 m.

La anchura del andador de estos pasos debe definirse en términos de los flujos esperados de peatones y no debe ser menor de 2.40 m.

Todos los pasos superiores deben contar con un pasamano (o barandilla) entre 0.90 y 1 m de altura. Es recomendable que los pasos superiores cuenten con una malla metálica circundante que reduzca las posibilidades de que los peatones arrojen objetos a los vehículos que circulan por debajo del paso.

CAPITULO 016 ADAPTACIONES DE ACERAS PARA MINUSVALIDOS

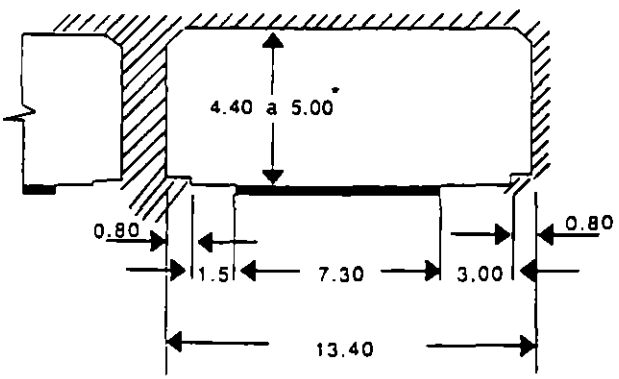
Cuando se diseñe una carretera que requiera de bordillos o aceras para peatones, en algunos segmentos, deben



Dimensiones mínimas

-a-

* Incluye tolerancia para futura repavimentacion



Deseable

-b-

Acotaciones en metros

Figuras 4-7 y 4-8 Secciones típicas para túneles de dos carriles.

proporcionarse en esquinas y otros sitios importantes de cruce, pequeñas rampas para facilitar el acceso de personas que requieran de sillas de ruedas u otros aparatos para movilizarse.

CAPITULO 017 PARADAS DE AUTOBUSES

En carreteras donde haya servicio de transporte de pasajeros con paradas a lo largo del camino, deben proporcionarse sitios específicos para estas paradas, que garanticen que la desaceleración, detención y aceleración de los autobuses se efectúe en zonas pavimentadas fuera de los carriles de circulación.

CAPITULO 018 REFERENCIAS

4-1. AASHTO, *Guide for the Design of Pavement Structures* Washington, AASHTO, 1986.

4-2. Corro C, Santiago, R. Magallanes y G. Prado, *Instructivopara el Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles para Carreteras*, Publicación No. 444, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1981.

4-3. AASHTO, *Guidelines for Skid Resistant Pavement*, Washington, AASHTO, 1976.

4-4. Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual,Special Report No. 209*, Washington, National Academy of Sciences, National Research Council, 1985.

4-5. AASHTO, *Roadside Design Guide*, Washington, AASHTO, 1989.

4-6. AASHTO, *Highway Drainage Guidelines*, Washington, AASHTO,1988.

4-7. Federal Highway Administration, *Design of Stable Channels with Flexible Linnings*, HEC-15, FHWA, Oficina de Ingeniería, División de Puentes, Washington, D. C, 1975.

4-8. AASHTO, *Standard Specifications for Highway Bridges*, Washington, AASHTO, 1977.

4-9. Barry, T. M, Reagan, J. A, *FHWA Highway Traffic NoisePrediction Model*, FHWA-RD-77-108, 1978, National Technical Information Service, Springfield, Virginia 22161.

N O R M A S S. C. T.
LIBRO 2
P R O Y E C T O
PARTE 2.02
PROYECTO GEOMETRICO DE CARRETERAS

TITULO 2.02.05

A U T O P I S T A S

TITULO 2.02.05 AUTOPISTAS

CAPITULO 001 INTRODUCCION

Las autopistas son carreteras de la más alta categoría, o vías rápidas, con control total de accesos. Se entiende por control de accesos el control que ejerce la Autoridad Pública sobre el derecho de los ocupantes y propietarios del suelo aledaño a una determinada carretera, de acceder a la misma. Control total de accesos significa que la autoridad otorga preferencia al tránsito directo que circula por la autopista, proporciona acceso sólo en algunas vías importantes y prohibe el acceso directo a la propiedad privada adyacente. Significa también que no se permiten cruces o intersecciones a nivel.

Las carreteras de clasificación más elevada deben entroncar con las autopistas mediante intersecciones a desnivel, provistas generalmente de rampas para el intercambio de flujos vehiculares. Los caminos locales deben interrumpirse al llegar a las autopistas o conectarse con vías laterales u otros caminos locales para dar continuidad al tránsito.

Las autopistas son carreteras construidas sobre corredores importantes de transporte para proporcionar altos niveles de seguridad y eficiencia en el movimiento de grandes volúmenes de tránsito a altas velocidades.

CAPITULO 002 CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

002.A Velocidad de Diseño

La velocidad de proyecto de las autopistas debe ser congruente con la velocidad de operación, en condiciones de seguridad, que desean los usuarios durante las horas de menor demanda vehicular, sin exceder los límites de una construcción prudente, de un derecho de vía mesurado y de unos costos socio-económicos moderados.

Se recomienda utilizar una velocidad de proyecto de 110 km/h para estas vías. Las autopistas diseñadas para velocidades menores, tienden a ser, en general, más inseguras, menos cómodas y a incrementar el consumo de combustible de los vehículos así como sus costos de operación. En terreno montañoso debe utilizarse una velocidad de proyecto de 80 a 95 km/h, de acuerdo con las expectativas de los conductores.

La velocidad de proyecto no deberá ser menor de 80 km/h. Cualquier reducción de costos de construcción lograda a expensas de una velocidad de proyecto menor que el valor anterior, tenderá a contrarrestarse por costos de operación del transporte más altos, inconveniencias causadas al tránsito, mayores alteraciones ocasionadas al medio ambiente y eventuales costos de modernización.

En aquellos casos en que se utilice una velocidad de proyecto menor que 80 km/h, deberá proporcionarse el señalamiento que indique la velocidad máxima permitida así como los elementos de control que impidan que esta velocidad máxima sea excedida.

002.B Volúmenes de Tránsito de Proyecto

En el Título 2.02.02 se trató lo referente a la selección del horizonte y del tránsito de proyecto. Normalmente, las autopistas se diseñan para acomodar el tránsito esperado durante un período de 20 años. Algunos elementos de una autopista existente que pretendan reconstruirse, pueden proyectarse para períodos de diseño menores que el valor anterior.

Los requerimientos de capacidad de la autopista deben determinarse a partir del volumen horario direccional de proyecto correspondiente (VHDP). El número de carriles deberá ser tal que permita acomodar el volumen de tránsito esperado al nivel de servicio B. En general, las autopistas deben contar con 4 carriles de circulación (2 para cada sentido), excepto a su arribo a las áreas urbanas en donde pudieran requerirse 6 ó más carriles.

002.C Niveles de Servicio

El proyectista o diseñador debe proyectar la autopista para el mayor nivel de servicio factible, considerando las condiciones futuras que se anticipen.

En general, es deseable proyectar las autopistas para un nivel de servicio B, aunque puede aceptarse un nivel de servicio C en carriles auxiliares (adicionales) que transporten flujos de tránsito excepcionalmente elevados.

La referencia 5-1 presenta una discusión completa sobre los conceptos, procedimientos y técnicas relativas al nivel de servicio y a la capacidad en autopistas.

002.D Calzada y Acotamientos

Las autopistas deben contar con 2 carriles por sentido cuando menos, con una anchura de 3.65 m. Sus pavimentos deben ser de alta calidad, con buena resistencia al derrapamiento y una capacidad estructural adecuada. Las pendientes transversales deben oscilar entre 1.5 y 2% en secciones en tangente de dos carriles por sentido. El valor más alto se recomienda en zonas de precipitación pluvial moderada, en tanto que en zonas de precipitación pluvial elevada, debe utilizarse una pendiente transversal de 2.5 % para facilitar el drenaje.

Es recomendable que la anchura efectiva del acotamiento del lado derecho sea de cuando menos 3 m y donde el tránsito de camiones de carga exceda los 250 vehículos por hora, tenga 3.65 m de anchura. En autopistas de cuatro carriles conviene que el acotamiento izquierdo (de la zona central) sea entre 1.20 y 2.40 m de anchura. En autopistas de 6 ó más carriles, es aconsejable que el acotamiento izquierdo tenga una anchura efectiva de 3 m y donde el tránsito de camiones de carga sea mayor de 250 vehículos por hora, éste puede ser de 3.65 m de anchura. La pendiente transversal de los acotamientos debe oscilar entre 2 y 6 %, debiendo ser un 1 % más inclinados que los carriles de circulación en secciones en tangente, para facilitar el drenaje. Es deseable que el color y la textura de los acotamientos sea diferente que los de los carriles de circulación.

002.E Bordillos

En autopistas no deben utilizarse bordillos de detención de vehículos, sin embargo, si llegarán a requerirse, en casos especiales, conviene que se instalen después del borde exterior del acotamiento. Los bordillos montables, en caso de utilizarse, deberán construirse de la misma manera.

002.F Sobreelevación

En autopistas se recomienda un valor máximo de sobreelevación de entre 0.08 y 0.12.

002.G Pendientes

En la Tabla 5-1 se indican las pendientes máximas recomendables en función de la velocidad de proyecto y del tipo de terreno. Donde el alineamiento presente pendientes sostenidas, debe analizarse la conveniencia de construir carriles auxiliares o adicionales de ascenso.

002.H Estructuras

Se sugiere que los puentes, alcantarillas, muros de contención, túneles y otras estructuras de autopistas se proyecten de acuerdo con lo indicado en la Referencia 5-2.

Los puentes de las autopistas deben tener la anchura suficiente para albergar la misma sección transversal (carriles y acotamientos) de los tramos sobre terracerías.

La anchura de las estructuras y el espacio lateral libre de obstrucciones para las carreteras que crucen superior o inferiormente a las autopistas, dependerán de la clasificación funcional de tales carreteras.

Tabla 5-1. PENDIENTES MAXIMAS PARA AUTOPISTAS

Tipo de Terreno	Velocidad de Diseño		
	80	95	110
	Pendiente (%)		
Plano	4	3	3
Lomerío	5	4	4
Montañoso	6	6	5

002.I Gálibo

El gálibo de las estructuras que cruzan por encima de las autopistas debe ser de 4.80 m cuando menos, a todo lo ancho de la autopista incluyendo los carriles auxiliares y la anchura efectiva de los acotamientos.

Debido a su menor resistencia, conviene que el gálibo de las estructuras de los señalamientos y los pasos peatonales sea de 5.10 m. cuando menos.

También deberá proporcionarse una tolerancia adicional a los valores anteriores de 15 cm, para tomar en cuenta futuros reencarpetados.

002.J Distancia Lateral Libre de Obstrucciones

Como ya se indicó en el Título 2.02.04, esta distancia en autopistas debe ser congruente con la velocidad de operación y con los taludes laterales de las mismas. Los obstáculos peligrosos, dentro de la zona deberán protegerse con barreras adecuadas.

Los objetos fijos que no puedan ser reubicados dentro de la zona libre de obstáculos deben construirse de manera que al ser impactados cedan fácilmente, o protegerse mediante barreras o atenuadores de impacto. Las pilas de los puentes, los muros de contención y otros elementos de apoyo estructural deberán colocarse al borde de dicha zona.

En autopistas construidas sobre terraplenes con pendientes superiores a 3:1 (desplazamiento horizontal a vertical) o cuando el área entre los bordes del acotamiento exterior y de la zona libre de obstáculos sea prácticamente imposible de cruzar con seguridad, deberán instalarse barreras laterales. Cuando se utilicen muros laterales de contención en secciones construidas sobre terraplenes, la parte superior de dichos muros deberá quedar después del borde exterior del acotamiento.

002.K Rampas y Accesos

Las rampas y accesos de las autopistas pueden proyectarse de acuerdo con lo indicado en el Título 2.02.08 de estas Normas.

002.L Alineamiento y Perfil

Dado que las autopistas se proyectan para flujos vehiculares elevados operando a altas velocidades, es necesario que sus alineamientos tanto horizontal como vertical sean suaves, en lo posible. Una combinación adecuada de curvaturas planas, tangentes cortas, pendientes suaves, anchuras variables de la faja separadora central y diferente elevación de los cuerpos

en cada sentido (si este es el caso), puede conducir a trazos seguros y estéticamente agradables.
En las tangentes conviene evitar, en lo posible, modificaciones a la anchura de la faja separadora central, ya que esto pudiera crear en los conductores una apariencia distorsionada de la carretera.

Aunque el perfil pudiera satisfacer todos los controles o requerimientos de proyecto, es posible que el alineamiento vertical parezca aún forzado y angular si escasamente se satisfacen los criterios o requisitos mínimos. Es recomendable revisar las diferentes alternativas de proyecto del perfil utilizando dibujos longitudinales continuos, en los cuales puedan hacerse evidentes aspectos indeseables. Esto es particularmente recomendable para tramos de autopista proyectados sobre terreno en lomerío o montañoso.

La congruencia entre los alineamientos horizontal y vertical debe estudiarse detalladamente, con el fin de obtener una combinación adecuada de éstos.

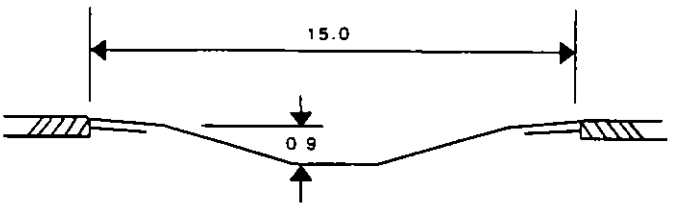
002.M Faja Separadora Central

Es conveniente que las autopistas tengan una faja separadora central de entre 15 y 30 m.

La faja separadora central de 15 m de anchura mostrada en la Figura 5-1.A permite acomodar acotamientos con pendiente de 1.80 m de ancho y taludes laterales 6:1 (desplazamiento horizontal a vertical) así como una cuneta central de 90 cm de profundidad. Esta anchura proporciona espacio suficiente para que los vehículos fuera de control que se salgan de la autopista puedan retornar a ella. Sin embargo, las pilas que se desplantan en una faja separadora central de esta anchura deberán protegerse de acuerdo con lo indicado en el Título 2.02.04 (Capítulo 009, Cláusula D).

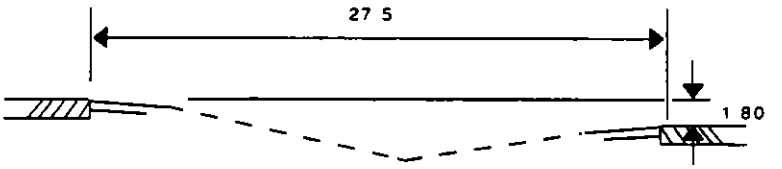
La faja separadora central de 30 m mostrada en la Figura 5-1.B permite que, en terreno en lomerío, el proyectista pueda diseñar perfiles separados para el cuerpo de cada sentido, lo cual resultará en una autopista más congruente con las condiciones del terreno y del medio ambiente. Por supuesto, deberán proporcionarse también, taludes laterales suficientemente planos como para permitir que los vehículos fuera de control que se salgan del camino puedan retornar con seguridad. En terreno plano, una faja separadora central de 30 m es también adecuada en aquellos casos en que se contemple ampliar el cuerpo de cada sentido en una etapa futura, con un carril adicional de 3.65 m de anchura.

Cuando el terreno sea lomerío fuerte o inadecuado para el cultivo o pastoreo de animales, la faja separadora central podrá tener una anchura variable de 50 m ó más. Este caso se ilustra en la Figura 5-1.C. Una anchura de esta magnitud



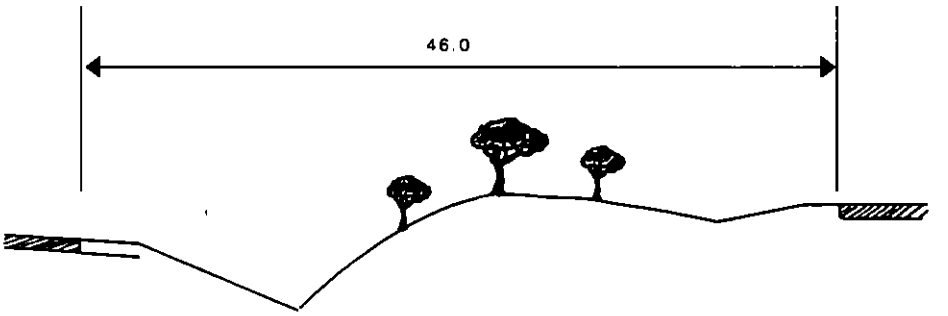
Faja separadora central con alineamiento paralelo deprimido.

-A-



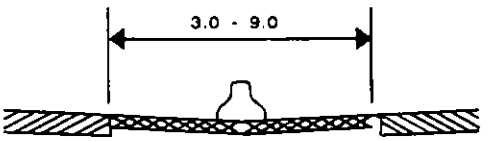
Faja separadora central con perfil independiente deprimido.

-B-



Faja separadora central natural.

-C-



Faja separadora central pavimentada con barrera de seguridad.

-D-

Acotaciones en metros

Figura 5-1 Fajas separadoras centrales típicas en áreas rurales.

permitirá al proyectista diseñar alineamientos separados para el cuerpo de cada sentido, tanto horizontal como verticalmente y que el proyecto de la autopista sea más congruente con la topografía del terreno. Los taludes (dentro de las zonas laterales libres de obstáculos de cada cuerpo) deberán permitir a los conductores, la recuperación del control de los vehículos que se salgan del camino. El área sobrante que debe quedar libre de obstáculos después del borde, puede dejarse en su estado natural (con su vegetación, árboles y demás elementos originales), lo cual reducirá los costos de mantenimiento de la vía y añadirá interés escénico a la misma. La combinación de esta característica así como de los alineamientos independientes para cada sentido suele resultar bastante agradable para los usuarios. Es también tranquilizante para éstos que el cuerpo del sentido opuesto sea visible a intervalos frecuentes.

En terreno montañoso o en áreas suburbanas en las que existan restricciones al derecho de vía, es común que sólo pueda proporcionarse una faja separadora central de 3 a 9 m de anchura, como se muestra en la Figura 5-1.D. Generalmente estas fajas separadoras centrales se pavimentan, proporcionando drenaje subterráneo cuando es necesario. En fajas de esta anchura suele justificarse la instalación de barreras centrales, dependiendo del volumen de tránsito y de las condiciones operativas.

Cuando los entronques estan espaciados a más de 8 km, deberán proporcionarse cruces transversales para emergencias o para el mantenimiento de la autopista. Esto evitará que los vehículos de emergencia o de vigilancia (patrullas) viajen demasiado antes de poder retornar. Es conveniente en general, que existan cruces o retornos a cada 4 ó 6 km. Estos cruces deberán construirse a 500 m ó más de los extremos de las rampas de acceso o de otros tipos de estructuras de la autopista. Asimismo, deberán instalarse en sitios donde existan distancias de visibilidad muy por arriba de las mínimas de parada. No deberán instalarse en curvas que requieran sobreelevación. Estos cruces deben ser inferiores. con anchura suficiente para permitir que los vehículos den la vuelta con seguridad. Su capa superficial deberá resistir el paso de equipo de mantenimiento vial.

002.N Taludes Laterales

En general, la combinación de los taludes interior y exterior así como la configuración de la cunetas, deberán permitir que los vehículos fuera de control se salgan de la calzada puedan retornar a ella. Los puntos de quiebre de los taludes deberán ser redondeados. Es aconsejable que los taludes interiores sean 6:1 (desplazamiento horizontal a vertical) o más planos en secciones en corte o en terraplén de altura moderada. En terraplenes elevados en los que el talud interior sea demasiado inclinado, deberán instalarse barreras laterales.

Conviene que los taludes exteriores sean 3:1 ó más planos,para facilitar el control de la erosión y las operaciones de mantenimiento.

002.O Sección Transversal Típica y Derecho de Vía

Las secciones transversales de las autopistas rurales varían considerablemente dependiendo del número de carriles, de la disponibilidad de derecho de vía y del tipo de terreno. En la Figura 5-2 se muestran tres secciones transversales con sus respectivos derechos de vía, en autopistas rurales de 4 carriles. El primer caso (Figura 5-2.A) corresponde a una autopista con alineamientos separados para el cuerpo de cada sentido El segundo caso (Figura 5-2.B) corresponde a una sección transversal típica de autopistas. Finalmente, el tercer caso (Figura 5-2.C) corresponde a una sección transversal de una autopista con derecho de vía restringido y faja separadora central de 3 a 9 m de anchura en la que se ha instalado una barrera central.

Las secciones transversales anteriores incluyen todos los elementos de la autopista, excepto las vías laterales. Por cada vía lateral que se incluya deberá añadirse a las secciones anteriores, un ancho adicional de 15 m.

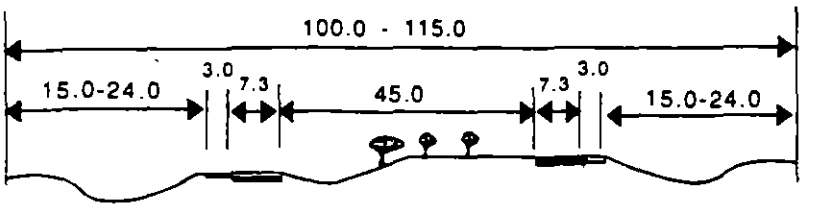
002.P Vías Laterales

En autopistas rurales la necesidad de vías laterales es menor que en autopistas urbanas, ya que el tránsito local que incide en la autopista es más intenso. Sin embargo, en autopistas rurales también pueden requerirse vías laterales. En este caso, las vías laterales suelen ser intermitentes y relativamente cortas, comunicando a las propiedades aledañas; asimismo dan continuidad a las vías locales conectándolas con las arterias transversales que cruzan a desnivel la autopista. Figura 5-2.

En casos donde una autopista corra paralela y cerca de una carretera importante, puede ser recomendable convertir a esta última en una vía lateral de dos carriles que sirva como vialidad colectora.

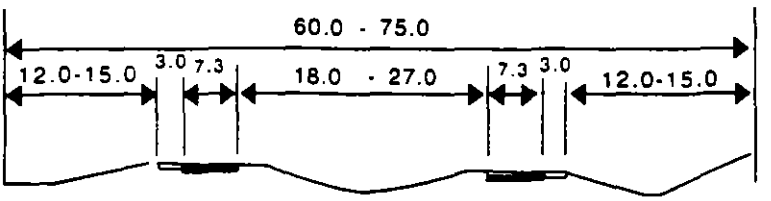
Las vías laterales de nueva construcción, por su escasa continuidad y el tipo de servicio que proporcionan, suelen ser de dos carriles (uno para cada sentido). Dado que las intersecciones con vías transversales que cruzan a desnivel la autopista, suelen ser complejas, generalmente se ubican lejos de las estructuras de pasos a desnivel y/o de los sitios de conexión de las rampas con la autopista.

Generalmente las vías laterales se ubican fuera de la línea de control de acceso de la autopista, pero dentro de los límites del derecho de vía.



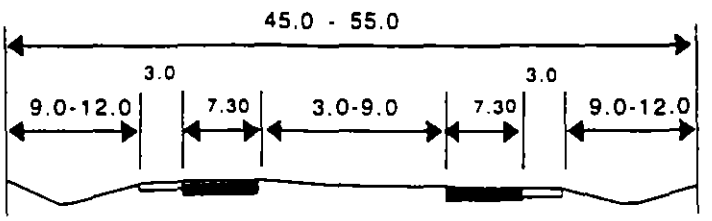
Carretera independiente con alineamiento separado.

-A-



Sección transversal típica de autopistas.

-B-



Autopista con derecho de vía restringido

-C-

Acotaciones en metros

Figura 5-2 Ancho de la sección transversal y derecho de vía en carreteras de 4 carriles.

El diseño geométrico de las vías laterales de las autopistas debe realizarse según lo indicado en el Título 2.02.04. La Referencia 5-3 presenta algunos ejemplos de vías laterales de autopistas.

002.Q Separación entre la Autopista y sus Vías Laterales.

En esta área deberán albergarse los acotamientos, los taludes laterales, el drenaje, las rampas de entrada y salida de la autopista y los elementos para el abatimiento del ruido en áreas sensibles.

Como se dijo anteriormente, en desarrollos importantes aledaños a la autopista, deberán proporcionarse vías laterales para la circulación del tránsito local y para captar y distribuir el tránsito que salga o entre a la autopista. Es recomendable una separación entre la autopista y la vía lateral de 25 a 50 m.

En secciones en corte, debe proporcionarse una cuneta lateral para drenaje. Tanto la forma de esta cuneta como sus taludes laterales deberán permitir el acceso seguro de vehículos fuera de control que se salgan de los carriles de circulación.

CAPITULO 003 REFERENCIAS

5-1. Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual, Special Report No. 209*, Washington, National Academy of Sciences, National Research Council, 1985.
5-2. AASHTO, *Standard Specifications for Highway Bridges*, Washington, AASHTO, 1977.
5-3. AASHTO, *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, Washington, AASHTO, 1990.

N O R M A S S. C. T.
LIBRO 2
P R O Y E C T O
PARTE 2.02.06
PROYECTO GEOMETRICO DE CARRETERAS

TITULO 2.02.06

L I B R A M I E N T O S

CAPITULO 001 INTRODUCCION

El sistema vial principal normalmente aloja grandes volúmenes de tránsito cuyos desplazamientos tienen que hacerse de manera expedita para evitar sobrecostos de operación del transporte que puedan incidir en la economía de la nación.

Cuando no se resuelve adecuadamente la integración física de la carretera con el medio urbano, se deteriora el nivel de servicio que se proporciona a los usuarios de ésta última y de los usuarios de la vialidad urbana en donde se distribuye y capta la demanda.

Entre los efectos nocivos que puede producir la penetración del tránsito interurbano en las ciudades, están los congestionamientos de calles y avenidas de las localidades por falta de capacidad, recorridos innecesarios, mezcla inadecuada de vehículos de diferentes tipos, accidentes de tránsito e impactos al medio ambiente.

Una solución que se ha venido utilizando indiscriminadamente para tratar de resolver los problemas anteriores, es la de localizar el trazo de la carretera en una zona alejada del área urbanizada, estableciendo conexiones algunas veces con caminos alimentadores que ya soportan un tránsito suburbano intenso cuya influencia se va transmitiendo con mayor o menor intensidad hacia la parte central de los núcleos urbanos y de éstos últimos hacia el libramiento.

Con el propósito de evitar los efectos negativos que se han mencionado, se recomienda realizar desde la etapa de proyecto del libramiento, estudios que permitan prever las obras y adecuaciones más convenientes de enlace con la infraestructura local, de tal manera, que el nivel de servicio que se proporcione a los usuarios de la carretera sea uniforme en todo el trayecto desde su origen hasta su destino final evitando, en lo posible, cambios bruscos en la operación. De esta manera es mayor la posibilidad de que se cumpla plenamente el objetivo de comunicación expedita y segura mencionada en un principio.

CAPITULO 002. OBJETIVOS

Entre los objetivos generales que se persiguen con la construcción de libramientos, se pueden mencionar los siguientes:

- Preservar el nivel de servicio que se proporciona a los usuarios de la carretera a su paso por la zona de influencia de áreas urbanizadas, sin afectar mayormente la operación del tránsito y del transporte público en dichas áreas.
- Distribuir regionalmente a través del libramiento conforme a su destino, la demanda de tránsito y transporte que aporta

la vía interurbana y permitir la libre circulación del tránsito de paso.

- Localizar estratégicamente los puntos de conexión de la carretera con la vialidad principal de la zona urbana y su área de influencia.

- Identificar las obras de mejoramiento y adecuación que requiera la infraestructura vial y los servicios de transporte de los núcleos urbanos y su área de influencia para evitar los efectos negativos que pudiera provocar el tránsito interurbano.

CAPITULO 003 TIPOS DE LIBRAMIENTOS

De acuerdo con los objetivos arriba señalados se pueden identificar dos tipos generales de libramientos: 1) Libramientos Regionales y 2) Libramientos Urbanos. La clasificación en que pueda caer un libramiento en particular depende de los resultados de algunos estudios que es necesario realizar previamente.

003.A Libramiento Urbano

Se localizan geográficamente en las proximidades del área urbanizada pudiendo en algunos casos integrarse o formar parte de la infraestructura vial principal de la ciudad mediante puntos de conexión en intersecciones estratégicamente seleccionadas que permitan distribuir el tránsito proveniente de la carretera hacia las diferentes vialidades y zonas de demanda dentro del núcleo urbano y su área de influencia; al mismo tiempo tienen como función captar el tránsito local que se desea incorporar a la carretera.

003.B Libramiento Regional

Son aquellos que se ubican geográficamente fuera de la influencia del tránsito urbano y cuyo propósito principal es de evitar interferencias al tránsito de largo itinerario proveniente de la carretera sin causar perturbaciones al tránsito local. En estos libramientos pueden existir caminos que conecten con la población cercana al trazo de la carretera.

CAPITULO 004 AMBITO REGIONAL-URBANO

004.A Generalidades

El conocimiento de algunos rasgos del medio urbano-regional permite que la respuesta a ciertas interrogantes fundamentales que se plantean, en problemas de esta naturaleza, se haga sobre bases realistas que tomen en cuenta

las peculiaridades de la región que conecta a la carretera, a través del libramiento.

La forma de llegar de los usuarios a los distintos puntos de destino dentro del área urbana, la evolución de la demanda en términos del comportamiento de ciertas variables socioeconómicas, las adecuaciones necesarias a la infraestructura vial y a los servicios de transporte, son algunas de las cuestiones esenciales que requieren una respuesta adecuada durante el proceso de estudio del libramiento. Además, deberán contemplarse posibles esquemas de financiamiento que consideren la participación local y los mecanismos de recuperación de las inversiones.

Los aspectos más relevantes del medio urbano-regional que conviene identificar, se agrupan en tres grandes rubros: estructura físico-espacial y transporte, características socioeconómicas y aspectos administrativos.

004.B Estructura Físico-Espacial

004.B.01 Aréa de Estudio. En primer término conviene delimitar la región o área metropolitana objeto del libramiento carretero. La región está integrada generalmente por un centro principal de población y por aquellas localidades que guardan una relación significativa con este centro.

Con el fin de conocer la forma en que se van a distribuir dentro de la región los viajes interurbanos provenientes de la carretera, a través del libramiento, es necesario subdividir el territorio en zonas homogéneas considerando la densidad de población, uso del suelo, valor de la tierra, topografía y barreras o límites físicos; éstos últimos constituidos generalmente por caminos o vías urbanas principales.

004.B.02 Vialidad y Transporte.- Como parte de la secuela de estudio conviene llevar a cabo un inventario de las características físicas y de operación de la vialidad principal que dará servicio a los usuarios de la carretera. La configuración de la red, secciones transversales, número de carriles, condiciones de estacionamiento, condiciones del pavimento, señalamiento, etc. son elementos que permiten detectar, en combinación con las características de tránsito, aquellos tramos e intersecciones más conflictivas y por consiguiente más expuestos a un deterioro mayor debido al tránsito que aporta la carretera Otro aspecto que conviene analizar cuidadosamente es el servicio de transporte público de pasajeros cuya operación puede verse seriamente afectada por la presencia de volúmenes de tránsito adicionales.
El análisis de los elementos mencionado servirá de base para identificar los puntos de conexión del libramiento con la vialidad principal de la zona y las rutas más convenientes

para dar acceso y salida hacia y desde los diferentes destinos.

004.C. Características Socioeconómicas.

El conocimiento de las características socioeconómicas tiene por objeto explicar el comportamiento de la demanda de tránsito en el libramiento y en el área de influencia.

Las variables socioeconómicas que condicionan la intensidad de la demanda vehicular que circulará en el libramiento y que se sumará a los volúmenes que actualmente se generan en el área urbana pueden ser, entre otras: la población económicamente activa (PEA), el ingreso per-cápita, la tenencia vehicular, etc.

004.D. Aspectos Administrativos.

Es conveniente identificar los distintos niveles de autoridad involucrados en decisiones que puedan afectar la integración de la carretera y su libramiento con la infraestructura vial principal de la región.

La coordinación de autoridades federales, estatales y municipales, desde los estudios preliminares, es esencial para que se prevean con la debida anticipación, las obras de interconexión y enlace y las adecuaciones a la vialidad y a los servicios existentes. La exploración oportuna de mecanismos idóneos para el financiamiento de las obras justifican también los esfuerzos de coordinación entre autoridades.

CAPITULO 005 ESTUDIOS

005.A Características de la Movilidad

Algunas de las características de la movilidad que interesa conocer para evaluar las condiciones actuales y futuras de operación de las vías que forman parte del esquema de conexión entre la autopista y el área urbana, están la intensidad, velocidad, composición y variaciones en el tiempo del tránsito interregional y del tránsito local, las condiciones generales que guardan los servicios de transporte colectivo y de estacionamiento, el origen y destino de los conductores que arriban a la zona metropolitana y de aquellos con destino más allá de ésta, la distribución de este tránsito entre las distintas vías de acceso y finalmente la disposición por parte de los usuarios de utilizar la nueva vialidad. Esta información es de utilidad también para el análisis comparativo de las distintas opciones de integración vial.

Conviene que los datos anteriores obtenidos en puntos estratégicos reflejen el comportamiento del tránsito y

transporte en el libramiento, en la zona suburbana de transición y en las vías urbanas principales que conducen al destino final de los usuarios.

Si bien los aforos, encuestas y datos de campo son evidentemente útiles para el análisis, es indispensable que los expertos responsables del estudio y proyecto de libramientos se compenetren personalmente para tener una visión amplia del área de estudio, con el fin de que las proposiciones que se hagan estén impregnadas de un alto grado de sensibilidad.

Lo anterior solo se puede lograr mediante recorridos exhaustivos en la zona y con entrevistas a técnicos, residentes y usuarios que manifiesten sus puntos de vista sobre la problemática existente y la que podría presentarse en el futuro.

005.B Pronósticos

El propósito es determinar con la mayor certeza posible, la intensidad y características del tránsito futuro que utilizará el libramiento y sus posibles consecuencias sobre la estructura vial primaria de la región o área metropolitana en estudio.

Este tema comprende la evolución y pronóstico de las variables que explican el comportamiento de la demanda, los puntos de acceso y su distribución por zonas, implicaciones sobre la infraestructura vial primaria incluyendo el libramiento.

Los factores más relevantes que determinan, en forma directa o indirecta, el comportamiento del tránsito en este tipo de vías son: el crecimiento demográfico, las expectativas de expansión de la actividad económica, el incremento de empleos y el incremento de los vehículos registrados en la localidad. Así como las modificaciones del uso del suelo.

La evolución de las variables durante los últimos años son base para el cálculo del pronóstico. Además, las reservas territoriales, el control de uso del suelo y el cumplimiento de los planes y programas establecidos, sumarán oferta en los distintos horizontes que se contemplen, lo que se traducirá en demanda adicional por la atracción ejercida.

La distribución actual de tránsito por zonas se realiza expandiendo la muestra que se obtenga de la encuesta de origen/destino utilizando los datos de volúmenes de tránsito registrados. La correlación entre las variables socioeconómicas y los viajes con destino a cada zona, permite generar modelos matemáticos que representen el fenómeno actual de movilidad y que posibiliten, en consecuencia, el conocimiento de la distribución futura de viajes.

005.C Alternativas

Con el diagnóstico y pronóstico de las características socioeconómicas, de las condiciones físicas y de operación de la vialidad principal, las características de la movilidad y las condiciones de operación de las rutas principales de abastecimiento y transporte de mercancías, se procede a la identificación de las necesidades regionales de mejoramiento que formarán parte de las alternativas del libramiento, sus conexiones y canalizaciones necesarias para su adecuada operación desde diferentes puntos de vista.

El análisis se lleva a cabo identificando cada alternativa, descripción y costo de cada una; evaluación técnica, operacional y económica de cada alternativa; y finalmente comparación de ventajas y desventajas de las alternativas seleccionadas.

Dentro del análisis de alternativas juega un papel importante los estudios de impacto ambiental que son requisito indispensable en todos los proyectos de nueva infraestructura vial, modificaciones o ampliaciones de las ya existentes.

El propósito de estos estudios, como se ve en el Título 2.02.10 de estas Normas, es predecir los impactos sobre el ambiente, debido a la realización, presencia y utilización de una infraestructura vial. Considerando y previniendo también los impactos que inciden en la propia infraestructura, en su utilización y en su entorno.

CAPITULO 006 PROYECTO GEOMETRICO

Considerando que los libramientos forman parte de las carreteras, el proyecto geométrico tendrá que hacerse siguiendo los criterios y lineamientos que se describen en diferentes partes del cuerpo de estas Normas. Como en cualquier otro caso, los elementos básicos que es necesario considerar en el proyecto son: el TDPA en el horizonte de proyecto, la velocidad de proyecto y los distintos tipos de vehículos que harán uso del libramiento.

006.A Proyecto de Libramientos Urbanos

Cuando los libramientos se integran a vialidades importantes de la ciudad como el caso de autopistas urbanas que forman parte de arterias o circuitos periféricos de acceso controlado, pueden aplicarse los criterios de proyecto que se describen en estas Normas, particularmente los correspondientes a los títulos 007 "Autopistas" y 008 "Entronques y Pasos a Desnivel". Como resultado de las restricciones que normalmente surgen con la presencia del tránsito local en el libramiento, hay que estudiar la conveniencia de aceptar velocidades de proyecto ligeramente

abajo de las establecidas en camino abierto, siempre y cuando no se afecte sustancialmente el tiempo de viaje de los usuarios de la carretera.

Considerando el ámbito urbano en que se desarrolla el libramiento deberán cuidarse en el proyecto, los posibles efectos nocivos que pudiera provocar el tránsito en el entorno. Además deberán contemplarse en el proyecto vías peatonales que crucen el libramiento en puntos estratégicos a lo largo de su desarrollo.

Cuando el libramiento se integre a vialidades locales sin control de accesos, son aplicables los criterios de proyecto correspondientes a camino abierto; es necesario sin embargo considerar la solución de aquellas intersecciones a nivel controladas con semáforos o con señalamiento prestando especial atención al proyecto de vías peatonales a lo largo del libramiento con el fin de garantizar la seguridad de los peatones que tienen que cruzar la vía.

006.B Proyecto de Libramientos Regionales

El proyecto de libramientos regionales puede desarrollarse siguiendo los criterios de proyecto establecidos en el cuerpo de estas Normas, correspondientes a camino abierto. Cuando sean de acceso controlado son aplicables los lineamientos establecidos en el Título 007 "Autopistas" y 008 "Entronques y Pasos a Desnivel". La velocidad de proyecto seleccionada para el libramiento, junto con el TDPA en el horizonte de proyecto son los elementos que permitirán determinar las características geométricas del alineamiento horizontal y vertical así como de la sección transversal.

CAPITULO 007 REFERENCIAS

7.1 Domínguez Pommerencke Luis, González Jiménez Hugo. *Integración de la Infraestructura Carretera con el Medio Urbano. Instituto Mexicano del Transporte*, SCT; Publicación Técnica Nùm. 41, Querétaro 1993.

7.2 Instituto Mexicano del Transporte. *Estudio de Integración de la Nueva Autopista México-Acapulco con el Sistema Vial Principal de la Ciudad de Acapulco*; Querétaro 1991.

7.3 Instituto Mexicano del Transporte. *Estudio del Sistema de Transporte de la Región de Querétaro*; Publicación Técnica Núm. 27, Querétaro 1991.

7.4 *Manual de Proeycto Geométrico de Carreteras*. Secretarìa de Comunicaciones y Transportes (SCT), México 1971.

N O R M A S S. C. T.
LIBRO 2
P R O Y E C T O
PARTE 0.02
PROYECTO GEOMETRICO DE CARRETERAS

TITULO 2.02.10

IMPACTO AMBIENTAL

CAPITULO 001 GENERALIDADES

001.A Definiciones

Impacto ambiental es la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

La realización de obras o actividades públicas o privadas, que pueden causar desequilibrios ecológicos o rebasar los limites y condiciones para proteger el ambiente, se sujetan a la autorización previa del Gobierno Federal, así como al cumplimiento de los requisitos que se les impongan una vez evaluado el impacto ambiental que pudieran originar.

001.B Requisitos

Para obtener la autorización antes citada, se presenta una manifestación de impacto ambiental, la cual se acompaña de un estudio de riesgo de obra, de sus modificaciones o de las actividades previstas, consistente en las medidas técnicas preventivas y correctivas para mitigar los efectos adversos al equilibrio ecológico durante la construcción de la carretera, su operación normal y en caso de accidente.

001.C Normas Técnicas Ecológicas

Es el conjunto de reglas científicas o tecnológicas que establecen los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en el desarrollo de actividades que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o daño al ambiente.

001.D Estudio de Riesgo

Es el documento mediante el cual se da a conocer,a partir del análisis de las acciones proyectadas para el desarrollo de una carretera, los riesgos que dicha carretera representan para el equilibrio ecológico o el ambiente, así como las medidas técnicas de seguridad, preventivas y correctivas, tendientes a evitar, mitigar, minimizar o controlar los efectos adversos al equilibrio ecológico, durante la ejecución y operación normal del camino.

Las evaluaciones de impacto ambiental son el mejor medio preventivo para garantizar y mejorar el medio ambiente. Los estudios son útiles para:

- Identificar con exactitud, mediante el análisis de las situaciones existentes, antes de la realización de un proyecto, el lugar y componentes ambientales que puedan ser afectados.

- Prever y determinar los efectos que tal proyecto pueda tener sobre el medio ambiente.

- Exposición de motivos que han inducido a escoger la solución propuesta entre las diversas alternativas posibles.

- Exponer las medidas previstas para suprimir, reducir o compensar las consecuencias negativas que el proyecto puede tener sobre el medio ambiente.

CAPITULO 002. CONTAMINACION DE LA ATMOSFERA

002.A Definición

Por contaminación atmosférica se entiende la presencia en el aire de sustancias o formas de energía que alteran la calidad del mismo, de tal manera que impliquen, daño o molestia grave para las personas, los ecosistemas o bienes de cualquier naturaleza.

002.B Factores que Intervienen

Los elementos básicos que intervienen en la explicación del fenómeno de la contaminación del aire, así como las interrelaciones que tienen lugar en el mismo son:

- Los focos emisores de sustancias o formas de energía

- El medio físico atmosférico

- La sensibilidad de los receptores

002.C Alteraciones

Las alteraciones en la calidad del aire producido por las carreteras se pueden clasificar en directas e indirectas. Las alteraciones directas, están relacionadas con la emisión de partículas en los procesos de extracción, preparación, almacenamiento y transporte de materiales, así como en las plantas de fabricación de asfalto y concreto y con la variación de las condiciones microclimáticas como consecuencia de la modificación de la topografía por el trazado y el movimiento de tierras, así mismo por la modificación de la dirección del viento en valles confinados. Estas alteraciones se producen en la fase de construcción y en general los efectos de la alteración están muy localizados y pueden ser de poca importancia.

Las alteraciones indirectas, las más importantes, se producen cuando la carretera está en la fase de explotación. Son generadas por la emisión de gases contaminantes que emiten los vehículos que circulan por ellas, sobre todo cuando se trata del medio urbano o áreas especialmente sensibles.

002.D Evaluación de los Impactos

La determinación y evaluación de los impactos ambientales producidos por las carreteras sobre la calidad del aire comienza por la identificación de los focos de emisión de contaminantes tanto en las fases de construcción como de operación.

El análisis de impacto ambiental, previo a la construcción de la carretera requiere la elaboración de escenarios sobre emisiones, condiciones meteorológicas y química del aire; información que sirve de base de datos para modelización de los impactos sobre la calidad del aire.

002.E Definición de las Emisiones

Las emisiones producidas por el tránsito están en función del número y tipo de vehículos que lo constituyen tomándose en cuenta dos factores muy importantes que son la velocidad y el nivel de servicio de la carretera.

Se trata de evaluar la posibilidad de formación de oxidantes fotoquímicos. Los factores determinantes son las concentraciones de NOx y Hc, la estabilidad atmosférica y la radiación solar.

002.F Dispersión de Contaminantes

Los factores que determinan la dispersión de contaminantes son las condiciones meteorológicas y la configuración topográfica.

Desde el punto de vista de las condiciones meteorológicas los principales parámetros a considerar son la velocidad y dirección del viento, la clase de estabilidad atmosférica y la altura de la capa de mezcla.

En lo que se refiere a la configuración topográfica, la vialidad se puede clasificar en vías con obstáculos verticales y vías en zonas despejadas. En el primer caso los parámetros básicos que condicionan la dispersión de contaminantes son:

- Velocidad del viento
- Dirección del viento con relación a la vía
- Anchura de la calzada
- Altura de los obstáculos

002.G Medidas Correctoras

002.G.01 Acciones en las Fuentes de Emisión.- Las medidas correctoras aplicables a este apartado son aquellas que tiendan a conseguir una circulación fluída a una velocidad lo más estable posible y cercana al funcionamiento óptimo de los

motores de los vehículos. Esto significa carreteras con buenas especificaciones en su alineamiento vertical y horizontal.

002.G.02 Acciones que Facilitan la Dispersión de Contaminantes.- A este respecto, es de gran importancia definir un cociente óptimo entre la anchura de la calzada y la altura de las construcciones colindantes, la orientación prioritaria de las vías en función de los vientos dominantes, las alturas respectivas de las construcciones a ambos lados de la calzada. En el caso de zonas urbanas hay mejor dispersión, cuando hay diferencia en las alturas de los edificios colindantes y se interrumpen con zonas verdes amplias.

002.G.03 Acciones Sobre la Sensibilidad de los Receptores.- Al considerar la sensibilidad de los receptores, se pueden minimizar las alteraciones y efectos negativos evitando proyectos que incidan sobre:

- Areas naturales protegidas
- Zonas específicas como hospitales, escuelas, asilos
- Zonas residenciales
- Zonas comerciales
- Parques y zonas de recreo y zonas abiertas
- Sitios históricos
- Refugios de la fauna natural
- Enclaves botánicos

De entre las medidas correctivas aplicables, la más eficaz consiste en lograr que la distancia entre el trazo de la carretera y los receptores sea la máxima.

CAPITULO 003 CONTAMINACION DEL AGUA Y DEL SUELO

003.A Generalidades

La prevención y control de la contaminación del agua, es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del país. La prevención de la contaminación abarca los ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos y corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo.

Tanto la construcción de las carreteras como su utilización posterior, pueden tener una incidencia de contaminación en los medios acuáticos que hay que considerar en los estudios de impacto ambiental.

003.B Aguas Superficiales

Existe la posibilidad de que durante las etapas de construcción y operación de las carreteras se puedan producir los siguientes efectos:

- Modificaciones en el régimen de escurrimientos

- Modificación en la composición de las aguas por apariciónde productos químicos o tóxicos.

- Modificación en el régimen de circulación de los caudales por cambio de sus condiciones hidráulicas, cambio de sección, cambios de niveles, etc.

- Destrucción de zonas de desove por vertidos de sólidos que se precipitan en el fondo de ríos.

003.B.01 Evaluación.- Para conocer los efectos es conveniente en su caso, llevar a cabo en las áreas de influencia correspondientes del proyecto de la carretera los estudios:

- Inventario y tipología de aguas superficiales (ríos, lagos, arroyos, etc.)

- Aforos y tiempos de retorno de las máximas avenidas.

- Calidad natural de las aguas.

- Estudios de población en zonas de desove y distribución temporal de peces, animales anfibios, etc.

- Especies que pueden ser dañadas.

- Areas críticas para la vida silvestre.

- Efectos negativos creados por la presión de asentamientos humanos producidos por la posible mayor facilidad de acceso a zonas antes deshabitadas.

- Incremento en la producción de desechos tanto sólidos como líquidos producidos en zonas de servicios como estaciones de servicio, talleres, hoteles, campos turísticos, etc.

003.B.02 Medidas Preventivas y Correctivas.- El conocimiento de los efectos que se van a provocar con el trazo de la carretera trae consigo en ocasiones la solución. En el análisis de alternativas algunas serán desechadas por los efectos negativos irreversibles que puedan provocar, sobre todo, cuàndo se trate de daños a las especies o a la vida silvestre.

Conviene mencionar que es más preocupante el daño que puedan causar las aguas superficiales a las vías de comunicación, que viceversa por lo tanto el análisis del inventario, aforos, tiempos de retorno reviste especial interés y sobre todo un efecto importante puede ser el cambio en las condiciones de drenaje natural de ciertas zonas.

El tratamiento que se les de a las aguas residuales que producen los servicios complementarios reviste especial importancia. Es necesario establecer desde el principio un sistema separado de drenaje de manera que las características de las aguas vertidas sean lo más homogéneas posible, tanto en caudal como en contaminantes aportados.

Es preciso que las líneas de drenaje independientes para los desechos de tipo doméstico y las de los posibles talleres o estaciones de servicio sean tratadas con procesos distintos.

Entre éstos se destaca como primordial, la recuperación de las grasas, aceites y combustibles utilizados, nunca serán vertidos a los colectores. Una vez separados los componentes industriales de estos procesos, se puede llevar a cabo su tratamiento mediante procesos clásicos de depuración de aguas residuales.

003.C Aguas Subterráneas y Suelo

El impacto ambiental de las carreteras sobre los suelos y aguas subterráneas puede ser sobre la cantidad del agua y sobre la calidad del agua, o sobre ambos a la vez. Estos impactos pueden ser debidos a la propia obra pública, durante la construcción o su utilización para el tránsito de vehículos, incluyendo las áreas de servicio adjuntas, o también por la modificación del uso del suelo que origina. Por otra parte, las aguas subterráneas y su utilización pueden tener efectos sobre las carreteras existentes o en construcción y de no preverse supone daños y costos adicionales que pueden ser importantes.

003.C.01 Efectos y Prevención.- La construcción de una carretera y su presencia puede afectar a la recarga de los acuíferos locales. Hay que considerar por una parte la ocupación del terreno por la propia carretera y sus servicios complementarios y por la otra los posibles efectos inducidos por la urbanización a lo largo de la misma.

La ocupación del terreno natural con superficie pavimentada y con suelo compactado reduce o anula la recarga a través de éstas. El impacto estará en función del porcentaje del área de recarga del acuífero afectado. En principio el impacto puede ser mínimo, salvo que vaya implicada una extensa urbanización. Puede ser más importante el efecto de modificación de uso del suelo, por ejemplo al ocupar la obra vial y sus servicios complementarios áreas que previamente eran de regadío intensivo.

Dentro del mismo aspecto, cabe considerar posibles aumentos de recarga locales por acumulación de agua. Esto se puede producir cuando se dejan puntos bajos no drenados junto a la obra vial o excavaciones anexas sin rellenar.

Las obras viales también pueden llegar a formar barreras más o menos efectivas frente a la circulación del agua subterránea. Esto sucede cuando para establecer puentes o vados se efectúan obras de cimentación que afectan a la sección húmeda de aluviales, lo que puede originar una sobreelevación del nivel freático en el lado aguas arriba.

Los posibles efectos de las obras viales y de sus servicios complementarios sobre la calidad de las aguas subterráneas pueden ser más importantes que sobre la cantidad, pero esto es difícil de evaluar y prever y en muchos casos su aparición es muy diferida y difícilmente relacionada con su causa.

Durante las obras de construcción se crean numerosas excavaciones que posteriormente son rellenadas con materiales diversos, o que pueden recibir materiales de desecho (sobre todo cerca de núcleos industriales o poblaciones). La excavación al acercarse al nivel freático permite un acceso más fácil al acuífero de la posible concentración de contaminantes.

La operación normal de una carretera también implica riesgos a la calidad del agua subterránea.

Por un lado la expulsión de residuos de todo tipo (líquidos, gaseosos y sólidos) contribuye a incorporar componentes no deseables en las aguas tanto superficiales como subterráneas, la propia abrasión de las llantas sobre el pavimento es origen de inyección de sólidos de hule en suspensión en el aire que posteriormente son incorporados a las aguas subterráneas por la acción del viento y la lluvia que los puede transportar a las áreas de recarga de los acuíferos próximos. Esta materia orgánica se incorpora lentamente al agua subterránea y aunque su solubilidad es muy pequeña y no suele alcanza niveles de toxicidad al hombre, si crea problemas graves que hacen el agua impotable.

El mayor riesgo proviene de los posibles derrames, fugas, etc., provenientes de accidentes producidos por el tránsito. Este es un peligro latente que amenaza a lo largo de todo el recorrido de una carretera y requiere una especial atención. En ocasiones el trazo de un camino está próximo a una fuente de suministro de agua potable de una población o industria que podría verse afectada en forma irreversible en caso de un derrame provocado accidentalmente. Por lo tanto, hay que evitar la proximidad de las mismas a las captaciones de abastecimiento o prever una serie de precauciones, como muros de contención, cunetas, etc., para proteger las fuentes de captación.

También las extracciones de agua asociadas a la obra vial, pueden tener implicaciones en cuanto a la calidad del agua subterránea. El cambio de la distribución del potencial hidráulico puede favorecer la penetración o desplazamiento de

aguas existentes por otras de peor calidad, tales como las de ríos contaminados o de otros acuíferos más salinos.

CAPITULO 004. IMPACTO SOBRE LA FLORA, LA FAUNA Y SOBRE LOS ECOSISTEMAS.

004.A Impacto de las Carreteras Sobre la Flora.

Evitar o corregir los impactos ambientales negativos sobre la flora y sobre la vegetación se puede resumir trazando las carreteras de tal manera que no se dañen o interfiera con ejemplares, poblaciones o agrupaciones que por diferentes razones se consideren merecedoras de conservación.

Para el tratamiento vegetal de las obras y sus servicios complementarios se elegirán especies de probada implantación positiva en las condiciones locales o regionales. Las especies foráneas no experimentadas sólo se implantarán con la máxima precaución y previo estudio.

Los cambios de trazo al mismo tiempo que evitan destrucciones o deterioros directos por la realización de obras y operación de la carretera, pueden contribuir eficazmente a la conservación, al alejar el tránsito de las zonas a defender, evitando o reduciendo una peligrosa afluencia de visitantes que daría lugar la penetración o proximidad de los caminos.

004.B Impacto de las Carreteras Sobre la Fauna

De un modo general se puede decir que las influencias de un camino sobre la fauna dependen tanto de las características que presente la propia carretera, como de las características de las especies o de las poblaciones animales situadas en su entorno.

Estas influencias serán más importantes, cuando más dependientes sean las poblaciones animales del territorio afectado, fragmentado o degradado por la instalación y presencia de esa vía de comunicación. Otros factores que tienen influencia determinante son la extensión y tipo de la carretera, intensidad del tránsito, etc., entre más alta sea su categoría los efectos serán mayores.

004.B.01. Tipos de Efectos.- Las poblaciones animales realizan sus desplazamientos dentro de un área bien delimitada que se denomina territorio o dominio vital. Cualquier carretera que atraviese los territorios de las diferentes poblaciones animales establecidas en un lugar tendrá consecuencias de barrera, más o menos eficaz, con un efecto negativo sobre la fauna, denominado efecto de corte, si la instalación o presencia de una carretera llega a suprimir total o parcialmente un espacio funcional, necesario para que una determinada población animal se desarrolle con normalidad se produce un efecto de sustitución.

004.B.02 Medidas Protectoras.- Los hábitats especiales cuya ubicación topográfica, reserva hídrica, sustrato nutritivo y microclima condicionan por sus características atípicas el modo de obtención y uso de refugio, , alimento y agua a las especies que viven en él.

Esta atipicidad del medio conduce a una selección particular de las especies que lo habitan, resultando así unos enclaves ricos en especies no comunes e incluso raras. La protección y conservación de estos hábitats son de la mayor importancia y sus condiciones naturales se conservarán inalterados.

Las instalaciones de protección se dividen en dos grupos. Uno es el formado por los dispositivos, cuyo propósito es dotar a la carretera de mayor seguridad, impidiendo la irrupción en la calzada de animales, que pueden presentar peligro para el tránsito. El otro está dirigido principalmente a facilitar a los animales el restablecimiento de sus itinerarios habituales dentro de su territorio, impidiendo que crucen sobre la calzada.

004.C Impacto Ambiental de las Carreteras Sobre los Ecosistemas.

Las carreteras afectan siempre a los suelos (movimientos de tierras, erosión) y a la dinámica del agua (drenajes, encharcamientos, manantiales, etc.) Las medidas correctivas se encaminan especialmente a la recuperación del suelo fértil, a evitar la erosión y a la recuperación de los flujos naturales en calidad y cantidad suficiente, para soportar las biocenosis existentes y los usos iniciales.

Se tomarán en cuenta los siguientes factores: endemismo, especies escasas o raras, especies amenazadas o en peligro de extinción, especies exóticas, morfología general del área, superficie del entorno y el hábitat de especies o de biocenosis, fenómenos de territorialismo, fenómenos de migración (relaciones con las fases del proyecto, barreras, fronteras y filtros impuestos por el proyecto.

CAPITULO 005. IMPACTO SOBRE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS

005.A Generalidades

El impacto de los caminos en el medio urbano puede presentarse en dos formas una como resultante del efecto directo de la propia obra y otra la que produce el tránsito de vehículos. También los efectos se presentan sobre los usuarios de equipamientos como escuelas, hospitales, etc., sobre las políticas de desarrollo urbano y transportes y tiene efectos económico-financieros.

La incorporación de una nueva infraestructura vial: a) implica, normalmente, la supresión de actividades

preexistentes; b) es un hecho que provoca, en muchos casos, rechazo social, a menos que la nueva vía esté prevista en el planeamiento urbano; c) por sí misma, posee una influencia marginal sobre la localización de actividades económicas; d) la distribución de viajes vehiculares y peatonales puede verse afectada; e) genera importantes efectos de carácter ambiental (ruido, contaminación del aire, degradación visual, separación de comunidades, accidentes, etc.)

Los problemas que se plantean, tienen características muy diversas, algunas veces los impactos están muy localizados y afectan a un número reducido de personas; otras, por el contrario afectan a un área extensa y a un número importante de habitantes. Las propias características del impacto según se trate de el ruido, la contaminación, el efecto de barrera, etc., lleva a la necesidad de considerar aspectos muy distintos, aunque con frecuencia todos estos tipos de impacto suelen presentarse juntos.

005.B Impactos

005.B.01.- Afectaciones.- En caso de no adoptarse medidas preventivas, cuando el camino penetra al centro urbano se crean problemas de cambio de uso del suelo. El derecho de vía normalmente se aloja en superficies previamente ocupadas, lo que provoca afectaciones, desalojos, expropiaciones e indemnizaciones.

Para alojar la vialidad es preciso demoler construcciones parcial o totalmente y fraccionar propiedades, afectando tanto a la población asentada en el derecho de vía, como a la población radicada fuera de dicha área y que también resiente el impacto del cambio de las características originales y del deterioro de la zona, con la consiguiente decadencia y deterioro de la calidad de la vida.

Surge en este caso un conflicto inevitable entre los intereses del usuario del camino y el residente cercano de la arteria, el cual resulta afectado en sus condiciones de vida.

005.B.02. Separación de Comunidades.- Otro de los efectos negativos que pueden producir los caminos en el medio urbano es la interferencia de la comunicación que se origina cuando la vialidad fracciona un vecindario homogéneo, desarrollado armónicamente y que ha llegado a constituir una comunidad.

La interrelación entre usos del suelo, da una idea de la cohesión entre áreas urbanas que puede servir de referencia para predecir la magnitud de los fenómenos de separación que se derivarían de la generación de un efecto de barrera, entre zonas con distintos usos predominantes.

005.B.03 Contaminación por Gases y Polvo.- Uno de los principales factores de contaminación ambiental en el medio

urbano es la expulsión de gases por los escapes de los vehículos automotores, especialmente monóxido de carbono, plomo, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, compuestos de azufre, derivados del benceno y partículas. Contribuyen a la contaminación ambiental, el hule de las llantas y el asfalto de las calles, pulverizados por la abrasión que produce la fricción de las ruedas, así como las partículas de asbesto de las cubiertas de los frenos.

005.B.04 Degradación de la Vegetación.- Los efectos de la contaminación ambiental se extienden también, a los animales y degrada a los vegetales, especialmente a las plantas de ornato, hasta llegar a destruir algunas especies que no logran adaptarse a las condiciones extremas que se registran en los lugares críticos de los centros urbanos.

005.B.05 Ruido.- La intensidad del ruido que producen los vehículos depende del tipo y características de los vehículos y de las condiciones de operación que son consecuencia de las características del camino.

005.B.06 Vibraciones.- El tránsito vial transmite la vibración de los vehículos a la superficie de rodamiento del camino para, a su vez, transmitirse a las construcciones vecinas y a sus residentes, en función del tipo, magnitud y duración de la frecuencia, así como de las características del subsuelo.

005.B.07 Basura.- El incremento de basura que produce el tránsito de vehículos puede afectar directamente al camino y a las zonas urbanas adyacentes.

005.B.08 Deterioro del Paisaje.- Los caminos del medio urbano pueden llegar a obstaculizar la visual y afectar el aspecto estético del conjunto, como resultado de la introducción de un elemento extraño que generalmente no se integra en forma armónica al paisaje. Esta perturbación se produce cuando el diseño es ajeno a los elementos estéticos del medio. Tanto a los naturales como a los creados por el hombre.

Contribuyen a la degradación del paisaje la propaganda comercial, los carteles y los innumerables rótulos y letreros comerciales que generalmente invaden ambos lados del derecho de vía.

005.B.09 Deterioro de los Sitios de Interés Histórico.- El estudio de impacto originado sobre el patrimonio cultural, los monumentos o sitios de interés histórico por la construcción de carreteras se iniciará con el análisis del inventario con el propósito de identificar, evaluar y localizar los rasgos que deban ser conservados, desarrollados o incorporados al proyecto.

Cuando no se toman las medidas pertinentes los caminos pueden contribuir a afectar este patrimonio en forma directa, al destruir algunos elementos o modificar su entorno, además de acelerar el deterioro por los efectos de la contaminación producida por los gases que expulsan los vehículos y las vibraciones originadas por su paso.

005.B.10 Perturbaciones Climáticas.- Diversos factores contribuyen a que la temperatura sea más elevada en las ciudades que en el medio circundante, especialmente los cambios en las características térmicas de la superficie producidas por las construcciones y los pavimentos, los cambios en los patrones del flujo del aire debidos a la difusión del calor; las menores tasas de evaporación y de pérdidas de calor y al calor agregado por las actividades humanas.

005.C Evaluación

Se necesita fijar previamente los objetivos de calidad para auxiliar a los proyectistas en la definición del trazo y basar la selección en la consecución de los objetivos marcados. Los objetivos de calidad se fijan conforme a los valores ambientales detectados en la fase del estudio inicial de un entorno o según las disposiciones específicas de las normas y reglamentos existentes.

Al detectar un impacto caracterizado en cuanto a magnitud y significado se prefijan las condiciones para su calificación como compatible, moderado, severo o crítico. La calificación obliga durante el proceso de proyecto a replantear el trazo o corregirlo, de ahí la importancia de tener claramente definidos los criterios.

La selección de indicadores, al igual que la predicción de la magnitud de cada efecto, es una tarea que se desarrollará por un experto en el factor ambiental correspondiente, ya que exige conocimiento profundo del tema y de los medios científicos o técnicos para deducirlo o medirlo, así como criterio para definir el indicador más adecuado especialmente para los factores del tipo cualitativo o intangibles.

CAPITULO 006 EL RUIDO

006.A Generalidades

El ruido es una de las perturbaciones ambientales que en forma más importante afectan al hombre, aunque éste, en muchas ocasiones, no es consciente de sus efectos, pues éstos no suelen manifestarse en forma inmediata. Lo hacen a largo plazo y no se percibe con claridad la relación causa-efecto.

Las medidas de protección se plantean en tres frentes:

- Disminuyendo el ruido en el origen
- Dificultando su transmisión
- Protegiendo los medios receptores

006.B Evaluación del Ruido en Carreteras

El ruido en las carreteras depende de dos factores, el tránsito de vehículos y las características del camino. El primero se define por los siguientes parámetros: la intensidad y condiciones del flujo vehicular, la composición del tránsito (porcentaje de vehículos pesados), la velocidad y el nivel de servicio principalmente. Los principales parámetros que definen la influencia de la carretera en el ruido generado son: la pendiente, el tipo de pavimento y su estado de conservación.

Los factores que influyen en la propagación del sonido en exteriores son principalmente: la distancia, la atenuación debida a la atmósfera y el suelo, los obstáculos y las condiciones meteorológicas.

El parámetro comúnmente utilizado para definir el impacto de ruido del tránsito es el nivel sonoro contínuo obtenido de indicadores que definen la situación promedio a lo largo del día-noche.

Para evaluar el impacto de una carretera en su entorno, se aplican diversos métodos. El método más elemental consiste en efectuar una serie de mediciones en las que se contrastan niveles sonoros en puntos representativos de la situación a analizar, en los puntos no medidos se obtienen los niveles de ruido aplicando condiciones de propagación.

Con el fin de obtener medidas representativas se relacionan los niveles sonoros medidos con la intensidad y tipo de vehículos que han circulado durante la medición efectuada.

De esta manera se reduce el número de muestras y se posibilita sacar conclusiones para las distintas condiciones del tránsito, en función de las fluctuaciones diarias, semanales y anuales que se pueden obtener de las estaciones maestras de aforos de tránsito.

Es conveniente disponer de modelos de pronóstico que contemplen situaciones lo más generales posibles. Para este fin es necesario conocer las características de la emisión sonora en el área de estudio que estará bajo la influencia de diversos aspectos locales como el parque vehicular, la forma de conducir y los tipos de pavimento. Una vez definida la emisión sonora se aplican las teorías de propagación para conocer el valor de emisión en los puntos de interés.

006.C Medidas Correctoras

Las medidas correctivas de los niveles excesivos de ruido producido por la circulación de vehículos, pueden plantearse bajo diferentes aspectos. Unos son de carácter legal, obligando a reducir los niveles de ruido producido por los elementos de los vehículos que dan origen de ruidos y penalizando las emisiones de niveles excesivos. Otras corresponden al proyecto de la carretera, en sus características constructivas y en los tipos de materiales utilizados. Finalmente, tal vez las más representativas de la lucha contra el ruido de la circulación, son las pantallas que impiden o dificultan la transmisión de la onda sonora.

Diseñar y calcular pantallas contra el ruido resulta un proceso complejo, dado el número de factores a tomar en consideración. Los datos necesarios para dimensionar una pantalla son:

- Distancia horizontal del receptor a la carretera
- Diferencia de alturas receptor-pavimento
- Reducción acústica exigida, que será la diferencia entre el nivel sonoro producido por la carretera y el nivel fijado por los reglamentos respectivos.

Además de los estudios de acústica y de ingeniería civil, el diseño de pantallas requiere una serie de estudios complementarios de seguridad, mantenimiento, tratamiento del paisaje y económico-financieros.

Un correcto proyecto geométrico de la carretera y la utilización de pavimentos adecuados, junto con un correcto planteamiento urbanístico desarrollado teniendo en cuenta el factor ruido, pueden evitar los posteriores problemas del ruido originado al entrar en funcionamiento la carretera.

Algunas medidas de diseño que pueden adoptarse se mencionan enseguida:

- Elegir el trazo, procurando que no sea sinuoso y que las pendientes resulten suaves.
- Alejar el trazo de la zona habitacional.

Esta medida es muy importante, pues como se sabe, al duplicar la distancia entre la fuente de ruido y el receptor, se consiguen, en focos sonoros lineales como es el caso de las carreteras, disminuciones de 3dB, sin que los costos, en casos de distancias pequeñas, resulten excesivos.

- Utilizar pavimentos poco ruidosos, como son los porosos.

- Limitar la velocidad. Esta limitación no debe ser excesiva, pues podrían obtenerse resultados contrarios a los buscados. Cuando la reducción de la velocidad obliga, para el correcto funcionamiento del motor, a pasar a una marcha inferior, podría haber aumentos en los niveles de ruido en lugar de disminuciones.

- Garantizar la fluidez de la circulación, mediante una adecuada sincronización de semáforos y, si fuera necesario, supresión nocturna de su funcionamiento; eliminación de cruces a nivel, etc.

- Proyectar las vialidades principales por las zonas con niveles de ruido más elevados, para que los procedentes de la circulación se confundan con éstos.

- Concentrar el tránsito en pocas vías, cuando su capacidad lo permita, pues las elevaciones en los niveles de ruido no resultarían muy significativas.

En caso de duplicar la intensidad de la circulación, los incrementos del nivel de ruido serían de sólo 3dB. La aplicación conjunta de varias de estas medidas podría ser suficiente para conseguir reducir los niveles de ruido hasta límites aceptables y a un costo razonables.

La instalación de pantallas de las que se habló inicialmente, debería reservarse para los tramos ya construidos y con problemas de niveles altos de ruido. En carreteras nuevas, salvo excepciones, la inclusión de pantallas acústicas podrían representar un indicio de una inadecuada planificación.

CAPITULO 007 IMPACTO SOBRE EL PAISAJE

007.A Introducción

Al evaluar los impactos ambientales, tradicionalmente se consideran los efectos de la construcción, la operación y el mantenimiento, sobre los sistemas naturales, los sociales y los culturales. El paisaje, suele aparecer en las evaluaciones como una parte del "medio físico" o como una síntesis del mismo.

Para analizar el paisaje es necesario exceder ese marco físico, ya que no pueden separarse el paisaje de su percepción y ésta de los grupos de personas que perciben.

Los tres aspectos en que puede dividirse el tema son: el paisaje natural y su percepción, los paisajes de la carretera, el paisaje en la construcción de carreteras.4

007.B El Paisaje Natural y su Percepción

La construcción de carreteras implica modificaciones importantes en vegetación, suelos, red de drenaje. Se distinguen de clases de paisaje, el paisaje total correspondiente al conjunto de unidades ecológicas en el entorno territorial y el paisaje visual donde se engloban los aspectos perceptivos. Los elementos del paisaje total comprenden la topografía, el suelo, las aguas de superficie y los efectos sobre el paisaje visual reconocen los elementos perceptibles: tamaño, color, forma, patrón de los elementos naturales y los artificiales, incluidas las construcciones y obra civil, alcance visual (cuenca visual, accesibilidad, contraste visual, intrusión), puntos críticos, diversidad, naturalidad.

La percepción del paisaje-ecosistema depende del observador, que realiza una interpretación de su percepción sensorial a la luz de sus experiencias anteriores y según su estado de ánimo. El propio sujeto se proyecta en el paisaje y éste le evoca sensaciones de inquietud, temor, desagrado o de placer y serenidad. De actividad y energía o de placidez y descanso. De misterio y sorpresa o de reconocimiento y orden. De explotación y provecho o de conservación y entorno silvestre.

007.C Los Paisajes de la Carretera

Para el estudio del paisaje, es conveniente separar la carretera y el marco territorial. La escala de las interacciones entre una y otro es diferente en lo ecológico y lo perceptivo. Esto implica la existencia de dos niveles de paisaje con caracteres propios: el interno o de la carretera que corresponde al trazo de la misma y su inmediata vecindad y el externo o marco territorial donde la carretera es un elemento, entre otros.

Al distinguir entre carretera y marco territorial se está haciendo referencia a las carreteras modernas, con altas especificaciones. Sus características son altos volúmenes de tránsito, alta velocidad, con obra civil y movimiento de tierras importante que configuran una vía de pendientes moderadas, curvas amplias, grandes taludes y rellenos y cercada en toda su longitud. En los caminos más modestos es menor la rotura con el entorno y la diferenciación con el medio es apenas perceptible.

En estos caminos, no hay un "paisaje interno" diferenciado; sólo una irrupción ocasional en el ecosistema del marco

territorial, de vehículos a velocidad baja. En el extremo opuesto, una autopista es capaz de absorber y regular un tránsito intenso, veloz, contaminante, por medio de estructuras que salvan las diferencias de pendiente. El "paisaje interno" está completamente desarrollado y la rotura con el entorno es muy acusada.

007.C.01 El Paisaje Interior.- El paisaje interno es el que se percibe desde el vehículo y varía conforme al vehículo, el viajero, la actividad, las condiciones ambientales. Es un paisaje preferentemente visual. Posee un señalamiento propio y está sometido a condicionantes de seguridad vial que lo conforman.

La percepción es desigual entre los viajeros. Para el conductor, el vehículo, su motor, su respuesta, su propio sonido, son percepciones condicionantes. La visibilidad por el parabrisas y retrovisores son elementos destacados del paisaje donde el viaje se desarrolla. Con la vista se explora la carretera delante, sobre un paisaje longitudinal. Se descifran las indicaciones, se calculan las trayectorias de otros vehículos y se valoran los riesgos.

El viajero desarrolla una percepción relajada, no concentrada en un pequeño sector visual sobre la calzada.

La carretera ofrece un paisaje muy diferente desde el vehículo parado. La liberación de la atención del conductor le permite percibir los elementos locales: formas, elementos, vegetación, taludes, obra civil, restos, basuras..., que no se habrían observado en movimiento. Aparece el paisaje exterior.

Las condiciones ambientales favorecen o previenen la percepción. La oscuridad, la niebla, la lluvia, crean barreras visuales.

El señalamiento de la carretera trata de mantener al conductor orientado e informado para mejorar su seguridad y facilitar el uso del camino. Por sus características, la señalización vertical da puntos de información, en tanto la horizontal puede crear superficies o líneas estructuradoras del paisaje. Este señalamiento trata de ofrecer al conductor un paisaje longitudinal predecible e informado, fácil de prevenir en sus riesgos. Las condiciones de seguridad que se aplican en el trazo tratan de mantener en el paisaje visual continuidades que permitan su interpretación sencilla.

La progresiva demanda de seguridad y de tránsito intenso a velocidades elevadas, hace que el proyecto geométrico de carreteras se concentre en el "paisaje interior", longitudinal e incluso se favorezca el aislamiento funcional del "paisaje exterior", que podría actuar distrayendo al conductor. Por el contrario, las áreas de estacionamiento

tendrán junto los a los servicios elementos de paisaje natural de la mayor calidad posible.

Las autopistas deben ser fluídas y seguras y a este objetivo se supeditarán los desarrollos de paisaje interior. Seguridad no significa monotonía o vulgaridad, ni mucho menos el empleo de materiales artificiales frente a los naturales. Los colores, formas, pautas de vegetación, formas de terreno, obra civil han de evaluarse en términos de paisaje interior y longitudinal. Es irrelevante que el trazo permita cuencas visuales placenteras, a menos de que se trate de carreteras turísticas de bajas especificaciones.

007.C.02 El Paisaje Externo.- El paisaje exterior considera los factores topográficos, conservación de suelos, masas de agua, puntos notables, usos del suelo potenciales, etc. Se analizarán todos los componentes secuencialmente, de tal manera que el desarrollo del paisaje pueda coordinarse durante todas las etapas del proyecto, construcción y operación de la carretera. Algunos de los factores que se considerarán y coordinarán son:

- Utilización de los elementos paisajísticos del corredor y demás factores ambientales.
- Adecuación en lo posible, la geometría del proyecto a los rasgos del paisaje natural.
- Estimular la conservación de los recursos naturales.
- Conservar los lugares históricos, panorámicos, etc., propiciando espacios abiertos y lugares de descanso.
- Fortalecer el uso racional del suelo para evitar acciones ambientales negativas.

Los elementos del paisaje se pueden agrupar en principio, en dos niveles. El primero son aquellos que no pueden pasar desapercibidos a ningún espectador, como: accidentes de terreno que la carretera salva de manera característica, túneles, puentes, viaductos, etc., así como vistas de poblaciones, monumentos importantes, grandes fábricas y construcciones verticales. El segundo nivel estaría constituido por las construcciones más modestas, los grupos de árboles y los macizos forestales que pueden ser percibidos por algunos viajeros. Esto evidentemente es relativo, conforme esté constituido el entorno.

En la apreciación de las cualidades de un paisaje debería implicarse a los usuarios o comunidad más próxima, reconociendo la carga de subjetividad que ello implica, no existe un enfoque único, válido para cualquier caso.

El paisaje definido como la expresión espacial y visual del medio se considera como un compuesto de los elementos que en

cada caso mejor lo definan y sus parámetros han de ser: significativos, independientes, fácilmente comprensibles, ajustarse a la realidad y en cualquier caso medibles o cuantificables en la medida de lo posible.

007.D El Paisaje en la Etapa de Construcción

Las acciones debidas a la construcción de carreteras afectan a una superficie mayor que la definitiva, destacan los impactos de ruido, polvo, movimiento de tierras, excavación, modificación de la red de drenaje, de la calidad del agua, cambios permanentes en el paisaje con creación de superficies geométricas desnudas en los taludes.

El movimiento de tierras implica el arrasamiento de la flora, fauna, suelo y estructura. Este movimiento se hace con criterios geométricos en cuanto a volúmenes y se abren caminos de acceso, estacionamientos o montaje de instalaciones, sin examinar y cuidar el entorno inmediato.

El proyecto de la carretera incluirá en detalle las medidas conducentes para reducir los impactos de construcción y, al concluir las obras, las de restauración de las superficies afectadas, aplicando medidas correctoras.

La restauración no tiene porqué ser solo de un paisaje natural. Se trata de que la restauración ayude a recuperar el patrimonio natural que se pierde y hacerlo además con la propia construcción y si es posible en su proximidad de modo que junto a la zona devastada aparezca otra recuperada.

CAPITULO 008 REFERENCIAS

10.1 - *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* (Diario Oficial de la Federación del 28 de enero de 1988).

10.2 - *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Impacto Ambiental* (Diario Oficial de la Federación del 7 de junio de 1988).

10.3 - *Fermín Villarroya Gil; II Simposio Nacional Sobre Carreteras y Medio Ambiente*. Asociación Técnica de Carreteras; Las Palmas de Gran canaria, Nov. 1992.

10.4 - Francisco Garcìa Novo, *II Simposio Nacional Sobre Carreteras*; Las Palmas de Gran Canaria, Nov. 1992.

10.5 - *Simposio Sobre Impacto Ambiental de las Carreteras*. Asociacicón Técnica de Carreteras. Comité Español de la A.I.P.C.R., San Sebastián. Oct. 1988.

10.6 - Benassini Oscar. *Impacto de los Caminos en el Medio Ambiente*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), México 1984.

10.7 - Domínguez P Luis, González J. Hugo; *Integración de la Infraestructura Carretera con el Medio Urbano*. Instituto Mexicano del Transporte (IMT) México 1993.

10.8 - *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*; SCT, México 1971.

10.9 - *Etudes d'Impact des Projets Routiers en Milieu Urbain*. Centre d'Etudes des Transports Urbains (CETUR), París 1979.