



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**PRINCIPIOS GENERALES DE EFICIENCIA Y SEGURIDAD
PEATONAL Y VEHICULAR EN CARRETERAS**

Manuel Eduardo Rodríguez García

Asesorado por el Ing. Rolando René Mazariegos Martínez

Guatemala, noviembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PRINCIPIOS GENERALES DE EFICIENCIA Y SEGURIDAD
PEATONAL Y VEHICULAR EN CARRETERAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MANUEL EDUARDO RODRÍGUEZ GARCÍA

ASESORADO POR EL ING. ROLANDO RENÉ MAZARIEGOS MARTÍNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

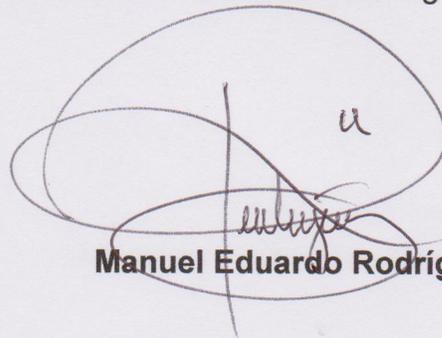
DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Montenegro Paiz
EXAMINADOR	Ing. Lionel Alfonso Barillas Romillo
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PRINCIPIOS GENERALES DE EFICIENCIA Y SEGURIDAD PEATONAL Y VEHICULAR EN CARRETERAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 01 de junio de 2011.

A handwritten signature in dark ink, consisting of several overlapping loops and a vertical line, with a small 'u' written above it.

Manuel Eduardo Rodríguez García

Guatemala, 01 de mayo de 2013

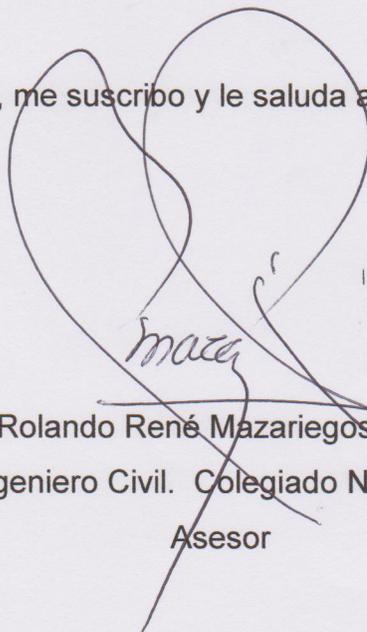
Ingeniero
Mario Estuardo Arriola Ávila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetado Ingeniero Arriola.

Deseo comunicarle que en mi función de asesor, he revisado el trabajo de graduación titulado: **“PRINCIPIOS GENERALES DE EFICIENCIA Y SEGURIDAD PEATONAL Y VEHICULAR EN CARRETERAS”**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Manuel Eduardo Rodríguez García.

Le informo que este trabajo de graduación ha cumplido con los lineamientos propuestos en el protocolo establecido; por lo que doy por aprobado este trabajo de graduación y le solicito que se continúe con el respectivo proceso.

Sin otro particular, me suscribo y le saluda atentamente,



ING. RENE MAZARIEGOS M.
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO No. 2291

Ing. Rolando René Mazariegos Martínez
Ingeniero Civil. Colegiado No. 2291
Asesor



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, 23 de octubre de 2014

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **“PRINCIPIOS GENERALES DE EFICIENCIA Y SEGURIDAD PEATONAL Y VEHICULAR EN CARRETERAS”** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Manuel Eduardo Rodríguez García con carné 1998-19465, quien contó con la asesoría del Ing. Rolando René Mazariegos Martínez.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte para la Facultad de Ingeniería y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes



Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





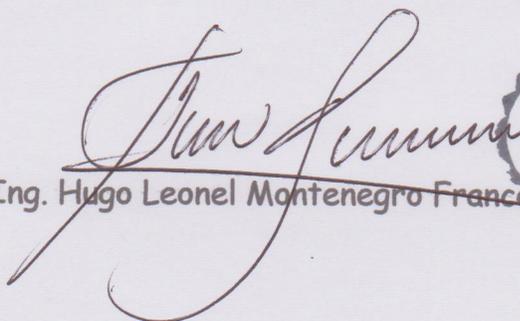
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Rolando René Mazariegos Martínez y del Coordinador del Área de Topografía y Transportes, Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila, al trabajo de graduación del estudiante Manuel Eduardo Rodríguez García, titulado PRINCIPIOS GENERALES DE EFICIENCIA Y SEGURIDAD PEATONAL Y VEHICULAR EN CARRETERAS, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre 2014.

/bbdeb.

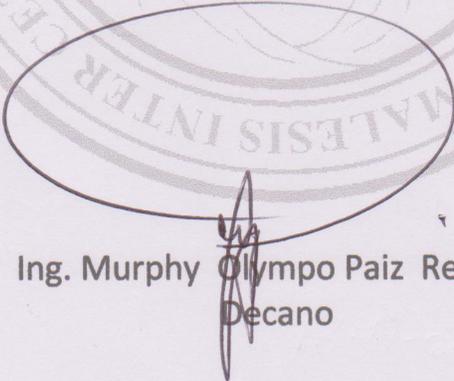
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **PRINCIPIOS GENERALES DE EFICIENCIA Y SEGURIDAD PEATONAL Y VEHICULAR EN CARRETERAS**, presentado por el estudiante universitario **Manuel Eduardo Rodríguez García**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 17 de noviembre de 2014

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mí camino, verdad y vida.
Mis padres	Manuel Eduardo Rodríguez Zea y Sonia Aracely García Román. Por todo el amor y apoyo que me han brindado.
Mi esposa	Jenny Ivette Barrios Vital. Por todo tu amor.
Mis hermanos	Ingrid Salomé y Alejandro José Rodríguez García. Por el amor entre nosotros.
Mis sobrinos	Edgardo Sebastián, Ingrid Isabel, Juan Manuel y José Miguel Loukota Rodríguez. Por ser amor y alegría en mi vida.
Mis abuelos	Abdón Isidro Rodríguez Marroquín (q.e.p.d.), Carmen Zea Ruano, Felipe Salomé García López (q.e.p.d.) y Ángela del Rosario Chin Román (q.e.p.d.). Por su amor y ejemplo.
Mis familiares	Tías, primas, primos, suegra, suegro, cuñadas, cuñado y en especial a mis tíos Abdón Isidro Antonio (q.e.p.d.) y Jorge Rafael Rodríguez Zea (q.e.p.d.). Por su guía y aliento.

Las familias

Rodríguez Marroquín, Zea Ruano, García López, Chin Román, Loukota Rodríguez, Barrios Arévalo y Vital Peralta. Por su apoyo.

**Mis amigos, jefes y
compañeros**

En mi vida y trabajo. Por todo lo que me han brindado.

**Dedicatoria especial a
mis amigos**

Salvador Morán (q.e.p.d.), Marco Obregón (q.e.p.d.), Herwin Pérez (q.e.p.d.), Vinicio Tepet (q.e.p.d.) y Nery García (q.e.p.d.). Por inspirarme a hacer este trabajo con su partida.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por demandarme a ser: un ser humano
consecuente con nuestra realidad nacional.

**Facultad de Ingeniería y
Escuela de Ingeniería
Civil**

Por educarme para ser un auténtico profesional
responsable.

Ing. René Mazariegos

Por toda su colaboración y apoyo en la
realización de este trabajo.

**Inga. Miriam
Castroconde**

Por sus aliento y colaboración invaluable.

Todas las personas

Que de una u otra manera, me ayudaron en la
realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. CRITERIOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS.....	1
1.1. Vehículos de diseño	1
1.2. Volumen de tránsito.....	2
1.2.1. Tránsito promedio diario anual (TPDA)	3
1.2.2. Tránsito de hora pico (THP).....	5
1.2.3. Factor de hora pico (FHP)	6
1.2.4. Composición del tránsito	7
1.2.5. Distribución direccional de la corriente de tránsito....	8
1.2.6. Proyección de vida útil de la carretera.....	8
1.3. Velocidad.....	9
1.3.1. Velocidad de operación	10
1.3.2. Velocidad de diseño	10
1.3.3. Velocidad de ruedo.....	11
1.4. Capacidad de las carreteras.....	12
2. CRITERIOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO ...	13
2.1. Capacidad y nivel de servicio de la carretera	13

2.2.	Velocidad de diseño	14
2.3.	Sección transversal de la carretera	16
2.3.1.	Carriles de circulación	17
2.3.2.	Hombros.....	18
2.3.3.	Aceras	19
2.3.4.	Bordillos y cunetas	20
2.3.5.	Drenaje superficial.....	23
2.3.6.	Medianas.....	24
2.3.7.	Carreteras laterales	25
2.4.	Distancia de visibilidad	26
2.4.1.	Distancia de visibilidad de parada	26
2.4.2.	Distancia de visibilidad de adelantamiento.....	31
2.4.3.	Distancia visual	35
2.5.	Alineamiento horizontal	35
2.5.1.	Curvas horizontales y peraltes	35
2.5.2.	Factor de fricción lateral y peralte	36
2.5.3.	Distribución de factor de fricción lateral y peralte	38
2.5.4.	Radio mínimo y grado máximo de curva	39
2.5.5.	Curvas espiraladas.....	41
2.5.6.	Sobreanchos	42
2.5.7.	Distancia de visibilidad en curvas horizontales	44
2.5.8.	Rampas de emergencia	46
2.5.9.	Balance entre curvas y tangentes en el alineamiento horizontal.....	48
2.6.	Alineamiento vertical	50
2.6.1.	Tipología del terreno	52
2.6.2.	Curvas verticales.....	53
2.6.3.	Carriles de ascenso.....	55
2.7.	Derecho de vía	56

3.	CRITERIOS GENERALES PARA LA SEGURIDAD EN CARRETERAS.....	59
3.1.	Principios básicos.....	59
3.2.	Carreteras rurales.....	61
3.2.1.	Carriles y hombros.....	62
3.2.2.	Carril de ascenso.....	64
3.2.3.	Carril para adelantar	65
3.2.4.	Curvas horizontales y verticales	67
3.2.5.	Medianas	67
3.2.6.	Intersecciones.....	69
3.3.	Carreteras suburbanas y urbanas	70
3.3.1.	Hombros y bordillos	71
3.3.2.	Aceras	72
3.3.3.	Medianas	73
3.3.4.	Intersecciones.....	73
3.3.5.	Carreteras laterales	74
3.4.	Mantenimiento de las carreteras	74
3.5.	Instalaciones ajenas dentro del derecho de vía.....	75
4.	MEDIO AMBIENTE	77
4.1.	Evaluación del Impacto al Medio Ambiente.....	77
4.2.	Contaminación del aire, agua y suelo.....	78
4.3.	Contaminación sonora.....	79
4.4.	Contaminación visual	80
4.5.	Medidas de mitigación ambiental	81
4.6.	Delimitación de zonas protegidas, de amortiguamiento, rural y urbana	85

5.	SEGURIDAD PEATONAL.....	87
5.1.	El peatón.....	87
5.1.1.	Diseño de instalaciones peatonales.....	87
5.1.2.	Nivel de servicio de aceras.....	90
5.2.	Bicicletas en carreteras.....	91
5.2.1.	Ciclovías.....	92
5.3.	Transporte colectivo.....	94
5.3.1.	Bahías para autobuses.....	94
5.3.2.	Transporte colectivo en autopistas.....	95
6.	OBRAS COMPLEMENTARIAS.....	97
6.1.	Iluminación de la carretera e intersecciones.....	97
6.2.	Dispositivos de control de tránsito.....	98
6.3.	Señalización.....	100
6.4.	Estructuras de soporte para señales y postes de iluminación.....	102
	CONCLUSIONES.....	105
	RECOMENDACIONES.....	107
	BIBLIOGRAFÍA.....	109
	APÉNDICES.....	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Características físicas y operacionales de los vehículos.....	2
2.	Gráfica de tránsito de hora pico	6
3.	Sección transversal de la carretera.....	17
4.	Carril de circulación.....	18
5.	Hombro de la carretera	19
6.	Acera de la carretera.....	20
7.	Bordillo de la carretera	21
8.	Cuneta de la carretera.....	22
9.	Drenaje superficial de la carretera	23
10.	Mediana de la carretera	24
11.	Carretera lateral	26
12.	Distancias de visibilidad en curvas horizontales	45
13.	Distancias de carril de ascenso.....	65
14.	Distancias de carril de adelantamiento.....	66
15.	Dimensiones de un peatón; área mínima = 0,22 m ²	88
16.	Ejemplos de instalaciones peatonales	90
17.	Dimensiones mínimas para ciclovías	92
18.	Dimensiones de una bahía para autobuses	95
19.	Poste de iluminación en mediana de carretera	98
20.	Ejemplos de dispositivos de control de tránsito.....	99
21.	Ejemplos de señalización vertical y horizontal	101
22.	Ejemplo de estructura de soporte	103

TABLAS

I.	Parque vehicular de Guatemala.....	4
II.	Distancias de visibilidad de parada.....	29
III.	Distancias de visibilidad de decisión.....	30
IV.	Distancias de visibilidad de adelantamiento	34
V.	Radios y grados de curvatura según factor de fricción lateral y peralte máximo	38
VI.	Radio mínimo, grado máximo de curva, peralte recomendado, longitud de curva espiralada, longitud de doble bombeo y delta mínimo recomendado	40
VII.	Sobreanchos de pavimento	44
VIII.	Distancias de visibilidad de parada en curvas horizontales	46
IX.	Longitudes de rampa de emergencia en metros (con superficie de arena suelta).....	48
X.	Pendientes mínimas y máximas por tipo de carretera	53
XI.	Valor de constante “K” para cálculo de longitud de curvas verticales ...	55

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
()	Agrupador matemático de primer orden o paréntesis
[]	Agrupador matemático de segundo orden
{ }	Agrupador matemático de tercer orden
/	División o sobre
²	Elevado al cuadrado
³	Elevado al cubo
°	Grado (ángulo)
h	Hora
=	Igualdad
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
±	Más o menos
m	Metro
mm	Milímetro
'	Minuto (ángulo)
x	Multiplicación
%	Porcentaje
√	Raíz cuadrada
-	Resta
”	Segundo (ángulo)
s	Segundo (tiempo)
+	Suma
t	Tonelada métrica (1 000,00 kilogramos)

GLOSARIO

Aceleración radial	Acercación tangencial. Componente de la aceleración circular, tangente a la trayectoria del objeto, responsable del aumento o disminución de la velocidad del vehículo.
Aforo	Conteo sistemático del número de vehículos que circulan en un tramo de la carretera, en un tiempo determinado.
Arteria	Carretera.
Canal hidráulico	Construcción destinada al transporte de fluidos, abierta a la atmósfera.
Cuerda	En una circunferencia o curva, es la recta que une ambos extremos de un arco (segmento de curva).
Curva compuesta	Combinación de dos o más curvas horizontales simples; las cuales se ven unidas debido a que el tramo tangente entre ellas, es de menor longitud a la establecida en normas.
Deflexión	Cada una de las desviaciones en la dirección de la línea central de una carretera.

DGC	Siglas de Dirección General de Caminos.
Escorrentía	Agua de lluvia que escurre sobre una superficie.
Energía cinética	Energía de un cuerpo en movimiento. Es el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de masa dada desde su posición de equilibrio hasta una velocidad dada.
Flujo de tránsito	Volumen vehicular. Comportamiento del tráfico vehicular. Dirección de la corriente de tránsito.
Fuerza centrípeta	Componente de fuerza, dirigida hacia el centro de curvatura del desplazamiento, que actúa sobre un objeto en movimiento sobre una trayectoria curvilínea.
Intensidad de Iluminancia	Nivel de iluminación. Cantidad de flujo luminoso que ilumina una superficie determinada. Su unidad de medida es el lux; $1,00 \text{ lux} = 1,00 \text{ lumen/m}^2$.
Levantamiento de campo	Acción de obtener los datos necesarios (topográficos, geológicos, hidráulicos, etc.) para desarrollar un proyecto de carretera.
Obra de arte	Término que se utiliza para designar toda obra o construcción de albañilería necesaria para encauzar un fluido. Se clasifican en menores y mayores.

Ochavado	Chaflán. En terminación de una superficie, acción de suavizar (redondear) el borde de la misma de forma semicircular.
Ordenada media	Es una circunferencia o curva, recta que une el punto medio de un arco o segmento de curva, con el punto medio de la cuerda máxima del mismo arco.
P.C.	Iniciales de Principio de Curva.
Pozo de absorción	Pozo de drenaje que sirve para filtrar el agua de lluvia al subsuelo circundante.
P.T.	Iniciales de Principio de Tangente.
Punto de inflexión	Punto en donde se da un cambio de dirección en la trayectoria de una curva o gráfica.
Radio	Longitud de una recta que se mide desde el centro de una circunferencia o segmento de curva, hasta cualquier punto de la misma.
Subrasante	Nivel del suelo natural donde inicia la estructura del pavimento de una carretera.
Talud	Plano inclinado de la terracería, que delimita los volúmenes de corte o relleno.

Tangente	Tramo recto de carretera; que tiene una misma dirección.
Tasa aritmética	Valor calculado en una progresión aritmética (serie de números, en los que la diferencia de dos términos sucesivos cualesquiera de la secuencia, es constante).
Tasa geométrica	Valor calculado en una progresión geométrica (secuencia de elementos, en la que cada uno de ellos se obtiene multiplicando el anterior por una constante denominada razón o factor de la progresión).

RESUMEN

Durante la planificación y diseño geométrico de una carretera se deberán tener en cuenta diversidad de criterios fundamentales, que permiten desarrollar el mejor trazo geométrico posible que logra satisfacer la demanda del flujo de tránsito durante el período de vida útil de una carretera; como: los vehículos de diseño, el volumen de tránsito, la velocidad, la capacidad y nivel de servicio, la sección transversal, la distancia de visibilidad, el alineamiento horizontal y vertical y el derecho de vía.

El diseño de toda carretera rural, suburbana o urbana, la cual cuente con un debido mantenimiento, debe procurar proveer en toda su trayectoria de la mayor eficiencia y seguridad posible a todo usuario de la misma; la constante supervisión, análisis y mejora de los diversos tramos, permitirá disminuir el número de percances, lesiones graves y fatalidades.

Durante la planificación, construcción y operación de una carretera, se deben evitar, mitigar o compensar de la mejor manera posible las alteraciones temporales y permanentes que se generen sobre los ecosistemas y comunidades sociales aledañas a las mismas.

El peatón es el usuario más numeroso de la carretera y a la vez el más indefenso ante los percances; por lo que el diseñador de un proyecto carretero buscará siempre protegerlo de la mejor manera posible, anteponiendo siempre su seguridad, ante las exigencias que pueda requerir cualquier otra variable.

OBJETIVOS

General

Crear un documento que describa los fundamentos, criterios, consideraciones y estudios generales, que deben tenerse en cuenta durante el diseño de una carretera; para mejorar la seguridad peatonal y vehicular de la misma.

Específicos

1. Definir los criterios, variables y estudios fundamentales preliminares, necesarios para diseñar una carretera.
2. Definir los criterios y conceptos necesarios para realizar el diseño geométrico de una carretera.
3. Describir los principios, consideraciones, criterios y conceptos generales de seguridad en carreteras.
4. Explicar los conceptos, tipos de contaminación y medidas de mitigación que produce sobre el medio ambiente, la actividad de carreteras.
5. Exponer los conceptos, consideraciones y criterios generales de la seguridad peatonal.

INTRODUCCIÓN

Durante la planificación y diseño de una carretera es de suma importancia tener en consideración la eficiencia y seguridad de la misma, para poder ofrecer a todos los usuarios que hagan uso de ella, la mayor comodidad, economía y seguridad.

Con el presente trabajo de graduación se pretende desarrollar una guía, de la cual todo diseñador de proyectos de carreteras pueda obtener los fundamentos, criterios, consideraciones y estudios generales que le sean útiles para desarrollar la mayor eficiencia y seguridad posible.

El informe comprende seis capítulos, de los cuales, los primeros dos abarcan los criterios fundamentales del diseño y del trazo geométrico de una carretera; el tercero, comprende los criterios y parámetros de seguridad vehicular a tener en consideración; el cuarto, expone los efectos adversos que provoca sobre el medio ambiente y social, la actividad de carreteras y las medidas de mitigación a tener en cuenta para minimizarlos; el quinto, establece la importancia de proteger al peatón y los lineamientos de su seguridad; y el sexto, muestra la importancia de todos los elementos que mejorarán la seguridad, tales como: la iluminación, la señalización, los dispositivos de control y sus estructuras de soporte.

1. CRITERIOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS

1.1. Vehículos de diseño

“Los vehículos de diseño son los automotores predominantes y que demandan las mayores exigencias de diseño que se desplazan dentro del flujo de tránsito de las carreteras del país”¹.

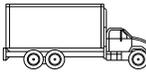
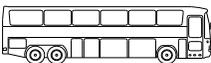
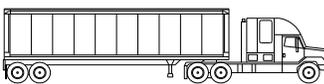
Estos vehículos difieren entre sí en sus dimensiones, pesos, radios de giro, etc., por lo que el diseñador debe tener en cuenta estas características dentro del diseño de la carretera para lograr un tránsito fluido y sin restricciones.

Siempre se considerarán los vehículos que presenten las características más restrictivas (mayor longitud, ancho, radio de giro, etc.) como base para el diseño, ya que estos serán los que más limitaciones enfrentarán dentro de la circulación de tránsito.

Los estudios de composición y de volumen de tránsito permitirán identificar el mayor porcentaje de vehículos que presenten las mayores restricciones de diseño en un tramo específico de carretera; estos vehículos serán los que se utilizarán como típicos de diseño.

¹ AASHTO. *A policy on geometric design of highways and streets.* p. 88.

Figura 1. **Características físicas y operacionales de los vehículos**

Tipo de vehículo	Longitud (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Peso (t)	Radio de giro interno (m)	Radio de giro externo (m)
	1,85	0,60	1,10			
	2,30	0,75	1,20	0,50		
	5,80	2,10	2,10	2,50	4,20	7,30
	9,10	2,60	4,10	3,50	7,40	12,80
	12,20	2,60	4,10	24,50	5,70	13,30
	12,20	2,60	4,10	24,50	5,70	13,30
	19,90	2,60	4,30	36,40	5,80	13,70

Fuente: elaboración propia.

1.2. Volumen de tránsito

“Es la cantidad del movimiento vehicular que circulará entre dos puntos establecidos en una vía, dentro del período de tiempo de vida elegido en el diseño de la carretera”².

² DEBROY ESTRADA, Herlindo. *Métodos para determinación de velocidad en carreteras y su aplicación.* p. 4.

Su medición se podrá hacer de forma mecánica, neumática, eléctrica, fotoeléctrica, por radar, magnética, ultrasónica o infrarroja; a través de aforos volumétricos de tránsito o de investigaciones de origen-destino.

Estas mediciones permitirán identificar las características del comportamiento del flujo vehicular, las cuales son: estructura, distribución, naturaleza y modalidad de viaje.

1.2.1. Tránsito promedio diario anual (TPDA)

“El tránsito promedio diario anual se define como el promedio anual del número de vehículos que circulan diariamente en una carretera o como el volumen anual total de tránsito en un punto o sección de la carretera, dividido entre el número de días del año”³. El valor del TPDA no reflejará el límite superior de variación extrema de volumen vehicular, por lo que las mediciones se deberán realizar preferentemente en diferentes períodos de tiempo, ya sean semanales, mensuales, por estación, etc. El TPDA es un valor promedio que multiplicado por la tasa de crecimiento vehicular (regional) y por el número de años seleccionado para el período de diseño de la carretera, dará el TPDA esperado para el final de la vida útil.

En Guatemala existen únicamente estadísticas de la tasa de crecimiento anual de vehículos en general, no por municipio; por lo que resulta casi imposible calcular el TPDA futuro, pero se puede obtener un valor aproximado, tomando como base la tasa geométrica de crecimiento poblacional de la región o poblaciones comprendidas en los extremos de la sección de carretera que las comunica.

³ DEBROY ESTRADA, Herlindo. *Métodos para determinación de velocidad en carreteras y su aplicación.* p. 8.

Este valor se basa en la afirmación de que la economía de una población o región no variará de forma extrema en un período de tiempo no muy grande, salvo raras excepciones (una carretera rara vez se diseña para un período de vida útil mayor a 20 años).

Esto indica que si se tiene un valor de TPDA para una población determinada actual, una población futura afectada por una tasa geométrica de crecimiento, también tendrá un TPDA afectado por esta misma tasa.

Tabla I. Parque vehicular de Guatemala

Tipo de vehículo	Número de unidades a septiembre de 2014	Porcentaje (%)
Motocicletas	939 986	34,86
Automóviles	623 382	23,15
Jeeps	20 993	0,78
Pick-ups	531 729	19,75
Camionetas y páneles	292 533	10,87
Tractores	1 008	0,04
Grúas	813	0,03
Otros	40 567	1,51
Buses	103 562	3,85
Cabezales y camiones	138 762	5,16
Total	2 693 335	100,00
Tráfico liviano	2 408 623	89,43
Tráfico pesado	284 712	10,57
Total	2 693 335	100,00

Fuente: Superintendencia de Administración Tributaria.

1.2.2. Tránsito de hora pico (THP)

“El tránsito de hora pico es el número de horas máximas de congestión que se permitirán durante un año dentro del tramo de carretera analizado”⁴. Para determinar su valor se deberá graficar el tránsito por hora, registrado durante un año (o período de tiempo disponible) en la estación permanente de registro de movimiento vehicular de la carretera.

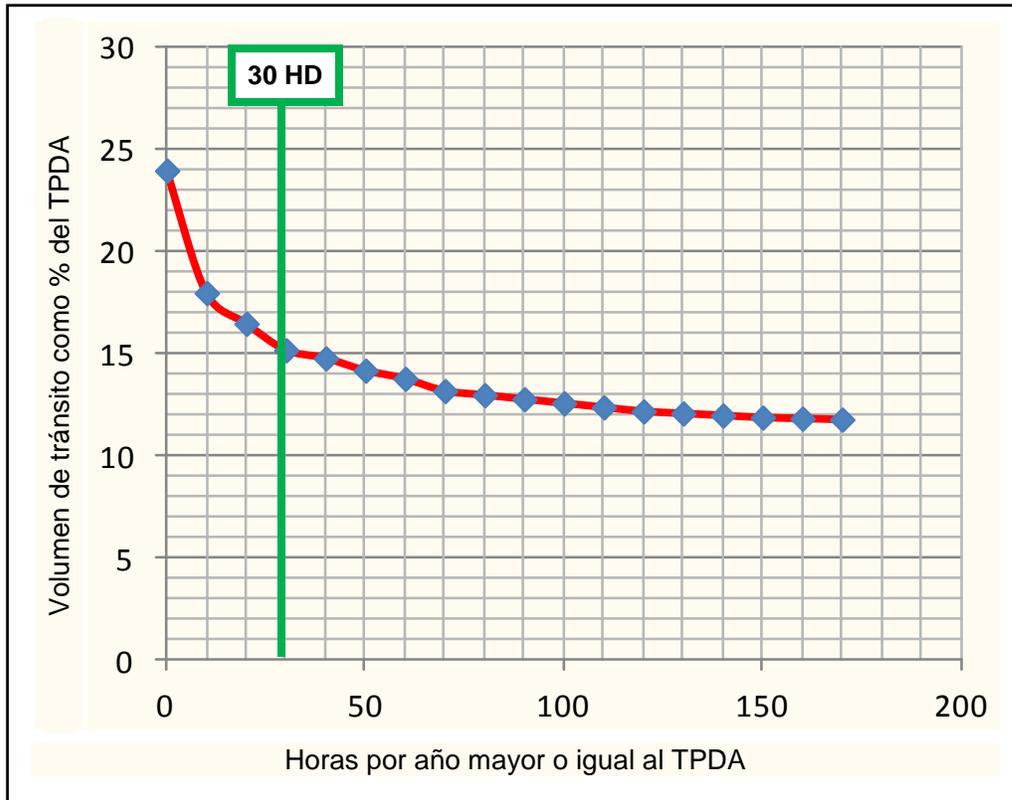
En el eje de las abscisas se registrarán las horas por año en que el tránsito es mayor o igual al valor porcentual del TPDA (mayor o igual al 100,00 %) y en el de las ordenadas los valores de volumen registrados como porcentaje del TPDA ordenados de mayor a menor. La gráfica resultante será una curva descendente que presentará un punto de inflexión alrededor de la hora 30. Este punto de inflexión señala la trigésima hora de diseño (30 HD) la cual indica que al diseñar con este volumen de tránsito existirán 29 horas por año en el que este volumen será superado, por lo que se producirá un congestiónamiento.

El valor 30 HD es de suma importancia ya que al diseñar con un valor menor o mayor a él resultará antieconómico; un valor menor provocará una mayor inversión en infraestructura, la cual será subutilizada y un valor mayor producirá consumo de combustible innecesario y menor productividad económica de los usuarios.

El valor de diseño para el volumen de tránsito de hora pico o 30 HD será para carreteras rurales de un 15,00 % y para carreteras urbanas de un 10,00 % mayor al TPDA. Estos valores son promedios estándares que no deberán ser sustituidos, a menos que exista una investigación de tránsito que lo sustente.

⁴ AASHTO. *A policy on geometric design of highways and streets.* p. 91.

Figura 2. Gráfica de tránsito de hora pico



Fuente: elaboración propia.

1.2.3. Factor de hora pico (FHP)

“El factor de hora pico es un valor de referencia de diseño que sirve para determinar las condiciones más exigentes de la demanda de tránsito que se deben satisfacer”⁵. Para determinarlo, se hace un conteo de vehículos en períodos de quince minutos dentro de la hora pico y luego se utiliza la ecuación:

$$FHP = (4,00 \times N_{\text{máx}}) / (N_1 + N_2 + N_3 + N_4)$$

⁵ AASHTO. *A policy on geometric design of highways and streets*. p. 94.

En donde: $N_{\text{máx}}$ es el mayor valor que se haya registrado entre los cuatro períodos de quince minutos, y N_1 , N_2 , N_3 y N_4 se refieren a cada uno de los valores registrados.

Si el resultado del factor es menor de 0,85 indica que las condiciones operativas de la carretera variarán de manera considerable, por lo que se deben tomar las medidas pertinentes que solucionen los posibles embotellamientos; como por ejemplo: aumentar al tramo de carretera un carril, programar carriles reversibles, etc.

1.2.4. Composición del tránsito

“La composición del tránsito es la clasificación del tipo de vehículos que circularán por un tramo de carretera”⁶. Su importancia radica en que ayudará a determinar elementos geométricos del diseño de la carretera como el ancho de los carriles, los grados máximos de curvas verticales y horizontales, las distancias de visibilidad, el porcentaje de pendiente máxima permisible, etc. Esta composición variará sustancialmente según el tipo de servicio que preste y al área geográfica y económica a la que sirva la carretera.

La clasificación de la composición del tránsito es muy variada; en Guatemala esta clasificación se puede dividir en dos categorías principales: vehículos livianos (bicicletas, motocicletas, vehículos automotores y camiones de no más de 3,50 t) y pesados (autobuses, camiones de más de 3,50 t y camiones articulados).

⁶ CASTROCONDE MONZÓN, Miriam. *Metodología para el conteo de tránsito en la red vial de Guatemala*. p. 25.

Es de suma importancia recordar que si en una región geográfica no circulan ciertos tipos de vehículos, no es porque en dicha región no exista la capacidad económica para utilizarlos, sino porque generalmente las carreteras existentes no lo permiten; por lo que al momento de reconstruir, mejorar o ampliar una ruta, el diseñador deberá tener en cuenta los vehículos de mayores exigencias de dimensiones que podrían empezar a circular por ella.

1.2.5. Distribución direccional de la corriente de tránsito

“La distribución direccional de la corriente de tránsito es el comportamiento del flujo vehicular durante un período de tiempo determinado”⁷. En una carretera de dos sentidos, existirán períodos de tiempo (horas pico) durante los cuales la intensidad de la circulación del volumen de tránsito será desigual, por lo que se debe afectar esta intensidad por un factor que satisfaga la demanda.

Si no se cuenta con estadísticas de recuentos volumétricos visuales y de estudios de origen-destino, se debe utilizar un 60,00 % como factor de distribución direccional; esto significa que durante las horas pico, el volumen de tránsito que circula en una dirección es un 60,00 % mayor al que circula en sentido contrario; para mitigar este comportamiento se pueden incrementar el número de carriles utilizando vías reversibles temporales.

1.2.6. Proyección de vida útil de la carretera

“La proyección de la vida útil de una carretera es el período de tiempo que transcurrirá hasta el momento en que la sección transversal típica seleccionada ya no satisfaga la demanda del volumen de tránsito proyectado”⁸.

⁷ AASHTO. *A policy on geometric design of highways and streets*. p. 96.

⁸ Op. Cit. p. 99.

Para seleccionar el período de tiempo adecuado es necesario tomar en cuenta los siguientes tiempos: la etapa de planificación, la asignación de recursos económicos, el período de contratación y la construcción de la carretera; esto tomará un tiempo aproximado de 3 a 5 años.

“Las posibles mejoras o ampliaciones que se realicen deben ser sustentadas en estudios fidedignos de recuentos de volúmenes de tránsito”⁹. No es recomendable proyectar la vida útil de una carretera en más de 20 años debido a las numerosas variables como migración, crecimiento poblacional, situación socioeconómica de la región, etc., que afectan las proyecciones de tránsito futuras.

La implementación de estaciones permanentes de recuento de volúmenes de tránsito en puntos determinados de la longitud de la carretera, permitirá que las ampliaciones o mejoras que sufra la carretera se realicen en el momento adecuado, ya que proveerán datos fidedignos anuales sobre la demanda y comportamiento del flujo de tránsito.

1.3. Velocidad

La velocidad es la variable más importante en el desarrollo de la eficiencia y seguridad vehicular y peatonal de una carretera, ya que el usuario seleccionará generalmente la ruta a transitar y el medio de transporte que le represente: el menor tiempo de recorrido, el menor costo de viaje, los dos factores anteriores o lo que considere de mayor conveniencia.

⁹ AASHTO. *A policy on geometric design of highways and streets*. p. 100.

“Los factores que inciden en la velocidad que puede desarrollar un vehículo dentro de una carretera son: las características físicas propias de la carretera, las condiciones climáticas, la presencia de otros vehículos y los límites vigentes de velocidad”¹⁰.

Los vehículos dentro del flujo del volumen de tránsito siempre presentarán variaciones de velocidad, pero al momento de la planificación y el diseño de la carretera, se deberá tomar la distribución promedio de velocidad que satisfaga de manera razonable los requerimientos del usuario bajo condiciones de seguridad y economía.

1.3.1. Velocidad de operación

“Es la máxima velocidad a la que un vehículo puede viajar por toda la longitud de una carretera, bajo condiciones normales de clima y de tránsito, sin que se excedan los límites de seguridad, determinados por la velocidad de diseño”¹¹.

1.3.2. Velocidad de diseño

“Es la máxima velocidad a la que un vehículo puede viajar por un tramo de la carretera específico, bajo condiciones normales de clima y de tránsito, sin que se excedan los límites de seguridad, determinados por las características de diseño utilizados en dicho tramo”¹².

¹⁰ DEBROY ESTRADA, Herlindo. *Métodos para determinación de velocidad en carreteras y su aplicación*. p. 12.

¹¹ Op. Cit. p. 19.

¹² Op. Cit. p. 21.

Una carretera se debe diseñar para la mayor velocidad posible que cumpla con las normas de eficiencia y seguridad vehicular que se deseen implementar, tomando en cuenta el impacto sociopolítico y las restricciones ambientales, económicas y estéticas. La velocidad de diseño deberá ser lo más compatible con la que desarrollará el conductor promedio, según su percepción de las condiciones físicas y operativas de la carretera.

La velocidad de diseño es la variable que define los componentes de la carretera como: curvatura, peraltes, distancia de visibilidad, anchura de carriles, hombros, etc., que permiten la operación segura de los vehículos; por lo que a medida que se incremente la velocidad, se deberán implementar de manera proporcional y estricta las normas de seguridad y eficiencia.

Para seleccionar la velocidad de diseño más adecuada para una carretera se deben tomar en cuenta los siguientes factores: la distribución y tendencia de las velocidades, tipo de área (rural, suburbana o urbana), topografía del lugar (plana, ondulada o montañosa), volumen de tránsito, tipo de zona climática (lluviosa, seca, nubosa, etc.), influencia de las carreteras que la complementarán y las similitudes en el diseño de otras carreteras existentes.

1.3.3. Velocidad de ruedo

“La velocidad de ruedo es la velocidad promedio de un vehículo dentro de un determinado tramo de la carretera”¹³. La velocidad de ruedo se obtiene dividiendo la distancia del tramo bajo estudio dentro del tiempo que le tomó al vehículo recorrerlo sin detenerse.

¹³ DEBROY ESTRADA, Herlindo. *Métodos para determinación de velocidad en carreteras y su aplicación*. p. 19.

La velocidad de ruedo permite obtener la velocidad instantánea promedio, la cual se obtiene promediando la velocidad de los vehículos que circulan por el punto de la carretera seleccionado. Este valor permite observar la eficiencia del servicio que presta la carretera al usuario, ya que indica que mientras más disminuya el valor de la velocidad instantánea promedio, se dará un incremento proporcional en la posibilidad de embotellamiento.

1.4. Capacidad de las carreteras

“La capacidad de una carretera es el máximo volumen de tránsito de vehículos por hora que puede circular por un punto o tramo de la carretera, bajo condiciones favorables de clima, sin producir un embotellamiento, esto es, sin que se detenga el flujo vehicular”¹⁴.

Con el valor del volumen de tránsito de vehículos por hora con el que se proyecte la vida útil de la carretera, se podrá seleccionar la sección típica (capacidad) que debe tener la carretera. Cuando la carretera alcanza su capacidad, se refiere a que ha alcanzado su densidad crítica, que es el máximo flujo de tránsito que puede transitar por ella y se mide en vehículos por kilómetro; estos vehículos se desplazarán a una velocidad crítica, la cual es la menor velocidad a la que se puede conducir y maniobrar de manera cómoda dentro de la corriente de tránsito. La velocidad crítica será de 50,00 km/h en carreteras rurales y de 40,00 km/h en carreteras suburbanas y urbanas.

¹⁴ DEBROY ESTRADA, Herlindo. *Métodos para determinación de velocidad en carreteras y su aplicación*. p. 5.

2. CRITERIOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO

2.1. Capacidad y nivel de servicio de la carretera

El congestionamiento vehicular dentro de una carretera se inicia cuando la libre circulación del usuario empieza a ser restringida por otros vehículos dentro de la corriente del tránsito, por lo que se debe seleccionar una capacidad mayor a la del valor máximo de tránsito de hora pico (THP) como margen de seguridad.

“El nivel de servicio de la carretera será el valor máximo de flujo de tránsito de hora pico (THP), lo que permitirá que la carretera opere a un volumen por hora menor al de su capacidad, dependiendo del grado de congestionamiento que se haya seleccionado para el diseño de la carretera”¹⁵.

El nivel de servicio presenta seis categorías que relacionan el volumen y la capacidad; para seleccionar el ideal, el flujo de servicio para diseño debe ser mayor que el flujo de tránsito del cuarto de hora que presente el mayor valor de la hora pico.

Las condiciones generales de los distintos niveles de servicio son:

- Nivel A: flujo de vehículos libre, bajo volumen de tránsito y velocidades altas de operación.

¹⁵ DEBROY ESTRADA, Herlindo. *Métodos para determinación de velocidad en carreteras y su aplicación*. p. 6.

- Nivel B: flujo de vehículos razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por el tránsito.
- Nivel C: flujo de vehículos estable pero el conductor empieza a sentirse restringido para seleccionar su propia velocidad.
- Nivel D: flujo de vehículos cercano a zona de inestabilidad, el conductor tiene poca libertad para maniobrar.
- Nivel E: flujo de vehículos inestable, aparición de embotellamientos menores.
- Nivel F: flujo de vehículos forzado, congestionamiento de tránsito que provoca condición de detenerse–continuar.

2.2. Velocidad de diseño

Es la variable fundamental en la eficiencia y seguridad de una carretera; una baja velocidad de diseño (menor a 50,00 km/h) ocasionará pequeños embotellamientos que restringirán la correcta fluidez del tránsito, provocando mayor consumo de combustible y pérdida de tiempo en la productividad de los usuarios y una alta velocidad de diseño (mayor a 100,00 km/h) provocará también, un mayor consumo de combustible, aumento proporcional de lesiones y fatalidades en accidentes debido a la reducción de la capacidad de respuesta del conductor y un aumento del costo por kilómetro de carretera construido, debido a mayores exigencias de diseño, lo cual es innecesario ya que el porcentaje de usuarios beneficiados es mínimo.

Debido a la topografía montañosa muy accidentada en ciertas regiones de Guatemala, la velocidad de diseño de 50,00 km/h puede ser reducida hasta un mínimo de 30,00 km/h siempre que las condiciones del tramo de carretera lo exijan, tomando todas las medidas pertinentes para contrarrestar esta pérdida de velocidad como: el aumento (como mínimo) de uno a dos carriles en la vía de ascenso y la colocación de vibradores reductores de velocidad y construcción de rampas de emergencia en la vía de descenso para amortiguar la excesiva aceleración a la que se ven sometidos los vehículos.

Para la red de autopistas nacionales denominadas ruta nacional (RN) y carretera centroamericana (CA) es recomendable la utilización de velocidades de diseño entre los 60,00 y 100,00 km/h debido a su alta demanda de capacidad.

Para las carreteras-rutas departamentales (RD) la velocidad puede ser reducida a 50,00 km/h y como mínimo a 40,00 o 30,00 km/h si es necesario, como se explicó anteriormente.

Para las carreteras municipales (CM) que circunden o comuniquen diversos centros urbanos y para las vías rápidas dentro de áreas urbanas, no son recomendables velocidades mayores a 80,00 km/h y para las vías internas regulares dentro de los centros urbanos, la máxima velocidad de diseño recomendada es de 60,00 km/h.

La regulación legal de la velocidad es una necesidad en Guatemala; en el 2013 se registraron a nivel nacional 39 240 accidentes de tránsito que dejaron como saldo a 39 115 personas lesionadas, 2 280 personas fallecidas y pérdidas económicas en el cobro de seguros por 595,00 millones de quetzales.

Si se toma en cuenta que la mayoría de los accidentes de tránsito no son contabilizados estadísticamente, que la cifra de pérdidas económicas no incluye el costo por hospitalización, rehabilitación y pérdida de tiempo de trabajo horas-hombre de las personas involucradas y que solo el 20,00 % de los vehículos registrados en el país cuenta con algún tipo de seguro que cubra estos percances, el país sufre una pérdida económica anual que supera los 4 000,00 millones de quetzales, por lo que es recomendable que la máxima velocidad permitida en una carretera sea de 20,00 km/h mayor a la velocidad de diseño y que la tolerancia máxima sea de 40,00 km/h mayor.

A nivel nacional, una velocidad de 140,00 km/h sería la tolerancia máxima de velocidad para carreteras con una velocidad de diseño de 100,00 km/h, con nivel de servicio tipo A, geometría adecuada y condiciones favorables de clima.

2.3. Sección transversal de la carretera

La sección transversal de la carretera es la solución vial que satisface la demanda de la capacidad y el nivel de servicio requerido por el volumen de tránsito vehicular proyectada por el diseñador.

Su selección siempre debe satisfacer el nivel de servicio proyectado; la disminución de este nivel aumentará proporcionalmente la posibilidad de accidentes al volverse más dificultoso la libre maniobrabilidad de los vehículos.

Los elementos que componen la sección transversal seleccionada deberán mantenerse, dentro de lo posible, en toda la longitud o tramo de la carretera en su proceso de diseño.

Figura 3. **Sección transversal de la carretera**



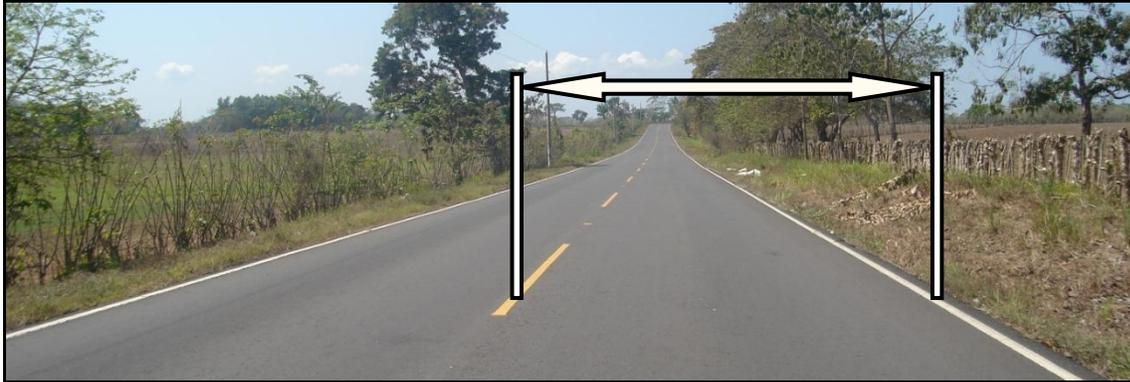
Fuente: km 120, RD-2, Quetzaltenango.

Las características que se deben tomar en cuenta en la selección de la sección transversal de la carretera son: seguridad, estética, patrones de velocidad, capacidad y nivel de servicio, características operativas y dimensiones de los vehículos usuarios y el comportamiento general del flujo de tránsito determinado por las decisiones de los conductores. (Consultar apéndices que se refieren a tipos de secciones transversales típicas sugeridas).

2.3.1. Carriles de circulación

El carril de circulación es la unidad de medida de la sección transversal de la carretera. La circulación de vehículos se restringe únicamente a un solo vehículo en un solo sentido de dirección dentro del carril. El ancho del carril de circulación determina la capacidad o volumen de tránsito de vehículos que podrán circular por él dentro de una unidad de tiempo. La sumatoria del número de carriles determina el ancho de la calzada o superficie de rodadura y la capacidad y nivel de servicio que puede satisfacer la carretera.

Figura 4. **Carril de circulación**



Fuente: km 125, RD-2, Quetzaltenango.

2.3.2. Hombros

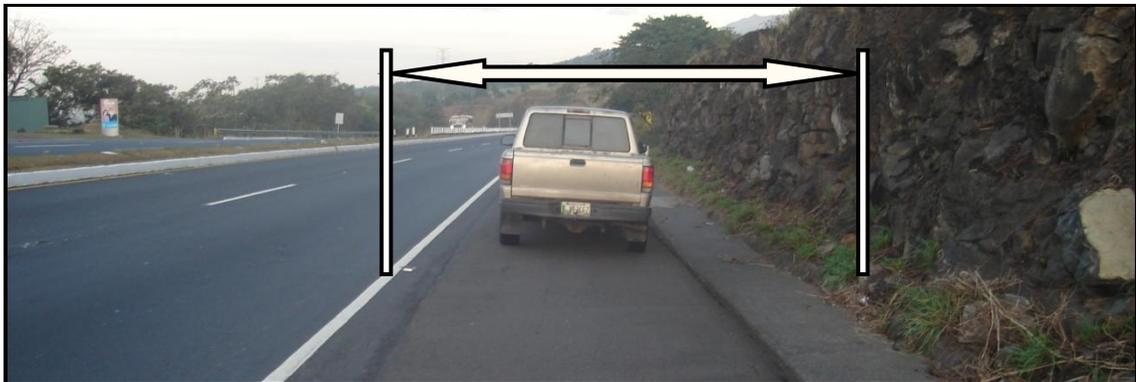
Los hombros son las franjas de terreno ubicados a los costados de los carriles de circulación exteriores de la carretera, su ancho comprende desde el borde de la superficie de rodadura hasta el inicio de los taludes. Las funciones de los hombros de la carretera son:

- Acomodar vehículos que se detengan o que sufran desperfectos.
- Confinar y dar estabilidad estructural a los carriles de circulación.
- Servir como superficie extra de maniobra en caso de perder el control del vehículo o para esquivar a otro que esté en trayectoria de colisión.
- Servir como área para instalar señales de tránsito y cunetas de drenaje en su lado externo.

- Ser vía de circulación de vehículos de emergencia en caso de accidentes o embotellamientos.
- Ser camino de circulación de peatones y bicicletas.

La corona de la sección transversal de la carretera es la sumatoria del ancho de la calzada o superficie de rodamiento más la anchura de ambos hombros.

Figura 5. **Hombro de la carretera**



Fuente: km 40, CA-9, Escuintla.

2.3.3. Aceras

Las aceras son espacios destinados a la circulación de peatones en lugares donde la carretera atraviesa áreas con valores de tránsito peatonal significativo; su función es: la de separar y proteger al peatón y la de sustituir las funciones de los hombros en donde no exista el espacio suficiente para la construcción de los mismos.

Figura 6. **Acera de la carretera**



Fuente: km 162, CA-2, Suchitepéquez.

2.3.4. Bordillos y cunetas

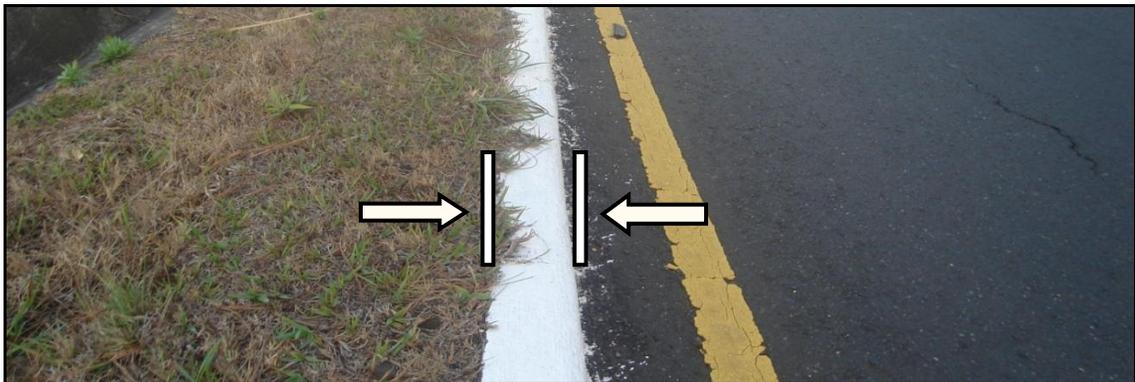
Los bordillos son estructuras que forman parte del sistema de drenaje superficial longitudinal de la carretera, se elevan sobre el nivel de la corona y tienen como función:

- Canalizar la escorrentía de lluvia hacia las estructuras de descarga pluvial.
- Servir de soporte y delimitar el borde de la estructura del pavimento.
- Delimitar el borde de aceras, islas, medianas, ciclovías y áreas peatonales.
- Para canalizar el tránsito de vehículos en intersecciones, rotondas, etc.

Se utilizan generalmente en carreteras dentro de zonas urbanas y suburbanas y en las rurales su uso se limita a estructuras especiales como: rotondas, intersecciones, pasos a desnivel, etc. Se clasifican en:

- Abordables: los cuales por su baja altura (menor a 0,15 m) y configuración permiten que los vehículos puedan sobrepasarlos sin dificultad.
- No abordables o de barrera: los que por su considerable altura (mayor a 0,15 m) y configuración no permiten que los vehículos los sobrepasen de manera fácil.

Figura 7. **Bordillo de la carretera**



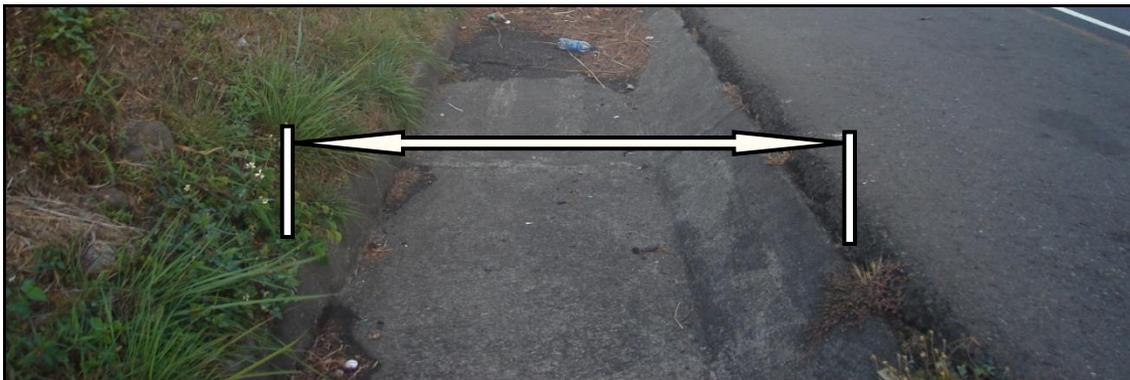
Fuente: km 40, CA-9, Escuintla.

Las cunetas son estructuras de canal hidráulico, que recorren de forma paralela la carretera, acumulando la escorrentía de lluvia que el drenaje transversal ha desocupado de la superficie de la corona y la canaliza hacia las tuberías de drenaje, tragantes, pozos de absorción u otras obras de arte que sirven de puntos de descarga de agua pluvial.

Se utilizan generalmente en las carreteras dentro de zonas rurales y sirven para delimitar la corona. Se clasifican en:

- Cunetas laterales: recorren de forma paralela la carretera.
- Cunetas centrales: se utilizan cuando el drenaje se dirige hacia el centro de la carretera o cuando las vías de circulación se encuentran separadas por una mediana considerable.
- Cunetas transversales: se utilizan cuando las circunstancias lo requieran.
- Contracunetas: se construyen sobre el borde superior de los taludes en corte y se utilizan para captar el exceso del agua que el suelo no puede absorber adecuadamente, evitando posibles filtraciones que afecten la estabilidad de los mismos.
- Rápidos: tienen la función de conducir el agua desde una altura considerable hacia niveles inferiores y para aminorar la velocidad (disminuir la energía cinética) de la corriente del agua.

Figura 8. **Cuneta de la carretera**



Fuente: km 40, CA-9, Escuintla.

2.3.5. Drenaje superficial

El drenaje superficial es la pendiente transversal que se aplica sobre la corona de la carretera para que el agua escurra fuera de la misma.

Su función es escurrir de la forma más rápida posible el agua, evitando que esta se estanque sobre la superficie del pavimento; lo que podría provocar posibles filtraciones que destruyan la estructura del mismo y la pérdida del control de los vehículos por parte de los conductores, debido a los deslizamientos provocados por la disminución de la fricción entre la carpeta de rodadura y las ruedas de los vehículos.

El drenaje superficial se complementa con las estructuras longitudinales de drenaje como los bordillos o las cunetas, las estructuras de tuberías de drenaje y con las obras de arte menores y mayores.

Figura 9. Drenaje superficial de la carretera



Fuente: km 235, RN-12-SUR, Quetzaltenango.

2.3.6. Medianas

Las medianas se refieren a la franja de terreno que tiene la función de separar físicamente los sentidos de circulación del tránsito de vehículos. Generalmente se encuentra al mismo nivel de la corona, pero también se puede construir sobre o debajo del nivel de la misma.

Figura 10. **Mediana de la carretera**



Fuente: km 57, CA-9, Escuintla.

Las medianas también tienen la función de:

- Evitar o reducir el deslumbramiento que provocan los faros de los vehículos que circulan en sentido contrario.
- Ser un espacio de reserva para futuras ampliaciones.
- Servir de espacio de circulación y de instalación de estructuras peatonales o de ciclovías.

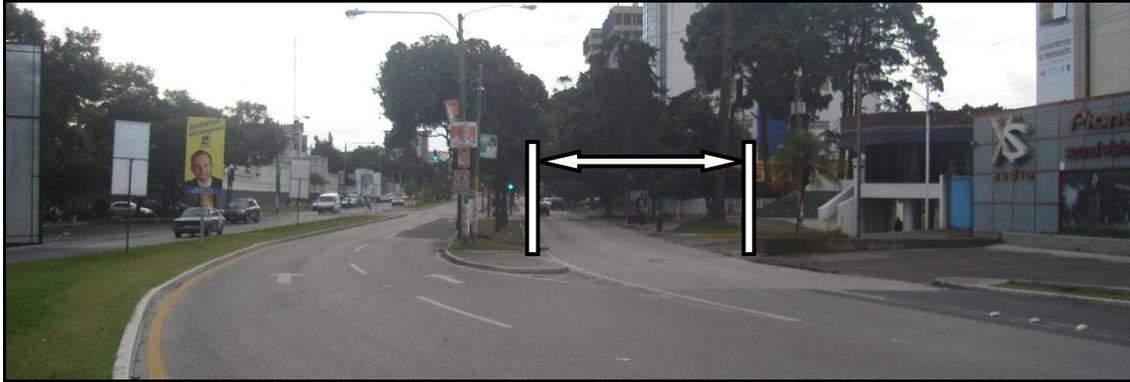
- Mejorar la estética y el medio ambiente del entorno si dentro de la misma se encuentran sembrados árboles u otra clase de plantas.
- Servir de espacio de circulación y de instalación de estructuras peatonales o de ciclovías.
- Acoger diversos tipos de estructuras como las de drenaje, señalización vertical, tensión eléctrica, agua potable e iluminación.
- Como espacio de maniobra adicional para los conductores que puedan perder el control de sus vehículos.
- Para salvar posibles diferencias de nivel de altura entre las pistas de los distintos sentidos de circulación.
- Para la instalación de estructuras especiales como columnas de puentes a desnivel, vías de ferrocarril, etc.

2.3.7. Carreteras laterales

Las carreteras laterales son vías secundarias, construidas paralelamente a la arteria principal, dentro de las zonas suburbanas y urbanas, donde el espacio disponible de derecho de vía no permite una mejor planificación.

Tienen la función de brindar acceso a las propiedades colindantes al derecho de vía y de ser una vía de circulación local, permitiendo que la vía principal no pierda su fluidez y capacidad debido a un aumento innecesario del volumen de tránsito.

Figura 11. Carretera lateral



Fuente: Avenida La Reforma, Ciudad de Guatemala.

2.4. Distancia de visibilidad

Es la distancia mínima necesaria para que el conductor de un vehículo pueda distinguir un objeto que se encuentre sobre su misma trayectoria de movimiento.

2.4.1. Distancia de visibilidad de parada

La distancia de visibilidad de parada es la distancia mínima necesaria con la que se debe diseñar la geometría de la carretera, para que un vehículo que viaja a la velocidad de diseño se detenga cuando su conductor perciba una situación de peligro u obstáculo imprevisto delante de su recorrido.

La distancia de visibilidad de parada (D_p) se calcula sumando sus componentes:

En donde: d1 es la distancia de reacción de respuesta que depende del estado de alerta y habilidad del conductor y es la distancia recorrida por el vehículo en el intervalo de tiempo comprendido desde que el conductor percibe la existencia del obstáculo o peligro, reacciona, e inicia a aplicar el pedal de freno y d2 es la distancia de frenado que recorre el vehículo desde que se inicia a aplicar el pedal de freno hasta que se detiene totalmente.

La reacción de respuesta del conductor a un estímulo exterior tiene cuatro componentes: percepción, intelección (interpretación), emoción y volición (resolución). Cuando el obstáculo o situación de peligro es esperado, el tiempo de reacción de respuesta varía entre 0,6 y 2,0 segundos y cuando es inesperado, el tiempo de reacción se incrementa en un 35,00 %, por lo que variará entre 0,8 y 2,7 segundos; utilizar un valor de diseño de 2,5 segundos es el más apropiado para satisfacer el tiempo de reacción de respuesta promedio de los conductores.

La distancia de reacción de respuesta (d1) en metros, se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$d1 = 0,278 \times V \times t$$

En donde: 0,278 es un factor de conversión; V es la velocidad de diseño en km/h y t es el tiempo de reacción que es de 2,50 s como se mencionó anteriormente.

La distancia de frenado (d2) en metros, se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$d2 = V^2 / \{ 254 [f \pm (m / 100)] \}$$

En donde: V es la velocidad inicial en km/h; 254 es un valor de conversión; f es el coeficiente de fricción longitudinal entre el neumático y la superficie de rodadura y m es el valor de la pendiente de la carretera, el cual se suma cuando la pendiente es de ascenso y se resta cuando es de descenso.

El factor de fricción longitudinal (f) es un valor empírico que decrece inversamente proporcional a la velocidad de diseño y se ve afectado por las siguientes variables: diseño, espesor y resistencia a la deformación y dureza del material del neumático, condición y tipo de la superficie de rodadura de la carretera, condiciones meteorológicas y eficiencia del sistema de frenos del vehículo.

La selección del factor de fricción longitudinal (f) debe representar las condiciones más adversas posibles: pavimento húmedo, neumáticos en diferentes condiciones de desgaste, diferencia de calidad de los vehículos y diferencia en la habilidad del conductor.

La sustitución de la velocidad de diseño por la velocidad promedio de ruedo es otra variable que el diseñador puede adicionar para seleccionar un valor de factor de fricción longitudinal (f).

Si se cuentan con datos fidedignos, la distancia de frenado en bajada se debe diseñar con el valor de la velocidad promedio de ruedo y la de subida con el valor de la velocidad de diseño. Se aplicará el ajuste por pendiente cuando la carretera es dividida o existen secciones típicas distintas para cada uno de los sentidos de circulación; en caso contrario, tratándose de carreteras no divididas, no se tomará en cuenta este ajuste (el alineamiento se diseña con una pendiente de 0,00 %), siempre que a juicio del diseñador y según las características que presente el tramo analizado no lo amerite.

Tabla II. Distancias de visibilidad de parada

Velocidad de diseño en km/h	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00
Velocidad de ruedo en km/h	20,00 a 40,00	30,00 a 50,00	40,00 a 60,00	50,00 a 70,00	60,00 a 80,00	70,00 a 90,00	80,00 a 100,00	90,00 a 110,00
Tiempo de percepción y reacción en s	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Distancia de percepción y reacción en m	20,85	27,80	34,75	41,70	48,65	55,60	62,55	69,50
Coefficiente de fricción	0,40	0,38	0,35	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29
Distancia de frenado en m	28,00 a 33,00	41,00 a 50,00	57,00 a 73,00	76,00 a 101,00	95,00 a 133,00	118,00 a 171,00	144,00 a 215,00	173,00 a 267,00
Distancia de parada con un + 9,00 % de pendiente en m	28,08	41,20	57,12	76,27	95,70	118,59	144,32	173,10
Distancia de parada con un + 6,00 % de pendiente en m	28,55	42,12	58,76	78,04	99,42	123,70	151,13	181,98
Distancia de parada con un + 3,00 % de pendiente en m	29,09	43,16	60,65	81,07	103,77	129,71	159,18	192,53
Distancia de parada con un 0,00 % de pendiente en m	29,71	44,38	62,87	84,65	108,94	136,88	168,85	205,26
Distancia de parada con un - 3,00 % de pendiente en m	30,43	45,80	65,51	88,94	115,17	145,59	180,66	220,92
Distancia de parada con un - 6,00 % de pendiente en m	30,69	47,48	68,69	94,19	122,85	156,39	195,42	240,67
Distancia de parada con un - 9,00 % de pendiente en m	32,28	49,52	72,61	100,76	132,52	170,13	214,41	266,35

Fuente: elaboración propia.

La distancia de visibilidad de parada no contempla situaciones en las que el conductor debe realizar maniobras imprevistas; por lo que el diseñador puede utilizar la distancia de visibilidad de decisión, que es la distancia requerida por un conductor, para que pueda detectar una situación inesperada dentro de la vía de la carretera, reconocerla y seleccionar una trayectoria y velocidad apropiada para maniobrar de manera eficiente y segura.

Tabla III. Distancias de visibilidad de decisión

Velocidad de diseño en km/h		30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00
Detención en carretera rural en m	- 0,09 %	50,00	60,00	70,00	90,00	110,00	129,96	155,00	190,00
	- 0,06 %	50,00	60,00	75,00	90,00	110,00	135,56	165,00	200,00
	- 0,03 %	50,00	60,00	75,00	95,00	115,00	142,14	170,00	215,00
	0,00 %	50,00	60,00	75,00	95,00	120,00	150,00	180,00	225,00
	+ 0,03 %	55,00	65,00	80,00	100,00	130,00	160,00	195,00	245,00
	+ 0,06 %	55,00	65,00	85,00	110,00	140,00	175,00	210,00	265,00
	+ 0,09 %	55,00	70,00	90,00	115,00	150,00	190,00	230,00	295,00
Detención en carretera suburbana o urbana en m	- 0,09 %	110,00	130,00	150,00	185,00	215,00	255,00	300,00	350,00
	- 0,06 %	115,00	135,00	150,00	190,00	220,00	265,00	315,00	370,00
	- 0,03 %	115,00	140,00	155,00	195,00	230,00	275,00	330,00	390,00
	0,00 %	115,00	140,00	160,00	200,00	240,00	290,00	350,00	415,00
	+ 0,03 %	120,00	145,00	170,00	215,00	255,00	310,00	375,00	450,00
	+ 0,06 %	120,00	150,00	175,00	225,00	275,00	335,00	410,00	490,00
	+ 0,09 %	125,00	160,00	185,00	240,00	295,00	365,00	445,00	540,00
Cambio de velocidad, trayectoria y dirección en carretera rural en m	- 0,09 %	105,00	125,00	140,00	160,00	185,00	205,00	240,00	270,00
	- 0,06 %	110,00	125,00	145,00	165,00	190,00	215,00	250,00	280,00
	- 0,03 %	110,00	130,00	145,00	170,00	200,00	225,00	260,00	300,00
	0,00 %	110,00	130,00	150,00	175,00	205,00	235,00	275,00	315,00
	+ 0,03 %	115,00	135,00	160,00	185,00	220,00	250,00	295,00	340,00
	+ 0,06 %	115,00	140,00	165,00	195,00	235,00	270,00	320,00	370,00
	+ 0,09 %	120,00	150,00	175,00	210,00	250,00	295,00	350,00	410,00
Cambio de velocidad, trayectoria y dirección en carretera suburbana en m	- 0,09 %	115,00	130,00	150,00	180,00	200,00	230,00	270,00	310,00
	- 0,06 %	120,00	135,00	155,00	185,00	210,00	240,00	285,00	325,00
	- 0,03 %	120,00	140,00	160,00	190,00	215,00	255,00	300,00	345,00
	0,00 %	120,00	140,00	165,00	195,00	225,00	265,00	315,00	365,00
	+ 0,03 %	125,00	145,00	175,00	205,00	240,00	285,00	340,00	395,00
	+ 0,06 %	125,00	150,00	185,00	220,00	255,00	305,00	365,00	430,00
	+ 0,09 %	135,00	160,00	195,00	235,00	275,00	330,00	400,00	475,00
Cambio de velocidad, trayectoria y dirección en carretera urbana en m	- 0,09 %	150,00	170,00	190,00	215,00	240,00	270,00	305,00	345,00
	- 0,06 %	150,00	175,00	195,00	220,00	250,00	285,00	320,00	360,00
	- 0,03 %	155,00	180,00	200,00	230,00	260,00	295,00	335,00	380,00
	0,00 %	155,00	180,00	205,00	235,00	270,00	310,00	355,00	405,00
	+ 0,03 %	160,00	190,00	215,00	250,00	290,00	330,00	380,00	440,00
	+ 0,06 %	165,00	195,00	225,00	265,00	305,00	355,00	415,00	475,00
	+ 0,09 %	170,00	205,00	240,00	280,00	330,00	390,00	455,00	530,00

Fuente: elaboración propia.

La longitud de la distancia de visibilidad de decisión siempre será mayor a la de la distancia de visibilidad de parada. Las distancias de visibilidad de decisión están calculadas de manera empírica y están regidas por cinco posibles situaciones imprevistas: detención en carretera rural, detención en carretera suburbana o urbana, cambio de velocidad, trayectoria y dirección en carretera rural, cambio de velocidad, trayectoria y dirección en carretera suburbana y cambio de velocidad, trayectoria y dirección en carretera urbana.

2.4.2. Distancia de visibilidad de adelantamiento

La distancia de visibilidad de adelantamiento es la distancia mínima de visibilidad que necesita el conductor de un vehículo para adelantar a otro, de manera cómoda y segura, que circula dentro del mismo carril con una misma dirección y que se desplaza a una velocidad menor.

La maniobra de adelantamiento al invadir el carril del sentido de circulación opuesto no debe afectar la velocidad del vehículo que se acerca en sentido contrario.

La distancia debe ser la suficiente para que el conductor, al percibir la proximidad del vehículo que se acerca en sentido opuesto, pueda retornar a su carril. Las variables que determinan la distancia de visibilidad de adelantamiento son:

- Al vehículo a adelantar se desplaza con una velocidad uniforme.
- El vehículo que adelantará viaja a la misma velocidad uniforme del vehículo a adelantar mientras espera por la oportunidad idónea para realizar la maniobra.

- Tiempo de percepción y reacción del conductor que realiza la maniobra de adelantamiento.
- La velocidad del vehículo que adelanta durante la maniobra será en promedio 15,00 km/h mayor a la del vehículo a adelantar.
- Distancia de seguridad entre el vehículo que adelanta y el que se acerca en sentido opuesto.
- El vehículo que adelanta y el que se acerca en sentido opuesto viajan a la misma velocidad promedio.
- Solamente un vehículo es adelantado en cada maniobra efectuada.
- La velocidad del vehículo a adelantar es la velocidad de ruedo promedio que tiene la carretera.

La distancia de visibilidad de adelantamiento solo se utiliza en el diseño de carreteras de dos carriles de circulación contrarios, ya que la acción de adelantar no se presenta en carreteras divididas y no divididas de carriles múltiples. La distancia de visibilidad de adelantamiento (D_a) se calcula utilizando la ecuación:

$$D_a = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$$

En donde: d_1 es la distancia preliminar de demora, d_2 es la distancia de adelantamiento, d_3 es la distancia de seguridad y d_4 es la distancia de recorrido del vehículo que se aproxima en sentido opuesto.

La distancia preliminar de demora (d1) se calcula con la ecuación:

$$d1 = 0,278 \times t1 \times [V1 - m + (0,5 \times a \times t1)]$$

En donde: 0,278 y 0,5 son factores de conversión, t1 es el tiempo de maniobra inicial en s, V1 es la velocidad promedio del vehículo que adelanta en km/h, m es la diferencia de velocidad entre el vehículo que adelanta (V1) y el que es adelantado (V2) en km/h y a es la aceleración promedio durante el inicio de la maniobra del vehículo que adelanta en km/h/s.

La distancia de adelantamiento (d2) se calcula con la ecuación:

$$d2 = 0,278 \times V1 \times t2$$

En donde: 0,278 es un factor de conversión, V1 es la velocidad promedio del vehículo que adelanta en km/h y t2 es el tiempo de ocupación del carril opuesto en s.

La distancia de seguridad (d3) es un valor empírico comprendido entre 30,00 y 100,00 m.

La distancia de recorrido del vehículo que se aproxima en sentido opuesto (d4) es un valor empírico que corresponde a 2/3 de la distancia de adelantamiento (d2). (Consultar la tabla IV, referente a distancia de visibilidad de adelantamiento).

Tabla IV. Distancias de visibilidad de adelantamiento

Pendiente	Velocidad de diseño en km/h	Tiempo maniobra inicial (t1) en s	Velocidad promedio (V1) en km/h	Velocidad promedio (V2) en km/h	Diferencia de velocidad km/h	Aceleración promedio (a) en km/h/s	Tiempo ocupación de carril (t2) en s	Distancia demora (d1) en m	Distancia adelant. (d2) en m	Distancia segura (d3) en m	Distancia recorrida (d4) en m	Distancia visibilidad (Da) en m
- 9.00 %	30,00	4,90	30,00	15,00	15,00	1,92	12,3	15,00	105,00	90,00	70,00	280,00
	40,00	5,10	40,00	25,00	15,00	1,95	12,7	30,00	140,00	100,00	95,00	365,00
	50,00	5,30	45,00	30,00	15,00	1,98	13,1	40,00	160,00	110,00	110,00	420,00
	60,00	5,50	50,00	35,00	15,00	2,01	13,5	45,00	190,00	120,00	125,00	480,00
	70,00	5,70	60,00	45,00	15,00	2,04	13,9	65,00	230,00	130,00	155,00	580,00
	80,00	5,90	65,00	50,00	15,00	2,07	14,3	75,00	255,00	140,00	175,00	645,00
	90,00	6,10	75,00	60,00	15,00	2,10	14,7	90,00	310,00	150,00	205,00	755,00
	100,00	6,30	85,00	70,00	15,00	2,13	15,1	110,00	360,00	160,00	240,00	870,00
- 6.00 %	30,00	4,30	35,00	20,00	15,00	2,01	11,1	20,00	105,00	70,00	75,00	270,00
	40,00	4,50	45,00	30,00	15,00	2,04	11,5	35,00	145,00	80,00	95,00	355,00
	50,00	4,70	50,00	35,00	15,00	2,07	11,9	40,00	170,00	90,00	110,00	410,00
	60,00	4,90	55,00	40,00	15,00	2,10	12,3	50,00	190,00	100,00	125,00	465,00
	70,00	5,10	65,00	50,00	15,00	2,13	12,7	65,00	230,00	110,00	155,00	560,00
	80,00	5,30	70,00	55,00	15,00	2,16	13,1	75,00	255,00	120,00	170,00	620,00
	90,00	5,50	80,00	65,00	15,00	2,19	13,5	90,00	305,00	130,00	200,00	725,00
	100,00	5,70	90,00	75,00	15,00	2,22	13,9	110,00	345,00	140,00	235,00	830,00
- 3.00 %	30,00	3,70	40,00	25,00	15,00	2,10	9,9	25,00	110,00	50,00	75,00	260,00
	40,00	3,90	50,00	35,00	15,00	2,13	10,3	35,00	145,00	60,00	95,00	335,00
	50,00	4,10	55,00	40,00	15,00	2,16	10,7	40,00	165,00	70,00	110,00	385,00
	60,00	4,30	60,00	45,00	15,00	2,19	11,1	50,00	185,00	80,00	125,00	440,00
	70,00	4,50	70,00	55,00	15,00	2,22	11,5	65,00	225,00	90,00	150,00	530,00
	80,00	4,70	75,00	60,00	15,00	2,25	11,9	75,00	250,00	100,00	165,00	590,00
	90,00	4,90	85,00	70,00	15,00	2,28	12,3	90,00	290,00	110,00	195,00	685,00
	100,00	5,10	95,00	80,00	15,00	2,31	12,7	105,00	335,00	120,00	225,00	785,00
0.00 %	30,00	3,10	45,00	30,00	15,00	2,19	8,7	25,00	130,00	30,00	75,00	235,00
	40,00	3,30	55,00	40,00	15,00	2,22	9,1	35,00	175,00	40,00	95,00	310,00
	50,00	3,50	60,00	45,00	15,00	2,25	9,5	40,00	195,00	50,00	105,00	355,00
	60,00	3,70	65,00	50,00	15,00	2,28	9,9	50,00	220,00	60,00	120,00	410,00
	70,00	3,90	75,00	60,00	15,00	2,31	10,3	60,00	270,00	70,00	145,00	490,00
	80,00	4,10	80,00	65,00	15,00	2,34	10,7	70,00	300,00	80,00	160,00	550,00
	90,00	4,30	90,00	75,00	15,00	2,37	11,1	85,00	465,00	90,00	185,00	640,00
	100,00	4,50	100,00	85,00	15,00	2,40	11,5	100,00	535,00	100,00	215,00	735,00
+ 3.00 %	30,00	2,50	50,00	35,00	15,00	2,28	8,7	25,00	120,00	50,00	80,00	275,00
	40,00	2,70	60,00	45,00	15,00	2,31	9,1	35,00	145,00	60,00	105,00	345,00
	50,00	2,90	65,00	50,00	15,00	2,34	9,5	40,00	170,00	70,00	115,00	395,00
	60,00	3,10	70,00	55,00	15,00	2,37	9,9	45,00	195,00	80,00	130,00	450,00
	70,00	3,30	80,00	65,00	15,00	2,40	10,3	55,00	230,00	90,00	155,00	530,00
	80,00	3,50	85,00	70,00	15,00	2,43	10,7	65,00	255,00	100,00	170,00	590,00
	90,00	3,70	95,00	80,00	15,00	2,46	11,1	80,00	295,00	110,00	195,00	680,00
	100,00	3,90	105,00	90,00	15,00	2,49	11,5	95,00	335,00	120,00	225,00	775,00
+ 6.00 %	30,00	1,90	55,00	40,00	15,00	2,37	8,7	20,00	135,00	70,00	90,00	315,00
	40,00	2,10	65,00	50,00	15,00	2,40	9,1	30,00	165,00	80,00	110,00	385,00
	50,00	2,30	70,00	55,00	15,00	2,43	9,5	35,00	185,00	90,00	125,00	435,00
	60,00	2,50	75,00	60,00	15,00	2,46	9,9	40,00	205,00	100,00	140,00	485,00
	70,00	2,70	85,00	70,00	15,00	2,49	10,3	50,00	245,00	110,00	165,00	570,00
	80,00	2,90	90,00	75,00	15,00	2,52	10,7	60,00	265,00	120,00	180,00	625,00
	90,00	3,10	100,00	85,00	15,00	2,55	11,1	70,00	310,00	130,00	205,00	715,00
	100,00	3,30	110,00	95,00	15,00	2,58	11,5	85,00	350,00	140,00	235,00	810,00
+ 9.00 %	30,00	1,30	60,00	45,00	15,00	2,46	8,7	15,00	145,00	90,00	100,00	350,00
	40,00	1,50	70,00	55,00	15,00	2,49	9,1	25,00	175,00	100,00	120,00	420,00
	50,00	1,70	75,00	60,00	15,00	2,52	9,5	30,00	195,00	110,00	135,00	470,00
	60,00	1,90	80,00	65,00	15,00	2,55	9,9	35,00	220,00	120,00	150,00	525,00
	70,00	2,10	90,00	75,00	15,00	2,58	10,3	45,00	255,00	130,00	175,00	605,00
	80,00	2,30	95,00	80,00	15,00	2,61	10,7	50,00	285,00	140,00	190,00	665,00
	90,00	2,50	105,00	90,00	15,00	2,64	11,1	60,00	330,00	150,00	215,00	755,00
	100,00	2,70	115,00	100,00	15,00	2,67	11,5	75,00	370,00	160,00	245,00	850,00

Fuente: elaboración propia.

2.4.3. Distancia visual

Distancia visual es la distancia mínima requerida por el conductor de un vehículo para visualizar un objeto de cierta altura establecida. Las distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento están relacionadas con la altura de visión del conductor y de la altura del objeto que se observa. La altura de visión del conductor se establece en 1,07 m para vehículos livianos y entre 1,80 a 2,40 m para vehículos pesados. Para la distancia de visibilidad de parada se utiliza 0,15 m como la altura del objeto y para la distancia de adelantamiento se utiliza una altura de 1,30 m.

La distancia visual se ve limitada por obstrucciones como taludes, vegetación, etc., cuando los vehículos se desplazan por el carril interior de las curvas horizontales, por lo que para la distancia de visibilidad de adelantamiento se utiliza 1,10 m como la altura del objeto.

2.5. Alineamiento horizontal

Es la proyección en planta que tiene la carretera sobre el plano horizontal; es el trazo en donde se puede verificar y diseñar todos los tramos que comprende una carretera junto con sus tangentes y curvas.

2.5.1. Curvas horizontales y peraltes

Cuando un vehículo transita dentro de una curva horizontal, se ve sometido a fuerzas centrípetas que impiden que el conductor opere el vehículo de manera segura, por lo que para contrarrestar estos inconvenientes, al diseñar curvas horizontales es necesario utilizar criterios mínimos de seguridad como:

- Radio mínimo y grado máximo de curva
- Porcentaje o tasa de sobreelevación o peralte mínimo y máximo
- Factor de fricción mínimo y máximo
- Longitud de transición mínima o curva espiralada cuando se pasa de una sección en tangente a una curva

El peralte o factor de fricción están directamente relacionados con la fuerza centrípeta, la igualdad que establece esta relación es la siguiente:

$$e + Ffl = V^2 / (127 \times R)$$

En donde: e es la tasa de sobreelevación o peralte (expresada como fracción decimal), Ffl es el factor de fricción lateral, V es la velocidad de diseño en km/h, 127 es un factor de conversión y R es el radio de la curva en m.

2.5.2. Factor de fricción lateral y peralte

El factor de fricción lateral (Ffl) es un valor que relaciona la dificultad o incomodidad que tendrá un conductor para maniobrar un vehículo mientras transita dentro de una curva horizontal a una velocidad determinada y la resistencia al deslizamiento que se requiere para realizar esta maniobra. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ffl = Ff / my$$

En donde: Ff es la fuerza de fricción existente entre la superficie de rodadura del pavimento y los neumáticos de un vehículo y my es la componente de la masa (peso) del vehículo perpendicular al pavimento.

El factor de fricción lateral es inversamente proporcional a la velocidad, disminuirá mientras mayor sea la velocidad, debido a que provocará una menor fricción para contrarrestar la fuerza centrípeta. Su valor no debe ser menor de 0,10.

Los elementos que afectan al factor de fricción lateral son:

- Velocidad del vehículo
- Condiciones climáticas existentes
- Estado y tipo de la superficie de rodadura
- Estado, textura y forma de manufactura de los neumáticos del vehículo

El peralte o sobreelevación es la elevación de nivel que se le imprime a la corona de la carretera en una curva horizontal, del lado opuesto al que vira un vehículo, para contrarrestar la fuerza centrípeta y el efecto adverso de la fricción que se produce entre los neumáticos y la carpeta de rodadura.

Los factores que afectan al peralte son:

- Condiciones climáticas
- Tipo de zona (rural, suburbana o urbana)
- Densidad de vehículos que se desplazan a baja velocidad y condición del terreno

El peralte no debe exceder la tasa de 0,12 en zonas rurales y de 0,06 en zonas suburbanas y urbanas.

Tabla V. Radios y grados de curvatura según factor de fricción lateral y peralte máximo

Peralte máximo	Velocidad de diseño en km/h	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00
	Factor de fricción lateral máximo	0,1800	0,1714	0,1628	0,1543	0,1457	0,1371	0,1286	0,1200
1,00 %	Radio (m)	37,30	69,45	113,92	172,53	247,80	342,58	460,17	605,69
	Grado curva	30° 43' 23.77"	16° 29' 58.59"	10° 03' 32.84"	6° 38' 30.79"	4° 37' 27.59"	3° 20' 41.80"	2° 29' 24.73"	1° 53' 30.86"
2,00 %	Radio (m)	35,43	65,82	107,69	162,63	232,85	320,77	429,20	562,43
	Grado curva	32° 20' 25.02"	17° 24' 33.05"	10° 38' 28.49"	7° 02' 46.10"	4° 55' 16.80"	3° 34' 20.42"	2° 40' 11.53"	2° 02' 14.78"
3,00 %	Radio (m)	33,75	62,55	102,10	153,81	219,59	301,58	402,14	524,93
	Grado curva	33° 57' 26.28"	18° 19' 07.50"	11° 13' 24.14"	7° 27' 01.42"	5° 13' 06.01"	3° 47' 59.03"	2° 50' 58.34"	2° 10' 58.69"
4,00 %	Radio (m)	32,21	59,60	97,07	145,89	207,77	284,55	378,29	492,13
	Grado curva	35° 34' 27.53"	19° 13' 41.95"	11° 48' 19.79"	7° 51' 16.73"	5° 30' 55.22"	4° 01' 37.64"	3° 01' 45.14"	2° 19' 42.60"
5,00 %	Radio (m)	30,81	56,90	92,50	138,75	197,15	269,34	357,11	463,18
	Grado curva	37° 11' 28.78"	20° 08' 16.41"	12° 23' 15.44"	8° 15' 32.04"	5° 48' 44.43"	4° 15' 16.26"	3° 12' 31.95"	2° 28' 26.51"
6,00 %	Radio (m)	29,53	54,44	88,35	132,27	187,57	255,68	338,17	437,45
	Grado curva	38° 48' 30.03"	21° 02' 50.86"	12° 58' 11.09"	8° 39' 47.35"	6° 06' 33.64"	4° 28' 54.87"	3° 23' 18.76"	2° 37' 10.43"
7,00 %	Radio (m)	28,35	52,19	84,56	126,38	178,87	243,33	321,15	414,42
	Grado curva	40° 25' 31.28"	21° 57' 25.32"	13° 33' 06.74"	9° 04' 02.67"	6° 24' 22.85"	4° 42' 33.48"	3° 34' 05.56"	2° 45' 54.34"
8,00 %	Radio (m)	27,26	50,11	81,08	120,98	170,95	232,12	305,75	393,70
	Grado curva	42° 02' 32.53"	22° 51' 59.77"	14° 08' 02.39"	9° 28' 17.98"	6° 42' 12.06"	4° 56' 12.10"	3° 44' 52.37"	2° 54' 38.25"
9,00 %	Radio (m)	26,25	48,20	77,87	116,03	163,69	221,90	291,76	374,95
	Grado curva	43° 39' 33.78"	23° 46' 34.22"	14° 42' 58.04"	9° 52' 33.29"	7° 00' 01.26"	5° 09' 50.71"	3° 55' 39.17"	3° 03' 22.16"
10,00 %	Radio (m)	25,31	46,42	74,91	111,47	157,03	212,54	279,00	357,91
	Grado curva	45° 16' 35.03"	24° 41' 8.68"	15° 17' 53.69"	10° 16' 48.60"	7° 17' 50.48"	5° 23' 29.32"	4° 06' 25.98"	3° 12' 06.08"
11,00 %	Radio (m)	24,44	44,77	72,16	107,25	150,89	203,94	267,31	342,35
	Grado curva	46° 53' 36.29"	25° 35' 43.13"	15° 52' 49.34"	10° 41' 03.92"	7° 35' 39.68"	5° 37' 07.94"	4° 17' 12.78"	3° 20' 49.99"
12,00 %	Radio (m)	23,62	43,23	69,61	103,34	145,21	196,01	256,55	328,08
	Grado curva	48° 30' 37.54"	26° 30' 17.58"	16° 27' 44.99"	11° 05' 19.23"	7° 53' 28.89"	5° 50' 46.55"	4° 27' 59.59"	3° 29' 33.90"

Fuente: elaboración propia.

2.5.3. Distribución de factor de fricción lateral y peralte

Los valores del factor de fricción lateral decrecerán geoméricamente conforme la velocidad de diseño aumenta de forma aritmética, por lo que se debe aumentar de forma geométrica la tasa de peralte para contrarrestar el efecto de incomodidad o dificultad de maniobra que podrían sufrir los conductores de los vehículos durante su transición dentro de las curvas horizontales.

Debido a que no es recomendable aumentar la tasa de peralte más de 12,00 % y el factor de fricción lateral no puede ser menor a 0,10, cuando se diseñen curvas horizontales para altas velocidades de diseño se debe reducir los grados de curvatura.

2.5.4. Radio mínimo y grado máximo de curva

El radio mínimo de curva es el valor límite de curvatura que podrá satisfacer la velocidad de diseño seleccionada, para evitar que cuando se alcance la tasa de peralte máximo y el factor de fricción mínimo seleccionados, no se pierda el control de los vehículos que transiten por la curva.

Los vehículos pierden el control dentro de una curva debido a cualquiera de las siguientes causas:

- Una insuficiente tasa de peralte que contrarreste la velocidad
- Un factor de fricción lateral insuficiente entre los neumáticos y la carpeta de rodadura que produce el deslizamiento del vehículo
- Por una combinación de ambos casos anteriores

Para calcular el radio mínimo de curva (R) se utiliza la siguiente ecuación:

$$R = V^2 / [127 \times (e + Ffl)]$$

En donde: V es la velocidad de diseño en km/h, 127 es un factor de conversión, e es la tasa máxima de peralte seleccionada expresada en fracción decimal y Ffl es el factor mínimo de fricción lateral seleccionado.

Tabla VI. Radio mínimo, grado máximo de curva, peralte recomendado, longitud de curva espiralada, longitud de doble bombeo y delta mínimo recomendado

Velocidad diseño	30 km/h		40 km/h		50 km/h		60 km/h		70 km/h		80 km/h		90 km/h		100 km/h	
	1/2 D.B. = 27	Delta e %	1/2 D.B. = 30	Delta e %	1/2 D.B. = 33	Delta e %	1/2 D.B. = 37	Delta e %	1/2 D.B. = 40	Delta e %	1/2 D.B. = 43	Delta e %	1/2 D.B. = 46	Delta e %	1/2 D.B. = 50	Delta e %
1°	1.145.916	0.6	1.1	22	1.5	28	1.4	34	1.8	39	2.5	45	3.1	50	3.8	56
2°	572.988	1.2	2.0	22	2.8	28	2.8	34	3.8	39	4.9	45	6.2	51	7.7	64
3°	381.972	1.7	3.0	22	4.0	28	4.1	34	5.6	40	7.3	50	8.9	59	10.9	83
4°	286.479	2.3	4.5	22	6.0	28	6.0	34	8.7	49	11.6	57	14.3	67	17.7	109
5°	229.183	2.8	6.0	22	8.2	28	8.2	34	11.6	49	15.5	57	19.4	69	24.4	143
6°	190.986	3.3	8.2	22	11.6	28	11.6	34	16.1	49	21.9	57	27.7	71	34.4	188
7°	163.702	3.7	11.6	22	16.1	28	16.1	34	22.4	49	30.3	57	39.6	77	48.8	244
8°	143.239	4.2	16.1	22	22.4	28	22.4	34	30.3	49	41.1	57	53.1	83	66.1	313
9°	127.324	4.6	22.4	22	30.3	28	30.3	34	41.1	49	54.4	57	71.1	90	88.1	394
10°	114.592	5.0	30.3	22	41.1	28	41.1	34	54.4	49	72.4	57	94.4	99	116.1	488
11°	104.174	5.3	41.1	22	54.4	28	54.4	34	72.4	49	99.1	57	127.1	109	157.1	599
12°	95.493	5.7	54.4	22	72.4	28	72.4	34	99.1	49	133.1	57	167.1	121	211.1	738
13°	88.147	6.0	72.4	22	99.1	28	99.1	34	133.1	49	180.1	57	224.1	134	284.1	914
14°	81.851	6.3	99.1	22	133.1	28	133.1	34	180.1	49	241.1	57	303.1	148	384.1	1121
15°	76.394	6.6	133.1	22	180.1	28	180.1	34	241.1	49	314.1	57	403.1	163	504.1	1361
16°	71.620	6.8	180.1	22	241.1	28	241.1	34	314.1	49	403.1	57	534.1	179	654.1	1631
17°	67.407	7.0	241.1	22	314.1	28	314.1	34	403.1	49	514.1	57	684.1	196	834.1	1941
18°	63.662	7.3	314.1	22	403.1	28	403.1	34	514.1	49	644.1	57	844.1	214	1044.1	2291
19°	60.311	7.5	403.1	22	514.1	28	514.1	34	644.1	49	794.1	57	1024.1	233	1284.1	2781
20°	57.296	7.7	514.1	22	644.1	28	644.1	34	794.1	49	964.1	57	1234.1	243	1554.1	3321
21°	54.567	7.9	644.1	22	794.1	28	794.1	34	964.1	49	1154.1	57	1474.1	254	1854.1	3921
22°	52.087	8.0	794.1	22	964.1	28	964.1	34	1154.1	49	1394.1	57	1724.1	265	2184.1	4581
23°	49.822	8.2	964.1	22	1154.1	28	1154.1	34	1394.1	49	1634.1	57	2034.1	277	2544.1	5301
24°	47.747	8.4	1154.1	22	1394.1	28	1394.1	34	1634.1	49	1914.1	57	2384.1	290	2944.1	6081
25°	45.837	8.5	1394.1	22	1634.1	28	1634.1	34	1914.1	49	2234.1	57	2784.1	304	3384.1	6921
26°	44.074	8.7	1634.1	22	1914.1	28	1914.1	34	2234.1	49	2614.1	57	3224.1	319	3864.1	7821
27°	42.441	8.8	1914.1	22	2234.1	28	2234.1	34	2614.1	49	3034.1	57	3664.1	335	4384.1	8781
28°	40.926	9.0	2234.1	22	2614.1	28	2614.1	34	3034.1	49	3494.1	57	4124.1	351	4944.1	9801
29°	39.514	9.1	2614.1	22	3034.1	28	3034.1	34	3494.1	49	3964.1	57	4584.1	368	5544.1	10881
30°	38.197	9.2	3034.1	22	3494.1	28	3494.1	34	3964.1	49	4434.1	57	5064.1	386	6184.1	12021
31°	36.965	9.3	3494.1	22	3964.1	28	3964.1	34	4434.1	49	4914.1	57	5584.1	405	6864.1	13221
32°	35.810	9.4	3964.1	22	4434.1	28	4434.1	34	4914.1	49	5394.1	57	6144.1	425	7584.1	14481
33°	34.725	9.5	4434.1	22	4914.1	28	4914.1	34	5394.1	49	5864.1	57	6764.1	446	8344.1	15801
34°	33.703	9.6	4914.1	22	5394.1	28	5394.1	34	5864.1	49	6414.1	57	7444.1	468	9144.1	17181
35°	32.740	9.7	5394.1	22	5864.1	28	5864.1	34	6414.1	49	6994.1	57	8084.1	491	9984.1	18621
36°	31.831	9.8	5864.1	22	6414.1	28	6414.1	34	6994.1	49	7614.1	57	8784.1	515	10804.1	20121
37°	30.971	9.8	6414.1	22	6994.1	28	6994.1	34	7614.1	49	8264.1	57	9544.1	540	11724.1	21681
38°	30.156	9.9	6994.1	22	7614.1	28	7614.1	34	8264.1	49	8914.1	57	10384.1	566	12664.1	23301
39°	29.382	9.9	7614.1	22	8264.1	28	8264.1	34	8914.1	49	9614.1	57	11264.1	593	13624.1	24981
40°	28.648	9.9	8264.1	22	8914.1	28	8914.1	34	9614.1	49	10344.1	57	12184.1	621	14614.1	26721
41°	27.949	10.0	8914.1	22	9614.1	28	9614.1	34	10344.1	49	11064.1	57	13144.1	650	15634.1	28521
42°	27.284	10.0	9614.1	22	10344.1	28	10344.1	34	11064.1	49	11844.1	57	14144.1	680	16684.1	30381
43°	26.649	10.0	10344.1	22	11064.1	28	11064.1	34	11844.1	49	12664.1	57	15184.1	711	17764.1	32301

La longitud de curva espiralada (Ls) está dada en metros.
1/2 D.B. = distancia de doble bombeo por cada uno de los lados de la curva (en metros).

Fuente: elaboración propia.

El grado de curva (G) es el ángulo que sustenta una longitud de arco de 20,00 m y que tiene su origen en el centro de una circunferencia de radio R. Para calcularlo se utiliza la siguiente ecuación:

$$G = 1\,145,916 / R$$

En donde: 1 145,916 es un valor predeterminado y R es el radio de la curva en metros.

2.5.5. Curvas espiraladas

Las curvas espiraladas son curvas de transición que sustituyen a las curvas horizontales originales del diseño geométrico de la carretera ya que poseen una trayectoria que permite:

- Una transición más segura y cómoda para el conductor y los pasajeros de los vehículos que se desplazan dentro de una curva y las tangentes a las que une.
- Disminuir el efecto de la fuerza centrípeta a la que se ven sometidos los vehículos.
- Tener una mayor longitud de curva por lo que se podrá distribuir la tasa de peralte y los sobreamanchos de manera más eficaz.
- Mantener a los vehículos inscritos dentro de sus carriles.
- Mejorar la distancia visual de los conductores.

- Mejorar el incremento y el decremento gradual de la aceleración radial.
- Mejorar la apariencia de la carretera.

Para calcular la longitud de una curva espiralada (Ls) se utiliza la siguiente ecuación:

$$L_s = (0,0702 \times V^3) / (R \times C)$$

En donde: 0,0702 es un factor de conversión, V es la velocidad de diseño en km/h, R es la longitud del radio de la curva en m y C es la tasa de incremento de la aceleración centrípeta en m/s³.

Para curvas horizontales que posean radios superiores a 1 500,00 m no es necesario sustituir su trazo original por una curva espiralada.

2.5.6. Sobreanchos

Los sobreanchos son franjas de pavimento extra que se agregan y que corren de forma paralela a los carriles de circulación de curvas horizontales de radios pequeños o de carriles estrechos para aumentar su anchura; esto permite a los vehículos maniobrar de una forma más eficiente, segura, cómoda y económica.

La importancia del sobreancho radica en que permite acomodar la curvatura que describe el eje trasero de los vehículos de mayores longitudes y para corregir la dificultad que experimenta un conductor al tratar de ubicar su vehículo en el centro de su carril de circulación.

Cuando se aplican sobreeanchos se deben tener en cuenta las siguientes indicaciones:

- En curvas no espiraladas, la totalidad del sobreeancho se debe inscribir en el lado interior de la curva, la línea central y el borde exterior no serán alterados.
- Cuando las curvas sean espiraladas, el sobreeancho se divide equitativamente entre los bordes interno y externo de la curva, la línea central se marcará al centro de la distancia existente entre estos nuevos bordes.
- El sobreeancho se aplicará de manera gradual en toda la longitud de la curva teniendo su mayor anchura al centro de la misma.
- Los bordes de la superficie de rodadura deben ser ochavados y tener un desarrollo ligero para que los conductores puedan aprovechar de manera efectiva el sobreeancho.

Para calcular el sobreeancho (S) se utiliza la siguiente ecuación:

$$S = [n \times (R - \sqrt{R^2 - L^2})] + [(0,10 \times V) / \sqrt{R}]$$

En donde: n es el número de carriles, R es el radio de la curva en m, L es la longitud del vehículo de diseño en m, V es la velocidad de diseño en km/h y 0,10 es un factor de conversión.

Tabla VII. Sobranchos de pavimento

Anchura de pista	Pista de 6,00 m (2 carriles de 3,00 m de ancho cada uno)							Pista de 6,60 m (2 carriles de 3,30 m de ancho cada uno)							Pista de 7,20 m (2 carriles de 3,60 m de ancho cada uno)							
	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00	
Velocidad de diseño en km/h																						
Grado de curvatura	1°	A.N.	A.N.	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	
	2°	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	0,60	0,60	0,60	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.
	3°	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,70	0,70	A.N.	A.N.	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.
	4°	0,60	0,60	0,60	0,70	0,70	0,80		A.N.	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60		A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.
	5°	0,60	0,60	0,70	0,80	0,90			0,60	0,60	0,60	0,60	0,60			A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	
	6°	0,60	0,70	0,80	0,90				0,60	0,60	0,60	0,70				A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	A.N.	
	7°	0,70	0,80	0,80	0,90				0,60	0,60	0,60	0,70				A.N.	A.N.	A.N.	0,60			
	8°	0,80	0,80	0,90					0,60	0,60	0,70					A.N.	A.N.	0,60				
	9°	0,80	0,90	1,00					0,60	0,70	0,80					A.N.	0,60	0,60				
	10°	0,90	1,00	1,10					0,70	0,80	0,90					A.N.	0,60	0,60				
	11°	0,90	1,00						0,70	0,80						0,60	0,60					
	12°	1,00	1,10						0,80	0,90						0,60	0,60					
	13°	1,00	1,10						0,80	0,90						0,60	0,60					
	14°	1,10	1,20						0,90	1,00						0,60	0,60					
	15°	1,20	1,30						1,00	1,10						0,60	0,70					
	16°	1,20							1,00							0,60						
	17°	1,30							1,10							0,70						
	18°	1,30							1,10							0,70						
	19°	1,40							1,20							0,80						
	20°	1,40							1,20							0,80						
	21°	1,50							1,30							0,90						
	22°	1,50							1,30							0,90						
	23°	1,60							1,40							1,00						
	24°	1,60							1,40							1,00						
	25°	1,60																				
	26°	1,60																				
	27°	1,60																				
	28°	1,60																				
	29°	1,60																				
	30°	1,60																				
	31°	1,60																				
	32°	1,60																				
	33°	1,60																				
	34°	1,70																				
	35°	1,70																				
	36°	1,80																				
	37°	1,80																				
	38°	1,90																				

A.N. = ancho normal de carril.

Fuente: elaboración propia.

2.5.7. Distancia de visibilidad en curvas horizontales

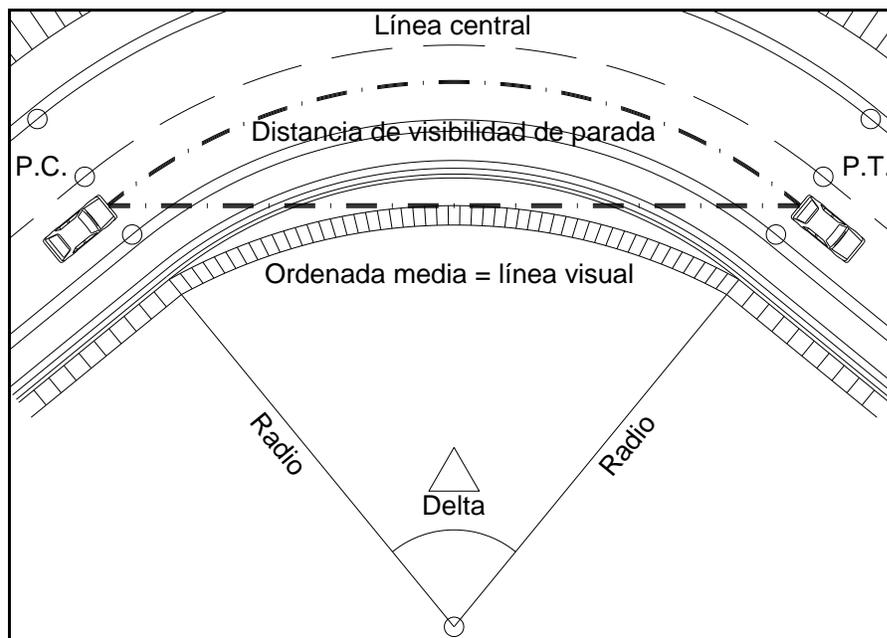
La distancia de visibilidad en el interior de curvas horizontales (D_c) muchas veces es obstruida por objetos que atentan contra la seguridad del desplazamiento de los vehículos tales como: taludes en corte, muros, vegetación, barreras longitudinales, edificaciones, etc.; por lo que se debe tomar la medida pertinente más idónea y económica que corrija esta situación, como el cambio en el alineamiento horizontal o la remoción de estas obstrucciones.

La línea visual del conductor en curvas horizontales será la cuerda de la curva y la distancia de visibilidad de parada (D_p) se medirá a lo largo de la línea central del carril de circulación interior de dicha curva. La distancia necesaria para que la línea visual del conductor no sea afectada por obstrucciones será la ordenada media de la curva y se medirá desde la línea central del carril interior de la curva hasta el borde de la obstrucción. Para calcular la distancia de visibilidad en curvas horizontales (D_c) se usa la siguiente ecuación:

$$D_c = R \times \{ 1 - [0,877565 \times (D_p / R)] \}$$

En donde: R es el radio de la curva en m, D_p es la distancia de visibilidad de parada en m y 0,877565 es un factor de conversión.

Figura 12. **Distancias de visibilidad en curvas horizontales**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2010.

Tabla VIII. Distancias de visibilidad de parada en curvas horizontales

Velocidad de diseño en km/h	30,00		40,00		50,00		60,00		70,00		80,00		90,00		100,00	
	Pendiente		Pendiente		Pendiente		Pendiente		Pendiente		Pendiente		Pendiente		Pendiente	
	+ 9 %	- 9 %	+ 9 %	- 9 %	+ 9 %	- 9 %	+ 9 %	- 9 %	+ 9 %	- 9 %	+ 9 %	- 9 %	+ 9 %	- 9 %	+ 9 %	- 9 %
1 145,916	913,00	995,00	958,00	1 020,00	997,00	1 042,00	1 030,00	1 062,00	1 058,00	1 079,00	1 083,00	1 096,00	1 103,00	1 110,00	1 118,00	1 122,00
572,958	340,00	422,00	385,00	447,00	424,00	469,00	457,00	489,00	485,00	507,00	510,00	523,00	530,00	537,00	545,00	549,00
381,972	149,00	231,00	194,00	256,00	233,00	278,00	266,00	298,00	294,00	316,00	319,00	332,00	339,00	346,00	354,00	358,00
286,479	53,00	135,00	99,00	160,00	138,00	183,00	171,00	203,00	199,00	220,00	223,00	237,00	244,00	251,00	259,00	262,00
229,183	50,00	78,00	50,00	103,00	80,00	126,00	113,00	146,00	141,00	163,00	166,00	180,00	186,00	194,00	201,00	205,00
190,986	50,00	50,00	50,00	65,00	50,00	87,00	75,00	108,00	103,00	125,00	128,00	141,00	148,00	155,00	163,00	167,00
163,702			50,00	50,00	50,00	60,00	50,00	80,00	76,00	97,00	100,00	114,00	121,00	128,00	136,00	140,00
143,239					50,00	50,00	50,00	60,00	55,00	77,00	80,00	94,00	100,00	108,00	115,00	119,00
127,324							50,00	50,00	50,00	61,00	64,00	78,00	84,00	92,00	99,00	103,00
114,592									50,00	50,00	51,00	65,00	72,00	79,00	87,00	90,00
104,174											50,00	55,00	61,00	69,00	76,00	80,00
95,493											50,00	50,00	53,00	60,00	68,00	71,00
88,147	La distancia de visibilidad en curvas horizontales está dada en metros y nunca será menor de 50.												50,00	52,00	60,00	64,00
81,851													50,00	50,00	54,00	58,00
76,394															50,00	52,00
															50,00	50,00
71,620																50,00

Fuente: elaboración propia.

Se puede obtener la distancia de visibilidad de decisión en curvas horizontales, sustituyendo la distancia de parada por la de decisión en la ecuación anterior.

2.5.8. Rampas de emergencia

Las rampas de emergencia son carriles de seguridad que tienen la función de ofrecer una pista auxiliar donde, debido a fallas mecánicas del vehículo, el conductor pueda detener y recuperar el control del mismo. Las rampas de emergencia deben construirse en los lugares donde sea frecuente que los vehículos sufran fallas mecánicas, pérdida del control de la caja de cambios o pierdan el sistema de frenos por sobrecalentamiento; deben ir siempre en tangentes previas a curvas que podrían impedir recuperar el control de los vehículos.

Las rampas de emergencia se deben diseñar preferentemente con una pendiente mínima ascendente del 15,00 % y se deben cubrir con una cama mínima de 0,60 m de espesor de material suelto como gravilla (“resistencia al rodamiento de 250 kg / 1 000 kg”¹⁶) u otro que pueda ofrecer una similar o mejor resistencia al rodamiento.

Al final de las rampas se puede colocar como medida auxiliar un túmulo con pendiente horizontal-vertical 1,50:1,00 de material suelto de 0,50 a 1,50 m de altura.

Las rampas de gravedad son rampas de emergencia pavimentadas; presentan el problema de que necesitan una mayor longitud de pista para que el vehículo pueda detenerse por sí solo.

Para calcular la longitud en m de una rampa de emergencia (De) se utiliza la siguiente ecuación:

$$De = V^2 / [30 \times (R \pm G)]$$

En donde: 30 es un valor de conversión, V es la velocidad de entrada en km/h (la cual es generalmente de 140 km/h), G es el porcentaje de pendiente de la rampa dividida entre 100 (se suma cuando la pendiente de la rampa es ascendente y se resta cuando es descendente) y R es la resistencia al rodamiento del material de revestimiento de la rampa expresada como porcentaje (gravilla = 0,25).

¹⁶ AASHTO. *A policy on geometric design of highways and streets.* p. 313.

Tabla IX. **Longitudes de rampa de emergencia en metros (con superficie de arena suelta)**

Velocidad de entrada en km/h	Pendiente de la rampa. Distancia de la rampa dada en metros.									
	+ 42,00 %	+ 39,00 %	+ 36,00 %	+ 33,00 %	+ 30,00 %	+ 27,00 %	+ 24,00 %	+ 21,00 %	+ 18,00 %	+ 15,00 %
60,00	180,00	188,00	197,00	207,00	219,00	231,00	245,00	261,00	280,00	300,00
70,00	244,00	256,00	268,00	282,00	297,00	315,00	334,00	356,00	380,00	409,00
80,00	319,00	334,00	350,00	368,00	388,00	411,00	436,00	464,00	497,00	534,00
90,00	403,00	422,00	443,00	466,00	491,00	520,00	552,00	587,00	628,00	675,00
100,00	498,00	521,00	547,00	575,00	607,00	642,00	681,00	725,00	776,00	834,00
110,00	602,00	631,00	662,00	696,00	734,00	776,00	824,00	877,00	938,00	1 009,00
120,00	717,00	750,00	787,00	828,00	873,00	924,00	980,00	1 044,00	1 117,00	1 200,00
130,00	841,00	881,00	924,00	972,00	1 025,00	1 084,00	1 150,00	1 225,00	1 311,00	1 409,00
140,00	976,00	1 021,00	1 072,00	1 127,00	1 188,00	1 257,00	1 334,00	1 421,00	1 520,00	1 634,00
150,00	1 120,00	1 172,00	1 230,00	1 294,00	1 364,00	1 443,00	1 531,00	1 631,00	1 745,00	1 875,00
160,00	1 274,00	1 334,00	1 399,00	1 472,00	1 552,00	1 642,00	1 742,00	1 856,00	1 985,00	2 134,00
170,00	1 438,00	1 506,00	1 580,00	1 661,00	1 752,00	1 853,00	1 966,00	2 095,00	2 241,00	2 409,00
180,00	1 612,00	1 688,00	1 771,00	1 863,00	1 964,00	2 077,00	2 205,00	2 348,00	2 512,00	2 700,00
190,00	1 797,00	1 881,00	1 973,00	2 075,00	2 188,00	2 315,00	2 456,00	2 616,00	2 799,00	3 009,00
200,00	1 991,00	2 084,00	2 186,00	2 299,00	2 425,00	2 565,00	2 722,00	2 899,00	3 101,00	3 334,00

Fuente: elaboración propia.

2.5.9. Balance entre curvas y tangentes en el alineamiento horizontal

Para lograr un buen balance entre curvas y tangentes durante el diseño geométrico horizontal de una carretera se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La carretera debe tener el trazo más directo posible entre las poblaciones a las que sirva como enlace, siempre que la topografía, el uso del suelo y los valores de demanda de las poblaciones del lugar de influencia del proyecto lo permitan.

- El trazo de la carretera se debe acomodar lo mejor posible a las condiciones y pendientes del terreno natural y a las proyecciones del crecimiento físico de las poblaciones cercanas para minimizar de esta manera el costo excesivo que representaría un elevado volumen en los trabajos de movimientos de tierras.
- El trazo debe ser lo más fluido posible para la conducción de los vehículos, evitando cualquier cambio brusco entre tangentes y curvas.
- La utilización de curvas con radios mínimos de diseño se debe minimizar, excepto en tramos críticos donde las condiciones del terreno no lo permitan.
- Se utilizará siempre el menor ángulo y el mayor radio de curva que el terreno natural permita.
- Nunca se debe proyectar una curva cerrada que sea antecedida por una tangente de gran longitud.
- Se debe evitar tener tramos de tangentes y curvas de buen desarrollo seguidos por tramos que presenten tangentes cortas y curvas de radios mínimos.
- La longitud de curva en carreteras principales debería tener una distancia mínima de 3 veces la velocidad de diseño.
- En carreteras principales donde la velocidad de diseño sea mayor a 80,00 km/h, la longitud de curva mínima debería ser de 6 veces la velocidad de diseño.

- La utilización de curvas compuestas debe reducirse al mínimo.
- En curvas compuestas, el valor del radio de la curva mayor no debe tener más del doble del valor del radio de la curva menor.
- Cuando exista una tangente de corta longitud entre dos curvas que tengan el mismo sentido, se debe sustituir esta situación por una curva compuesta.
- Cuando entre curvas de sentido distinto, exista una tangente de longitud menor a 100,00 metros, se debe reducir y aumentar respectivamente la tasa del peralte de salida y de entrada de las curvas lo más rápido posible, para evitar problemas en el drenaje transversal de la sección de la carretera.

2.6. Alineamiento vertical

El alineamiento vertical es la silueta del perfil de la línea central de la carretera y depende de la configuración topográfica del terreno donde se localice la obra. Se compone de líneas rectas y curvas en el plano vertical. Las pendientes de ascenso o subidas se identifican con un signo positivo y las pendientes descendentes o bajadas con un signo negativo.

En el diseño del alineamiento vertical se deben considerar los siguientes factores: estética, costo de construcción, comodidad, economía en el costo de operación de los vehículos, visibilidad, accidentalidad, composición del tránsito y relación entre la velocidad y el accionar de la caja de cambios en la operación de los vehículos.

Al diseñar el alineamiento vertical se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- No se debe diseñar curvas cóncavas de corta longitud ya que la estética y la seguridad se ven seriamente afectadas.
- Se debe evitar dos curvas sucesivas con el mismo sentido, separadas por una tangente vertical corta.
- Evitar que las curvas cóncavas de entrada a valles sean de corta longitud, porque durante la noche los conductores no podrán visualizar de forma correcta la carretera.
- No se debe diseñar curvas cóncavas en corte porque no se podrá drenar la carretera.
- Evitar diseñar curvas convexas en corte cuando las pendientes que unan sean mínimas, porque el drenaje será pobre.
- Evitar que los vehículos queden ocultos, por lo que los cambios de pendiente se deben generar de forma gradual.
- Cuando el desnivel a salvar sea considerable, se debe iniciar el ascenso con una pendiente fuerte y disminuirla al acercarse a la cresta o se deben añadir tramos alternos de pendiente suave como descansos.
- Cuando se utilicen largas pendientes uniformes, se debe implementar un carril adicional de ascenso.

- Evitar el exceso de curvas verticales seguidas.

2.6.1. Tipología del terreno

La tipología del terreno influye en la frecuencia e inclinación de las pendientes a las que se verán sometidos los vehículos que circulen por una carretera, de forma idónea; los vehículos deben circular a la mayor velocidad segura posible sin necesidad de detenerse en los ascensos o que desarrollen altas velocidades en los descensos que disminuyan la seguridad.

Los vehículos pesados son los que se ven más afectados por el grado de inclinación de las pendientes, la disminución considerable de su velocidad ocasiona restricciones y atrasos en la circulación adecuada del resto de los vehículos.

La tipología del terreno se puede clasificar en:

- Terreno plano o llano: presenta pendientes longitudinales y verticales de pequeña y uniforme magnitud que facilita un levantamiento de campo y un diseño horizontal y vertical adecuado; la construcción, reconstrucción y mantenimiento de las vías; una segura, cómoda y económica operación de los vehículos y la obtención correcta de distancias de visibilidad en el alineamiento horizontal y vertical.
- Terreno ondulado: presenta pendientes ascendentes y descendentes de cierta magnitud y de manera frecuente y ofrece ciertas dificultades y restricciones en el diseño del alineamiento horizontal y vertical de la carretera.

- Terreno montañoso: presenta pendientes longitudinales y transversales frecuentes y de considerable magnitud, lo que representa dificultades y altos costos de construcción a la carretera, debido a la frecuencia o alto volumen de los cortes y rellenos que se necesitan realizar para obtener un alineamiento horizontal y vertical aceptable.

Tabla X. **Pendientes mínimas y máximas por tipo de carretera**

Clasificación de carretera	Tipo de terreno	Pendiente máxima (%) según velocidad de diseño en km/h								Pendiente mínima (%)
		30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00	
Ruta Nacional o Centroamericana	Plano	6,50	6,00	5,50	5,00	4,50	4,00	3,50	3,00	0,50
	Ondulado	7,50	7,00	6,50	6,00	5,50	5,00	4,50	4,00	
	Montañoso	8,50	8,00	7,50	7,00	6,50	6,00	5,50	5,00	
Ruta Departamental	Plano	9,00	8,00	7,50	7,00	6,00	5,00	4,00	3,00	0,50
	Ondulado	11,00	10,50	10,00	9,00	8,50	8,00	6,00	4,00	
	Montañoso	14,00	13,00	12,00	11,00	10,00	9,00	7,00	5,00	
Ruta Municipal	Plano	11,00	10,00	9,50	9,00	8,00	7,00	6,00	5,00	0,50
	Ondulado	12,00	11,00	10,50	10,00	9,00	8,00	7,00	6,00	
	Montañoso	16,00	15,00	14,00	13,00	11,00	9,00	8,00	7,00	

Fuente: elaboración propia.

2.6.2. **Curvas verticales**

Las curvas verticales son las que permiten que los vehículos puedan trasladarse con suavidad de una pendiente con cierto grado de inclinación a otra que presente un grado de inclinación diferente.

Las características que se deben tomar en cuenta al momento de diseñar curvas verticales son:

- Estética
- Transición confortable para los vehículos
- Facilidad para drenar la carretera
- Pendiente máxima, es la mayor pendiente que se permitirá dentro del proyecto y depende del factor económico
- Pendiente mínima (0,50 %) que permitirá el correcto drenaje en los tramos en corte

Las curvas verticales se deben diseñar preferentemente con forma parabólica, se dividen en:

- Curvas verticales convexas o en cresta, las cuales se diseñan con el objeto de lograr la mayor distancia de visibilidad de parada posible para la velocidad de diseño.
- Curvas verticales cóncavas o en hondonada, que se diseñan conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño.

Para calcular la longitud de visibilidad en curvas verticales (L_{cv}) se utiliza la siguiente ecuación:

$$L_{cv} = K \times (\pm P_e \pm P_s)$$

En donde: K es una constante que depende de la velocidad de diseño y P_e y P_s es el valor de las pendientes de entrada y de salida respectivamente, expresadas en fracción decimal y con su respectivo signo.

Tabla XI. **Valor de constante “K” para cálculo de longitud de curvas verticales**

Velocidad de diseño en km/h	Curva vertical cóncava o en hondonada	Curva vertical convexa o en cresta
30,00	4,00	2,00
40,00	6,00	4,00
50,00	10,00	8,00
60,00	15,00	15,00
70,00	20,00	20,00
80,00	25,00	30,00
90,00	30,00	45,00
100,00	40,00	60,00

Fuente: elaboración propia.

2.6.3. Carriles de ascenso

Son carriles adicionales alternos que tienen la función de evitar que la carretera vea reducida su capacidad, debido a la disminución del nivel de servicio, provocada por el detrimento en la velocidad que sufren los vehículos pesados. Los carriles de ascenso se construyen exclusivamente para la circulación de vehículos pesados y de vehículos livianos que circulen a baja velocidad. Para determinar si se debe construir un carril de ascenso, se debe presentar alguna de las siguientes situaciones:

- Tránsito ascendente (T_a) mayor a 200 vehículos por hora. Este valor se determina con la ecuación:

$$T_a = (V_d \times F_{dd}) / F_{hp}$$

En donde: V_d es el volumen de diseño proyectado; F_{dd} es el factor de distribución direccional de la vía del tránsito en ascenso y F_{hp} es el factor de hora pico.

- Tránsito ascendente de vehículos pesados (T_{ap}) mayor a 20 vehículos por hora, este valor se determina con la ecuación:

$$T_{ap} = T_a \times P_p$$

En donde: T_a es el valor del tránsito ascendente y P_p es el porcentaje de vehículos pesados.

- Un descenso en la velocidad de ruedo de los vehículos pesados en por lo menos 15,00 km/hora.
- Si el flujo de vehículos que transita por el tramo en ascenso disminuye su operación a los niveles de servicio tipo E ó F.
- Sí el flujo de vehículos al iniciar el ascenso experimenta una reducción de dos o más niveles de servicio.

2.7. Derecho de vía

Se conoce como derecho de vía al ancho que tiene la franja de terreno dentro de la cual se encuentra ubicada una carretera.

El ancho del derecho de vía debe tener la medida suficiente para acomodar de forma óptima todos los elementos que componen la sección transversal típica de la carretera y que satisfaga los requerimientos de seguridad y nivel de servicio que demande el volumen de flujo de vehículos proyectado por el diseñador.

De forma ideal, el derecho de vía debe tener un ancho mayor al mínimo requerido por la sección transversal típica de la carretera que se haya proyectado, para poder utilizar este espacio extra para desarrollar futuras ampliaciones; para realizar mejoras al trazo geométrico y por consiguiente a la seguridad del diseño original; o debido a que muchas veces durante la construcción de la carretera, el ancho de los taludes en corte o relleno se prolongan de forma considerable.

En Guatemala, las carreteras se clasifican en cuatro clases o tipos y tienen un ancho de derecho de vía de:

- Ruta nacional (RN) o carretera centroamericana (CA), veinticinco metros
- Ruta departamental (RD), veinte metros
- Carretera municipal (CM), quince metros
- Caminos de herradura o vecinal, seis metros

Como se puede observar, estos anchos de derecho de vía se han vuelto obsoletos para satisfacer la demanda actual que ejerce el crecimiento, las características del parque vehicular del país y los requerimientos mínimos de seguridad de los usuarios; por lo que el diseñador debe tener en consideración que la eficiencia y la seguridad vehicular y peatonal del tramo carretero a construir, ampliar o mejorar prevalecerá sobre las restricciones del espacio.

Cuando el Estado de Guatemala necesita de un derecho de vía mayor del que posee, para poder desarrollar de forma satisfactoria un proyecto carretero, la ley respalda la adquisición de terrenos por medio de su: compra, donación o expropiación.

Al adquirir estas áreas de terreno adicionales siempre se debe: cumplir con la totalidad de los trámites necesarios que demande la ley y compensar económicamente de forma justa a los propietarios de los terrenos afectados, o se les cederá en propiedad la franja de terreno que ocupe el tramo de carretera que se abandone, si así fuera el caso.

La invasión de los terrenos por particulares que pertenecen al derecho de vía de las carreteras de la red nacional, se debe evitar por todos los medios, ya que el derecho del bien común siempre prevalecerá sobre el particular.

3. CRITERIOS GENERALES PARA LA SEGURIDAD EN CARRETERAS

3.1. Principios básicos

La seguridad vehicular y peatonal en las carreteras depende de forma directa de los siguientes cuatro aspectos: tecnología automotriz, educación vial de los usuarios, correcta planificación del diseño geométrico de la carretera y correcta construcción y mantenimiento de la misma. Para poder disminuir gradualmente el porcentaje de las lesiones, fatalidades y costos económicos que provocan los accidentes viales, se debe cumplir lo siguiente:

- Utilización de normas estrictas de seguridad en la planificación y diseño de las carreteras.
- Estudio y utilización de estadísticas fiables de las causas, lugar y magnitud de los accidentes, embotellamientos y demandas de tránsito.
- Correcta proyección futura de las demandas y problemas que enfrentará el tránsito vehicular.
- Utilización de técnicas modernas de construcción.
- Óptimo mantenimiento de las carreteras.
- Correcto desarrollo de políticas de educación vial.

El número de accidentes nunca disminuirá debido a que el 85,00 % de los mismos son provocados por error humano, pero sí es posible reducir la intensidad y consecuencias de los mismos.

Un diseño de carretera eficiente y seguro para los vehículos y peatones es aquel que ofrece a los conductores y demás usuarios una correcta información visual de las características físicas de la misma, permitiendo que el conductor perciba, analice, decida y actúe de la forma más correcta posible para solucionar los problemas que se le presenten durante la conducción.

Durante la planificación, diseño, operación y mantenimiento de una carretera, para lograr que sea eficiente y segura, se deben tomar en cuenta los siguientes principios básicos:

- Deben implementarse campañas adecuadas de educación vial.
- El diseño geométrico horizontal y vertical debe ser uniforme, se evitará cambios abruptos entre los distintos tramos que formen la carretera.
- Las intersecciones a nivel o desnivel serán puntos críticos donde se deben tomar las medidas de seguridad más estrictas.
- Donde el volumen de tránsito peatonal, de bicicletas y motocicletas sea elevado, se deben construir las instalaciones necesarias para acogerlos.
- Las zonas contiguas a los hombros deben tener la configuración o las instalaciones necesarias, para que los conductores de los vehículos que se encuentren fuera de control, lo recobren en el menor tiempo posible.

- Cualquier dispositivo para el control de tránsito como: rótulos informativos, bordillos, reflectores, líneas de división de carriles, etc.; deben llamar la atención de los conductores adecuadamente, transmitir un mensaje simple y de forma clara, tratar de que se respeten estas ordenanzas y que permitan que el conductor tenga el suficiente tiempo para que los perciba, analice, decida y pueda maniobrar de la mejor forma posible.
- La superficie de rodadura debe tener el suficiente factor de fricción y la tasa de peralte óptima para drenar el agua de forma adecuada, según las características que demande cada tramo, para lograr la correcta interacción entre los neumáticos y la superficie de rodadura, contribuyendo al adecuado control y frenado de los vehículos.
- Se deben desarrollar las evaluaciones, estudios y proyecciones necesarias de todas las variables de la dinámica del tránsito, para poder planificar con suficiente tiempo las medidas necesarias a adoptar para evitar cualquier problema que se pueda presentar.
- Se debe desarrollar un programa de mantenimiento rutinario y de mejoramiento de la seguridad en carreteras.

3.2. Carreteras rurales

Son las que comunican dos o más regiones agrícolas o centros suburbanos o urbanos entre sí; por la diversidad de las características topográficas que presentan las distintas zonas por las que atraviesa dicha carretera, es en ellas donde se presentan las mayores restricciones para desarrollar un correcto diseño geométrico horizontal y vertical.

El diseñador debe tomar todas las medidas pertinentes para advertir al conductor del cambio de condiciones de diseño y para que la diversidad de tramos de distintas características posean entre sí, las mayores similitudes posibles.

En Guatemala, muchas carreteras rurales han sido absorbidas como vías principales de poblados, aumentando las restricciones y disminuyendo la seguridad al tránsito de vehículos, por lo que se hace necesaria la construcción de nuevas vías que circunden estas zonas.

3.2.1. Carriles y hombros

Los carriles son el factor más importante para garantizar una correcta seguridad y eficiencia vial, un ancho de carril de 3,60 m permite el desplazamiento cómodo y seguro de los vehículos de diseño con las mayores medidas de anchura. La anchura de los carriles y hombros está ligada proporcionalmente a la capacidad y nivel de servicio de la carretera, un ancho de carril de 3,60 m y de hombros de 1,80 m proporcionan la mayor eficiencia en una carretera.

La tasa de pendiente transversal de los carriles en tramos de carretera en tangente no debe ser menor de 1,50 % para una superficie de rodadura de buena o de mediana calidad y de 2,00 % para superficies de baja calidad, cuando existan 2 o más carriles por vía de circulación, cada carril contiguo debe incrementar su pendiente en 0,50 % hasta un máximo de 4,00 %. En Guatemala se toma una pendiente transversal mínima de 3,00 % debido a los siguientes tres factores:

- No existen estadísticas confiables de la precipitación pluvial en el país.

- No se puede garantizar que los neumáticos de los vehículos que circulan por las carreteras nacionales estén en buen estado de conservación.
- No se puede garantizar que todos los pavimentos utilizados en la red vial nacional tengan las características de calidad y de factor de fricción requeridos.

Los vehículos pesados tipo buses de transporte de pasajeros y los camiones no articulados son muy comunes en las carreteras rurales de Guatemala; su ancho promedio es de 2,60 m, por lo que un ancho de carril de 3,30, 3,00 ó 2,70 m disminuye de forma proporcional el nivel de seguridad y el nivel de servicio y capacidad de la carretera, debido a la disminución de la velocidad y la restricción de espacio.

Los hombros deben tener una medida de entre 0,60 a 2,50 m y una pendiente transversal mínima de 2,00 % y una pendiente máxima de 5,00 %. Cuando no se puedan ubicar hombros mayores a 0,60 m debido a la restricción de espacio o al elevado costo que representaría realizar un corte de gran magnitud, los taludes se deberán revestir con un material que disminuya la posibilidad de derrumbes y se instalarán barreras protectoras que eviten que los vehículos impacten directamente contra el talud en corte.

El ancho total de la franja de terreno disponible (incluyendo los hombros) que se ubica entre la terminación del carril exterior y el borde de las cunetas de drenaje, bardas protectoras, rótulos de señalización o el inicio de los taludes de corte o relleno deber tener una medida mínima de 3,00 m e idealmente de 9,00 m para lograr que los conductores de los vehículos que se encuentren fuera de control logren recuperar el control del mismo.

La pendiente transversal será de entre 2,00 % a 6,00 %, si la superficie se recubre con pavimento; de 4,00 % a 6,00 %, si la superficie se recubre con grava y de 8,00 %, cuando la superficie se recubra con grama u otra planta similar.

Las cunetas o cualquier otro tipo de estructura de drenaje o de instalaciones deben cubrirse con tapaderas que puedan ser abordadas; su forma debe diseñarse para que los vehículos puedan transitar sobre ellas y no deberán sobresalir más de 0,10 metros sobre el nivel del terreno en donde se encuentren ubicadas; si esto no es factible, se deben señalar o proteger correctamente.

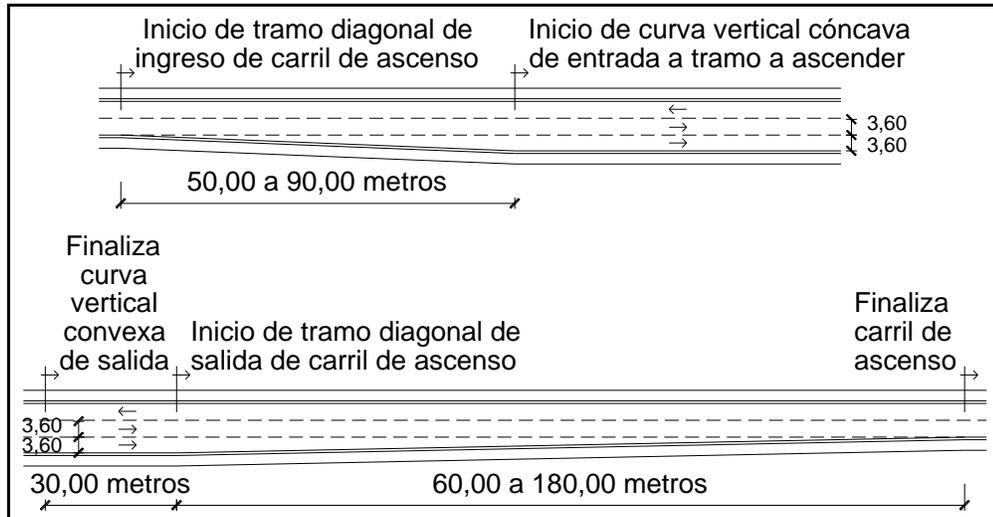
3.2.2. Carril de ascenso

Los carriles de ascenso tendrán siempre como mínimo el mismo ancho que los carriles normales. El tramo diagonal de ingreso del carril de ascenso se diseñará con una relación mínima de 25,00 m de longitud por cada metro de anchura del carril o tendrá una longitud mínima de 50,00 m y debe finalizar antes del inicio de la curva vertical cóncava de entrada al tramo a ascender.

Al finalizar la longitud de la curva vertical convexa del tramo en ascenso, el carril se debe extender una longitud mínima de 30,00 m y luego se añadirá el tramo diagonal de salida; este tramo se diseña con una relación de 50,00 m de longitud por cada metro de anchura del carril o tendrá una longitud mínima de 60,00 m.

Cada carril de ascenso se debe señalar correctamente para que el conductor tenga el suficiente tiempo para poder dirigir el vehículo hacia él, de forma cómoda y segura.

Figura 13. Distancias de carril de ascenso



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2010.

3.2.3. Carril para adelantar

Los carriles para adelantar son carriles adicionales que se diseñan para realizar maniobras de adelantamiento cuando existen serias restricciones para realizar dicha acción con seguridad; estas restricciones pueden ser causadas por cualquiera de las tres siguientes razones:

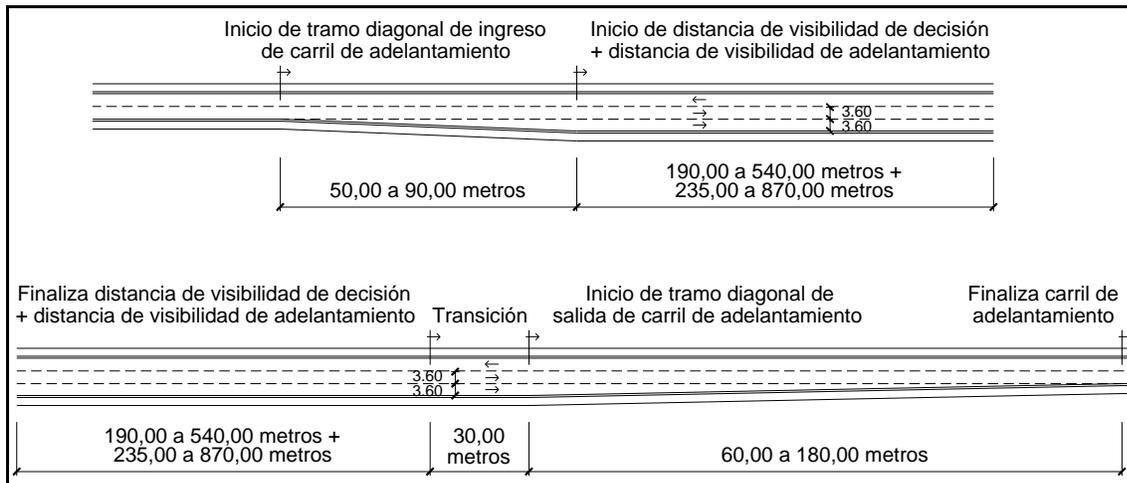
- Condiciones topográficas adversas o limitaciones en el derecho de vía que no permiten que en el diseño geométrico horizontal o vertical se alcancen las distancias de visibilidad de adelantamiento mínimas.
- Por la existencia de altos volúmenes de flujo de tránsito en la vía contraria de circulación, lo que provoca formación de largas colas de vehículos y la consecuente disminución en la capacidad y nivel de servicio de dicha vía.

- Porque el flujo de tránsito en la vía contraria tiene un comportamiento demasiado continuo, por lo que los intervalos de tiempo existentes entre un vehículo y otro son demasiado cortos, impidiendo que se puedan realizar maniobras de adelantamiento de forma segura y cómoda.

La longitud de los carriles de adelantamiento variará entre los 565,00 y 1 710,00 m con los tramos de entrada y salida; esta longitud depende de la velocidad de ruedo promedio y de las condiciones del trazo geométrico horizontal y vertical que presente el tramo de carretera en donde se planifique realizar dicha obra.

Se deberán aplicar todos los dispositivos de control de tránsito que se necesiten, para evitar confundir a los conductores.

Figura 14. **Distancias de carril de adelantamiento**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2010.

3.2.4. Curvas horizontales y verticales

Los tramos de carretera en donde existen curvas horizontales, verticales o una combinación de ambas, son los que presentan la mayor probabilidad de accidentalidad, por lo que se tratará de reducir al mínimo las causas que puedan afectar la seguridad. Se deberán mejorar las características geométricas de toda curva horizontal en donde la velocidad de los vehículos se vea reducida en más de 25,00 km/h por debajo de la velocidad de diseño y en toda curva vertical convexa, en donde la velocidad de los vehículos al alcanzar la cresta se vea reducida en más de 30,00 km/h, por debajo del 85,00 % de la velocidad de ruedo promedio de la carretera.

Cuando no se puedan mejorar las características geométricas de una curva, se procederá a implementar todas las medidas que ayuden a eliminar o a disminuir la severidad de los accidentes como: ampliar el ancho de los hombros, mejorar o despejar totalmente de obstrucciones la línea de visión del conductor, instalar barreras de protección contra el impacto, aumentar el coeficiente de fricción de la superficie de rodadura, aumentar el peralte de la curva, reducir la tasa de porcentaje de las pendientes de ascenso o descenso, instalar señales que adviertan sobre las condiciones existentes o que sugieran la disminución de la velocidad de ruedo, etc.

3.2.5. Medianas

La utilización de medianas de gran amplitud permite elevar el nivel de seguridad de las carreteras. El ancho mínimo que debe tener la mediana cuando no se segreguen las distintas vías de circulación será de 0,50 m y en ella se marcarán las líneas divisorias de la carretera.

Cuando la carretera sea dividida, la mediana debe tener un ancho mínimo de 1,50 m, pero preferentemente deberá tener un ancho mínimo de 5,50 m, el cual permitirá acomodar un carril de 3,60 m para virar hacia la izquierda en intersecciones y una mediana protectora de 1,50 m de ancho.

No existe un ancho de mediana máximo recomendable, sin embargo, un ancho considerable proveerá la suficiente flexibilidad para que se pueda facilitar a la carretera de todas las medidas que permitan conservar un nivel de servicio y capacidad aceptable y un nivel de seguridad óptimo.

Se debe evitar la utilización de bordillos no abordables en los bordes de las medianas debido a que podrían provocar que los vehículos que los colisionen vuelquen; preferentemente estos deben ser del tipo abordable y solo se deben utilizar en los lugares donde sean necesarios.

Las medianas también tienen la función de delimitar los accesos a una carretera; un número de accesos ilimitados o excesivas restricciones provoca la disminución de la seguridad.

Se deben construir únicamente los accesos que sean necesarios para que los vehículos puedan entrar, salir o cruzar la carretera de forma segura y cómoda sin disminuir de forma considerable el nivel de servicio y capacidad de la misma.

Se recomienda la utilización de rotondas como accesos, ya que estas aumentan considerablemente el nivel de seguridad de la carretera si son diseñadas de forma adecuada.

Los factores que influyen en la determinación del número de accesos que tendrá la mediana en un tramo de carretera son: grado de desarrollo y tipo de uso del suelo de los terrenos adyacentes, localización y espaciamiento de las intersecciones, volumen y tipo de tránsito de vehículos y las características topográficas y geométricas de dicho tramo. Las medianas deben tener una relación de pendiente transversal mínima de 0,10 m de altura por cada 4,00 m de ancho e idealmente de 0,09 m de altura por cada 6,00 m de ancho.

3.2.6. Intersecciones

Para lograr mejorar la eficiencia y la seguridad vehicular y peatonal en las intersecciones de las carreteras, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Reducir al mínimo los distintos conflictos que puedan surgir entre los vehículos y entre estos y los peatones; esto se obtiene logrando que la canalización de las distintas corrientes de tránsito sea lo más eficiente posible en las distintas operaciones de virajes hacia la derecha o izquierda.
- Tratar que el nivel y la capacidad de la carretera se mantengan lo más aceptable posible, haciendo que las distancias de visibilidad sean las óptimas para que el conductor pueda realizar con éxito y sin dificultades las maniobras de separación, convergencia o cruce de las corrientes de tránsito.
- Mejorar los medios visuales de información para que el conductor tenga el suficiente tiempo para tomar una decisión sobre la maniobra a efectuar y que pueda realizarla de forma cómoda y segura.

Cuando el volumen de tránsito sea pequeño, se podrán utilizar únicamente dispositivos de control simples como señales de alto, semáforos intermitentes, etc.; cuando el volumen de tránsito sea mediano, se deberán utilizar dispositivos restrictivos como rotondas, carriles exclusivos de viraje, etc. y cuando sea considerablemente alto, se deberán utilizar sistemas especiales de alta restricción como puentes sobre o por debajo del nivel de la carretera, semáforos, etc.

3.3. Carreteras suburbanas y urbanas

Las carreteras ubicadas dentro de zonas suburbanas y urbanas son las que registran el mayor porcentaje de accidentalidad y de conflictos de circulación y la menor eficiencia y seguridad vehicular y peatonal debido a los siguientes factores:

- Volúmenes elevados de tránsito.
- Cantidad elevada de intersecciones problemáticas.
- Restricciones de espacio para realizar mejoras debido a un derecho de vía limitado.
- Alto volumen de peatones, ciclistas, motociclistas y de vehículos conflictivos como los autobuses de transporte de pasajeros que impiden un flujo libre de tránsito.

El mayor problema que enfrentan las estas carreteras es el alto volumen de tránsito que presentan durante las horas pico, por lo que las soluciones se deben enfocar en aumentar la capacidad y nivel de servicio.

Solo la correcta planificación inicial de una zona suburbana o urbana permitirá que cuando se presenten conflictos de tránsito, estos puedan ser resueltos de buena forma. En la ciudad de Guatemala y otros grandes centros urbanos del país la omisión la incorrecta planificación y diversos problemas socioeconómicos, han provocado que las carreteras operen a un nivel de conducción muy bajo y la capacidad de las mismas no pueda satisfacer la demanda del flujo de vehículos; estos problemas ya no podrán ser corregidos sino mitigados, por lo que la planificación se deberá enfocar en el mejoramiento de la eficiencia y la seguridad de las carreteras existentes y en el correcto desarrollo de las áreas de futura expansión.

3.3.1. Hombros y bordillos

Los hombros son un elemento de la carretera que idealmente no deberían ser suprimidos en las carreteras suburbanas y urbanas debido a los múltiples beneficios que ofrecen; el alto costo que representaría su construcción debido a la necesidad de adquirir un mayor ancho de derecho de vía se ve compensado con los beneficios sociales y económicos que obtendrían los usuarios y el Estado, al lograr una mayor eficiencia y seguridad en el desplazamiento vehicular y peatonal.

Los bordillos abordables se deben tratar de implementar en todas las vías que sean diseñadas para velocidades de más de 60 km/h; para evitar que los vehículos vuelquen o pierdan el control al impactar contra ellos, los bordillos no abordables o de barrera se deberán utilizar exclusivamente en vías que hayan sido diseñadas para velocidades menores a 60 km/h y en todos los lugares en donde se requiera proteger a los peatones o a alguna estructura de importancia como pilares de puentes, ciclovías, etc.

3.3.2. Aceras

Las aceras son franjas de terreno elevadas sobre el nivel de la carpeta de rodadura que tienen la función exclusiva de ser las vías de circulación para el movimiento del flujo peatonal. Su anchura mínima en situaciones donde el espacio sea extremadamente restringido nunca debe ser menor de 0,90 m. Su ancho en áreas residenciales dentro de zonas suburbanas y urbanas debe tener una medida de entre 1,20 y 2,80 m o más y debe contar idealmente con una franja extra de entre 1,20 y 1,60 m o más como franja de seguridad y para la instalación de cualquier tipo de mobiliario, instalación urbana o como área verde.

En áreas comerciales o industriales, el ancho de una acera dependerá de un estudio de volumen de peatones, pero este no debe ser menor a 1,60 m y debe contar siempre con la franja extra de seguridad de 1,20 m; el ancho de esta franja de seguridad deberá contar en un inicio con una mayor medida para que la acera se pueda ir ampliando, según se vaya incrementando la demanda del flujo de peatones.

Las aceras deben contar siempre con las rampas necesarias (con una tasa máxima de pendiente de 10,00 % y un ancho mínimo de 0,90 m) para la cómoda circulación de personas minusválidas, de tercera edad, mujeres en estado de gestación, etc.

Los puentes deben tener siempre una acera en ambos extremos con un ancho mínimo de 0,60 m, incluso si la circulación de peatones es ocasional o nula; cuando el volumen de peatones sea considerable, la acera debe tener un ancho mínimo de 1,60 m, una franja mínima protectora de 1,60 m y una barrera protectora contra impactos de vehículos en el extremo opuesto a dicha acera.

3.3.3. Medianas

La utilización de medianas con bordillos no abordables es recomendable únicamente en vías con elevados volúmenes de tránsito, con velocidades de diseño menores a 60,00 km/h y con un alto desarrollo inmobiliario en los límites del derecho de vía, su ancho mínimo debe ser de 1,20 m y su ancho máximo dependerá de la demanda de volumen de tránsito proyectado.

Debido a que dentro de las zonas suburbanas y urbanas el costo de adquirir espacio para un derecho de vía mayor es demasiado elevado, se recomienda que desde un inicio se adquiriera una franja de mediana de hasta 30,00 m de ancho, que permitirá acomodar fácilmente cualquier futura ampliación que sea necesaria desarrollar.

Las medianas con bordillos abordables se deben utilizar en las vías donde la velocidad de diseño sea mayor a 60,00 km/h. El diseño de carreteras sin mediana no es recomendable dentro de zonas suburbanas o urbanas debido a que la seguridad se ve disminuida drásticamente; a menos que el espacio físico sea demasiado limitado, esta mediana imaginaria deberá tener un ancho mínimo de 0,50 m y se debe señalar de la mejor manera posible.

3.3.4. Intersecciones

La eficiencia y seguridad de las intersecciones de las carreteras suburbanas y urbanas dependen exclusivamente del correcto direccionamiento de las distintas corrientes de tránsito en las operaciones de cruce, entrecruce, convergencia y segregación. El uso de una señalización y de una canalización de los movimientos que sea clara y sencilla, promueve el flujo continuo de los vehículos y reduce la probabilidad de conflictos.

Para lograr la mayor eficiencia y seguridad dentro de las intersecciones suburbanas y urbanas, las mejoras se deben concentrar en la utilización de islas o bahías de refugio, carriles de cruce continuos y en el uso de cualquier otro medio de dispositivo de control de tránsito, pero principalmente en la correcta señalización e iluminación de las mismas.

3.3.5. Carreteras laterales

En zonas suburbanas y urbanas uno de los mayores conflictos de tránsito que disminuye considerablemente la eficiencia y seguridad dentro de las vías de circulación es el ingreso de los vehículos a las propiedades adyacentes.

Para ingresar de una carretera lateral a una vía principal se debe contar con un ancho de derecho de vía adicional de entre 20,00 a 40,00 m, por cada uno de los lados en donde existan propiedades adyacentes.

La adquisición de un ancho de derecho de vía considerable antes de que una zona se empiece a desarrollar urbanamente, permitirá la construcción de carreteras laterales que lograrán evitar o disminuir el conflicto descrito anteriormente, al permitir que el tránsito lento circule por ellas y que la vía principal sea utilizada solo por el tránsito de paso.

3.4. Mantenimiento de las carreteras

El mantenimiento de las carreteras es la acción de conservar, reparar o sustituir todos los elementos que componen una carretera y su entorno inmediato. Un mantenimiento apropiado permite una conducción eficiente y segura.

Debe ser prioritario alcanzar el nivel óptimo de funcionamiento de todos los elementos, instalaciones y dispositivos que sean parte de la carretera por medio de la correcta inspección, conservación, reparación o reemplazo de los mismos.

Los dos elementos fundamentales que se deben mantener en un buen nivel de estado de conservación son: la carpeta de rodadura y las líneas de demarcación de los carriles.

Mientras mayor sea el nivel de exigencia de calidad que se contemple dentro de los programas de mantenimiento, mayor será el nivel de eficiencia y seguridad que se podrá alcanzar en la conducción dentro de las carreteras.

3.5. Instalaciones ajenas dentro del derecho de vía

Se conoce como instalaciones ajenas dentro del derecho de vía a todas las instalaciones de carácter público o privado como redes de agua potable, energía eléctrica, drenajes, telecomunicaciones, etc., que se desplacen a lo largo o que necesiten atravesar el ancho de derecho de vía de una carretera.

Los reglamentos pertinentes deben establecer las condiciones y la forma en que estas podrán ser ubicadas dentro del espacio físico del ancho de derecho de vía. Las instalaciones nunca deberán:

- Interferir en el libre trazo geométrico horizontal y vertical
- Reducir la eficiencia de la carretera
- Poner en riesgo la seguridad de los usuarios

Las instalaciones de soporte de los servicios que se canalicen de forma aérea, se deben ubicar preferentemente en los bordes del derecho de vía y se señalarán y protegerán contra posibles impactos de forma adecuada; la altura mínima de las instalaciones en su punto más bajo debe ser de 6,00 m; cuando se necesite tener apoyos intermedios en el ancho de la vía, estos se ubicarán dentro del área de las medianas.

Las instalaciones subterráneas que atraviesen la corona de la carretera, se deben ubicar a una profundidad mínima de 0,60 m por debajo del nivel de la subrasante y deberán protegerse con tuberías que eviten que cuando se realicen mejoras a la carretera puedan ser dañadas y que se puedan reubicar si es necesario. Las instalaciones subterráneas que no atraviesen la corona de la carretera se deben ubicar a una profundidad mínima de 0,60 m por debajo del nivel natural del terreno y no será necesario protegerlas con tuberías, si así se desea, pero se deberá señalar su trayectoria de forma clara y sencilla en la superficie del terreno natural.

4. MEDIO AMBIENTE

4.1. Evaluación del Impacto al Medio Ambiente

Cuando se construye una nueva carretera o se mejoran las condiciones de una existente, por su condición de vía de comunicación, su entorno inmediato y su zona de influencia experimentan un cambio permanente en las condiciones topográficas y ambientales originales; este cambio también se produce en las comunidades aledañas a las que beneficia al aumentar el valor de las propiedades, al facilitar el cambio del uso del suelo y principalmente al producir el intercambio socioeconómico y cultural entre las mismas.

El desarrollo de una evaluación o estudio del impacto que tendrá una carretera sobre el medio ambiente de las zonas adyacentes y de influencia en donde se ubique, debe identificar, cuantificar y medir todas las posibles alteraciones o cambios temporales o permanentes que puedan sufrir tanto los ecosistemas naturales del lugar como el sistema de vida en el plano social, económico y cultural de las personas de las comunidades afectadas durante las etapas de planificación, construcción y operación de la carretera y los procedimientos, medidas o acciones que se deben implementar para evitar, mitigar o compensar de la mejor manera posible las consecuencias negativas que se presenten.

Un proyecto de carretera exitoso será aquel en donde se logre aportar la mayor cantidad de beneficios que produzcan un desarrollo sostenible y al mismo tiempo se logren reducir al mínimo los efectos negativos sobre el medio ambiente del entorno.

4.2. Contaminación del aire, agua y suelo

La contaminación del aire, agua y suelo del medio ambiente que se produce dentro de las carreteras, es debido a la liberación de gases nocivos y partículas a la atmósfera, producto del proceso de combustión de los hidrocarburos en los vehículos automotores. También se produce contaminación durante la actividad de construcción o reparación de una carretera debido a los procesos industriales de producción y al momento de utilizar los diversos tipos de materiales de construcción.

Entre los contaminantes que se liberan al aire, agua y suelo se encuentran:

- Partículas totales en suspensión (PTS): son todas aquellas partículas sólidas o líquidas diminutas (generalmente menores a 1 mm de diámetro) dispersas en el aire en gran cantidad.
- Partículas totales en suspensión en su fracción respirable (PM10), son todas aquellas partículas sólidas o líquidas dispersas en el aire con un diámetro menor a 10 micrómetros.
- Dióxido de nitrógeno (NO₂): es un gas de color pardo o rojizo, no inflamable y precursor del ozono y de la lluvia ácida.
- Monóxido de carbono (CO): es un gas incoloro e inodoro.
- Ozono (O₃): es un gas incoloro producido por la mezcla de gases de combustión y los óxidos de nitrógeno bajo la influencia de la radiación solar.

- Lluvia ácida y sólidos totales de precipitación: se producen por la mezcla del agua de lluvia con el dióxido de azufre (se produce ácido sulfúrico) y con el dióxido de nitrógeno (se produce ácido nítrico).
- Los metales pesados (plomo, cadmio, zinc y cobre): son parte de las partículas totales en suspensión.

En altas concentraciones estos contaminantes ocasionan serios daños a las plantas y animales de los ecosistemas y a la salud de las personas, produce desde molestias leves (irritación de garganta y ojos, tos, mareos, etc.) hasta enfermedades serias (asma, hipertensión, etc.) y mortales (envenenamiento, cáncer, etc.).

La contaminación del aire, agua y suelo disminuye considerablemente la seguridad y eficiencia de una carretera, al provocar que el usuario se sienta incómodo al conducir dentro de un ambiente muy degradado; la lluvia ácida puede destruir gradualmente la infraestructura de la propia carretera y contaminar los bancos de materiales y afluentes de agua, y la extracción de materiales para construcción y el movimiento de tierra necesarios para la construcción de una carretera, provocan deforestación y la erosión del suelo.

4.3. Contaminación sonora

La contaminación sonora en una carretera se debe al movimiento de los vehículos automotores dentro de la misma; para los usuarios, el alto nivel de ruido al que se ven expuestos por un alto movimiento de flujo de vehículos, disminuye su salud mental y física al ser sometidos a estrés, y su salud auditiva, al provocar sordera temporal o la pérdida gradual de la misma.

La presencia de ruido excesivo afecta considerablemente todo aspecto cotidiano de las personas que vivan o trabajen cerca del área de influencia de una carretera.

El ruido producido por los vehículos automotores se debe al funcionamiento del vehículo (motor, transmisión, ventilación, sistema de escape, etc.), a la fricción que se produce entre los neumáticos del vehículo y la carpeta de rodadura y por la turbulencia del aire que produce el movimiento del vehículo.

El ruido total que produce el flujo de vehículos en una carretera depende del volumen de vehículos en movimiento, la velocidad de los mismos, la pendiente, el comportamiento y educación de los conductores y al porcentaje de vehículos pesados.

4.4. Contaminación visual

La contaminación visual en una carretera se origina cuando el exceso en el número de vallas, carteles o pantallas publicitarias u otro tipo de distracción visual interrumpe o desvía la atención del conductor, provocando que la seguridad vehicular y peatonal se vea reducida de manera alarmante.

En áreas rurales, el exceso de distracciones visuales puede causar los siguientes inconvenientes:

- Afecta el panorama del paisaje circundante.
- Obstruye la señalización propia de la carretera evitando que el conductor perciba la información necesaria.

- Obstruye las líneas de visión de las distancias visuales.
- Puede provocar que el conductor se salga de su carril de circulación, pierda el control del vehículo o ante un inconveniente no pueda maniobrar de forma correcta en el momento indicado, provocando accidentes, debido a que en estas vías los vehículos tienden a desplazarse a mayores velocidades, por lo que el tiempo de toma de decisión es determinante.

En zonas suburbanas y urbanas, el exceso de distracciones visuales, además de ocasionar problemas similares a las descritos anteriormente para zonas rurales, puede causar el deterioro de la salud mental y física de los usuarios, debido al estrés y cansancio visual y mental que produce la excesiva exposición a medios visuales y a la sobreatención que se debe prestar a la conducción para no perder la concentración.

4.5. Medidas de mitigación ambiental

Durante el tiempo de construcción, reparación, ampliación o servicio de una carretera se producen diversidad de efectos dañinos al medio ambiente circundante, por lo que es necesario tomar en cuenta las siguientes recomendaciones para evitar o mitigar el daño provocado por la actividad humana de la comunicación vial.

Para reducir los niveles de contaminación del aire, agua y suelo se deben implementar las siguientes medidas de mitigación ambiental:

- Programas regulares de monitoreo de calidad del aire, agua y suelo.

- Legislar acerca del control de emisiones vehiculares e industriales.
- Construir sistemas de transporte colectivo masivos y mejorar la eficiencia de los existentes.
- Elevar el nivel de servicio y de capacidad de las carreteras existentes para reducir el congestionamiento durante las horas pico.
- Establecer políticas de reducción de los costos de adquisición de nuevos vehículos para poder reemplazar los modelos antiguos.
- Proponer políticas de utilización de nuevas tecnologías de combustión limpia que sustituyan a los hidrocarburos.
- Iniciar campañas de divulgación y políticas de educación referentes a la contaminación ambiental.
- Reforestar las áreas de bancos de extracción de materiales, cuencas pluviales de quebradas y ríos, y de los taludes de relleno y corte de la carretera con especies propias del lugar.
- Utilizar nuevos materiales y técnicas de construcción y reparación en carreteras, que produzcan una menor contaminación.
- Dentro de los centros suburbanos y urbanos, planificar la creación de parques y contemplar dentro de las leyes de construcción la obligatoriedad de establecer áreas verdes dentro de los bienes inmuebles y a las aceras.

Para reducir los niveles de contaminación sonora se deben implementar las siguientes medidas de mitigación ambiental:

- Adquisición de mayores anchos de derechos de vía.
- Establecer políticas eficientes y correctas de planificación urbana.
- Desarrollar e incentivar la utilización de materiales de construcción que disminuyan el ruido ambiental en edificaciones.
- Evitar el uso constante de pendientes de gran inclinación en el perfil longitudinal de la carretera.
- En zonas densamente pobladas, deben construirse rasantes de carretera por debajo o encima del nivel natural del terreno o barreras acústicas como: taludes de tierra con una altura mínima de 2,00 m o pantallas sónicas de materiales sintéticos, que aíslen a las propiedades aledañas del ruido.
- Mejorar el nivel de servicio de la carretera para reducir los posibles embotellamientos que aumentan el nivel de ruido.
- Utilizar mezclas asfálticas de buena calidad como superficie de rodadura, ya que es el material que produce el menor ruido al interactuar con los neumáticos de los vehículos.
- Promover políticas de educación vial que incentiven a los conductores a utilizar de forma racional las bocinas de los automóviles.

- Lograr que la velocidad promedio de ruedo sea lo más constante posible.
- Prohibir el uso de elementos ajenos a los vehículos que aumenten el nivel de ruido de forma innecesaria como los sistemas de sonido estridentes o los escapes que producen ruido.

Para reducir los niveles de contaminación visual se deben implementar las siguientes medidas de mitigación ambiental:

- Legislar acerca de la colocación de vallas, carteles o rótulos de publicidad.
- Estandarizar el tamaño, contenido, forma y lugar de ubicación, de las señales de tránsito horizontales y verticales.
- Reforestar las áreas aledañas a la carretera para disminuir el impacto visual.
- Prohibir la utilización de reflectores o iluminación innecesaria en los vehículos.
- Estandarizar el tipo de iluminación y el mobiliario urbano de los centros suburbanos y urbanos.
- Reforestar los sitios de extracción de materiales luego de que se hayan agotado los recursos.

4.6. Delimitación de zonas protegidas, de amortiguamiento, rural y urbana

La delimitación del uso del suelo en categorías de zona protegida, de amortiguamiento, rural o urbana, permite la correcta planificación de las distintas políticas de crecimiento y desarrollo socioeconómico dentro de cualquier Estado; las redes de carreteras permiten el correcto desarrollo de estas políticas. Una correcta planificación de las redes viales contempla el crecimiento futuro de las poblaciones y el aumento de la demanda de necesidades que los usuarios requerirán. La red vial de un Estado debe estar compuesta por:

- Red principal de autopistas: tendrá la única función de traslado entre las distintas regiones; se deben ubicar dentro de áreas rurales, tener un ancho de derecho de vía como mínimo de 60,00 m e idealmente de 100,00 m o más y se debe prohibir el cambio de uso de suelo a cualquier otra actividad productiva que pueda restringir el libre flujo de vehículos como los centros urbanos, industriales o comerciales.
- Red secundaria de carreteras: tendrá la función de comunicar los distintos centros urbanos entre sí y estos con la red principal de autopistas; el ancho de derecho de vía debe tener un ancho mínimo de 50,00 m e idealmente de 100,00 m o más y se debe contemplar la futura construcción de carreteras laterales.
- Red terciaria de carreteras: serán las vías de circulación propias de cualquier centro suburbano o urbano y deben tener un ancho de derecho de vía mínimo de 20,00 m e idealmente de 50,00 m o más, según las proyecciones de movimiento vehicular planificado.

La planificación de anchos de derecho de vía considerables y políticas de uso de suelo permite un crecimiento ordenado; evita que al crecer los centros urbanos, estos no absorban dentro de sí a las carreteras, desvirtuando su función de traslado y disminuyendo su capacidad y nivel de servicio.

Dentro de las zonas o centros suburbanos o urbanos se hace aún más necesaria la correcta segregación del uso del suelo en zonas residenciales, comerciales, industriales, educativas, de servicios y de recreación. Un crecimiento desordenado provocará caos y mayores conflictos vehiculares, al darse el fenómeno de considerables desplazamientos de forma innecesaria.

La política de desarrollo urbano debe ser enfocada en la descentralización de las distintas actividades socioeconómicas; se alternará la creación de zonas industriales, comerciales, residenciales, educativas, de servicios y de recreación, para lograr el menor desplazamiento innecesario posible de los usuarios dentro de la ciudad.

5. SEGURIDAD PEATONAL

5.1. El peatón

El peatón es todo usuario dentro de la carretera que no se desplaza en un vehículo automotor o en bicicleta, dada su reducida velocidad en su desplazamiento, comparada con la de los vehículos; por su vulnerabilidad es el sujeto más propenso a sufrir lesiones graves o a fallecer a causa de los accidentes de tránsito.

Dentro de las zonas suburbanas o urbanas donde el volumen de peatones es alto, se deben construir todas las instalaciones necesarias, para segregar de forma segura a los peatones y satisfacer correctamente lo que demanden. Las instalaciones peatonales deben ofrecer una circulación segura, fluida y sin inconvenientes.

La seguridad peatonal debe ser la principal prioridad en el diseño de carreteras; la educación vial y el cumplimiento de la prioridad de desplazamiento del peatón sobre cualquier vehículo, permitirán reducir al mínimo los altercados.

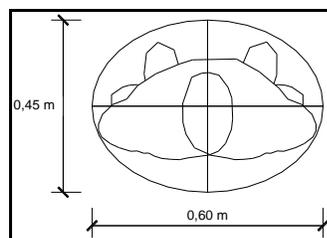
5.1.1. Diseño de instalaciones peatonales

Al diseñar instalaciones peatonales se debe contemplar:

- El peatón promedio, según la actividad que realice, no está acostumbrado a desplazarse más de 1,50 km.

- El peatón generalmente tiende a cruzar una carretera en el punto en donde observe que podrá recorrer la menor distancia posible, incluso si esto significa arriesgar su integridad física.
- El espacio promedio mínimo ocupado por un peatón de forma horizontal en situaciones en donde se encuentre de forma próxima a otros peatones, es una figura elíptica de diámetro mayor de 0,60 m y de diámetro menor de 0,45 m.
- La velocidad a la cual un peatón se desplaza es de entre 0,80 y 1,80 m/s; la velocidad promedio es de 1,20 m/s.
- La velocidad promedio a la que las personas de la tercera edad y los discapacitados se desplazan es de 0,90 m/s.

Figura 15. **Dimensiones de un peatón; área mínima = 0,22 m²**



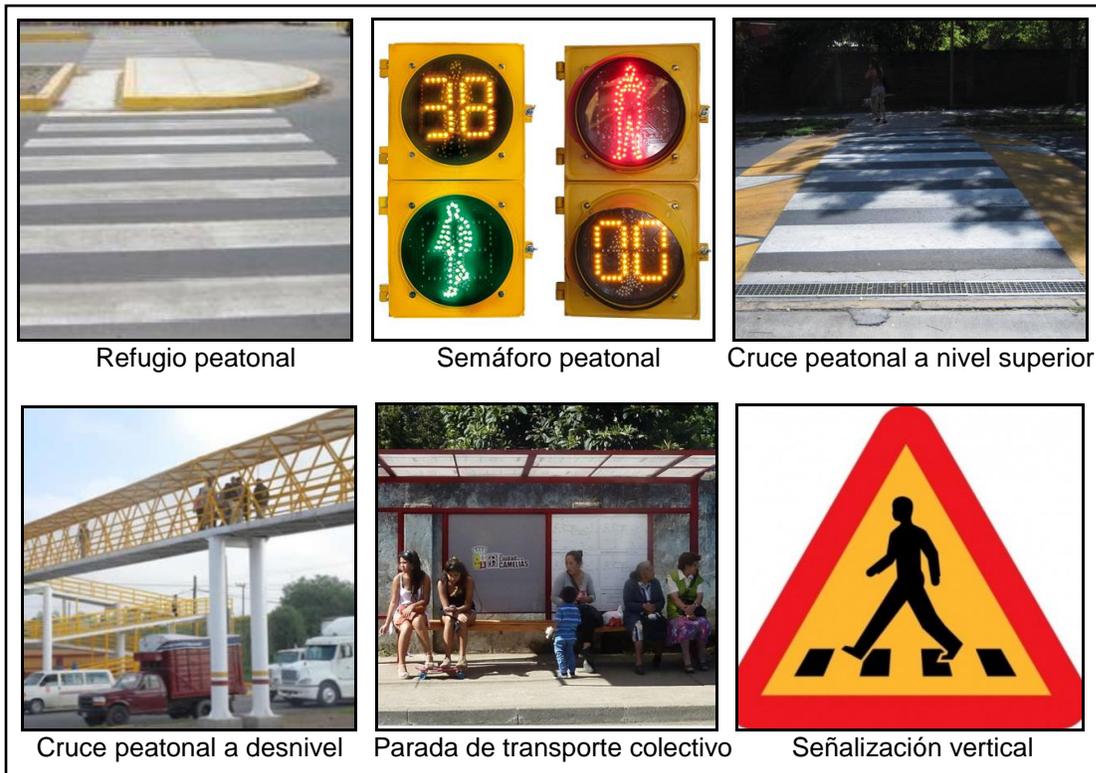
Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2010.

Para una correcta planeación peatonal se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- En intersecciones controladas por semáforos que cuenten con alto volumen de peatones, se deben instalar semáforos peatonales.

- En carreteras con alto volumen de peatones y de vehículos, se debe contar con refugios peatonales para disminuir la posibilidad de percances.
- En los cruces, los conductores de los vehículos deben contar con un amplio campo visual libre de obstáculos para que puedan observar sin ningún problema el movimiento de los peatones.
- En los cruces peatonales, diferenciar la textura del pavimento, colorearlo o situarlo a un nivel superior; esto permite distinguir la importancia del mismo.
- En carreteras con altas velocidades de diseño y altos volúmenes de vehículos, la mejor solución es utilizar pasos peatonales a desnivel, pero se debe encauzar correctamente el flujo peatonal por medio de barreras físicas efectivas.
- Es esencial mantener como mínimo la distancia de visibilidad de parada de los vehículos en toda la longitud de la carretera. Si es posible físicamente y no se vuelve antieconómico, se debe aplicar la distancia de visibilidad de decisión.
- Las paradas de transporte colectivo, se deben ubicar en sitios seguros y cómodos para los peatones.
- La señalización vertical y horizontal se debe planificar de la mejor forma posible para disminuir al mínimo los conflictos entre peatones y vehículos.

Figura 16. Ejemplos de instalaciones peatonales



Fuente: www.google.com/images. Consulta: septiembre de 2014.

5.1.2. Nivel de servicio de aceras

El nivel de servicio de aceras es el flujo mayor de peatones que se desplaza por una acera en un determinado tiempo.

Existen seis tipos de nivel de servicio de aceras los cuales son:

- Nivel de servicio A: el peatón selecciona libremente la velocidad a la cual quiere desplazarse sin entrar en conflicto con otros usuarios; el área disponible será mayor o igual a 12,00 m²/peatón.

- Nivel de servicio B: el peatón empieza a experimentar incomodidad para circular libremente entre los demás usuarios; el área disponible es de entre 4,00 y 12,00 m²/peatón.
- Nivel de servicio C: el peatón debe regular su velocidad de desplazamiento y hacer cambios de dirección para no ser interrumpido por otros usuarios; el área disponible es de entre 2,00 y 4,00 m²/peatón.
- Nivel de Servicio D: la velocidad de desplazamiento y los cambios de dirección se restringen; el área disponible es de entre 1,50 y 2,00 m²/peatón.
- Nivel de servicio E: la velocidad de desplazamiento se ve reducida drásticamente y los cambios de dirección se tornan dificultosos; el área disponible es de entre 0,50 y 1,50 m²/peatón.
- Nivel de servicio F, el desplazamiento se ve interrumpido en múltiples ocasiones, el cambio de dirección es muy dificultoso y no es posible evitar el contacto físico entre los usuarios; el área disponible es menor o igual a 0,50 m²/peatón.

5.2. Bicicletas en carreteras

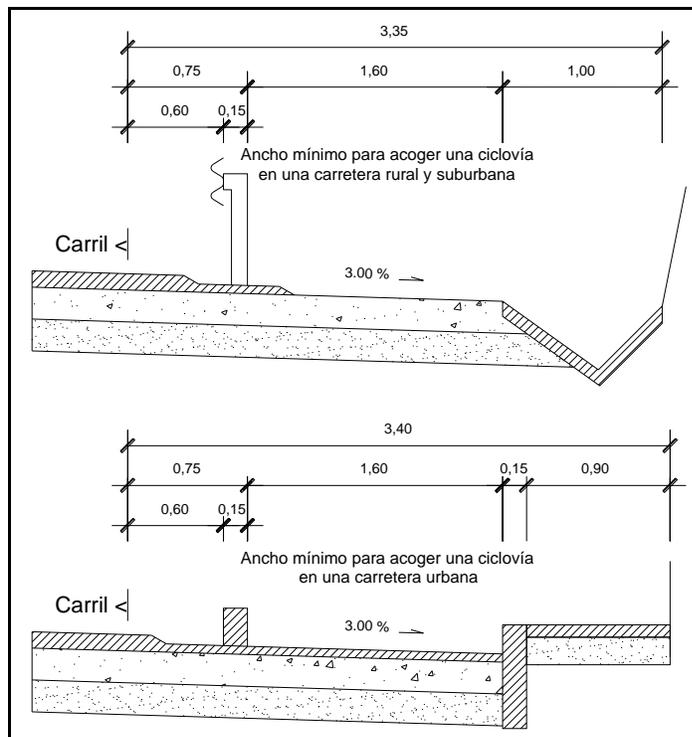
Las bicicletas son un medio económico de transporte personal que la población puede utilizar de forma regular para desplazarse desde distancias menores a medias; tiene como principales cualidades: no contaminar el medio ambiente y mejorar la salud física y mental de la población. Su uso regular debe ser estimulado por medio de campañas viales y de salud.

Para lograr que la población opte por este medio de transporte, se deben crear las facilidades de infraestructura correspondiente como ciclovías o el aumento del ancho de los hombros en las carreteras y restringir el uso de vehículos automotores en estos lugares seleccionados.

5.2.1. Ciclovías

Las ciclovías son soluciones viales independientes a la franja de circulación de los vehículos automotores, destinadas exclusivamente a la circulación de bicicletas o motocicletas y en algunas ocasiones al tráfico mixto de peatones y ciclistas.

Figura 17. Dimensiones mínimas para ciclovías



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2010.

La construcción de ciclovías se debe realizar cuando en una carretera el volumen de tránsito sobrepasa los 1 000 vehículos por día y el de bicicletas y motocicletas sea mayor a 500 por día.

La separación física entre los carriles de circulación de los vehículos automotores y de la ciclovía debe ser de por lo menos 0,75 m; esta separación física debe construirse idealmente con bordillos no abordables en las zonas urbanas y con barreras contra colisiones en zonas suburbanas y rurales.

Donde el ancho de vía lo permita, esta franja de seguridad se puede conformar con taludes de suelo compactado y la plantación de árboles paralelos a toda la longitud de la ciclovía.

El ancho mínimo que debe tener una ciclovía será el siguiente:

- Cuando esté destinada solo a la circulación de bicicletas, será de 1,60 m.
- Cuando circulen bicicletas y peatones, el ancho mínimo será de 2,00 m.
- Cuando circulen bicicletas y motocicletas, el ancho mínimo será de 2,00 m y se debe regular la velocidad de las motocicletas.
- Cuando circulen bicicletas, motocicletas y peatones, se restringirá la velocidad de las motocicletas; el ancho mínimo de circulación de los ciclistas y motoristas será de 2,00 m y se construirá una franja arriba del nivel de la vía anterior, exclusivamente para la circulación de peatones de un ancho mínimo de 1,50 m.

5.3. Transporte colectivo

El transporte colectivo de autobuses dentro de las carreteras rurales, suburbanas y urbanas es el principal medio de transporte de la población en Guatemala; por lo que el diseño geométrico de las mismas debe tener como finalidad el mejoramiento de las condiciones de seguridad de este tipo de vehículos.

5.3.1. Bahías para autobuses

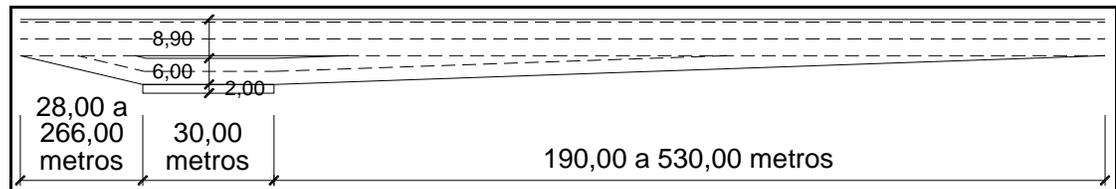
Las bahías para autobuses son áreas diseñadas especialmente para la detención de los autobuses y la carga y descarga de pasajeros.

Su ubicación y capacidad deben determinarse según la demanda que presenten los usuarios; lo común será ubicarlas cercanas a las áreas de conglomeración de las actividades económicas, industriales, culturales, deportivas y de servicios.

Idealmente deben contar con la capacidad de albergar como mínimo a dos autobuses al mismo tiempo y un ancho mínimo de pista de rodamiento de 6,00 m que permita el adelantamiento de los autobuses y un ancho de acera de 2,00 m o más, según la demanda del volumen de pasajeros.

La segregación entre la bahía y los carriles de circulación podrá hacerse por medio de señales horizontales, pero preferentemente se debe realizar por medio de una barrera física que evite que los autobuses invadan los demás carriles de circulación e impidan el libre flujo de vehículos.

Figura 18. **Dimensiones de una bahía para autobuses**



Fuente: elaboración propia con programa de Autocad 2010.

La entrada a la bahía se debe realizar por medio de un carril exclusivo de ingreso, su relación mínima de desarrollo será de 3,00 metros de longitud por cada metro de ancho y una longitud total mínima que será igual a la distancia de visibilidad de parada; tomando como velocidad de diseño la velocidad que tenga el carril de circulación que se encuentre contiguo a la bahía.

La salida se hará a través del carril de egreso, el cual tendrá una relación mínima de desarrollo de 5,00 metros de longitud por cada metro de ancho y una longitud total mínima que será igual a la distancia de visibilidad de decisión.

Tanto el carril de ingreso como el de egreso deben contar con curvas espiraladas que permitan un cómodo desplazamiento.

5.3.2. Transporte colectivo en autopistas

El flujo de transporte colectivo dentro de las autopistas o carreteras con una alta velocidad de diseño o un alto volumen de vehículos dentro de las áreas rurales, suburbanas o urbanas, debe ser controlado apropiadamente debido a las incomodidades que provoca y al aumento de la probabilidad de accidentalidad que genera la circulación de este tipo de vehículos.

Si el ancho del derecho de vía lo permite, se deben segregar los vehículos de transporte colectivo por medio de carriles de circulación exclusivos que permitan incrementar la eficiencia de ambos flujos. Cuando no sea posible realizar dicha separación, o cuando la relación costo-beneficio no sea significativa; la segregación se debe realizar por medio de políticas viales que restrinjan la circulación de los vehículos de transporte colectivo, exclusivamente, en el carril derecho externo del sentido de circulación; permitiéndose únicamente la utilización del carril aledaño, solo para realizar maniobras de adelantamiento y por medio de la regulación de la velocidad máxima a la que podrían circular dichos vehículos.

La utilización de bahías de abordaje separadas físicamente de la vía de circulación es prioritaria para evitar que el flujo de vehículos sea interrumpido de forma constante.

6. OBRAS COMPLEMENTARIAS

6.1. Iluminación de la carretera e intersecciones

La implementación de sistemas de iluminación en las carreteras e intersecciones permite reducir la peligrosidad de la conducción nocturna al mejorar la visibilidad de los conductores.

Dentro de las zonas suburbanas y urbanas es recomendable iluminar la totalidad de las carreteras debido a la mayor interacción entre los vehículos automotores y los peatones; en las zonas rurales, la iluminación debe implementarse en todos aquellos puntos importantes de interacción vehicular como las intersecciones, los túneles, los intercambios y los puentes, cuando el volumen del flujo de vehículos que circulen dentro de un tramo en horas nocturnas sea considerable y en los tramos en donde las condiciones climáticas extremas como la niebla, el granizo y la lluvia intensa sean demasiado frecuentes.

En las zonas rurales, en donde es más difícil el abastecimiento de corriente eléctrica, el sistema de iluminación puede ser alimentado por baterías que sean recargadas por medio de celdas solares o sistemas eólicos.

El espaciamiento y la altura a la que se instalarán las luminarias dependerá de la intensidad de iluminancia que se quiera brindar a los usuarios; esta no debe ser menor a 10,00 luxes o provocar deslumbramiento.

Cuando existan medianas dentro de las carreteras, las luminarias deben colocarse dentro de estas para lograr reducir los costos de instalación de las mismas; si la mediana no tuviera un ancho mayor a 2,00 m se deben instalar protectores contra colisiones, para proteger los postes de soporte de las mismas.

Figura 19. **Poste de iluminación en mediana de carretera**



Fuente: www.google.com/images. Consulta: septiembre de 2014.

6.2. Dispositivos de control de tránsito

Los dispositivos de control de tránsito son todos aquellos elementos físicos que tienen la función de regular y hacer fluir de manera eficiente y segura el flujo de volumen de vehículos, como: bordillos, líneas divisorias de los carriles o cualquier otra marca ubicada sobre la superficie de rodadura, vialetas, boyas, semáforos, señales de tránsito, rótulos informativos, talanqueras, conos, tambos de tráfico, bardas de concreto, amortiguadores de impactos, etc.

Figura 20. Ejemplos de dispositivos de control de tránsito



Fuente: www.google.com/images. Consulta: septiembre de 2014.

Su ubicación y diseño deben ser cuidadosamente analizados para evitar que la información requerida para lograr una conducción segura y eficiente sea confusa; se debe evitar sobrecargar de información al conductor. Deberá ser objetiva, directa y ubicada con la suficiente anticipación, para lograr que el conductor pueda analizar y realizar cualquier maniobra de forma tranquila.

6.3. Señalización

La señalización es un dispositivo de control de tránsito visual-informativo que tiene como función adquirir la atención del conductor y transmitirle un mensaje. El mensaje transmitido por una señal debe ser directo, claro y conciso, para evitar confundir o hacer dudar al conductor y ubicarse en un lugar en donde sea percibido claramente; si el mensaje es gráfico, debe tener un diseño sencillo; y si es escrito, debe redactarse de la forma más sencilla y breve posible y utilizar un tipo de estilo de letra que evite confundir las letras del alfabeto y los números entre sí.

Cada señal debe percibirse claramente a una distancia que varía según la velocidad de diseño del tramo de la carretera dentro de la cual se encuentra ubicada, según el tiempo requerido que se necesita para percibir, analizar y entender el mensaje transmitido y según la distancia de decisión que se necesita para efectuar la maniobra pertinente. Durante el diseño de señales de tránsito se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La forma de la señal debe limitarse a la utilización de las figuras geométricas.
- Se deben utilizar los reglamentos internacionales de colores y logotipos para lograr una mejor transmisión del mensaje.

- La pintura utilizada para la impresión del mensaje debe ser percibida al momento de la conducción nocturna y evitar deslumbrar al conductor durante el día.
- Se buscará adquirir el mayor contraste posible de color entre los distintos elementos que componen el mensaje.

Figura 21. Ejemplos de señalización vertical y horizontal



Fuente: www.google.com/images. Consulta: septiembre de 2014.

Los reglamentos internacionales de control de tránsito tienen estandarizados la totalidad de las señales requeridas para lograr una conducción eficiente y segura.

En Guatemala se necesita unificar las existentes, colocar las señales mínimas obligatorias que aún no se hayan instalado y crear un programa exclusivo permanente en donde se verifique su utilidad, que dé mantenimiento a las mismas y que sustituya las dañadas o deterioradas.

Los semáforos son el dispositivo de tránsito más utilizado en las áreas urbanas y suburbanas; su función es la de regular el tiempo de paso de cada uno de flujos de tránsito, que convergen entre sí, en las distintas vías de circulación.

La importancia de un correcto diseño y utilización de tecnología de vanguardia en los sistemas de semaforización, permite incrementar de manera considerable la capacidad de flujo de los carriles de circulación.

6.4. Estructuras de soporte para señales y postes de iluminación

Las estructuras de soporte para señales y postes de iluminación deberán ubicarse en los lugares en donde ocasionen la nula o menor peligrosidad posible, tanto para los vehículos automotores como para los peatones; esto es, que se encuentren ubicados como mínimo a una distancia libre de 0,50 m de donde finaliza el ancho del hombro, o idealmente, a una mayor distancia.

Cuando por razones de espacio restringido y alto grado de accidentalidad en el lugar, estas estructuras representen peligro, deben protegerse por elementos adyacentes que permitan la absorción de la energía inercial del vehículo descontrolado como: los promontorios de suelo, toneles plásticos llenos de agua, sacos rellenos de suelo o arena, defensas de resorte, etc.

Estas estructuras deben hacerse con materiales que permitan, en caso de accidente, fallar y deformarse, pero en ningún momento, quebrarse en múltiples elementos que puedan salir desprendidos como esquirlas, las cuales provoquen lesiones adicionales y además, deberán tener el menor peso posible, para que en caso de desplome, causen el menor daño posible.

Figura 22. **Ejemplo de estructura de soporte**



Fuente: km 92, RD-14, Sacatepéquez.

CONCLUSIONES

1. Las carreteras se deben diseñar con la mayor velocidad de ruedo posible, la cual cumpla con las normas de eficiencia y seguridad vehicular que se deseen implementar; asumiendo su impacto sociopolítico, ambiental, geográfico, económico y estético. Al incrementarse la velocidad, se debe aumentar de manera proporcional y estricta el nivel de seguridad y eficiencia.
2. Una velocidad de diseño menor a 50 km/h provocará consumo de combustible innecesario, pequeños embotellamientos que restringirán la correcta fluidez del tránsito y pérdidas de tiempo que disminuirán la productividad de los usuarios.
3. Una velocidad de diseño mayor a 100 km/h provocará consumo de combustible innecesario, aumento del costo por kilómetro de carretera construido y aumento proporcional de lesiones y fatalidades en accidentes, debido a la reducción en la capacidad de respuesta de los usuarios.
4. Un diseño de carretera eficiente y seguro para vehículos y peatones, es aquel que brinda una correcta información visual de las características físicas de la misma, permitiendo que el usuario perciba, analice, decida y actúe de la manera más correcta posible.

5. Mientras mayor sea el nivel de exigencia de calidad que se contemple dentro de los programas de mantenimiento de una carretera, mayor será el nivel de eficiencia y seguridad que se obtenga. Los elementos fundamentales, que como mínimo se deben mantener en un nivel aceptable de conservación son: la carpeta de rodadura y las líneas de demarcación de los carriles.
6. Un proyecto de carretera exitoso será, el que logre aportar la mayor cantidad de beneficios que produzcan un desarrollo sostenible y en donde se logre reducir al mínimo los efectos negativos sobre el medio ambiente y social del entorno.
7. Los peatones y ciclistas son los usuarios más vulnerables de las carreteras; cuando sus volúmenes sean considerables, su seguridad prevalecerá sobre cualquier otra variable de diseño.
8. El correcto diseño de los sistemas de iluminación, de dispositivos de control de tránsito y de señalización en las carreteras, aumentará el nivel de seguridad de las mismas y disminuirá los índices de accidentalidad, fatalidad, embotellamientos y conflictos vehiculares.

RECOMENDACIONES

1. Implementar estaciones permanentes de recuento de volúmenes de tránsito en la mayor cantidad posible de tramos carreteros del país, para obtener datos fidedignos de la demanda y comportamiento del flujo de tránsito.
2. Establecer que la mayor velocidad permitida en un tramo carretero en tangente, no exceda en más de 20 km/h la velocidad de diseño y que su tolerancia máxima no exceda los 40 km/h.
3. Para reducir gradualmente el porcentaje de lesiones, fatalidades y costos económicos que provocan los accidentes viales, se deben establecer políticas y reglamentos de: educación vial, normas estrictas de seguridad en la planificación y diseño de carreteras, estudio y uso de estadísticas fiables de las causas, lugar y magnitud de accidentes, embotellamientos y demandas de tránsito, técnicas modernas de construcción, mantenimiento óptimo de carreteras y correcta proyección futura de demandas y problemas de tránsito vehicular.
4. Actualizar y ejecutar en el menor tiempo posible, los proyectos de circunvalación de centros urbanos que posee el Ministerio de Comunicaciones, para mejorar la eficiencia y nivel de operación de la red de carreteras del país.

5. Normar e instaurar reglamentos a nivel nacional de: instalaciones ajenas dentro del derecho de vía, vallas publicitarias, emisión de gases, contaminación sonora, dispositivos de control de tránsito, iluminación, señalización y sus respectivas estructuras de soporte, instalaciones peatonales e instalaciones de transporte colectivo .
6. Legislar acerca del uso del suelo (zona rural, suburbana, urbana, industrial, etc).
7. Implantar y fomentar como prioridad de diseño urbano y buscar ejecutar la mayor cantidad de proyectos de ciclovías y vías peatonales.

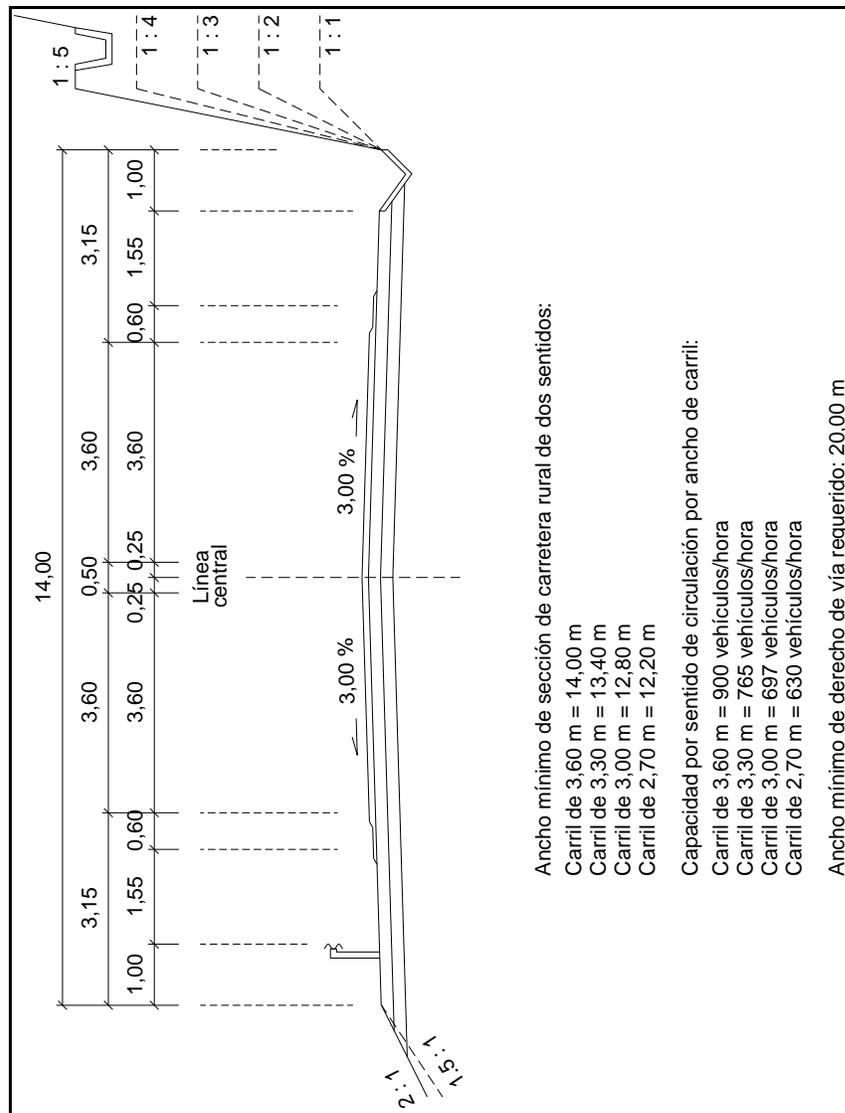
BIBLIOGRAFÍA

1. American Association of State Highways and Transportation Officials. *A policy on geometric design of highways and streets 1994*. Estados Unidos: AASHTO, 1995. 486 p.
2. ASTORGA MONZÓN, Carlos Leonel. *Guía para la determinación del análisis de capacidad y nivel de servicio de carreteras*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1986. 85 p.
3. BOLAÑOS DURÁN, Luis Eduardo. *Consideraciones para la formulación y evaluación de proyectos viales*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1997. 67 p.
4. CASTROCONDE MONZÓN, Miriam Eugenia. *Metodología para el conteo de tránsito en la red vial de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1990. 80 p.
5. COLLINS, John; HART, C. A. *Ingeniería de carreteras*. Arespacochaga, Juan (trad.). 18a ed. España: Nuevas Gráficas, 1979. 647 p.

6. DEBROY ESTRADA, Herlindo Gabriel. *Métodos para determinación de velocidad en carreteras y su aplicación*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1973. 83 p.
7. GALINDO, Juan Carlos. *Tercer carril de ascenso, solución para mejorar el nivel de servicio y capacidad de carreteras de dos carriles*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1997. 76 p.
8. GARCÍA BARZANALLANA, José Fernando. *Programa de operaciones de tránsito para elevar la capacidad y seguridad de las vías*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1977. 157 p.
9. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, Dirección General de Caminos. *Especificaciones para la construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: ICA, 2001. 4035 p.
10. VARGAS OLIVA, René Rolando. *Propuesta del manual de controles de tránsito para operaciones de mantenimiento y construcción de vías urbanas e instalaciones que la afecten*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1987. 50 p.

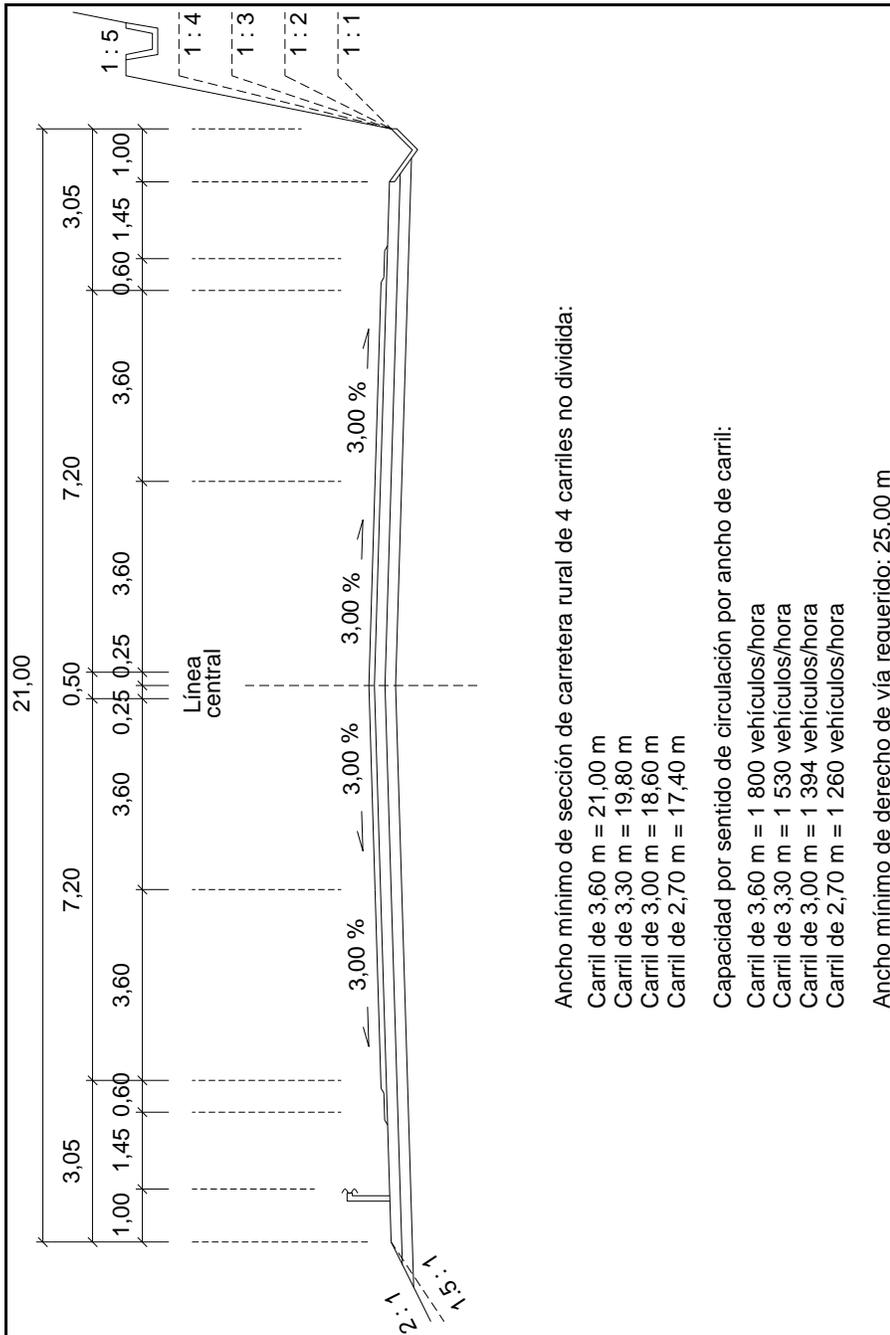
APÉNDICES

Apéndice 1. Ancho mínimo de sección de carretera rural de dos sentidos



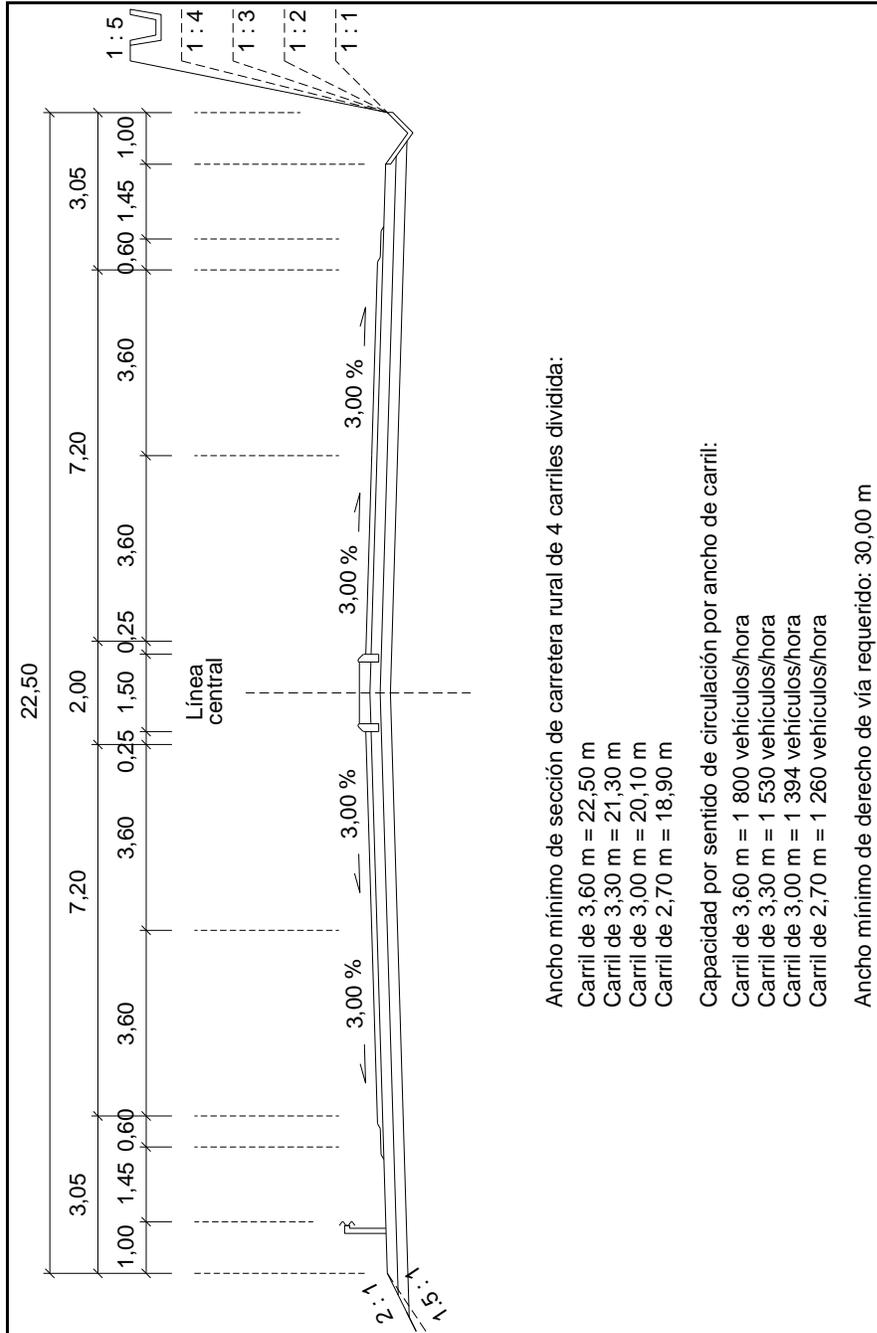
Fuente: AASHTO, DGC y elaboración propia.

Apéndice 2. **Ancho mínimo de sección de carretera rural de 4 carriles no dividida**



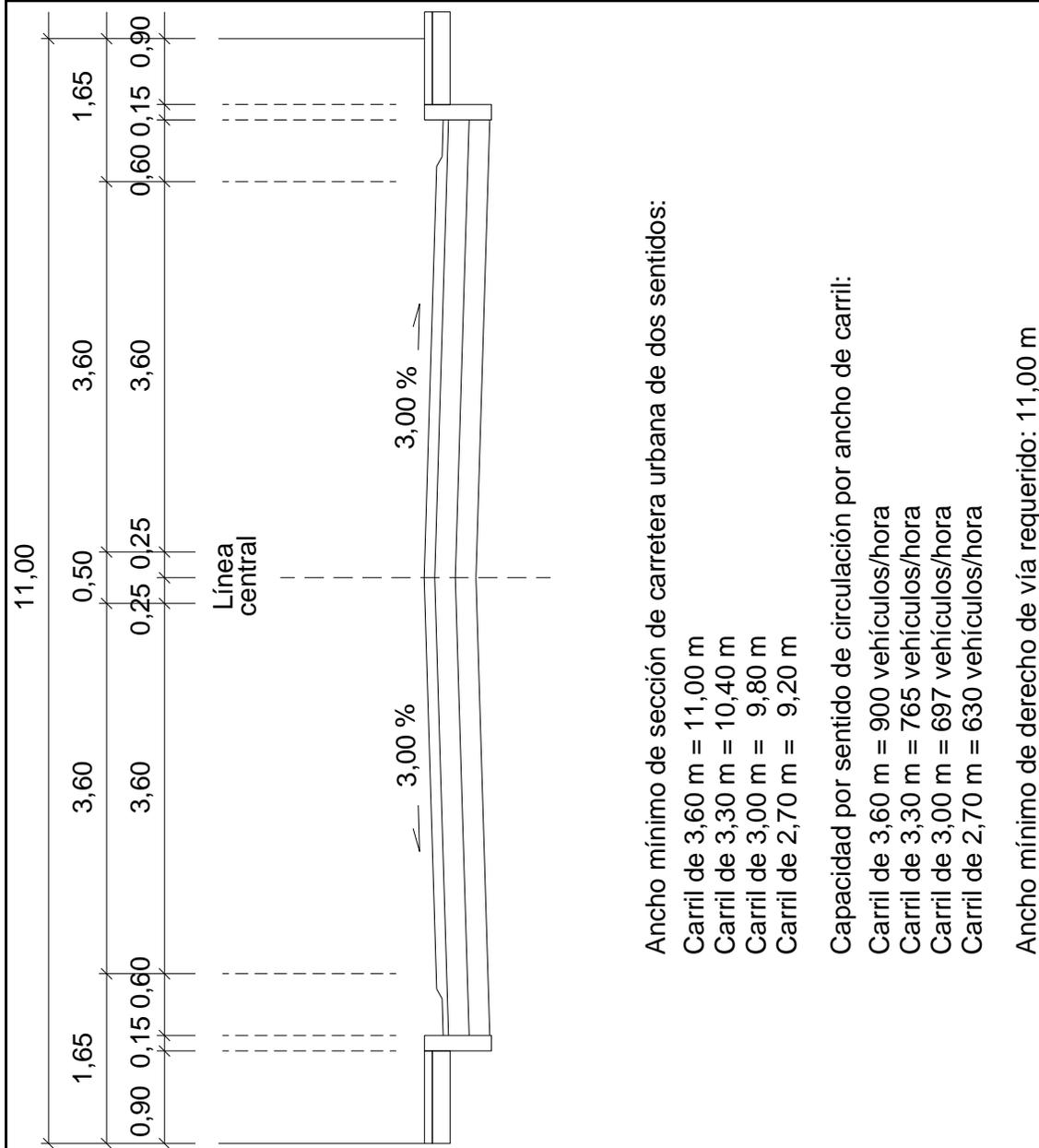
Fuente: AASHTO, DGC y elaboración propia.

Apéndice 3. **Ancho mínimo de sección de carretera rural de 4 carriles dividida**



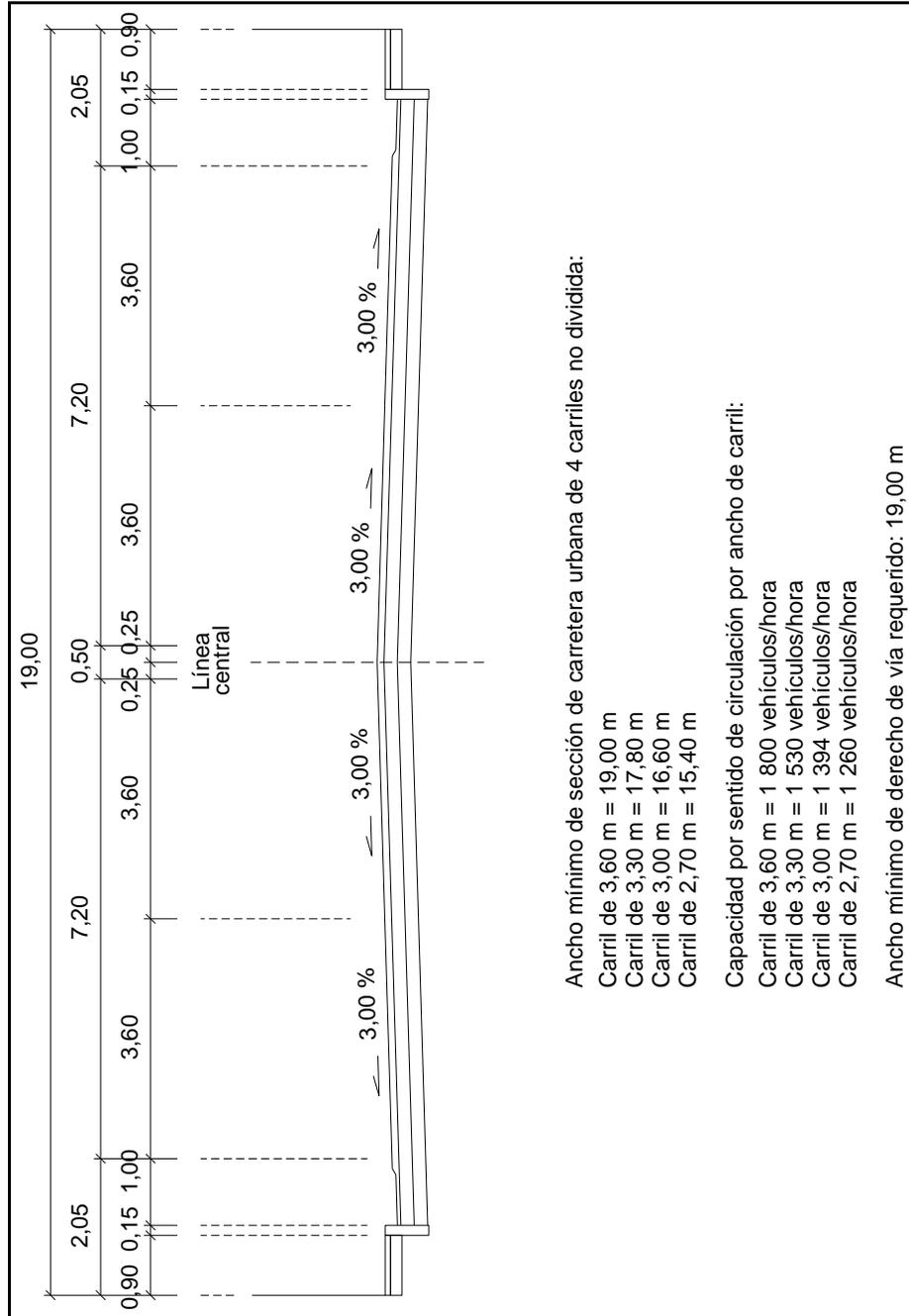
Fuente: AASHTO, DGC y elaboración propia.

Apéndice 4. **Ancho mínimo de sección de carretera urbana de dos sentidos**



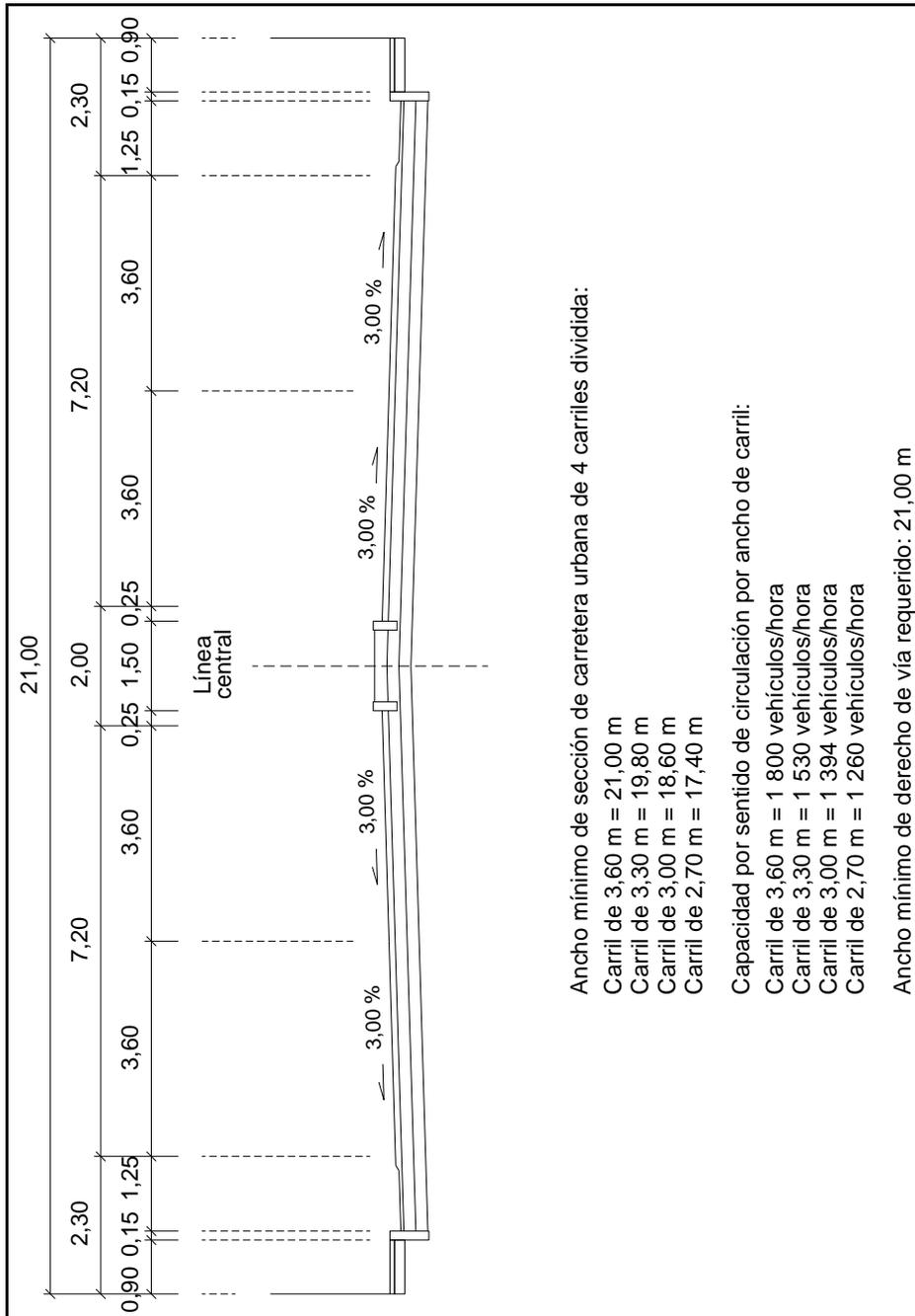
Fuente: AASHTO, DGC y elaboración propia.

Apéndice 5. **Ancho mínimo de sección de carretera urbana de 4 carriles no dividida**



Fuente: AASHTO, DGC y elaboración propia.

Apéndice 6. **Ancho mínimo de sección de carretera urbana de 4 carriles dividida**



Fuente: AASHTO, DGC y elaboración propia.