



Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras

con enfoque de

Gestión de Riesgo y Seguridad Vial



3ª. Edición, 2011



INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I CLASIFICACIÓN DE LA RED DE CARRETERAS

1.1	SISTEMAS Y CLASIFICACIONES.....	23
1.2	EL CONCEPTO DE CLASIFICACIÓN FUNCIONAL.....	23
1.2.1	Jerarquía del Movimiento y Componentes.....	23
1.2.2	Clasificación Funcional y Servicios Proveídos.....	24
1.2.3	Necesidades de Acceso y Controles.....	25
1.3	CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA FUNCIONAL.....	26
1.3.1	Definiciones de las Áreas Urbana y Rural.....	26
1.3.2	Categorías Funcionales.....	26
1.3.3	Sistemas Viales Funcionales para Áreas Rurales.....	27
1.3.3.1	Sistema Arteria Rural Principal.....	27
1.3.3.2	Sistema Arterial Rural Menor.....	27
1.3.3.3	Sistema Colector Rural.....	27
1.3.3.4	Sistema de Caminos Locales Rurales.....	28
1.3.4	Sistemas Viales Funcionales en Áreas Urbanas.....	28
1.3.4.1	Sistema Arterial Urbano Principal.....	28
1.3.4.2	Sistema Arterial Urbano Menor.....	29
1.3.4.3	Sistema Urbano de Calles Colectoras.....	30
1.3.4.4	Sistema Urbano de Calles Locales.....	30
1.4	LA CLASIFICACIÓN FUNCIONAL COMO UN TIPO DE DISEÑO.....	30
1.5	CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS.....	33

CAPÍTULO II CONTROLES Y CRITERIOS DE DISEÑO

2.1	INTRODUCCIÓN.....	37
2.2	VEHÍCULOS DE DISEÑO.....	37
2.2.1	Características Generales.....	37
2.2.2	Trayectorias Mínimas de Giro de los Vehículos de Diseño.....	38
2.2.3	Contaminación Vehicular.....	40
2.3	COMPORTAMIENTO DE LOS CONDUCTORES.....	41
2.3.1	Introducción.....	41
2.3.2	Conductores Mayores.....	41
2.3.3	La tarea de Conducir.....	42
2.3.4	La Tarea de Dirigir.....	43
	a) Ubicación en el Carril y Seguimiento del Camino.....	43
	b) Seguimiento de Vehículo.....	43
	c) Maniobras de Adelantamiento.....	43
	d) Otras Actividades de Dirección.....	43
2.3.5	El Sistema de Información.....	43
	a) Dispositivos de Control de Tránsito.....	44
	b) La Carretera y su Ambiente.....	44
2.3.6	Manejo de la Información.....	44
	a) Tiempo de Reacción.....	45
	b) Prioridad.....	45
	c) Expectativa.....	45
2.3.7	Errores de Conducción.....	46
	a) Errores Debido a Deficiencias del Conductor.....	46
	b) Errores Debidos a Exigencias de la Situación.....	47
2.3.8	Velocidad y Diseño.....	47

2.4	CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO.....	48
2.4.1	Consideraciones Generales.....	48
2.4.2	Volumen.....	49
	a) Tránsito Promedio Diario Anual.....	49
	b) Tránsito de Hora Pico.....	49
2.4.3	Distribución Direccional.....	50
2.4.4	Composición del Tránsito.....	51
2.4.5	Distribución Direccional del Tránsito (D).....	52
2.4.6	Proyección Futura de las Demandas del Tránsito.....	52
2.4.7	Velocidad.....	53
	a) Velocidad de Operación.....	54
	b) Velocidad de Ruedo.....	54
	c) Velocidad de Diseño.....	55
2.5	CAPACIDAD DE CARRETERAS.....	57
2.5.1	Conceptos de Capacidad.....	57
2.5.2	Los Niveles de Servicio.....	59
2.5.3	Capacidad y Niveles de Servicio en Carreteras de Dos Carriles.....	60
2.5.4	Cambios en Manual HCM 2010.....	70

CAPÍTULO III ELEMENTOS DE DISEÑO

3.1	DISTANCIAS DE VISIBILIDAD EN CARRETERAS.....	75
3.1.1	Distancia de Visibilidad de Parada.....	75
3.1.2	Distancia de Visibilidad de Decisión.....	78
3.1.3	Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (en carreteras de dos carriles).....	79
3.1.4	Criterios para Cálculo de las Distancias de Visibilidad.....	80
	a) Altura del Ojo del Conductor.....	80
	b) Altura del Objeto.....	80
	c) Obstrucciones a la Visibilidad.....	81
3.2	ALINEAMIENTO HORIZONTAL.....	81
3.2.1	Tasas de Peralte y Factor de Fricción Lateral.....	83
3.2.2	Distribución de "e" y "f".....	84
3.2.3	Radio Mínimo.....	87
3.2.4	Diseño para Calles Urbanas de Baja Velocidad.....	88
3.2.5	Longitudes de Transición.....	92
3.2.6	Métodos para Proveer el Peralte.....	105
3.2.7	Sobreechanco en Curvas.....	108
3.2.8	Rampas de Escape para Emergencias.....	113
3.2.9	Criterios Aplicables al Diseño del Alineamiento Horizontal: Balance entre Curvas y Tangentes.....	113
3.3	ALINEAMIENTO VERTICAL.....	115
3.3.1	Pendientes de Control para el Diseño.....	117
	a) Pendiente Máxima.....	117
	b) Pendiente Mínima.....	120
	c) Longitud Crítica de Pendientes de Diseño.....	120
	d) Carriles de Ascenso.....	121
3.3.2	Curvas Verticales.....	123
	a) Curvas Verticales en Cresta.....	124
	b) Curvas Verticales Cóncavas o en Columpio.....	126
3.3.3	Algunos Criterios para el Diseño del Alineamiento Vertical.....	128
3.4	DERECHO DE VÍA.....	128
3.5	ALUMBRADO PÚBLICO DE LAS VÍAS E INTERSECCIONES.....	131
3.6	LA UTILIZACIÓN DE DISPOSITIVOS UNIFORMES PARA EL CONTROL DEL	

3.7	TRÁNSITO EN CENTROAMÉRICA Y PANAMÁ.....	132
	PROPAGANDA A LO LARGO DE LAS CARRETERAS E INTERSECCIONES.....	132

CAPÍTULO IV ELEMENTOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

4.1	PLATAFORMA O CORONA.....	137
4.1.1	Rasante.....	139
4.1.2	Pendiente Transversal.....	139
	a) Bombeo Normal.....	139
	b) Peralte o Sobreelevación.....	139
	c) Transición del Bombeo al Peralte.....	139
4.1.3	Ancho de Calzada.....	140
4.1.4	Hombros o Espaldones.....	141
4.1.5	Sobreancho del Pavimento (SAP).....	143
4.1.6	Aceras o Banquetas.....	143
4.1.7	Mediana.....	143
4.2	SUB-CORONA O SUB-RASANTE.....	144
4.2.1	Subrasante.....	145
4.2.2	Taludes.....	145
4.2.3	Drenaje Superficial.....	145
	a) Cunetas.....	146
	b) Contracunetas.....	146
	c) Sub-Drenaje.....	146
4.3	BORDILLOS.....	147
4.4	BAHÍAS PARA AUTOBUSES Y ÁREAS DE ESTACIONAMIENTO.....	148
4.5	LAS CALLES MARGINALES O FRONTALES.....	151
4.6	ACONDICIONAMIENTOS.....	151
4.7	BARRERAS DE TRÁNSITO.....	152
4.7.1	Barreras Laterales.....	152
	a) Flexible.....	152
	b) Semirrígida.....	153
	c) Rígida.....	153
	d) Terminales de Barrera.....	154
	e) Amortiguadores de Impacto.....	154
	d) Amortiguadores de Impacto con Capacidad de Redireccionamiento....	154
4.7.2	Barreras en la Mediana.....	155
4.8	CICLOVÍAS.....	157
4.9	RETORNOS.....	159
4.10	ACCESO A PROPIEDADES.....	159

CAPÍTULO V INTERSECCIONES A NIVEL

5.1	CRITERIOS DE SELECCIÓN Y DISEÑO DE LAS INTERSECCIONES.....	163
5.2	CONCEPTOS GENERALES DE UNA INTERSECCIÓN.....	163
5.3	ELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE INTERSECCIÓN A UTILIZAR.....	165
5.3.1	Elección del Tipo de Intersección.....	165
5.3.2	Clasificación General.....	165
	a) Las intersecciones Convencionales y Canalizadas.....	165
	b) Consideraciones sobre las Intersecciones Semaforizadas.....	166
	c) El proceso de Selección del Diseño.....	168
5.4	Tipos de Intersecciones.....	169
5.4.1	Las Intersecciones en T.....	170

5.4.2	Las Intersecciones de Cuatro Ramales.....	172
5.4.3	Otras Intersecciones.....	172
5.5	ELEMENTOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO.....	176
5.5.1	Orientaciones Básicas para el Alineamiento y el Perfil Longitudinal.....	176
5.5.2	Curvatura para Giros.....	177
5.5.3	Sobreelevación de Curvas en Intersecciones.....	182
5.6	CANALIZACIONES E ISLAS.....	187
5.6.1	La Canalización de Intersecciones.....	187
5.6.2	Principios Básicos de las Canalizaciones.....	188
5.7	LOS GIROS A IZQUIERDA.....	191
5.7.1	Consideraciones Especiales para el Diseño de los Giros a Izquierda.....	191
5.7.2	Carriles Dobles para Giros a Izquierda.....	199
5.8	CARRILES AUXILIARES PARA ACELERACIÓN O DECELERACIÓN.....	201
5.9	LAS MANIOBRAS DE RETORNO O VUELTAS EN U Y LOS GIROS A IZQUIERDA EN CARRETERAS DIVIDIDAS.....	203
5.9.1	Discusión General.....	203
5.9.2	Interrupción de la Mediana en una Carretera Dividida.....	204
5.10	VISIBILIDAD EN INTERSECCIONES.....	208
5.11	DISEÑO DE INTERSECCIONES GIRATORIAS O ROTONDAS.....	214
5.11.1	Consideraciones Generales.....	214
5.11.2	Tipos de Rotondas.....	215
5.11.3	Elementos de Diseño.....	217
5.11.4	Cálculo de Capacidades de Rotondas.....	219
5.11.5	Visibilidad en Rotondas.....	220
5.11.6	Ancho de Giro Requerido para Vehículos Pesados.....	225

CAPÍTULO VI INTERCAMBIOS Y CRUCES A DESNIVEL

6.1	Los Intercambios, una Categoría Superior de Intersecciones.....	231
6.2	Condiciones para la Construcción de Intercambios.....	232
6.2.1	Criterios Generales.....	232
6.2.2	La Relación de Beneficios y Costos.....	232
6.2.3	Insuficiente Capacidad de la Intersección a Nivel.....	232
6.2.4	El Control en los Accesos.....	233
6.2.5	Las Necesidades en Centroamérica y Panamá.....	233
6.3	Tipos Usuales de Intercambios.....	233
6.3.1	Intercambios de Tres Ramales.....	234
6.3.2	Intercambios de Cuatro Ramales.....	236
	a. Los Diamantes.....	236
	b. Los Tréboles.....	237
6.4	Las Estructuras para la Separación de Niveles.....	239
6.4.1	Pasos inferiores o Superiores.....	239
	a. El Paso Inferior por las Estructuras de Separación de Niveles.....	239
	b. El Paso Superior por la Cubierta de las Estructuras.....	241
6.4.2	Ancho de las Estructuras de Separación de Niveles en los Intercambios.....	241
6.4.3	Las Restricciones Laterales.....	242
6.4.4	Medianas.....	243
6.4.5	Altura Libre del Paso Inferior.....	243
6.4.6	Distancia Horizontal para efectuar la Separación de Niveles.....	243
6.5	Las Rampas, su Diseño.....	244
6.5.1	Definiciones.....	244

6.5.2	Velocidades de Diseño.....	244
6.5.3	Ancho de Rampas.....	247
6.5.4	Perfil Longitudinal y Pendientes Recomendables.....	248
6.5.5	Sobreelevación y Pendiente Transversal.....	248
6.5.6	Cuchilla de Salida de una Rampa.....	249
6.5	Las Rampas, sus Terminales.....	252
6.6.1	Tipos de Terminales de Rampas.....	252
6.6.2	Los Carriles de Cambio de Velocidad.....	252
6.6.3	Las Entradas Típicas de las Rampas en un Intercambio.....	256
6.6.4	Las Salidas Típicas de las Rampas en un Intercambio.....	258
6.6	Otras Consideraciones Generales de Diseño.....	260
6.6.1	Secciones de Entrecruzamiento.....	260
6.6.2	Control en las Rampas.....	260

Capítulo VII DISEÑO DE AUTOPISTAS

7.1	Introducción.....	265
7.2	Elementos Generales del Diseño Geométrico.....	266
7.2.1	Velocidad de Diseño.....	266
7.2.2	Volúmenes de Tránsito para Diseño.....	267
7.2.3	Capacidades y Niveles de Servicio en Autopistas.....	267
7.2.4	Anchos de Carriles y Hombros o Espaldones.....	269
7.2.5	Bordillos.....	269
7.2.6	Sobreelevación.....	269
7.2.7	Pendientes o Gradientes Longitudinales.....	270
7.2.8	Estructuras.....	270
7.2.9	Altura Libre en Estructuras.....	271
7.2.10	Despeje Lateral de las Obstrucciones.....	271
7.2.11	Separaciones Exteriores, Fronteras y Calles Marginales.....	272
7.2.12	Medianas.....	272
7.3	Autopistas en Trinchera.....	274
7.3.1	Consideraciones sobre el Diseño.....	274
7.3.2	A Propósito de las Secciones Típicas de Cruce y los Derechos de Vía.....	274
7.3.3	Secciones de Autopistas en Trinchera, incluyendo el Uso de Muros.....	275
7.4	Autopistas Elevadas.....	279
7.4.1	Consideraciones sobre el Diseño.....	279
7.4.2	Medianas.....	280
7.4.3	Carreteras Marginales o Frontales.....	280
7.4.4	Separación de las Líneas de Construcción.....	280
7.4.5	Sección Transversal Típica y Derechos de Vía.....	281
7.4.6	Autopistas de Viaductos sin Rampas.....	281
7.4.7	Viaductos de Autopistas de dos Vías con Rampas.....	282
7.4.8	Autopistas sobre Terraplenes de Tierra.....	285
7.5	Autopistas a Nivel del Terreno.....	285
7.5.1	Algunos Criterios de Diseño.....	285
7.5.2	Secciones Típicas de Cruces y Derechos de Vía.....	285
7.5.3	Restricciones de Secciones de Cruce y de Derecho de Vía.....	286
7.6	El Derecho de Vía en las Autopistas.....	286

Capítulo VIII
GESTIÓN DE RIESGOS Y SEGURIDAD VIAL EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE
CARRETERAS

	Introducción al Capítulo.....	293
	Objetivos.....	295
8.1	La Gestión de Riesgo en el Diseño Geométrico de Carreteras.....	295
8.1.1	Riesgo en Terrenos Inclınados, Taludes, Cortes y Rellenos.....	296
8.1.2	Deslizamientos y Cortes.....	297
8.1.3	Deslizamientos y Cortes en Roca.....	299
	Síntesis	
8.1.4	Riesgo en el Diseño del Drenaje Superficial.....	305
	8.1.4.1 Consideraciones Hidrológicas.....	306
	8.1.4.2 Herramientas y Programas para Hidrología	
	Síntesis.....	307
8.2	LA SEGURIDAD VIAL EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS..	310
8.2.1	Riesgo en el Uso de los Diferentes Tipos de Vehículos para Diseño.....	310
	Síntesis	
8.2.2	Riesgo por Contaminación de Ruido.....	312
8.2.2.1	Factores que influyen en las lesiones auditivas por ruido.....	313
8.2.2.2	Medidas para reducir el ruido.....	314
8.2.2.3	Medidas mitigadoras sobre el entorno de la carretera para reducir el ruido.....	315
8.2.2.4	Mapas Estratégicos de Ruido en Carreteras.....	316
	Síntesis	
8.2.3	Riesgo en el Comportamiento de los Conductores.....	320
	8.2.3.1 Lugar de aplicación del Estudio.....	320
	8.2.3.2 Horario y Duración del Estudio.....	320
	8.2.3.3 Resultados.....	321
	8.2.3.4 Aplicaciones.....	321
	Síntesis	
8.2.4	Riesgo por Disminución de Visibilidad.....	322
	8.2.4.1 Riesgo por disminución de visibilidad de adelantamiento.....	323
	8.2.4.2 Riesgo de Conducción ante poca Visibilidad.....	327
	Síntesis	
8.2.5	Riesgo por Distractores de Propaganda y Anuncios en Carreteras.....	328
	Síntesis	
8.2.6	Disminución de Accidentes con el Diseño de Ciclovías.....	330
	Síntesis	
8.2.7	Riesgo de Accidente en Intersecciones a Nivel y Retornos.....	331
	Síntesis	
8.2.8	Seguridad Vial en Pasos a Desnivel.....	332
	Síntesis	
8.2.9	Seguridad Vial en Autopistas.....	334
	Síntesis	
8.3	CASOS ESPECIALES EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS	
	INCLUYE LA GESTIÓN DE RIESGO Y SEGURIDAD VIAL.....	336
8.3.1	Diseño de Carreteras Especiales.....	336
	Síntesis	
8.3.2	Obras de Infraestructura Existentes o por Construir.....	338
8.3.3	Cambio de uso de la vía por disposición local o nacional.....	339
	Síntesis	
8.3.4	Diseño de Carreteras en Zonas Sísmicas.....	340
	8.3.4.1 Tipos de Fallas.....	340
	8.3.4.2 Vibración de un sismo.....	341

	8.3.4.3	Regiones geográficas con riesgo de sismos.....	342
		Síntesis	
8.4		DISEÑO DE CARRETERAS EN ZONAS VOLCÁNICAS.....	344
	8.4.1	Tipos de Volcanes.....	344
	8.4.2	Tipos de erupciones.....	344
	8.4.3	Factores que causan daño.....	344
	8.4.4	Modelación de Amenaza Volcánica.....	346
		Síntesis	

Capítulo IX GLOSARIO

9.1		Terminología Usada en Diseño Geométrico.....	353
	9.1.1	Abreviaturas.....	353
	9.1.2	Definiciones.....	354
	9.1.3	Medidas.....	382
9.2		Terminología Usada en Gestión de Riesgo.....	384
10.		Anexos	
	1.	Apéndice 1: Vehículos de Diseño.....	393
	2.	Apéndice 2: Acceso a Casas, Garages y Otros Esquemas.....	419

ÍNDICE DE CUADROS

1.1		Sistema de Clasificación Funcional.....	25
1.2		Nivel de Servicio de Carreteras.....	32
1.3		Sistema de Clasificación Funcional.....	33
2.1		Dimensiones de los Vehículos de Diseño.....	38
2.2		Radio Mínimo de Giro de los Vehículos de Diseño.....	39
2.3		Guía para Seleccionar el Nivel de Servicio para Diseño.....	60
2.4		Criterio del LOS para carreteras de dos carriles Carretera Tipo I.....	61
2.5		Criterio del LOS para carreteras de dos carriles Carretera Tipo II.....	61
2.6		Criterio del LOS para carreteras de dos carriles Carretera Tipo III.....	62
2.7		Ajuste debido al ancho de carril y al ancho de hombro (f_{LS}).....	63
2.8		Ajuste debido a la cantidad de puntos de acceso (f_A).....	63
2.9		Factor de ajuste (f_e) para determinar la velocidad sobre Segmentos de dos vías y direccionales.....	64
2.10		Factor de ajuste (f_e) para determinar el porcentaje de tiempo utilizado En seguir un vehículo sobre segmentos de dos vías y direccionales.....	64
2.11		Equivalente del número de vehículos por camión y vehículo recreacional Para determinar la velocidad en segmentos de dos vías y direccional.....	64
2.12		Equivalente del número de vehículos por camión y vehículo recreacional Para determinar la velocidad en segmentos de dos vías y direccional.....	65
2.13		Ajuste (f_{np}) para la velocidad promedio de viaje debido al porcentaje De zonas de "no rebasar" en segmento de dos direcciones.....	66
3.1		Distancia de Visibilidad de Parada Horizontal y con Pendiente Vertical.....	77
3.2		Distancias de Visibilidad de Decisión.....	78
3.3		Distancia de Visibilidad Adecuada para Adelantar.....	79
3.4		Porcentaje de la Carretera con Visibilidad Adecuada para Adelantar.....	80
3.5		Velocidad Promedio de Ruedo.....	85
3.6		Radio Mínimo y Grados Máximos de Curvas Horizontales para Distintas Velocidades de Diseño.....	89
3.7		Peralte y Radio Mínimo para Calles Urbanas de Bajo Tránsito.....	90
3.8		Máximas Pendientes Relativas de la Orilla del Pavimento.....	94

3.9	Peralte Recomendado, Longitud de Transición y Distancia de Bombeo, e máx. 4%.....	96
3.10	Peralte Recomendado, Longitud de Transición y Distancia de Bombeo, e máx. 6%.....	97
3.11	Peralte Recomendado, Longitud de Transición y Distancia de Bombeo, e máx. 8%.....	99
3.12	Peralte Recomendado, Longitud de Transición y Distancia de Bombeo, e máx. 10%.....	101
3.13	Peralte Recomendado, Longitud de Transición y Distancia de Bombeo, e máx. 12%.....	103
3.14(a)	Valores de Diseño para Sobreancho en Curvas de Carreteras.....	111
3.14(b)	Ajuste para Diseño de Sobreancho en Curvas de Carreteras.....	112
3.15	Clasificación de los Terrenos en Función de las Pendientes Naturales.....	116
3.16	Pendiente Máxima para Autopistas Urbanas y Rurales.....	117
3.17	Pendiente Máxima para Carreteras Arteriales.....	118
3.18	Pendiente Máxima para Calles Arteriales.....	118
3.19	Pendiente Máxima para Carreteras Colectoras Rurales.....	119
3.20	Pendiente Máxima para Carreteras Colectoras Urbanas.....	119
3.21	Pendiente Máxima para Carreteras Rurales (Locales).....	120
3.22	Longitud Crítica en Pendientes para $\Delta V < 25$ KPH y $\Delta V < 40$ KPH.....	121
3.23	Control de Diseño para Curva Vertical en Cresta para Distancia de Visibilidad de Parada.....	125
3.24	Control de Diseño para Curva Vertical en Cresta para Distancia de Visibilidad de Adelantamiento.....	125
3.25	Control de Diseño para Curva Vertical Cóncava o en Columpio.....	127
4.1	Bombeo Normal de la Calzada.....	139
4.2	Anchos Mínimos de Hombros y Aceras.....	142
4.3	Anchos Recomendables de Medianas.....	144
4.4	Dimensiones Típicas de las Bahías para el Refugio de Autobuses.....	149
4.5	Criterios de Evaluación Según Reporte de NCHRP.....	156
4.6	Anchos Recomendables de Medianas con Retornos en "U".....	159
5.1	Trayectorias para Giros de Vehículos en Intersecciones con curvas simples.....	179
5.2	Trayectorias para Giros de Vehículos en Intersecciones con curvas compuestas.....	180
5.3	Diseño de Giros Mínimos en Intersecciones con Islas y Curvas Compuestas....	181
5.4	Sobreelevación en Curvas de Intersecciones.....	183
5.5	Máximo Cambio de Pendiente para los Perfiles entre los Bordes de los Carriles y la Línea Central en Carreteras de dos Carriles, en Función de la Velocidad.....	183
5.6	Longitudes de Diseño para Carriles de Giros a Izquierda.....	197
5.7	Longitudes en Metros de las Transiciones de Acceso y de las Bahías de Transición al Carril de Giro a Izquierda.....	199
5.8	Anchos Mínimos de la Abertura en las Medianas para Vehículos Típicos de Diseño, P y SU.....	206
5.9	Efecto de Oblicuidad en el Largo de Abertura de Medianas.....	208
5.10	Controles de Diseño para Aberturas Mínimas de la Mediana.....	209
5.11	Distancia de Visibilidad para Giros a Derecha e Izquierda en Intersecciones.....	212
5.12	Distancia de Visibilidad en Rotondas.....	221
5.13	Ancho de Giro Recomendable para Rotondas entre Cunetas, g, para Vehículos Pesados, en Metros.....	226
6.1	Distancia Mínimas (D^* , en metros) para realizar la Separación de Niveles en Estructuras de Paso por Arriba o por Debajo.....	244
6.2	Velocidades de Diseño de las Rampas en función de las Velocidades de Diseño de la Carretera, en kilómetros por hora.....	245
6.3	Anchos de Diseño para Rampas de Giro en Intercambios, dimensiones en metros.....	247
6.4	Longitud Mínima de Transición, más allá de la Nariz de la Cuchilla.....	251

6.5	Longitudes Mínimas de Aceleración para las Terminales de Entrada de Rampas con Pendientes de 2 por ciento o menos.....	253
6.6	Ajustes de la Longitud del Carril de Aceleración, en función de la Pendiente Longitudinal.....	256
6.7	Longitudes Mínimas de Desaceleración para las Terminales de Salida de Rampa, con Pendientes de 2 por ciento o menos.....	258
6.8	Ajustes de la Longitud del Carril de Desaceleración, en función de la Pendiente Longitudinal.....	260
7.1	Pendientes Máximas para Autopistas Urbanas y Rurales.....	270
7.2	Sección Transversal Mínima en Estructuras de Autopistas y Vías Especiales, en Función de los Volúmenes de Tránsito, en Metros.....	271

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Jerarquía de Movimientos.....	24
1.2	Relación de Funcionalidad de Sistemas Clasificados en Movilidad de Tránsito, Servicio y Acceso a la Tierra.....	26
2.1	Relación entre la Hora Pico y los Volúmenes de Tránsito Promedio Diario en Arterias Rurales.....	50
3.1	Métodos para Distribuir el Peralte (e) y el Factor de Fricción Lateral (f).....	86
3.2	Procedimiento para Desarrollar la Distribución Final de (e) aplicando el Método 5.....	87
3.3	Componentes de la Curva Circular y Espirales.....	93
3.4	Diagramas que muestran la Provisión del Peralte para una Curva a la Derecha.....	106
3.5	Componentes del Sobreancho en Curvas de Carreteras.....	109
3.6	Tipos de Curvas Verticales.....	123
4.1(a)	Sección Transversal Típica en Carretera en Dos Direcciones.....	138
4.1(b)	Sección Transversal Típica en Curva en Carretera de Dos Direcciones.....	138
4.2	Transición del Peralte para Calzadas Separadas.....	140
4.3	Secciones Típicas de Bordillos-Cunetas en Carreteras.....	148
4.4	Bahía para Autobuses, Sin Separador.....	149
4.5	Bahía para Autobuses, Con Separador.....	150
4.6	Defensas Laterales Flexibles.....	153
4.7	Defensas Laterales Rígidas.....	153
4.8	Amortiguadores de Impacto Móviles.....	154
4.9	Amortiguadores de Impacto con Capacidad de Redireccionamiento.....	154
4.10	Comparación del Perfil "New Jersey" y Perfil "F2".....	157
4.11	Sección Típica para Ciclovía, Situación de Cruce de Dos Ciclistas.....	159
5.1	Tipos de Intersecciones para Diferentes Volúmenes de Tránsito.....	169
5.2	Intersecciones de Tres y Cuatro Accesos con Posible Número de Conflictos.....	171
5.3	Intersecciones de Tres Accesos en "T".....	173
5.4	Tipos de Intersecciones de Cuatro Accesos.....	174
5.5	Intersecciones con más de Cuatro Accesos: su realineamiento.....	175
5.6(a)	Desarrollo del Peralte en Curvas de Intersecciones con Carriles Auxiliares.....	185
5.6(b)	Desarrollo del Peralte en Curvas de Intersecciones con Carriles Auxiliares.....	186
5.7	Islas de Tránsito.....	189
5.8	Ilustración de Medidas que evitan Movimientos Peligrosos en Intersecciones.....	192
5.9	Definición Clara del Paso de Vehículos.....	193
5.10	Facilidades para Propiciar Velocidades Seguras de los Vehículos.....	194
5.11	Guía General de Capacidad de Carriles para Giros a Izquierda en Intersecciones Semaforizadas.....	196
5.12	Bases de Diseño para Desaceleración de Carriles a Izquierda.....	198
5.13	Diseño de Carriles Dobles para Giros a la Izquierda.....	200
5.14	Diseño Mínimo de la Abertura de la Mediana.....	207
5.15	Triángulo de Visibilidad.....	210

5.16	Distancias de Visibilidad para Giros de Izquierda y Derecha.....	213
5.17	Tipos de Rotondas.....	216
5.18	Parámetros de Diseño.....	218
5.19	Distribución del Tránsito en Rotondas.....	222
5.20A	Visibilidad en Rotondas.....	223
5.20B	Visibilidad en Rotondas (Continuación).....	224
5.21	Ancho para Giros de Vehículos Pesados en Rotondas Normales.....	227
6.1	Intercambio Tipo Trompeta.....	235
6.2	Diamantes y Algunas Variantes.....	238
6.3	Tréboles y Algunas de sus Variantes.....	240
6.4	Altura Libre H, requerida en terreno plano para habilitar el paso superior o inferior de las estructuras de un cruce a desnivel.....	242
6.5	Tipos de Rampas.....	246
6.6	Desarrollo de la Sobreelevación en Terminales de rampa con Flujo Libre.....	250
6.7	Características de una Cuchilla de Salida a una Rampa.....	251
6.8	Características de una Cuchilla de Entrada de Una Rampa.....	254
6.9	Detalles Típicos de Cuchillas de Salida.....	255
6.10	Entradas Típicas de Rampas para Carril Sencillo.....	257
6.11	Salidas Típicas de Rampas para Carril Sencillo Esquema que Muestra las Dimensiones de las Barreras (metros).....	259
7.1	Autopistas en Trinchera.....	277
7.2	Autopistas en Trinchera.....	278
7.3	Autopistas Elevadas en Estructuras.....	283
7.4	Autopistas Elevadas en Terraplenes.....	284
7.5	Autopistas a Nivel.....	288

PRESENTACIÓN

De conformidad con la Resolución 03-1999 (COMITRAN XXI), del 18 de noviembre de 1999, *Armonización y Modernización de Normas Técnicas Aplicables a las Carreteras y al Transporte por Carreteras*, la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), desarrolló un plan de trabajo destinado a mejorar la capacidad de la región para mitigar los efectos transnacionales de los desastres, mediante el desarrollo de lineamientos y estándares regionales. A partir de esa fecha, dicho plan ha sido apoyado por varias instancias de cooperación que han contribuido a disponer y actualizar un conjunto de normas sobre infraestructura y servicios de transporte.

En agosto 2009 CEPREDENAC y SIECA suscribieron una carta de entendimiento para iniciar trabajos de coordinación interinstitucional con financiamiento de AECID; como resultado elaboraron junto con los países el Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial (2010) y el Manual Centroamericano de Gestión de Riesgo en Puentes (2010)

Los Jefes de Estado y de Gobierno de los Estados Miembros del Sistema de Integración Centroamericana, en la XXXV reunión Ordinaria del 29 y 30 de junio 2010 aprobaron la Política Centroamericana para la gestión Integral del riesgo de Desastres (PCGIR) en la que se instruyó a la SIECA para que con apoyo de la Secretaría Ejecutiva del Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (SE-CEPREDENAC), desarrollara orientaciones para la inversión pública segura en infraestructuras productivas, particularmente para mejorar la situación de transitabilidad y reducir la vulnerabilidad del transporte terrestre de la región.

En base a lo anterior ambas instituciones suscribieron una segunda Carta de Entendimiento el 29 de octubre de 2010, para que con recursos del Fondo España-SICA, se actualizara el *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras, con enfoque de Gestión de Riesgo y de Seguridad Vial* (Edición 2011).

Este Manual fue preparado por consultores regionales centroamericanos seleccionados con base en un concurso internacional y fueron acompañados por funcionarios técnicos de SIECA y la Secretaría Ejecutiva de CEPREDENAC, así como por funcionarios nombrados por parte de los Ministerios de Transporte y de las instancias de Protección Civil de la Región, quienes conformaron el Grupo Técnico Regional (GTR) y emitieron avales técnicos de su contenido. Posteriormente, fue aprobado por el Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica (COMITRAN) y por lo miembros del Consejo de Representantes de CEPREDENAC.

El presente documento consiste en una versión actualizada de las técnicas para el diseño geométrico de las carreteras para toda la región, el cual contribuirá con su aplicación en mejorar la seguridad vial y reducir la vulnerabilidad ante desastres.



Iván Morales
Secretario Ejecutivo
CEPREDENAC



Ernesto Torres Chico
Secretario General
SIECA

INTRODUCCIÓN

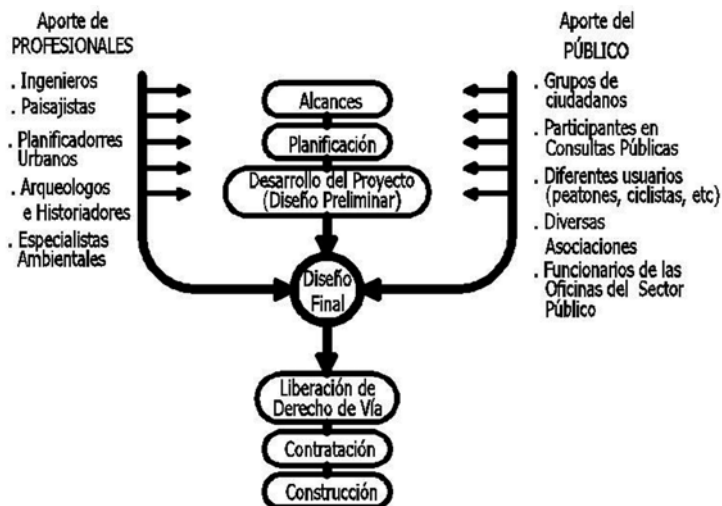
El "Diseño Sensible al Contexto" (DSC) es un concepto nuevo en los proyectos de planificación, diseño, construcción y mantenimiento de carreteras.

Actualmente se hace énfasis sobre la flexibilidad en las normas de planificación, diseño, construcción y mantenimiento de carreteras y se ha fomentado el diseño creativo (participación de distintos profesionales) para atender las necesidades específicas en los proyectos. Esta filosofía fue acuñada en Estados Unidos y representa un enfoque en el que se busca un equilibrio entre la seguridad y las necesidades de movilidad, tomando en cuenta los intereses de la comunidad. DSC refleja la necesidad de considerar los proyectos de carreteras como algo más una vía de transporte. DSC reconoce que una vía de transporte, por la forma como se integra dentro de la comunidad, puede tener grandes impactos (positivos o negativos) más allá de la de la función de transporte o tráfico en sí. La aplicación del DSC también promueve, en las etapas apropiadas del proyecto, el uso de equipos multidisciplinarios para mejorar lo establecido en la práctica de diseño de carreteras y la participación del público para incluir elementos de interés de la comunidad.

Los términos *soluciones contexto-sensitivas*, *diseño contexto-sensitivo* y *flexibilidad en el diseño de carreteras* son términos intercambiables que tienen el mismo significado.

El diseño geométrico de carreteras es únicamente un elemento en todo el proceso de planificación de un proyecto. Generalmente el diseño detallado ocurre en la mitad del proceso, uniendo las fases preliminares de planificación y desarrollo del proyecto con las siguientes fases de adquisición de derecho de vía, licitación, construcción y mantenimiento. Aunque todas son distintas actividades, existe un traslape en términos de coordinación entre varias disciplinas que deben desarrollarse conjuntamente, involucrando a todos los diseñadores, a lo largo del proceso.

A continuación se muestra el proceso de planificación tomando en cuenta el diseño sensible al contexto (DSC)



ALCANCES

Esta fase tiene como objetivo la determinación del alcance del desarrollo del proyecto, independientemente del nivel de detalle del estudio, por lo tanto, es importante identificar a las distintas partes interesadas en el proyecto y proporcionarles la oportunidad de expresar sus consideraciones. El público en general debe tomarse en cuenta porque, si bien pueden tener un enfoque diferente, pueden obtenerse mejores consideraciones que las que aporten aquellos que deberían ser los más interesados.

PLANIFICACIÓN

La definición inicial de la necesidad de un proyecto, una carretera o un puente por ejemplo, se lleva a cabo durante la etapa de planificación. Dependiendo de la magnitud de la obra propuesta, por razones de costos, la definición de la misma se hará a nivel nacional, departamental o municipal. Este es el momento clave para que el público involucrado pueda aportar ideas en el proceso de toma de decisiones, las cuales se obtendrán a través de investigaciones de campo y consultas públicas.

DESARROLLO DEL PROYECTO

Después de que un proyecto ha sido planificado y programado para su implementación, se pasa a la fase de desarrollo del proyecto (diseño preliminar). Los pasos básicos en esta etapa incluyen lo siguiente:

- Afinamiento de los propósitos y necesidades
- Desarrollo de un rango de alternativas
- Evaluación de alternativas y su impacto ambiental y del entorno.
- Desarrollo de la apropiada mitigación

En general, las decisiones tomadas durante el nivel de desarrollo del proyecto ayudan a definir las principales características que el mismo tendrá durante el resto del proceso de diseño y construcción. Por ejemplo, si en el proceso de desarrollo del proyecto se determina que es necesario que la obra a construir deba adoptar la forma de una carretera arterial dividida, es muy difícil que en la fase de diseño final se justifique proveer únicamente una carretera de dos carriles.

DISEÑO FINAL DEL PROYECTO

Después de que la alternativa preferida ha sido seleccionada y la descripción del proyecto incrementada por el estudio de impacto ambiental, el proyecto pasa a la fase de diseño final. El producto a obtener en esta etapa es el diseño final, representado en un conjunto de planos, especificaciones y cantidades estimadas de materiales y trabajos a efectuar constituyendo los documentos de licitación con los cuales se obtendrá el costo y subsecuentemente se contratará la construcción del proyecto. También hay que ser conscientes de que la flexibilidad de hacer cambios menores al concepto original desarrollado durante la fase de planificación, puede resultar en un “mejor” producto final.

Las fases siguientes al diseño final serán, la adquisición del derecho de vía donde se necesite, la contratación y la construcción final del proyecto; un poco más adelante estará la etapa de mantenimiento para asegurar la vida útil del proyecto.

Durante las primeras tres etapas, alcance del proyecto, planificación y desarrollo del proyecto (diseño preliminar), los diseñadores y las comunidades, trabajando en conjunto, pueden lograr los mayores impactos en las características del diseño final del proyecto. En efecto, la flexibilidad disponible para el diseño de la carretera durante la fase de diseño detallado estará limitada por las grandes decisiones que se hagan en la fase de planificación y desarrollo del proyecto.

Una carretera bien diseñada toma en consideración la movilidad que necesitan los usuarios de la carretera (motoristas, peatones o ciclistas) y la seguridad, balanceando esto con las restricciones físicas y naturales del entorno en el cual el proyecto se realiza.

La carretera, el vehículo, el conductor y los peatones, son parte integral de un sistema de transporte seguro y eficiente. Mientras este documento se enfoca al diseño geométrico de la carretera, un vehículo equipado y con mantenimiento razonable y una prudente conducción por parte del usuario, también son necesarios para la seguridad y eficiente operación de la carretera.

DCS pone énfasis en el uso conjunto de corredores para vehículos, peatones, ciclistas y vehículos de transporte público, proponiendo un sistema de transporte más amplio. Los proyectistas deben reconocer las implicaciones de estos corredores de transporte compartido, y ser motivados a considerar no solo los movimientos vehiculares, sino también los de personas, distribución de mercancías y provisión de servicios esenciales.

La seguridad vial está optimizada al conectar los elementos geométricos a la velocidad de diseño, de modo que la geometría resultante tiene una coherencia que reduce la posibilidad que un conductor se enfrente con una situación inesperada. Este concepto de expectativa del conductor forma la base de este conjunto de normas de diseño en las que quedan explícitos los aspectos de seguridad.

La normativa, recomendaciones y metodologías presentadas en este Manual, están orientadas a facilitar la labor del ingeniero proyectista y a conseguir una razonable uniformidad en los diseños, enfatizando los criterios de flexibilidad que permitan el Diseño Sensible al Contexto, DSC, por lo que toma en cuenta aspectos de seguridad, impacto ambiental y también se introdujeron elementos relacionados con la disminución del riesgo a desastres. Los valores para diseño se expresaron mediante rangos, lo que permite suficiente flexibilidad para crear diseños adecuados a situaciones particulares. Los valores mínimos corresponden al menor valor del rango. Normalmente, los valores mayores de estos rangos se usarán donde los impactos sociales, económicos y ambientales (S.E.A.) no sean los críticos.

El hecho de presentar nuevos valores de diseño no implica la inseguridad de las calles y carreteras existentes, ni ordena la iniciación de proyectos de mejoramiento. Esta norma no está destinada a ser norma de los proyectos de repavimentación, restauración o rehabilitación (R.R.R.). Para proyectos de este tipo, donde no son necesarias importantes modificaciones de la curvatura horizontal o vertical, puede mantenerse el diseño existente. A menudo, investigaciones específicas y el análisis del historial de accidentes del lugar, indican que las características de diseño existentes se comportan de manera satisfactoria. Casi siempre, no se justificará el costo de una reconstrucción total para estas obras. Los proyectos de repavimentación, restauración y rehabilitación, permiten a los organismos viales mejorar la seguridad vial mediante la modificación selectiva de las características existentes de las carreteras y sus costados, sin el costo de una reconstrucción total. Al diseñar proyectos 3R, el proyectista debería remitirse, para guía, al

Cada proyecto de diseño de carreteras es único. Las características del área, los valores de la comunidad, las necesidades de los usuarios de la carretera, y los probables usos de la tierra son factores únicos que el diseñador debe considerar en cada proyecto. En ningún caso el contenido del Manual reemplaza el conocimiento de los principios básicos de la ingeniería, ni puede sustituir la experiencia y el adecuado criterio profesional que debe ser parte integral del arte del diseño de carreteras.

ALCANCES DE LA GESTION DE RIESGO

Con la finalidad de asegurar y mejorar el diseño de la infraestructura vial, reviste especial importancia para los países de la región Centroamericana intervenir y aportar criterios de seguridad en el Diseño Geométrico de Carreteras, mediante la introducción del tema de la Gestión Integral de Riesgos y Seguridad Vial, a efecto de atenuar y disminuir los potenciales impactos que puedan ser causados por huracanes, deslizamientos, terremotos y otros eventos, sean éstos de origen natural o antrópico.

A consecuencia de los daños ocasionados por los últimos eventos naturales en Centro América como el huracán Mitch (1998), tormenta Stan (2005), tormenta Agatha (2010) y otros, se ha considerado incluir en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, la gestión de riesgos, con la finalidad de que el diseñador tome en consideración posibles daños futuros a las carreteras; se incluyen además los temas de la seguridad vial y el de diseños especiales en carreteras.

En consecuencia es importante conocer el tipo de posibles eventos resultantes de las amenazas potenciales a que se enfrenta un territorio determinado en el cual se diseñará una carretera y elaborar un escenario de posibles riesgos.

El capítulo se presenta en tres grandes subdivisiones que corresponden a tres conceptos: a) Gestión de riesgos, b) Seguridad vial y c) Diseños especiales. Para cada uno se presentan ilustraciones y en un cuadro síntesis se presentan algunas recomendaciones para que el equipo de diseño las tome en cuenta en la mitigación de riesgo a desastres. La terminología utilizada se explica con mayor detalle en el glosario, el cual es coincidente en sus definiciones con el documento denominado "Glosario Actualizado de Términos en la Perspectiva de la Reducción de Riesgo a Desastres" elaborado y publicado por el Centro de Coordinación para Prevención de los Desastres Naturales en América Central, CEPREDENAC publicado en el año 2007

En los países de Centroamérica, actualmente se están identificando mediante el uso de tecnologías de sistemas de información geográfica y otros procedimientos técnicos, algunas áreas susceptibles a daños e identificadas con un cierto grado de riesgo y/o vulnerabilidad, lo cual se convierte en información importante para el Diseñador de Carreteras; esta información puede abarcar lugares grandes y/o definir sitios bastante puntuales, áreas aledañas y hasta regiones, con lo cual se obtiene una visión más amplia de los posibles efectos o daños que puedan ocasionar los eventos naturales o actividades antrópicas, lo que representa la posibilidad de poder tomar decisiones más acertadas en el diseño geométrico de las carreteras.

BIBLIOGRAFÍA:

1. AASHTO. *A Guide for Achieving Flexibility in Highway Design*. American Association of State Highways And Transportation Officials. Washington, DC, 2004
www.transportation.org
2. BID. *Riesgos y Desastres, su gestión municipal en Centroamérica* Banco Interamericano de Desarrollo, Publicaciones Especiales No. 3 sobre el Desarrollo
www.iadb.org/pub
3. CEPREDENAC. *Guía de Evaluación Económica de la Inclusión de la Gestión de Riesgos a Desastres en la Inversión Pública* Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central 2010
www.cepredenac.org
4. CEPREDENAC. *Glosario Actualizado de Términos en la Perspectiva de la Reducción de Riesgos a Desastres 2007* Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central
www.cepredenac.org
5. CEPREDENAC. *Plan Regional de Reducción de Desastres 2006-2015* Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central 2007
www.cepredenac.org
6. CEPREDENAC. Política Centroamericana de Gestión Integral de Riesgo de desastre (PCGIR)
www.cepredenac.org
7. FHWA. *Flexibility in Highway Design* Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation
www.fhwa.dot.gov/
8. TRB Special Report 214: Designing Safer Roads Practices for Resurfacing, Restoration, and Rehabilitation Transportation Research Board National Research Council Washington, D.C. 1987

Capítulo 1

CAPÍTULO I CLASIFICACIÓN DE LA RED DE CARRETERAS

1.1 SISTEMAS Y CLASIFICACIONES

Siendo las carreteras un componente de un sistema integral de transporte, ha sido necesario clasificarlas de distintas maneras, según la necesidad de reflejar alguna característica común o algún propósito determinado. Así se han clasificado según sus sistemas operacionales, según su clase, según su función o según tipos geométricos y orográficos. Estas clasificaciones han sido necesarias para facilitar la comunicación entre los planificadores, administradores, ingenieros y el público en general. Según la región en la que se desarrollan, se clasifican en urbanas y rurales; para procedimientos de localización y diseño vial, en base a las características geométricas principales (por ej.: autopistas, carreteras y calles); para las operaciones de tráfico, por numeración de rutas (por ej.: Centroamericanas: CA-1, Nacionales: RN-1, Departamentales: RD-1, Municipales: RM-1 y Rurales); la clasificación administrativa (por ej.: Sistema de Carreteras Centroamericanas, Sistema de Carreteras Nacionales o Sistema de Carreteras Departamentales), clasificación que se usa para denotar los niveles de responsabilidad gubernamental y el método de financiamiento de las obras viales; la clasificación funcional, que es una importante herramienta de planificación, agrupa las carreteras por el carácter del servicio que proveen. La **clasificación funcional**, la cual es el método predominante de agrupar carreteras, es consistente con las normas contenidas en esta publicación.

1.2 CONCEPTO DE CLASIFICACIÓN FUNCIONAL

La clasificación funcional es el proceso por el cual las carreteras y calles son agrupadas en clases, o sistemas, de acuerdo a las características de servicio al tráfico que se intente proveer. Esta sección introduce los conceptos básicos requeridos para comprender la clasificación funcional de obras y sistemas viales.

1.2.1 Jerarquía del Movimiento y Componentes

Un sistema de diseño funcional completo provee una serie de distintos movimientos de viaje. Las seis etapas reconocibles en la mayoría de los viajes incluyen el movimiento principal, distribución, colección, acceso y terminación. Por ejemplo, la Figura 1.1. muestra un hipotético viaje vial usando una autopista, donde el movimiento principal de vehículos es ininterrumpido, con un flujo de alta velocidad. Cuando se aproximan los destinos desde la autopista, los vehículos reducen la velocidad en las rampas de la autopista, las cuales actúan como caminos de transición. Luego los vehículos ingresan en arterias de velocidad moderada (obras de distribución) que los llevan a su destino final. Luego ingresan en caminos colectores que los acercan directamente a las residencias individuales u otras terminaciones. En sus destinos, los vehículos son estacionados en obras terminales adecuadas. El mismo procedimiento a la inversa, utiliza el flujo vehicular para la incorporación al movimiento principal.

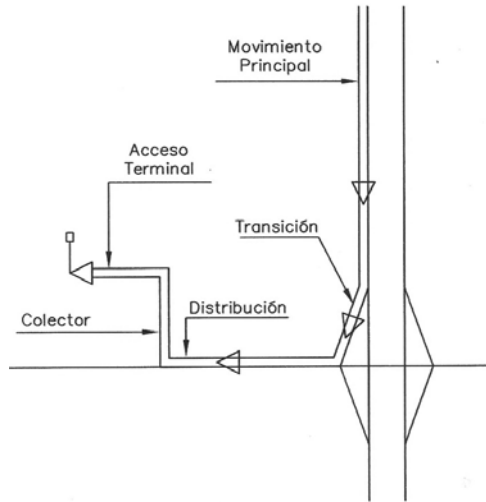


Figura 1.1. Jerarquía de Movimientos (3)
AASHTO-2004, pp. 2

Cada una de las seis etapas de un viaje típico es atendida por una obra separada proyectada específicamente para su función. Dado que la jerarquía de movimientos está basada en el valor total del volumen de tránsito, el viaje en autopista es generalmente el más alto en la jerarquía de movimientos, seguido por el viaje arterial distribuidor, el cual a su vez es mayor en la jerarquía de movimientos que el viaje sobre las vías colectoras y de acceso local.

Aunque muchos viajes pueden subdividirse en las seis etapas reconocidas, no siempre se necesitan las obras intermedias. La jerarquía de las obras de circulación se relaciona especialmente con las condiciones de desarrollos urbanos de baja densidad, donde los flujos de tránsito se acumulan sobre sucesivos elementos del sistema. Sin embargo, a veces es deseable reducir el número de componentes de la cadena. Por ejemplo, un solo gran generador de tránsito puede llenar uno o más carriles de una autopista durante ciertos períodos. En esta situación es aconsejable conducir el tránsito directamente hacia una rampa de la autopista sin introducir obras arteriales que mezclen innecesariamente los ya concentrados flujos de tránsito con vehículos adicionales. La eliminación de obras intermedias no elimina la necesidad funcional de las partes remanentes de la jerarquía de flujo o los componentes de diseño funcional, aunque cambien sus características físicas. El orden del movimiento todavía se puede identificar.

1.2.2 Clasificación Funcional y Servicios Provistos

Esta clasificación reconoce que los caminos y calles individuales no sirven a los viajes en forma independiente. Más bien, la mayoría de los viajes comprenden movimientos a través de las redes de caminos que pueden categorizarse con relación a tales redes en una forma lógica y eficiente. De este modo, la clasificación funcional de caminos y calles es también consistente con la categorización de viajes.

La Clasificación Funcional agrupa las calles y carreteras en tres grupos:

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	SERVICIOS QUE PROVEE
<ul style="list-style-type: none"> • Arterial 	Provee el mayor nivel de servicio con las mayores velocidades permitidas en distancias de viaje ininterrumpido, con algún grado de control en los accesos.
<ul style="list-style-type: none"> • Colector 	Provee un menor nivel de servicio que la arterial. Se permiten velocidades menores en distancias cortas por servir de colector de tráfico de caminos locales y los conecta con las arteriales.
<ul style="list-style-type: none"> • Local 	Consiste en todas las carreteras no definidas como arteriales o colectoras; su servicio principal es proveer acceso a la mayoría de lugares y sirve a los viajes sobre distancias relativamente cortas.

Cuadro 1.1. Sistema de Clasificación Funcional

1.2.3 Necesidades de Acceso y Controles

Al clasificar funcionalmente las redes de carreteras y calles, las dos principales consideraciones son acceso y movilidad. Para poder servir al movimiento directo de tránsito y dar acceso a gran variedad de orígenes y destinos de viajes, se necesitan las diferencias y gradaciones de los diversos tipos funcionales. En las carreteras arteriales es necesaria una regulada limitación del acceso, para realizar su función primaria de movilidad.

Inversamente, la función primaria de las carreteras y calles locales es dar acceso (lo cual causa una limitación de la movilidad). Así la extensión y grado del control de acceso es un factor significativo en la definición de la categoría funcional de una calle o carretera.

Junto con la idea de categorización del tránsito, está el papel doble que la red de carreteras y calles juega en la provisión de (1) acceso a la propiedad y (2) movilidad de viaje. El acceso es un requerimiento fijo de la zona definida. La movilidad está dada al variar los niveles de servicio. La movilidad puede incorporar varios elementos cualitativos, tales como la comodidad de paseo y la ausencia de cambios de velocidad, pero el factor básico es la velocidad de operación o el tiempo de viaje.

La Figura 1.2. muestra que el concepto de categorización del tránsito conduce lógicamente no sólo a la jerarquía funcional de las clases de caminos, sino también a una jerarquía similar de distancias de viaje relativas servidas por esta clase de caminos. La jerarquía de distancias de viaje puede relacionarse lógicamente con la especialización funcional al reunir los requerimientos de acceso a la propiedad y la movilidad de viaje. Las obras rurales locales ponen énfasis en la función del acceso a la tierra. Las arterias para movimientos principales o de distribución ponen énfasis en el alto nivel de movilidad para los movimientos directos. Los colectores ofrecen aproximadamente un servicio equilibrado para ambas funciones. Este esquema se ilustra conceptualmente en la Figura 1.2..

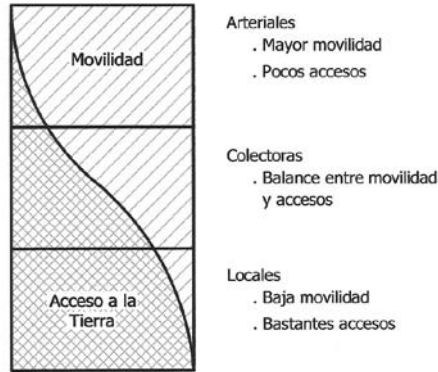


Figura 1.2. Relación de Movilidad de Sistemas Clasificados en Movilidad de Tránsito, Servicio y Acceso a la Tierra

1.3 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA FUNCIONAL

Esta sección contiene definiciones y características de las obras viales en zonas urbanas y rurales basadas en la clasificación funcional. Presenta la información revisada y adaptada de la publicación Clasificación Funcional de Carreteras: Conceptos, Criterios y Procedimientos, *Highway Functional Classification: Concepts, Criteria and Procedures*, de la FHA (1)

1.3.1 Definiciones de las Áreas Urbana y Rural

Fundamentalmente, las áreas urbana y rural tienen diferentes características con respecto a la densidad y tipos de uso de la tierra, densidad de redes de calles y carreteras, naturaleza de los patrones de viaje, y la forma en que estos elementos están relacionados. Consecuentemente, los sistemas funcionales urbano y rural se clasifican separadamente.

Áreas Urbanas son aquellos lugares dentro de los límites establecidos por los funcionarios estatales y locales responsables, con una población de 5,000 o más habitantes. Las áreas urbanas se subdividen en **áreas urbanizadas** (población de más de 50,000 habitantes) y **pequeñas áreas urbanas** (población entre 5,000 y 50,000 habitantes). Para los propósitos del diseño, debería usarse la población pronosticada para el año de diseño.

Áreas Rurales son las áreas ubicadas fuera de los límites de las áreas urbanas (de menos de 5,000 habitantes).

1.3.2 Categorías Funcionales

Las carreteras que forman los sistemas funcionales difieren para áreas urbanas y rurales. La jerarquía de los sistemas funcionales comprende las arterias principales (para movimientos mayores), arterias menores (distribuidoras), colectoras y caminos y calles locales. No obstante, en las zonas urbanas hay relativamente más arterias con más subdivisiones funcionales de la categoría arterial. En las zonas rurales hay relativamente más colectoras, con más subdivisiones funcionales de esa categoría.

1.3.3 Sistemas Viales Funcionales en Áreas Rurales

Las facilidades fuera de áreas urbanas consisten en carreteras rurales. Los nombres provienen del indicado sistema de arterias principales, arterias menores, colectoras mayores y menores y carreteras locales.

1.3.3.1 Sistema Arterial Rural Principal

El sistema arterial rural principal comprende una red de vías con los servicios característicos siguientes:

1. Son corredores para movimientos con longitud de viaje y densidad de tránsito adecuados para permitir numerosos viajes entre departamentos o municipios.
2. Movimiento entre todas, o virtualmente todas, las zonas urbanas.
3. Movimiento integrado sin conexiones laterales, excepto donde las condiciones geográficas inusuales o de tránsito, dictan otra cosa (es decir, conexiones de límites internacionales o conexiones de ciudades costeras)

En los departamentos más densamente poblados, las carreteras del sistema arterial rural principal incluyen los itinerarios más transitados (pero no todos) que podrían requerir mejorar carreteras de más de dos carriles. El sistema arterial principal rural está dividido en los siguientes dos tipos: (1) autopistas y (2) otras arterias principales (pueden subdividirse en arterias principales y arterias menores).

1.3.3.2 Sistema Arterial Rural Menor

El sistema de carreteras arterial rural menor, en conjunto con el sistema arterial rural principal, forma una red con las siguientes características de servicio:

1. Conexión de ciudades, grandes poblaciones, y otros generadores de tránsito (tal como las zonas principales de turismo) que son capaces de atraer viajes sobre distancias largas.
2. Servicio departamental y municipal integrado.
3. Espaciamiento interno acorde con la densidad de población, de modo que todas las zonas desarrolladas de los departamentos estén a distancias razonables de las carreteras arteriales.
4. Movimientos en corredores acordes para los ítems de (1) a (3) con longitudes de viaje y densidad de viaje mayores que las predominantemente servidas por los sistemas rurales colector o local.

Por tanto, las arterias menores constituyen vías, cuyo diseño debería esperarse que provea velocidades de viaje relativamente altas, y mínima interferencia de los movimientos directos.

1.3.3.3 Sistema Colector Rural

Generalmente, las vías colectoras rurales sirven a los viajes interdepartamentales, más que a los de importancia municipal, y sobre las cuales (independientemente del volumen de tránsito) las distancias predominantes de viaje son más cortas que sobre las vías arteriales.

Consecuentemente pueden tener velocidades típicas más moderadas. Para definir más claramente los colectores rurales, se los sub-clasifica de acuerdo con

los criterios siguientes:

- **Carreteras Colectoras Mayores.** Estas vías (a) sirven a las cabeceras municipales no ubicadas sobre vías arteriales, grandes poblados no servidos directamente por los sistemas principales, y otros generadores de tránsito equivalente a la importancia interurbana, tales como escuelas, puntos de embarque, parques municipales e importantes zonas mineras y agrícolas; (b) unen estos lugares con pueblos vecinos más grandes o ciudades, o con vías de clasificación más alta; y (c) sirven a los corredores de viajes interurbanos más importantes.
- **Carreteras Colectoras Menores.** Estas vías deberían (a) espaciarse a intervalos que estén de acuerdo a la densidad de población para juntar el tránsito de los caminos locales y poner a todas las zonas desarrolladas dentro de distancias apropiadas para el usuario hacia los caminos colectores, (b) servir a las comunidades restantes más pequeñas y (c) unir los generadores de tránsito localmente importantes con su vecindad rural.

1.3.3.4 Sistema de Caminos Locales Rurales

En comparación con los sistemas colectores y arteriales, el de caminos locales rurales primariamente da acceso a comunidades rurales, es adyacente a la red colectoras y sirve para viajes de distancias relativamente cortas. El sistema de caminos locales comprende todos los caminos rurales no clasificados como arterias principales, arterias menores o caminos colectores.

1.3.4 Sistemas Viales Funcionales en Áreas Urbanas

Los cuatro sistemas viales funcionales para áreas urbanas son las arterias principales urbanas (calles), arterias menores (calles), colectores (calles) y calles locales. La diferencia en la naturaleza e intensidad del desarrollo en las zonas rurales y urbanas justifican las correspondientes diferencias en las características del sistema urbano con relación a los correspondientes denominados sistemas rurales.

1.3.4.1 Sistema Arterial Urbano Principal

En todo ambiente urbano, un sistema de calles y carreteras puede identificarse como inusualmente significativo en términos de la naturaleza y composición de los viajes que sirve. En áreas urbanas pequeñas (población debajo de 50,000) estos medios de comunicación pueden estar muy limitados en número y extensión, y su importancia puede derivarse del servicio previsto a los viajes directos. En las áreas urbanizadas, su importancia también se deriva del servicio al tránsito rural propiamente orientado, pero igual o aún de mayor importancia, del servicio para los movimientos de circulación principales dentro de esas áreas urbanizadas.

El sistema arterial urbano principal sirve a los principales centros de actividad de las áreas urbanas, los corredores de volúmenes de tránsito más altos y los más largos recorridos de viaje, y lleva una alta proporción del total de viajes de área urbana aunque constituya un porcentaje relativamente pequeño de la red vial total. El sistema debería integrarse internamente y entre las conexiones rurales principales.

El sistema arterial urbano principal sirve para la mayoría de los viajes que entran y salen del área urbana, como también la mayoría de los movimientos para evitar el centro de la ciudad. Además, esta clase de vías sirven numerosos viajes inter-áreas (tales como entre los centros de los distritos de negocios y de las áreas residenciales colindantes, entre comunidades importantes dentro de la ciudad y entre los principales centros sub-urbanos). Frecuentemente, el sistema arterial urbano principal permite realizar itinerarios importantes de transporte colectivo locales (buses urbanos) como también extraurbanos. Finalmente, en las áreas urbanizadas este sistema da continuidad a todas las arterias rurales que interceptan el límite urbano.

Debido a la naturaleza del viaje que se realiza en el sistema arterial urbano principal, casi todas las vías que tienen el acceso total y/o parcialmente controlado, son parte de esta clase funcional. Sin embargo, este sistema no está restringido a vías con accesos controlados. Para preservar la identificación de las vías de acceso controlado, debería dividirse el sistema arterial principal en: (1) autopistas con acceso controlado, (2) autopistas sin acceso controlado y (3) otras arterias principales (con parcial o ningún control de acceso).

El espaciamiento de las arterias principales urbanas está estrechamente relacionado con las características de densidad del extremo del viaje y de sectores particulares de las zonas urbanas. Aunque no se aplica ninguna regla firme en todas o aún en la mayoría de las circunstancias, el espaciamiento entre arterias principales (en zonas urbanas mayores) puede variar desde menos de 1.6 km en las zonas centrales más desarrolladas, a 8 km o más en los límites urbanos escasamente desarrollados.

Para arterias principales, el servicio está subordinado a servir a los movimientos de tránsito principales. Solo las vías dentro de la subclase de otras arterias principales son capaces de dar cualquier acceso directo a áreas adyacentes, y tal servicio debería ser puramente incidental de la responsabilidad funcional de esta clase de caminos.

1.3.4.2 Sistema Arterial Urbano Menor

El sistema arterial urbano menor de calles interconecta y aumenta el sistema arterial urbano principal. Acomoda los viajes de longitud moderada en un nivel algo menor de movilidad de viaje que las arterias principales. Este sistema distribuye los viajes a zonas geográficas más pequeñas que las identificadas con el sistema mayor.

El sistema arterial urbano menor de calles incluye todas las arterias no clasificadas como principales. Este sistema pone más énfasis sobre el acceso a la tierra que los sistemas mayores y provee menor movilidad de tránsito. Tales vías pueden conducir itinerarios de buses locales y dar continuidad intercomunitaria, pero idealmente no ingresa en vecindades residenciales. Este sistema incluye las conexiones a los caminos colectores rurales donde tales conexiones no han sido clasificadas como arterias principales urbanas por razones internas.

El espaciamiento de las calles arteriales menores puede variar desde 0.2 a 1.0 km en los distritos comerciales centrales, hasta 3 a 5 km en los límites suburbanos, pero normalmente no es mayor de 2 km en zonas completamente desarrolladas.

1.3.4.3 Sistema Urbano de Calles Colectoras

El sistema de calles colectoras provee servicio de acceso a la propiedad así como circulación del tránsito dentro de las vecindades residenciales y zonas comerciales e industriales. Difiere del sistema arterial en que las vías colectoras pueden ingresar en vecindades residenciales, distribuyendo viajes desde las arterias a través de la zona hasta sus destinos finales. Inversamente, las calles colectoras también son alimentadas de tránsito desde las calles locales en vecindades residenciales y lo canaliza en el sistema arterial. En el distrito comercial central y en otras zonas de desarrollo y densidad de tránsito similares, el sistema colector puede incluir toda la red de calles. El sistema de calles colectoras puede tener itinerarios de buses locales.

1.3.4.4 Sistema Urbano de Calles Locales

El sistema de calles locales comprende todas las vías no incluidas en los sistemas más altos. Primariamente permite el acceso directo a las propiedades adyacentes y conexiones con los sistemas de orden mayor. Ofrece la movilidad de más bajo nivel y usualmente no contiene itinerarios de buses. Generalmente los movimientos de tránsito directo son deliberadamente desalentados.

1.4 LA CLASIFICACIÓN FUNCIONAL COMO UN TIPO DE DISEÑO

Este documento utiliza el sistema de clasificación funcional para el diseño de carreteras. Para este propósito existen dos particularidades principales. El primer tema importante se refiere a la autopista. La autopista no es una clase funcional en sí misma, pero normalmente se la clasifica como una arteria principal. Sin embargo, tiene criterios únicos de diseño geométrico que demandan una designación separada de diseño, aparte de las otras arterias. Por lo tanto, en este Manual se ha incluido un capítulo separado sobre autopistas.

El segundo tema de igual importancia radica en que en el pasado, los criterios de diseño y los niveles de capacidad se basaron tradicionalmente en la clasificación de los rangos de volúmenes de tránsito. Bajo un sistema tal, las carreteras con volúmenes comparables de tránsito se construyen con las mismas normas y dan idénticos niveles de servicio, aunque pueden haber considerables diferencias en la función que ellas sirven.

Bajo un sistema de clasificación funcional, las normas y los niveles de servicio varían de acuerdo con la función de la obra vial. Los volúmenes de tránsito sirven para un mayor refinamiento de las normas de cada clase de rutas.

Se espera que las arterias provean un alto grado de movilidad a los viajes de mayor longitud, por lo cual deben permitirse velocidades de operación y nivel de servicio altos. Dado que el acceso a la propiedad adyacente

no es su función principal, es deseable algún grado de control de acceso para mejorar la movilidad. Los colectores sirven una función dual al acomodar los viajes más cortos y alimentar a las arterias. Deben proveer algún grado de movilidad y también servir a la propiedad adyacente. Por lo que les corresponden velocidades de diseño y niveles de servicio intermedios. Los caminos y calles locales tienen longitudes de viaje relativamente cortas y dado que el acceso a la propiedad es su función principal, no son factores fundamentales la movilidad o las velocidades de operación altas.

El concepto funcional es importante para el proyectista. Aunque muchas normas de diseño geométrico se determinan sin referencia a la clasificación funcional, éste debe mantener en mente el propósito general que la calle o carretera está destinada a prestar servicio. Este concepto es consistente con un sistemático enfoque del planeamiento y diseño vial.

El primer paso en el proceso de diseño es definir la función que la vía va tener. El nivel de servicio requerido para realizar esta función para el volumen previsto y composición del tránsito, provee una base racional y de efectividad de costo para la selección de la velocidad de diseño y los criterios geométricos dentro de los rangos de valores disponibles para el proyectista. El uso de la clasificación funcional como un criterio de diseño debería integrar adecuadamente el proceso de planeamiento y diseño vial.

La aplicación del criterio de clasificación funcional de las carreteras es útil para dividir la red vial en segmentos de características similares en función de la demanda. La demanda ha sido expresada mediante los volúmenes de tránsito que comúnmente se expresan por el *Tránsito Promedio Diario Anual* (TPDA), que ofrece la base fundamental para la subsiguiente identificación y cuantificación de los componentes primarios del diseño geométrico. Así, pueden agruparse en rangos de volúmenes que varían desde menos de 50 vehículos por día (vpd), de 500 a 3,000 vehículos por día, de 3,000 a 10,000 vehículos por día, de 10,000 a 20,000 vehículos por día, hasta mayores de 20,000 vehículos por día.

La oferta que presente la solución vial adoptada se expresa mediante la capacidad expresada como “el máximo número de vehículos que pueden circular en un punto dado durante un período específico de tiempo, bajo condiciones prevaletientes de la carretera y el tránsito. Asumiendo que no hay influencia del tránsito más adelante, dentro del punto en análisis”. Bajo condiciones ideales del tránsito y de las vías, las autopistas tienen una capacidad de 2,000 vehículos livianos por carril por hora. En carreteras de dos carriles, por otra parte, se alcanzan capacidades de 3,200 vehículos livianos por hora en ambos sentidos de la circulación. Las condiciones ideales se alcanzan con flujos ininterrumpidos, sin interferencia lateral de vehículos o peatones, sin mezcla de vehículos pesados en la corriente del tránsito, con carriles normales de 3.60 m de ancho, hombros de ancho apropiado, altas velocidades de diseño y carencia de restricciones en la distancia de visibilidad de adelantamiento o rebase.

Relacionado con la capacidad está el Nivel de Servicio, en que el flujo vehicular de servicio para diseño es el máximo volumen horario de tránsito que una carretera puede acomodar, sin que el grado de congestionamien-

to alcance los niveles preseleccionados por el diseñador, tras conciliar los intereses de los conductores, dispuestos quizá a tolerar un mínimo de congestión. Los estándares de diseño vigentes, predeterminarán algunos requerimientos básicos según la clasificación funcional de la vía.

El dimensionamiento de la capacidad y del nivel de servicio resulta crucial para el diseñador de cualquier carretera, tanto para establecer el tipo al que corresponde diseñarla, como para seleccionar los elementos que la conforman y sus dimensiones, tales como número y ancho de carriles, alineamientos, restricciones laterales, etc.

Los Volúmenes de Tránsito, la Velocidad y la Capacidad de las carreteras se analizan en el Capítulo 2 de este documento, pero anticipadamente se establece que las carreteras de la red vial sean diseñadas para el Nivel de Servicio D, con la excepción de las autopistas que deben limitarse al nivel de servicio C. Al nivel del servicio C el flujo es estable, en tanto que al nivel de servicio D se hacen presentes ciertas evidencias de inestabilidad en la circulación. Una descripción simplificada del Nivel de Servicio para carreteras se presenta en el Cuadro 1.2.

Nivel de Servicio	Descripción
A	Flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente altas velocidades de operación (90 km/h o más).
B	Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por las condiciones del tránsito (80 km/h).
C	Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad (70 km/h).
D	Acercándose a flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar. La velocidad se mantiene alrededor de 60 km/h.
E	Flujo inestable, suceden pequeños embotellamientos. La velocidad cae hasta 40 km/hr.
F	Flujo forzado, condiciones de “pare y siga”, congestión de tránsito.

FUENTE: HCM-2012

CUADRO 1.2. NIVEL DE SERVICIO DE CARRETERAS

1.5 CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS

La clasificación funcional de las carreteras, admite el establecimiento de doce tipos básicos de carreteras entre rurales y urbanas, con límites en lo que respecta a volúmenes de tránsito para diseño. Esta clasificación se muestra en la Cuadro 1.3.

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA(1)	NOMECLATURA	TPD(2) (AÑO FINAL DE DISEÑO)	Número de Carriles
ARTERIAL PRINCIPAL	AUTOPISTA	AA	>20,000	6-8
	ARTERIAL RURAL	AR	10,000-20,000	4-6
	ARTERIAL URBANA	AU	10,000-20,000	4-6
ARTERIAL MENOR	ARTERIAL MENOR RURAL	AMR	3,000-10,000	2
	ARTERIAL MENOR URBANA	AMU	3,000-10,000	2
COLECTOR MAYOR	COLECTOR MAYOR RURAL	CMR	10,000-20,000	4-6
	COLECTOR MAYOR URBANA	CMU	10,000-20,000	4-6
COLECTOR MENOR	COLECTOR MENOR RURAL	CR	500-3,000	2
	COLECTOR MENOR URBANA	CU	500-3,000	2
LOCAL	LOCAL RURAL	LR	100-500	2
	LOCAL URBANO	LU	100-500	2
	RURAL	R	<100	1-2

(1) Con excepción de la clase RURAL que será de terracería, todas las demás clases deberán de ser pavimentadas. Las Clases CR, CU y LR también podrán ser pavimentadas o de terracería.

AA=Autopista; AR=Arterial Rural; AU=Arterial Urbana; AMR=Arterial Menor Rural; AMU=Arterial Menor Urbana; CMR=Colector Mayor Rural; CMU= Colector Mayor Urbana; CR=Colector Menor Rural; CU=Colector Menor Urbana; LR=Local Rural; LU=Local Urbano; R=Rural.

(2) Tránsito Promedio Diario (TPD).

Cuadro 1.3. Sistema de Clasificación Funcional

Aún así, estas doce clases pueden subdividirse, por ejemplo, si se considera que el rango de TPD para la clase de carretera COLECTOR MENOR RURAL es muy amplio (500 a 3,000 vehículos) puede dividirse en rangos menores, por ejemplo de 500 a 900, de 900 a 1,500 y de 1,500 a 3,000 con la denominación CR-3, CR-2 y CR-1 respectivamente, pero siguen perteneciendo a la clase Colector Menor Rural.

De acuerdo a la jerarquía atribuida en la red, las carreteras deberán ser diseñadas con las características geométricas correspondientes a su clase y construirse por etapas en función del incremento del tráfico.

BIBLIOGRAFÍA:

1. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. *Highway Functional Classification: Concepts, Criteria and Procedures*, Washington, D.C.: 1989.
2. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets
American Association of State Highways and Transportation Officials, 2004.
3. Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. Secretaría de Integración Económica Centroamericana. SIECA. 2ª. Edición, 2004
4. Highway Capacity Manual, HCM 2010
Transportation Research Board, 2010.

Capítulo 2

CAPÍTULO 2 CONTROLES Y CRITERIOS DE DISEÑO

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se tratan las características de los vehículos, los conductores, y su relación entre sí, que determinan las características del tránsito entre las cuales se destacan, el volumen y la velocidad, la capacidad y el nivel de servicio de las carreteras y más adelante, se tratarán las características de los peatones y el uso de bicicletas. Las características de estos elementos sirven para crear controles y criterios en el diseño de las clases funcionales de carreteras y calles.

2.2 VEHÍCULOS DE DISEÑO

2.2.1 Características Generales

Debido a las dimensiones tan variables de los vehículos que circulan por la red de carreteras, es necesario examinarlos, agruparlos en clases similares y establecer un vehículo representativo para cada clase para su uso en el diseño geométrico. Así, cada vehículo de diseño tiene dimensiones físicas mayores y radios de giro mínimos mayores que la mayoría de los de su clase y al tipificar las dimensiones, pesos y características de operación, se le brindan al diseñador los controles y elementos, a los que debe ajustar el diseño para facilitar su circulación sin restricciones. De cada tipo de vehículo que se utiliza en el diseño geométrico, se seleccionan los de mayores dimensiones físicas y de radio de giro mayores, dentro de su clasificación, para adoptar las condiciones más desfavorables, al efecto de alcanzar el objetivo específico de diseñar con estándares altos que proporcionen mayor seguridad vial.

Se han seleccionado cuatro clases generales de vehículos; a saber:

1. Vehículo Liviano: incluye los automóviles, automóviles compactos, jeeps, camionetas agrícolas, vehículos deportivos, vans, minivans y pick-ups.

Un vehículo liviano puede considerarse cuando el principal generador de tráfico es el parqueo de un área comercial.

2. Buses: incluye los buses extraurbanos, buses urbanos, buses escolares y buses articulados.

Un bus puede utilizarse en el diseño de intersecciones de carreteras colectoras con calles urbanas que han sido diseñadas como rutas de buses y que las usen relativamente pocos camiones grandes. Dependiente de la expectativa de uso, un bus escolar largo (84 pasajeros) o un convencional bus escolar (65 pasajeros) pueden utilizarse para el diseño de intersecciones en carreteras locales y calles con volúmenes menores de 400 TPDA. El bus escolar también puede ser apropiado para el diseño de algunas intersecciones de la subdivisión calles.

3. Camión: incluye los camiones de unidad única (2 ó 3 ejes), cabezal con semirremolque o un cabezal con semirremolque mas remolque completo.

Un camión puede usarse para diseño de intersecciones de carreteras co-

lectoras con calles residenciales y carreteras en áreas turísticas.

4. Recreacionales: incluye casas rodantes, carros con camper, carros con remolques con botes y casas rodantes remolcadas por carros.

El camión WB-20 (cabezal con semirremolque, ver Cuadro 2.1. Dimensiones de los Vehículos de Diseño) debe ser el mínimo vehículo de diseño a considerar en las rampas de salida de autopistas en las intersecciones con carreteras arteriales y para otras intersecciones en carreteras colectoras y calles que conducen a industrias, con altos volúmenes de tráfico y/o que proveen acceso local para camiones grandes.

Además, cuando en las carreteras se permite el tránsito de bicicletas, la bicicleta también debe considerarse un vehículo de diseño.

En el diseño de cualquier obra vial, el diseñador debe considerar el vehículo de diseño más grande, que probablemente use la obra con mayor frecuencia, o un vehículo de diseño con características especiales que deben tomarse en cuenta en el dimensionamiento de la vía. Este vehículo se usa para determinar el diseño de características críticas tales como radios en las intersecciones y radio de rampas de giro.

A falta de información local, se han adoptado las dimensiones para los vehículos de diseño indicadas en el Exhibit 2.1. de *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (1). En el Cuadro 2-1 se muestra un resumen de las dimensiones de 6 vehículos de diseño que representan los vehículos de mayor uso en la red de carreteras en Centroamérica. Dimensiones para los demás tipos de vehículos, se encuentran en el Apéndice A1.

Vehículo de Diseño	Símbolo	Altura	Ancho	Longitud	Voladizo Delantero	Voladizo Trasero	WB1	WB2
Vehículo Liviano	P	1.30	2.10	5.80	0.90	1.50	3.40	
Camión	SU	4.10	2.40	9.20	1.20	1.80	6.10	
Bus	BUS-14	3.70	2.60	12.20	1.80	2.60	7.30	
Bus Articulado	A-BUS	3.40	2.60	18.30	3.10	6.70	5.90	
Cabezal con Semirremolque	WB-15	4.10	2.60	16.80	0.60	4.50	10.80	
Cabezal con Semirremolque	WB-19	4.10	2.60	20.90	0.90	0.60	4.50	10.80
Cabezal con Semirremolque	WB-20	4.10	2.60	22.40	1.20	1.40-0.80	6.6	13.20-13.80

FUENTE: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 2004, pp. 16

Nota: WB1, WB2 es la distancia entre ejes extremos Dimensiones en metros

Cuadro 2.1. Dimensiones de los Vehículos de Diseño.

2.2.2 Trayectorias Mínimas de Giro de los Vehículos de Diseño

Existen combinaciones de cabezal con remolque, cabezal con semirremolque o cabezal con un semirremolque y uno o más tráiler completos. Dado que hay combinaciones de camiones de distintos tamaños y sus características de giro varían ampliamente, se crearon combinaciones de vehículos cabezal-semirremolques

para diseño. Estas combinaciones de camiones se identifican por la designación WB, unidos con la longitud entre las ruedas o alguna otra dimensión. Algunas combinaciones que se muestran en el Cuadro 2.1 del Apéndice 1, como el WB-15, WB-20D, W30-T y el WB-33D son permitidos en algunas carreteras de Estados Unidos de Norte América de acuerdo a regulaciones internas.

Las dimensiones principales que afectan el diseño son el radio mínimo de giro (RMG) en la línea central, el ancho de la huella, la distancia entre ejes y la trayectoria del neumático interior trasero. Los efectos de las características del conductor (tal como la velocidad a la cual el conductor realiza un giro) y de los ángulos de deslizamiento de las ruedas, son minimizados asumiendo que la velocidad del vehículo para el radio mínimo de giro es de 15 km/h o menor. Las Figuras A1.3 a A1.21 del Apéndice A1 presentan las mínimas trayectorias de giro de los 19 vehículos de diseño críticos.

Los límites de las trayectorias de giro de los distintos vehículos de diseño, al hacer los giros más cerrados, están establecidos por la trayectoria del saliente frontal y la trayectoria de la rueda interior trasera.

Este giro supone que la rueda frontal exterior sigue el arco circular, definiendo el radio de giro mínimo según como se determine por el mecanismo de manejo del vehículo. Los radios mínimos de las trayectorias de las ruedas exteriores e interiores y el radio mínimo de giro (RMG) en la línea central, se muestran en el Cuadro 2.2.

Vehículo de Diseño	Símbolo	Radio de Giro Mínimo de Diseño (m)	Radio en la Línea Central RMG (m)	Radio Interior Mínimo (m)
Vehículo Liviano	P	7.30	6.40	4.40
Camión	SU	12.80	11.60	8.60
Bus	BUS-14	13.70	12.40	7.80
Bus Articulado	A-BUS	12.10	10.80	6.50
Cabezal con Semirremolque	WB-15	13.70	12.50	5.20
Cabezal con Semirremolque	WB-19	13.70	12.50	2.40
Cabezal con Semirremolque	WB-20	13.70	12.50	1.30

FUENTE: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 19

Cuadro 2.2. Radios Mínimos de Giro de los Vehículos de Diseño.

El radio mínimo de giro y las longitudes de transición mostradas en el Cuadro son para giros a 15 KPH o menos, usuales en el diseño de giros en rampas o intersección de calles. Velocidades más altas alargan las curvas de transición y requieren radios mayores de los mínimos. Los radios son considerados mínimos para esta aplicación, aunque los conductores diestros podrían ser capaces de reducirlos.

Las dimensiones de los vehículos de diseño toman en cuenta las tendencias dimensionales en la fabricación de los vehículos de motor en los Estados Unidos, y representan una composición de los vehículos actualmente en operación; sin embargo, las dimensiones del vehículo de diseño deben representar los valores críticos para el diseño geométrico y por eso las dimensiones son más grandes que la de casi todos los vehículos pertenecientes a su clase.

2.2.3 Contaminación Vehicular

Los contaminantes emitidos por los vehículos de motor y su impacto sobre los usos de la tierra adyacente a la carretera son factores que afectan el proceso de diseño vial. Al viajar cada vehículo a lo largo de la carretera emite contaminantes a la atmósfera y transmite ruido a la zona circundante.

El proyectista vial debe reconocer estos impactos y evaluarlos antes de seleccionar las opciones de transporte. Hay muchos factores que afectan la tasa de emisión de contaminantes desde los vehículos. Entre estos están el tipo de combustible, la velocidad del vehículo, temperatura del aire en el ambiente, antigüedad de la flota vehicular sobre el camino y el porcentaje de vehículos que operan en frío.

Adicionalmente a la polución ambiental, la contaminación en forma de ruido producida por los vehículos también debe ser reconocida por el proyectista vial. El ruido es un sonido no deseado, es un resultado subjetivo de sonidos que interfiere con actividades tales como conversar, pensar, leer o dormir.

El ruido del vehículo de motor es generado por el funcionamiento del equipo que lleva dentro, la aerodinámica, la acción de los neumáticos sobre la calzada y en las zonas céntricas, por los sonidos de corta duración del chillido de frenado, gases de escape, bocinas y sirenas de vehículos de emergencia.

Los camiones y los automóviles son los principales vehículos productores de ruido sobre las carreteras. Las motocicletas son un factor a considerar debido al rápido incremento de su número en los años recientes. Los automóviles modernos son relativamente silenciosos, en particular a las más bajas velocidades de cruce, pero existen en tal número como para hacer significantes su contribución al ruido total. Mientras el ruido producido por los vehículos de pasajeros se incrementa dramáticamente con la velocidad, las pendientes empinadas tienen poca influencia en el ruido de los vehículos de pasajeros.

El ruido producido en condiciones normales de operación por los vehículos de pasajeros proviene principalmente del escape de gases del motor y de la interacción neumático-calzada. Los automóviles en carreteras con velocidad constante producen la misma cantidad de ruido, sea que el motor está operando o no, porque el ruido es producido principalmente por la interacción neumático-calzada con algún ruido de viento agregado. Para condiciones de máxima aceleración, el ruido del sistema motor predomina.

En los camiones, particularmente los de motor diesel, presentan el mayor problema de ruido en las carreteras, por lo que con el desarrollo de motores más poderosos se ha incrementado el ruido. Los niveles de ruido en los camiones no son influenciados por la velocidad sino se deben a otros factores (incluyendo la aceleración) que no son directamente afectados por la velocidad, y que proporcionan un mayor porcentaje del ruido. En contraste, las pendientes fuertes si pueden incrementar el efecto del ruido en camiones grandes.

El ruido producido por el camión tiene varios componentes principales provenientes de fuentes tales como expulsión de gases, mecanismos del motor, ventiladores y tomas de aire. A altas velocidades, la interacción neumático-calzada y el ruido del viento se añaden al problema. Como en los vehículos de pasajeros, el ruido producido por los grandes camiones diesel proviene primariamente del sistema de expulsión de gases del motor y de la interacción entre neumático y calzada. Sin embargo, en los camiones el ruido del escape de gases tiende a dominar la interacción neumático-calzada, en la mayoría de condiciones de operación, particularmente cierto durante la aceleración.

La calidad del ruido varía con el número y condiciones de operación de los vehículos mientras la direccionalidad y amplitud del ruido varía con las características de diseño de la carretera. Por ello, el proyectista debe interesarse en cómo el trazado y el diseño de la carretera influyen en el ruido de los vehículos, percibido por las personas que residen o trabajan en la vecindad. Los niveles de percepción del ruido disminuyen tanto como la distancia de la carretera a las residencias o lugares de trabajo se incrementen.

2.3 COMPORTAMIENTO DE LOS CONDUCTORES

2.3.1 Introducción

Una apreciación del comportamiento de los conductores es esencial para los diseños apropiados y la operación vial. La adecuación del diseño descansa tanto en la capacidad de la carretera para usarla segura y eficientemente como en cualquier otro criterio. El comportamiento de los conductores mejora cuando usan una carretera diseñada para que sea compatible con sus capacidades y limitaciones. Cuando un diseño es incompatible con los atributos de los conductores, las posibilidades de errores del conductor aumentan, y a menudo resulta en accidentes y operación ineficiente.

Esta sección provee información sobre las características de los conductores que ayudarán a los ingenieros de carreteras en el diseño y operación de la carretera. Describe a los conductores en términos de sus características, cómo ellos interactúan con la carretera y sus sistemas de información y cómo ellos se equivocan.

El material proviene *A User's Guide to Positive Guidance (2)*, que contiene información sobre los atributos de los conductores, sobre las tareas de conducir y sobre la información manejada por los conductores. Cuando se aplican al diseño factores apropiados de conducción, los conductores competentes, usando las carreteras bien diseñadas con apropiada exhibición de información, pueden comportarse segura y eficientemente. Adicionalmente, *Transportation Research Record 1281* titulado "*Human Factors and Safety Research Related to Highway Design and Operations*" (16) provee información adicional.

2.3.2 Conductores mayores y peatones

Los conductores y peatones mayores de edad son un significativo y rápidamente creciente segmento de la corriente de tránsito con una variedad de deterioros de la motricidad sensorial debidos a la edad. Como grupo, tiene el potencial de afectar adversamente la seguridad y eficiencia del sistema vial. Sin embargo, es comprensible que los usuarios de las carreteras, mayores de edad, requieren movilidad, y que deben ser incorporados por las características de diseño y

operacionales de la vía, hasta donde sea práctico.

Conductores mayores tienen necesidades especiales que deben considerarse en el diseño de carreteras y control del tráfico. Por ejemplo, por cada década después de los 25 años de edad, los conductores necesitan doble claridad en la noche para recibir la información visual. A la edad de 75 años, algunos conductores pueden necesitar 32 veces la claridad que necesitan a los 25.

Resultados de investigaciones muestran que las mejoras del sistema de carreteras para mejorar su uso para conductores mayores y peatones puede también mejorar el sistema para todos los usuarios. Así, los proyectistas e ingenieros deben ser conscientes de los problemas y requerimientos de los mayores, y considerar la aplicación de medidas para ayudar a mejorar su rendimiento. Un Federal Highway Administration Report, titulado *Older Driver Highway Design Handbook* (4) provee información sobre como modificar los elementos de diseño geométrico y dispositivos de control de tráfico para satisfacer mejor las necesidades de conductores mayores de la carretera.

2.3.3 La Tarea de Conducir

La tarea de conducir depende de que los conductores reciban y usen la información correctamente. La información recibida en tránsito es comparada con la información ya poseída de los conductores. Los conductores toman las decisiones en base a la información de que disponen y realizan las apropiadas acciones de control.

La conducción comprende un número de discretas e interrelacionadas actividades. Cuando se las agrupa por comportamiento, las actividades de la tarea de conducir caen en tres niveles:

control, conducción y navegación. Estas actividades están ordenadas en escala de complejidad de tarea e importancia para la seguridad. El manejo sencillo y el control de la velocidad están en un extremo de la escala (control). El seguimiento del camino y el mantenimiento de un curso seguro es respuesta al camino y a las condiciones del tránsito en el nivel medio (conducción). En el más complejo nivel de la escala está la planificación del viaje y el seguimiento del recorrido (navegación).

La tarea de conducir puede ser compleja y exigente, ya que varias actividades individuales pueden realizarse simultáneamente requiriendo suave y eficiente manejo e integración de la información. A menudo, la conducción tiene lugar a altas velocidades, bajo la presión del tiempo, en lugares desconocidos y bajo condiciones ambientales adversas. Otras veces, la tarea de conducir puede ser tan simple y tranquila que el conductor pierde la atención. La clave para un seguro y eficiente comportamiento es el manejo de información libre de error.

Errores de conducción resultan de factores de los conductores, vehículos, la carretera y del tráfico. Algunos conductores cometen errores porque no reconocen las acciones en particular que las situaciones del tráfico en la carretera requieren de ellos, porque las situaciones pueden sobrecargar o descuidar la tarea y porque el deficiente o inconsistente diseño o la información mostrada pueden causarles confusión. Los errores de los conductores pueden ser resultado de la presión del tiempo, decisiones complejas o excesiva información. Los errores de control y conducción pueden contribuir directamente a los accidentes. Adicionalmente, errores de conducción que resultan de demoras o por las presiones de tiempo,

pueden contribuir a operaciones deficientes y pueden provocar accidentes indirectamente.

2.3.4 La Tarea de Dirigir

De los tres principales componentes de la tarea de dirigir, el diseño de la carretera y las operaciones del tránsito tienen el mayor efecto en la conducción. Es necesaria una apreciación de los componentes de la tarea de dirigir vehículos para que el proyectista pueda ayudar a mejorar al rendimiento de los conductores.

a) **Ubicación en el Carril y Seguimiento del Camino**

Las decisiones sobre ubicación en el carril y seguimiento de la carretera, incluyendo juicios sobre control de manejo y velocidad son elementos básicos en la conducción de vehículos. Los conductores usan un proceso de retroalimentación para seguir el alineamiento y la pendiente, de acuerdo con las condiciones ambientales y del camino. Esta parte del nivel de tarea de dirigir se realiza continuamente.

b) **Seguimiento de Vehículo**

Seguir un vehículo es el proceso por el cual los conductores guían su vehículo cuando siguen a otro vehículo. Las decisiones de seguimiento de vehículo son más complejas que las decisiones de seguir el camino, porque comprenden modificaciones del control de velocidad. En el seguimiento de vehículo, los conductores constantemente modifican su velocidad para mantener espaciamiento seguro entre vehículos. Para proceder con seguridad, tienen que evaluar la velocidad del vehículo delantero y la velocidad y posición de otros vehículos en la corriente de tránsito y continuamente detectar, evaluar y responder a los cambios.

c) **Maniobras de Adelantamiento**

La decisión de un conductor de iniciar, continuar, o completar una maniobra de adelantamiento es más compleja que las decisiones involucradas en mantenerse en un carril o seguir otro vehículo. La decisión de adelantar requiere modificaciones sobre la marcha en el seguimiento de otro vehículo y en el control de la velocidad. En el adelantamiento, los conductores deben juzgar la velocidad y aceleración potencial de su propio vehículo, la velocidad del vehículo delantero, la velocidad y tasa de acercamiento del vehículo que se aproxima y la presencia de un claro aceptable en la corriente de tránsito.

d) **Otras actividades de Dirección**

Otras actividades en el nivel de tarea de dirección incluyen converger, cambiar de carril, eludir peatones y responder a los dispositivos de control de tránsito. La mayoría de estas actividades requieren complejas decisiones, juicios y predicciones.

2.3.5 El Sistema de Información

Cada elemento que provee información a los conductores es parte del sistema de información de la carretera. Las fuentes formales de información son los dispositivos de control de tránsito específicamente proyectados para mostrar la

información a los conductores. Las fuentes informales incluyen elementos tales como las características de diseño de la carretera, juntas en el pavimento, líneas de árboles y el tránsito. Juntas, las fuentes formales e informales muestran la información que los conductores necesitan para realizar la tarea de conducir segura y eficientemente. Las fuentes formales e informales de información están interrelacionadas y deben reforzarse mutuamente para ser más útiles.

a) **Dispositivos de Control de Tránsito**

Los dispositivos de control de tránsito proveen información de dirección y navegación que de otra manera no estaría disponible. Estos dispositivos incluyen información regulatoria, de precaución y señales de guía y otra información que sirve de guía sobre la ruta.

Otros elementos de control de tránsito tales como las marcas en el pavimento y delineadores, también muestran información adicional que aumentan alguna característica ambiental o de la carretera. Esos dispositivos ayudan a los conductores a percibir la información que de otra manera sería difícil de reconocer. La información relativa a los adecuados dispositivos de control de tránsito está disponible en el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito de la SIECA, Agosto 2004 (5).

b) **La Carretera y su Ambiente**

La selección de velocidades y trayectorias depende de la capacidad del conductor de ver el camino hacia adelante. Los conductores deben ver directamente el camino enfrente de sus vehículos y lo suficientemente lejos con anticipación para prever, con alto grado de precisión, el alineamiento, pendiente, ancho y otros aspectos relacionados con la calzada.

La vista del camino también incluye el ambiente inmediato adyacente a la carretera. Accesorios tales como hombros y obstáculos laterales a la carretera (incluyendo soporte de señales, pilas de puentes, muros, barandas de defensas y barreras en el arriate central afectan las operaciones de conducción y por lo tanto, deben ser claramente visibles para el conductor.

2.3.6 Manejo de la Información

Los conductores usan mucho sus sentidos para reunir la información. Mucha información es percibida visualmente por los conductores desde su visión del alineamiento de la carretera, de las marcas y señales. También detectan los cambios en el vehículo manejado a través del instinto. Para eso, por ejemplo, sienten la textura de la superficie de la superficie a través de las vibraciones en el volante y escuchan las sirenas de los vehículos de emergencia.

En todas las tareas de conducción, los conductores realizan varias funciones casi simultáneamente. Miran las fuentes de información, toman numerosas decisiones y realizan las acciones necesarias de control. Las fuentes de información (algunas necesarias, otras no) compiten por su atención. La información necesaria debe estar en el campo de visión, disponible cuando se la necesite, en forma utilizable, y ser capaz de conseguir la atención de los conductores.

Dado que los conductores sólo pueden atender a una fuente de información visual a la vez, integran las distintas entradas de información y se mantienen alertas

del cambio de ambiente por medio de un proceso de atención compartida. Los conductores hacen el muestreo de la información obtenida en ojeadas de corta duración, cambiando su atención de una fuente a otra. Toman algunas decisiones inmediatamente y retrasan otras; confían en el juicio, estimación y predicción para llenar sus dudas con la información disponible.

a) **Tiempo de Reacción**

Procesar la información toma tiempo. Los tiempos de reacción de los conductores aumentan en función del incremento de complejidad de la decisión y del contenido de la información. Cuanto mayor es el tiempo de reacción, mayor la posibilidad de error. Johanson y Rumar (6) midieron el tiempo de reacción de frenado para eventos esperados e inesperados. Sus resultados muestran que cuando el evento es esperado, el tiempo de reacción promedia alrededor de 0.6 segundos, con unos cuantos a los que les tomó tanto como 2 segundos. Con eventos inesperados, los tiempos de reacción aumentaron un 35 por ciento. Así, para una simple, inesperada decisión y acción, algunos conductores pueden tardar tanto como 2.7 segundos para reaccionar. Una decisión compleja con varias opciones puede tomar varios segundos más que una decisión simple.

Los diseñadores de carreteras deben tomar en cuenta los tiempos de reacción. Debería reconocerse que los conductores varían en su respuesta a un evento en particular y tardan más en responder cuando las decisiones son complejas o las características inesperadas. Claras líneas de visión y adecuada distancia visual de decisión dan coberturas para un margen de error.

b) **Prioridad**

La prioridad relaciona la importancia relativa para la seguridad de información competitiva. La información de guía y conducción es importante porque los errores relacionados contribuyen directamente a los accidentes. La información de navegación supone una prioridad menor porque los errores llevan a un flujo de tránsito ineficiente. Por consiguiente, el diseño debe concentrar la atención de los conductores en los elementos críticos para la seguridad o en las fuentes de información de alta prioridad. Este objetivo se logra dando claras líneas de visión y buena calidad visual.

c) **Expectativa**

Las expectativas están formadas por la experiencia y el entrenamiento de los conductores. Las situaciones que ocurren generalmente en la misma forma y las respuestas exitosas a estas situaciones son incorporadas en el almacenamiento de conocimientos de los conductores. La expectativa se relaciona con la habilidad de los conductores para responder a situaciones comunes en forma predecible en base a situaciones pasadas exitosas. La expectativa afecta a cómo los conductores perciben y manejan la información y modifican la velocidad y precisión de sus respuestas.

La mayoría de las características de diseño deben ser suficientemente similares para crear expectativas relacionadas a comunes características geométricas, operacionales y de itinerario. Por ejemplo, dado que la mayoría de distribuidores de autopistas tienen salida por la derecha, los conductores

generalmente esperan salir por la derecha.

Esto mejora el rendimiento al permitir una respuesta rápida y correcta. Sin embargo, hay casos donde se violan las expectativas. Por ejemplo, si una salida es por la izquierda, entonces la expectativa de salida por la derecha es incorrecta y los tiempos de respuesta pueden ser más largos o cometerse errores.

Una de las más importantes formas de ayudar a la expectativa del conductor es desarrollar diseños de acuerdo con las expectativas prevalecientes del conductor. El diseño con características inusuales debería evitarse y los elementos de diseño deberían aplicarse consistentemente por todo un segmento de carretera. Debe tenerse cuidado en mantener la consistencia de un tramo a otro. Cuando los conductores obtienen la información que esperan de la carretera y de sus dispositivos de control de tránsito, su comportamiento tiende a ser libre de errores. Cuando no obtienen lo que esperan, u obtienen lo que no esperan, pueden resultar errores.

2.3.7 Errores de Conducción

Una característica común de muchos lugares de alta ocurrencia de accidentes es que en ellos se ubican grandes o inusuales demandas sobre las capacidades de procesamiento de información de los conductores. Usualmente, la operación ineficiente o los accidentes ocurren donde las oportunidades de cometer errores en el manejo de la información son altas. En lugares donde la demanda de información-procesamiento en el conductor es alta, la posibilidad de equivocación e inapropiado comportamiento del conductor se incrementa.

a) **Error Debido a Deficiencias del Conductor**

Muchos errores son causados por deficiencias en la capacidad de los conductores o estados psicológicos temporales que, junto con un inadecuado diseño o situación difícil de tráfico, producen la falla en su juicio. Por ejemplo a menudo la insuficiente experiencia y entrenamiento contribuyen a la inhabilidad para recuperarse de un deslizamiento del vehículo. Similarmente, tomar inapropiado riesgo puede conducir a errores en la aceptación de espacios libres durante el adelantamiento (7). Adicionalmente, durante la noche, la pobre recuperación al encandilamiento puede causar que los conductores mayores pierdan información nocturna (8).

Los estados psico-fisiológicos adversos también llevan a fallas del conductor. Estos incluyen el comportamiento disminuido causado por el alcohol y las drogas, en los cuales la relación con los accidentes ha sido claramente establecida. Los efectos de la fatiga, causada por privarse de dormir durante periodos extensos de manejo sin descanso, o la prolongada exposición a los ambientes monótonos, o ambos, también contribuyen a complicarse en un accidente (9).

Generalmente no es posible para un diseño o un procedimiento operacional reducir los errores causados por las deficiencias innatas de los conductores. Sin embargo, los diseños deberían ser tan indulgentes como sea posible para disminuir las consecuencias de esta clase de equivocaciones. Los errores cometidos por los conductores competentes pueden reducirse por el diseño y operación adecuados. La mayoría de los individuos poseen los

atributos y habilidades adecuadas y no están ni borrachos, ni drogados, ni fatigados al principio de sus viajes. Cuando los conductores se esfuerzan demasiado, fallan en tomar adecuados intervalos de descanso, o conducen por largos períodos, al final alcanzan un estado menos que competente. Los conductores cansados representan una parte considerable de la población de conductores de viajes largos que debería tomarse en cuenta en el diseño de las autopistas.

Aunque las opiniones entre los expertos no son unánimes, hay un acuerdo general de que la edad tiene un efecto perjudicial en un individuo sobre la percepción mental, y en sus habilidades motoras. Esas habilidades motoras son críticas en la operación vehicular. Por lo tanto, es importante que el diseñador de carreteras sea consciente de las necesidades de los conductores mayores, y donde sea apropiado, que considere esas necesidades en el diseño de la carretera.

En el diseño de carreteras, posiblemente la medida más práctica, relacionada con mejorar la adaptación de conductores mayores, es el incremento de la distancia de visibilidad, lo cual puede lograrse a través de incrementar la distancia de decisión. El progresivo envejecimiento de la población de conductores sugiere que el incremento de la distancia de decisión puede ayudar a reducir la frecuencia futura de accidentes causados por conductores mayores.

En donde proveer una distancia de decisión no sea práctico, el incremento en el uso de señales de precaución o de información puede ser apropiado.

b) **Errores Debidos a Exigencias de la Situación**

A menudo, los conductores cometen errores cuando tienen que realizar varias tareas altamente complejas al mismo tiempo bajo la extrema presión del tiempo (10). Usualmente, este tipo de error ocurre en las ubicaciones urbanas con puntos de decisión cercanamente espaciados, intenso uso de la tierra, características de diseño complejas y denso tránsito. Las exigencias resultantes para el procesamiento de información más allá de la capacidad de los conductores pueden causar comprensión confundida o inadecuada, o procesos de pensamiento sobrecargados resultando en una inadecuada interpretación de las situaciones de manejo.

Otros lugares presentan las situaciones opuestas. Estas ubicaciones típicamente rurales pueden tener puntos de decisión ampliamente espaciados, escaso uso de la tierra, alineamiento suave y luces de tráfico. Así, las demandas de información son mínimas y en vez de estar sobrecargado, el proceso de pensamientos de los conductores puede estar disminuido. Los errores son causados por un estado de vigilancia disminuida en el cual los conductores reducen la capacidad de reconocer o responder a nuevos o inesperados elementos o fuentes de información.

2.3.8 Velocidad y Diseño

La velocidad reduce el campo visual, restringe la visión periférica, y limita el tiempo disponible para recibir y procesar información. Las carreteras construidas con altas normas de diseño ayudan a compensar estas limitaciones mediante la simplificación de las actividades de control y dirección, ayudando a los conductores

con apropiada información, ubicando esta información dentro del cono de la visión clara, reduciendo la necesidad de la visión periférica y simplificando las decisiones requeridas y espaciándolas más, para disminuir las exigencias del procesamiento de la información.

El diseño de las autopistas actuales enfoca el objetivo de permitir a los conductores operar a altas velocidades con comodidad y seguridad. El control de accesos reduce el potencial de conflictos y le dan una clara visión del camino.

Aunque el diseño mejorado ha producido significativos beneficios, también ha creado problemas potenciales. Por ejemplo, la conducción durante la noche a altas velocidades puede llevar a reducir la visión hacia adelante debido a la limitación de las luces delanteras para iluminar los peligros con tiempo suficiente para la respuesta de algunos conductores (11). Además, generalmente la gravedad de los accidentes es mayor a mayor velocidad.

Finalmente, el mismo hecho de las autopistas de proveer seguridad, eficiente transporte puede llevar a dificultades. El Instituto de Ingenieros de Tránsito (12) indica que, *“Las autopistas alientan a los conductores a extender la longitud acostumbrada y la duración de sus viajes. Esto resulta en la fatiga del conductor y en una reacción más lenta, como también en una reducción de la atención y vigilancia.”*

De este modo, los períodos largos de conducción a alta velocidad sobre las carreteras con baja exigencia para el procesamiento de información pueden no siempre ser convenientes para el adecuado manejo de la información por parte de los conductores, y, por lo tanto, llevar a la fatiga. El diseño debería tomar en cuenta estos posibles efectos adversos y atenuar sus consecuencias. Estos problemas implican que deberían evitarse los tramos largos de carretera plana y recta y que, cuando sea posible, debería usarse un alineamiento plano con curvas que sigan las curvas de nivel del terreno en donde sea práctico. Las zonas de descanso espaciadas en intervalos de aproximadamente una hora o menos de tiempo de manejo también han probado ser útiles.

2.4 CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO

2.4.1 Consideraciones Generales

El diseño de una carretera, o de cualquiera de sus partes, debe basarse en la información real incluyendo factores relativos al tránsito. El financiamiento, la calidad de las cimentaciones, disponibilidad de materiales, costo del derecho de vía y otros factores, todos tienen importante conexión con el diseño; por otro lado, los volúmenes de tránsito indican la necesidad de mejorar las características geométricas del diseño tales como número de carriles, anchos, alineamientos y pendientes. La información de tránsito sirve para establecer las *cargas* para el diseño geométrico de la carretera.

Generalmente los datos de tránsito para un camino o sección de camino están disponibles o pueden obtenerse mediante conteos ya sean manuales o electrónicos. Los datos colectados por las instituciones estatales o locales incluyen los volúmenes de tránsito por día del año y hora del día, así como también la distribución de los vehículos por tipos y por pesos. Los datos también incluyen información sobre las tendencias, de las cuales el proyectista puede estimar el tránsito que puede esperarse en el futuro.

2.4.2 Volumen

a) Tránsito Promedio Diario Anual

La unidad general de medida del tránsito sobre una carretera es el volumen del tránsito promedio diario anual (TPDA). El TPDA se define como el volumen total durante un período determinado de tiempo (en general días), mayor que un día y menor o igual que un año, dividido por el número de días comprendido en ese período de tiempo.

El conocimiento del volumen TPDA es importante para muchos propósitos; por ejemplo, determinación de la utilización anual como justificación para gastos propuestos o para el diseño de los elementos estructurales de una carretera, pero su uso directo en el diseño geométrico de carreteras no es apropiado, excepto para calles y carreteras colectoras con relativamente bajos volúmenes de tránsito, porque no indica la variación en el tránsito que ocurre durante los meses del año, días de la semana y horas del día. La cantidad por la cual el volumen de un día medio es excedido en ciertos días es apreciable y variable. En algunas carreteras, el volumen de algunos días puede ser doble que el TPDA. De este modo, una carretera proyectada para el tránsito en un día promedio podría requerir llevar un volumen mayor que el volumen de diseño durante una considerable parte del año, y durante muchos días el volumen transportado podría ser mayor que el volumen de diseño.

b) Tránsito de Hora Pico

Siendo el TPDA una medida muy genérica de la intensidad del tránsito a lo largo de un día, se vuelve necesario tomar en cuenta las variaciones extremas que registra el movimiento de vehículos a lo largo de las veinticuatro horas del día, para seleccionar las horas de máxima demanda como base más apropiada para el diseño geométrico de las carreteras.

El tránsito de la hora pico recoge la necesidad de referir el diseño no a la hora máxima que se registra en un año ni a la hora promedio sino a una hora intermedia que admita cierto grado de tolerancia a la ocurrencia de demandas horarias extremas que pueden quedar con menores niveles de comodidad para la conducción. Una guía para determinar el tránsito horario más adecuado a usar en el diseño es una curva que muestre la variación de los volúmenes de tránsito horario durante el año.

La Gráfica 2.1 muestra la relación entre los volúmenes horarios más altos y el TPDA en arterias rurales. Esta gráfica fue confeccionada a partir del análisis de datos de conteo de tránsito que cubren un amplio rango de volúmenes y condiciones geográficas. Las curvas de la gráfica fueron preparadas disponiendo todos los volúmenes horarios de un año, expresados como porcentaje del TPDA, en orden descendiente de magnitud. La curva central es el promedio para todas las localizaciones estudiadas y representa una carretera con fluctuación promedio del flujo.

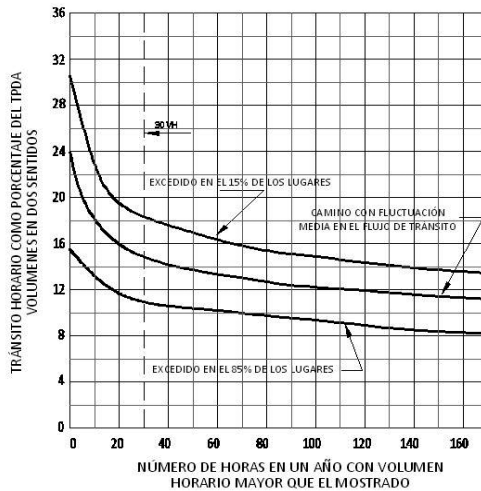
Un examen de estas curvas lleva a la conclusión que el tránsito horario usado en el diseño debería ser el 30º volumen horario más alto del año, abreviado como 30 VHD. La razonabilidad de 30 VHD como un control de proyecto está indicada por el cambio que resulta de elegir un volumen un poco más alto o más bajo. La curva de la Gráfica 2.1 se inclina rápidamente hacia la izquierda

del punto que muestra la hora 30ª más alta, indicando volúmenes muchos más altos para la inclusión de solo unas pocas horas más de volúmenes horarios más altos. La curva se aplana hacia la derecha, indicando muchas horas durante las cuales el volumen no es mucho menor que 30 VHD.

En los caminos rurales con fluctuación promedio en el flujo de tránsito, 30 VHD se aproxima a 15 por ciento del TPDA. Si este volumen es o no demasiado bajo para adecuarse al diseño puede juzgarse por las 29 horas en el año en que el volumen será excedido.

Esto indica que no resulta práctico ni económico incrementar el diseño al doble, si tal fuere el caso, para reducir las horas de congestión, como tampoco corresponde tolerar un mayor número de horas de congestión para reducir en menor cuantía los requerimientos del diseño.

En carreteras rurales, el valor de la 30 VHD se sitúa normalmente entre el 12 y el 18 por ciento del TPDA con un término medio bastante representativo de 15 por ciento del TPDA. En carreteras urbanas, este volumen se sitúa entre el 8 y el 12 por ciento del TPDA, siendo válida la práctica de utilizar el 10 por ciento del TPDA como valor de diseño.



Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Rural Highways and Streets, 2004, p. 60

Gráfica 2.1. Relación entre la Hora Pico y los Volúmenes de Tránsito Promedio Diario en Arterias Rurales.

2.4.3 Distribución Direccional

Para carreteras rurales de dos carriles, el valor de VHD es el tránsito total en ambos sentidos de viaje. Sobre carreteras de dos o más carriles y sobre carreteras de dos carriles donde se encuentran importantes intersecciones o donde más tarde se proveerán carriles adicionales, el conocimiento del volumen de tránsito horario en cada sentido de viaje, es esencial para el diseño.

Para el mismo TPDA, una carretera de carriles múltiples con un alto porcentaje de tránsito en un sentido durante las horas pico, puede requerir más carriles que una carretera que tenga el mismo TPDA, pero con un menor porcentaje de tráfico direccional. Durante las horas pico sobre la mayoría de carreteras rurales,

de 55 a 70 por ciento del tránsito es en un sentido, llegando ocasionalmente al 80 por ciento. La distribución direccional del tránsito varía bastante entre dos carreteras de carriles múltiples que lleven igual tránsito, una puede tener una carga de tránsito en un sentido 60 por ciento mayor que la otra durante las horas pico. Por ejemplo, considere un camino rural diseñado para 4,000 vehículos por hora (VPH) para ambos sentidos. Si durante la hora de diseño la distribución por sentidos está igualmente dividida, 2,000 VPH en cada sentido, pueden ser adecuados dos carriles en cada sentido. Si el 80 por ciento del VHD es en un sentido, por lo menos tres carriles en cada sentido serán requeridos para los 3,200 VPH; y si el criterio de 1,000 vehículos por carriles es aplicado, serán requeridos cuatro carriles en cada sentido.

Generalmente la distribución del tránsito por sentidos durante las horas pico es consistente año con año y día a día sobre una carretera rural, excepto sobre algunas carreteras que sirven áreas turísticas. La distribución por sentidos medida para las condiciones actuales puede suponerse para aplicarla al VHD del año futuro para el cual se diseña la vía, excepto para carreteras urbanas.

La distribución direccional del tránsito sobre vías de carriles múltiples durante la hora de diseño (VHDD) debe determinarse mediante mediciones de campo sobre la vía en consideración o sobre vías paralelas o similares. El VHDD aplicable para usar en carreteras de múltiples carriles puede calcularse mediante la multiplicación del TPMD por el porcentaje de la 30ª VHd, que es del TMD, y luego por el porcentaje de tránsito en el sentido predominante durante la hora de diseño. Así si el VHD es 15 por ciento del TMD y la distribución por sentidos a esa hora es 60:40, el VHDD es $0.15 \times 0.60 \times \text{TMD}$, o 9 por ciento del TMD. Si el TMD direccional es conocido solo para un sentido, el TMD casi siempre es el doble que el TMD direccional.

2.4.4 Composición del Tránsito

Dependiendo del tipo de servicio y la localización de una carretera, es indispensable tomar en cuenta que los vehículos pesados, como camiones, autobuses y vehículos recreativos tipo vans, pueden llegar a alcanzar una incidencia significativa en la composición del flujo vehicular, influenciando según su relevancia porcentual, en forma más o menos determinante, el diseño geométrico de la carretera y el espesor del pavimento. El efecto total sobre la operación de tránsito de un camión es equivalente a varios vehículos de pasajeros. El número de vehículos de pasajeros equivalentes depende de la pendiente y en carreteras de dos carriles, de la distancia de visibilidad de adelantamiento disponible. Así, cuanto mayor sea la proporción de camiones en una corriente de tránsito, mayores serán la carga de tránsito y la capacidad requerida.

Por el efecto que tienen en el tránsito, los vehículos pueden agruparse en dos categorías:

1. Vehículos de pasajeros; todos los vehículos de pasajeros, incluyendo minivans, vans, pickup y vehículos deportivos/utilitarios.
2. Camiones; todos los buses, camiones de unidad única y combinaciones de camiones, excepto vehículos recreacionales. En esta categoría se sitúan los que tienen 4 toneladas métricas o más de peso y los que tienen llantas dobles en el eje trasero.

En la clase vehículo de pasajeros, la mayoría de los vehículos tienen características

de operación similares. En la clase camión, las características de operación varían considerablemente y particularmente en el tamaño y en la relación peso/potencia. Aunque esta variación puede ser significativa entre dos camiones, el efecto de todos los camiones en una corriente de tránsito puede evaluarse y es similar en la mayoría de las carreteras bajo condiciones comparables. En consecuencia, para el diseño geométrico de una carretera, es esencial tener datos de tránsito respecto de los vehículos de la clase camión. Generalmente estos datos se expresan, para el mayor tipo de camiones y buses, como un porcentaje de todo el tránsito que se prevé.

2.4.5 Distribución Direccional del Tránsito (D)

La intensidad del tránsito durante la hora pico en una carretera de dos carriles, muestra el volumen del tránsito en ambos sentidos de circulación, de ahí que resulte necesario afectarlo por un factor adicional, que refleje la desigual distribución a lo largo del día de las corrientes del tránsito en ambas direcciones, que a mayor desbalance hará mayor la necesidad de brindar la capacidad suficiente, por ejemplo, incrementando el número de carriles necesarios. En las horas pico de la mayoría de las carreteras rurales, entre el 55 y el 70 por ciento del tránsito total se mueve en un solo sentido, por lo que **la utilización de un 60 por ciento como factor promedio de distribución direccional parece razonable**, a falta de otros elementos de juicio.

En casos extremos como las carreteras a zonas turísticas, se ha llegado a alcanzar hasta un 80 por ciento del total circulando en un solo sentido.

En una carretera de carriles múltiples, es frecuente encontrar que la carga del tránsito en el sentido predominante durante la hora pico alcanza hasta 60 por ciento más vehículos que la corriente de sentido contrario, de ahí la importancia de investigar localmente estos factores al diseñar una carretera o, alternativamente, deducir por inferencia con casos semejantes de la experiencia local, los parámetros a aplicar para la situación más probable.

Al diseñar intersecciones a nivel e intercambios, es necesario cuantificar mediante recuentos volumétricos visuales, de investigaciones de origen y destino o de ambos tipos de estudios de tránsito, los volúmenes de todos los movimientos claves durante la hora de diseño.

2.4.6 Proyección Futura de las Demandas del Tránsito

Una carretera nueva o la mejora de una carretera existente, debe diseñarse para acomodar el tránsito que pueda ocurrir durante el período de diseño, sometida a un mantenimiento razonable.

Es difícil definir el período de diseño de una carretera porque los elementos principales pueden tener diferentes períodos de vida física. Cada segmento está sujeto a variaciones en la estimada expectativa de vida debido a influencias no fácilmente sujetas al análisis, como la falta de mantenimiento o cambios radicales inesperados en el uso de la tierra, con los resultantes cambios en los volúmenes de tránsito, cargas y demandas.

Se recomienda adoptar un período de proyección de veinte años como base para el diseño. Usualmente, la estimación del tránsito más allá de este período sobre una vía específica no se justifica debido a que no pueden preverse con ningún

grado de precisión los cambios en la economía regional, población y desarrollo de la tierra a lo largo de la carretera. También se acepta que para proyectos de reconstrucción o rehabilitación de las carreteras se reduzca dicho período a 10 años.

Para determinar las proyecciones de tránsito de una carretera se utiliza una diversidad de procedimientos, que van desde los más complejos y sofisticados a base de modelos econométricos hasta los que se caracterizan por su extrema simplicidad en el cálculo o dependen solamente del buen juicio y criterio del diseñador. Entre ellos, dos procedimientos son universalmente aceptados, aunque cabe señalar que a mayor incertidumbre en las estimaciones a futuro, mayor será la conveniencia de complementar los estudios con un análisis de sensibilidad para prever situaciones extremas en las perspectivas a largo plazo.

El primero se fundamenta en el análisis de las tendencias históricas del comportamiento del tránsito, conocidas mediante registros de los volúmenes durante un período mínimo de diez años de duración, para desprender de ellas las hipótesis de crecimiento más probable del tránsito durante los años venideros, en sus diferentes componentes de la corriente vehicular.

El segundo método reconoce que los pronósticos de tránsito guardan estrecha relación con indicadores de las múltiples actividades humanas, cuyos patrones relacionados con la movilidad, se consideran invariables en el período de diseño de las obras viales, a menos que se conozcan de antemano factores que pueden influir en su futuro comportamiento. Bajo este criterio general se busca establecer relaciones razonables de tipo estadístico entre el comportamiento del tránsito (variable dependiente) y el de otros conocidos indicadores socioeconómicos nacionales o locales, que tienen incidencia en el transporte automotor, como los registros de consumo de combustible (gasolina, diesel o ambos) en el transporte, la tenencia de vehículos, el comportamiento del Producto Interno Bruto, el crecimiento de la población económicamente activa, (variables independientes), que permitan obtener proyecciones aceptables acerca de los futuros volúmenes de tránsito por las carreteras.

2.4.7 Velocidad

La velocidad es uno de los factores más importantes para el viajero al seleccionar opciones de itinerarios o de modos de transporte. El atractivo de un sistema de transporte público o de una nueva carretera son evaluadas por el viajero en términos de tiempo, conveniencia y dinero ahorrado. Para el conductor, la velocidad es uno de los elementos críticos a considerar en la selección de la ruta a transitar o la escogencia de un determinado modo de transporte, ponderándose su importancia en términos de tiempos de recorrido, de costos de viaje, de la combinación de los dos factores anteriores y de la conveniencia de los usuarios.

La velocidad de los vehículos sobre un camino o carretera depende, además de la capacidad de los conductores y sus vehículos, de cinco condiciones generales: las características físicas de la carretera, la cantidad de interferencias en los lados de la carretera, las condiciones climáticas en su entorno, la presencia o interferencia de otros vehículos y las limitaciones a la velocidad, sean estas establecidas por regulaciones de carácter legales o debidas a dispositivos de control. Aunque cualquiera de ellas puede gobernar la velocidad de viaje, usualmente los efectos de estas condiciones son combinados.

La mayoría de las corrientes de tránsito registran en su comportamiento variaciones de velocidades que se ubican dentro de una distribución estadística normal, esto es, que la mayoría de los valores ocurren dentro de un rango central, con muy pocos valores ubicados en los rangos extremos de arriba y de abajo de la distribución. El diseño, en todo caso, busca satisfacer razonablemente los requerimientos de los usuarios en lo relativo a velocidades, bajo condiciones de seguridad y economía en las operaciones, sin dejarse llevar por incómodos extremos, como sucedería si se pretendiera atender al reducido número de usuarios que reclaman mayores velocidades de lo que se juzga razonable.

a) **Velocidad de Operación**

La velocidad de operación es la velocidad a la que los conductores son observados operando su vehículo bajo condiciones favorables. El 85 percentil de la distribución de velocidades observadas es la más frecuente medida usada de las velocidades de operación asociadas con una particular localización o característica geométrica.

b) **Velocidad de Ruedo**

La velocidad a la cual un vehículo viaja en un tramo de una carretera es conocida como la velocidad de ruedo. La velocidad de ruedo es la longitud del tramo de la carretera dividida entre el tiempo requerido para que el vehículo recorra ese tramo. La velocidad de ruedo promedio de todos los vehículos es la más apropiada medida de la velocidad para evaluar el *nivel de servicio* y costos de los usuarios de la carretera. La velocidad de ruedo promedio es la suma de las distancias recorridas por los vehículos en una sección de la carretera durante un período de tiempo determinado dividido por la suma de sus tiempos de recorrido.

Una manera de estimar la velocidad de ruedo promedio para una obra existente donde el flujo de tránsito es razonablemente continuo, es medir la velocidad instantánea en una o más localizaciones. El promedio de la velocidad instantánea es el promedio aritmético de la velocidad de todo el tráfico que se ha medido en un punto especificado de la carretera. Para tramos cortos de la carretera, en el cual las velocidades no varían sustancialmente, la velocidad instantánea promedio en una localización puede considerarse como una aproximación de la velocidad de ruedo promedio. En tramos largos de carreteras rurales, el promedio de la velocidad instantánea medida en varios puntos, donde cada punto represente las características de velocidad del tramo seleccionado de la carretera, puede ser promediado (tomando en cuenta longitudes relativas de los tramos de carretera) para obtener una mejor aproximación de la velocidad de ruedo promedio.

Dependiendo del volumen de tráfico, la velocidad de ruedo promedio en una carretera varía. Por lo tanto, cuando se hace referencia a la velocidad de ruedo, debe indicarse claramente cuando represente las horas pico, horas que estén fuera de las horas pico, o si es un promedio durante el día. Las velocidades de ruedo, durante horas pico o fuera de ellas, son utilizadas en el diseño y en la operación; el promedio de las velocidades de ruedo para un día completo se utilizan en análisis económicos.

El efecto del volumen del tráfico en la velocidad de ruedo promedio puede determinarse usando los procedimientos indicados en el Highway Capacity

Manual (HCM) (13). El HCM indica que:

Para autopistas y carreteras de carriles múltiples, existe un amplio margen de volúmenes en los cuales la velocidad no es sensible a éstos; este margen se extiende hasta tasas bastante altas. Entonces, como la tasa de volumen por carril indica la capacidad, la velocidad se reduce sustancialmente con el incremento de la tasa de volumen.

Para carreteras de dos carriles, la velocidad se reduce linealmente con el incremento de la tasa de volumen sobre el rango completo de tasas entre cero y la capacidad.

c) **Velocidad de Diseño**

La velocidad de diseño (también conocida como Velocidad Directriz) es la velocidad seleccionada para determinar varias características geométricas de la carretera. La velocidad de diseño asumida debe ser consistente con la topografía, el uso de la tierra adyacente y la clasificación funcional de la carretera. Excepto para calles locales donde los controles de velocidad son incluidos intencionalmente, debe hacerse un esfuerzo para usar una velocidad de diseño que sea práctica para obtener un deseado grado de seguridad, movilidad y eficiencia bajo las restricciones de la calidad del ambiente e impactos económicos, estéticos y sociales o políticos.

Una vez seleccionada, todas las características pertinentes de la carretera deben relacionarse a la velocidad de diseño para obtener un diseño equilibrado. Deben usarse valores de diseño arriba de los mínimos donde sea práctico. Algunas características del diseño tales como curvatura, peralte y distancia de visibilidad están directamente relacionadas con la velocidad de diseño y varían apreciablemente dentro de ella. Otras características tales como anchos de carriles y hombros y separaciones a muros o barandas, no están directamente relacionados con la velocidad de diseño, pero afectan la velocidad de los vehículos. Por lo tanto, carriles anchos, hombros y distancias laterales grandes deben utilizarse para velocidades altas. Así cuando se hace un cambio en la velocidad de diseño, en consecuencia, muchos elementos de diseño de la carretera deben cambiar.

La velocidad de diseño elegida debe ser consistente con la velocidad a la que un conductor probablemente conduzca con comodidad en la carretera construida. Donde una condición dificultosa es obvia, los conductores son más anuentes en aceptar menores velocidades de operación que donde no hay razón aparente para ello. Una carretera de alta clasificación funcional, puede justificar una velocidad de diseño más alta que una vía menos importante en condiciones de topografía similares, particularmente donde los ahorros en la operación del vehículo y otros costos de operación son suficientes para compensar el incremento en los costos de derecho de vía y construcción. Sin embargo, no debe seleccionarse una velocidad de diseño baja donde la topografía es tal que probablemente los conductores viajen a velocidades altas. Los conductores no ajustan sus velocidades a la importancia de la carretera sino a su percepción de las limitaciones físicas y, por consiguiente, del tránsito.

En la selección de una adecuada velocidad de diseño para una carretera en particular, debe darse especial consideración a los siguientes aspectos:

- a. Distribuciones de las velocidades
- b. Tendencias de las velocidades
- c. Tipo de área
 - Rural
 - Urbana
- d. Condiciones del terreno
 - Plano
 - Ondulado
 - Montañoso
- e. Volúmenes de tránsito
- f. Consistencias en el diseño de carreteras similares o complementarias
- g. Condiciones ambientales

Es deseable que la velocidad de ruedo para un porcentaje alto de conductores sea menor que la velocidad de diseño. Las experiencias indican que la desviación de este objetivo deseado es más evidente y problemático en las curvas horizontales agudas (radios de curva reducidos). En especial, curvas diseñadas con bajas velocidades (relativas a lo que espera el conductor) son frecuentemente sobrepasadas y tienden a producir riesgos en la seguridad. Por lo tanto, es importante que la velocidad de diseño utilizada para el diseño de curvas horizontales sea conservadora respecto a la velocidad esperada en la obra construida.

En autopistas y carreteras arteriales principales, en áreas rurales, debe seleccionarse una velocidad de diseño de 110 KPH. En carreteras colectoras de carriles múltiples, en áreas suburbanas y rurales, las apropiadas velocidades de diseño son de 80 a 100 KPH. En carreteras colectoras, el rango de velocidad debe ser de 30 a 80 KPH y rango de velocidades de 20 a 60 KPH pueden utilizarse en carreteras vecinales.

En las calles arteriales el límite de la velocidad durante varias horas del día, está regulada por la presencia de grandes volúmenes de vehículos y por dispositivos de control de tráfico más que por las características físicas de la calle. En tales casos, la selección de la velocidad de diseño es menos crítica para operaciones eficientes y seguras.

Durante períodos de bajo a moderado volumen de tránsito, las velocidades en calles arteriales están gobernadas por otros factores como señales de velocidad límite, giros a mitad de cuadra y salida de calles o bocacalles, retornos, espaciamiento de los semáforos y tiempo de señal para avance. Cuando se planean mejoras de la calle arterial, la velocidad de diseño debe considerarse con factores tales como límites de velocidad, restricciones físicas y económicas y las probables velocidades de ruedo que pueden obtenerse durante las horas pico. Todos esos factores pueden influir en la selección de la velocidad de diseño apropiada.

Generalmente el alineamiento horizontal de las calles arteriales no es el factor fundamental para restringir las velocidades. Las mejoras propuestas generalmente están adecuadas al patrón de calles existentes y comúnmente, los cambios menores al alineamiento horizontal se hacen en las intersecciones.

Donde sea posible, las calles arteriales deben diseñarse y los dispositivos de control regularse para permitir velocidades de marcha de 30 a 75 KPH. Las

velocidades más bajas de este rango son aplicables a las calles locales y colectoras a través de las zonas residenciales y a las calles arteriales a través de las zonas comerciales más concurridas, mientras que las velocidades más altas a las arterias de alta clasificación de las zonas suburbanas alejadas. Para las calles arteriales a través de zonas comerciales más concurridas, generalmente es necesaria la coordinada semaforización para permitir aún las velocidades de 20 a 40 KPH.

Calles arteriales urbanas y carreteras generalmente tienen velocidades de ruedo de 30 a 70 KPH. Entonces las velocidades de diseño adecuadas para calles y carreteras arteriales deben estar en el rango de 40 a 80 KPH. Como un mínimo deseable, los elementos de una carretera arterial urbana reconstruida deben proyectarse para una velocidad de diseño segura de al menos 50 KPH.

Las velocidades altas en caminos rurales representan un problema de seguridad por lo que actualmente los proyectistas se concentran en intentos de controlar y reducir la velocidad. Para lograr este objetivo, las velocidades altas son sacrificadas para preservar la seguridad. En este caso, un tratamiento alternativo, especialmente si la carretera presenta volúmenes altos, es proveer instalaciones 2+1, es decir, tres carriles, en donde el carril central sirve como un carril de paso y en el que el derecho de paso se alterna. El uso de este diseño en lugar de la instalación de cuatro carriles aumenta la capacidad y mejora la seguridad.

2.5 CAPACIDAD DE CARRETERAS

2.5.1 Conceptos de Capacidad

En la ecuación oferta-demanda de una carretera, del lado de la demanda se sitúa el volumen de diseño, que es el volumen de tránsito horario proyectado para utilizar dicha carretera en el año de diseño, o sea al término de un periodo de proyección que normalmente es de veinte años, mientras que la oferta, por su parte, se mide mediante la **capacidad, que es el máximo número de vehículos que pueden circular en un punto dado durante un período específico de tiempo, bajo condiciones prevalecientes de la carretera y el tránsito. Asumiendo que no hay influencia del tránsito más adelante, dentro del punto en análisis.**

Un objetivo principal del análisis de capacidad, es estimar el número razonable máximo de vehículos que una carretera puede acomodar con razonable seguridad, durante un periodo de tiempo. Si las carreteras operan cerca de su capacidad, el análisis de capacidad también estima el aumento de tránsito que una carretera puede acomodar mientras mantiene su nivel de operación prescrito.

El Manual de Capacidad 2010 (18) presenta la metodología para evaluar la capacidad y el nivel de servicio de carreteras, y es el documento que se recomienda como referencia para investigaciones relacionadas, presentándose aquí solamente el procedimiento para los cálculos de capacidad y nivel de servicio, con las aclaraciones indicadas en el 2.5.3, en condiciones de flujo libre para carreteras de dos carriles (Capítulo 15, Volumen 2, del HCM 2010).

El dimensionamiento de la capacidad resulta crucial para el diseño de cualquier carretera, tanto para establecer el tipo a que corresponde diseñarla, como para seleccionar los elementos que la conforman y sus dimensiones, tales como número y ancho de carriles, alineamientos, restricciones laterales, etc. Es indispensable también conocer la capacidad en los estudios de planificación de las redes de carreteras, cuando se trata de establecer la suficiencia con que los componentes de dichas redes están sirviendo al tránsito existente o, por la misma línea, programar en orden de prioridad las necesidades de inversión a corto y mediano plazo, para enfrentar con la debida antelación los efectos del crecimiento del tránsito.

Las **condiciones prevalecientes** de la carretera se refieren a las características geométricas como el número y uso de los carriles, ancho de hombro, configuración de carriles y los alineamientos horizontal y vertical, restricciones laterales, etc.

El flujo máximo del tránsito en una carretera es su capacidad, que ocurre cuando se alcanza la densidad crítica y el tránsito se mueve a la velocidad crítica. Esto regularmente ocurre en la hora pico del volumen del tránsito, la hora pico es el período más crítico. La capacidad frecuentemente se mide en vehículos por hora (veh/hr).

Para carreteras de dos vías, los valores básicos de la capacidad bajo condiciones ideales son descritos como sigue:

Condiciones ideales:

- Flujo ininterrumpido
- 3.60 m de ancho de carril
- 1.80 m de distancia mínima lateral (ancho del hombro)
- Sin vehículos pesados
- Velocidad de diseño ≥ 90 km/h
- Sin restricciones en la distancia de visibilidad de rebase.
- Sin interferencia de paso de peatones
- En ambas direcciones, el tránsito se considera igual (50%/50%)

Bajo condiciones ideales del tránsito y de la vía, las autopistas tienen una capacidad de 2,000 vehículos livianos por carril por hora. En carreteras de dos carriles, por otra parte, se alcanzan capacidades de 3,200 veh/h por hora en ambos sentidos de la circulación, siendo la capacidad por sentido de circulación de 1,700 veh/h.

La capacidad de una arteria o de una carretera urbana, por otra parte, está en función de la capacidad de sus intersecciones más críticas.

La clasificación de carreteras, para efectos de cálculos de capacidad, según el Manual de Capacidad 2010 es la siguiente:

- **Carreteras Tipo I:** la velocidad de circulación es el parámetro principal para evaluar capacidad. Entre este tipo se incluyen:
 - Vías principales
 - Tráfico de viajes al trabajo y ocio
 - Distancias de viaje largas

- **Carreteras Tipo II:** el porcentaje del DT es el parámetro principal para evaluar la capacidad. Entre este tipo se incluyen:
 - Accesos a Carreteras Tipo I
 - Carreteras Turísticas
 - Distancias cortas, viajes de recreo

- **Carreteras Tipo III:** el porcentaje de lograr la velocidad libre es el parámetro principal para evaluar la capacidad. Entre este tipo se incluyen:
 - Accesos a Zonas en crecimiento
 - Carreteras de paso intermedio entre Tipo I y Tipo II
 - Distancias cortas, viajes de recreo

2.5.2 Los Niveles de Servicio (LOS)

El flujo vehicular de servicio para diseño es el máximo volumen horario de tránsito que una carretera puede acomodar, sin que el grado de congestión alcance los niveles preseleccionados por el diseñador, tras conciliar los intereses de los conductores, dispuestos quizá a tolerar un mínimo de congestión; los estándares de diseño vigentes, que predeterminarán algunos requerimientos básicos según la clasificación funcional de la vía; y los recursos disponibles para atender estas necesidades. Conviene aclarar que **hablar de congestión en una carretera no es hablar de paralización de todo el movimiento**. El congestiónamiento se inicia con la creciente interferencia o fricción entre los vehículos en la corriente del tránsito, que empieza a perder su calidad de flujo libre.

El Manual de Capacidades de Carreteras establece seis niveles de servicio, identificados subjetivamente por las letras desde la A hasta la F, donde al nivel de servicio A se logra un flujo vehicular totalmente libre, con una relación volumen/capacidad del orden de 0.35 para las autopistas, mientras que al nivel de servicio F se alcanza el flujo forzado que refleja condiciones de utilización a plena capacidad de la vía o de sus componentes esenciales, como decir las rampas y las secciones para entrecruzamientos.

Los diseñadores deben escoger, entre aquellos extremos, el nivel de servicio que mejor se adecua a la realidad del proyecto que se propone desarrollar. La escogencia de un determinado nivel de servicio conduce a la adopción de un flujo vehicular de servicio para diseño, que al ser excedido indica que las condiciones operativas se han desmejorado con respecto a dicho nivel. **Como criterio de análisis, se expresa que el flujo vehicular de servicio para diseño debe ser mayor que el flujo de tránsito durante el período de 15 minutos de mayor demanda durante la hora de diseño**. La escogencia de un nivel de servicio dado, indica también que todos los elementos de la carretera deben diseñarse en correspondencia.

Las condiciones generales de operación para los niveles de servicio, se describen sumariamente de la siguiente manera:

Nivel de Servicio	Descripción
A	Flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente altas velocidades de operación (90 km/h o más). La demora de los conductores no es mayor del 35% del total de tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 490 veh/hr.
B	Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por las condiciones del tránsito (80 km/h). La demora de los conductores no es mayor al 50% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 780 veh/hr.
C	Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad (70 km/h). La demora de los conductores alcanza el 65% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 1,190 veh/hr.
D	Acercándose a flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar. La velocidad se mantiene alrededor de 60 km/h. La demora de los conductores es cercana al 80% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 1,830 veh/hr.
E	Flujo inestable, suceden pequeños embotellamientos. La velocidad cae hasta 40 km/hr. La demora de los conductores es mayor al 80% del total del tiempo de viaje.
F	Flujo forzado, condiciones de “pare y siga”, congestión de tránsito.

El Cuadro 2.3 muestra la guía recomendada por la AASHTO para seleccionar el nivel de servicio de una carretera, en función de su tipología y las características del terreno. Las limitaciones financieras características del medio centroamericano y las distancias medias de viajes relativamente más cortas, combinados con una aparente tolerancia a mayores grados de congestión, inducen a pensar que esta tabla puede ofrecer las soluciones más deseables, aunque los niveles de servicio recomendables sean de menores exigencias.

Tipo de carretera	Tipo de Área y Nivel de Servicio Apropiado			
	Rural Plano	Rural Ondulado	Rural Montañoso	Urbano y Suburbano
Autopista	B	B	C	C
Arterial	B	B	C	C
Colectora	C	C	D	D
Locales	D	D	D	D

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Rural Highways and Streets, 2004, p. 85

Cuadro 2.3. Guía para seleccionar el Nivel de Servicio para Diseño

2.5.3 Capacidades y Niveles de Servicio en Carreteras de Dos Carriles

El procedimiento para el cálculo de las capacidades y niveles de servicio de las carreteras de dos carriles, que con fines ilustrativos se describe a continuación, se basa en la metodología establecida en el Manual de Capacidad de Carreteras, en su versión del año 2000, con indicación de las fórmulas actualizadas en el Manual 2010. Los ejemplos del Capítulo 5 de la Versión 2010 del Manual fueron calculados con la versión 2000, sin actualizar los valores en la versión 2010, tomando en cuenta que el usuario de la versión 2010 “debe enfocarse más en el análisis de los

resultados que los resultados numéricos propiamente dichos”.

Es importante indicar que la versión 2010 fue preparada únicamente para el SISTEMA INGLÉS, por lo que será difícil su adaptación al sistema métrico; esta situación obligará a seguir utilizando durante algún tiempo la versión 2000. Los programas ofrecidos en la versión 2010 permiten el cálculo de la capacidad y nivel de servicio de carreteras, intersecciones, rotondas, etc.

ELEMENTOS PARA CALCULAR EL NIVEL DE SERVICIO (LOS):

Todos los Cuadros y Fórmulas indicadas a continuación se tomaron del HCM-2000 o HCM-2010 en caso se hayan actualizado los cuadros.

- a) **Máximos valores del Porcentaje de Tiempo utilizado en seguir un vehículo y la velocidad promedio de viaje para cada LOS de las carreteras de dos carriles.**

LOS	% de tiempo utilizado en seguir un vehículo	Velocidad Promedio de Viaje (km/h)
A	≤ 35	> 90
B	>35 – 50	>80 - 90
C	>50 – 65	>70 - 80
D	>65 – 80	>60 - 70
E	> 80	≤ 60
F	Aplica cuando la razón de flujo excede la capacidad del segmento.	

Cuadro 2.4. Criterio del LOS para carreteras de dos carriles Carreteras Tipo I

LOS	% de tiempo utilizado en seguir un vehículo
A	≤ 40
B	>40 - 55
C	>55 - 70
D	>70 - 85
C	> 85
F	Aplica cuando la razón de flujo excede la capacidad del segmento.

Cuadro 2.5. Criterio del LOS para carreteras de dos carriles Carreteras Tipo II

NS	% de alcanzar la velocidad libre
A	>91.7
B	>83.3 – 91.7
C	>75 – 83.3
D	>66.7 – 75
C	≤ 66.7

HCM-2010

Cuadro 2.6. Criterio del LOS para carreteras de dos carriles Carreteras Tipo III

b) Determinar la Velocidad de Flujo Libre (FSS)

⇒ La FFS puede calcularse en campo, cuando el flujo vehicular sea bajo, pero mayor que 200 veh/hr, con la fórmula:

$$FF = S_{FM} + 0.0125 * (V_f / f_{HV}) \tag{2-1}$$

Donde:

FSS = Velocidad estimada de flujo libre (km/h)

S_{FM} = Velocidad principal del tránsito medida en campo (km/h)

V_f = Observación del volumen en el período en el cual se obtuvo la medición de campo (veh/h)

f_{HV} = Factor de ajuste de vehículos pesados, determinado como se muestra en la ecuación 2-4.

⇒ La **FFS** puede estimarse indirectamente si la medida de campo no se puede realizar. Para carretera de dos vías tiene un rango entre 70 y 110 km/h. Para estimarla, el analista debe caracterizar las condiciones de operación de la carretera en términos de la velocidad base de flujo libre **BFFS** (*base free flow speed*) que refleje el carácter del tránsito y el alineamiento de la carretera, de carreteras similares, de la velocidad de diseño de la carretera y de los límites de velocidad. Una vez estimada la BFFS se multiplica por varios factores para determinar la **FFS**, como sigue:

$$FFS = BFFS \cdot f_{LS} \cdot F_A \tag{2-2}$$

Donde:

FSS = Velocidad estimada de flujo libre (km/h)

BFFS = Velocidad base de flujo libre (km/h)

f_{LS} = Ajuste debido al ancho del carril y al ancho del hombro, según Cuadro 2.7

f_A = Factor de ajuste para puntos de acceso, según Cuadro 2.8.

Ancho de Carril (m)	Reducción de la FFS (km/h)			
	Ancho de hombro (m)			
	≥ 0.00 < 0.60	≥ 0.60 < 1.20	≥ 1.20 < 1.80	≥ 1.80
2.70 3.00	10.3	7.7	5.6	3.5
≥ 3.00 < 3.30	8.5	5.9	3.8	1.7
≥ 3.30 < 3.60	7.5	4.9	2.8	0.7
≥ 3.60	6.8	4.2	2.1	0.0

Cuadro 2.7. Ajuste debido al ancho de carril y al ancho de hombro (f_{LS})

Puntos de acceso por km	Reducción de la FFS (km/h)
0	0.0
6	4.0
12	8.0
18	12.0
≥ 24	16.0

Cuadro 2.8. Ajuste debido a la cantidad de puntos de acceso (f_A)

Si la carretera contiene segmentos con curvas horizontales pronunciadas, en donde la velocidad de diseño sea baja comparada con el resto del segmento, es aconsejable calcular las velocidades de las curvas y luego promediar la velocidad de todo el segmento a analizar.

c) Determinar la demanda de razón de flujo

Tres ajustes deben hacerse a la demanda del volumen horario, estos ajustes son el FHP, el factor de ajuste debido al porcentaje de pendiente de la carretera y el factor de ajuste debido a los vehículos pesados. Se aplican de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V_P = \frac{1}{PHF * f_G * f_{HV}} \tag{2-3}$$

Donde:

V_P = Equivalente de vehículos para la razón de flujo en un período pico de 15 minutos en la dirección de análisis (veh/h)

V_i = Demanda del volumen para la hora pico en la dirección de análisis (veh/h)

PHF = Factor de Hora Pico

f_G = Factor de ajuste debido a la pendiente, según Cuadros 2.9 y 2.10

f_{HV} = Factor de ajuste debido a los vehículos pesados según ecuación (2-4)

Rango de Flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de Terreno	
		Plano	Ondulado
0 - 600	0 – 300	1.00	0.71
> 600 – 1200	> 300 - 600	1.00	0.93
> 1200	> 600	1.00	0.99

Cuadro 2.9 Factor de ajuste (f_c) para determinar la velocidad sobre Segmentos de dos vías y direccionales

Rango de Flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de Terreno	
		Plano	Ondulado
0 - 600	0 – 300	1.00	0.77
> 600 – 1200	> 300 - 600	1.00	0.94
> 1200	> 600	1.00	1.00

Cuadro 2.10. Factor de ajuste (f_c) para determinar el porcentaje de tiempo utilizado En seguir un vehículo sobre segmentos de dos vías y direccionales

- d) **Factor de ajuste para vehículos pesados:**
 Este factor se calcula con la siguiente ecuación:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(ER - 1)} \quad (2-4)$$

Donde:

P_T = Proporción de camiones en el tránsito, en decimal

P_R = Proporción de vehículos recreacionales en el tránsito, en decimal

E_T = Equivalente del número de vehículos por camión, según Cuadro 2.11

E_R = Equivalente del número de vehículos por vehículo recreacional, según Cuadro 2.12

Tipo de Vehículo	Rango de Flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de Terreno	
			Plano	Ondulado
E_T	0 – 600	0 – 300	1.7	2.5
	> 600 – 1200	> 300 - 600	1.2	1.9
	> 1200	> 600	1.1	1.5
E_R	0 - 600	0 – 300	1.0	1.1
	> 600 – 1200	> 300 - 600	1.0	1.1
	> 1200	> 600	1.0	1.1

Cuadro 2.11. Equivalente del número de vehículos por camión y vehículo recreacional Para determinar la velocidad en segmentos de dos vías y direccional

Tipo de Vehículo	Rango de Flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de Terreno	
			Plano	Ondulado
E _T	0 – 600	0 – 300	1.1	1.8
	> 600 – 1200	> 300 - 600	1.1	1.5
	> 1200	> 600	1.0	1.0
E _R	0 - 600	0 – 300	1.0	1.0
	> 600 – 1200	> 300 - 600	1.0	1.0
	> 1200	> 600	1.0	1.0

Cuadro 2.12. Equivalente del número de vehículos por camión y vehículo recreacional

Para determinar la velocidad en segmentos de dos vías y direccional

e) **Determinando la Velocidad Promedio de Viaje (ATS):**

La velocidad promedio de viaje es estimada de la FFS, de la demanda de la razón de flujo y de un factor de ajuste para el porcentaje de las zonas donde no se puede rebasar en la dirección de análisis. La Velocidad promedio de viaje es estimada con la siguiente fórmula:

$$ATS = FFS - 0.0125 v_p - f_{np} \tag{2-5}$$

Donde:

ATS = Velocidad promedio de viaje en ambas direcciones del análisis (km/h)

FFS = Velocidad de flujo libre en la dirección de análisis (km/h)

V_p = Razón de flujo equivalente de vehículos livianos para un período pico de de 15 minutos (veh/h)

f_{np} = Ajuste por porcentaje de zonas de “no rebasar”, se obtiene del Cuadro 2.13

El valor de FFS es el valor estimado con la ecuación 2-1 o la ecuación 2-2.

Tasa de demanda dos vías, v_p (pc/h)	Reducción en Velocidad Promedio de Viaje (km/h=					
	% de zonas de no rebasar					
	0	20	40	60	80	100
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
200	0.0	1.0	2.3	3.8	4.2	5.6
400	0.0	2.7	4.3	5.7	6.3	7.3
600	0.0	2.5	3.8	4.9	5.5	6.2
800	0.0	2.2	3.1	3.9	4.3	4.9
1000	0.0	1.8	2.5	3.2	3.6	4.2
1200	0.0	1.3	2.0	2.6	3.0	3.4
1400	0.0	0.9	1.4	1.9	2.3	2.7
1600	0.0	0.9	1.3	1.7	2.1	2.4
1800	0.0	0.8	1.1	1.6	1.8	2.1
2000	0.0	0.8	1.0	1.4	1.6	1.8
2200	0.0	0.8	1.0	1.4	1.5	1.7
2400	0.0	0.8	1.0	1.3	1.5	1.7
2600	0.0	0.8	1.0	1.3	1.4	1.6
2800	0.0	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4
300	0.0	0.8	0.9	1.1	1.1	1.3
3200	0.0	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1

Cuadro 2.13. Ajuste (f_{np}) para la velocidad promedio de viaje debido al porcentaje

De zonas de “no rebasar” en segmento de dos direcciones

f) Determinando el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo:

Este porcentaje es estimado de la demanda de razón de flujo, la razón de flujo opuesto y un factor de ajuste para el porcentaje de zonas donde no se puede rebasar en la dirección de análisis. Se puede determinar de la siguiente ecuación:

$$PTSF = BPTSF + f_{np} \tag{2-6}$$

Donde:

PTSF = Porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo en la dirección de análisis

BPTSF = Porcentaje base de tiempo utilizado en seguir un vehículo en la dirección de análisis, según ecuación (2-7)

f_{np} = Ajuste para el porcentaje de zonas de “no rebasar” en la dirección de análisis, se obtiene del Cuadro 2.13

La siguiente ecuación determina el valor del BPTSF:

$$BPTSF=100(1 - e^{-.000879v_p}) \quad (2-7)$$

g) **Determinando el LOS:**

El primer paso en determinar el LOS es comparar el equivalente de la razón de flujo de vehículos livianos (V_p) con la capacidad máxima de la carretera, 3,200 veh/h. Si V_p es mayor que la capacidad, entonces la carretera esta sobresaturada y el LOS es F. Similarmente ocurre para cada dirección, si el V_d es mayor que 1,700 veh/h, entonces el **LOS** es **F**. En **LOS F**, el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo es cercano al 100% y la velocidad es bastante variable y difícil de estimar.

Cuando un segmento de una carretera Tipo I tiene una demanda menor que la capacidad, el nivel de servicio se determina del Cuadro 2.4 según el valor que le corresponda en base al porcentaje de tiempo gastado en seguir un vehículo. Cuando un segmento de una carretera clase II tiene una demanda menor que la capacidad, el nivel de servicio es determinado de la tabla 2.5, según el valor que le corresponda en base al porcentaje de tiempo gastado en seguir un vehículo.

h) **Otras medidas del desempeño del tránsito:**

⇒ La razón v/c para un segmento largo de dos vías puede calcularse de la ecuación:

$$V/C = V_p / C \quad (2-8)$$

Donde:

V/C = Razón volumen a capacidad

C = Capacidad para el segmento de dos vías, normalmente 3,200 veh/h para segmentos de dos vías y 1,700 veh/h para un segmento direccional

V_p = Equivalente de vehículos livianos en el flujo para un período pico de 15 minutos (veh/h)

⇒ El viaje total en un segmento largo de dos vías durante el período pico de 15 minutos puede calcularse como sigue:

$$VkmT_{15}=0.25L_t \left(\frac{V}{PHF} \right) \quad (2-9)$$

Donde:

$VkmT_{15}$ = Viaje total en el segmento en análisis durante un período pico de 15 minutos (veh-km)

L_t = Longitud total del segmento en análisis (km)

⇒ El viaje total en un segmento largo de dos vías durante el período de una hora puede calcularse como sigue:

$$VkmT_{60} = V * L_t \quad (2-10)$$

Donde:

$VkmT_{60}$ = Viaje total en el segmento en análisis durante la hora pico (veh-km)

L_t = Longitud total del segmento en análisis (km)

⇒ El viaje total de viaje para todos los vehículos durante el período pico de 15 minutos puede calcularse como sigue:

$$TT_{15} = \frac{VkmT_{15}}{ATS} \quad (2-11)$$

Donde:

TT_{15} = Tiempo total de viaje para todos los vehículos en el segmento analizado en el período pico de 15 minutos (veh-km)

ATS = Velocidad promedio de viaje (km/h)

i) Ejemplo (HCM-2000, pp. 20-33):

La Carretera: Un tramo de carretera de dos carriles, Clase I

La Pregunta: ¿Cuál es el Nivel de Servicio (LOS) para el tramo de dos carriles de la carretera para la hora pico?

DATOS:

- ⇒ Volumen de tránsito en la hora pico: 1,600 veh/h (volumen para los dos carriles)
- ⇒ Composición del Tránsito: 14% de camiones y buses
- ⇒ Factor de Hora Pico (FHP): 0.95
- ⇒ Tipo de Terreno: Terreno ondulado
- ⇒ Ancho del Hombro: 1.20 m
- ⇒ Porcentaje de zonas de no rebasar: 50%
- ⇒ Distribución Direccional del Tránsito: 50/50
- ⇒ RVs: 4%
- ⇒ Velocidad Base: 100 km/h
- ⇒ Ancho de Carril: 3.40 m
- ⇒ Longitud del Tramo: 10 km
- ⇒ Cantidad de accesos al tramo: 12/km

PASOS A SEGUIR	FÓRMULA Y CÁLCULO	No. DE FÓRMULA O CUADRO
1. Determine factor de ajuste debido a la pendiente para velocidad promedio de viaje.	$f_G=0.99$	Cuadro 2.9
2. Calcule f_{HV} (factor de ajuste por vehículos pesados) para velocidad promedio de viaje.	$f_{HV} = \frac{1}{1+P_T(E_T-1)+P_R(E_R-1)}$ $f_{HV} = \frac{1}{1+0.14(1.5-1)+0.04(1.1-1)}=0.931$	(2-4) y Cuadro 2.11 Cuadro 2.12
3. Calcule v_p (Demanda de razón de flujo)	$v_p = \frac{1}{PHF * f_G * f_{HV}}$ $v_p = \frac{1600}{(0.95)(0.99)(0.931)} = 1,827 \text{ pc/h}$	(2-3)
4. Calcule la tasa en la dirección del análisis.	$v_p * 0.50 = 1,827 * 0.50 = 914 \text{ pc/h}$	
5. Cheque la tasa en la dirección del análisis y la tasa en ambas direcciones contra los valores de capacidad de 1,700 pc/h y 3,200 pc/h, respectivamente	$914 \text{ pc/h} < 1,700 \text{ pc/h}$ $1,827 \text{ pc/h} < 3,200 \text{ pc/h}$	
6. Calcule la FFS (Velocidad de Flujo Libre)	$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$ $FFS = 100 - 2.8 - 8.0 = 89.2 \text{ km/h}$	(2-2) y Cuadro 2.7 Cuadro 2.8
7. Calcule la velocidad promedio de viaje	$ATS = FFS - 0.0125 v_p - f_{np}$ $ATS = 89.2 - 0.0125(1,827) - 1.3 = 65.1 \text{ km/h}$	(2-5) y Cuadro 2.13
8. Determine el factor de ajuste por pendiente para el tiempo de seguir a la velocidad promedio de viaje	$F_G=1.00$	(2-5) y Cuadro 2-13
9. Calcule f_{HV} (factor de ajuste por vehículos pesados) para tiempo de seguimiento	$f_{HV} = \frac{1}{1+0.14(1.0-1)+0.04(1.0-1)} = 1.000$	(2-4) Y Cuadro 2.11

10. Calcule	$v_p = \frac{1600}{(0.95)(1.000)(1.000)} = 1,684 \text{ pc/h}$	(2-3)
11. Calcule la mayor tasa en la dirección del análisis.	$v_p * 0.50 = 1,684 * 0.50 = 842 \text{ pc/h}$	
12. Cheque la tasa en la dirección del análisis y la tasa en ambas direcciones contra los valores de capacidad de 1,700 pc/h y 3,200 pc/h, respectivamente	$\begin{aligned} 842 \text{ pc/h} &< 1,700 \text{ pc/h} \\ 1,684 \text{ pc/h} &< 3,200 \text{ pc/h} \end{aligned}$	
13. Determinar el porcentaje base de tiempo utilizado en seguir un vehículo	$\begin{aligned} \text{BPTSF} &= 100(1 - e^{-0.000879v_p}) \\ \text{BPTSF} &= 100(1 - e^{-0.000879(1.684)}) \\ &= 77.2\% \end{aligned}$	(2-7)
14. Determinar el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo	$\begin{aligned} \text{BPSF} &= \text{BPTSF} + f_{d/np} \\ \text{BPSF} &= 77.2 + 4.8 = 82.0\% \end{aligned}$	(2.6)
15. Determine el NIVEL DE SERVICIO (LOS)	$\begin{aligned} \text{ATS} &= 65.1 \text{ km/h y PTSF} = 82.0\% \\ \text{LE CORRESPONDE LOS} &= \text{E} \end{aligned}$	

RESULTADO: LA CARRETERA DE DOS CARRILES OPERA A LOS E

j) **Cálculo de Otras Medidas:**

$$v/c = \frac{v_p}{3,200} = \frac{1,827}{3,200} = 0.57$$

$$VkmT_{15} = 0.25L_t \left(\frac{V}{PHF} \right) = 0.25(10) \left(\frac{1,600}{0.95} \right) = 4,211 \text{ veh-km}$$

$$VkmT_{60} = V * L_t = (1,600)(10) = 16,000 \text{ veh-km}$$

$$TT_{15} = \frac{VkmT_{15}}{ATS} = 4,211/65.1 = 64.7 \text{ veh-h}$$

2.5.4 Cambios en Manual HCM 2010

- Los mismos conceptos de condiciones ideales

- Relación Intensidad-Velocidad: por regresión simple
- Capacidad ideal total: 3,200 veh/h
- Capacidad por sentido: 1,700 veh/h
- Se aumenta de dos a tres tipos de carreteras
- Variables básicas para determinar los NS
 - Velocidad Media de Recorrido
 - % medio de demora (PTFS)
 - % de la velocidad de circular a la velocidad libre por % de velocidad libre (PFSS)

- Cálculo de ATS

- La misma metodología de cálculo
- Coeficientes de ajuste diferentes:

$$\Rightarrow \text{HCM2000: } \text{ATS} = \text{FFS} - 0.0125 v_p - f_{np} \quad (\text{ver Formula 2-5})$$

$$\Rightarrow \text{HCM2010: } \text{ATS} = \text{FFS} - 0.00776(I_{\text{marcha}} + I_{\text{opuesta}}) - f_{np}$$

li: Intensidad horaria en cada sentido en vehículos livianos

$$I_i = I_i / (\text{PHF} * F_G * f_{HV})$$

- Cálculo de PTSF

- La misma metodología de cálculo
- Coeficientes de ajuste diferentes:

$$\Rightarrow \text{HCM2000: } \text{PTSF} = \text{BPTSF} + f_{d/np} \quad (\text{como en Formula 2-6})$$

$$\Rightarrow \text{HCM2010: } \text{PTSF} = \text{BPTSF} + F_{d/np} * (I_{\text{marcha}} / I_{\text{opuesta}} + I_{\text{opuesta}})$$

- SE CREA LA CARRETERA TIPO III

- NS para carreteras tipo III

⇒ Son los valores que se indican en el Cuadro 2.6 antes descrito

BIBLIOGRAFÍA

1. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets
American Association of State Highways and Transportation Officials, 2004.
2. Alexander, G. H., and H. Lunenfeld. A User's Guide to Positive Guidance (3rd Edition),
Report No. FHWAISA-901017, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1990 (4)
3. Dart, Jr., O. K. and L. Mann, Jr. "Relationship of Rural Highway Geometry to Accident Rates in Louisiana," Highway Research Record 312, Highway Research Board, 1970 (34)
4. Staplin, L., K. Lococo, and S. Byington. Older Driver Highway Design Handbook, Report No. FHWA-RD-97-135, McLean, Virginia: US. Department of Transportation, Federal Highway Administration, December 1998 (6)
5. Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito de la SIECA, Agosto 2004
6. Johannson, C., and K. Rumar. "Driver's Brake Reaction Time," Human Factors, Vol. 13, No. 1, 1971: 22-27. (8)
7. Fell, J. C. A Motor Vehicle Accident Causal System: The Human Element, Report No. DOTHS-801-214, Washington, D.C.: US. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, July 1974 (9)
8. Schmidt, I., and P. D. Connolly. "Visual Considerations of Man, the Vehicle and the Highways," Paper No. SP-279-SAE, New York: Society of Automotive Engineers, 1966. (10)
9. Tilley, D. H., C. W. Erwin, and D. T. Gianturco. "Drowsiness and Driving; Preliminary Report of a Population Survey," Paper No. 730121-SAE, New York: Society of Automotive Engineers, 1973. (11)
10. Alexander, G. J., and H. Lunenfeld. Driver Expectancy in Highway Design and Operations, Report No. FHWA-TO-86-1, Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, May 1986. (12)
11. Adler, B., and H. Lunenfeld. Three Beam Headlight Evaluation, Report No. DOT/HS-800844, Washington, D.C.: US. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, April 1973. (13)
12. Institute of Traffic Engineers. Freeway Operations, Washington, D.C.: Institute of Traffic Engineers, 1961. (14)
13. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual, HCM 2000, Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2000 or most current edition. (15)
14. Highway Capacity Software, Users Guide. Transportation Research Center, University of Florida, 1995.
15. Fong, K. T., and D. C. Chenu. "Simulation of Truck Turns With a Computer Model," Transportation Research Record 1100, Transportation Research Board, 1985: 20-29.
16. "Human Factors and Safety Research Related to Highway Design and Operations," Transportation Research Record 1281, Transportation Research Board, 1990.
17. Highway Capacity Manual, HCM 2000
Transportation Research Board, 2000.
18. Highway Capacity Manual, HCM 2010
Transportation Research Board, 2010.

Capítulo 3

CAPÍTULO III ELEMENTOS DE DISEÑO

Las distancias de visibilidad, la sobreelevación o peralte, el ancho de calzada, los alineamientos horizontal y vertical y algunos otros, son elementos comunes para todas las clases de calles y carreteras. Dichos elementos son fundamentales para efectuar el diseño geométrico, y juntos, crean la carretera para servir al tráfico de manera eficiente y con seguridad, debiendo ser consistente con la función que se intenta servir.

Los indicados elementos del diseño se tratan en este capítulo tomando en cuenta que cada uno debe complementar a otro para producir un diseño consistente, eficiente y seguro.

3.1 DISTANCIAS DE VISIBILIDAD EN CARRETERAS

Una carretera debe diseñarse de manera tal que el conductor cuente siempre con una visibilidad suficiente como para ejecutar con seguridad las diversas maniobras a que se vea obligado o que decida efectuar. En general, el conductor requiere de un tiempo de percepción y reacción para decidir la maniobra a ejecutar y un tiempo para llevarla a cabo. Durante este tiempo total, el o los vehículos que participan en la maniobra recorren distancias que dependen de su velocidad y que determinan, en definitiva, las distintas distancias de visibilidad requeridas en cada caso.

Se distinguen para el diseño cinco tipos de visibilidad, bajo distintas circunstancias impuestas por el trazo de la carretera o la maniobra que se desea ejecutar.

Los casos típicos son:

- a) Visibilidad de Parada
- b) Visibilidad de Decisión
- c) Visibilidad de Rebase (en carreteras de dos carriles)
- d) Visibilidad en intersecciones
- e) Visibilidad para cruzar una carretera

Cada uno de esos casos requiere de una distancia como se explica adelante. Los casos d y e se tratarán en el Capítulo 6 Intersecciones.

3.1.1 Distancia de Visibilidad de Parada:

Esta es la distancia requerida por un conductor para detener su vehículo cuando surge una situación de peligro o percibe un objeto imprevisto delante de su recorrido. Esta distancia se calcula para que un conductor, por debajo del promedio, alcance a detener su vehículo ante el peligro u obstáculo que se le presente. Es la distancia mínima con que debe diseñarse la geometría de una carretera, cualquiera que sea su tipo.

La distancia de visibilidad de parada es la suma de dos distancias: (1) la distancia recorrida por el vehículo desde el momento que el conductor percibe el peligro hasta que aplica el pedal del freno; y (2) la distancia para detener el vehículo desde el instante que aplica los frenos. Estas distancias se conocen como distancia de percepción-reacción y la distancia de frenado respectivamente, y se calculan con la siguiente expresión:

$$d = 0.278Vt + 0.039 \frac{V^2}{a} \quad (3-1)$$

En donde:

- V = Velocidad de diseño, km/h
- t = Tiempo de percepción-reacción, 2.5 segundos
- a = Tasa de desaceleración, m/seg²

- t = Tiempo de percepción-reacción, es el intervalo de tiempo que transcurre desde que el conductor percibe el peligro y aplica el pedal del freno. Bajo ciertas condiciones, tales como situaciones identificadas con avisos o luces de emergencia, los conductores reaccionan casi instantáneamente. En la mayoría de otras condiciones, el conductor no solamente debe reconocer el objeto sino también identificar si es estacionario o tiene movimientos relacionados con el camino u otros objetos tales como muros, cercos, árboles, postes o puentes. Identificar esta situación toma tiempo y la cantidad de tiempo necesario varía considerablemente con la distancia al objeto, la agudeza visual del conductor, la rapidez con la que reacciona, la visibilidad atmosférica, el tipo y condición de la carretera y la naturaleza del obstáculo. Normalmente un conductor viajando cerca de la velocidad de diseño está más alerta que uno que viaja a velocidad menor. En una calle urbana se encuentra con mayores peligros potenciales como vehículos estacionados, conductores y cruces de calles por lo que está más alerta que en una carretera con accesos limitados.

Un tiempo de percepción-reacción de 2.5 segundos es considerado adecuado para situaciones complejas (1).

- a = Tasa de desaceleración: El estudio (1) demuestra que muchos conductores desaceleran con una tasa mayor de 4.5 m/seg² cuando se encuentran con la necesidad de detenerse ante la aparición de un objeto inesperado en la carretera. Aproximadamente el 90 por ciento de todos los conductores desaceleran con tasas mayores que 3.4 m/seg². Tal desaceleración está dentro de la capacidad de permanecer dentro de su carril y mantener el control de las ruedas durante la maniobra de frenado en superficies húmedas. Así, la tasa de 3.4 m/seg² es recomendada como la tasa de desaceleración para utilizar en el cálculo de la distancia de visibilidad de parada. Implícito en la elección de la tasa de desaceleración está el hecho de que los sistemas de frenos y los coeficientes de fricción llanta-pavimento en la mayoría de carreteras son capaces de proveer una tasa de desaceleración de al menos 3.4 m/seg².

Cuando la carretera está en una pendiente longitudinal, la ecuación de distancia de visibilidad de parada (3-1) debe modificarse y calcularse con la siguiente expresión:

$$d = 0.278Vt + \frac{V^2}{254 \left(\left(\frac{a}{9.81} \right) \pm G \right)} \quad (3-2)$$

Los términos son los mismos de la ecuación (3-1) y G representa la pendiente en valor absoluto (grado en porcentaje/100).

La distancia de visibilidad es menor en pendientes ascendentes que en carreteras a nivel y es mayor en pendientes descendentes. En los casos de carreteras divididas y carriles con circulación en un sentido, el ajuste por pendiente se aplica a las calzadas individuales. Otros criterios para seleccionar valores de diseño en carreteras de dos carriles, no toman en cuenta este ajuste y el alineamiento se diseña igual que en condiciones de terreno plano, ya que se considera que se produce un ajuste automático por las diferencias de longitud en las pendientes ascendentes y descendentes. Los ajustes deben hacerse de acuerdo a casos particulares y atendiendo el propio juicio del diseñador.

VELOCIDAD (KPH)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
PENDIENTE EN ASCENSO +i%	12	17	29	41	56	72	90	110	131	154	179	205
	11	17	29	42	57	73	91	111	133	156	181	208
	10	17	29	42	57	74	92	112	134	158	184	211
	9	18	29	43	58	75	93	114	136	160	186	214
	8	18	30	43	58	75	94	115	138	162	189	217
	7	18	30	43	58	76	95	117	139	164	191	220
	6	18	30	44	59	77	97	118	141	167	194	223
	5	18	30	44	60	78	98	119	143	169	197	227
	4	18	30	44	60	79	99	121	145	172	198	231
	3	19	31	45	61	80	100	123	148	174	203	234
	2	19	31	45	62	81	102	125	150	177	207	239
1	19	31	46	63	82	103	127	152	180	210	243	
CALCULADO HORIZONTAL	0	18.5	31.2	46.2	63.4	83.0	104.9	129.0	155.5	184.2	215.2	248.6
REDONDEADO HORIZONTAL	0	20	35	50	65	85	105	130	160	185	220	250
PENDIENTE EN DESCENSO -i%	1	20	32	47	64	85	106	131	158	187	218	252
	2	20	32	48	65	85	108	133	161	191	223	257
	3	20	32	50	66	87	110	136	164	194	227	263
	4	20	33	50	67	88	112	138	167	198	232	269
	5	20	33	50	68	90	114	141	171	203	238	275
	6	20	35	50	70	92	116	144	174	207	243	281
	7	20	35	51	71	93	119	147	178	212	249	289
	8	20	35	52	72	95	121	151	183	218	256	297
	9	20	35	53	74	97	124	154	187	223	262	304
	10	21	36	53	75	99	127	158	192	230	270	314
	11	21	36	54	77	102	131	163	198	236	279	323
	12	21	37	56	78	105	134	167	204	244	287	334

CUADRO 3.1 DISTANCIAS DE VISIBILIDAD DE PARADA HORIZONTAL Y CON PENDIENTE VERTICAL

La distancia de visibilidad de parada recomendada está basada en operaciones de vehículos y no considera explícitamente el diseño para operación de camiones. Como un todo, especialmente las unidades más grandes y pesadas, los camiones requieren de distancias de detención más largas para una velocidad dada que los vehículos livianos. Sin embargo, como el conductor de un camión es capaz de ver el obstáculo sustancialmente más lejos debido a su posición más alta en el asiento del vehículo, esta situación tiende a equilibrar las longitudes adicionales de frenado para un camión con respecto a la de un vehículo liviano. Por lo tanto, en las normas de diseño de carreteras no se usan distancias separadas de visibilidad de parada para camiones y vehículos livianos, sin embargo, en pendientes descendentes, especialmente en los extremos de pendientes largas, en donde las velocidades de los camiones pueden aproximarse a la de los vehículos livianos, es mejor proveer una distancia de visibilidad que sea mayor que los valores de el Cuadro 3.1.

3.1.2 Distancia de Visibilidad de Decisión:

Es aquella distancia requerida por un conductor para detectar algo inesperado dentro del entorno de una carretera, reconocerlo y seleccionar una trayectoria y velocidad apropiadas, para maniobrar con eficiencia y seguridad. Dado que la distancia de visibilidad de decisión les da a los conductores un margen adicional de error y les permite suficiente longitud a la misma o menor velocidad o bien detenerse, sus valores son sustancialmente mayores que las distancias de visibilidad de parada.

Empíricamente se han establecido valores para cubrir la distancias de visibilidad de decisión divididas en las siguientes cinco situaciones particulares, las que se dimensionan en el Cuadro 3.2

- A. Detención en carretera rural, t=3.0 s
- B. Detención en calles urbanas, t=9.1 s
- C. Cambio de velocidad, trayectoria y dirección en carretera rural, t varía entre 10.2 y 11.2 s
- D. Cambio de velocidad, trayectoria y dirección en carretera suburbana, t varía entre 12.1 12.9 s
- E. Cambio de velocidad, trayectoria y dirección en calle urbana, t varía entre 14.0 y 14.5 s

En las que t=tiempo y s=segundos.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	DISTANCIA DE DECISIÓN PARA EVITAR LA MANIOBRA (m)				
	A	B	C	D	E
50	70	155	145	170	195
60	95	195	170	205	235
70	115	235	200	235	275
80	140	280	230	270	315
90	170	325	270	315	360
100	200	370	315	355	400
110	235	420	330	380	430
120	265	470	360	415	470

AASHTO 2004, pp. 116

CUADRO 3.2 DISTANCIAS DE VISIBILIDAD DE DECISIÓN

3.1.3 Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (en carreteras de dos carriles):

La distancia de visibilidad de adelantamiento, equivale a la visibilidad mínima que requiere un conductor para adelantar un vehículo que se desplaza a velocidad inferior a la velocidad de proyecto; esto es, abandonar su carril, adelantar el vehículo que viaja delante de él y retornar a su carril en forma segura, sin afectar la velocidad del vehículo adelantado ni la de un vehículo que se desplace en sentido contrario por el carril que utilizará para efectuar la maniobra de adelantamiento.

La visibilidad de adelantamiento se requiere únicamente en carreteras de dos carriles, con tránsito bidireccional. En carreteras con carriles unidireccionales no será necesario considerar el concepto de distancia de visibilidad de adelantamiento, bastando diseñar los elementos para que cuenten con la distancia de visibilidad de parada.

El enfoque clásico de AASHTO (pp. 117-124), desarrolla un modelo basado en el recorrido de cuatro distancias: distancia preliminar de espera, distancia de adelantamiento y regreso a su carril, distancia de seguridad entre el vehículo que adelanta y el que viene en sentido contrario y la distancia que recorre el vehículo que viene en sentido contrario. Con base en ese modelo se han calculado los resultados que se presentan en el Cuadro 3.3.

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad De Adelantamiento
30	200
40	270
50	345
60	410
70	485
80	540
90	615
100	670
110	730
120	775

Fuente: AASHTO 2004, pp. 124

CUADRO 3.3 DISTANCIA DE VISIBILIDAD ADECUADA PARA ADELANTAR

La distancia de visibilidad que se requiere para adelantar es muy superior a la de parada. Tratar de diseñar un camino que posea a todo lo largo una distancia adecuada para adelantar resulta antieconómico, lo que se acentúa a medida que el terreno pasa de llano a ondulado y de este a montañoso.

La poca frecuencia de zonas con visibilidad de adelantamiento reduce la capacidad de las carreteras bidireccionales, provoca impaciencia en los conductores y hace aumentar el peligro que conllevan las maniobras de adelantamiento arriesgadas.

Los sectores con visibilidad adecuada para adelantar deberán distribuirse lo más homogéneamente posible a lo largo del diseño. Para un tramo de carretera superior a 5 km, se procurará que los sectores con visibilidad adecuada para adelantar se mantengan dentro de los porcentajes indicados en el Cuadro 3.4

Tipo de Terreno	%Mínimo	%Deseable
Llano	45	≥65
Ondulado	30	≥50
Montañoso	20	≥30

CUADRO 3.4. PORCENTAJE DE LA CARRETERA CON VISIBILIDAD ADECUADA PARA ADELANTAR

3.1.4 Criterios para Cálculo de las Distancias de Visibilidad

Distancia de visibilidad es la distancia a lo largo del camino a través de la cual un objeto de altura especificada es continuamente visible para el conductor. Esta distancia depende de la altura de la vista del conductor sobre la superficie de la carretera, la altura del objeto especificado sobre la superficie de la carretera y la altura y posición lateral de las obstrucciones a la visibilidad dentro de la línea de visual del conductor.

a) Altura del ojo del conductor:

Para el cálculo de las distancias de visibilidad para vehículo de pasajeros, la altura del ojo del conductor de 1,080 mm sobre la superficie de la carretera se considera apropiada para medir las distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento. El valor recomendado para altura del ojo del conductor de camión es de 2,330 mm sobre la superficie del camino.

b) Altura del Objeto:

Para el cálculo de la distancia de visibilidad, la altura del objeto se considera de 600 mm sobre la superficie de la carretera. Se considera que esta altura es representativa para un objeto que represente un riesgo y que pueda ser reconocida por el conductor con tiempo para detenerse antes de llegar a él. Los objetos con alturas menores pueden dar lugar a curvas verticales en cresta de gran longitud incrementando los costos de construcción sin beneficios de seguridad comprobados (1). Los costos de construcción pueden incrementarse sustancialmente por la necesidad de proveer curvas verticales de gran longitud.

Para el cálculo de la distancia de visibilidad de adelantamiento, la altura del objeto se considera de 1,080 mm sobre la superficie de la carretera. Esta altura se basa en la altura de un vehículo de 1,330 mm, el cual representa el 15th percentil de los vehículos de pasajeros más comunes, menos un promedio de 250 mm que representa la parte más alta que necesita ver otro conductor para reconocerlo como un vehículo (2). Esta consideración también es válida para la conducción nocturna porque la luz de los faros delanteros de un vehículo pueden ser reconocidos a mayor distancia que la necesaria para reconocer un vehículo durante el día

c) Obstrucciones a la visibilidad:

En una carretera en alineamiento recto, la obstrucción que limita la distancia de visibilidad de los conductores en la superficie de la misma, estará en algún punto en una curva vertical en cresta. En alineamiento en curva horizontal, el obstáculo que limita la visibilidad del conductor puede estar en la superficie de la carretera en una curva vertical en cresta, o puede ser algún objeto fuera del carril de viaje, tales como una barrera longitudinal, el talud de relleno del enfoque de un puente, un muro, un árbol, la vegetación o el pie de talud de una sección en corte.

El diseño de los alineamientos horizontal y vertical que se presentan más adelante está basado en el criterio de la distancia de visibilidad y otros criterios.

Una vez establecidos tentativamente los alineamientos horizontal y vertical, el medio práctico para examinar las distancias de visibilidad a lo largo de la carretera propuesta, es mediante la medición directa en planos a escala. En planos a escala, la distancia de visibilidad horizontal se mide con una regla, generalmente transparente, sobre la cual se marcan las distancias correspondientes; esta regla se mueve sobre la curva, marcándose, para cada estación, la ubicación a la cual debe quedar cualquier obstrucción y luego estas distancias deben trasladarse a las secciones transversales correspondientes a cada estación.

Para el alineamiento vertical se utiliza una regla plástica (o una tira de plástico) transparente con bordes paralelos separados 1,330 mm y en la cual se dibujan una línea con trazo discontinuo a 600 mm de un borde y una línea con trazo continuo a 1,080 mm del mismo borde (de acuerdo con la escala vertical de los planos). La línea a 1,080 mm se ubica en la estación de la rasante propuesta, desde la cual se desea medir la distancia de visibilidad, y se pivotea alrededor de este punto hasta que el borde superior sea tangente a la curva vertical, la distancia entre la estación inicial y la estación de la rasante que se intercepta por la línea de trazo discontinuo a 600 mm, es la distancia de visibilidad de parada. En donde se intercepta la rasante con la otra cara de la regla, será la distancia de visibilidad de adelantamiento.

Actualmente, la mayoría de proyectos de dibujo y diseño de carreteras se efectúan utilizando programas comerciales CAD los que facilitan la medición de las distancias de visibilidad. La medición de estas distancias es útil en la evaluación de la capacidad o en la señalización de zonas de no rebasar, aspectos que no son propios del diseño geométrico.

3.2 ALINEAMIENTO HORIZONTAL

Las principales consideraciones que controlan el diseño del alineamiento horizontal son:

- a) Categoría de la carretera
- b) Topografía del área
- c) Velocidad de Proyecto
- d) Distancias de visibilidad
- e) Coordinación con el perfil
- f) Costos de construcción, operación y mantenimiento

Todos estos elementos deben conjugarse de tal manera que el diseño resultante sea el más seguro y económico, en armonía con el contorno natural y al mismo tiempo adecuado a su categoría, según la Clasificación Funcional para diseño.

La tendencia actual en el diseño de carreteras se orienta hacia la utilización de curvas amplias que se adaptan a la topografía del terreno, haciendo casi desaparecer las rectas. Esta forma de diseño se prefiere debido a que largos tramos rectos inducen a velocidades mayores que la velocidad de proyecto, aumentando el peligro de deslumbramiento por las luces del vehículo que viaja en sentido

Opuesto, y porque la monotonía de la conducción disminuye la concentración del conductor, lo que en oportunidades es motivo de accidentes. Una sucesión de curvas de radios adecuados limitan la conducción a la velocidad de diseño y mantienen al conductor atento al desarrollo del trazo de la carretera. Por otra parte, las curvas armonizan en mejor forma con las sinuosidades del terreno, proporcionando claras ventajas desde el punto de vista estético y económico. En muchos casos puede reemplazarse con ventaja un alineamiento recto por curvas de radios comprendidos entre 5,000 y 7,000 m

Siguiendo el criterio anterior, se recomienda evitar longitudes en rectas superiores a:

$$L_r = 20 * V \quad 3-3$$

En donde:

$$L_r = \text{Longitud de la recta, m}$$

$$V = \text{Velocidad de diseño, KPH}$$

En el diseño de las curvas de la carretera es necesario establecer las relaciones adecuadas entre la velocidad de diseño y la curvatura así como sus estrechas relaciones con el peralte y la fricción lateral. Aunque estas relaciones surgen de las leyes de la mecánica, los valores reales para usar en el diseño dependen de límites prácticos y factores determinados empíricamente sobre el rango de variables involucradas.

Cuando un vehículo se mueve siguiendo una trayectoria circular, es forzado hacia afuera, radialmente, debido la aceleración centrípeta. Si la carretera tiene una inclinación transversal (sobreelevación o peralte), la componente del peso paralelo a la inclinación de la carretera y la fuerza de fricción lateral que se desarrolla entre las llantas y la superficie, o una combinación de las dos, contrarrestan esta aceleración centrípeta. La aceleración centrípeta es algunas veces igualada a la fuerza centrípeta; sin embargo, ésta es una fuerza imaginaria que el conductor cree que lo empuja hacia afuera de las curvas cuando, en efecto, el vehículo se aceleró en dirección al interior de la curva.

La fórmula básica que gobierna la operación de un vehículo en curva es:

$$\frac{0.01e + f}{1 - 0.01ef} = \frac{v^2}{gR} = \frac{0.0079V^2}{R} = \frac{V^2}{127R} \quad 3-4$$

En donde:

e = Tasa de peralte de la carretera, en porcentaje

f = factor de fricción lateral

v = velocidad del vehículo, m/s

g = aceleración de la gravedad, 9.81 m/seg²

V = velocidad del vehículo, km/h

R = radio de la curva, medido al centro de gravedad del vehículo, m

El valor del producto en esta ecuación es siempre pequeño, por lo que el término 1- es normalmente omitido en el diseño de carreteras y calles, obteniéndose resultados ligeramente conservadores.

Si el vehículo viaja a velocidad constante en una curva con peralte en la que el valor de f es 0, la aceleración centrípeta es balanceada por la componente del peso del vehículo y, teóricamente, no se requiere fuerza en el volante; esta velocidad se conoce como “velocidad de equilibrio”. Si el vehículo viaja más rápido o más lento que la velocidad de equilibrio, se desarrolla fricción en los neumáticos mientras que en el volante se aplica un esfuerzo para impedir el movimiento hacia el lado exterior o interior de la curva. Si la curva no tiene peralte, el viaje a diferentes velocidades también es posible mediante la utilización de la fricción lateral, en cantidad suficiente para resistir la variación de la aceleración centrípeta.

3.2.1 Tasas de Peralte y Factor de Fricción Lateral

De la investigación y experiencia acumuladas, se han establecido valores límites para e y f . Si en la fórmula básica se aplica el valor de e ^{máx.} con un valor conservador de f , se puede obtener el radio mínimo de curva para distintas velocidades de diseño. Para una velocidad de diseño dada, el uso de radios mayores que el mínimo exige, determinar las tasas de peralte menores que el máximo a fin de mantener el equilibrio de los factores involucrados.

a) Peralte:

Las tasas máximas de peralte utilizables en las carreteras están controladas por varios factores: condiciones climáticas (frecuencia y cantidad de nieve y hielo); condiciones del terreno (plano o montañoso); tipo de zona (rural o urbana) y frecuencia de vehículos que viajan lento y cuya operación puede ser afectada por tasas altas de peralte. Por la consideración conjunta de estos factores se concluye que no hay ninguna tasa única de peralte máxima universalmente aplicable y que debe usarse un rango de valores.

Por otro lado, el uso de una sola tasa de peralte máximo, dentro de una región de condiciones climáticas y uso de la tierra similares, es una práctica que promueve un diseño consistente.

El diseño consistente se refiere a que los alineamientos de la carretera y los elementos de diseño asociados a ella deben ser uniformes. Esta uniformidad permite mejorar las habilidades de percepción-reacción, por medio de la formación o desarrollo de expectativas, a los conductores. Si los parámetros de diseño no son uniformes en tipos similares de carreteras, se incrementa la carga emocional o psicológica del conductor, y por lo tanto, ello impacta negativamente en la seguridad.

Se consideran aquí las siguientes tasas: (1) tasa máxima de 0.10 en áreas rurales montañosas, siempre que no exista nieve o hielo, también 0.12 puede utilizarse en algunos casos. (2) generalmente, 0.08 es reconocido como valor máximo razonable (3) 0.06 en área suburbana y (4) 0.04 en áreas urbanas. El peralte puede omitirse en calles urbanas de baja velocidad.

Las tasas de peralte son aplicadas sobre el rango de curvatura para cada velocidad de diseño y se calculan para su aplicación en el diseño de las carreteras. Para cada una de ellas se determina la máxima curvatura y la tasa de peralte correspondiente para curvas más suaves.

- b) A la sección transversal en tramos en recta se le aplica una pendiente transversal conocida como “bombeo normal”. La tasa de la pendiente a aplicar está determinada por las condiciones de drenaje. Consistentes con el tipo de pavimento de la carretera y la cantidad de lluvia, los valores mínimos aceptables para pendiente transversal varían de 1.5% a 3.0% (Ver Cuadro 4.1 del Capítulo IV Elementos de la Sección Transversal)
- c) Los máximos factores de fricción lateral permisibles para usar en el diseño de las curvas de todas las carreteras rurales y calles urbanas se han tomado del Exhibit 3.12 de AASHTO. Estos valores varían desde 0.28 a 30 KPH hasta 0.14 a 80 KPH, y varían directamente desde aquí hasta 0.09 a 120 KPH. El informe de investigación Side Friction For Superelevation on Horizontal Curves (3) confirma la validez de estos valores de diseño. Más adelante, en el Cuadro 3.6 se muestran estos valores.

3.2.2 Distribución de “e” y “f”:

Los métodos que se utilizan para la distribución de la sobreelevación ó peralte (e) y el factor de fricción lateral (f) para contrarrestar la fuerza centrífuga en curvas con una determinada velocidad de diseño, son los cinco que se ilustran en la figura 3.1, con la misma numeración con que se enuncian a continuación:

1. La sobreelevación o peralte “e” y la fricción lateral “f” son directamente proporcionales al inverso del radio de la curva horizontal (por ejemplo, existe una relación lineal entre $1/R=0$ y $1/R=1/R_{\text{mínimo}}$).
2. La fricción lateral es tal que un vehículo viajando a la velocidad de diseño tiene toda la aceleración lateral contrarrestada por la fricción lateral en curvas hasta que se requiere $f_{\text{máximo}}$. Para curvas cerradas (de radio pequeño), f permanece igual a $f_{\text{máximo}}$ y el peralte es entonces utilizado para contrarrestar la aceleración lateral hasta que e sea $e_{\text{máximo}}$. En este método, primero f y luego e son incrementados en proporción inversa al radio de curvatura. Este método es particularmente ventajoso en vías urbanas de baja velocidad, donde resulta difícil proyectar las sobreelevaciones requeridas.
3. La sobreelevación o peralte es tal que un vehículo viajando a la velocidad de diseño tiene toda la aceleración lateral contrarrestada por el peralte en las curvas hasta que requieren $e_{\text{máximo}}$. Para curvas cerradas (de radio pequeño), e permanece igual a $e_{\text{máximo}}$ y la fricción lateral es entonces utilizada hasta que f sea $f_{\text{máximo}}$. En este método, primero e y luego f son incrementados en proporción inversa al radio de curvatura. Este método resulta en fricciones negativas para curvas amplias e intermedias, después de lo cual la fricción lateral se incrementa rápidamente al máximo para curvas de radios mínimos.
4. Este método es similar al método 3, excepto que se basa en la velocidad promedio de ruedo, en lugar de la velocidad de diseño. Es un intento por superar las deficiencias del método 3, introduciendo la sobreelevación antes de que se alcance la velocidad de diseño.
5. En este método se mantiene una relación curvilínea entre “e” y “f” y el radio de la curva, que asemeja una forma parabólica asimétrica, con valores localizados entre los métodos 1 y 3. Este es el método recomendado para diseño, por representar una distribución práctica sobre el rango usual de curvaturas.

En el Cuadro 3-5 se muestra la Velocidad Promedio de Ruedo para aplicar en el Método 4.

Los factores de fricción lateral que se muestran con línea sólida en la Figura 3.2 representa el máximo valor de “*f*” seleccionado para cada velocidad de diseño. Cuando estos valores se utilizan en conjunto con el recomendado Método 5, entonces se determina las curvas de distribución de *f* para varias velocidades. Restando el valor de *f* calculado de $(e/100+f)$ en la velocidad de diseño, se obtiene la distribución final de *e*, que se muestra en la Figura 3.2 siguiente. Los Cuadros 3.9 a 3.13 muestran la distribución final de *e*, para ancho de calzada de 7.20 m, velocidades de 30 KPH a 110 KPH y valores de *e* máximo de 4.0%, 6.0%, 8%, 10% y 12%. También muestran la longitud de transición obtenidas según el inciso 3.2.5.

VELOCIDAD DE DISEÑO KPH	VELOCIDAD DE RUEDO KPH
20	20
30	30
40	40
50	47
60	55
70	63
80	70
90	77
100	85
110	91
120	98

Fuente: AASHTO 2004, pp. 143

Cuadro 3.5 Velocidad Promedio de Ruedo

Las tasas de peralte que se apliquen sobre el rango de curvatura para cada velocidad de diseño deben determinarse para su uso en el diseño de carreteras. Un extremo de este rango es la tasa máxima de peralte establecida por consideraciones prácticas y es utilizada para determinar la máxima curvatura para cada velocidad de diseño (Cuadro 3.6). El peralte máximo puede ser diferente para diferentes condiciones de la carretera. En el otro extremo, no se necesita peralte para las rectas en la carretera o en carreteras con radios de curva extremadamente grandes. Para curvatura entre esos dos extremos y para una velocidad de diseño dada, el peralte debe seleccionarse de tal manera que exista una relación lógica entre el factor de fricción lateral y la tasa de peralte aplicada.

En los Cuadros 3.9 a 3.13 se muestran los valores recomendados para diseño de curvas de alineamiento horizontal. En estos cuadros se indica el Radio de Curva para cada velocidad de diseño, siendo el control para determinar cada radio, la tasa de peralte con incrementos de 2/10. Los valores de la distribución de “

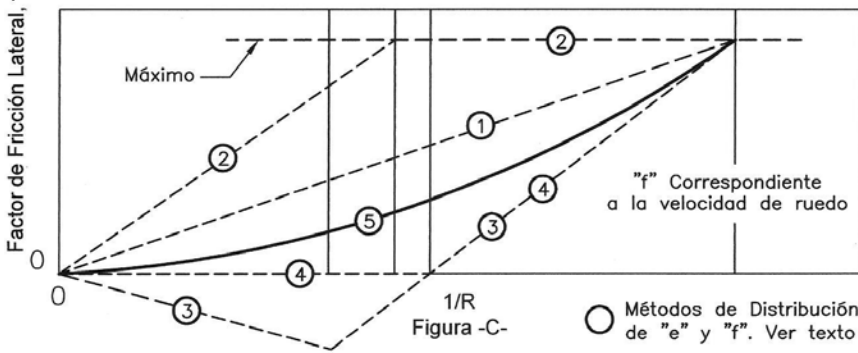
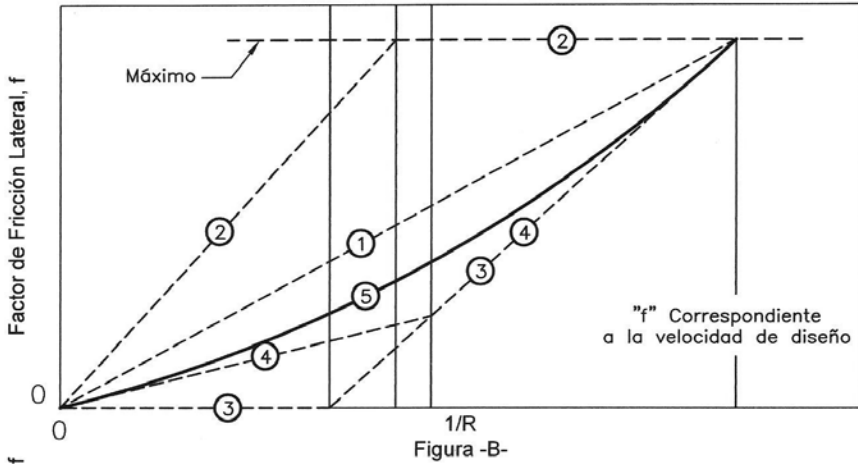
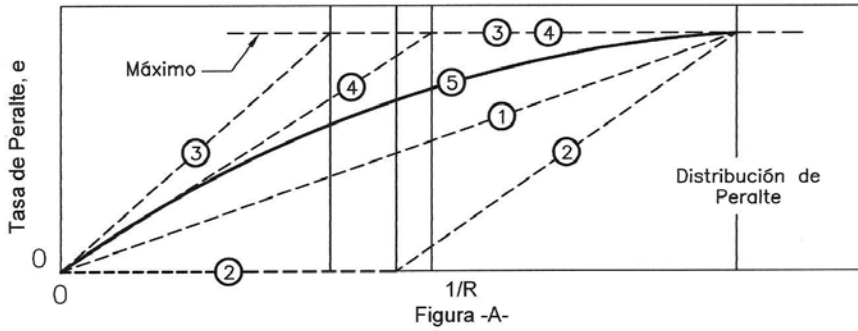
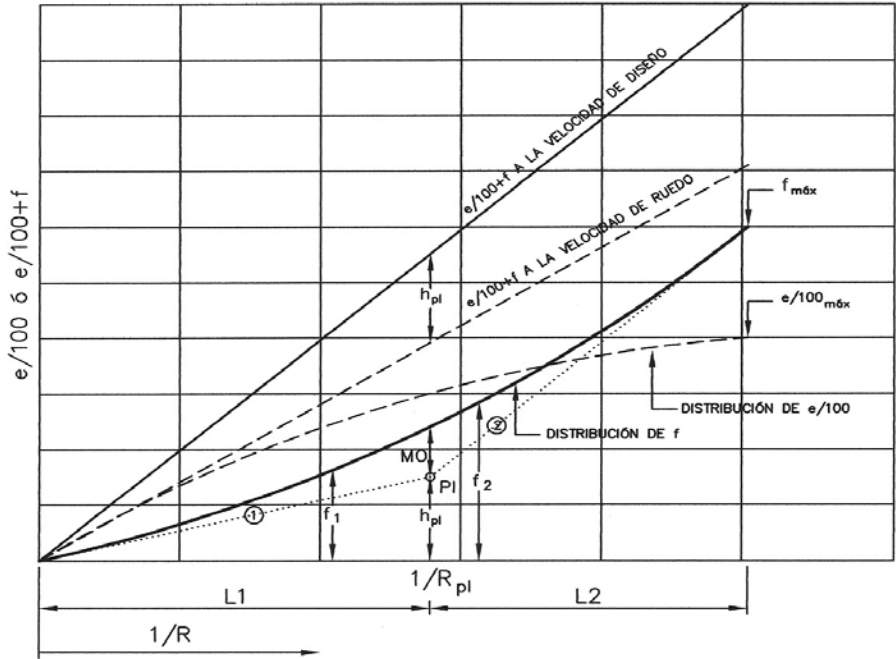


FIGURA 3.1. MÉTODOS PARA DISTRIBUIR EL PERALTE (e) Y EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN LATERAL (F)



FUENTE: AASHTO 2004, pp.154

Figura 3.2 Procedimiento para desarrollar la distribución final de (e) aplicando el Método 5

3.2.3 Radio Mínimo:

El radio mínimo es un valor limitante de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relaciona con el peralte máximo y la máxima fricción lateral seleccionada para el diseño. Un vehículo se sale de control en una curva, ya sea porque el peralte o sobreelevación de la curva no es suficiente para contrarrestar la velocidad, o porque la fricción lateral entre las ruedas y el pavimento es insuficiente y se produce el deslizamiento del vehículo. Un vehículo derrapa en las curvas debido a la presencia de agua o arena sobre la superficie de rodamiento. El uso de radios más reducidos solamente puede lograrse a costas de incómodas tasas de peralte o apostando a coeficientes de fricción lateral que pueden no estar garantizados por la adherencia de las llantas (calidad, grado de desgaste del grabado, presión, etc.) con la superficie de rodamiento de la carretera.

Una vez establecido el máximo factor de peralte o sobreelevación (e), los radios mínimos de curvatura horizontal se pueden calcular simplificando de la fórmula 3-4, así:

$$R_{\text{mín.}} = \frac{V^2}{127(e \text{ máx}+f \text{ máx})} \tag{3-5}$$

En donde:

- R_{mín.} = Radio mínimo de curva, m
- e_{máx.} = Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

$$\begin{aligned} f &= \text{Factor de fricción lateral} \\ V_{m\acute{a}x.} &= \text{Velocidad de dise\~{n}o, en KPH.} \end{aligned}$$

El grado de curvatura es una forma de expresar la “agudeza” de una curva y se expresa, para la definici3n “arco” como el 3ngulo central subtendido por un “arco” de 20 metros. A partir de esta definici3n se obtiene la siguiente expresi3n:

$$D_{20} = 1145.9156 / R \quad 3-6$$

En donde:

$$\begin{aligned} D_{20} &= \text{Grado de curvatura, o 3ngulo en el centro de la curva,} \\ &\quad \text{para un arco de 20 m} \\ R &= \text{Radio de la curva, m} \end{aligned}$$

Para su utilizaci3n en la mayor3a de los recientes programas CAD, el grado de curvatura para la definici3n arco de 20 m, debe multiplicarse por 5 debido a que dichos programas utilizan una longitud de arco de 100 m.

Utilizando los valores recomendados para el factor de fricci3n (f) y las tasas de peralte recomendado, se ha preparado el Cuadro 3.6 donde se presentan los radios m3nimos y grados m3ximos de curvatura para diferentes velocidades de dise~{n}o, aplicando la f3rmula para D_{20} .

3.2.4 Dise~{n}o para Calles Urbanas de Baja Velocidad

En calles urbanas donde la velocidad es relativamente baja y variable, se puede minimizar el uso del peralte para las curvas horizontales. Donde la demanda de fricci3n lateral excede el factor asumido de fricci3n lateral para la velocidad de dise~{n}o, peralte, dentro del rango de la pendiente de la secci3n normal (bombeo) al peralte m3ximo es prove3do. En base al m3ximo factor de fricci3n disponible, el Cuadro 3.6 muestra el radio m3nimo para distintas velocidades de dise~{n}o.

Aunque el peralte es ventajoso para las operaciones del tr3nsito, a menudo varios factores se combinan para hacer su uso impracticable en muchas zonas urbanas. Tales factores incluyen las anchas zonas de pavimento, la necesidad de respetar la pendiente de las propiedades adyacentes, consideraciones del drenaje superficial y la frecuencia de calles transversales y accesos a propiedades. Por lo tanto, las curvas horizontales en calles de baja velocidad, en zonas urbanas, se dise~{n}an frecuentemente sin peralte, contrarrestando la fuerza centr3peta solamente con la fricci3n lateral.

En estas curvas, el tr3nsito que entra en una curva hacia la izquierda tiene un peralte negativo en la pendiente del bombeo normal, pero en curvas amplias la fricci3n requerida para contrarrestar la fuerza centr3peta y el peralte negativo resulta ser peque~{n}a. Sin embargo, sobre curvas sucesivamente m3s fuertes a la misma velocidad, el radio m3nimo se alcanza cuando el factor de fricci3n lateral desarrollado para contrarrestar la fuerza centr3peta y el bombeo adverso llega al valor m3ximo permisible sobre la base de la seguridad y el confort, por lo que, para viajar seguro sobre las curvas m3s fuertes es necesario el peralte.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 4%		GRADO DE CURVATURA (Degree)	Peralte Máximo = 6%		GRADO DE CURVATURA (Degree)
		RADIO (m)			RADIO (m)		
		CALCULADO	RECOMENDADO		CALCULADO	RECOMENDADO	
20	0.35	8.1	8	143°14'	7.7	8	143°14'
30	0.28	22.1	22	52°05'	20.8	21	54°34'
40	0.23	46.7	47	24°23'	43.4	43	26°39'
50	0.19	85.6	86	13°19'	78.7	79	14°30'
60	0.17	135.0	135	08°29'	123.2	123	09°19'
70	0.15	203.1	203	05°39'	183.7	184	06°14'
80	0.14	280.0	280	04°06'	252.0	252	04°33'
90	0.13	375.2	375	03°03'	335.7	336	03°25'
100	0.12	492.1	492	02°20'	437.4	437	02°37'
110	0.11				560.4	560	02°03'
120	0.09				755.9	756	01°31'

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 8%		GRADO DE CURVATURA (Degree)	Peralte Máximo = 10%		GRADO DE CURVATURA (Degree)
		RADIO (m)			RADIO (m)		
		CALCULADO	RECOMENDADO		CALCULADO	RECOMENDADO	
20	0.35	7.3	7	163°42'	7.0	7	163°42'
30	0.28	19.7	20	57°18'	18.6	19	60°19'
40	0.23	40.6	41	27°57'	38.2	38	30°09'
50	0.19	72.9	73	15°42'	67.9	68	16°51'
60	0.17	113.4	113	10°08'	105.0	105	10°55'
70	0.15	167.8	168	06°49'	154.3	154	07°26'
80	0.14	229.1	229	05°00'	210.0	210	05°27'
90	0.13	303.7	304	03°46'	277.3	277	04°08'
100	0.12	393.7	394	02°55'	357.9	358	03°12'
110	0.11	501.5	501	02°17'	453.7	454	02°31'
120	0.09	667.0	667	01°43'	596.8	597	01°55'

NOTA: Por condiciones de seguridad, el Peralte Máximo de 4% debe limitarse a áreas urbanas
Fuente: AASHTO 2004, pp. 147

CUADRO 3.6. RADIOS MÍNIMOS Y GRADOS MÁXIMOS DE CURVAS HORIZONTALES PARA DISTINTAS VELOCIDADES DE DISEÑO, USANDO VALORES LÍMITES DE “e” Y “f”

El -2.0% que se muestra en El Cuadro 3.7 muestra el radio mínimo para el cual el porcentaje de 2.0% de bombeo normal puede mantenerse. Curvas más agudas no deben de tener sección con pendiente negativa por lo que deben peraltarse de acuerdo al Cuadro 3.7.

e (%)	V=20 KPH Radio (m)	V=30 KPH Radio (m)	V=40 KPH Radio (m)	V=50 KPH Radio (m)	V=60 KPH Radio (m)	V=70 KPH Radio (m)
-6.0	11	32	74	151	258	429
-5.0	10	31	70	141	236	386
-4.0	10	30	66	131	218	351
-3.0	10	28	63	123	202	322
-2.8	10	28	62	122	200	316
-2.6	10	28	62	120	197	311
-2.4	10	28	61	119	194	306
-2.2	10	27	61	117	192	301
-2.0	10	27	60	116	189	297
-1.5	9	27	59	113	183	286
0.0	9	25	55	104	167	257
1.5	9	24	51	96	153	234
2.0	9	24	50	94	149	227
2.2	8	23	50	93	148	224
2.4	8	23	50	92	146	222
2.6	8	23	49	91	145	219
2.8	8	23	49	90	143	217
3.0	8	23	48	89	142	214
3.2	8	23	48	89	140	212
3.4	8	23	48	88	139	210
3.6	8	22	47	87	138	207
3.8	8	22	47	86	136	205
4.0	8	22	47	86	135	203
4.2	8	22	46	85	134	201
4.4	8	22	46	84	132	199
4.6	8	22	46	83	131	197
4.8	8	22	45	83	130	195
5.0	8	21	45	82	129	193
5.2	8	21	45	81	128	191
5.4	8	21	44	81	127	189
5.6	8	21	44	80	125	187
5.8	8	21	44	79	124	185
6.0	8	21	43	79	123	184

Cuadro 3.7. Peralte y Radio Mínimo para Calles Urbanas de Bajo Tránsito

e (%)	V=20 KPH Radio (m)	V=30 KPH Radio (m)	V=40 KPH Radio (m)	V=50 KPH Radio (m)	V=60 KPH Radio (m)	V=70 KPH Radio (m)
6.2	8	21	43	78	122	182
6.4	8	21	43	78	121	180
6.6	8	20	43	77	120	179
6.8	8	20	42	76	119	177
7.0	7	20	42	76	118	175
7.2	7	20	42	75	117	174
7.4	7	20	41	75	116	172
7.6	7	20	41	74	115	171
7.8	7	20	41	73	114	169
8.0	7	20	41	73	113	168
8.2	7	20	40	72	112	166
8.4	7	19	40	72	112	165
8.6	7	19	40	71	111	163
8.8	7	19	40	71	110	162
9.0	7	19	39	70	109	161
9.2	7	19	39	70	108	159
9.4	7	19	39	69	107	158
9.6	7	19	39	69	107	157
9.8	7	19	38	69	106	156
10.0	7	19	38	69	105	154
10.2	7	19	38	67	104	153
10.4	7	18	38	67	103	152
10.6	7	18	37	67	103	151
10.8	7	18	37	66	102	150
11.0	7	18	37	66	101	148
11.2	7	18	37	65	101	147
11.4	7	18	37	65	100	146
11.6	7	18	36	64	99	145
11.8	7	18	36	64	98	144
12.0	7	18	36	64	98	143

NOTAS:

1. Calculado usando el Método 2 de Distribución del Peralte
2. El peralte puede ser opcional en calles urbanas de baja velocidad
3. Peralte negativo mayor de -2.0% debe utilizarse en superficies recubiertas de grava, piedra triturada o tierra común. Sin embargo, áreas con alta intensidad de lluvia, deben usar pendientes de hasta -2.5%.
4. Adaptado de AASHTO 2004. pp.150

Cuadro 3.7. Peralte y Radio Mínimo para Calles Urbanas de Bajo Tránsito (CONTINUACIÓN)

3.2.5 Longitudes de Transición

El diseño de longitudes de transición, en el alineamiento horizontal, incluye la transición del bombeo normal de una sección transversal en tangente al peralte necesario en curva y las curvas de transición entre tangente y curva circular que se incorporan en el alineamiento horizontal.

La transición del peralte se efectúa en dos distancias: (1) la Distancia de Bombeo (DB) la cual es la longitud de carretera en la cual el peralte negativo de la sección transversal en tangente se gira hasta un peralte 0% y (2) la Distancia de Transición (L_s) en la cual el peralte 0% continúa girando hasta el peralte $e\%$ que le corresponde a la curva según la velocidad de diseño. Por razones de seguridad y comodidad, la rotación de la sección transversal del pavimento debe efectuarse en una longitud que no sea perceptible para el conductor y para mejorar la apariencia, las orillas del pavimento no deben presentar distorsiones al conductor.

Para dar seguridad al recorrido de los vehículos desde una sección en recta ó tangente de una carretera a una determinada curva horizontal circular, los conductores desarrollan a su manera y en ocasiones invadiendo el carril vecino, una curva que podría denominarse de transición. En los nuevos diseños se ha vuelto práctica común intercalar una curva de transición, que facilite a los conductores el recorrido seguro y cómodo de la curva, manteniendo el vehículo inscrito dentro de su carril y sin experimentar la violencia de la fuerza centrípeta que es propia de la circulación por dicha curva. El requerimiento especial de una curva de transición consiste en que su radio de curvatura pueda decrecer gradualmente desde el infinito en la tangente que se conecta con la espiral (TS) (ver figura 3.3) hasta el final de la espiral en su enlace con la curva circular (SC). En la situación de salida de la curva circular hacia la tangente (CS), se produce el desarrollo inverso hasta el contacto de la espiral con la tangente (ST). Esta condición produce un incremento y decremento gradual de la aceleración radial, que es bastante deseable en diseño.

No cabe lugar a dudas de que la utilización de curvas de transición mejora la apariencia y la circulación en una carretera, sin embargo, no hay evidencia definitiva que indique que las curvas de transición sean esenciales para la operación segura de la carretera, como resultado, muchas oficinas no promueven su uso.

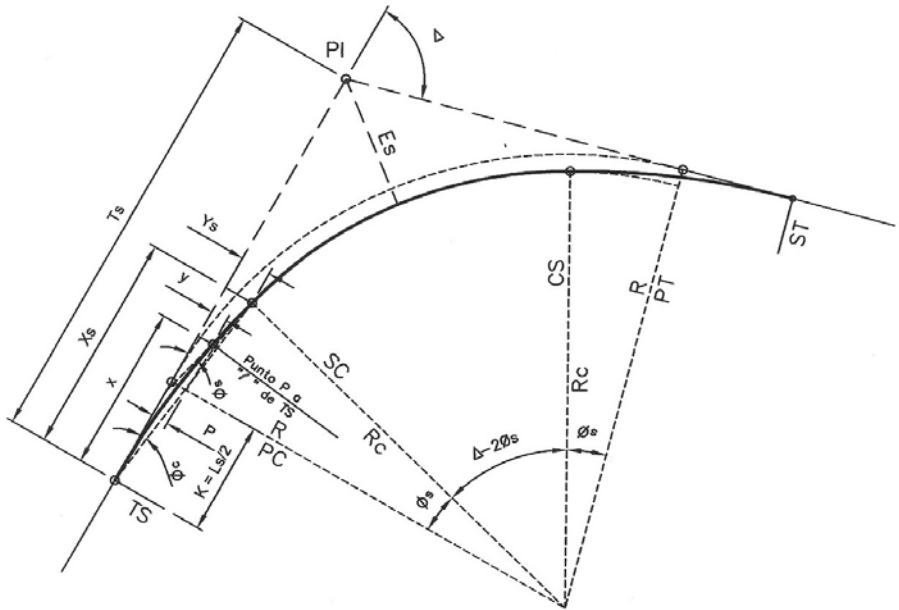
- a) Cuando no se utiliza curva de transición, la recta o tangente de la carretera se une directamente con la curva circular y la transición del peralte se realiza directamente sobre la tangente y la curva circular. Este tipo de transición se conoce como “transición de tangente a curva”. En este caso, la Distancia de Transición (L_s) se reparte en la tangente de entrada en el rango de 60 a 90 por ciento y el rango restante en la curva circular para todas las velocidades y anchos rotados, proporciones que se consideran aceptables; la distribución en la salida de la curva a la tangente debe ser simétrica.

La longitud mínima de transición, debe determinarse de:

$$L_s = \frac{(wn_1)e_d}{\Delta} (b_w) \quad 3.7$$

En donde:

- L_s = Mínima longitud de transición del peralte, m
- Δ = Máxima pendiente relativa, porcentaje (Ver El Cuadro 3.8)
- n_1 = Número de carriles a rotar
- b_w = Factor de ajuste por número de carriles rotados
- w = Ancho de un carril de tráfico (típicamente 3.60 m)
- e_d = Tasa de peralte de diseño, porcentaje



- TS = Punto de cambio de tangente a espiral
- SC = Punto de cambio de espiral a círculo
- CS = Punto de cambio de círculo a espiral
- ST = Punto de cambio de espiral a tangente
- l = Arco de espiral desde TS a un punto "P" cualquiera de la espiral
- L_s = Longitud total de la espiral de TS a SC (o de CS a ST)
- θ_c = Ángulo del tramo de espiral de longitud l
- θ_c = Ángulo de desviación de la espiral en el TS, desde la tangente inicial a un punto "P" cualquiera de la curva.
- θ_s = Ángulo central del arco de longitud L_s (ángulo de la espiral)
- Δ_c = Ángulo central del arco circular de longitud L_c , desde el SC al CS
- y = Ordenada a la tangente de cualquier punto de la espiral
 $y = (l^3 / (6R_c * L_s))$
- Y_s = Ordenada a la tangente del SC
- x = Distancia en la tangente de cualquier punto de la espiral
 $x = l / 100 * (100 - (0.3046 \theta_c^2 / 100) + \dots)$
- X_s = Distancia en la tangente desde el ST al SC
- P = Ordenada desde la tangente inicial al PC del círculo desplazado
 $P = Y_s - R_c(1 - \cos \theta_s)$
- k = Abscisa del PC desplazado, referido al TS, aproximadamente $L_s / 2$
 $k = X_s - R_c * \sin \theta_s$
- T_s = Distancia total en la tangente, del PI al TS
- E_s = External
- CM = Cuerda Máxima

Figura 3.3 COMPONENTES DE LA CURVA CIRCULAR Y ESPIRALES

Por apariencia y confort, la longitud de transición (L_s) debe basarse en una diferencia máxima aceptable entre la pendiente longitudinal del eje de rotación y la de la orilla del pavimento. El eje de rotación es generalmente representado por la línea central del alineamiento en carreteras sin dividir; sin embargo, se pueden utilizar otros ejes de referencia. La práctica actual es limitar la diferencia de pendiente, referida como la pendiente relativa de 0.50 por ciento o un talud longitudinal de 1:200 a 80 KPH.

La máxima pendiente relativa varía con la velocidad de diseño para proveer longitudes largas en velocidades altas y longitudes cortas en velocidades bajas. La experiencia indica que pendientes relativas de 0.80 por ciento y 0.35 por ciento proveen longitudes de transición aceptables para velocidades de diseño entre 20 y 130 KPH. La interpolación entre esos valores se muestra en el Cuadro 3.8 a continuación

Velocidad de Diseño KPH	Máxima Pendiente Relativa (%)	Talud Máximo Relativo Equivalente
20	0.80	1:125
30	0.75	1:133
40	0.70	1:143
50	0.65	1:154
60	0.60	1:167
70	0.55	1:182
80	0.47	1:200
90	0.44	1:213
100	0.41	1:227
110	0.38	1:244
120	0.35	1:263

FUENTE: AASHTO, 2004. pp. 177

Cuadro 3.8. Máximas Pendientes Relativas de la Orilla del Pavimento

El factor de ajuste por número de carriles rotados será de 1.5 para 4 cuatro carriles y 2.0 para 6 carriles sin dividir.

Cierto valor mínimo de longitud de transición debe proveerse por razones de apariencia general y para evitar cambios bruscos en el perfil de la orilla del pavimento, este valor mínimo será igual a la longitud recorrida en dos segundos a la velocidad de diseño, lo que equivale a $0.56 \cdot V$, V en KPH.

La longitud mínima de Transición del Bombeo en la tangente (D_b) está determinada por la cantidad de pendiente transversal negativa y la tasa de pendiente a la que se gira hasta el valor 0%. Para obtener un borde suave en la orilla del pavimento, la tasa de pendiente debe ser igual a la tasa de pendiente relativa utilizada para definir la longitud de transición del peralte y puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$D_b = \frac{e_{NC}}{e_d} L_r \quad 3.8$$

En donde:

D_b = Distancia de Bombeo

e_{NC} = Pendiente transversal, porcentaje

e_d = Tasa de peralte de diseño, porcentaje

L_r = Longitud mínima de transición del peralte, m

- b) Cuando se utiliza curva de transición, la recta o tangente de la carretera se une con la curva circular mediante la inserción de una curva de transición. Para el diseño de estas curvas se recomienda la clotoide o espiral de Euler, la cual tiene como característica principal, que en su longitud se efectúa, de manera continua, el cambio en el valor del radio de curvatura, desde el infinito en la tangente hasta el radio R_c que corresponda para la curva circular, y el producto del radio por la longitud a un punto cualquiera es constante. En la Figura 3.3 se presentan las características geométricas de sus diferentes componentes.

En este caso, la transición del peralte se realiza directamente sobre la curva de transición. Cuando se utiliza una espiral de transición, se acostumbra que la transición de la sobreelevación se realice en la longitud de dicha espiral, en otras palabras, la longitud de transición es igual a la longitud de la espiral. Teóricamente y dependiendo de los factores y la fórmula utilizados, la longitud de una espiral puede ser mayor o menor que la longitud de transición obtenida con la fórmula 3.7, aunque las diferencias no son tan sustanciales, razón por la cual se recomienda por consideraciones prácticas utilizar una sola cifra, recomendándose la calculada con la fórmula 3.7, para el mejor control del diseño.

En este Manual, para velocidades de diseño de 30 KPH en adelante, se recomienda el uso de la curva de transición entre la tangente de entrada y la curva circular y entre la curva circular y la tangente de salida, siendo la Distancia de Transición (L_s) igual a la Longitud de la Espiral y en el tramo circular se mantendrá constante el peralte $e\%$ que le corresponde a la curva según la velocidad de diseño.

Se prepararon las Tablas de 3.9 a 3.13, conteniendo, para carreteras de dos carriles, la velocidad de diseño, la sobreelevación con valores máximos de 4, 6, 8, 10 y 12 por ciento, las longitudes mínimas de transición (L_s) en función del radio de curva y el peralte correspondiente para cada velocidad de diseño. Se utilizó el método 5 para la distribución de valores de la sobreelevación “e” y el coeficiente de fricción lateral “f”.

Las cifras de diseño incluidas en estas Tablas se calcularon para carriles de 3.60 m, pero también se recomienda su aplicación en anchos menores, sin embargo, puede obtenerse flexibilidad para el diseño, especialmente en terreno montañoso, si se calculan estas Tablas para el ancho de carril de la sección típica correspondiente.

En curvas con radio circular de 1,500 metros o más, no se necesitan espirales de transición, se pasa directamente de la tangente a la curva circular. En esta situación se recomienda que el peralte se desarrolle 2/3 en la tangente y 1/3 al principio de la curva circular.

CUADRO 3.9
PERALTE RECOMENDADO, LONGITUD DE TRANSICIÓN Y DISTANCIA DE BOMBEO

e máximo = 4.0% B.N. = 3.0% ANCHO DE CALZADA = 7.20 m

RADIO	20 KPH			RADIO	30 KPH			RADIO	40 KPH			RADIO	50 KPH			RADIO	60 KPH		
	e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db
163	B.N.			371	B.N.			679	B.N.			951	B.N.			1310	B.N.		
102	2.0	11		237	2.0	17		441	2.0	22		632	2.0	28		877	2.0	34	
75	2.2	11		187	2.2	17		363	2.2	22		534	2.2	28		749	2.2	34	
51	2.4	11		132	2.4	17		273	2.4	22		435	2.4	28		626	2.4	34	
38	2.6	12		99	2.6	17		209	2.6	22		345	2.6	28		508	2.6	34	
30	2.8	13		79	2.8	17		167	2.8	22		283	2.8	28		422	2.8	34	
24	3.0	14	14	64	3.0	17	17	137	3.0	22	22	236	3.0	28	28	356	3.0	34	34
20	3.2	14	13	54	3.0	17	17	114	3.2	22	21	199	3.2	28	26	303	3.2	34	32
17	3.4	15	13	45	3.4	17	15	96	3.4	22	19	170	3.4	28	25	260	3.4	34	30
14	3.6	16	13	38	3.6	17	14	95	3.4	22	19	148	3.6	28	23	222	3.6	34	28
12	3.8	17	13	31	3.8	18	14	81	3.6	22	18	144	3.6	28	23	213	3.7	34	28
8	4.0	14	11	22	4.0	19	14	67	3.8	22	17	121	3.8	28	22	187	3.8	34	27
								47	4.0	22	17	86	4.0	28	21	135	4.0	34	26

RADIO	70 KPH			RADIO	80 KPH			RADIO	90 KPH			RADIO	100 KPH		
	e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db
1740	B.N.			2170	B.N.			2640	B.N.			3250	B.N.		
1180	2.0			1490	2.0	45		1830	2.0	50		2260	2.0	56	
1020	2.2			1290	2.2	45		1590	2.2	50		1980	2.2	56	
865	2.4	39		1110	2.4	45		1390	2.4	50		1730	2.4	56	
720	2.6	39		944	2.6	45		1200	2.6	50		1510	2.6	56	
605	2.8	39		802	2.8	45		1030	2.8	50		1320	2.8	56	
516	3.0	39	39	690	3.0	45	45	893	3.0	50	50	1150	3.0	56	56
443	3.2	39	37	597	3.2	45	42	779	3.2	50	47	1010	3.2	56	53
382	3.4	39	34	518	3.4	45	40	680	3.4	50	44	879	3.4	56	49
329	3.6	39	33	448	3.6	45	38	591	3.6	50	42	767	3.6	56	47
290	3.8	39	31	381	3.8	45	36	505	3.8	50	39	658	3.8	56	44
278	3.8	39	31	379	3.8	45	36	480	3.9	50	38	592	3.9	56	43
203	4.0	39	29	280	4.0	45	34	375	4.0	50	36	492	4.0	56	42

PERALTE MAXIMO = 4.0%

- 1) EL PERALTE FUE CALCULADO SEGÚN EL METODO "S" RECOMENDADO POR LA AASHTO*, 2004, QUINTA EDICIÓN.
- 2) EL PERALTE SE REPARTIRÁ PROPORCIONALMENTE A LA LONGITUD DE ESPIRAL, DEBIENDO SER EL PC ó PT EL PUNTO MEDIO DE DICHA ESPIRAL.
- 3) EN LAS CURVAS CON PERALTE CALCULADO MENOR QUE LA PENDIENTE DE BOMBEO SE RECOMIENDA USAR COMO PERALTE LA PENDIENTE DEL BOMBEO.
- 4) EL PASO DEL BOMBEO NORMAL AL 0% EN EL PRINCIPIO O EL FINAL DE LA ESPIRAL (TS ó ST) DEBE HACERSE PROPORCIONALMENTE A LA DISTANCIA Db.
- 5) LAS LONGITUDES DE ESPIRAL O DE TRANSICIÓN, FUERON CALCULADAS SEGÚN LAS PENDIENTES DE DESARROLLO DEL PERALTE INDICADAS ARRIBA Y RECOMENDADAS POR LA AASHTO*, 2004, QUINTA EDICIÓN, PERO NO MAYORES QUE LONGITUD MÁXIMA DE ESPIRAL.
- 6) LOS MÍNIMOS VALORES DE LONGITUD DE ESPIRAL O DE TRANSICIÓN, SON LOS CORRESPONDIENTES A LA DISTANCIA RECORRIDA EN 2 SEGUNDOS, A LA VELOCIDAD DE DISEÑO.
- 7) LAS LÍNEAS GRUESAS MUESTRAN EL MÁXIMO RADIO PARA USO DE ESPIRAL DE TRANSICIÓN (AASHTO 2004, pp. 187).

* A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF RURAL HIGHWAYS AND STREETS. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS
Ing. EDWIN RAÚL BARRIOS AMBROSY, JULIO 2011

CUADRO 3.10
PERALTE RECOMENDADO, LONGITUD DE TRANSICIÓN Y DISTANCIA DE BOMBEO

e máximo = 6.0% B.N. = 3.0% ANCHO DE CALZADA = 7.20 m

RADIO	20 KPH			30 KPH			40 KPH			50 KPH			60 KPH		
	e%	Ls	Db	RADIO	e%	Ls	Db	RADIO	e%	Ls	Db	RADIO	e%	Ls	Db
2000	B.N.			2000	B.N.			2000	B.N.			2000	B.N.		
1500	B.N.			1500	B.N.			1500	B.N.			1500	B.N.		
1000	B.N.			1000	B.N.			1000	B.N.			1050	B.N.		
500	B.N.			500	B.N.			736	1.5	22		750	2.0	28	
400	B.N.			450	B.N.			525	2.0	22		668	2.2	28	
350	B.N.			421	1.5	17		465	2.2	22		599	2.4	28	
300	B.N.			299	2.0	17		415	2.4	22		540	2.6	28	
250	B.N.			265	2.2	17		372	2.6	22		488	2.8	28	
200	B.N.			236	2.4	17		334	2.8	22		443	3.0	28	28
130	B.N.			212	2.6	17		300	3.0	22	22	402	3.2	28	26
127	2.0	17		190	2.8	17		269	3.2	22	21	364	3.4	28	25
113	2.2	17		170	3.0	17	17	239	3.4	22	19	329	3.6	28	23
100	2.4	17		152	3.2	17	16	206	3.6	22	18	294	3.8	28	22
90	2.6	17		133	3.4	17	15	178	3.8	22	17	261	4.0	28	21
80	2.8	17		113	3.6	17	14	155	4.0	22	17	234	4.2	28	20
71	3.0	17	17	95	3.8	18	14	138	4.2	22	16	210	4.4	28	19
62	3.2	17	16	96	3.9	18	14	114	4.6	23	15	190	4.6	28	18
53	3.4	17	15	82	4.0	19	14	110	4.6	24	16	172	4.8	28	18
43	3.6	17	14	72	4.2	20	14	102	4.8	24	15	156	5.0	28	17
36	3.8	17	13	63	4.4	21	14	98	4.8	25	16	148	5.1	28	16
31	4.0	18	14	56	4.6	22	14	95	4.9	25	15	142	5.2	29	17
27	4.2	19	14	54	4.6	22	14	88	5.0	26	16	128	5.4	30	17
24	4.4	20	14	50	4.8	23	14	79	5.2	27	16	115	5.6	31	17
21	4.6	21	14	45	5.0	24	14	71	5.4	28	16	102	5.8	32	17
19	4.8	21	13	40	5.2	25	14	63	5.6	29	16	79	6.0	33	17
15	5.2	19	11	36	5.4	26	14	56	5.8	30	16				
13	5.4	18	10	32	5.6	27	14	43	6.0	31	16				
12	5.6	17	9	30	5.7	27	14								
10	5.8	15	8	28	5.8	26	13								
8	6.0	14	7	21	6.0	22	11								

PERALTE MAXIMO = 6.0%

- 1) EL PERALTE FUE CALCULADO SEGÚN EL METODO "S" RECOMENDADO POR LA AASHTO*, 2004, QUINTA EDICIÓN.
- 2) EL PERALTE SE REPARTIRÁ PROPORCIONALMENTE A LA LONGITUD DE ESPIRAL, DEBIENDO SER EL PC ó PT EL PUNTO MEDIO DE DICHA ESPIRAL.
- 3) EN LAS CURVAS CON PERALTE CALCULADO MENOR QUE LA PENDIENTE DE BOMBEO SE RECOMIENDA USAR COMO PERALTE LA PENDIENTE DEL BOMBEO.
- 4) EL PASO DEL BOMBEO NORMAL AL 0% EN EL PRINCIPIO O EL FINAL DE LA ESPIRAL (TS Ó ST) DEBE HACERSE PROPORCIONALMENTE A LA DISTANCIA Db.
- 5) LAS LONGITUDES DE ESPIRAL O DE TRANSICIÓN, FUERON CALCULADAS SEGÚN LAS PENDIENTES DE DESARROLLO DEL PERALTE INDICADAS ARRIBA Y RECOMENDADAS POR LA AASHTO*, 2004, QUINTA EDICIÓN, PERO NO MAYORES QUE LONGITUD MÁXIMA DE ESPIRAL.
- 6) LOS MÍNIMOS VALORES DE LONGITUD DE ESPIRAL O DE TRANSICIÓN, SON LOS CORRESPONDIENTES A LA DISTANCIA RECORRIDA EN 2 SEGUNDOS, A LA VELOCIDAD DE DISEÑO
- 7) LAS LÍNEAS GRUESAS MUESTRAN EL MÁXIMO RADIO PARA USO DE ESPIRAL DE TRANSICIÓN (AASHTO 2004, pp. 187).

* A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF RURAL HIGHWAYS AND STREETS. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS
Ing. EDWIN RAÚL BARRIOS AMBROSY, JULIO 2011

CUADRO 3.10 (Continuación)
PERALTE RECOMENDADO, LONGITUD DE TRANSICIÓN Y DISTANCIA DE BOMBEO

e máximo = 6.0%

B.N. = 3.0%

ANCHO DE CALZADA = 7.20 m

RADIO	70 KPH			RADIO	80 KPH			RADIO	90 KPH			RADIO	100 KPH			RADIO	110 KPH			RADIO	1244		
	e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db
2500	B.N.			2500	B.N.			3000	B.N.			3510	B.N.			4060	B.N.						
2000	B.N.			2360	B.N.			2880	B.N.			2550	2.0	56		2970	2.0	62					
1910	B.N.			1710	2.0	45		2090	2.0	50		2300	2.2	56		2670	2.2	62					
1380	2.0	39		1530	2.2	45		1880	2.2	50		2080	2.4	56		2420	2.4	62					
1230	2.2	39		1380	2.4	45		1700	2.4	50		1890	2.6	56		2210	2.6	62					
1110	2.4	39		1260	2.6	45		1540	2.6	50		1730	2.8	56		2020	2.8	62					
1000	2.6	39		1150	2.8	45		1410	2.8	50		1590	3.0	56	56	1870	3.0	62	62				
910	2.8	39		1050	3.0	45	45	1290	3.0	50	50	1470	3.2	56	53	1730	3.2	62	58				
831	3.0	39	39	959	3.2	45	42	1190	3.2	50	47	1360	3.4	56	49	1600	3.4	62	55				
761	3.2	39	37	882	3.4	45	40	1100	3.4	50	44	1260	3.6	56	47	1490	3.6	62	52				
697	3.4	39	34	813	3.6	45	38	1020	3.6	50	42	1170	3.8	56	44	1390	3.8	62	49				
640	3.6	39	33	749	3.8	45	36	939	3.8	50	39	1090	4.0	56	42	1300	4.0	62	47				
586	3.8	39	31	690	4.0	45	34	870	4.0	50	38	1010	4.2	56	40	1220	4.2	62	44				
535	4.0	39	29	635	4.2	45	32	806	4.2	50	36	938	4.4	56	38	1140	4.4	62	42				
488	4.2	39	28	584	4.4	45	31	746	4.4	50	34	873	4.6	56	37	1070	4.6	62	40				
446	4.4	39	27	538	4.6	45	29	692	4.6	50	33	812	4.8	56	35	997	4.8	62	39				
408	4.6	39	25	496	4.8	45	28	641	4.8	50	31	755	5.0	56	34	933	5.0	62	37				
374	4.8	39	24	457	5.0	45	27	594	5.0	50	30	701	5.2	56	32	871	5.2	62	36				
343	5.0	39	23	421	5.2	45	26	549	5.2	50	29	648	5.4	56	31	810	5.4	62	34				
315	5.2	39	23	386	5.4	45	25	506	5.4	50	28	594	5.6	56	30	747	5.6	62	33				
290	5.4	39	22	379	5.5	45	25	480	5.5	50	27	592	5.6	56	30	716	5.7	62	33				
287	5.4	39	22	351	5.6	45	24	463	5.6	50	27	537	5.8	56	29	679	5.8	62	32				
260	5.6	39	21	315	5.8	45	23	416	5.8	50	26	437	6.0	56	28	560	6.0	62	31				
232	5.8	39	20	252	6.0	45	23	336	6.0	50	25												
184	6.0	39	20																				

PERALTE MAXIMO = 6.0%

- 1) EL PERALTE FUE CALCULADO SEGÚN EL METODO "S" RECOMENDADO POR LA AASHTO*, 2004, QUINTA EDICIÓN.
- 2) EL PERALTE SE REPARTIRÁ PROPORCIONALMENTE A LA LONGITUD DE ESPIRAL, DEBIENDO SER EL PC ó PT EL PUNTO MEDIO DE DICHA ESPIRAL.
- 3) EN LAS CURVAS CON PERALTE CALCULADO MENOR QUE LA PENDIENTE DE BOMBEO SE RECOMIENDA USAR COMO PERALTE LA PENDIENTE DEL BOMBEO.
- 4) EL PASO DEL BOMBEO NORMAL AL 0% EN EL PRINCIPIO O EL FINAL DE LA ESPIRAL (TS ó ST) DEBE HACERSE PROPORCIONALMENTE A LA DISTANCIA Db.
- 5) LAS LONGITUDES DE ESPIRAL O DE TRANSICIÓN, FUERON CALCULADAS SEGÚN LAS PENDIENTES DE DESARROLLO DEL PERALTE INDICADAS ARRIBA Y RECOMENDADAS POR LA AASHTO*, 2004, QUINTA EDICIÓN, PERO NO MAYORES QUE LONGITUD MÁXIMA DE ESPIRAL.
- 6) LOS MÍNIMOS VALORES DE LONGITUD DE ESPIRAL O DE TRANSICIÓN, SON LOS CORRESPONDIENTES A LA DISTANCIA RECORRIDA EN 2 SEGUNDOS, A LA VELOCIDAD DE DISEÑO
- 7) LAS LÍNEAS GRUESAS MUESTRAN EL MÁXIMO RADIO PARA USO DE ESPIRAL DE TRANSICIÓN (AASHTO 2004, pp. 187).

* A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF RURAL HIGHWAYS AND STREETS. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS
 Ing. EDWIN RAÚL BARRIOS AMBROSY, JULIO 2011

CUADRO 3.11
PERALTE RECOMENDADO, LONGITUD DE TRANSICIÓN Y DISTANCIA DE BOMBEO

e máximo = 8.0% B.N. = 3.0% ANCHO DE CALZADA = 7.20 m

RADIO	20 KPH			RADIO	30 KPH			RADIO	40 KPH			RADIO	50 KPH			RADIO	60 KPH		
	e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db
187	B.N.			443	B.N.			784	B.N.			1090	B.N.			1490	B.N.		
136	2.0	11		322	2.0	17		571	2.0	22		791	2.0	28		1090	2.0	34	
122	2.2	11		288	2.2	17		512	2.2	22		711	2.2	28		976	2.2	34	
111	2.4	11		261	2.4	17		463	2.4	22		644	2.4	28		885	2.4	34	
101	2.6	12		237	2.6	17		421	2.6	22		587	2.6	28		808	2.6	34	
92	2.8	13		216	2.8	17		385	2.8	22		539	2.8	28		742	2.8	34	
84	3.0	14	14	199	3.0	17	17	354	3.0	22	22	496	3.0	28	28	684	3.0	34	34
77	3.2	15	14	183	3.2	17	16	326	3.2	22	21	458	3.2	28	26	633	3.2	34	32
73	3.4	15	13	168	3.4	17	15	302	3.4	22	19	425	3.4	28	25	588	3.4	34	30
66	3.6	16	13	155	3.6	17	14	279	3.6	22	18	395	3.6	28	23	548	3.6	34	28
61	3.8	17	13	141	3.8	18	14	259	3.8	22	17	368	3.8	28	22	512	3.8	34	27
56	4.0	18	14	133	4.0	18	14	241	4.0	22	17	344	4.0	28	21	479	4.0	34	26
52	4.2	19	14	123	4.2	19	14	224	4.2	22	16	321	4.2	28	20	449	4.2	34	24
47	4.4	20	14	112	4.4	21	14	208	4.4	22	15	301	4.4	28	19	421	4.4	34	23
42	4.6	21	14	104	4.6	22	14	192	4.6	24	16	281	4.6	28	18	395	4.6	34	22
37	4.8	22	14	95	4.8	23	14	178	4.8	24	15	263	4.8	28	18	371	4.8	34	21
34	5.0	22	13	85	5.0	24	14	163	5.0	26	16	246	5.0	28	17	349	5.0	34	20
30	5.2	23	13	77	5.2	25	14	148	5.2	27	16	229	5.2	29	17	328	5.2	34	20
27	5.4	24	13	69	5.4	26	14	136	5.4	28	16	213	5.4	30	17	307	5.4	34	19
24	5.6	24	13	63	5.6	27	14	125	5.6	29	16	198	5.6	31	17	288	5.6	34	18
22	5.8	23	12	58	5.8	28	14	115	5.8	30	16	185	5.8	32	17	270	5.8	35	18
20	6.0	22	11	54	5.9	28	14	106	6.0	31	16	172	6.0	33	17	253	6.0	36	18
19	6.2	21	10	53	6.0	29	15	98	6.2	32	15	161	6.2	34	16	238	6.2	37	18
17	6.4	20	9	49	6.2	30	15	95	6.2	32	15	151	6.4	35	16	224	6.4	39	18
16	6.6	20	9	45	6.4	31	15	91	6.4	33	15	148	6.5	36	17	213	6.6	40	18
15	6.8	19	8	42	6.6	31	14	84	6.6	34	15	141	6.6	37	17	210	6.6	40	18
14	7.0	18	8	38	6.8	30	13	78	6.8	35	15	132	6.8	38	17	198	6.8	41	18
12	7.2	17	7	36	7.0	29	12	72	7.0	36	15	123	7.0	39	17	185	7.0	42	18
11	7.4	16	6	33	7.2	28	12	66	7.2	37	15	115	7.2	40	17	174	7.2	43	18
10	7.6	15	6	30	7.4	27	11	62	7.4	38	15	107	7.4	41	17	162	7.4	45	18
9	7.8	15	6	28	7.6	26	10	57	7.6	39	15	99	7.6	42	17	150	7.6	46	18
8	8.0	15	6	25	7.8	24	9	52	7.8	40	15	90	7.8	43	17	137	7.8	47	18
7	8.0	13	5	20	8.0	22	8	41	8.0	41	15	73	8.0	44	17	113	8.0	48	18

PERALTE MAXIMO = 8.0%

- 1) EL PERALTE FUE CALCULADO SEGÚN EL METODO "S" RECOMENDADO POR LA AASHTO*. 2004. QUINTA EDICIÓN.
- 2) EL PERALTE SE REPARTIRÁ PROPORCIONALMENTE A LA LONGITUD DE ESPIRAL, DEBIENDO SER EL PC ó PT EL PUNTO MEDIO DE DICHA ESPIRAL.
- 3) EN LAS CURVAS CON PERALTE CALCULADO MENOR QUE LA PENDIENTE DE BOMBEO SE RECOMIENDA USAR COMO PERALTE LA PENDIENTE DEL BOMBEO.
- 4) EL PASO DEL BOMBEO NORMAL AL 0% EN EL PRINCIPIO O EL FINAL DE LA ESPIRAL (TS Ó ST) DEBE HACERSE PROPORCIONALMENTE A LA DISTANCIA DB.
- 5) LAS LONGITUDES DE ESPIRAL O DE TRANSICIÓN, FUERON CALCULADAS SEGÚN LAS PENDIENTES DE DESARROLLO DEL PERALTE INDICADAS ARRIBA Y RECOMENDADAS POR LA AASHTO*, 2004, QUINTA EDICIÓN, PERO NO MAYORES QUE LONGITUD MÁXIMA DE ESPIRAL.
- 6) LOS MÍNIMOS VALORES DE LONGITUD DE ESPIRAL O DE TRANSICIÓN, SON LOS CORRESPONDIENTES A LA DISTANCIA RECORRIDA EN 2 SEGUNDOS, A LA VELOCIDAD DE DISEÑO
- 7) LAS LÍNEAS GRUESAS MUESTRAN EL MÁXIMO RADIO PARA USO DE ESPIRAL DE TRANSICIÓN (AASHTO 2004, pp. 187).

* A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF RURAL HIGHWAYS AND STREETS. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS
Ing. EDWIN RAÚL BARRIOS AMBROSIO, JULIO 2011

CUADRO 3.11 (Continuación)
PERALTE RECOMENDADO, LONGITUD DE TRANSICIÓN Y DISTANCIA DE BOMBEO

e máximo = 8.0%

B.N. = 3.0%

ANCHO DE CALZADA = 7.20 m

RADIO	70 KPH			1:182			RADIO	80 KPH			1:200			RADIO	90 KPH			1:213			RADIO	100 KPH			1:227			RADIO	110 KPH			1:244		
	e%	Ls	Db	e%	Ls	Db		e%	Ls	Db	e%	Ls	Db		e%	Ls	Db	e%	Ls	Db		e%	Ls	Db	e%	Ls	Db		e%	Ls	Db			
1970	B.N.			2440	B.N.		2970	B.N.			3630	B.N.		4180	B.N.																			
1450	2.0	39		1790	2.0	45	2190	2.0	50		2680	2.0	56		3090	2.0	62																	
1300	2.2	39		1620	2.2	45	1980	2.2	50		2420	2.2	56		2790	2.2	62																	
1190	2.4	39		1470	2.4	45	1800	2.4	50		2200	2.4	56		2550	2.4	62																	
1080	2.6	39		1350	2.6	45	1650	2.6	50		2020	2.6	56		2340	2.6	62																	
992	2.8	39		1240	2.8	45	1520	2.8	50		1860	2.8	56		2160	2.8	62																	
916	3.0	39	39	1150	3.0	45	45	1410	3.0	50	50	1730	3.0	56	56	2000	3.0	62	62															
849	3.2	39	37	1060	3.2	45	42	1310	3.2	50	47	1610	3.2	56	53	1870	3.2	62	58															
790	3.4	39	34	988	3.4	45	40	1220	3.4	50	44	1500	3.4	56	49	1740	3.4	62	55															
738	3.6	39	33	924	3.6	45	38	1140	3.6	50	42	1410	3.6	56	47	1640	3.6	62	52															
690	3.8	39	31	866	3.8	45	36	1070	3.8	50	39	1320	3.8	56	44	1540	3.8	62	49															
646	4.0	39	29	813	4.0	45	34	1010	4.0	50	38	1240	4.0	56	42	1450	4.0	62	47															
608	4.2	39	28	766	4.2	45	32	948	4.2	50	36	1180	4.2	56	40	1380	4.2	62	44															
573	4.4	39	27	722	4.4	45	31	895	4.4	50	34	1110	4.4	56	38	1300	4.4	62	42															
540	4.6	39	25	682	4.6	45	29	847	4.6	50	33	1050	4.6	56	37	1240	4.6	62	40															
509	4.8	39	24	645	4.8	45	28	803	4.8	50	31	996	4.8	56	35	1180	4.8	62	39															
480	5.0	39	23	611	5.0	45	27	762	5.0	50	30	947	5.0	56	34	1120	5.0	62	37															
454	5.2	39	23	579	5.2	45	26	724	5.2	50	29	901	5.2	56	32	1070	5.2	62	36															
429	5.4	39	22	549	5.4	45	25	689	5.4	50	28	859	5.4	56	31	1020	5.4	62	34															
405	5.6	39	21	521	5.6	45	24	656	5.6	50	27	819	5.6	56	30	975	5.6	62	33															
382	5.8	39	20	494	5.8	45	23	625	5.8	50	26	781	5.8	56	29	933	5.8	62	32															
360	6.0	39	20	469	6.0	45	23	595	6.0	50	25	746	6.0	56	28	894	6.0	62	31															
340	6.2	41	20	445	6.2	45	22	567	6.2	50	24	713	6.2	56	27	857	6.2	62	30															
322	6.4	42	20	422	6.4	46	22	540	6.4	50	23	681	6.4	56	26	823	6.4	62	29															
304	6.6	43	20	400	6.6	48	22	514	6.6	51	23	651	6.6	56	25	789	6.6	62	28															
290	6.8	44	19	379	6.8	49	22	489	6.8	52	23	620	6.8	56	25	757	6.8	62	27															
287	6.8	45	20	358	7.0	51	22	480	6.9	53	23	592	6.8	57	25	724	7.0	62	27															
270	7.0	46	20	338	7.2	52	22	464	7.0	54	23	591	7.0	57	24	716	7.1	62	26															
254	7.2	47	20	325	7.3	53	22	440	7.2	55	23	561	7.2	59	25	691	7.2	63	26															
237	7.4	49	20	318	7.4	53	21	415	7.4	57	23	531	7.4	61	25	657	7.4	65	26															
221	7.6	50	20	296	7.6	55	22	389	7.6	58	23	499	7.6	62	24	621	7.6	67	26															
202	7.8	51	20	273	7.8	56	22	359	7.8	60	23	462	7.8	64	25	579	7.8	69	27															
168	8.0	52	20	229	8.0	58	22	304	8.0	61	23	394	8.0	65	24	501	8.0	70	26															

PERALTE MAXIMO = 8.0%

- 1) EL PERALTE FUE CALCULADO SEGÚN EL METODO "S" RECOMENDADO POR LA AASHTO*, 2004, QUINTA EDICIÓN.
- 2) EL PERALTE SE REPARTIRÁ PROPORCIONALMENTE A LA LONGITUD DE ESPIRAL, DEBIENDO SER EL PC ó PT EL PUNTO MEDIO DE DICHA ESPIRAL.
- 3) EN LAS CURVAS CON PERALTE CALCULADO MENOR QUE LA PENDIENTE DE BOMBEO SE RECOMIENDA USAR COMO PERALTE LA PENDIENTE DEL BOMBEO.
- 4) EL PASO DEL BOMBEO NORMAL AL 0% EN EL PRINCIPIO O EL FINAL DE LA ESPIRAL (TS Ó ST) DEBE HACERSE PROPORCIONALMENTE A LA DISTANCIA Db.
- 5) LAS LONGITUDES DE ESPIRAL O DE TRANSICIÓN, FUERON CALCULADAS SEGÚN LAS PENDIENTES DE DESARROLLO DEL PERALTE INDICADAS ARRIBA Y RECOMENDADAS POR LA AASHTO*, 2004, QUINTA EDICIÓN, PERO NO MAYORES QUE LONGITUD MÁXIMA DE ESPIRAL.
- 6) LOS MÍNIMOS VALORES DE LONGITUD DE ESPIRAL O DE TRANSICIÓN, SON LOS CORRESPONDIENTES A LA DISTANCIA RECORRIDA EN 2 SEGUNDOS, A LA VELOCIDAD DE DISEÑO.
- 7) LAS LÍNEAS GRUESAS MUESTRAN EL MÁXIMO RADIO PARA USO DE ESPIRAL DE TRANSICIÓN (AASHTO 2004, pp. 187).

* A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF RURAL HIGHWAYS AND STREETS. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS
 Ing. EDWIN RAÚL BARRIOS AMBROSY, JULIO 2011

**CUADRO 3.12
PERALTE RECOMENDADO, LONGITUD DE TRANSICIÓN Y DISTANCIA DE BOMBEO**

e máximo = 10.0% B.N. = 3.0% ANCHO DE CALZADA = 7.20 m

RADIO	20 KPH			RADIO	30 KPH			RADIO	40 KPH			RADIO	50 KPH			RADIO	60 KPH		
	e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db
197	B.N.			454	B.N.			790	B.N.			1110	B.N.			1520	B.N.		
145	2.0	11		333	2.0	17		580	2.0	22		815	2.0	28		1120	2.0	34	
130	2.2	11		300	2.2	17		522	2.2	22		735	2.2	28		1020	2.2	34	
118	2.4	11		272	2.4	17		474	2.4	22		669	2.4	28		920	2.4	34	
108	2.6	12		249	2.6	17		434	2.6	22		612	2.6	28		844	2.6	34	
99	2.8	13		228	2.8	17		399	2.8	22		564	2.8	28		778	2.8	34	
91	3.0	14	14	211	3.0	17	17	368	3.0	22	22	522	3.0	28	28	720	3.0	34	
85	3.2	14	13	195	3.2	17	16	342	3.2	22	21	485	3.2	28	26	670	3.2	34	
79	3.4	15	13	181	3.4	17	15	318	3.4	22	19	453	3.4	28	25	626	3.4	34	
73	3.6	16	13	169	3.6	17	14	297	3.6	22	18	424	3.6	28	23	586	3.6	34	
68	3.8	17	13	158	3.8	18	14	278	3.8	22	17	398	3.8	28	22	551	3.8	34	
64	4.0	18	14	148	4.0	19	14	261	4.0	22	17	374	4.0	28	21	519	4.0	34	
60	4.2	19	14	139	4.2	20	14	245	4.2	22	16	353	4.2	28	20	490	4.2	34	
56	4.4	20	14	130	4.4	21	14	231	4.4	23	16	333	4.4	28	19	464	4.4	34	
53	4.6	21	14	122	4.6	22	14	218	4.6	24	16	315	4.6	28	18	439	4.6	34	
50	4.8	21	13	115	4.8	23	14	206	4.8	25	16	299	4.8	28	18	417	4.8	34	
47	5.0	22	13	109	5.0	24	14	194	5.0	26	16	283	5.0	28	17	396	5.0	34	
44	5.2	23	13	102	5.2	25	14	184	5.2	27	16	269	5.2	29	17	377	5.2	34	
41	5.4	24	13	97	5.4	26	14	174	5.4	28	16	256	5.4	30	17	359	5.4	34	
38	5.6	25	13	91	5.6	27	14	164	5.6	29	16	243	5.6	31	17	343	5.6	34	
36	5.8	26	13	85	5.8	28	14	155	5.8	30	16	232	5.8	32	17	327	5.8	35	
33	6.0	27	14	80	6.0	29	15	146	6.0	31	16	221	6.0	33	17	312	6.0	36	
31	6.2	27	13	75	6.2	30	15	138	6.2	32	15	210	6.2	34	16	298	6.2	37	
28	6.4	26	12	70	6.4	31	15	130	6.4	33	15	200	6.4	35	16	285	6.4	39	
26	6.6	25	11	65	6.6	31	14	121	6.6	34	15	191	6.6	37	17	273	6.6	40	
24	6.8	24	11	60	6.8	33	15	114	6.8	35	15	181	6.8	38	17	261	6.8	41	
22	7.0	23	10	56	7.0	34	15	107	7.0	36	15	172	7.0	39	17	249	7.0	42	
21	7.2	22	9	54	7.1	36	15	101	7.2	37	15	164	7.2	40	17	238	7.2	43	
19	7.4	21	9	49	7.4	34	14	95	7.4	38	15	156	7.4	41	17	228	7.4	44	
18	7.6	21	8	46	7.6	33	13	90	7.6	39	15	148	7.6	42	17	218	7.6	46	
17	7.8	20	8	44	7.8	32	12	85	7.8	40	15	141	7.8	43	17	213	7.7	46	
16	8.0	20	8	41	8.0	31	12	82	8.0	41	15	135	8.0	44	17	208	7.8	47	
15	8.2	19	7	39	8.2	31	11	76	8.2	42	15	128	8.2	45	16	199	8.0	48	
14	8.4	18	6	36	8.4	29	10	72	8.4	42	15	122	8.4	47	17	190	8.2	49	
13	8.6	18	6	34	8.6	29	10	68	8.6	40	14	116	8.6	48	17	182	8.4	50	
12	8.9	17	6	32	8.8	28	10	64	8.8	39	13	110	8.8	49	17	174	8.6	52	
11	9.2	16	5	30	9.0	27	9	61	9.0	38	13	105	9.0	50	17	166	8.8	53	
10	9.4	15	5	27	9.4	25	8	57	9.2	37	12	99	9.2	49	16	158	9.0	54	
9	9.7	15	5	25	9.6	24	8	54	9.4	36	11	94	9.4	47	15	150	9.2	55	
8	9.9	14	4	23	9.8	23	7	50	9.6	35	11	88	9.6	46	14	142	9.4	56	
7	10.0	13	4	19	10.0	21	6	46	9.8	33	10	81	9.8	44	13	133	9.6	58	
								38	10.0	30	9	68	10.0	40	12	124	9.8	59	
																105	10.0	18	

PERALTE MAXIMO = 10.0%

- 1) EL PERALTE FUE CALCULADO SEGÚN EL METODO "S" RECOMENDADO POR LA AASHTO*, 2004, QUINTA EDICIÓN.
- 2) EL PERALTE SE REPARTIRÁ PROPORCIONALMENTE A LA LONGITUD DE ESPIRAL, DEBIENDO SER EL PC ó PT EL PUNTO MEDIO DE DICHA ESPIRAL.
- 3) EN LAS CURVAS CON PERALTE CALCULADO MENOR QUE LA PENDIENTE DE BOMBEO SE RECOMIENDA USAR COMO PERALTE LA PENDIENTE DEL BOMBEO.
- 4) EL PASO DEL BOMBEO NORMAL AL 0% EN EL PRINCIPIO O EL FINAL DE LA ESPIRAL (TS O ST) DEBE HACERSE PROPORCIONALMENTE A LA DISTANCIA Db.
- 5) LAS LONGITUDES DE ESPIRAL O DE TRANSICIÓN, FUERON CALCULADAS SEGÚN LAS PENDIENTES DE DESARROLLO DEL PERALTE INDICADAS ARRIBA Y RECOMENDADAS POR LA AASHTO*, 2004, QUINTA EDICIÓN, PERO NO MAYORES QUE LONGITUD MÁXIMA DE ESPIRAL.
- 6) LOS MÍNIMOS VALORES DE LONGITUD DE ESPIRAL O DE TRANSICIÓN, SON LOS CORRESPONDIENTES A LA DISTANCIA RECORRIDA EN 2 SEGUNDOS, A LA VELOCIDAD DE DISEÑO.
- 7) LAS LÍNEAS GRUESAS MUESTRAN EL MÁXIMO RADIO PARA USO DE ESPIRAL DE TRANSICIÓN (AASHTO 2004, pp. 187).

* A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF RURAL HIGHWAYS AND STREETS. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS
ING EDWIN RAÚL BARRIOS AMBROSY, JULIO 2011

CUADRO 3.12 (Continuación)
PERALTE RECOMENDADO, LONGITUD DE TRANSICIÓN Y DISTANCIA DE BOMBEO

e máximo = 10.0% B.N. = 3.0% ANCHO DE CALZADA = 7.20 m

RADIO	70 KPH			RADIO	80 KPH			RADIO	90 KPH			RADIO	100 KPH			RADIO	110 KPH			1:244
	e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db		e%	Ls	Db	
2000	B.N.			2480	B.N.			3010	B.N.			3690	B.N.			4250	B.N.			
1480	2.0	39		1840	2.0	45		2230	2.0	50		2740	2.0	56		3160	2.0	62		
1340	2.2	39		1660	2.2	45		2020	2.2	50		2480	2.2	56		2860	2.2	62		
1220	2.4	39		1520	2.4	45		1840	2.4	50		2260	2.4	56		2620	2.4	62		
1120	2.6	39		1390	2.6	45		1700	2.6	50		2080	2.6	56		2410	2.6	62		
1030	2.8	39		1290	2.8	45		1570	2.8	50		1920	2.8	56		2230	2.8	62		
952	3.0	39	39	1190	3.0	45	45	1460	3.0	50	50	1790	3.0	56	56	2070	3.0	62	62	
887	3.2	39	37	1110	3.2	45	42	1360	3.2	50	47	1670	3.2	56	53	1940	3.2	62	58	
829	3.4	39	34	1040	3.4	45	40	1270	3.4	50	44	1560	3.4	56	49	1820	3.4	62	55	
777	3.6	39	33	974	3.6	45	38	1200	3.6	50	42	1470	3.6	56	47	1710	3.6	62	52	
731	3.8	39	31	917	3.8	45	36	1130	3.8	50	39	1390	3.8	56	44	1610	3.8	62	49	
690	4.0	39	29	866	4.0	45	34	1060	4.0	50	38	1310	4.0	56	42	1530	4.0	62	47	
652	4.2	39	28	820	4.2	45	32	1010	4.2	50	36	1240	4.2	56	40	1450	4.2	62	44	
617	4.4	39	27	777	4.4	45	31	953	4.4	50	34	1180	4.4	56	38	1380	4.4	62	42	
586	4.6	39	25	738	4.6	45	29	907	4.6	50	33	1120	4.6	56	37	1310	4.6	62	40	
557	4.8	39	24	703	4.8	45	28	864	4.8	50	31	1070	4.8	56	35	1250	4.8	62	39	
530	5.0	39	23	670	5.0	45	27	824	5.0	50	30	1020	5.0	56	34	1200	5.0	62	37	
505	5.2	39	23	640	5.2	45	26	788	5.2	50	29	975	5.2	56	32	1150	5.2	62	36	
482	5.4	39	22	611	5.4	45	25	754	5.4	50	28	934	5.4	56	31	1100	5.4	62	34	
461	5.6	39	21	585	5.6	45	24	723	5.6	50	27	896	5.6	56	30	1060	5.6	62	33	
441	5.8	39	20	561	5.8	45	23	693	5.8	50	26	860	5.8	56	29	1020	5.8	62	32	
422	6.0	39	20	538	6.0	45	23	666	6.0	50	25	827	6.0	56	28	976	6.0	62	31	
404	6.2	41	20	516	6.2	45	22	640	6.2	50	24	795	6.2	56	27	941	6.2	62	30	
387	6.4	42	20	496	6.4	46	22	616	6.4	50	23	766	6.4	56	26	907	6.4	62	29	
372	6.6	43	20	476	6.6	48	22	593	6.6	51	23	738	6.6	56	25	876	6.6	62	28	
357	6.8	45	20	458	6.8	49	22	571	6.8	52	23	712	6.8	56	25	846	6.8	62	27	
342	7.0	46	20	441	7.0	51	22	551	7.0	54	23	688	7.0	57	24	819	7.0	62	27	
329	7.2	47	20	425	7.2	52	22	532	7.2	55	23	664	7.2	59	25	792	7.2	63	26	
315	7.4	49	20	409	7.4	53	21	513	7.4	57	23	642	7.4	61	25	767	7.4	65	26	
303	7.6	50	20	394	7.6	55	22	496	7.6	58	23	621	7.6	62	24	743	7.6	67	26	
291	7.6	51	20	390	7.7	55	21	490	7.7	58	23	601	7.8	64	25	721	7.8	69	27	
290	7.8	51	20	380	7.8	56	22	480	7.8	60	23	592	7.9	65	25	716	7.9	69	26	
279	8.0	53	20	366	8.0	58	22	463	8.0	62	23	582	8.0	66	25	705	8.0	70	26	
268	8.2	54	20	353	8.2	59	22	448	8.2	63	23	564	8.2	67	25	699	8.0	70	26	
257	8.4	55	20	339	8.4	61	22	432	8.4	65	23	546	8.4	69	25	679	8.2	72	26	
246	8.6	57	20	326	8.6	62	22	417	8.6	66	23	528	8.6	71	25	660	8.4	74	26	
236	8.8	58	20	313	8.8	64	22	402	8.8	68	23	509	8.8	72	25	641	8.6	76	27	
225	9.0	59	20	300	9.0	65	22	386	9.0	69	23	491	9.0	74	25	621	8.8	78	27	
215	9.2	60	20	287	9.2	66	22	371	9.2	71	23	472	9.2	76	25	602	9.0	79	26	
204	9.4	62	20	274	9.4	68	22	354	9.4	72	23	453	9.4	77	25	580	9.4	83	26	
192	9.6	63	20	259	9.6	69	22	337	9.6	74	23	432	9.6	79	25	537	9.6	84	26	
179	9.8	64	20	242	9.8	71	22	316	9.8	75	23	407	9.8	80	24	509	9.8	86	26	
154	10.0	65	20	210	10.0	72	22	277	10.0	77	23	358	10.0	82	25	454	10.0	88	26	

PERALTE MAXIMO = 10.0%

- 1) EL PERALTE FUE CALCULADO SEGÚN EL METODO "S" RECOMENDADO POR LA AASHTO*, 2004, QUINTA EDICIÓN.
- 2) EL PERALTE SE REPARTIRÁ PROPORCIONALMENTE A LA LONGITUD DE ESPIRAL, DEBIENDO SER EL PC ó PT EL PUNTO MEDIO DE DICHA ESPIRAL.
- 3) EN LAS CURVAS CON PERALTE CALCULADO MENOR QUE LA PENDIENTE DE BOMBEO SE RECOMIENDA USAR COMO PERALTE LA PENDIENTE DEL BOMBEO.
- 4) EL PASO DEL BOMBEO NORMAL AL 0% EN EL PRINCIPIO O EL FINAL DE LA ESPIRAL (TS Ó ST) DEBE HACERSE PROPORCIONALMENTE A LA DISTANCIA Dd.
- 5) LAS LONGITUDES DE ESPIRAL O DE TRANSICIÓN, FUERON CALCULADAS SEGÚN LAS PENDIENTES DE DESARROLLO DEL PERALTE INDICADAS ARRIBA Y RECOMENDADAS POR LA AASHTO*, 2004, QUINTA EDICIÓN, PERO NO MAYORES QUE LONGITUD MÁXIMA DE ESPIRAL.
- 6) LOS MÍNIMOS VALORES DE LONGITUD DE ESPIRAL O DE TRANSICIÓN, SON LOS CORRESPONDIENTES A LA DISTANCIA RECORRIDA EN 2 SEGUNDOS, A LA VELOCIDAD DE DISEÑO.
- 7) LAS LÍNEAS GRUESAS MUESTRAN EL MÁXIMO RADIO PARA USO DE ESPIRAL DE TRANSICIÓN (AASHTO 2004, pp. 187).

* A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF RURAL HIGHWAYS AND STREETS. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS
 Ing. EDWIN RAÚL BARRIOS AMBROSY, JULIO 2011

3.2.6 Métodos para Proveer el Peralte

El cambio en la pendiente transversal debe efectuarse con los perfiles de borde de calzada redondeados con líneas suaves. Los métodos para cambiar la pendiente transversal se tratan más convenientemente en términos de relaciones lineales y controles, pero se pone de relieve que esos perfiles lineales con quiebres angulares deben redondearse como refinamiento del diseño.

En las Figuras 3.4.A, 3.4.B, 3.4.C y 3.4.D la rasante de la línea central, que está trazada como línea horizontal, representan la rasante (perfil de la línea central del pavimento terminado) calculada, la cual puede ser una recta, una curva vertical, o una combinación de las dos. Las pequeñas secciones transversales debajo de cada diagrama indican la condición de la pendiente transversal de la calzada en los puntos designados con letras.

Para proveer el peralte se practican cuatro métodos específicos:

- A. Giro de la calzada con bombeo normal alrededor de la rasante en la línea central:
Como se muestra en la Figura 3.4.A, la sección transversal se gira alrededor de la línea central del perfil. Este método es el más ampliamente usado en el diseño porque el cambio de cota requerido de la orilla de la calzada se hace con menor distorsión que con los otros métodos.
- B. Giro de la calzada con bombeo normal alrededor de la rasante del borde interior:
En este caso, la rasante del borde interior está determinada como una paralela a la rasante calculada de la línea central. Como se muestra en la Figura 3.4.B, una mitad del cambio requerido en la pendiente transversal se hace rotando la rasante de la línea central con respecto al borde interior de la calzada y la otra mitad, rotando el borde exterior de la calzada una cantidad igual con respecto a la rasante de la línea central.
- C. Giro de la calzada con bombeo normal alrededor de la rasante del borde exterior:
Este método comprende una geometría similar a la del Método B, donde la sección de la calzada con bombeo normal gira alrededor de la rasante del borde exterior. Como se muestra en la Figura 3.4.C, excepto que el cambio se efectúa debajo de la rasante del borde exterior, en vez de arriba de la rasante del borde interior.
- D. Giro de la pendiente transversal recta de la calzada alrededor de la rasante del borde exterior:
En este método, se gira una calzada que tiene una pendiente transversal recta, diferente que para los otros métodos. Para una pendiente transversal recta, se calcula la rasante del borde exterior, y el cambio requerido en la pendiente transversal se hace bajando el borde interior, como se muestra en la Figura 3.4.D.

La calzada gira alrededor de la rasante del borde exterior porque este punto se usa más a menudo para el giro de las calzadas de dos carriles en un sentido y con la rasante aplicada a lo largo del borde del lado del bordillo. La calzada también podría girarse alrededor de la división de carril o alrededor de la rasante del borde interior, similar a las Figuras 3.4.A o 3.4.B.

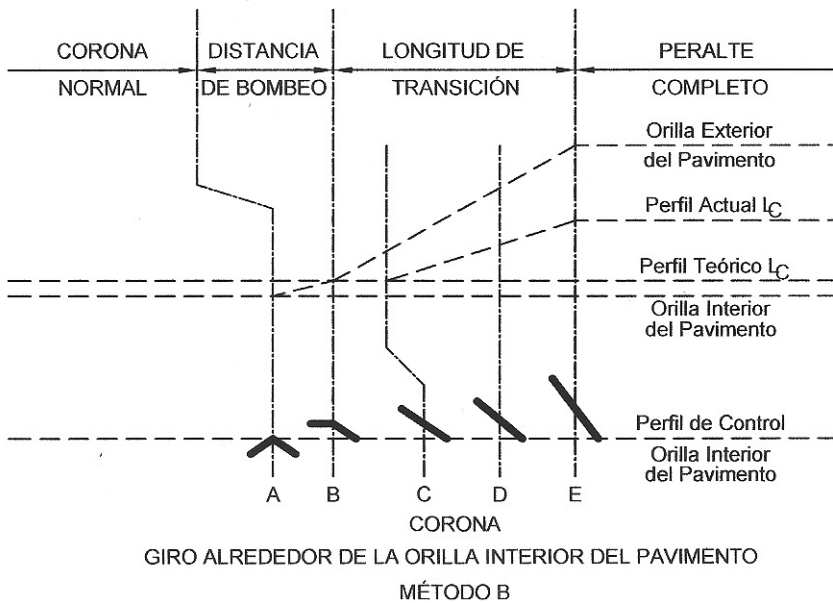
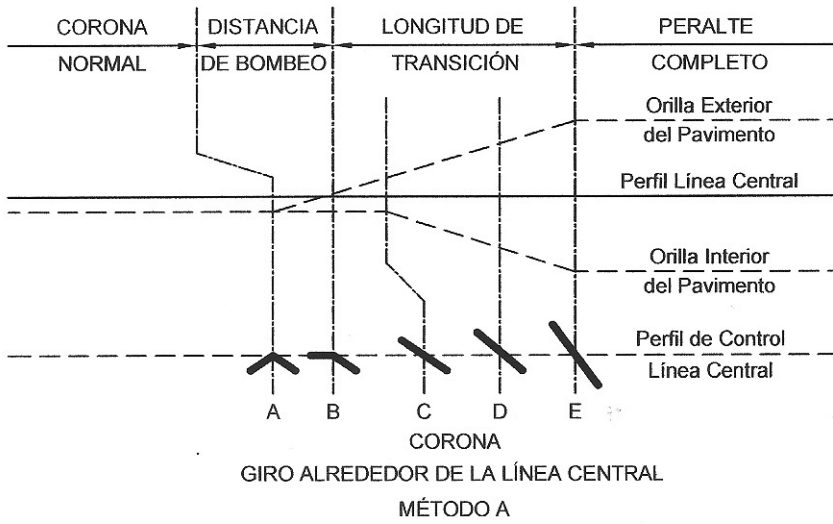
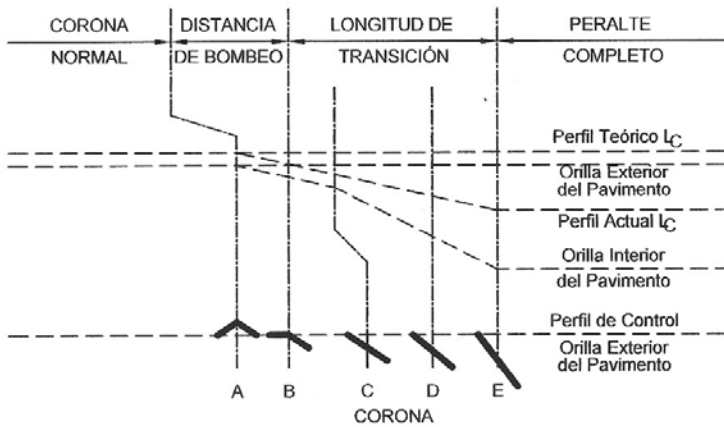
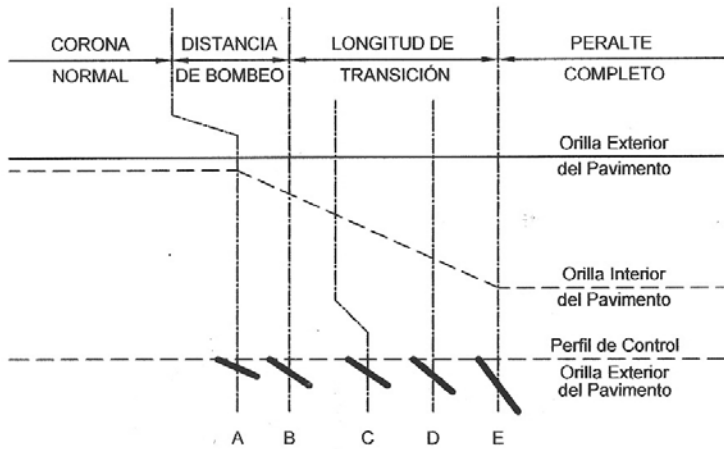


Figura 3.4 Diagramas que Muestran la Provisión del Peralte para una Curva a la Derecha



GIRO ALREDEDOR DE LA ORILLA EXTERIOR

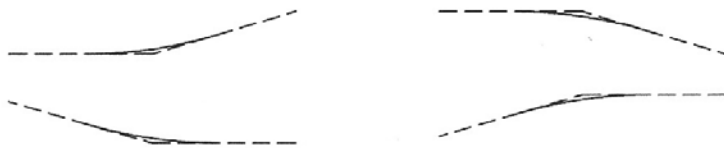
MÉTODO C



SECCIÓN DEBE SER RECTA

GIRO ALREDEDOR DE LA ORILLA EXTERIOR DEL PAVIMENTO

MÉTODO D



TODOS LOS VÉRTICES DEBEN SER REDONDEADOS COMO SE MUESTRA

Figura 3.4 Diagramas que Muestran la Provisión del Peralte para una Curva a la Derecha

Considerando el número infinito de disposiciones de perfiles, y en reconocimiento de problemas específicos tales como el drenaje, el evitar las pendientes críticas, razones estéticas y el ajuste del pavimento al terreno, no se recomienda la adopción de un eje específico de rotación, o cualquiera de los métodos antes presentados. Para obtener el más placentero y funcional resultado, cada transición del peralte debe considerarse como un problema individual. En la práctica, cualquier línea de referencia del pavimento, usada para eje de rotación, puede ser la más adaptable para el problema en consideración.

En un sentido general, el método A, rotación alrededor de la línea central es el más adaptable. El método B es preferible a los demás en donde el perfil del borde bajo es un control principal, como por razones de drenaje; con condiciones de rasante uniforme su uso resulta en la mayor distorsión del perfil del borde más alto. Donde se requiere destacar la apariencia general, los métodos C y D son los más ventajosos porque la rasante del borde superior, el más notorio para los conductores, retiene la suavidad del perfil de control. La forma y dirección de la rasante de la línea central puede determinar el método preferido para alcanzar el peralte en los primeros tres métodos.

No se han establecido criterios específicos para la longitud de la curva vertical en los quiebres que se muestran en los diagramas. Para una guía aproximada, la mínima longitud de curva vertical, en metros, puede ser igual a 0.2 veces la velocidad de diseño en KPH, debiendo utilizarse longitudes mayores donde sea práctico.

3.2.7 Sobreancho en Curvas

Los sobreanchos se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños, combinadas con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica. Los sobreanchos son necesarios para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación. En carreteras con carriles de 3.6 metros y buen alineamiento, la necesidad de sobreanchos en curvas se ha disminuido a pesar de las velocidades, aunque tal necesidad se mantiene para otras condiciones de la vía.

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

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

Como se indicó en el párrafo 3.2.5(a) debe utilizarse la “transición de tangente a curva” para efectuar la transición del peralte, calculándose esta longitud mínima con la fórmula 3.7. Esta Distancia de transición puede utilizarse también para distribuir el sobreancho, repartiéndose en la tangente de entrada en el rango de 50 a 60 por ciento y el rango restante en la curva circular, manteniéndose el sobreancho máximo en la curva circular hasta la transición en la salida, la cual debe ser simétrica con la entrada. El rango entre 50 y 60 por ciento en que se distribuya el peralte debe ser el mismo para distribuir el sobreancho a fin de que el diseño sea consistente.

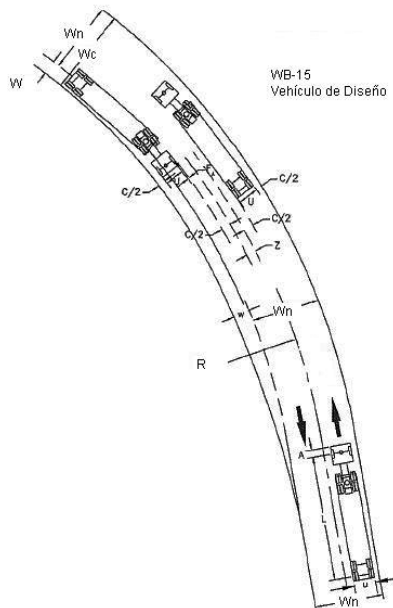
- b) Cuando existen curvas de transición entre la tangente y la curva circular, el sobreebanco se distribuye a lo largo de la curva de transición, dividiéndose la mitad del sobreebanco entre los bordes interno y externo de la curva.
- c) Los bordes del pavimento siempre deben tener un desarrollo suave y curvado atractivamente, para inducir su uso por el conductor.
- d) Los sobreebanco deben ser detallados minuciosamente en los planos constructivos y por medio de controles durante el proceso de construcción de la carretera o, alternativamente, dejar los detalles finales al Ingeniero residente de campo.

El sobreebanco necesario en las curvas es la diferencia entre el ancho requerido en una curva W_c y el utilizado en una recta, W_n . El ancho requerido para la circulación en curva tiene varios componentes relacionados con la operación de los vehículos sobre las curvas, a saber:

- Ancho de huella de cada vehículo que se encuentra o pasa
- Separación lateral por vehículo, C
- Ancho de la saliente frontal del vehículo que ocupa el carril o carriles interiores, F_A
- Ancho a tener en cuenta por dificultades durante la conducción en curvas, Z

La Figura 3.5 muestra la ubicación de estos componentes

Figura 3.5 Componentes del Sobreebanco en Curvas de Carreteras



La fórmula general para calcular el ancho necesario en curva, W_c es:

$$W_c = N(U+C)+(N-1)F_A+Z$$

3-9

Donde:

- N = número de carriles
- U = ancho de la huella del vehículo de diseño (exterior a exterior de llantas), m
- C = Claro lateral, m
- F_A = Ancho de saliente frontal en el carril interior, m
- Z^A = Ancho extra recomendable, m

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - \Sigma Li^2} \quad 3-10$$

Donde:

- U = ancho de la huella del vehículo en curva, m
- u = ancho de la huella del vehículo de diseño (exterior a exterior de llantas), m
- R = Radio de la curva o giro, m
- Li = Distancia entre ruedas del vehículo de diseño, entre ejes consecutivos (o conjunto de ejes en tándem), m

El claro lateral recomendable, C , es asumido de 0.60, 0.75 y 0.90 m para anchos de rodadura en tangente de 6.00, 6.50 y 7.20 m.

$$F_A = \sqrt{R^2 + A(2L + A)} - R \quad 3-11$$

Donde:

- A = Saliente frontal del eje del vehículo, en el carril interior, m
- L = Distancia entre ruedas de la unidad o del remolque, m

$$Z = 0.1(V / \sqrt{R}) \quad 3-12$$

Donde:

- V = Velocidad de diseño de la carretera, KPH

En el Cuadro 3-14 se muestran los valores asumidos para condiciones de diseño del camión WB-15 en una carretera de dos carriles.

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

- Sobreebanco menores de 0.60 metros, no son necesarios en las curvas.
- Los sobreebanco calculados que se muestran en el Cuadro 3.12(a) son para carreteras de dos carriles.
- En carreteras de tres carriles los sobreebanco mostrados en el Cuadro anterior deben afectarse por un factor de 1.5 y en carreteras de cuatro carriles multiplicar las cifras del el Cuadro por 2.
- Los datos de el Cuadro 3.14(a) fueron calculados para el vehículo WB-15, para otros vehículos de diseño, los ajustes mostrados en el Cuadro 3.14(b) deben utilizarse.

Radio de Curva	Ancho de Calzada = 7.20 m						Ancho de Calzada = 6.60 m						Ancho de Calzada = 6.00 m					
	Velocidad de Diseño (KPH)						Velocidad de Diseño (KPH)						Velocidad de Diseño (KPH)					
	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100
3000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
2500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
1500	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
1000	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
900	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9
800	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
700	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0
600	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0
500	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1
400	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
300	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4
250	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9		0.9	1.0	1.1	1.1	1.2		1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	
200	0.8	0.9	1.0	1.0			1.1	1.2	1.3	1.6			1.4	1.5	1.6	1.6		
150	1.1	1.2	1.3	1.3			1.4	1.5	1.6	1.6			1.7	1.8	1.9	1.9		
140	1.2	1.3					1.5	1.6					1.8	1.9				
130	1.3	1.4					1.6	1.7					1.9	2.0				
120	1.4	1.5					1.7	1.8					2.0	2.1				
110	1.5	1.6					1.8	1.9					2.1	2.2				
100	1.6	1.7					1.9	2.0					2.2	2.3				
90	1.8						2.1						2.4					
80	2.0						2.3						2.6					
70	2.3						2.6						2.9					

FUENTE: AASHTO, 2004. pp. 211

NOTAS: Los valores mostrados son para vehículo de diseño WB-15

Valores menores de 0.6 pueden ser despreciados

Para carretera de 3 carriles, multiplique los valores indicados por 1.5

Para carretera de 4 carriles, multiplique los valores indicados por 2

Cuadro 3.14(a) Valores de Diseño para Sobreancho en Curvas de Carreteras (Dos Carriles, Una o Dos Vías)

Radio de Curva (m)	VEHÍCULO DE DISEÑO						
	SU	WB-12	WB-19	WB-20	WB-20D	WB-30T	WB-30T
3000	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2500	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2000	0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1500	-0.4	-0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
1000	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
900	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
800	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
700	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3
600	-0.5	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3
500	-0.5	-0.4	0.1	0.2	0.0	0.1	0.4
400	-0.5	-0.4	0.2	0.2	0.0	0.1	0.5
300	-0.6	-0.5	0.2	0.3	-0.1	0.1	0.6
250	-0.7	-0.5	0.2	0.3	-0.1	0.1	0.8
200	-0.8	-0.6	0.3	0.4	-0.1	0.2	1.0
150	-0.9	-0.7	0.4	0.6	-0.1	0.2	1.3
140	-0.9	-0.7	0.4	0.6	-0.1	0.2	1.4
130	-1.0	-0.7	0.5	0.6	-0.2	0.2	1.5
120	-1.1	-0.8	0.5	0.7	-0.2	0.3	1.6
110	-1.1	-0.8	0.6	0.8	-0.2	0.3	1.7
100	-1.2	-0.9	0.6	0.8	-0.2	0.3	1.9
90	-1.3	-0.9	0.7	0.9	-0.2	0.3	2.1
80	-1.4	-1.0	0.8	1.1	-0.2	0.4	2.4
70	-1.6	-1.1	0.9	1.2	-0.3	0.5	2.8

FUENTE: AASHTO, 2004, pp. 213

- NOTAS:
- Los ajustes se aplican por sumar o restar estos valores a los indicados en el Cuadro 3-12(a)
 - Los ajustes dependen únicamente del radio y del vehículo de diseño: son independientes del ancho de rodadura y de la velocidad de diseño,
 - Para carretera de 3 carriles, multiplique los valores indicados por 1.5
 - Para carretera de 4 carriles, multiplique los valores indicados por 2

**Cuadro 3.14(b) Ajuste para Diseño de Sobrancho en Curvas de Carreteras
(Dos Carriles, Una o Dos Vías)**

3.2.8 Rampas de Escape para Emergencias

Algunos países han ganado experiencia en el diseño y la construcción de rampas para recuperar, fuera de la propia carretera, el control de vehículos que han sufrido la pérdida del control de la caja de cambios o los frenos por sobrecalentamiento o falla mecánica. En tales condiciones, el vehículo fuera de control está sujeto a las fuerzas de la inercia y a la pendiente negativa, que le mantiene en movimiento, resistiendo tales fuerzas la resistencia del aire, la resistencia al rodamiento entre las llantas y la superficie de rueda y la pendiente positiva. La arena suelta, por ejemplo, tiene una resistencia de 250 kg/1,000 kg de masa bruta del vehículo, equivalente a una pendiente positiva de 15 por ciento, mientras que un concreto asfáltico apenas alcanza 10 kg/1,000 kg de masa bruta.

Las rampas de escape deben construirse donde la experiencia confirma la recurrencia de estos accidentes, preferiblemente en secciones con alineamiento horizontal, antes de curvas que puedan impedir la recuperación del vehículo fuera de control. La velocidad anticipada de diseño, entre 130 y 140 kilómetros por hora, incorpora un factor de seguridad ya que puede ser un tanto exagerada para la realidad.

La rampa de escape más comúnmente utilizada y de menor longitud es del tipo de pendiente ascendente, con una cama de unos 0.6 metros de espesor de material suelto, como arena. El material suelto retiene al vehículo en su lugar una vez se detiene. También pueden construirse horizontales o con pendiente negativa, dependiendo de las condiciones del terreno. Como una medida extra de seguridad, al final de la rampa se puede colocar un túmulo de material suelto de 0.5 a 1.5 metros de alto con taludes de 1 a 1.5. Las denominadas rampas de gravedad, por otra parte, ofrecen una superficie pavimentada o compactada de suficiente longitud para que el vehículo se detenga por sí solo.

Para determinar la distancia requerida para la detención de un vehículo en una rampa de emergencia, puede utilizarse la fórmula mostrada a continuación:

$$L = \frac{V^2}{30(R \pm G)} \quad 3-13$$

Donde:

- L= Distancia de Parada, en metros
- V= Velocidad de Entrada, km/h
- G= Porcentaje de pendiente dividida entre 100
- R= Resistencia al rodamiento del material de revestimiento de la rampa, expresada como porcentaje de pendiente dividida entre 100

3.2.9 Criterios Aplicables al Diseño del Alineamiento Horizontal: Balance entre Curvas y Tangentes

En la práctica del diseño geométrico, se utilizan algunos criterios para el mejoramiento del diseño horizontal, que normalmente no están sujetos a fórmulas matemáticas o siquiera a derivaciones empíricas, pero de cuya aplicación se han logrado muy buenos resultados. En general se reconoce que un exceso de curvatura o una pobre combinación de curvaturas, limita la capacidad de una carretera, causa pérdidas económicas por el incremento en los tiempos de viaje y los costos de operación y, sobre todo, desmejora sensiblemente la apariencia y funcionalidad del diseño seleccionado. En estas condiciones, un trazo directo entre los puntos de referencia obligada es lo deseable.

En primer lugar, sin embargo, se debe procurar que el alineamiento horizontal sea tan directo como lo permita la topografía, el uso del suelo y los valores de las comunidades servidas por la carretera. Un trazado que se acomoda al terreno natural es preferible a otro que con largas tangentes acorta las distancias y mejora las visibilidades, pero eleva excesivamente el movimiento de tierra con profundos cortes y elevados terraplenes. Los efectos de la construcción de una carretera deben minimizarse, preservando las pendientes naturales y respetando el crecimiento existente dentro del área de influencia directa del proyecto. Un diseño tal es preferible desde el punto de vista de los costos de construcción y de mantenimiento. Pero, en general, el número de curvas cortas y cerradas debe limitarse a un mínimo.

En segundo lugar, debe evitarse el uso de curvas con los radios mínimos de diseño, excepto en las condiciones más críticas que plantee el desarrollo del proyecto. El ángulo central de cada curva debe ser tan reducido y los radios tan amplios como lo permita el terreno. Las curvas cerradas (con radios pequeños) no deben proyectarse al extremo de tangentes de gran longitud, evitándose cambios abruptos de secciones con amplias y bien desarrolladas curvas y tangentes, seguidas por curvas de radios mínimos o cercanos al mínimo, que reducen la consistencia recomendable para el diseño.

Como regla de aplicación práctica, las curvas deben tener por lo menos 150 metros de largo cuando el ángulo de deflexión sea de 5 grados, incrementándose en 30 metros por cada reducción de un grado en el ángulo central. La longitud mínima de las curvas horizontales en las carreteras principales debe ser tres veces la velocidad de diseño, elevándose a seis veces dicha relación en las carreteras de alta velocidad con accesos controlados.

En lo que respecta a curvas circulares compuestas¹, deben extremarse los cuidados en su elección. Aunque el uso de curvas compuestas puede facilitar el diseño de una carretera para ajustarla a las condiciones del terreno, esta práctica conduce frecuentemente a su utilización en forma irrestricta por algunos diseñadores, que deben ser desalentados a continuar en tales aplicaciones.

El uso de curvas compuestas con grandes diferencias en los radios, produce casi el mismo efecto que la combinación de una curva cerrada con tangentes de gran longitud. Cuando la topografía o el derecho de vía hagan necesario su utilización, el radio de la curva circular mayor no debe exceder el 50 por ciento de la curva de menor radio. El manual mexicano propone que en las intersecciones se utilicen curvas compuestas, siempre y cuando la relación entre dos radios consecutivos no sobrepase la cifra de 2.0 y se resuelva satisfactoriamente la transición de la sobreelevación². A criterios como el del manual mexicano se ajustan las curvas compuestas que se proponen en varias partes de este manual, aunque siempre que sea posible, una curva cerrada debe ser combinada con curvas espirales de transición, como la clotoide.

En tramos de carreteras de un solo sentido, como las rampas, la diferencia en los radios de las curvas compuestas no es tan importante, sobre todo cuando a la curva cerrada le sigue una curva de gran radio para facilitar la transición a la entrada o la salida. A menos que las condiciones topográficas lo impongan,

1 Las curvas circulares compuestas están formadas por dos o más curvas circulares simples de radios diferentes, del mismo sentido, pero siempre con un punto de tangencia común entre dos curvas consecutivas.

2 Ver Secretaría de Obras Públicas, "Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras", México, 1976

debe evitarse el uso de curvas del mismo sentido con una tangente corta entre ellas. Fuera de su desagradable apariencia, los conductores no esperan que se presenten curvas cortas y sucesivas en el mismo sentido. En estas condiciones, es preferible la introducción de una curva compuesta directa como la indicada en párrafos anteriores o la introducción de curvas de transición espiral. Las normas francesas permiten el diseño de curvas horizontales del mismo sentido, si entre ambas media una distancia en tangente igual a la distancia recorrida durante cinco segundos a la velocidad máxima permitida por la curva de radio mayor³.

La inversión en el alineamiento entre dos curvas inversas, debe incluir una longitud de tangente suficiente para la transición de las sobreelevaciones. Si no se logra incorporar una distancia suficiente, v. gr. de 100 metros, se presenta una sección considerable de la carretera donde la línea central y los bordes del pavimento están al mismo nivel, generando problemas para el drenaje transversal de la pista de rodamiento. De ser de utilización forzada esta solución por limitaciones del terreno, resulta aconsejable acelerar la transición de la sobreelevación, para que se recupere en algún punto intermedio, la sección transversal normal de la carretera.

Como una indicación final, se recomienda que en todo caso el alineamiento horizontal sea coordinado de manera cuidadosa con el diseño del perfil longitudinal de la carretera en estudio.

3.3 ALINEAMIENTO VERTICAL

Al proyectar sobre un plano vertical las distintas elevaciones del eje de la carretera, se obtiene el alineamiento vertical o perfil del eje de la carretera. En este alineamiento se representan tanto el perfil del terreno natural como el perfil terminado del eje de la carretera, al cual se le llama rasante, o el perfil del eje terminado de la terracería, también conocido como sub-rasante (ver Figura 4.1, pp. 5 del Capítulo V).

El alineamiento vertical está compuesto por tangentes y curvas, caracterizándose las tangentes por su longitud y su pendiente y se limitan por dos curvas verticales sucesivas. La longitud de la tangente es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente; la pendiente de la tangente es la relación entre la diferencia de nivel y la distancia horizontal entre dos puntos de la misma, expresándola generalmente en porcentaje.

La curva vertical tiene por objeto suavizar los cambios de las pendientes en el alineamiento vertical, en cuya longitud se efectúa el paso gradual de la pendiente de entrada a la pendiente de salida, debiendo dar por resultado un camino de operación segura y confortable, agradable apariencia y características de drenaje adecuadas.

En el alineamiento vertical, todas las distancias se miden horizontalmente y todas las ordenadas desde las tangentes a la curva vertical se miden verticalmente. De esta manera la longitud de una curva es su proyección horizontal, siendo despreciable el error que resulta de esta suposición en la práctica. Para fines de proyecto, el sentido de las pendientes se define según el avance del estacionamiento del alineamiento horizontal, siendo positivas aquellas pendientes que implican un aumento de cota y negativas las que producen un descenso de la cota correspondiente. El sistema de cotas o niveles del proyecto se referirán

³ Ver Direction des Routes et de la Circulation Routiere, «*Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes Nationales*», Francia.

en lo posible al nivel medio del mar, para lo cual se enlazarán los puntos de referencia de la topografía con los puntos de nivelación geodésica de los Institutos Geográficos correspondientes en cada país de Centroamérica.

El alineamiento vertical de una carretera está controlado principalmente por la:

- Clasificación Funcional del Camino y Composición del Tránsito
- Topografía del área que atraviesa
- Diseño del alineamiento horizontal y su velocidad de diseño correspondiente
- Distancias de Visibilidad
- Drenaje
- Valores Estéticos y Ambientales
- Costos de Construcción

La topografía del terreno atravesado tiene influencia en el alineamiento de calles y carreteras. Para caracterizar sus variaciones, generalmente se clasifican en tres tipos de acuerdo con la pendiente del terreno, así:

- a) Terreno Plano: Es esa condición donde las distancias de visibilidad de diseño vial, en cuanto están gobernadas por las restricciones horizontales y verticales, son generalmente largas o podrían ser así, sin ocasionar mayores dificultades ni grandes gastos de construcción o grandes gastos de construcción.
- b) Terreno Ondulado: Es la condición donde las pendientes naturales son ascendentes y descendentes y en consecuencia las pendientes de la calle o carretera se elevan y bajan, y donde ocasionalmente las pendientes fuertes provocan algunas restricciones a los alineamientos horizontal y vertical.
- c) Terreno Montañoso: Es aquel que presenta dificultades y altos costos de construcción por la frecuencia de cortes y rellenos, los cuales se requieren para lograr alineamientos horizontales y verticales aceptables.

Las clasificaciones del terreno pertenecen al carácter general de un corredor específico, debido a lo cual, las rutas en valles o zonas montañosas que tienen todas las características de las calles o carreteras que atraviesan un terreno plano u ondulado, deben clasificarse como planas u ondulado. En general, los terrenos ondulados generan pendientes más fuertes causando la reducción de las velocidades de los camiones debajo de las de vehículos de pasajeros; en el terreno montañoso la situación es más grave, resultando en algunos camiones con velocidades muy bajas.

El Cuadro 3.15 siguiente muestra una clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales.

Tipo de Terreno	Rango de Pendientes P(%)
Llano o Plano	$P \leq 5$
Ondulado	$5 > P \leq 15$
Montañoso	$15 > P \geq 30$

Cuadro 3.15. Clasificación de los Terrenos en Función de las Pendientes Naturales

3.3.1 Pendientes de Control para el Diseño

a) Pendiente Máxima:

Las pendientes de las carreteras ya construidas tienen una influencia relevante en la operación de los vehículos que operan por ellas. En automóviles, las pendientes de subida de hasta 5% no tienen influencia apreciable en la velocidad, cuando se compara con la correspondiente en terreno plano. Cuando sube la pendiente, la velocidad decrece progresivamente y en las pendientes de bajada la velocidad tiene un pequeño aumento. En consecuencia, las restricciones a estas velocidades son impuestas por condiciones de seguridad y comodidad.

En vehículos pesados, la influencia de las pendientes de subida es bastante significativa por el atraso que ocasiona a otros vehículos, especialmente en carreteras con altos volúmenes de tránsito, ya que la velocidad de estos vehículos se reduce tanto en subida como en bajada. La relación peso/potencia de los vehículos, define características de operación que permiten determinar la velocidad con que pueden recorrer una pendiente determinada.

Las pendientes máximas recomendadas para carreteras y calles, según su clasificación, se indican a continuación:

⇒ Autopistas:

Las pendientes máximas para el diseño de autopistas se presentan en el Cuadro 3.16 en función de la velocidad de diseño y del tipo de terreno. Las pendientes en autopistas urbanas son similares a las de autopistas rurales para la misma velocidad de diseño. En áreas urbanas, pueden permitirse pendientes más pronunciadas, pero el poco espaciamiento entre las intersecciones y la necesidad de frecuentes cambios en la velocidad, hacen que sea conveniente el uso de pendientes suaves donde sea práctico. En pendientes sostenidas, la necesidad de carriles adicionales de ascenso debe ser investigada como se indica en el inciso d) más adelante.

TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO, KPH				
	80	90	100	110	120
	Pendientes (%)*				
Plano	4	4	3	3	3
Lomerío	5	5	4	4	4
Montañoso	6	6	6	5	---

FUENTE: AASHTO, 2004, pp. 506

* En terreno montañoso o en áreas urbanas, donde el derecho de vía sea el control de diseño, las pendientes indicadas pueden incrementarse en 1%.

Cuadro 3.16. Pendiente Máxima para Autopistas Urbanas y Rurales

⇒ Carreteras y Calles Arteriales:

La longitud y lo fuerte de la pendiente afecta las características operacionales de una carretera arterial. El Cuadro 3.17 muestra las pendientes máximas recomendables para carreteras arteriales.

TIPO DE TERRENO	Máxima Pendiente (%) para la Velocidad de Diseño Especificada, KPH					
	60	70	80	90	100	110
Plano	5	5	4	4	3	3
Lomerío	6	6	5	5	4	4
Montañoso	8	7	7	6	6	5

FUENTE: AASHTO, 2004, pp. 446

Cuadro 3.17. Pendiente Máxima para Carreteras Arteriales

La selección de la pendiente para una arteria urbana puede tener un efecto significativo en su funcionamiento. Por ejemplo, las pendientes fuertes afectan la velocidad de los camiones y en general, la capacidad de la carretera. En arterias que operan cerca de su capacidad y en las que se presente un porcentaje grande de camiones, las pendientes suaves deben tomarse en cuenta para no permitir las indeseables reducciones de la velocidad. Por esas razones es recomendable, donde sea práctico, proveer pendientes suaves tomando en cuenta el adecuado drenaje longitudinal.

TIPO DE TERRENO	Máxima Pendiente (%) para la Velocidad de Diseño Especificada, KPH					
	50	60	70	80	90	100
Plano	8	7	6	6	5	5
Lomerío	9	8	7	7	6	6
Montañoso	11	10	9	9	8	8

FUENTE: AASHTO, 2004, pp. 472

Cuadro 3.18. Pendiente Máxima para Calles Arteriales

⇒ Carreteras y Calles Colectoras Rurales y Urbanas:

El Cuadro 3.19. Muestra las máximas pendientes sugeridas para carreteras colectoras en función de la velocidad y del tipo de terreno.

TIPO DE TERRENO	Máxima Pendiente (%) para la Velocidad de Diseño Especificada, KPH							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	7	7	7	7	7	6	6	5
Lomerío	10	10	9	8	8	7	7	6
Montañoso	12	11	10	10	10	9	9	8

FUENTE: AASHTO, 2004, pp. 423

Cuadro 3.19. Pendiente Máxima para Carreteras Colectoras Rurales

Las pendientes para calles colectoras urbanas deben ser tan a nivel como sea práctico, consistente con el terreno colindante. Una pendiente mínima de 0.30% es aceptable para facilitar el drenaje. No obstante, es recomendable que se utilice una pendiente de 0.50% o más. Si hay banquetas adyacentes, se recomienda una pendiente máxima de 5.0% para cumplir con los criterios aplicables como *Uniform Federal Accessibility Standards (UFAS) (8)* y otros. La pendiente en una calle urbana generalmente se diseña debajo del nivel del terreno colindante para drenar las propiedades adyacentes al área de bordillos y de éstos al sistema de drenaje de lluvia. Las pendientes máximas para calles colectoras se presentan en el Cuadro 3.20.

TIPO DE TERRENO	Máxima Pendiente (%) para la Velocidad de Diseño Especificada, KPH							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	9	9	9	9	8	7	7	6
Lomerío	12	12	11	10	9	8	8	7
Montañoso	14	13	12	12	11	10	10	9

NOTA: En longitudes cortas de pendiente en áreas urbanas, menores de 150 m, pendientes descendentes y de una sola vía, y en pendientes con bajos volúmenes de tránsito, las pendientes indicadas pueden incrementarse hasta en un 2%.

FUENTE: AASHTO, 2004, pp. 432

Cuadro 3.20. Pendiente Máxima para Calles Colectoras Urbanas

⇒ Carreteras Rurales (Locales):

El Cuadro 3.21. muestra las máximas pendientes sugeridas para carreteras rurales y/o locales, en función de la velocidad y del tipo de terreno.

TIPO DE TERRENO	Máxima Pendiente (%) para la Velocidad de Diseño Especificada, KPH								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	9	8	7	7	7	7	6	6	5
Lomerío	12	11	11	10	10	9	8	7	6
Montañoso	17	16	15	14	13	12	10	10	---

FUENTE: AASHTO, 2004, pp. 382

Cuadro 3.21. Pendiente Máxima para Carreteras Rurales (Locales)

b) Pendiente Mínima:

Es la pendiente que se fija para permitir un drenaje adecuado. En los tramos en relleno puede ser nula, efectuándose el drenaje de la carretera mediante el bombeo transversal, pero en los tramos en corte se recomienda usar 0.50%, permitiéndose, excepcionalmente, hasta 0.30%.

Frecuentemente, las cunetas laterales y las que se construyen en medianas centrales, que separan los carriles de carreteras bidireccionales de carriles múltiples, requieren pendientes más fuertes que las propias de la carretera.

c) Longitud Crítica de Pendientes de Diseño:

En sí misma, la pendiente no es control completo del diseño, ya que también se necesita considerar la longitud de una pendiente en particular en relación a la operación deseable de los vehículos.

El término **longitud crítica de pendiente** se usa para indicar la longitud máxima en la que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad más allá de un límite previamente establecido. Entonces para una pendiente dada, las longitudes menores que las críticas resultan en una operación razonable en el rango de velocidades deseables.

Para mantener la libertad deseable de operación sobre pendientes más largas que la crítica, deben hacerse ajustes al diseño, tales como cambio de alineamiento horizontal para reducir la pendiente, o la incorporación de un carril adicional. Los datos para longitud crítica de pendiente deben utilizarse con otros factores pertinentes (tales como volumen de tránsito en relación a la capacidad), para determinar donde se garantizan los carriles adicionales.

La base común para determinar la longitud crítica de pendiente es una reducción en la velocidad de los camiones debajo de la velocidad de operación. El ideal sería que todo el tránsito operara a esta velocidad, sin embargo, esto no es práctico. AASHTO recomienda en casos normales no superar los 15 KPH de reducción de velocidad para camiones en pendiente. Por razones económicas y tomando en cuenta las condiciones topográficas en Centroamérica, puede ser razonable utilizar reducciones de velocidad de 25 KPH o 40 KPH,

es decir, para una velocidad de entrada de 110 KPH, aceptar una reducción de velocidad de hasta 85 KPH o hasta 70 KPH. El Cuadro 3.22 muestra la longitud crítica en pendiente para una velocidad de entrada del orden de 110 KPH y variaciones de velocidad de 25 y 40 KPH.

PENDIENTE (P%)	LONGITUD CRÍTICA (m)	
	$\Delta V < 25$ KPH	$\Delta V < 40$ KPH
3	900	--
4	600	--
5	460	740
6	360	670
7	300	475
8	260	400
9	230	350

FUENTE: AASHTO, 2004, Exhibit 3-59. pp. 242

Cuadro 3.22. Longitud Crítica en Pendientes para $\Delta V < 25$ KPH y $\Delta V < 40$ KPH

Los valores indicados en el Cuadro 3.22 son a partir de una pendiente plana, pero estas longitudes pueden variar si la pendiente bajo estudio está precedida por una pendiente descendente, con buen alineamiento horizontal. En esos casos la reducción de velocidad a considerar se puede elevar en 10 o 15 KPH, según la magnitud y largo de la pendiente descendente, obteniéndose así la longitud crítica corregida.

d) Carriles de Ascenso:

La justificación para la construcción de un carril de ascenso en una carretera de dos carriles, debe basarse en los tres criterios siguientes:

1. La tasa de flujo del volumen horario de diseño ascendente debe ser mayor de 200 vehículos por hora.
2. La tasa de flujo, para ese mismo volumen horario de diseño del tráfico ascendente de camiones, debe ser mayor que 20 vehículos por hora.
3. Debe además concurrir una de las siguientes causales:
 - Se espera que la velocidad de un camión pesado se reduzca por lo menos en 15 kilómetros por hora.
 - En la pendiente se opera al nivel de servicio E o F, o sea a plena capacidad o cercana a ella.
 - Se experimenta una reducción de dos o más niveles de servicio, cuando el tránsito se mueve del acceso a la sección en pendiente.

La justificación de los carriles de ascenso donde se excede la longitud crítica de la pendiente debe considerarse desde el punto de vista de la capacidad vial, por lo que se recomiendan los procedimientos del Highway Capacity Ma-

nual (7) que proporciona detalles y hojas de trabajo para guiar y organizar los cálculos requeridos para analizar los causales del inciso 3 antes indicado, el cual también está disponible como software para computadoras personales, reduciendo los cálculos manuales.

Una carretera provista de un carril de ascenso no debe verse como una carretera de tres carriles, como a veces se piensa equivocadamente. El carril del extremo derecho o de ascenso es para uso exclusivo en el ascenso de los vehículos pesados y de circulación más lenta, quedando el carril central únicamente para las maniobras de adelantamiento y el movimiento del tránsito liviano, que en virtud de su mayor relación potencia/peso puede desplegar mayores velocidades durante las operaciones con pendiente longitudinal positiva. Un tercer carril para uso de los vehículos pesados es, en todo caso, funcionalmente preferible a la adición de un carril para que por ambos circulen vehículos de todo tipo durante el ascenso.

Los carriles de ascenso se diseñan de manera separada para cada sentido, de manera que resulta posible que bajo determinadas circunstancias de las condiciones del terreno, existan traslapes en los carriles de ascenso de cada lado, como en el caso de una curva vertical con fuertes pendientes en cresta, presentando la imagen de una carretera de cuatro carriles no divididos.

Si la restricción de la velocidad es inferior a los 15 kilómetros por hora, o sea que la longitud de pendiente no es crítica, debe determinarse si en la pendiente se está operando al nivel de servicio E o F. Esto se hace calculando el volumen de servicio para el nivel D y comparándolo con la tasa de flujo actual de tránsito en la pendiente. Este último se determina dividiendo el volumen de tránsito por el factor de hora pico. Si el flujo actual no supera el volumen de servicio al nivel D, no se justifica la construcción del carril de ascenso.

El punto donde debe aumentarse un carril de ascenso depende tanto de la velocidad de los camiones en la pendiente como de las restricciones que puedan existir a las distancias de visibilidad. Donde no existan restricciones de este tipo, el carril de ascenso puede construirse un tanto más adelante del inicio de la pendiente.

La reducción de la velocidad en 15 KPH, que generalmente corresponde a la variación de velocidad entre los niveles de servicio, es la base aceptada para determinar la ubicación donde comienzan los carriles de ascenso. La distancia desde el punto bajo de la pendiente hasta el punto donde las velocidades se reducen 15 KPH pueden determinarse de Cuadros como la que se muestra en la Figura 3.15, los cuales dependen de la relación peso/potencia del camión de diseño. Las distancias así determinadas pueden usarse para establecer el punto en el cual comienza el carril de ascenso. El carril de ascenso debe tener una transición al inicio de 25 a 1, pero con una longitud no menor de 50 metros.

El diseño ideal sería extender el carril de ascenso hasta un punto más allá de la cresta, donde el camión de diseño pueda alcanzar una velocidad que esté dentro de la de los 15 KPH de la velocidad de los otros vehículos, con la velocidad deseable de por lo menos 60 KPH, aproximadamente en el Nivel de Servicio D. Si esto no puede cumplirse, un punto práctico para terminar el carril adicional para que el camión puede volver al carril normal, sin peligro, es donde la distancia de visibilidad es suficiente para permitir el adelantamiento,

cuando no hay tránsito en el sentido opuesto o, preferiblemente 60 m antes de ese punto. Por ejemplo, en una carretera donde la distancia de visibilidad de adelantamiento se vuelve disponible 30 m antes de ese punto, el carril debe extenderse esos 30 m más 60 m o preferiblemente 90 m detrás de la cresta, más una longitud de transición en la relación de 50 a 1, pero no menor de 60 metros.

El carril de ascenso debe tener el ancho normal del carril de paso y construirse de forma que pueda ser reconocido de inmediato como un carril especial. La sección de los dos carriles de la carretera debe tener marcada la línea central continua, que indica la prohibición de las maniobras de adelantamiento.

3.3.2 Curvas Verticales

En términos generales existen curvas verticales en crestas o convexas y en columpio o cóncavas. Las primeras se diseñan de acuerdo a la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño. De aplicación sencilla, las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera. La configuración parabólica de estas curvas es la más frecuentemente utilizada.

En las figuras siguientes se muestran los diferentes tipos de estas curvas utilizadas en el diseño del alineamiento vertical.

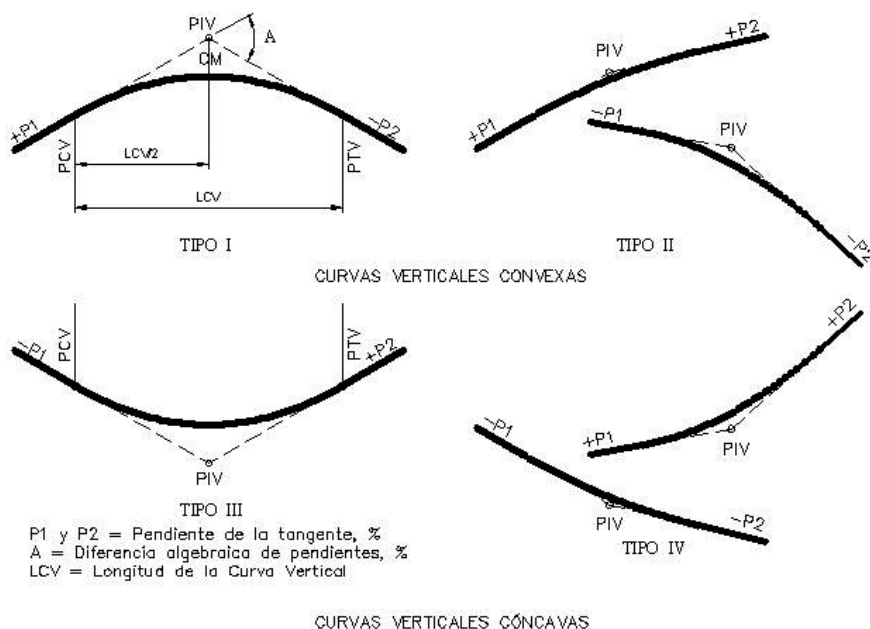


Figura 3.6. Tipos de Curvas Verticales

En el diseño del alineamiento vertical se utiliza la curva parabólica de segundo grado, simétrica. Por simplicidad, para el cálculo se utiliza un sistema referencial de coordenadas con el eje "Y" (eje de ordenadas) centrado en el PIV (Punto de

Intersección de las tangentes verticales) de dicha parábola. Puede ser apropiado utilizar curvas verticales asimétricas, en casos donde existan restricciones de diseño, por ejemplo, en rampas de intercambiadores o en ramales de intersecciones importantes, en donde no es posible el desarrollo de curvas verticales simétricas debido a restricciones de espacio.

a) Curvas Verticales en Cresta:

Las longitudes mínimas de curvas verticales en cresta que se basan en el criterio de distancias de visibilidad (S), generalmente son satisfactorias desde el punto de vista de seguridad, confort y apariencia.

Las ecuaciones básicas para calcular la longitud de una curva vertical en cresta, en términos de la diferencia algebraica de pendientes y distancia de visibilidad son:

Cuando S es menor que L:

$$L = \frac{AS^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} \quad 3-10$$

Cuando S es mayor que L:

$$L = 2S - \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A} \quad 3-11$$

Donde:

- L = Longitud de la curva vertical, m
- S = Distancia de visibilidad, m
- A = Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje
- h_1 = Altura del ojo sobre la superficie del camino, m
- h_2 = Altura del objeto sobre la superficie, m

Cuando la altura del ojo y del objeto son 1,080 mm y 600 mm, respectivamente, y se usa la **distancia de visibilidad de parada**, las ecuaciones anteriores se vuelven:

Cuando S es menor que L:

$$L = \frac{AS^2}{658} \quad 3-12$$

Cuando S es mayor que L:

$$L = 2S - \frac{658}{A} \quad 3-13$$

Cuando la altura del ojo y del objeto son 1,080 mm y 1,080 mm, respectivamente, y se usa la **distancia de visibilidad de adelantamiento**, las ecuaciones anteriores se vuelven:

Cuando S es menor que L:

$$L = \frac{AS^2}{864} \quad 3-14$$

Cuando S es mayor que L:

$$L = 2S - \frac{864}{A}$$

3-15

Tomando en cuenta que la distancia de visibilidad es constante para una velocidad dada, se puede expresar la longitud de la curva vertical en función de su constante K, expresándose entonces $L = KA$, o de otra forma, $K = L/A$. Los Cuadros 3.23 y 3.24 muestran los valores calculados para K.

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de Curvatura Vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7
60	85	11.0	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26
90	160	38.9	39
100	185	52.0	52
110	220	73.6	74
120	250	95.0	95

K = Longitud (m) por porcentaje de A

Cuadro 3.23. Control de Diseño para Curva Vertical en Cresta para Distancia de Visibilidad de Parada

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (m)	Tasa de Curvatura Vertical, K
		Para Diseño
30	200	46
40	270	84
50	345	138
60	410	195
70	485	272
80	540	338
90	615	438
100	670	520
110	730	617
120	775	695

K = Longitud (m) por porcentaje de A

Cuadro 3.24. Control de Diseño para Curva Vertical en Cresta para Distancia de Visibilidad de Adelantamiento

Generalmente, no es práctico diseñar curvas verticales en cresta para proveer distancia de visibilidad de adelantamiento, debido a los altos costos que puede involucrar y la dificultad de acomodar las largas curvas verticales resultantes al terreno natural, especialmente en carreteras de alta velocidad.

b) Curvas Verticales Cóncavas o en Columpio:

Se han identificado los siguientes cuatro criterios para usarse en el cálculo de las longitudes de curvas cóncavas o en columpio:

- El primero se basa en la distancia iluminada por los faros delanteros del vehículo.
- El siguiente toma en cuenta básicamente una sensación subjetiva de comodidad en la conducción, cuando el vehículo cambia de dirección en el alineamiento vertical.
- El tercero considera requerimientos de drenaje.
- El último se basa en consideraciones estéticas.

Se presentan dos casos a considerar en el primer criterio, dependiendo si la distancia iluminada por los faros del vehículo es mayor o no que la longitud de la curva. Cuando la longitud de curva, L , es menor que la distancia de visibilidad iluminada, S , se utiliza la fórmula que sigue:

$$L = \frac{AS^2}{120+3.5 S} \quad 3.16$$

Donde:

L = Longitud de curva vertical en columpio, m

S = Distancia de visibilidad iluminada por los faros del vehículo,

m

A = Diferencia algebraica entre pendientes de la curva, %

Cuando S es mayor que L , la fórmula utilizada es la siguiente:

$$L = 2S - \left(\frac{120+3.5 S}{A} \right) \quad 3.17$$

Estos términos tienen igual significado que los anteriores.

Se considera una altura de los faros de 0.6 metros y un ángulo de 1° de divergencia de los rayos de luz. En el desarrollo de las fórmulas de este criterio y para su aplicación en diseño, se recomienda utilizar los rangos de distancias de visibilidad de parada, que sean aproximadamente iguales a la distancia iluminada por los faros de los vehículos cuando viajan a la velocidad de diseño.

El segundo criterio basado en la comodidad, tiene su fundamento en la suspensión de la carrocería de los vehículos, el peso que mueve, la flexibilidad de las llantas, los tipos de asientos, entre otros. Se reconoce que la operación confortable de vehículos en curvas en columpio, se logra cuando la aceleración centrífuga alcanza $0.3m/seg^2$, que incorporado a la fórmula de diseño, resulta:

$$L = \frac{AV^2}{395} \quad 3.18$$

El significado de los componentes de esta ecuación es igual a los utilizados con anterioridad. Las longitudes de curvas calculadas utilizando este criterio equivalen al 50% de los correspondientes a la modalidad anterior.

El tercer criterio persigue la satisfacción de las necesidades del drenaje en las curvas en columpio. Un criterio recomendado para el diseño consiste en dotar una pendiente de 0.3 por ciento dentro de los 15 metros del punto a nivel del terreno. Sus resultados son muy similares a los obtenidos de la fórmula $L = KG$, cuando $K = 51$ y la velocidad de diseño es de 100 kilómetros por hora.

Hay que aclarar que las longitudes calculadas para efecto de drenaje son máximas hasta 100 kilómetros por hora y no mínimas, como en los demás criterio de diseño de curvas verticales. Después de 100 hasta 120 Kilómetros por hora, las longitudes son mínimas, al igual que los otros criterios.

Cuando se trata de tomar en cuenta aspectos de estética en estas curvas, existe la fórmula empírica $L = 30 \cdot A$, siendo L la longitud mínima y A la diferencia algebraica de pendientes. Los resultados obtenidos son similares a los que corresponden al criterio de la distancia iluminada por los faros de vehículos para velocidades de 70 – 80 kilómetros por hora.

En atención a la diferencia de longitudes de curva que se obtienen aplicando los criterios mencionados, se recomienda diseñar curvas verticales en columpio utilizando el primer criterio descrito, dando especial consideración al drenaje cuando K es mayor de 51.

De igual manera en que fueron calculados los valores de diseño de las curvas en cresta, también es conveniente expresar los controles de diseño de las curvas en columpio en términos de K para todos los valores de A . Con estas bases se ha preparado el Cuadro 3.25 que se muestra a continuación.

Se reconoce que pequeñas diferencias algebraicas de pendientes pueden resultar en longitudes de curvas cortas, por cuya razón se utiliza como criterio para calcular la **longitud mínima de curva vertical**, en cresta o cóncavas, asignarles el valor absoluto de la Velocidad.

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de Curvatura Vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	65	12.2	13
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30
90	160	37.6	38
100	185	44.6	45
110	220	54.4	55
120	250	62.8	63

K = Longitud (m) por porcentaje de A

Cuadro 3.25. Control de Diseño para Curva Vertical Cóncava o en Columpio

3.3.3 Algunos Criterios para el Diseño del Alineamiento Vertical

La AASHTO presenta algunos consejos valiosos en torno al diseño del alineamiento vertical, de donde cabe entresacar algunos por su relevancia para la práctica vial centroamericana:

- Las curvas verticales en columpio deben evitarse en secciones en corte, a menos que existan facilidades para las soluciones de drenaje.
- En pendientes largas, puede ser preferible colocar las pendientes mayores al pie de la pendiente y aliviarlas hacia el final o, alternativamente, intercalar pendientes suaves por cortas distancias para facilitar el ascenso.
- En tangente, deberían generalmente evitarse, particularmente en curvas en columpio donde la visión de la carretera puede ser desagradable al usuario.
- Los alineamientos ondulados, que involucran longitudes sustanciales de pendientes que generan momentum, pueden ser indeseables en el caso de vehículos pesados que pueden incrementar excesivamente su velocidad, sobre todo cuando una pendiente positiva adelante no contribuye a la moderación de dicha velocidad.
- Hay que evitar el "efecto de montaña rusa", que ocurre en alineamientos relativamente rectos, donde el perfil longitudinal de la rasante se ajusta a las suaves irregularidades de un terreno ligeramente ondulado.

3.4 DERECHO DE VÍA

El derecho de vía es la franja de terreno que adquiere el dueño de una carretera, normalmente el Estado, para la construcción de la misma, incluyendo dentro de sus límites el diseño balanceado de la(s) calzada(s) con sus carriles proyectados, los hombros interiores y exteriores, las medianas y todos los demás elementos que conforman normalmente la sección transversal típica de este tipo de instalaciones, conforme su clasificación funcional.

No obstante la conveniencia de contar con una franja de terreno de ancho uniforme para cada tipo de carretera, en la práctica dicha franja es variable y determinada ad-hoc en función de cada proyecto en particular. Lo cierto es que se requieren ampliaciones cuando el pie de los taludes excede los límites normales de la franja de terreno, cuando se desea diseñar para mayores distancias de visibilidad, cuando se aplican determinadas exigencias para aislar el ruido y otros contaminantes ambientales y, finalmente, en las intersecciones con otras carreteras que de por sí pueden plantear exigencias considerables de espacio físico, como en el caso de la construcción de intercambios o distribuidores de tránsito, que ocupan una o varias hectáreas según el diseño geométrico que se seleccione.

La determinación del ancho del derecho de vía de una carretera conlleva, por consiguiente, la determinación del ancho óptimo de los componentes de la sección transversal típica que, para el término del período de diseño de alrededor de veinte años, se requiere acomodar con la amplitud necesaria y suficiente dentro de la franja de terreno adquirida para la obra vial y sus detalles conexos. Esta es la opción para determinar el ancho de derecho de vía que podría calificarse como mínima, por corresponder a soluciones desarrolladas en condiciones restrictivas, como sucedería en zonas urbanas y suburbanas donde el valor del suelo es

elevado, como también es elevado el costo de las propiedades colindantes que se precisa expropiar. En casos extremos de esa naturaleza, se llega en ocasiones a sacrificar el diseño y optar por soluciones de dimensiones restringidas a un mínimo funcional y de sentido práctico, donde lo primero que se limita son los anchos de hombros y las dimensiones de la mediana o franja divisoria central.

Pensando quizá en probables ampliaciones a futuro o como factor de seguridad ante desarrollos imprevistos, se ha optado en muchos casos por generosas provisiones de derecho de vía, sobre todo donde el valor del suelo es bajo o alcanza niveles razonables, pero se combina con un sensible potencial de la zona de influencia de la carretera para el desarrollo a largo plazo, en magnitudes que en un momento dado parecen incalculables. Estas disponibilidades adicionales, propias de la opción ampliada - por oposición a la opción mínima, arriba citada - , se convierten al inicio en efectivas aportaciones al ornato, para más adelante contribuir a la solución de problemas de circulación que se vuelven agudos cuando prevalece la estrechez en el espacio disponible. En este sentido, una mediana de gran amplitud puede constituir una reserva para futuros carriles, así como igualmente podrán utilizarse para el mismo propósito las franjas laterales, previstas inicialmente para separar de la pista principal, las calles marginales o laterales, aunque se prefiera la primera opción sobre la segunda.

No se desconoce, sin embargo, el peligro que entraña en Centroamérica la ocupación o invasión de los derechos de vía que permanecen sin utilización durante largos años, pues a mayor tiempo de ocupación se torna más difícil el desalojo. Cuando se desea más tarde continuar con la fase de ampliación planificada o prevista. La única alternativa para enfrentar este problema, es la continua vigilancia de las autoridades responsables del mantenimiento de las carreteras, que deben estar dispuestas a actuar en el marco de lo que la ley y el derecho les señalan.

En la planificación del desarrollo vial, es usual que en los planes maestros de desarrollo urbano de las ciudades, áreas y regiones metropolitanas principales de Centroamérica, se proyecten los derechos de vía del sistema de circulación, con una visión sistémica de las necesidades de movilidad de las personas en el medio urbano y suburbano, que asume una clasificación funcional de los diferentes componentes del sistema, supuestos a complementarse unos con otros. La visión de la ciudad que concibe el planificador urbano y su equipo es la que recoge la propuesta, misma que deber ser revisada a períodos regulares para confirmar las hipótesis de trabajo o introducirle los ajustes pertinentes. Visión de futuro es la que condujo a la ciudad de Guatemala a construir desde principios del siglo pasado el paseo de la Reforma, por ejemplo, concebido para el movimiento de carruajes, el paseo a caballo y a pié, paseo que hoy mismo ha sido transformado, sin perder aún parte de su belleza y colorido, para el movimiento masivo del tránsito por las pistas centrales de tres carriles y por las pistas laterales, estas últimas de ancho suficiente para concentrar con preferencia el movimiento del transporte colectivo en autobuses.

En lo relativo a las carreteras rurales, es usual que los países de la región establezcan a priori, mediante disposiciones legales a veces de vieja data, los anchos de que debe disponer el derecho de vía de las diferentes carreteras, haciendo abstracción del obligado ejercicio de análisis de oferta-demanda que precede a todo nuevo diseño o mejoramiento.

Bastante ilustrativo es el caso de la Ley de Derecho de Vía de Nicaragua,

Decreto No. 46 de 10 de septiembre de 1956⁴, que clasifica a las carreteras en internacionales, interoceánicas, interdepartamentales y vecinales, reservando para las dos primeras categorías un ancho de derecho de vía de 40 metros y limitando a 20 metros el ancho de la franja correspondiente a los carreteras interdepartamentales y vecinales. Sorprendentemente y por reformas introducidas en el Decreto No. 956 del 18 de junio de 1964⁵, se dispuso reducir a 20 metros - en lugar de 40 metros - el derecho de vía de la carretera internacional conocida como Interamericana, el tramo comprendido entre Tipitapa y Nandaime, pasando por Managua, justamente donde ahora los elevados volúmenes de tránsito y sus expectativas de crecimiento a mediano y largo plazo, apuntan a exigencias mucho mayores de 40 metros para el ancho de la franja de derecho de vía requerida⁶.

A manera de ilustración, cabe destacar que para carreteras de la clase A, con volúmenes de diseño de más de 12,000 TPDA, el ancho mínimo del derecho de vía en Costa Rica se sitúa en los 60 metros. Cuando los volúmenes de tránsito están comprendidos entre 6,000 y 12,000 TPDA, se recomienda la adquisición de una franja de terreno entre 30 y 60 metros de ancho para las condiciones mínimas y recomendables, en tanto que para volúmenes de 2,000 a 6,000 TPDA el rango correspondiente oscila entre 30 y 50 metros. Para volúmenes mayores de 400 TPDA y menores de 2,000 TPDA, la franja de derecho de vía se ubica entre los 25 y los 40 metros de ancho.

La provisión de derecho de vía para las carreteras es considerablemente más holgada en Honduras, donde las carreteras denominadas especiales, previstas para atender más de 3,000 vehículos promedio por día, disponen de un ancho de 60 metros, disminuyendo dicha disponibilidad hasta 50 y 30 metros según que los volúmenes de diseño sean mayores de 1,000 y 500 vehículos por día promedio, respectivamente.

De las ilustraciones anteriores se puede apreciar que el ancho de la franja del derecho de vía en Centroamérica varía desde un límite inferior de 20 metros, hasta un máximo de 60 metros, excluyendo desde luego de ese tratamiento por sus particulares requisitos, a las autopistas de todo tipo.

Para las carreteras colectoras, ubicadas en el rango inferior de la clasificación funcional de la red de carreteras, se considera suficiente disponer de un derecho de vía de 20.0 metros de ancho, que puede ampliarse hasta 30.0 metros de ancho para disponer de una solución más holgada. Esta franja deberá ampliarse según se requiera para acomodarse a requerimientos especiales del diseño o para facilitar el diseño de las intersecciones con otras vías de similares o mayores exigencias. Las carreteras colectoras están provistas de una calzada de dos carriles, que drenan hacia los lados a partir de la línea central, excepto cuando debido a la sobreelevación requerida por el alineamiento en curva, deben drenar hacia un solo lado. A los 6.6 o 7.2 metros del ancho recomendado de la calzada, se suman hombros que varían de 1.2 a 1.5 metros, para un ancho de corona que varía de 7.8 metros hasta 8.7 metros. Dentro de los 20.0 metros del derecho de vía de las carreteras colectoras hay ancho suficiente, en el caso de terrenos planos o ligeramente ondulados, para el drenaje longitudinal, la instalación de dispositivos

4 Publicado en el diario oficial La Gaceta, del 29 de septiembre de 1956.

5 Publicación oficial del 22 de junio de 1964.

6 Como una anotación al margen, vale destacar que la Ley de Derecho de Vía de Nicaragua apunta en su Artículo 7 que “dentro del derecho de vía de la carretera queda prohibida la colocación de toda clase de avisos comerciales, de propaganda o de cualquier índole”, exceptuando lógicamente de estas restricciones los avisos y demás señales que regulan el tránsito.

para el control del tránsito, la construcción de instalaciones de servicio público y, de manera especial, para proveer taludes suaves que sirvan como zona despejada para facilitar la maniobra de recuperación de los vehículos fuera de curso. A mayor altura del corte o profundidad del terraplén, menor será la disponibilidad de área para operar como zona despejada.

Para las carreteras arteriales y colectoras del sistema Centroamericano, el ancho recomendable del derecho de vía se incrementa hasta los 40.0 metros, con un óptimo recomendable por exceso de 50.0 metros. Con una mediana que puede alcanzar de 6 a 10 metros, según se trate de la alternativa rural o suburbana, pero que será suficiente para la construcción de carriles de giro a izquierda o la realización de maniobras de retorno, habrá dentro de la franja de terreno disponible, espacio suficiente para la construcción de dos calzadas paralelas de 7.2 metros de ancho cada una, con dos carriles por sentido, hombros exteriores de 2.5 metros de ancho y hombros interiores de 1.5 metros, quedando espacio suficiente para acomodar una zona despejada de suficiente amplitud para la recuperación de vehículos extraviados, además de servir las otras funciones mencionadas al final del párrafo inmediato anterior. Puede ampliarse la calzada de dos a tres carriles, sacrificando parte de la mediana de 10.0 metros de ancho, que quedaría reducida a 2.8 metros o construyendo los carriles adicionales del lado exterior de cada calzada, para dejar en su función la mediana reducida de 6.0 metros de ancho.

En algunas soluciones, ha sido conveniente y posible ampliar el derecho de vía para construir calles marginales, particularmente en las áreas suburbanas, donde se prefiere separar el tránsito de paso del tránsito local. Las calles marginales se utilizan para recoger y distribuir el tránsito de y hacia las propiedades colindantes, proporcionar estacionamiento en la vía y servir a las comunidades vecinas, liberando a la vía principal de las alteraciones generadas por el movimiento local. Sin embargo, también se reconoce que algunas veces la calle marginal puede construirse dentro de su propio derecho de vía, afectando la disponibilidad de espacio físico para la arteria principal. Cuando los cruces son separados de nivel de la vía principal y se cuenta además con calles marginales, se tiene en principio las condiciones para una vía expresa con control parcial en los accesos, o más bien una autopista.

Donde se enfrenten mayores problemas en la adquisición del derecho de vía para la construcción de una carretera arterial o troncal, todavía es posible reducir razonablemente las exigencias de diseño y aceptar una franja de 30.0 metros de ancho. La zona despejada se estrecha de forma sensible en esta solución, razón por la cual habrá que hacer consideraciones particulares según lo requiera el diseño del drenaje longitudinal de la vía, que puede tornarse crítico en las áreas suburbanas.

3.5 ALUMBRADO PÚBLICO DE LAS VÍAS E INTERSECCIONES

La información estadística disponible, que demuestra que la tasa de accidentes de tránsito durante la conducción nocturna es significativamente mayor y más severa que la ocurrida durante el día, debido a las limitadas condiciones de visibilidad, es una clara demostración de que debe realizarse cualquier esfuerzo posible para mejorar la seguridad mediante el alumbrado público de las calles y las carreteras. Existe un consenso general de que las carreteras rurales no pueden disponer de alumbrado, excepto en secciones críticas como intercambios, intersecciones importantes, túneles y puentes de cierta longitud. En las autopistas, donde no circulan peatones ni existen interferencias por intersecciones a nivel,

los requisitos de alumbrado varían en comparación con las arterias urbanas y suburbanas, carentes de controles y con presencia importante de peatones. La utilización del documento de la AASHTO, An Informational Guide por Roadway Lighting⁷, puede proporcionar valioso auxilio para la selección de las secciones de autopistas, arterias y calles que deben gozar de alumbrado público, presentando incluso valores guía para el diseño de las instalaciones.

En las carreteras divididas, el alumbrado normal puede instalarse tanto en la mediana como a la margen derecha. A la derecha, favorece el alumbrado en el carril más utilizado.

3.6 LA UTILIZACIÓN DE DISPOSITIVOS UNIFORMES PARA EL CONTROL DE TRÁNSITO EN CENTROAMÉRICA Y PANAMÁ

Parte integral del diseño de una carretera, que el diseñador debe tener en atenta consideración durante todo el proceso de concepción y desarrollo del proyecto, son las señales, las marcas, los semáforos y demás dispositivos para el control de las operaciones del tránsito. La extensión de la cobertura de estos dispositivos depende de los volúmenes de tránsito, de la clasificación de la carretera y del grado de control exigido para una eficiente y segura operación del movimiento vehicular y peatonal.

Uniformes en su diseño y dimensiones, son de rigor las señales acostumbradas, sean estas reglamentarias, esto es dispuestas a notificar las normas de cumplimiento obligatorio en la circulación del tránsito; de advertencia, para advertir al conductor sobre posibles condiciones adversas en la vía; e informativas, para suministrar información necesaria y dirigir el tránsito por las rutas apropiadas hasta destino seguro.

Mayor atención está cobrando cada vez la necesidad de diseñar sistemas de señales para garantizar el movimiento seguro del tránsito durante la fase de construcción de proyectos, particularmente si no resulta posible la construcción de desvíos para expeditar las actividades en la obra. El desarrollo de planes para el control del tránsito se convierte en una actividad esencial del contratista, tan esencial como la ejecución de las obras mismas. La presencia de obstáculos y desvíos parciales debe ser advertida con antelación en forma repetida, conduciendo con señales apropiadas a los conductores por los lugares autorizados de paso, sin mayores dilaciones.

Todos los dispositivos de control del tránsito deben diseñarse y colocarse de conformidad con la normativa legalmente vigente en la región centroamericana

3.7 PROPAGANDA A LO LARGO DE LAS CARRETERAS E INTERSECCIONES

Como norma general, bajo ninguna circunstancia debe permitirse que dentro del derecho de vía de una carretera, sean colocados anuncios publicitarios de carácter comercial o de otra índole, que no corresponda a la información que debe llegar, en forma clara y expedita, al conductor en la forma de señales verticales, marcas en el pavimento y dispositivos aprobados para el control del tránsito. Las leyes de tránsito y de derecho de vía deben dejar expresamente asentada esta prohibición.

Inevitable es que fuera de los linderos del derecho de vía se contamine la visión

⁷ Publicado en Washington, DC, 1984

del paisaje circundante, con bosques de anuncios comerciales de todo tipo, entre los cuales no es posible distinguir aquellos que llenan una función informativa positiva para los usuarios, como la localización de hoteles y centros de servicio, de aquellos otros que promueven con gran despliegue el consumo de bebidas, cigarrillos, marcas determinadas de alimentos y productos varios.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Fambro, D. B. K. Fitzpatrick, and R. J. Koppa. *Determination of Stopping Sight Distances*, NCHRP Report 400, Washington, D.C.: Transportation Research Board, 1997.
2. Harwood, D. W., J. M. Mason, R. E. Brydia, M. T. Pietrucha, and G. L. Gittings. *Intersection Sight Distance*, NCHRP Report 383, Washington, D.C.: Transportation Research Board, 1996
3. MacAdam, C. C., P.S. Fancher, y L. Segal (University of Michigan Transportation Research Institute). "Side Friction for Superelevation on Horizontal Curves". Report No.FHWA-RD-86-04. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
4. AASHTO. *A Guide for Achieving Flexibility in Highway Design*. American Association of State Highways and Transportation Officials. Washington, DC, 2004
5. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. American Association of State Highways and Transportation Officials, 2004.
6. *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales*. Secretaría de Integración Económica Centroamericana. SIECA. 2ª. Edición, 2004
7. Transportation Research Board. *Highway Capacity Manual*, Special Report No.209. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2000 o la edición más reciente.
8. UFAS. *Uniform Federal Accessibility Standards*, most current edition.

Capítulo 4

CAPÍTULO IV ELEMENTOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

La Sección Transversal de una carretera o calle en área urbana, muestra sus características geométricas, según un plano normal vertical a la superficie que contiene el eje de la carretera o calle. Dicha sección transversal varía de un punto a otro de la carretera ya que resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones dependen de las funciones que cumplen y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados. Las Figura 4.1(a) y 4.1(b) muestran los elementos fundamentales que normalmente se incluyen en una carretera: plataforma o corona, cunetas, taludes, etc.

En este capítulo se describen los distintos elementos de la sección transversal. Si es procedente, se especifican sus dimensiones e inclinaciones en función de las variables de las cuales ellas dependen.

El diseño estructural del pavimento, de los taludes, de las cunetas, obras de contención de tierras y otras estructuras especiales, aunque determinantes en la sección transversal de la carretera, son objeto de otras guías de diseño, por lo que aquí solo serán expuestos aquellos aspectos de su geometría que tienen que ver con la coherencia del presente capítulo.

4.1 Plataforma o Corona

Se le llama “plataforma” o “corona” a la superficie visible de una carretera o calle que queda comprendida entre las aristas del relleno y/o las interiores de las cunetas. El ancho de la corona, como se muestra en la Figura 4.1, comprende la rasante, la pendiente transversal, el ancho de la calzada, los hombros, el sobre ancho del hombro en relleno, las aceras o banquetas y la mediana, en caso de que ésta última forme parte de la sección transversal.

Hay casos especiales que se presentan cuando se trata de una carretera bidireccional, con calzadas separadas, en donde la carretera tendrá dos plataformas o coronas independientes, así como en las carreteras sin pavimentar, en donde la calzada y sobrecanchos en curvas forman un todo que no se puede diferenciar a simple vista.

Como la plataforma o corona es la superficie visible, también puede contener algunos elementos que se consideran auxiliares, como bordillos, defensas o barreras de contención, señalización e iluminación.

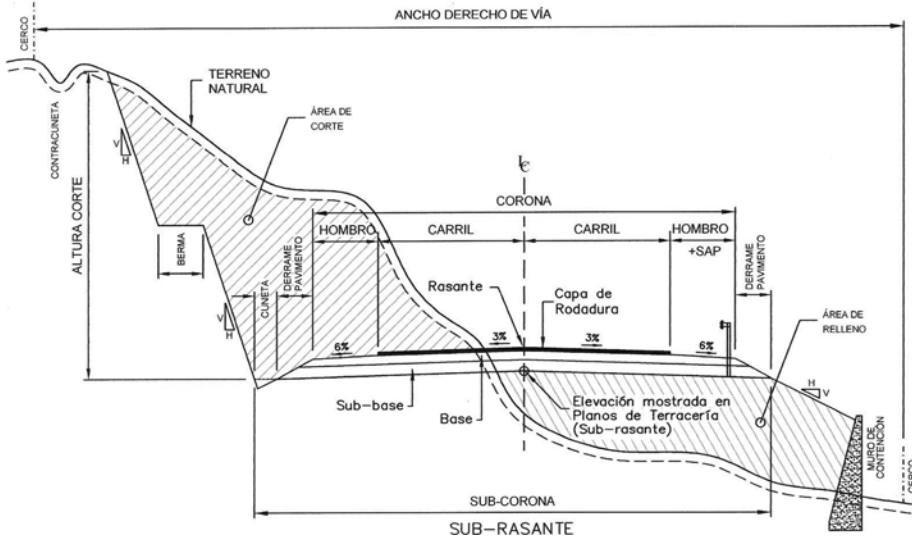


Figura 4.1(a). SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA EN TANGENTE EN CARRETERA EN DOS DIRECCIONES

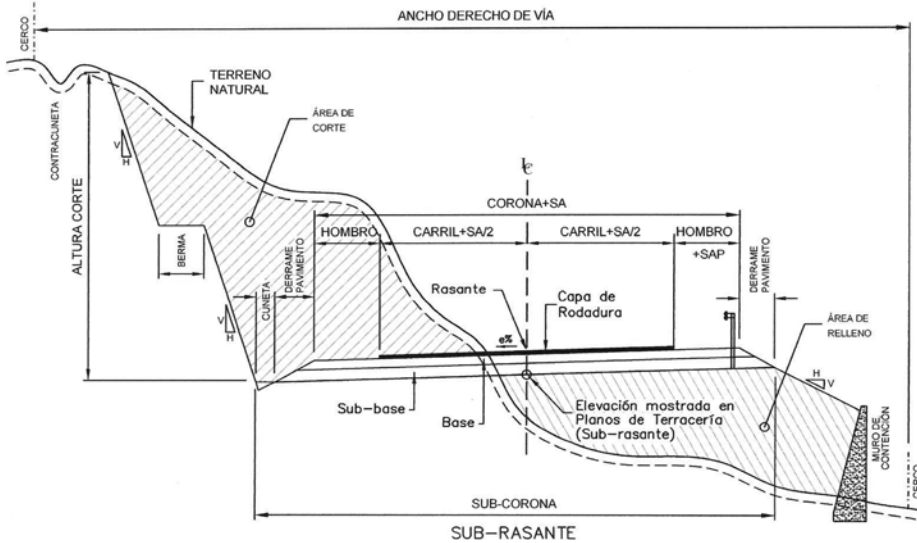


Figura 4.1(b). SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA EN CURVA EN CARRETERA EN DOS DIRECCIONES

4.1.1 Rasante:

Es la elevación del pavimento en el eje o línea central en carreteras bidireccionales; al proyectar sobre un plano vertical sus distintas elevaciones, se obtendrá el desarrollo de la plataforma o corona del camino, el cual estará formado por pendientes, ascendentes o descendentes y curvas verticales que las enlazan. En la sección transversal está representada por un punto.

4.1.2 Pendiente Transversal:

Es la pendiente que se le da a la calzada en dirección perpendicular al eje de la carretera. Se identifican tres casos:

- a) **Bombeo Normal:** Es la pendiente que se le da a la plataforma o corona en las tangentes del alineamiento horizontal con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente para que el conductor no experimente incomodidad o inseguridad. El bombeo depende del tipo de superficie de rodadura, en el Cuadro 4.1 se presentan los rangos recomendables.

Tipo de Superficie	Rango de Pendiente Transversal
Alto	1.5-2.0
Bajo	2.0-6.0

FUENTE: AASHTO-2004, pp. 310

Cuadro 4.1. BOMBEO NORMAL DE LA CALZADA

Los pavimentos de tipo alto son aquellos que mantienen superficies lisas y propiedades antideslizantes en todo tipo de clima, y que sometidos a cargas de altos volúmenes de tráfico pesado, requieren poco mantenimiento.

Los pavimentos de tipo bajo son los que están formados por superficies de terracería, sin tratar o tratadas mediante la inclusión de agregados pétreos.

- b) **Peralte o Sobreelevación:** Es la inclinación que se le da a la corona de una carretera en los tramos en curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrípeta que actúa sobre un vehículo en movimiento.
- c) **Transición del Bombeo al Peralte:** Al pasar de un tramo en tangente a otro en curva, se requiere cambiar la pendiente de la corona, desde el bombeo en la tangente hasta el peralte que le corresponda a la curva horizontal. Este cambio se efectúa en dos distancias:
 - i. **Distancia de Bombeo:** En esta distancia se hace girar el carril contrario al sentido de la curva desde el bombeo seleccionado para la tangente hasta 0%.

- ii. **Distancia de Transición:** Esta distancia puede ser la longitud de transición del peralte en alineamiento del tipo tangente-curva-tangente, o la longitud de espiral en el alineamiento del tipo espiral-curva-espiral. En esta distancia se continúa girando el carril contrario al sentido de la curva, desde 0%, hasta ser colineal con el otro carril, aplicándose luego el giro a toda la sección hasta alcanzar el peralte correspondiente a la curva circular.

Estos giros se aplican al eje de la corona, siendo este el método más conveniente porque se requieren menores longitudes de transición y los desniveles relativos de los hombros son uniformes, lo cual no sucede cuando el giro se aplica sobre la orilla interior o sobre la orilla exterior de la corona.

En calzadas separadas, la transición del bombeo al peralte puede hacerse mediante varios métodos como se muestran en la Figura 4.2

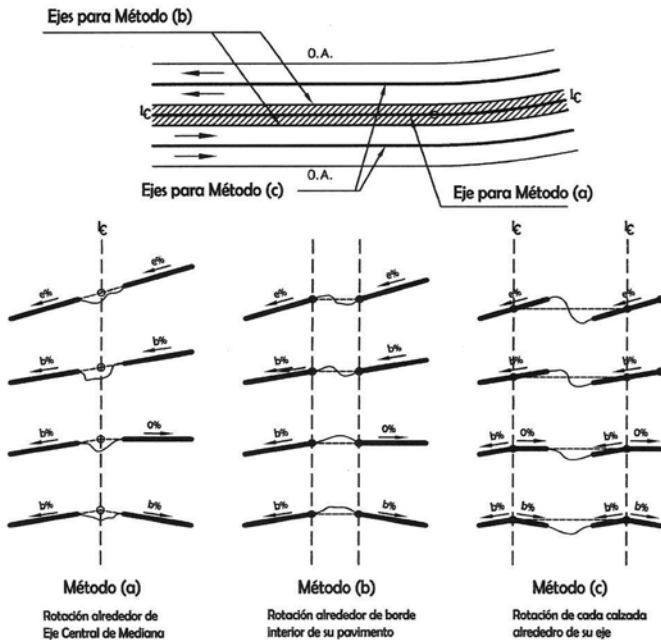


Figura 4.2. TRANSICIÓN DEL PERALTE PARA CALZADAS SEPARADAS

4.1.3 Ancho de Calzada:

Es el ancho de la superficie sobre la cual circula un cierto tránsito vehicular, permitiendo el desplazamiento cómodo y seguro del mismo. Divididas o no, las carreteras pueden estar formadas por dos o más carriles de circulación por sentido. Excepcionalmente pueden ser de un solo carril para la circulación en ambos sentidos, con bahías o refugios estratégicamente ubicados a lo largo de la carretera, para permitir las operaciones de adelantamiento o el encuentro seguro de dos vehículos en sentidos opuestos.

El carril es la unidad de medida transversal, para la circulación de una sola fila de vehículos, siendo el ancho de calzada la sumatoria del ancho de los carriles.

Ninguna otra característica de la carretera tiene mayor influencia sobre la seguridad y el confort de la conducción que el ancho del carril y la condición de la superficie. Es obvia la necesidad de que la calzada esté construida con una superficie uniforme, resistente al patinaje, para toda condición ambiental sobre la carretera. En cuanto al ancho de carril, se usan generalmente valores entre 2.75 m a 3.60 m, con un ancho de carril predominante de 3.60 m en la mayoría de carreteras principales. El ancho de 3.60 m provee la separación deseable entre vehículos comerciales viajando en direcciones opuestas en carreteras bidireccionales cuando se espera que circulen altos volúmenes de tráfico y especialmente altos porcentajes de vehículos comerciales.

Por información presentada en el Highway Capacity Manual (11) se demuestra que existe relación entre el ancho de carril, el ancho utilizable de hombros y las obstrucciones laterales y la capacidad de las carreteras.

En este Manual, se considera que el ancho de carril de 3.60 m es el deseable en carreteras rurales y urbanas, porque una carretera de dos carriles con 7.20 m de ancho de calzada ofrece las condiciones óptimas para la circulación, reconociéndose que pueden utilizarse anchos menores. Cuando haya restricciones por el derecho de vía, el carril de 3.30 m se considerará recomendable; en tanto que el carril de 3.0 m de ancho es aceptable únicamente en el caso de calles o carreteras diseñadas para baja velocidad y bajo volumen de tránsito. Se admite el uso de carriles de 3.30 metros en la parte interior de autopistas y hasta 3.90 metros en los carriles exteriores, para permitir más comodidad y seguridad a los vehículos lentos y a las bicicletas. En el diseño de carriles contiguos y de doble sentido de circulación, en el centro de la sección transversal para facilitar los giros a izquierda, los anchos recomendables varían entre 3.00 y 4.80 metros.

Los carriles de aceleración y desaceleración, al igual que los carriles adicionales para ascensos y descensos, determinados por el alineamiento vertical de las carreteras con porcentajes significativos de vehículos pesados en la corriente del tránsito y bajas velocidades, deberán disponer de un ancho mínimo de 3.30 metros.

4.1.4 Hombros o Espaldones:

Los hombros o espaldones, son las áreas de la carretera contigua a los carriles de circulación, y que tienen su justificación en:

- i. La necesidad de proveer espacios para acomodar los vehículos que ocasionalmente sufren desperfectos durante su recorrido, ya que sin los hombros, los vehículos en problemas se ven obligados a invadir los carriles de circulación, con riesgos para la seguridad del tránsito.
- ii. Proporcionan estabilidad estructural al pavimento de los carriles de circulación vehicular, mediante el confinamiento y protección adicional contra la humedad y posibles erosiones.
- iii. Para permitir los movimientos peatonales y de bicicletas en ciertas áreas donde la demanda lo justifique.
- iv. Proporcionan espacio libre para la instalación de señales verticales de tránsito.

- v. Proporcionan seguridad al usuario de la carretera al tener a su disposición un ancho adicional, fuera de la calzada, para eludir accidentes potenciales o reducir su severidad.

Es muy importante que el hombro tenga una apariencia tal que invite a usarlo en las emergencias, en todas las condiciones del tiempo; debe ser tan parejo en su superficie, que permita la desaceleración del vehículo sin peligro, pero no debe provocar el deseo de usarlo como carril de circulación porque se anularía su utilidad como refugio en situaciones de emergencia.

Donde haya que acomodar ciclistas, es aconsejable ampliar los hombros a 1.20 metros de ancho mínimo. Para las carreteras colectoras del sistema vial Centroamericano, este mínimo se puede ampliar a 1.60 metros.

Puesto que por otra parte es recomendable que un vehículo estacionado o en reparación despeje el carril exterior a una distancia comprendida entre 0.30 y 0.60 metros, se ha recomendado que el hombro exterior alcance una sección de 3.00 metros en las autopistas arteriales, para dar refugio a un vehículo pesado de 2.60 metros de ancho, reduciéndose a 2.50 metros dicho requerimiento, si el propósito es proteger un automóvil cuyo ancho de diseño es de 2.10 metros.

Los hombros deben ser revestidos para proporcionar un mejor soporte a la calzada y redondeados en el borde exterior. El revestimiento puede ser de grava, de material estabilizado químicamente o consistir en un tratamiento superficial bituminoso, una mezcla asfáltica o un concreto hidráulico, según las características de la carretera y las demandas del tránsito.

Dentro de la práctica corriente de diseño de los hombros, debe considerarse una pendiente máxima transversal del 6 por ciento dependiendo de la pluviosidad del lugar, empezando con un mínimo de 2 por ciento. Por tipo de superficie, los hombros pueden tener pendientes transversales de 2 al 6 por ciento cuando se trata de hombros asfaltados o con concreto hidráulico, de 4 a 6 por ciento en hombros revestidos de grava y de 6 a 8 por ciento en hombros engramados. En curvas horizontales con sobreelevación, predomina el porcentaje de sobreelevación de la calzada. En las obras de arte no deberá variarse esta disposición.

Tipo de Carretera		Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Hombros (m)		Ancho de Aceras (m)
				Internos	Externos	
AA	Autopista	Controlado	Alto	1.0 – 1.5	2.5 - 3.0	
AR	Arterial Rural	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 – 3.0	2.0
AU	Arterial Urbana	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 – 3.0	2.0
AMR	Arterial Menor Rural	-	Alto	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
AMU	Arterial Menor Urbana	-	Alto	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
CMR	Colector Mayor Rural	Controlado	Alto	1.0 -1.5	2.5 – 3.0	1.2 – 2.0
CMU	Colector Mayor Urbana	-	Alto	0.5 – 1.0*	1.2 - 1.8	1.2 – 1.5
CR	Colectoras Menor Rural	-	Intermedio	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
CS	Colectoras Menor Urbana	-	Intermedio	-	1.2 – 1.6	1.0 – 1.2
LR	Local Rural	-	Intermedio	-	0.75-1.6	1.0 – 1.2
LU	Local Urbano	-	Intermedio	-	0.75-1.6	1.0 – 1.2
R	Rural	-	Bajo	-	-	-

* Solamente con mediana

Cuadro 4.2. ANCHOS MÍNIMOS DE HOMBROS Y ACERAS

En resumen, para las carreteras de la red centroamericana, donde no se han reconocido suficientemente las ventajas de la provisión de hombros de anchos adecuados, por una economía en costos de inversión mal entendida, se propone la adopción de los anchos mínimos que señala el Cuadro 4.2. El ancho de los hombros se determina en función de la clasificación de la carretera y del tipo de terreno que cruza. En carreteras de las clasificaciones principales, el ancho de los hombros debe prever el ensanche futuro del pavimento, sin necesidad de ampliar el volumen del movimiento de tierras posteriormente.

En aquellos casos donde por circunstancias especiales no sea posible construir los hombros recomendados, deberá como alternativa, proveerse refugios para vehículos cada 400 metros a cada lado, provistos de sus secciones de transición tanto para el ingreso como para la salida de dichas instalaciones de emergencia.

4.1.5 Sobreebancho del Pavimento (SAP):

Por la necesidad de alcanzar el nivel de compactación especificado en las capas de sub-base y base, en la orilla exterior del hombro, la plataforma en relleno tendrá un ancho adicional mínimo de 0.50 m. Esta área también es conveniente para redondear el vértice entre la terracería y el talud de relleno, para la colocación de defensas laterales y señales.

4.1.6 Aceras o Banquetas:

Donde hay abundancia de peatones, los volúmenes de tránsito son elevados y las velocidades permitidas son significativas (mayores de 60 kilómetros por hora), especialmente en sitios de circunvalación de poblados y ciudades, se recomienda que al lado de los carriles exteriores, se construyan aceras o banquetas para la circulación peatonal. Como una recomendación general de aplicación en Centroamérica, se deben construir aceras en las calles y en las carreteras que carezcan de hombros, procurándose en este último caso que las aceras estén fuera de la pista de rodaje y, posiblemente, en los límites del derecho de vía. Los datos de tránsito confirman que las aceras ofrecen un medio efectivo para reducir accidentes peatonales.

En áreas urbanas y suburbanas, debe existir una franja de un mínimo de 3.0 metros de ancho como espacio de amortiguación para la construcción de aceras y la instalación de servicios como alumbrado público, hidrantes, teléfonos, etc. Las aceras pueden variar entre 1.0 y 2.0 metros de ancho, con una franja verde que la separe de la pista principal de 0.60 metros de ancho, como mínimo. Cuando la acera se construya a la orilla del bordillo de la cuneta, debe tener un ancho extra de 0.60 metros, para compensar la carencia de la zona verde de transición. Se dan recomendaciones sobre el ancho mínimo de estas instalaciones en el cuadro 4.2.

4.1.7 Mediana:

La mediana o Faja Separadora Central, es la franja de terreno localizada al centro de la carretera, que separa los carriles de sentido contrario en carreteras divididas, que puede construirse al nivel de la pista principal o tener su sección transversal elevada o deprimida, siendo preferible esta última solución por su contribución al drenaje longitudinal en las autopistas y carreteras

divididas, recomendándose en este caso particular que la pendiente de la mediana sea en la proporción 6 a 1, aunque una relación de 4 a 1 puede ser igualmente aceptable. Todos los tragantes de drenaje en la mediana deben construirse a ras del suelo y protegidos con parrillas, para que no se constituyan en peligrosos obstáculos para los vehículos descarrados.

Las medianas son altamente deseables en carreteras arteriales o colectoras de cuatro o más carriles, siendo su principal función la de separar el tráfico que viaja en sentidos opuestos, proveer un área de recuperación para vehículos que han perdido el control, proveer un área para paradas en caso de emergencia, permitir espacios para cambios de velocidad y almacenamiento de vehículos que giran a la izquierda y en U, minimizar el encandilamiento provocado por las luces de los vehículos que viajan en sentido contrario durante la conducción nocturna, proveer un ancho de reserva para futuras ampliaciones, función a la que se le otorga una considerable importancia ya que también permiten embellecer la carretera y mejorar la calidad ambiental de su entorno.

Tipo	Clasificación	Ancho de Mediana (m)
AA	Autopista	12 o mas
AR y AU	Arterial Rural y Arterial Urbana	4 – 12
CMR Y CMU	Colector Mayor Rural y Colector Mayor Urbana	2 – 6
AMR Y AMU	Arterial Menor Rural y Arterial Menor Urbana	Sin mediana
CR, CS	Colectoras Menor Rural y Colectora Menor Urbana	Sin mediana

Cuadro 4.3. ANCHOS DE RECOMENDABLES DE MEDIANAS

En zonas rurales o montañosas, o en zonas de derecho de vía restringido, el ancho mínimo de una mediana se puede reducir a 1.20 m. La experiencia ha demostrado que las medianas pueden tener anchos hasta de 12 metros ó más, para incrementar al máximo la sensación de separación e independencia de operación de las corrientes opuestas. Dentro de este elenco de opciones y con una visión práctica, se recomiendan los anchos que muestra el Cuadro 4.3.

Si una carretera se construye inicialmente para 4 carriles, pero con previsión para poder construir a futuro una pista adicional por calzada, la mediana debe proyectarse de entre 10 y 12.0 m.

4.2 Sub-corona o Subrasante

La plataforma de la subrasante o sub-corona es la superficie constituida por los planos horizontales que delimitan el movimiento de tierras y sobre la cual se apoyan las distintas capas del pavimento. Incluye también el espacio destinado a los demás elementos de la corona como hombros, medianas, cunetas de drenaje, etc. El ancho de la plataforma de subrasante es la suma del ancho de la plataforma, más la proyección horizontal de los taludes de caída o derrame del pavimento y del ancho de la (o las) cuneta.

Debido a la conveniencia estructural de mantener el mismo espesor de las distintas capas del pavimento, la subrasante mantiene la misma pendiente transversal

que la de la corona, prolongándola hasta los extremos sin considerar los quiebres que presenta la pendiente del hombro. A esta plataforma también se le conoce con el nombre de terracería.

4.2.1 Subrasante:

Es la elevación de la última capa de terracería en el eje o línea central en carreteras con tránsito en ambos sentidos. Al proyectar sobre un plano vertical sus distintas elevaciones, se obtendrá el desarrollo de sub-corona del camino, el cual estará formado por pendientes, ascendentes o descendentes y curvas verticales que las enlazan. En la sección transversal está representada por un punto.

Tomando en cuenta que las capas del pavimento pueden tener distintos espesores en distintos tramos a lo largo de la carretera, usualmente la subrasante es la que se representa en los planos de construcción de la terracería, llamándosele también por comodidad, rasante, asumiendo que el diseñador de carreteras conoce esta diferencia.

4.2.2 Taludes:

Son los planos inclinados de la terracería que delimitan los volúmenes de corte o relleno. El talud es la inclinación de la cara visible de los cortes o de los rellenos, se expresa numéricamente como el recíproco de la pendiente. El diseño de los taludes está influenciado por diversas consideraciones, tales como la estabilidad estructural, causas climáticas y la apariencia. La estabilidad del talud depende de la naturaleza del material que se ha encontrado y del método de construcción que se utilice. Dependiendo de su altura y tipo de material, también pueden incluirse gradas o bermas con planos casi horizontales y ancho que depende del tipo de terreno, con el fin de prevenir derrumbes del talud.

4.2.3 Drenaje Superficial:

El drenaje superficial debe ser muy efectivo para evacuar rápidamente las aguas de la superficie del pavimento y evitar que éstas se infiltren dentro de la estructura del mismo, ocasionándole daños que pueden ser considerables y de efectos inmediatos o a corto plazo. También previenen que el lodo o suciedades de las áreas no pavimentadas de la carretera penetren los lados del carril exterior de circulación, causando problemas de visibilidad de la línea de demarcación del borde separador entre el pavimento y sus hombros.

Los canales de drenaje se construyen a los lados de las carreteras para conducir el agua hacia el drenaje transversal de la carretera (alcantarillas, bóvedas, cajas y puentes); así como alejarlas de la carretera en concordancia con la topografía. El sistema de drenaje superficial está constituido por cunetas, contracunetas, cunetas centrales y alcantarilla en el caso de medianas, bordillos- cuneta y dissipadores. También forman parte del sistema la evacuación de aguas subterráneas mediante sub-drenajes. Las cunetas y contracunetas son obras de drenaje que por su naturaleza quedan incluidas en la Sección Típica.

En carreteras con mediana central, generalmente se usa un drenaje al centro, en un área deprimida de poca profundidad y con pendientes sumamente sua-

ves, que evacúan las aguas hacia tragantes conectados a tubos instalados debajo de las calzadas, para alejar el agua fuera de la obra vial. Las pendientes así construidas, son muy útiles en caso de accidentes, evitando que éstos sean de mayores consecuencias.

Los disipadores conducen el agua hacía niveles inferiores cuando la cuneta está localizada en sitios de pendientes fuertes. Son canales abiertos o cerrados que se pueden revestir con concreto, mampostería, o tubería metálica, tomando en cuenta la magnitud de la escorrentía superficial.

Pueden encontrarse consideraciones para diseño de drenaje de carreteras en AASHTO, Highways Drainage Guidelines (8)

a) Cunetas:

Un canal es un conducto abierto para la conducción de aguas. Las cunetas son canales que se construyen a ambos lados y paralelamente a la carretera, con el fin de drenar el agua de lluvia que cae sobre la misma y sobre las áreas de taludes. No resulta práctico aquí describir la sección transversal de la cuneta ya que esta es variable, así como sus dimensiones que pueden ser cualesquiera, siendo comunes las formas triangular, trapezoidal y cuadrada. La pendiente longitudinal de las cunetas generalmente es la misma que la de la subrasante, pero puede variar si las condiciones de drenaje así lo requieren. La profundidad de la cuneta se mide verticalmente, desde el extremo de la plataforma hasta el punto más bajo de su fondo.

La capacidad hidráulica de la sección que se use debe de estar de acuerdo con la precipitación pluvial de la zona y del área drenada. La longitud de la cuneta está limitada por su capacidad hidráulica; no debe permitirse que el agua rebase la sección de la cuneta y se extienda por el hombro, por lo que deberá limitarse su longitud colocando alcantarillas de alivio o proyectando las canalizaciones convenientes. Cuando la velocidad del agua es fuerte puede causar erosiones a la cuneta, por lo que en pendientes fuertes es necesario revestirla con materiales resistentes a la erosión tales como piedra ligada con mortero, concreto simple o mezclas asfálticas.

b) Contracunetas:

Son canales que se construyen en uno o ambos lados de la carretera, paralelamente a ella y fuera de los límites de construcción, con el fin de drenar el agua de lluvia que cae sobre las áreas contiguas a dichos límites. Algunas veces es importante construir las contracunetas perpendiculares a la pendiente máxima del terreno para la lograr una interceptación eficiente del escurrimiento laminar. Las contracunetas construidas en la parte superior de taludes de corte, deben de proveerse de un sistema adecuado para su descarga desde la parte superior hasta la cuneta o drenaje transversal correspondiente.

c) Sub-Drenaje:

Es el drenaje de aguas subterráneas, provenientes de taludes o debajo de la terracería; usualmente se construyen con tuberías perforadas, geo-

textil y materiales pétreos para filtro, geocompuestos o simplemente de materiales pétreos (Drenaje Francés). Usualmente se construye debajo de la cuneta o del hombro para impedir que el agua subterránea llegue a las capas del pavimento. El subdrenaje se debe conectar a pozos de visita, tragantes y similares y se debe hacer la conexión o salida construyendo un cabezal apropiado.

4.3 Bordillos

Los bordillos se usan extensamente en las carreteras urbanas y suburbanas, siendo su uso muy limitado, más bien nulo, en las carreteras rurales. Esto tiene que ver con la función que desempeñan dichos dispositivos, como son el control del drenaje, la delimitación del borde del pavimento, la determinación del borde de las aceras o de la zona de protección de los peatones o, simplemente, por razones de estética. Típicamente los bordillos se clasifican en montables y de barrera o no montables, según que tengan la altura y conformación apropiada para que los vehículos automotores puedan abordarlos o no.

Los bordillos de barrera son relativamente altos y con la cara relativamente vertical, redondeados en su parte superior para reducir las aristas cortantes, con un radio de 1 a 2.5 centímetros. La altura de este bordillo puede estar comprendida entre 15 y 22.5 centímetros. Los bordillos de barrera combinados con aceras de seguridad son muy útiles a lo largo de paredes altas y túneles, haciendo que el conductor se separe de dichos bordillos con beneficio para la seguridad del peatón.

En general, no se recomienda el uso de bordillos de barrera en autopistas y en carreteras de alta velocidad, porque pueden ser causantes del vuelco de vehículos por impacto lateral. Si el propósito de colocar un bordillo tal es prevenir que los vehículos se salgan de la calzada, debe pensarse más bien en el uso de barreras laterales.

Los bordillos montables, por su parte, son diseñados para que los vehículos puedan cruzarlos cuando así se requiera y sea permisible o cuando accidentalmente haya que pasar sobre ellos.

Cuando la cara del talud del bordillo es mayor de la relación 1:1, su altura debe limitarse a 10 centímetros o menos, pero si este talud se diseña entre 1:1 a 2:1, su altura puede ser incrementada a 15 centímetros. En algunas ocasiones los bordillos se construyen con una porción vertical en la base de unos 2.5 centímetros, como previsión para futuros revestimientos del pavimento, aunque si la sección inclinada excede de una altura total de 15 centímetros, ya no se califica como un bordillo montable. Los bordillos montables son usuales en los bordes de las medianas en carreteras divididas y en las islas para canalización del tránsito en las intersecciones.

El ancho del bordillo se considera como un elemento de la sección transversal fuera del ancho de los carriles. Podría decirse que más bien debe estar situado a unos 0.30-0.60 metros del borde del carril en vías urbanas, y en el borde exterior del hombro en carreteras rurales. Combinados con una sección de cuneta, los bordillos pueden formar parte integral del sistema de drenaje superficial longitudinal de la carretera. El bordillo-cuneta se instala normalmente cuando la carretera discurre en un ambiente urbano y suburbano, para encauzar las aguas hacia los tragantes y tuberías de drenaje. La Figura 4.3 ilustra las descripciones dadas.

Reconocedores de estas condiciones para el uso de uno u otro tipo de bordillo, en la práctica vial centroamericana se ha preferido la colocación de bordillos de barrera para delimitar la mediana central, en virtud de que **los bordillos montables han servido para la habilitación de cruces forzados por el uso frecuente, y a la vez incómodo, en los sitios donde se ha intentado controlar tales maniobras.**

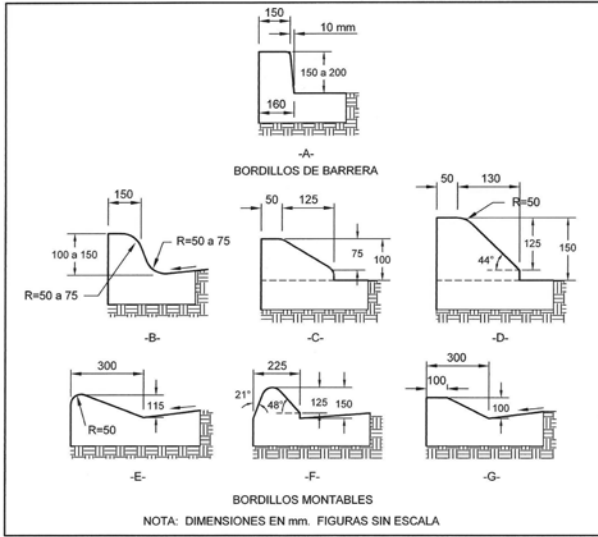


Figura 4.3. SECCIONES TÍPICAS DE BORDILLOS-CUNETAS EN CARRETERAS

4.4 Bahías para Autobuses y Áreas de Estacionamiento

Para evitar conflictos entre la corriente de tránsito principal y los vehículos de transporte colectivo que están obligados por la naturaleza de su servicio a detenerse en su recorrido por la vía, para recoger y bajar pasajeros, debe construirse un número adecuado de bahías para autobuses a lo largo de las carreteras.

Está sobradamente comprobado el efecto que sobre la seguridad de los pasajeros ejerce la construcción de este tipo de instalaciones, **cuyo uso debe ser más generalizado en las carreteras de Centroamérica, donde la mayoría de los viajes de la población se realiza en transporte colectivo, i. e., autobuses.**

La localización de las paradas de autobuses en carreteras debe hacerse de manera que, situadas en las proximidades de los focos de generación de la demanda (centros de actividad, itinerarios de peatones, intersecciones, etc.), interfieran lo menos posible en el funcionamiento vial. Asimismo, deben tenerse en cuenta los posibles efectos ambientales (ruido, emisiones, etc.) de la detención y arranque de los autobuses en su entorno inmediato. Respecto al funcionamiento de la carretera y a su posible incidencia sobre otros usuarios, la localización de las paradas de autobús debe estudiarse especialmente en las intersecciones, puntos donde también suele concentrarse el movimiento de peatones, y su disposición en relación a la calzada.

En lo referente a las intersecciones y desde el punto de vista de los viajeros, la localización óptima de una parada de autobuses es inmediatamente próxima al cruce y a la desembocadura de los itinerarios de los peatones, normalmente asociados a la vía o vías confluyentes en las zonas suburbanas y urbanas. Esta proximidad al cruce puede resultar problemática para la circulación rodada, tanto si la parada se sitúa antes, como después de éste. En el primer caso, porque la detención de autobuses puede limitar la visibilidad y dificultar los giros. En el segundo porque pueden congestionar el cruce al reducir la capacidad del ramal de salida. La localización de las paradas de autobús en las intersecciones de las carreteras en áreas suburbanas y urbanas depende, por tanto, de las características concretas de cada intersección y de los movimientos principales que se producen en ella.

Aparte del hecho que los hombros son apropiados para que los vehículos con desperfectos se detengan y que se refugien en ellas, las bahías para autobuses se deben construir separadas y en concordancia con la seguridad de los usuarios de la vía y de la unidad de transporte colectivo. Una bahía para autobuses cuenta con cortos carriles de aceleración y desaceleración, rampas para el acomodo de los autobuses y el acceso fácil de los pasajeros, aceras de suficientes dimensiones para la demanda de pasajeros, casetas abiertas por razones de seguridad para la protección contra la intemperie y demás accesorios como bancas, gradas, pasamanos y facilidades para minusválidos.

En la Figura 4.4 se presenta el acomodamiento recomendable para construir estas instalaciones, con una variante que muestra la Figura 4.5. El ancho de las bahías para autobuses se propone que tenga entre 3.0 y 4.0 metros, sin embargo, cuando haya acumulación de vehículos, debe haber un ancho mínimo de 5.0 metros para posibilitar el adelantamiento de los vehículos estacionados. La construcción de la banqueta debe empezar a 0.30 m de la orilla de la capa de rodadura. La construcción de una franja separadora en el borde del carril, incluyendo si es aconsejable una barrera de protección, puede contribuir al mejoramiento de los niveles de seguridad de estas útiles instalaciones.

En estas paradas hay que utilizar la relación 3 a 1 en la longitud de entrada e incrementar dicha relación a 5 a 1 en la longitud de salida. En términos de radio de las curvas, es aconsejable una dimensión mayor de 50 metros, con el propósito de evitar que las llantas de los autobuses se monten en la cuneta toda vez que sea difícil conseguir el área adecuada antes mencionada, En relación con la distribución de los estacionamientos, se recomienda como regla general que se construyan en carreteras de dos o más carriles de circulación, espaciados cada 10 kilómetros a cada lado de la vía o según las mediciones de la demanda. En zonas recreativas el espaciamiento puede ser menor, a discreción del diseñador.

Diseño	Entrada (m)	Parada (m)	Salida (m)	Ancho (m)	Long. Total (m)
Para un bus	9	15	15	3	39
Para un bus	12	15	20	4	47
Para dos buses	9	30	15	3	54
Para dos buses	12	30	20	4	77
Para tres buses	12	45	20	4	77

Cuadro 4.4. DIMENSIONES TÍPICAS DE LAS BAHÍAS PARA EL REFUGIO DE AUTOBUSES

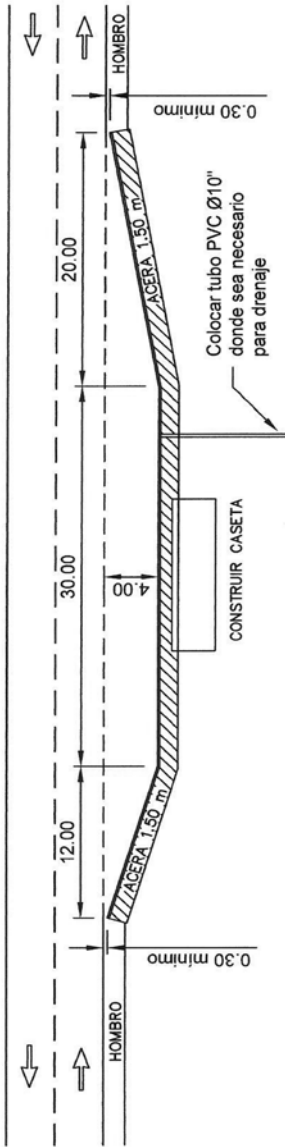


Figura 4.4 BAHÍA TÍPICA DE PARADA (2 BUSES)

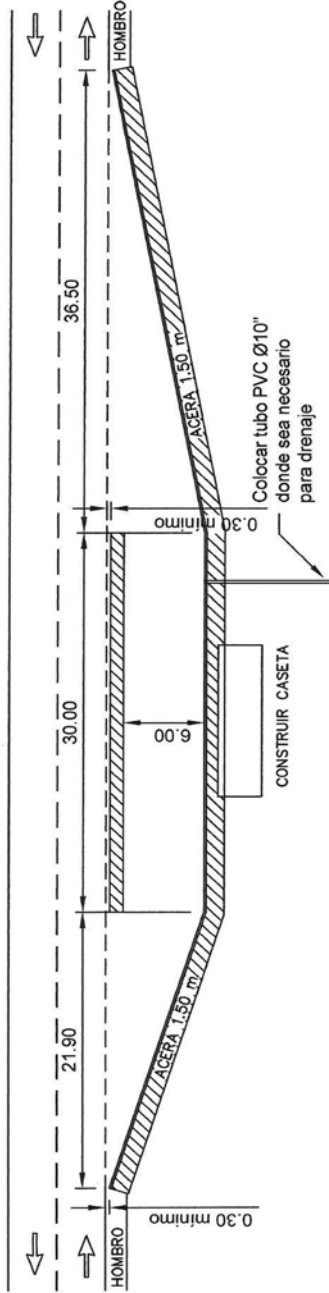


Figura 4.5 BAHÍA TÍPICA DE PARADA (2 BUSES) CON SEPARADOR

4.5 Las Calles Marginales o Frontales

Un componente de mucha utilidad en el diseño de la sección transversal de las autopistas y arterias, tanto urbanas como suburbanas, son las calles marginales o frontales, que se construyen para atender las funciones básicas de acceso a las propiedades colindantes y brindar servicio al movimiento local, dejando a la arteria principal a cargo de las funciones más importantes de movilidad del tránsito a distancia. Esta conveniente separación de funciones entre dos elementos que operan en conjunto, favorece la fluidez de la circulación y mejora la capacidad del sistema.

Las calles marginales pueden mantener un alineamiento paralelo a la vía principal, ubicadas a uno y otro lado del eje central del conjunto, pero igualmente pueden seguir alineamientos diferentes y bien identificados, ser discontinuos y, preferiblemente, operar con circulación en un solo sentido para mejorar la seguridad y de paso simplificar el diseño de las intersecciones con la vía principal.

En áreas de poco desarrollo urbano, puede tolerarse la circulación de doble sentido en las calles marginales, para reducir los inconvenientes y mayores recorridos que afectarían al movimiento local.

Las conexiones entre las calles marginales y la autopista o la arteria principal son elementos críticos del diseño, que como regla general deben espaciarse convenientemente para reducir la frecuencia de tales puntos de conflictos. Las rampas de transferencia de la pista principal a la calle marginal de un sentido o viceversa, operan de manera simple y sin conflictos, conflictos que se hacen presentes cuando la circulación en la calle marginal es de doble sentido.

Una franja exterior de suficiente ancho debe separar la pista principal de las calles marginales, ofreciendo una zona de transición que se presta para su desarrollo como zona verde arborizada, que contribuye a reducir los conflictos de vehículos y peatones locales. La franja debe drenar hacia cunetas y alcantarillas dentro de la vía marginal o a un tragante dentro de la misma franja, según su configuración.

La construcción de autopistas y arterias en áreas suburbanas y urbanas, por zonas que han alcanzado un cierto grado de desarrollo y valoración de la propiedad del suelo, máxime si se desea incorporar calles marginales a la solución, plantea problemas de adquisición de derechos de vías que, por insuperables, desalientan y hasta malogran los buenos propósitos de la planificación del desarrollo de las redes de transporte.

4.6 Acondicionamientos

En las zonas de despeje de las carreteras, recordando que es el área entre el extremo de la corona y la cerca que demarca el límite del derecho de vía, deben instalarse las señales verticales de tránsito, los postes de servicio público y las tuberías para la conducción de aguas y drenajes, localizar de preferencia, las ciclovías, andenes peatonales y áreas verdes para mejorar la estética y seguridad ambiental. Los manuales de la especialidad indican la distancia a la cual deben instalarse estos elementos, partiendo del borde del pavimento de la vía de circulación principal. Sin embargo, es conveniente tener presente que contiguo a la superficie de rodamiento debe proveerse espacio suficiente para que los vehículos fuera de control puedan recuperar el mismo, minimizando las posibilidades de vuelco o impacto contra objetos fijos.

El control de las invasiones de comerciantes al detalle, reparadores de llantas, prestadores de servicios varios o personas de escasos recursos en busca de espacio para construir su vivienda dentro del derecho de vía, debe ser asunto de atención constante de los responsables del mantenimiento de la carretera. El costo de remoción de los invasores del derecho de vía variará en relación directa con el tiempo que tienen de haberse asentado.

4.7 Barreras de Tránsito

Las barreras de tránsito se utilizan para minimizar la gravedad de potenciales accidentes que comprenden a vehículos que dejan la calzada, en donde las consecuencias por chocar la barrera son menores que las de dejar la plataforma. Debido a que las barreras en sí son una fuente potencial de accidentes, su uso debe considerarse cuidadosamente. Información detallada respecto de las barreras de tránsito se encuentra en *Roadside Design Guide* de AASHTO (2) y en el Capítulo 6.500 Sistemas de Contención Vial, Volumen 6 del Manual de Chile (3).

Dentro de las barreras de tránsito deben considerarse las barreras longitudinales y los carriles o rampas de emergencia. La función principal de las barreras longitudinales es redirigir los vehículos errantes hasta una detención o redirección y la función principal de la rampa de emergencia es desacelerar los vehículos errantes hasta una detención. En este apartado se tratarán las barreras de tránsito únicamente, en lo que respecta a su funcionamiento, debido a que actualmente hay muchos tipos y marcas comerciales por lo que se recomienda referirse a los documentos antes indicados y a los fabricantes con barreras certificadas que cumplen con el Reporte 350 NCHRP de Estados Unidos (4).

Las barandas de protección en puentes, deben diseñarse de conformidad con las especificaciones para diseño estructural de los mismos, por ejemplo, Standard Specifications for Highway Bridges (5).

4.7.1 Barreras Laterales

Las barreras laterales son sistemas longitudinales que se ubican a lo largo de los costados del camino. También, aunque ocasionalmente, pueden usarse para proteger a los peatones y ciclistas del tránsito vehicular.

Las barreras laterales se clasifican en uno de los tipos siguientes:

- a) Flexible: son los que soportan considerable deflexión dinámica bajo impacto y generalmente imponen menos fuerzas de impacto sobre el vehículo; la resistencia de este sistema se debe en gran parte a la fuerza de tensión desarrollada en el elemento longitudinal, ya sea el cable o la viga que tiran hacia afuera del poste de soporte de un impacto. De esta manera el poste ofrece una resistencia insignificante en la zona de impacto; sin embargo, los postes que están fuera de la zona de impacto proveen resistencia esencial para controlar la deflexión del elemento longitudinal hasta un límite aceptable.



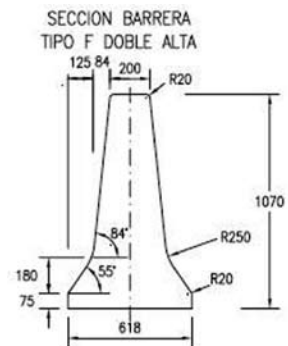
DEFENSA FLEXIBLE DE METAL

SISTEMA DE CABLE DE SEGURIDAD CASST™

NOTA: IMÁGENES TOMADAS DEL SITIO trinitydefensasmetalicas.com

Figura 4.6. DEFENSAS LATERALES FLEXIBLES

- b) Semirrígida: La resistencia se obtiene a través de la resistencia combinada de flexión y tensión de la baranda. Los postes cerca del punto de impacto se diseñan para que se rompan o vuelquen, distribuyendo por eso la fuerza de impacto por la acción de viga a los postes adyacentes. Sin embargo, los postes fuera de la zona de impacto proveen resistencia esencial para controlar la deflexión del miembro longitudinal hasta un límite aceptable y redirigir el vehículo descontrolado a lo largo de la trayectoria del flujo de tránsito.
- c) Rígida: Este sistema no deflexiona bajo impacto. Durante los choques, la energía se disipa por el ascenso y descenso del vehículo y por la deformación de las láminas metálicas del vehículo. A mayor ángulo de impacto, la barrera se vuelve menos indulgente por la ausencia de deflexión de la barrera, por lo tanto, solo debe considerarse su instalación donde se espera ángulos de impacto pequeños como a lo largo de medianas centrales angostas o a lo largo de hombros.



NOTA: IMÁGEN TOMADA DEL SITIO

barrerasyprotectordeconcreto.blogspot.com

Figura 4.7. BARRERAS LATERALES RÍGIDAS

- d) **Terminales de Barreras:** Son los elementos extremos de una barrera longitudinal, que no se catalogan como amortiguadores de impacto, pero son los encargados del anclaje de las barreras de contención. El buen funcionamiento de un sistema de contención, al ser impactado, dependerá en gran medida de la eficiencia de sus terminales, debido a que éstos le aportan continuidad estructural; cumpliendo además una función de reducción de la severidad del impacto. Se definen los siguientes tipos: 1) simplemente abatido, 2) abatidos y esviados, 3) empotrados en taludes de corte, 4) atenuadores de impacto.
- e) **Amortiguadores de Impacto:** dentro de este grupo se clasifican aquellos elementos que consisten en elementos de contención, generalmente móviles, orientados a mitigar el impacto directo de vehículos con obstáculos peligrosos o cuando se efectúan trabajos sobre la carretera, cuando éstos se enfrentan al flujo vehicular. Los más comunes son los tambos o toneles plásticos llenos de arena.



NOTA: IMÁGENES TOMADA DEL MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS DE CHILE, VOLÚMEN 6

Figura 4.8. AMORTIGUADORES DE IMPACTO MÓVILES

- f) **Amortiguadores de Impacto con Capacidad de Redireccionamiento:** Su funcionamiento se basa en distintas formas de lograr la disipación de energía al sufrir un impacto en su parte frontal y, el redireccionamiento del vehículo en caso de un choque lateral, pudiendo conducir al vehículo impactante a una detención controlada.



Figura 4.9. AMORTIGUADORES DE IMPACTO CON CAPACIDAD DE REDIRECCIONAMIENTO

Las barreras deben localizarse más allá del hombro asegurando que se pueda utilizar el ancho completo del hombro. El ancho de relleno que soporta la barrera también debe ser suficiente para proveer soporte lateral.

A continuación se presenta el Cuadro 4.5 que contiene los Criterios de Evaluación según Reporte 350 DE NCHRP (4). Los proveedores deben cumplir con estos criterios.

4.7.2 Barreras en la Mediana

Una barrera de mediana central es el sistema longitudinal usado para impedir que un vehículo errante cruce la parte de una carretera dividida que separa las calzadas para el tránsito de sentidos opuestos.

Si los volúmenes de tránsito son bajos y la mediana es relativamente ancha, es poco probable que un vehículo cruce la mediana, por lo que las barreras solo se justificarán en donde haya una historia de alta tasa de accidentes, o donde pueda esperarse una incidencia de altas tasas de accidente. Las medianas, aunque sean angostas, permiten invasiones involuntarias con probabilidad de recuperación por parte del conductor, por lo tanto, las barreras pueden aumentar la frecuencia de accidentes debido a la disminución de espacio disponible para volver al camino. La aptitud del conductor errante de dejar la plataforma también depende de la diferencia de alturas entre una dirección y otra, a mayor altura, el potencial para salto y accidentes frontales aumenta, por lo que en este caso, la colocación de la defensa en la mediana es obligatoria.

También debe tomarse en cuenta que la colocación de una barrera requiere de aberturas, para giros o vueltas en U, en donde las terminales de la barrera se vuelven peligrosos obstáculos, por lo que requieren de protección.

Los tipos comunes de barreras en la mediana son de tipo flexible, con vigas acanaladas dobles o triples, y de tipo rígido, como las barreras de concreto con formas prediseñadas como las tipo New Jersey o Tipo F (ver Figura 4.10).

Factores de Evaluación	Criterios de Evaluación
Suficiencia Estructural	<p>A. El sistema debe contener y redirigir suavemente el vehículo; el vehículo no puede incrustarse o saltar sobre la instalación, aunque se permite una deflexión lateral controlada.</p> <p>B. La barrera debe funcionar en la forma prevista, rompiéndose, quebrándose o deformándose de acuerdo a las especificaciones que lo definen</p> <p>C. La barrera debe tener un comportamiento aceptable en cuanto al redireccionamiento, no debe tener elementos que penetren al vehículo o provocar una detención violenta</p>
Riesgo del Ocupante	<p>D. El habitáculo del vehículo no debe sufrir deformaciones importantes y no debe ser afectado por elementos que puedan penetrarlo o presentar un riesgo excesivo a sus ocupantes o a los otros usuarios de la vía. El vehículo debe permanecer estable durante y después de la colisión, aunque se admite un movimiento moderado.</p> <p>E. Elementos desprendibles, fragmentos u otras partes móviles del artículo de prueba o del vehículo, no debe bloquear la visión del conductor o causar pérdidas de control de otro tipo.</p> <p>F. El vehículo debe mantenerse en pie durante y después de la colisión, son aceptados movimientos laterales, giros verticales y horizontales moderados.</p> <p>G. Es recomendable que el vehículo no vuelque durante o después de la colisión, aunque no es esencial.</p> <p>H. La velocidad de impacto de un pasajero hipotético, sentado en el asiento del conductor, contra el interior del vehículo, debe ser máximo 12 m/s en longitudinal y 5 m/s en lateral, aunque se recomienda que no sean superiores a 9 y 3 m/s, respectivamente.</p> <p>I. Las aceleraciones negativas a la que se exponen los ocupantes no deben ser mayores a 20 Gs, aunque se recomienda no sean mayores a 15 Gs.</p> <p>J. Prueba opcional Las lesiones sufridas por lo muñecos de prueba (Dummy Hybrid III) deben estar de acuerdo a lo especificado para su tipo.</p>
Trayectoria del vehículo	<p>K. Después de la colisión, es preferible que la trayectoria del vehículo no interfiera en el tránsito de las pistas adyacentes.</p> <p>L. La velocidad de impacto de los ocupantes en el sentido longitudinal, no debe exceder los 12 m/s y la aceleración negativa longitudinal no debe superar los 20 Gs.</p> <p>M. El ángulo de salida debe ser, de manera preferencial, inferior al 60% del ángulo de impacto, ambos medidos desde el momento que el vehículo deja de estar en contacto con la instalación.</p> <p>N. Se acepta la trayectoria del vehículo por detrás de los dispositivos.</p>

Cuadro 4.5 CRITERIOS DE EVALUACIÓN SEGÚN REPORTE 350 DE NCHRP

Las barreras flexibles deberán diseñarse de tal forma que la deflexión sea menor que la mitad del ancho de la mediana, para impedir la penetración de ésta dentro de los carriles de tránsito opuesto. En carreteras con mucho tránsito y mediana angosta, la barrera de hormigón con cara inclinada tienen muchas ventajas; este tipo de barrera desviará a un vehículo que la golpee en un ligero ángulo de impacto, tiene agradable apariencia y requiere de poco mantenimiento. La barrera de tipo rígido debe seleccionarse para uso en la mediana cuando las calzadas están en diferente nivel.

Debido a que la barrera de hormigón no flexiona, puede haber una significativa intrusión en el espacio aéreo, arriba y detrás de la barrera, debido a los altos centros de gravedad de los vehículos cuando las golpean a altas velocidades o grandes ángulos.

Es recomendable el empleo del perfil "F" frente al "New Jersey" con tráfico elevado de vehículos ligeros. El perfil "New Jersey" puede llegar a provocar que un vehículo pesado gire 24° antes de hacer contacto con el borde superior de la baranda con el consiguiente riesgo de vuelco y sobrepeso (6).

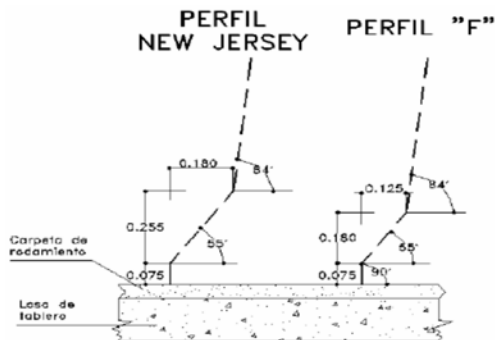


Figura 4.10. COMPARACIÓN DE PERFIL "NEW JERSEY" Y PERFIL "F"

4.8 CICLOVÍAS

Son pistas auxiliares destinadas a las personas que se desplazan en bicicleta, cuya seguridad pelagra cuando lo hacen empleando la calzada o el ancho normal de los hombros.

La construcción de la ciclovías, paralela a la calzada, es recomendable en carreteras de la Clase Colector Rural o Local Rural para velocidades menores a 70 KPH, en aquellos tramos que presenten un flujo superior a dos ciclistas por minuto, en ambos sentidos, en períodos continuados de 15 minutos de duración, determinado dentro de la hora posterior a los horarios laborales del sector. Para velocidades mayores es recomendable construirlas separadas de la calzada.

La Figura 4.11 muestra la disposición de una ciclovía bidireccional en la cual el ancho necesario para la construcción de la ciclovía es de 1.50 m después del hombro. En esta figura, SAP es el sobreancho adicional a las capas del pavimento, después del hombro, propio para confinamiento y/o para instalación de defensas laterales; la separación entre el hombro (berma) y el carril de ciclovía puede ser con vialitas reflectivas, botones, bordillos montables o pintura.

Se reconocen cinco tipos de obras para ciclovías:

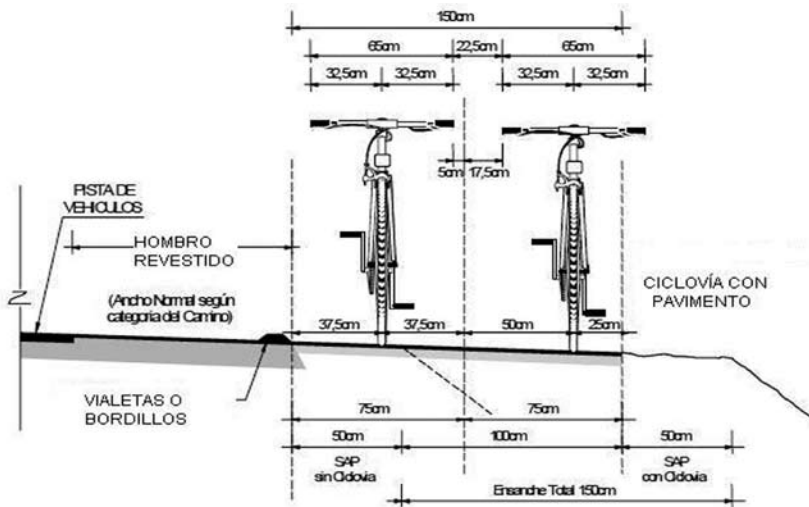
- Carril compartido: Un carril de ancho estándar para uso de ambos, bicicletas y vehículos. En áreas urbanas debe tomarse en cuenta también para definir el ancho la presencia de parqueo para vehículos.

- Carril ampliado en la parte exterior: Un carril con un ancho de al menos 4.20 m para acomodar ambos, ciclistas y vehículos motorizados.
- Carril para bicicletas: Una parte de la corona de la carretera diferenciada por bordillos, señales y/o marcas en el pavimento para uso exclusivo de bicicletas y/o algún otro vehículo no motorizado.
- El hombro: Una parte de la carretera, a la derecha de la dirección de viaje, diseñada para servir a bicicletas, peatones y otros.
- Camino multiusos: Una facilidad que está físicamente separada de la carretera y se crea para el uso exclusivo de bicicletas, peatones y otros.

Seis factores son reconocidos por planificadores e ingenieros en cuanto al efecto del uso de bicicletas:

- Los altos volúmenes de tráfico representan gran riesgo potencial para el uso de bicicletas.
- La velocidad promedio de operación de los vehículos, puede afectar negativamente la comodidad de los ciclistas, a menos que se mitigue con tratamientos especiales.
- La presencia de tráfico mixto, camiones, buses y otros vehículos grandes pueden incrementar el riesgo y tienen impacto negativo en la comodidad y seguridad de los ciclistas.
- Para el parqueo de vehículos se deben tomar en cuenta anchos adicionales cuando se diseñan carriles para bicicletas.
- La distancia de visibilidad debe de ser suficiente para permitir a los conductores de vehículos cambiar su posición o velocidad en el carril, especialmente en calles o carreteras principales, cuando adelanta a un ciclista.
- El número de intersecciones y su frecuencia debe considerarse cuando se diseñan carriles para bicicletas. Las intersecciones requieren cambios especiales y los operadores de vehículos también requieren tratamientos especiales.

Información adicional para el diseño de ciclovías se encuentra en AASHTO, Guide for the Development of Bicycle Facilities (9)



FUENTE: ADAPTADO DE MANUAL DE CARRETERAS DE CHILE, V.6, pp. 3.302.6

Figura 4.11. SECCIÓN TÍPICA PARA CICLOVÍA, SITUACIÓN DE CRUCE DE DOS CICLISTAS

4.9 RETORNOS

El Cuadro 4.5 presenta anchos para crear aperturas en la mediana para retornos en U, de carril interior a carril interior. Si los volúmenes de tránsito en la dirección opuesta son de hasta 300 vehículo/hora, se puede considerar como una opción mínima un ancho que permita el retorno entre el carril interior y el carril exterior del sentido opuesto. En el caso de que no se permita el giro en U, pero sí el cruce a la izquierda, el ancho mínimo debe de ser tal que permita la construcción de un carril de almacenamiento de 3.60 m y una mediana de 1.20 m.

Vehículo	Ancho de Mediana Mínimo (m)	Ancho de Mediana Recomendable (m)
SU	16.0	20.0
WB-12	15.0	18.0
WB-15	18.0	21.0

Cuadro 4.6 ANCHOS RECOMENDABLES DE MEDIANAS CON RETORNOS EN “U”

Consideraciones adicionales para los Retornos o Vueltas en U se encuentran en el CAPÍTULO 5 de este Manual. Para una guía adicional en la selección del ancho de medianas para carreteras divididas, especialmente en intersecciones, ver el Reporte 375 de NCHRP, *Median Intersection Design* (7)

4.10 ACCESO A PROPIEDADES

El acceso a propiedades colindantes a la carretera es variable. En el Apéndice 2 se muestran detalles típicos de estos accesos.

BIBLIOGRAFÍA:

1. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets
American Association of State Highways and Transportation Officials,
2004.
2. Roadside Design Guide,
American Association of State Highways and Transportation Officials,
2004.
3. Manual de Diseño Geométrico, Chile, 2010
4. Reporte 350 NCHRP
5. Standard Specifications for Highway Bridges, Washington, D.C.: AAS-
HTO,
American Association of State Highways and Transportation Officials,
2002
6. XX CONCURSO SOBRE TEMAS VIALES
Las Barandas en Los Puentes Carreteros: Estática y Estética. DIEGO J.
CERNUSCHI
Departamento Obras de Arte – Gerencia Técnica
7. Harwood, D. W., M. T. Pietrucha, M. D. Wooldridge, R. E. Brydia, and K.
Fitzpatrick.
Median Intersection Design, NCHRP Report 375, Washington, D.C.:
Transportation
8. Highways Drainage Guidelines,
American Association of State Highways and Transportation Officials,
2004.
9. Guide for the Development of Bicycle Facilities,
American Association of State Highways and Transportation Officials.
10. Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del
Tránsito de la SIECA, Agosto 2004.
11. TRB. Highway Capacity Manual 2010.

Capítulo 5

CAPÍTULO V INTERSECCIONES A NIVEL

5.1 Criterios de Selección y Diseño de las Intersecciones

Inicialmente, conviene presentar algunas consideraciones básicas de alcance general.

- El diseño de las intersecciones de una carretera debe corresponder en todo a su función, para responder así a las necesidades de los vehículos automotores que se interceptan o mezclan en dicha área de encuentro.
- La seguridad en las intersecciones, depende en gran medida de su percepción por los usuarios, de la facilidad con que la geometría y el funcionamiento de la misma es percibida desde lejos y en sus proximidades, así como comprendida por automovilistas y peatones. En este sentido, resulta interesante el mantenimiento de una cierta homogeneidad en el diseño de las intersecciones a lo largo de una carretera. Asimismo, debe tenerse en mente el propósito de que el cruce y sus aproximaciones constituyan un conjunto coherente.
- Debe resaltarse el diseño y construcción de aquellas intersecciones que marcan el cambio entre dos tramos diferentes. Concretamente, la primera intersección de una carretera o segmento de la misma tiene una importancia decisiva para el comportamiento de los conductores en el conjunto de la instalación vial. En dicha intersección deben manifestarse las nuevas funciones de la vía, la velocidad que se pretende garantizar, su capacidad y la transición entre los dos regímenes de circulación.
- En las intersecciones a nivel, puede ser útil el empleo de materiales especiales en la superficie de rodamiento, que sean visibles día y noche y que demarquen el espacio del cruce.
- La velocidad de circulación en la intersección y su entorno debe reflejarse en su geometría y ser complementada por una señalización clara y concisa.
- Adquiere importancia decisiva en las intersecciones la información sobre destinos, por lo que un efectivo señalamiento de tipo informativo resulta imperativo para facilitar la oportuna toma de decisiones de parte de los usuarios.
- Desde el punto de vista de la geometría del diseño geométrico, deben establecerse con cierta exactitud los radios de giro, en función del vehículo de diseño, y proyectarse en forma consecuente las islas y contornos de la intersección.

5.2 Conceptos Generales de una Intersección⁽⁸⁾

Se denomina **intersección el área donde dos o más carreteras se interceptan, ya sea uniéndose o simplemente cruzándose**. A cada vía que sale o llega a una intersección se le puede identificar como ramal o acceso de la intersección. A los elementos que unen las distintas ramas de una intersección se les conoce como enlaces, que adquieren el nombre de rampas cuando unen dos vías a diferentes niveles.

8 Ver Secretaría de Obras Públicas de México, "Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras", 1976

Dentro del área de una intersección, se realizan maniobras de divergencia o separación, convergencia o integración y cruce, a las cuales se deben añadir las maniobras de entrecruzamiento. Todas estas maniobras son fuente de conflictos, no sólo para el conductor que realiza la maniobra misma, sino que puede abarcar también a otros vehículos que se aproximan a la zona de conflicto, en la cual los conductores involucrados en el propio uso de la intersección, pueden causar trastornos o problemas a los demás conductores que operan hacia delante o hacia atrás de la intersección.

La **divergencia o separación** es la maniobra más sencilla y, por lo tanto, la menos conflictiva de las que se realizan en una intersección. El área de conflicto comienza en el punto donde se reduce la velocidad del vehículo que se separa de la corriente, afectando al vehículo que va detrás de él a distancia prudencial, hasta que completa la maniobra.

La **convergencia o integración** no puede realizarse a voluntad del conductor, sino que debe ser diferida hasta que exista un espacio adecuado entre dos vehículos que circulan por el carril al cual se va a incorporar. El área de conflicto se extiende hasta donde el vehículo que converge alcanza la velocidad de la corriente del tránsito en dicho carril.

El área de conflicto del **cruce** ocurre a una distancia del área de posible colisión hacia atrás, tanto del vehículo que cruza como de los vehículos que facilitan dicho cruce en la intersección.

Bajo la denominación de **entrecruzamiento** se identifica el cruce de dos corrientes de tránsito que circulan en un mismo sentido y que se efectúa mediante sucesivas maniobras de convergencia y separación. La zona de entrecruzamiento la constituye un camino de un sentido de circulación, cuya longitud y ancho determina la posibilidad de que en forma segura se realicen las maniobras de convergencia en un extremo y de divergencia en el extremo opuesto.

En las zonas de entrecruzamiento las operaciones deben realizarse a una baja velocidad relativa, para obtener mayor seguridad con un mínimo de demora para los usuarios. La longitud de la zona de entrecruzamiento determina el tiempo de maniobra disponible para los usuarios de la instalación, como sucede típicamente en las rotondas. De hecho, un cruce directo de dos carreteras se puede transformar mediante el diseño en una zona de entrecruzamiento.

El proyecto de una intersección se inicia desde el estudio de **las áreas de maniobra**, que incluye el área potencial de colisión o conflicto y la parte de los accesos desde la cual se ve afectada la operación de los vehículos. Las áreas de maniobras pueden ser simples, múltiples y compuestas. Es simple cuando dos vías de un solo sentido de circulación y un solo carril se cruzan, convergen y divergen. Es múltiple cuando se presentan las mismas condiciones de circulación unidireccional, pero concurren más de dos carreteras o arterias en la intersección. Es compuesta, cuando las maniobras se efectúan en más de un solo carril de circulación.

Las áreas de maniobras múltiples deben evitarse hasta donde ello sea posible. Para una buena operación del tránsito es fundamental que los conductores afronten un solo conflicto cada vez. Debe haber suficiente separación en tiempo o en espacio, entre dos áreas de maniobras sucesivas, para brindar las condiciones necesarias para que los conductores ajusten sus velocidades y trayectorias a las condiciones de cada conflicto potencial.

5.3 Elección y Clasificación del Tipo de Intersecciones a Utilizar

5.3.1 Elección del Tipo de Intersección

La elección del tipo de intersección es clave en el diseño de las carreteras, ya que éstas condicionan ampliamente la capacidad de la red, la seguridad de su funcionamiento y la integración de la carretera en el medio en que se localiza.

La elección del tipo de intersección depende de varios factores, entre los que se mencionan:

- ◆ Características geométrica de las vías que se intersectan y del tránsito que las utiliza, así como el número e importancia jerárquica de las carreteras que convergen en el sitio. Los volúmenes y la clasificación del tránsito, las proporciones de giros a la izquierda, a la derecha y cruces directos. También se dará importancia al movimiento peatonal, de ciclistas y otros. La regulación del tránsito y la cantidad y tipo de accidentes registrados por intersección, tendrá especial relevancia para la elección del tipo de diseño.
- ◆ Condiciones del sitio: la topografía, la disponibilidad y costo del terreno, las condiciones de visibilidad, las características y exigencias del ambiente y la posibilidad de usar materiales especiales en el pavimento, que sean visibles día y noche para delimitar el espacio del cruce.

5.3.2 Clasificación General

En general se clasifican las intersecciones de la siguiente manera, mencionadas en orden creciente de importancia y complejidad en su diseño:

- Intersecciones convencionales al mismo nivel.
- Intersecciones canalizadas.
- Intersecciones controladas por semáforos.
- Rotondas ó intersecciones giratorias.
- Intersecciones a distinto nivel e intercambios: Ver Capítulo VI.

- a) **Las Intersecciones Convencionales y Canalizadas.** Las intersecciones convencionales a nivel han sido el tipo más común de diseño de cruces de carreteras en el pasado. Hoy día, continúan siendo el tipo de intersección más común en áreas urbanas, suburbanas y rurales de Centroamérica, siendo sin embargo sustituidas de manera gradual y quizá un poco lenta, por otros tipos de intersecciones más complejas, cuando los volúmenes de tránsito o los porcentajes de giros en las intersecciones aumentan, justificando las modificaciones.

Las intersecciones convencionales a nivel, sin ningún sistema de prioridad, no son, en general, recomendables en carreteras. Las intersecciones a nivel con prioridad asignada a una de las corrientes de paso, comienzan a ser peligrosas cuando el volumen de tránsito y su distribución sobre la carretera principal dificulta el acceso a los vehículos de la vía secundaria, forzando a los conductores de estos a utilizar intervalos críticos, cada vez más reducidos para introducirse en la intersección, con el consiguiente aumento del riesgo de colisión. Por similares motivos, los cruces a nivel

convencionales no son aconsejables en vías de tránsito rápido.

Por ello numerosas guías y recomendaciones limitan la utilidad de las intersecciones a nivel, canalizadas o no, a volúmenes reducidos de tránsito y definen su campo de utilización a aquellos casos en que no son necesarios el resto de los tipos de intersecciones.

Concretamente, las intersecciones convencionales a nivel pueden justificarse:

- Cuando los recorridos no tienen un marcado carácter de tránsito a larga distancia.
- Cuando no se trata de un único cruce a nivel, sino de una sucesión de pasos pre señalizados, de diseño similar, que evita el efecto sorpresa.
- Cuando el tránsito es inferior a cierto umbral, que algunas publicaciones establecen en menos de 250 – 350 vehículos por hora para la vía secundaria y 900 vehículos por hora para la principal.
- Cuando el diseño de la señalización es cuidadoso a efectos de legibilidad y comprensión por los conductores.

Por otra parte, se recomienda la disposición de islas canalizadoras sobre la vía secundaria y la creación de una vía especial para los giros a la izquierda sobre la principal, para intensidades de tránsito superiores a los 5,000 vehículos promedio por día.

b) Consideraciones sobre las Intersecciones Semaforizadas. Este tipo de intersecciones se ha convertido en la forma de regulación más común de las intersecciones urbanas en todo el mundo, a partir de ciertos volúmenes de tránsito.

Las intersecciones Semaforizadas presentan las siguientes ventajas:

- ◆ Proporcionan unas reglas simples y universales para el paso de vehículos.
- ◆ Pueden adaptarse a través de modificaciones del ciclo y fases de los semáforos a distintas condiciones de tránsito.
- ◆ Facilitan el paso de peatones, otorgándoles tiempo propio dentro del ciclo usual de los semáforos.
- ◆ Su ocupación de superficie es mínima, donde usualmente el valor del terreno es alto y grandes las limitaciones para su adquisición.
- ◆ Permiten la coordinación de los recorridos principales mediante la coordinación de los semáforos en cascada, para mayor efectividad de la circulación del tránsito.
- ◆ Se integran bien en la textura urbana.

Sus desventajas más claras son:

- ◆ Aumentan los tiempos inútiles de espera donde se presentan condiciones de escasa o nula circulación durante prolongados períodos.
- ◆ Requieren un mantenimiento continuo y complejo si forman parte de una red centralmente operada por computadoras, como sucede en el entramado de las vías de ciertas áreas urbanas.
- ◆ Su complejidad aumenta notablemente si se trata de asegurar todos los movimientos en la intersección y, en concreto, los giros a la izquierda. Estos últimos entran en conflictos con los pasos de peatones.
- ◆ No permiten el cambio de sentido.

En este contexto y de acuerdo a la experiencia internacional, las intersecciones operadas con semáforos parecen adecuadas:

- ⇒ Cuando la visibilidad es insuficiente o se plantean problemas de peligro para los peatones, por dificultades de comprensión de la intersección.
- ⇒ Cuando existe una afluencia peatonal importante (superior a los 100 peatones por hora, para un tránsito rodado de 100 vehículos por hora, o de 250 peatones por hora para un tránsito de 600 vehículos por hora) o una fuente focal de peatones importante (escuelas, hospitales, centros comerciales, etc.).
- ⇒ A partir de ciertos umbrales de tránsito en las vías confluyentes, que pueden establecerse en mínimos en torno a los 350 vehículos por hora en cada una.
- ⇒ Cuando se pretenda regular el régimen y la velocidad de la circulación, con objeto de reducir su impacto en el entorno. En esos casos, la instalación de una onda verde semaforizada (semáforos operados en cascada, en intersecciones sucesivas) es, probablemente, el método más eficaz.

En cuanto al establecimiento de intersecciones semaforizadas coordinadas o la semaforización de existentes, conviene hacer algunas consideraciones:

- ◆ Como norma general, para que un semáforo sea respetado por los automovilistas, debe responder a una verdadera necesidad que sea claramente perceptible. La tendencia a no respetar los semáforos se agudiza cuando los conductores comprueban (día a día, en las carreteras suburbanas) que son escasas las personas o vehículos que atraviesan la intersección.
- ◆ Los semáforos situados sobre una carretera deben ser plenamente visibles desde las aproximaciones, debiendo despejarse de obstáculos el campo de visión del conductor o situarse sobre los carriles colgados de estructuras en forma de pértiga o cables cruzados de lado a lado. El accidente típico de un semáforo de carretera es el choque por detrás, debido en muchos casos a una mala visibilidad de las luces.

- ◆ Los semáforos deben situarse en un medio verdaderamente urbano para ser congruentes con el entorno y ser respetados. Los conductores no están acostumbrados a semáforos en medios rurales y, por tanto, reaccionarán con sorpresa ante su presencia.
 - ◆ En el diseño de travesías controladas por semáforos, deben evitarse velocidades elevadas de sincronización (más de 60 km/h) y fases verdes demasiado largas. La duración del ámbar debe adaptarse a la velocidad de aproximación.
 - ◆ Cuando se proyectan intersecciones operadas con semáforos sobre un trayecto suburbano, debe estudiarse la supresión de algunos movimientos en algunas de ellas, en particular los giros a la izquierda, para simplificar su funcionamiento. Dichos movimientos pueden concentrarse en otras intersecciones que ofrezcan mejores condiciones de espacio o circulación.
 - ◆ En general, se desaconseja la utilización de semáforos intermitentes nocturnos en carreteras.
- c) **El Proceso de Selección del Diseño.** Para seleccionar el tipo de intersección, existen aspectos generales a considerar, donde el proceso de estudio podría incorporar las siguientes fases:
- ◆ Un estudio del tránsito de vehículos en la intersección, actuales y proyectados, que incluya volúmenes por acceso, movimientos direccionales, distribución horaria y datos en hora pico ó punta y composición del tránsito por tipos de vehículos.
 - ◆ Estudios especiales del movimiento peatonal, donde el caso lo justifique.
 - ◆ Definición previa de los objetivos de la intersección en relación al funcionamiento de la carretera.
 - ◆ Definición de objetivos en relación al entorno, en especial lo relativo a la preservación de lugares con atractivos turísticos y la protección del ambiente local.
 - ◆ Estudio de posibles opciones dentro de parámetros de diseño conciliados con su entorno, tomando en cuenta capacidad, nivel de servicio, costos de construcción y mantenimiento. El elemento costo ha sido determinante para que en las carreteras regionales de Centroamérica muchas intersecciones continúen funcionando como simples intersecciones a nivel, cuando los volúmenes de tránsito y la intensificación de los conflictos son una clara demostración de que hay que utilizar intersecciones canalizadas y, en algunos casos, intersecciones a desnivel o intercambios.

La figura identificada como 5.1 ilustra en forma simplificada una combinación de soluciones posibles de diseño de las intersecciones, en función de los volúmenes de tránsito, tanto en la vía principal como en la vía secundaria que intercepta a la primera.

El diseño de las intersecciones es sensitivo a condiciones variadas de operación del tránsito y sus dimensiones se relacionan directamente con las características operativas que se desean.

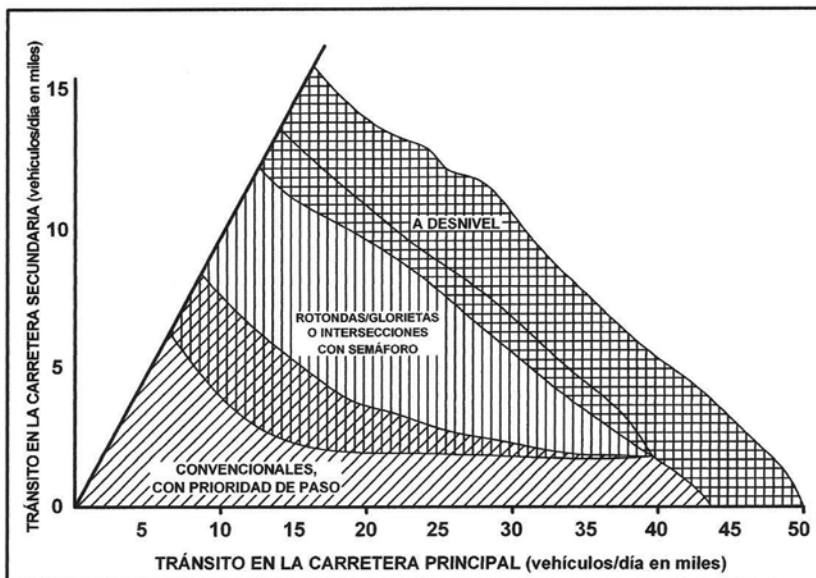


FIGURA 5.1. TIPOS DE INTERSECCIONES PARA DIFERENTES VOLÚMENES DE TRÁNSITO

5.4 Tipos de Intersecciones

El número de conflictos que puede enfrentar el tránsito vehicular en una intersección de dos carreteras es considerable, pero se puede modificar dentro de ciertos límites a voluntad del diseñador, como se muestra en la figura 5.2.

En una intersección común de cuatro ramales o accesos y circulación en ambos sentidos, se eleva a 32 el número de puntos de conflicto, reduciéndose dicho número a 8 cuando se presenta la misma condición anterior, pero bajo el control de semáforos que operan en un ciclo de dos fases y cada una con giro izquierdo permitido. El número de conflictos se reduce aún más, a un total de 5, cuando los cuatro accesos operan con un solo carril de un sentido de circulación. En una intersección en T o sea con tres ramales y circulación en ambos sentidos, el número de conflictos potenciales se eleva a un total de 9. En una intersección de seis ramales y circulación en ambos sentidos, afortunadamente poco usual, se eleva a un total de 172 los puntos de posible conflicto.

La clasificación de las carreteras, los volúmenes de tránsito que atienden y la velocidad con que operan en los distintos ramales, con su enorme potencial de conflictos, son los factores que determinan el tipo de intersección a seleccionar. En este sentido existen intersecciones de tres, cuatro y más accesos, con y sin canalizaciones.

5.4.1 Las Intersecciones en T

Las intersecciones de tres accesos o en T, sin canalizaciones, son las más comunes.

En situaciones de alta velocidad y significativos volúmenes de giros, se necesita mayor área para la maniobrabilidad de los vehículos, motivo por el cual se utilizan carriles auxiliares que aumentan la capacidad y seguridad de los vehículos que giran a la derecha o la izquierda. Cuando existe presencia de vehículos lentos, los carriles auxiliares permiten al tránsito directo o de frente, maniobrar con facilidad para evadir esta dificultad.

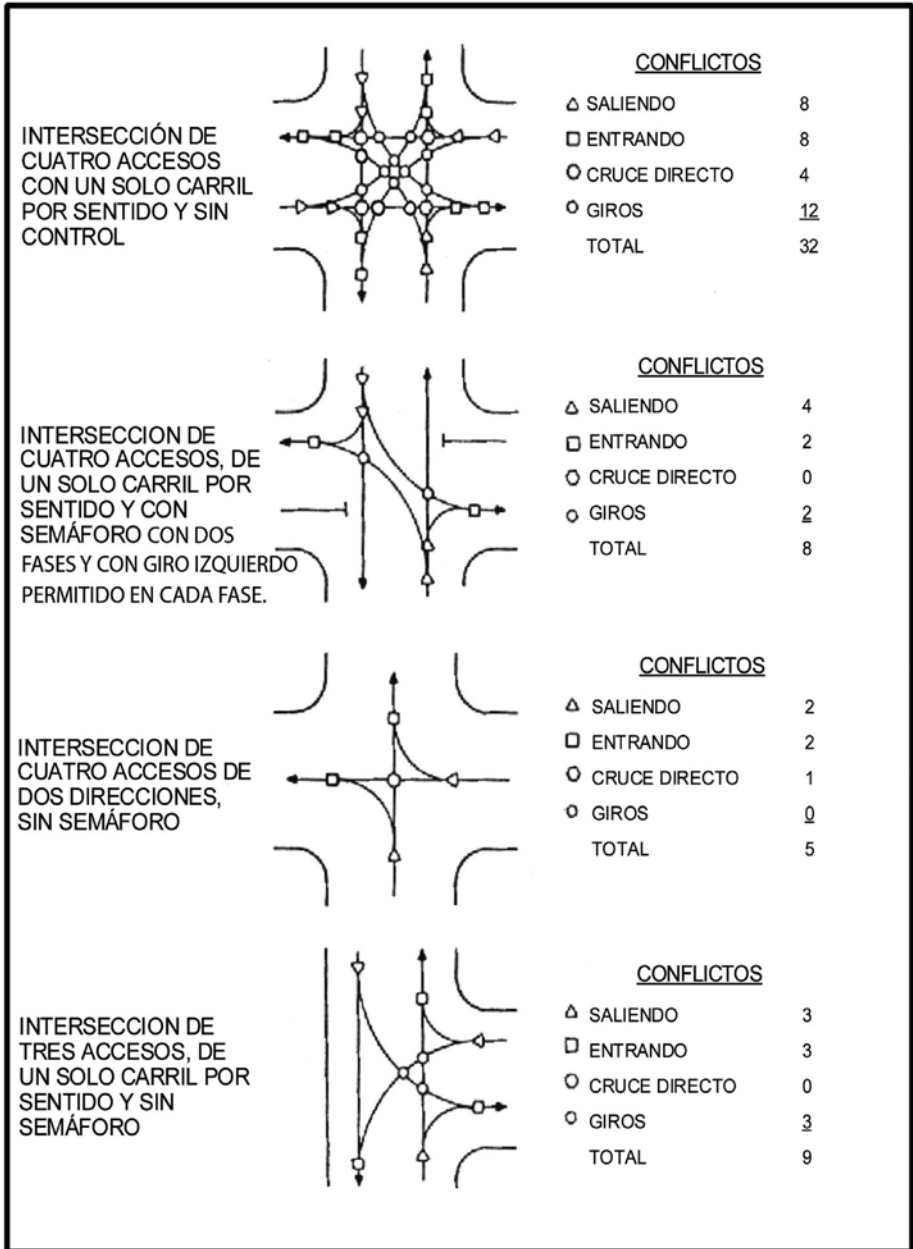
Se presentan las siguientes situaciones en las cuales se hacen necesarios los carriles auxiliares para controlar el funcionamiento de las intersecciones:

- Cuando el volumen de tránsito de cruce directo es elevado y el que gira a la izquierda es menor.
- Cuando el tránsito de cruce directo es alto y el que gira a la derecha es menor.
- Cuando los movimientos de giros en la intersección son elevados.

Para enfrentar estas situaciones en intersecciones de tres accesos, existen diferentes tipos de configuraciones geométricas que contribuyen a mejorar el funcionamiento de estas intersecciones a nivel, utilizando el recurso de semaforizarlas, canalizarlas u operarlas sin canalización alguna, lo cual depende de las condiciones de los volúmenes de tránsito, de consideraciones económicas y de los aspectos ambientales. Se ha preparado la figura 5.3, que muestra diferentes tipos de intersecciones en T, de un menú de opciones bastante amplio y diverso, para orientar la selección apropiada al tipo de problema por resolver.

Las intersecciones de cuatro accesos o ramales, que pueden ser canalizadas o no, siguen los mismos principios generales y enfrentan la misma situación de tránsito que las intersecciones de tres accesos o en T.

**FIG. 5.2 INTERSECCIONES DE TRES Y CUATRO ACCESOS
CON POSIBLE NÚMERO DE CONFLICTOS**



5.4.2 Las Intersecciones de Cuatro Ramales

Las intersecciones sencillas de cuatro ramales resultan apropiadas para cruces de caminos de bajos volúmenes de tránsito, también son apropiadas para caminos de poco tránsito que intersectan carreteras de mucho volumen, pero donde las maniobras de giro son de menor significación relativa. Las intersecciones ensanchadas con carriles adicionales, incrementan la capacidad de la intersección para los movimiento de cruce directo y los giros en la arteria principal.

Una intersección con isletas en los cuatro cuadrantes, como se muestra en la figura 5.4, es adecuada para los sitios donde haya suficiente espacio disponible y elevados volúmenes de tránsito de giro, particularmente en áreas suburbanas donde la presencia de peatones puede ser importante. La figura también ilustra el caso de un trébol parcial a nivel, donde dos aros convierten las maniobras de giro a izquierda sobre la vía principal, en simples maniobras de cruce directo de la intersección.

5.4.3 Otras Intersecciones

Además de los modelos de intersecciones antes mostrados, existen también intersecciones bastante conflictivas con más de cuatro accesos o ramales, como las que se presentan a manera de limitada ilustración en la figura 5.5, pero que pueden ser simplificadas en las formas mostradas en la misma lámina.

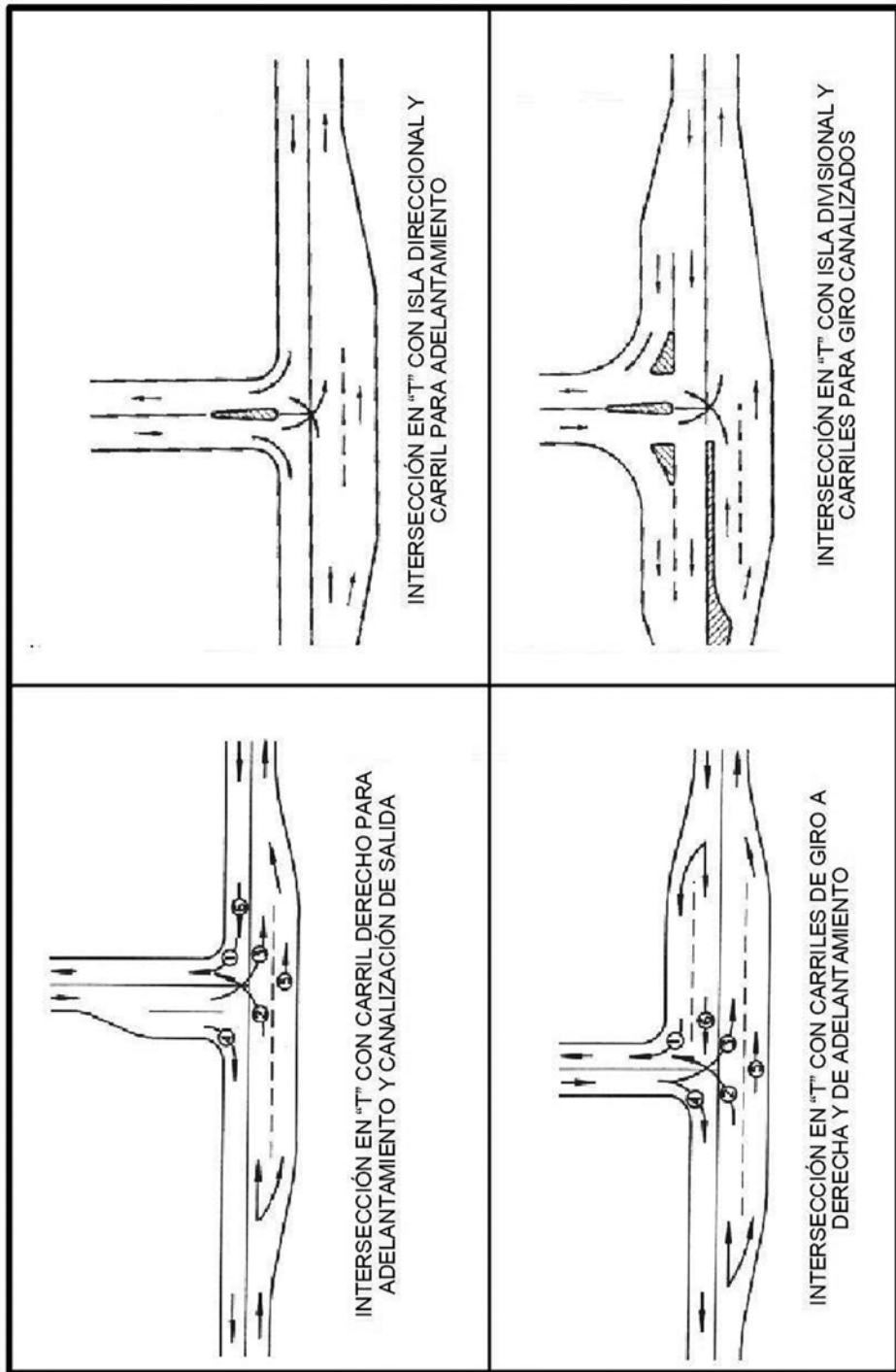


FIGURA 5.3. INTERSECCIÓN DE TRES ACCESOS O EN "T"

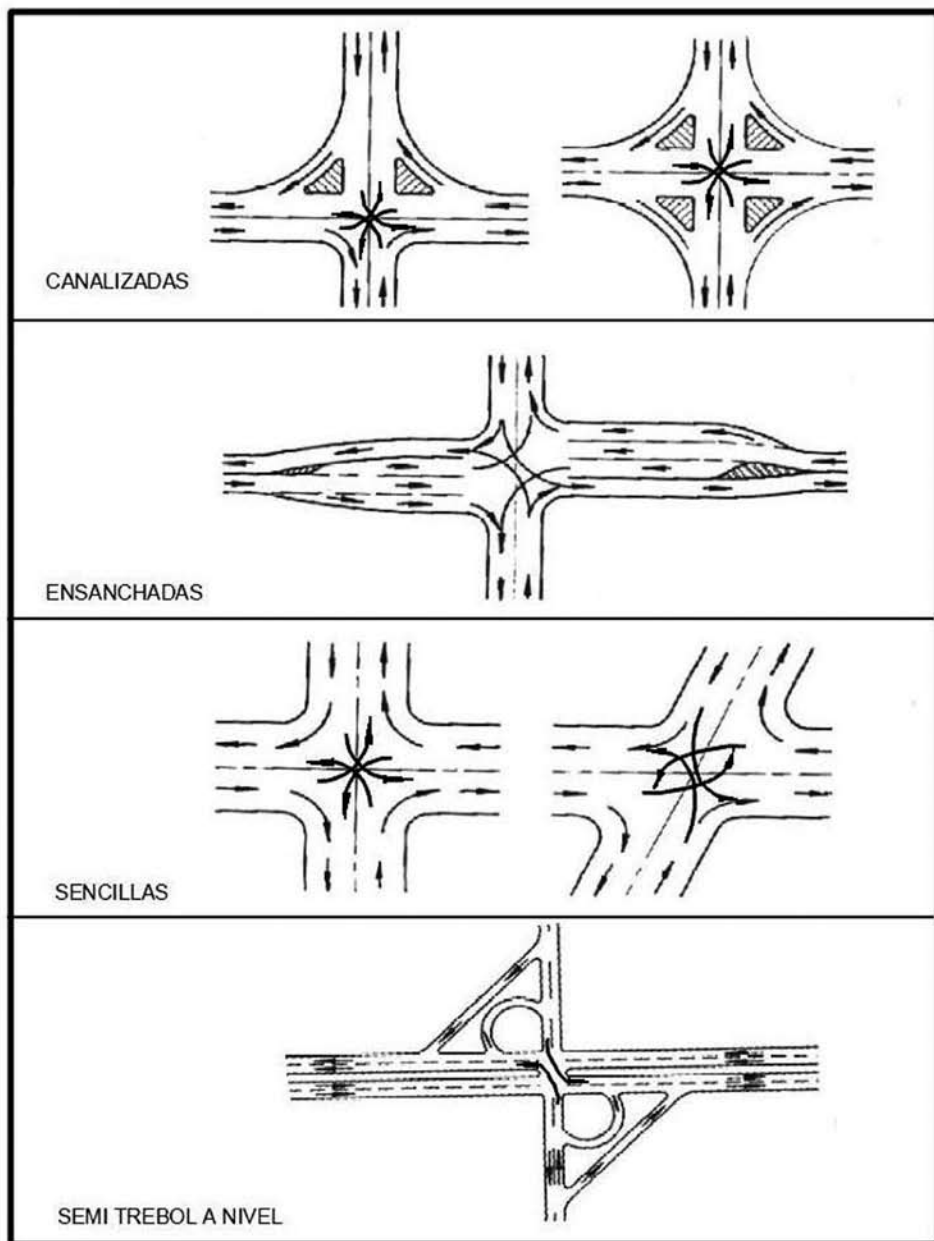


FIGURA 5.4. TIPOS DE INTERSECCIONES DE CUATRO ACCESOS

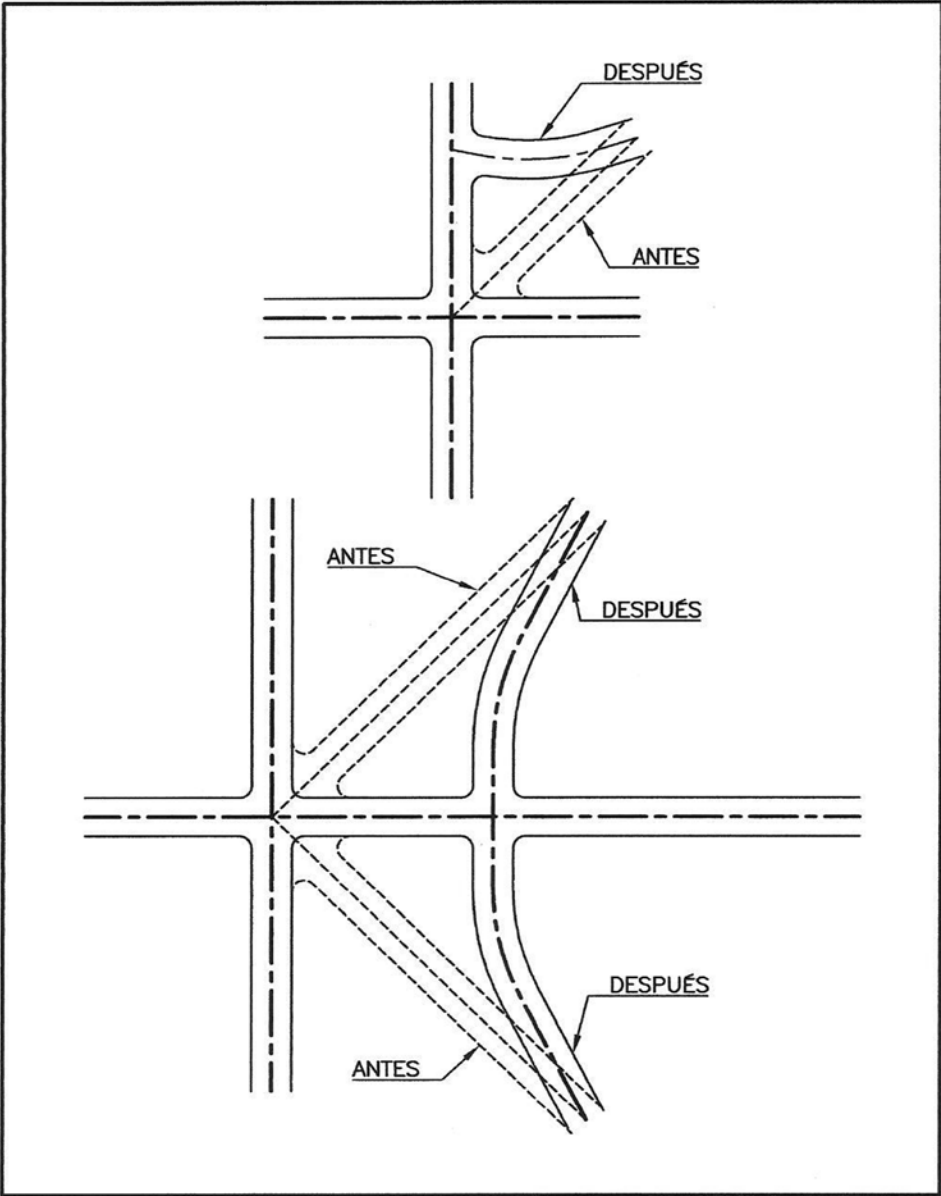


Figura No.5.5: INTERSECCIONES CON MAS DE CUATRO ACCESOS:
SU REALINEAMIENTO

5.5 Elementos de Diseño Geométrico

5.5.1 Orientaciones Básicas para el Alineamiento y el Perfil Longitudinal

El alineamiento debe ser tan recto y con pendiente longitudinal tan reducida (plana) como sea posible o práctico.

Aunque las condiciones del terreno son las que dictan la última palabra, es bajo esas condiciones ideales que los conflictos entre vehículos, peatones y ciclistas se reducen, pues al usuario se le da tiempo para percibir, discernir y realizar las maniobras necesarias para pasar por la intersección, ocasionando un mínimo de interferencias. Las distancias de visibilidad, por otra parte, deben ser iguales o mayores que los mínimos recomendados para determinadas condiciones.

Por consideraciones de economía en los costos y seguridad en las operaciones, las carreteras deben interceptarse en ángulo recto o lo más cercano a dicho ángulo (hasta un ángulo de 75 grados se considera generalmente deseable, un ángulo de 60 grados puede ser una variación máxima permisible). Las intersecciones en ángulos agudos, requieren amplias áreas para las maniobras de giro, o sea que incrementan las áreas de exposición a los peligros, y tienden a limitar la visibilidad, sobre todo de los conductores de vehículos pesados de carga. Cuando un camión realiza un giro a izquierda en un ángulo obtuso desde una vía principal, por ejemplo, el conductor tiene áreas ciegas a la derecha del vehículo que conduce.

La práctica de realinear las intersecciones en ángulo agudo a un ángulo recto o cercano a recto, tiene beneficios importantes para el diseño y su funcionamiento. La situación ideal se presenta cuando el realineamiento permite que en el camino secundario se alcancen velocidades de operación iguales o equiparables a las de la carretera principal. Desde luego que la introducción de curvas cerradas para lograr estos propósitos debe evitarse a toda costa, pues el efecto resultante es que los vehículos tienden a modificar el recorrido invadiendo el carril contiguo y generando conflictos potenciales o incrementándolos, al mismo tiempo que se pierde la efectividad de la señalización vertical y horizontal en la intersección por falta de tiempo para descubrirla y atender sus indicaciones.

Un método para transformar una intersección en ángulo agudo es utilizar dos intersecciones en T, mediante la introducción de una curva corta en cada acceso de la carretera secundaria, para permitir que el tránsito que cruza la intersección entre en la vía principal y vuelva a salir más adelante. Las mejores condiciones operativas para esta modificación ocurren cuando el tránsito en la vía secundaria es bajo o moderado, los vehículos que cruzan giran a la izquierda para entrar a la vía principal, para luego proceder a su desalojo mediante maniobras de giro a la derecha.

Las intersecciones en curvas agudas, por otra parte, deben evitarse en tanto sea posible, para evitar la reducción de las visibilidades y las complicaciones de la sobre elevación y de los ensanchamientos en curva.

Por lo que se refiere al perfil longitudinal, se insiste en conservar las distancias de visibilidad a lo largo de las dos carreteras y de la intersección

misma, por lo que debe evitarse la combinación de gradientes que hacen difícil el control de los vehículos. Ya se ha dicho que, en el diseño de la propia intersección, las pendientes deben ser suaves, como lo deben ser también en el espacio diseñado para el almacenamiento de los vehículos detenidos en la denominada plataforma de almacenamiento.

Las distancias calculadas para aceleración y parada de automóviles en pendientes de tres por ciento o menos, difieren muy poco de las distancias a nivel. Pendientes mayores de tres por ciento requieren ajustes en los factores de diseño para producir condiciones equiparables a la situación a nivel. Pero en todo caso, las pendientes en las intersecciones no deben exceder el 6 por ciento de gradiente longitudinal.

Como una regla final, el alineamiento y las pendientes longitudinales en las intersecciones, están sujetas a restricciones mayores que los mismos elementos de diseño en los tramos entre intersecciones.

5.5.2 Curvatura para Giros

Los parámetros más importantes que se utilizan en el diseño geométrico de las intersecciones son el vehículo de diseño, el ángulo de giro, el radio de los bordillos, el ancho de los carriles y el tamaño ó área de la isla, cuando exista el propósito de construir una intersección canalizada.

La operación de salida o entrada al carril de la carretera se facilita cuando el borde exterior se diseña con espirales o curvas compuestas para evitar que los conductores realicen abruptas maniobras de desaceleración, para permitir el desarrollo de la sobreelevación antes de la curvatura máxima y para posibilitar que los vehículos sigan una trayectoria natural en su desplazamiento.

Estos elementos de diseño son determinados en muchos casos por el comportamiento de los vehículos pesados en la corriente del tránsito, cuyas dimensiones y características de giro, establecen las diferencias en la trayectoria del voladizo frontal externo y la rueda trasera interna, cuando giran en la intersección. También se deben tomar en cuenta las características operacionales, los costos de construcción y mantenimiento de las intersecciones, la presencia de peatones, ciclistas y otros tipos de vehículos a motor; así mismo, el tipo de control del tránsito y la disponibilidad del derecho de vía.

Una consideración importante que debe de llamar la atención es la consistencia que deben tener los radios con otros elementos de diseño de la intersección. Los vehículos de diseño recomendados para las carreteras centroamericanas conforman los datos de diseño mostrados en el capítulo 2, cuadros 2.1 y 2.2, donde se presentan las dimensiones de los radios de las trayectorias de la rueda trasera interior y del voladizo frontal de los diferentes tipos de vehículos. La trayectoria mínima del paso de los vehículos de diseño se aplica en aquellas intersecciones no canalizadas, que demandan un espacio reducido a su mínima expresión.

El paso de los vehículos de diseño en las carreteras, cuando giran en una intersección a velocidades de 15 kilómetros por hora o menos, permiten alguna libertad a los conductores, porque en la realidad estos vehículos

necesitan un espacio menor. Se han preparado los cuadros 5.1 y 5.2, que contienen las trayectorias mínimas para giros de los vehículos de diseño cuando circulan en una intersección con curvas con transición simple y cuando transitan en curvas compuestas de tres centros. En el diseño del borde de la vía de circulación para la trayectoria mínima de un determinado vehículo de diseño, se asume que el vehículo está apropiadamente posicionado a 0.5 metros del borde en las tangentes de acceso y de salida de la curva de intersección.

Para giros en ángulo recto, un diseño basado en una isla mínima y un ancho de calzada de 4.2 metros, resulta en un arco circular de 18 metros de radio en el borde interior de la curva, o en una curva de tres centros de 45-15-45 metros, con un retiro de 1.0 metros del borde. Este diseño permite no sólo la circulación de automóviles o vehículos tipo P, sino que también admite la circulación a 25 kilómetros por hora de vehículos de diseño del tipo SU, cuyo voladizo exterior frontal describirá una curva de aproximadamente 20 metros, dejando todavía un retiro libre de 0.3 metros. Si el ancho de la calzada se incrementa a 5.4 metros y el retiro se incrementa a 1.5 metros, se puede lograr que el vehículo de diseño WB-15 realice el giro con un radio de 21 metros, a cambio de unas ligeras invasiones de los carriles contiguos. Esto último se evita y se facilita la circulación del vehículo WB-15, si el diseño se realiza con un radio mínimo de 20 metros, un retiro de 2 metros y el uso de curvas terminales de 55 metros de radio.

Las dimensiones mínimas de diseño para giros en ángulo oblicuo desde 75 hasta 150 grados, de los vehículos en intersecciones con islas y curvas compuestas, se presentan en el cuadro 5.3, para tres diferentes condiciones en la composición del tránsito, que se describen al pie del mismo cuadro. Las cifras que se muestran incluyen el diseño de la curva del borde interno de la vía, el ancho de la calzada y el tamaño aproximado de la isla. A medida que el retiro del borde exterior de la vía a la curva de radio mínimo se incrementa, se logran instalaciones para giro progresivamente más suaves y adecuadas.

Angulo de Giro (Grado)	Vehiculo de Diseño	Radio de Curva Simple(m)	Radio de Curva con Transición Simple		
			Radio (m)	Separación de Bordes (m)	Transición (m/m)
30	P	18	-	-	-
	SU	30	-	-	-
	WB-15	60	-	-	-
	WB-19	110	67	1.0	15:01
	WB-20	116	67	1.0	15:01
45	P	15	-	-	-
	SU	23	-	-	-
	WB-15	53	36	0.6	15:01
	WB-19	70	43	1.2	15:01
	WB-20	76	43	1.3	15:01
60	P	12	-	-	-
	SU	18	-	-	-
	WB-15	45	29	1.0	15:01
	WB-19	50	43	1.2	15:01
	WB-20	60	43	1.3	15:01
75	P	11	8	0.6	10:01
	SU	17	14	0.6	10:01
	WB-15	-	20	1.0	15:01
	WB-19	-	43	1.2	20:01
	WB-20	-	43	1.3	20:01
90	P	9	6	0.8	10:01
	SU	15	12	0.6	10:01
	WB-15	-	18	1.2	15:01
	WB-19	-	36	1.3	30:01
	WB-20	-	37	1.3	30:01
105	P	-	6	0.8	8:01
	SU	-	11	1.0	10:01
	WB-15	-	17	1.2	15:01
	WB-19	-	35	1.0	15:01
	WB-20	-	35	1.0	15:01
120	P	-	6	0.6	10:01
	SU	-	9	1.0	10:01
	WB-15	-	14	1.2	15:01
	WB-19	-	30	1.5	15:01
	WB-20	-	31	1.6	15:01
135	P	-	6	0.5	10:01
	SU	-	9	1.2	10:01
	WB-15	-	12	2.0	15:01
	WB-19	-	24	1.5	20:01
	WB-20	-	25	1.6	20:01
150	P	-	6	0.6	10:01
	SU	-	9	1.2	8:01
	WB-15	-	11	2.1	6:01
	WB-19	-	18	3.0	10:01
	WB-20	-	19	3.1	10:01
180	P	-	5	0.2	20:01
	SU	-	9	0.5	10:01
	WB-15	-	8	3.0	5:01
	WB-19	-	17	3.0	15:01
	WB-20	-	16	4.2	10:01

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 584-587

Cuadro 5.1
TRAYECTORIAS PARA GIROS DE VEHICULOS EN INTERSECCIONES CON CURVAS SIMPLES

45	P	-	-	-	-
	SU	-	-	-	-
	WB-15	60-30-60	1.0	-	-
	WB-19	140-72-140	0.6	36-43-150	1.0-2.6
	WB-20	140-53-140	1.2	76-38-183	0.3-1.8
60	P	-	-	-	-
	SU	-	-	-	-
	WB-15	60-23-60	1.7	60-23-84	0.6-2.0
	WB-19	120-30-120	4.5	34-30-67	3.0-3.7
	WB-20	122-30-122	2.4	76-38-183	0.3-1.8
75	P	30-08-30	0.6	-	-
	SU	36-14-36	0.6	-	-
	WB-15	45-15-45	2.0	45-15-69	0.6-3.0
	WB-19	134-23-134	4.5	43-30-165	1.5-3.6
	WB-20	128-23-128	3.0	61-24-183	0.3-3.0
90	P	30-06-30	0.8	-	-
	SU	36-12-36	0.6	-	-
	WB-15	55-18-55	2.0	36-12-60	0.6-3.0
	WB-19	120-21-120	3.0	48-21-110	2.0-3.0
	WB-20	134-20-134	3.0	61-21-183	0.3-3.4
105	P	30-06-30	0.8	-	-
	SU	30-11-30	1.0	-	-
	WB-15	55-14-55	2.5	45-12-64	0.6-3.0
	WB-19	160-15-160	4.5	110-23-180	1.2-3.2
	WB-20	152-15-152	4.0	61-20-183	0.3-3.4
120	P	30-06-30	0.6	-	-
	SU	30-9-30	1.0	-	-
	WB-15	55-12-55	2.6	45-11-67	0.6-3.6
	WB-19	160-21-160	3.0	24-17-160	5.2-7.3
	WB-20	168-14-168	4.6	61-18-183	0.6-3.8
135	P	30-06-30	0.5	-	-
	SU	30-9-30	1.2	-	-
	WB-15	48-11-48	2.7	40-9-56	1.0-4.3
	WB-19	180-18-180	3.6	30-18-195	2.1-4.3
	WB-20	168-14-168	5.0	61-18-183	0.6-3.8
150	P	23-6-23	0.6	-	-
	SU	30-9-30	1.2	-	-
	WB-15	48-11-48	2.1	36-9-55	1.0-4.3
	WB-19	145-17-145	4.5	43-18-170	2.4-3.0
	WB-20	168-14-168	5.8	61-17-183	2.0-5.0
180	P	15-5-15	0.2	-	-
	SU	30-9-30	0.5	-	-
	WB-15	40-8-40	3.0	30-8_55	2.0-4.0
	WB-19	245-14-245	6.0	30-17-275	4.5-4.5
	WB-20	183-14-183	6.2	30-17-122	1.8-4.6

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 588 - 591

Cuadro 5.2

TRAYECTORIAS PARA GIROS DE VEHICULOS EN INTERSECCIONES CON CURVAS COMPUESTAS

Angulo de giro (grados)	Clasificación para diseño	Curva compuesta de tres centros		Ancho de carril (m)	Área aproximada de la isla (m ²)
		Radios (m)	Retiro del borde de calzada (m)		
75	A	45-23-45	1.0	4.2	5.5
	B	45-23-45	1.5	5.4	5.0
	C	55-28-55	1.0	6.0	5.0
90	A	45-15-45	1.0	4.2	5.0
	B	45-15-45	1.5	5.4	7.5
	C	55-20-55	2.0	6.0	11.5
105	A	36-12-36	0.6	4.5	6.5
	B	30-11-30	1.5	6.6	5.0
	C	55-14-55	2.4	9.0	5.5
120	A	30-9-30	0.8	4.8	11.0
	B	30-9-30	1.5	7.2	8.5
	C	55-12-55	2.5	10.2	20.0
135	A	30-9-30	0.8	4.8	43.0
	B	30-9-30	1.5	7.8	35.0
	C	48-11-48	2.7	10.5	60.0
150	A	30-9-30	0.8	4.8	130.0
	B	30-9-30	2.0	9.0	110.0
	C	48-11-48	2.1	11.4	160.0

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, Pp. 638

Clasificación para Diseño:

A: Principalmente para vehículos livianos; permite ocasionalmente el vehículo de diseño SU, girando con limitados claros laterales..

B: Provisto adecuadamente para el vehículo de diseño SU; sin embargo, permite ocasionalmente el giro del vehículo de diseño WB-15 maniobrando con ligera invasión de los carriles adyacentes.

C: Proviso completamente para el vehículo de diseño WB-15..

Nota: Se recomienda delinear con pintura las islas menores de 7.0 metros cuadrados.

Cuadro 5.3. DISEÑO DE GIROS MINIMOS EN INTERSECCIONES CON ISLAS Y CURVAS COMPUESTAS

No se dan valores para ángulos de giro de menos de 75 grados, ya que involucran el uso de radios amplios que no corresponden con esta clasificación de dimensiones mínimas, por lo que deben diseñarse tales casos de manera particular, tomando en consideración las condiciones del sitio y las características del tránsito. Para ángulos entre 75 y 120 grados, el diseño está determinado por una isla mínima, que facilita los giros para radios mayores a los mínimos. Para ángulos en el orden de los 120 a 150 grados, se van requiriendo islas cada vez mayores hasta alcanzar los 100 metros cuadrados y más, lo cual indica el ahorro que puede lograrse en área pavimentada si se construyen dichas islas con áreas verdes amplias y acogedoras.

Pueden utilizarse curvas asimétricas de tres centros y transiciones rectas con una curva simple, sin alterar significativamente el ancho de la calzada ni el tamaño de la isla direccional.

Los diseños mínimos pueden ser apropiados donde las velocidades de circulación son relativamente bajas, el valor del suelo es sumamente alto y son bajos los volúmenes de tránsito. Los diseños para las combinaciones de tractor con semirremolque deben utilizarse donde es frecuente la presencia de este tipo de vehículos para el transporte de carga pesada, recomendándose el uso de las curvas simétricas compuestas de tres centros, que son preferidas si los vehículos pequeños constituyen una porción significativa del tránsito total. Debido a que estos diseños requieren amplias áreas pavimentadas, sobre todo cuando se utilizan dos o más cuadrantes para la solución, se aconseja su canalización que, en todo caso, involucre el uso de radios mayores.

En el mercado existe diferente software (programas de computación) que resultan de gran utilidad para el profesional del diseño de carretera, ya que le permite simular rápida y en forma simple las maniobras de giro de los vehículos en dibujos CAD o de otro tipo. Se utilizan estas herramientas para el diseño de intersecciones, áreas de carga, estacionamientos, estaciones de servicio y otras instalaciones que requieran facilitar el movimiento de vehículos automotores. El programa escoge el vehículo de diseño, simula movimientos hacia adelante y de retroceso para uno o varios vehículos a la vez, y describe la trayectoria del vehículo en los alineamientos proyectados en intersecciones y otros lugares críticos⁹.

5.5.3 Sobreelevación de Curvas en Intersecciones

En intersecciones a nivel, la sobreelevación máxima de las curvas debe ser del 10 por ciento, recordando que en carretera abierta y condiciones favorables del clima la sobreelevación alcanza hasta un máximo tolerable de 12 por ciento.

Los radios y las longitudes de los carriles para giros en intersecciones son de dimensiones limitadas, los conductores se dan cuenta de esta situación y aceptan una mayor fricción lateral en este tipo de curvas, que las que encuentran en otros tramos de carretera abierta, cuando las velocidades no son afectadas por los otros vehículos. Cuando los volúmenes de tránsito son de significación, los conductores operan a velocidades menores por cuanto deben realizar maniobras de separación y confluencia con las otras corrientes de tránsito.

Es aconsejable dar la sobreelevación máxima posible en las curvas de las intersecciones, sin dejar de reconocer la dificultad práctica de obtener la sobreelevación deseada sin cambios abruptos en las terminales. Este hecho ha sido reconocido para disponer el uso de bajas tasas de sobreelevación en el desarrollo de curvas estrechas con radios mínimos. Se recomiendan los valores de sobreelevación mostrados en el cuadro 5.4, en función de las velocidades de diseño. Donde se presentan rangos de valores, se recomienda usar las cifras medias o del tercio superior. En curvas compuestas prevalece la curva de menor radio. Una tasa de dos por ciento es considerada un mínimo práctico para el drenaje efectivo de

⁹ Ver AutoTURN, version 3.0, de Transoft Solutions, Suite 206 - 7080 River Road, Richmond, BC, Canada, V6X 1X5.

la superficie de rodamiento.

En los casos en que la sobreelevación ó peralte de diseño no pueda ser alcanzado por restricciones en el espacio disponible, el diseñador deberá establecer una situación tal, que la inclinación de la calzada no tenga el borde superior con una diferencia de niveles excesiva con respecto al borde inferior.

Radio (m)	Rangos de Sobreelevación, %					
	Velocidades de Diseño Curvas, km/h					
	20	30	40	50	60	70
15	2-10	-	-	-	-	-
25	2-7	2-10	-	-	-	-
50	2-5	2-8	4-10	-	-	-
70	2-4	2-6	3-8	6-10	-	-
100	2-3	2-4	3-6	5-9	8-10	-
150	2-3	2-3	3-5	4-7	6-9	9-10
200	2	2-3	2-4	3-5	5-7	7-9
300	2	2-3	2-3	3-4	4-5	5-6
500	2	2	2	2-3	3-4	4-5
700	2	2	2	2	2-3	3-4
1000	2	2	2	2	2	2-3

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, pp. 730

Cuadro 5.4. Sobreelevación en Curvas de Intersecciones

En los perfiles de las carreteras de dos carriles, la pendiente del borde de la calzada con respecto a la pendiente de la línea central, no debe variar en 0.5 por ciento para velocidades de diseño de 80 kilómetros por hora y de 0.65 por ciento para las velocidades similares de 65 kilómetros por hora, de conformidad con los datos mostrados en el cuadro 5.5.

Velocidad KPH	Diferencia de Pendiente Máxima Longitudinal (%)		
	Ancho a rotar (m)		
	3.60 m	5.40 m	7.20 m
20	0.80	0.96	1.00
30	0.75	0.90	1.00
40	0.70	0.84	0.93
50	0.65	0.78	0.87
60	0.60	0.72	0.80
70	0.55	0.66	0.73
80	0.50	0.60	0.67
90	0.47	0.57	0.63
100	0.44	0.53	0.59
110	0.41	0.49	0.55
120	0.38	0.46	0.51

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 643.

Cuadro 5.5. Máximo Cambio de Pendiente para los Perfiles entre los Bordos de los Carriles y la Línea Central en Carreteras de dos Carriles, en Función de la Velocidad

Usualmente el perfil de un borde de la calzada se establece primero, dejando el perfil del otro borde desarrollarse hacia arriba o hacia abajo con relación al primero, de acuerdo a la tasa indicada en el cuadro 5.5. Esta etapa se realiza planteando unos cuantos puntos de control en el segundo borde, para luego aproximar el cambio de un punto a otro de referencia y después trazar el perfil tan ajustado a los puntos de referencia como sea posible. El drenaje de la calzada debe ser un control adicional, en especial donde se utilicen bordillos.

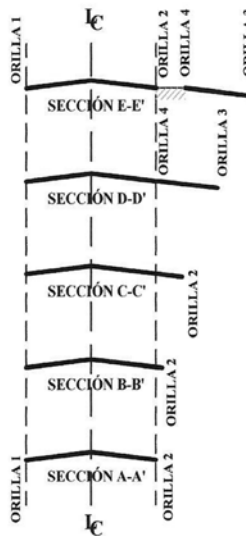
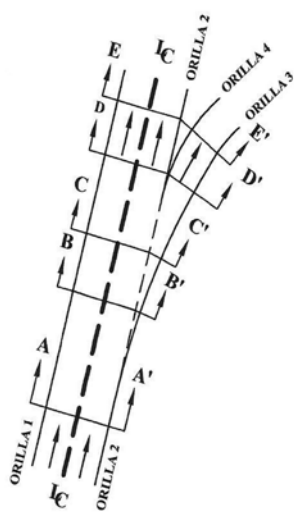
La sobreelevación es raramente compatible en las terminales de las intersecciones, con los valores dados en función de la curvatura y la velocidad de diseño, cuando una curva de la intersección resulta en una simple ampliación de la pista de rodaje, cuando se desea mantener la pendiente transversal de dicha pista y cuando hay un límite práctico para la diferencia entre la pista de rodaje y la de la curva de intersección. Una diferencia muy marcada entre las pendientes transversales puede hacer que un vehículo se desvíe lateralmente.

Para el diseño de la salida de una carretera en una intersección, se debe considerar que el perfil longitudinal y la pendiente de la carretera principal son fijos y determinados de previo. A medida que la curva de salida se separa de la pista principal, el borde de la sección ampliada puede gradualmente variar con respecto al eje principal. Poco después del punto donde la sección de giro alcanza su ancho total, una nariz de acceso separa ambos pavimentos, sin que hasta entonces se haya podido alcanzar la sobreelevación propuesta para la curva. Después de la nariz de acceso, se desarrollará la sobreelevación hasta alcanzar los límites del diseño propuesto.

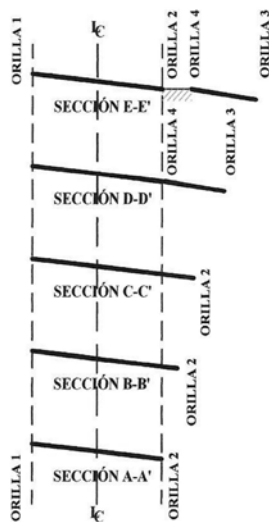
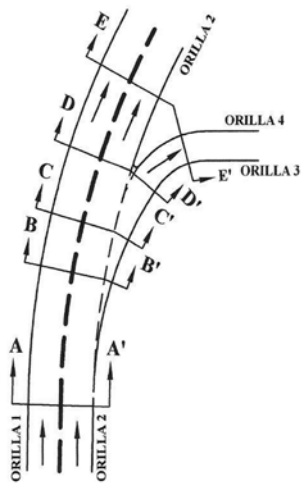
Se presentan cuatro situaciones en las que se dan diferentes tratamientos especiales al desarrollo del peralte:

- En el primer caso, el bombeo de la carretera principal se mantiene igual antes y después de la curva, pero el carril auxiliar se mantiene igual al carril contiguo al mismo, hasta que alcanza la curva, que es el punto donde empieza la aplicación de la sobreelevación a lo largo de su recorrido.
- El segundo caso se da cuando la carretera principal drena superficialmente hacia el sitio del carril auxiliar que se conecta con la curva. La pendiente transversal de la carretera principal se aplica al carril auxiliar, hasta empalmar en la curva para desarrollar el peralte correspondiente.
- La tercera situación se presenta cuando el bombeo de la calzada principal totalmente se desarrolla en sentido contrario a la inclinación del carril auxiliar, entonces en este último se le aplica una pendiente transversal igual a la principal en el inicio, inclinándose gradualmente en el sentido de aplicación del peralte hasta el inicio de la sobreelevación en la curva.
- El último caso ocurre cuando el carril auxiliar es un carril de desaceleración con bahía de transición. En este último, la pendiente transversal se aplica de igual magnitud a la correspondiente a la vía principal hasta el punto donde alcanza la nariz de entrada a la curva, donde comienza gradualmente la aplicación del peralte de la misma.

Se han preparado la figura 5.6(a) y 5.6(b), donde pueden apreciarse con claridad las descripciones arriba expresadas.

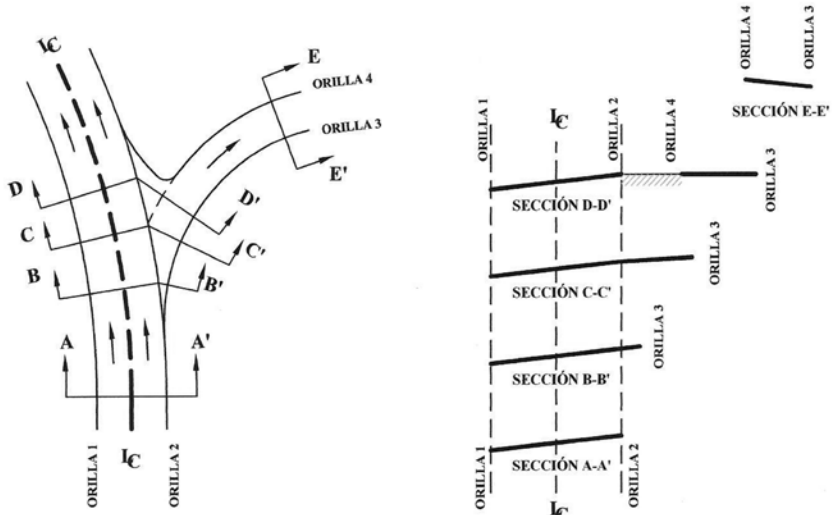


DESARROLLO DEL PERALTE EN
TERMINALES DE CARRILES DE GIRO

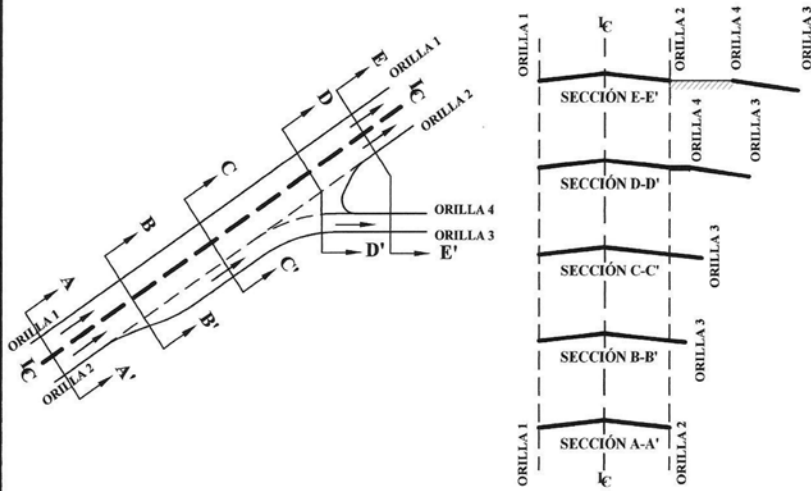


DESARROLLO DEL PERALTE EN TERMINALES DE CARRILES
DE GIRO A LA DERECHA EN AMBAS CALZADAS

FIGURA 5.6(a) DESARROLLO DEL PERALTE EN CURVAS DE
INTERSECCIONES CON CARRILES AUXILIARES



DESARROLLO DEL PERALTE EN TERMINALES DE CARRILES DE GIRO DE CALZADAS DE DISTINTO SENTIDO



DESARROLLO DEL PERALTE EN TERMINALES DE CARRILES DE GIRO CON CARRIL AUXILIAR PARALELO

FIGURA 5.6(b) DESARROLLO DEL PERALTE EN CURVAS DE INTERSECCIONES CON CARRILES AUXILIARES

5.6 Canalizaciones e Islas

5.6.1 La Canalización de Intersecciones

Una intersección canalizada es una intersección de carreteras provista de una o más islas, mediante las cuales el tránsito proyectado es distribuido en determinadas trayectorias. Una isla es, por consiguiente, un área determinada entre carriles de circulación del tránsito, para llenar una de las tres funciones básicas siguientes: **canalizar** el tránsito, usualmente para controlar y dirigir las maniobras de los vehículos en la intersección; **dividir o separar** el tránsito, referido básicamente a la separación de las corrientes de tránsito opuestas; y **servir de refugio** para peatones y otros usuarios vulnerables al movimiento vehicular propio de las carreteras.

La forma triangular es la más común de las islas diseñadas para la canalización del tránsito, separando, por ejemplo, la corriente sobre la vía principal del tránsito con giro a la derecha. Bajo la función de canalización, las islas deben controlar las operaciones en una intersección, ser fáciles de seguir en una trayectoria clara y dirigir, sin lugar a confusiones, el movimiento de los vehículos en su maniobra prevista. Las áreas demasiado espaciosas para las maniobras, deben ser convertidas en islas que no dejen nada a la discreción del conductor.

Las islas para dividir o separar el tránsito se utilizan a menudo en las intersecciones de carreteras sin medianas, alertando a los conductores de la presencia de una intersección y controlando la operación del tránsito de paso. Estas islas son efectivas para controlar los giros a izquierda en intersecciones esviajadas. La ampliación de una carretera para incluir una isla divisoria, debe realizarse de forma que la trayectoria a seguir sea natural y evidente para los conductores. Donde la intersección es en tangente, se deben introducir curvas de alineamiento revertido, con radios preferiblemente de 1,500 metros o más, aunque curvas de 700 metros de radio o menos pueden utilizarse en carreteras con velocidades menores.

Las islas para refugio de peatones y ciclistas se utilizan primariamente en vías urbanas y suburbanas. Para ser utilizadas por ciclistas, las islas de refugio deben tener un ancho mínimo de 1.8 metros, libre de obstrucciones.

La isla de menor tamaño que puede ser utilizada en el área urbana debe ser de 5 metros cuadrados y de 7 metros cuadrados en las áreas rurales, aunque preferiblemente en ambos casos el mínimo deseable son los 9 metros cuadrados. Por consiguiente, las islas triangulares deben tener entre 3.5 y 4.5 metros por lado como mínimo, después del redondeo de los vértices. Las islas elongadas o divisorias no deben ser menores de un metro de ancho, con 6 a 8 metros de largo. En intersecciones aisladas de carreteras de alta velocidad, las islas divisorias deben ser por lo menos de 30 metros de longitud.

Dentro de una intersección, una mediana o una separación exterior se considera una isla. La isla puede ser un área delimitada por bordillos o simplemente demarcada en el pavimento, pudiendo adoptar cualquier forma apropiada a su función. Una isla debe ser de fácil construcción y bajo

costo, al punto que se admite que puede ser un área sin pavimento, posiblemente complementada por delineadores o postes guía. Las islas demarcadas sobre el pavimento o con bordillos montables son indicadas:

- En carreteras rurales de alta velocidad, para delinear carriles de giro separados.
- En áreas limitadas donde se desea definir el paso de vehículos, pero no se tiene suficiente espacio.

Las islas con bordillos de barrera son apropiadas cuando:

- Existen situaciones de baja ó moderada velocidad, donde su función principal es la separación de los altos flujos de tránsito opuesto.
- En sitios que requieren una eficiente demarcación del paso de los vehículos, como en carreteras de tránsito mayor con volúmenes apreciables de maniobras de giro. También se utilizan en intersecciones con topografía difícil.

En todo caso, la isla debe ser suficientemente notoria para que el conductor advierta su presencia, sin invadirla en su trayectoria. Donde el borde interior para el giro a derecha en una intersección se proyecta para permitir el movimiento de vehículos livianos a velocidades de 25 kilómetros por hora o más, por ejemplo, el área de la intersección se torna muy amplia para el apropiado movimiento del tránsito, por lo que se debe procurar canalizarla mediante la construcción de una isla de las dimensiones necesarias para facilitar la circulación. Ver fig. 5.7.

5.6.2 Principios Básicos de las Canalizaciones¹⁰

El diseño de las intersecciones canalizadas se ajusta a nueve principios básicos, algunos de los cuales se ilustran en las figuras 5.8, 5.9 y 5.10, que cumplen con el propósito de proporcionar elementos de diseño para seguridad, economía y eficiencia en los movimientos de las corrientes de tránsito que concurren en un punto, provenientes de carreteras que se entrecruzan. Los principios son los que siguen:

¹⁰ Ver “*Intersections Channelization Design Guide*”, NCHRP, Report TRB, 1985

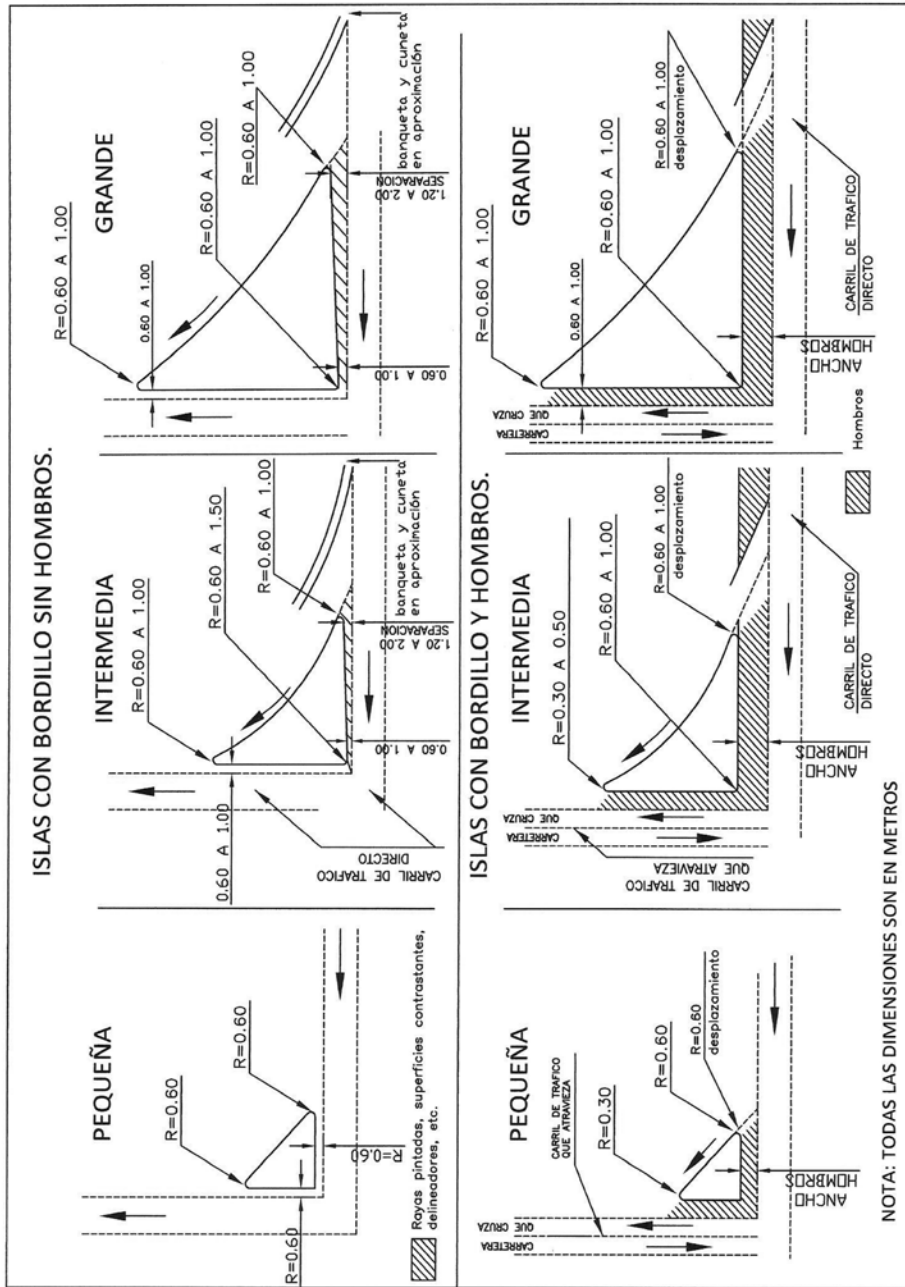


Figura 5.7: ISLAS DE TRANSITO.

1. **Las canalizaciones se diseñarán para evitar en lo posible o impedir que se realicen movimientos indeseables o peligrosos para las corrientes del tránsito en los sitios determinados.** La continuación de la mediana central en una intersección en T, cumple con el propósito de evitar los giros a izquierda, que pueden ser indeseables en determinadas circunstancias.
2. **Todos los elementos de diseño de la intersección se deben definir claramente, para favorecer los giros o cruces oportunos de los vehículos.** Las islas no deben dejar lugar para confusiones acerca de la dirección de las corrientes de tránsito alrededor de ellas.
3. **En el diseño de las intersecciones se deberá promover el desarrollo de velocidades que además de seguras, sean las deseables.** En otros casos, las canalizaciones pueden utilizarse para reducir las velocidades y mitigar los conflictos generados por tales velocidades.
4. **Siempre que sea posible, se debe procurar la separación de puntos de conflictos entre vehículos y peatones y entre vehículos entre sí.** El desarrollo de carriles de giro, el diseño de islas y el control de puntos de acceso, todos sirven al propósito de separar los puntos de conflicto.
5. **Los diseños deben considerar con prioridad los cruces en ángulo recto en tanto sea posible y las operaciones de convergencia en ángulo agudo.** Los cruces y las convergencias deben minimizar tanto la probabilidad de los conflictos de colisión, como la severidad de los mismos.
6. **En el diseño de las intersecciones, se debe dar prioridad a las corrientes de tránsito de alta intensidad.** La selección de la prioridad debe basarse en los volúmenes relativos de tránsito, en la clasificación funcional de las carreteras que se intersectan y en la designación de las rutas.
7. **Se debe facilitar en el diseño el plan de colocación y operación de los dispositivos para el control del tránsito.** La canalización debe destacar el esquema de control seleccionado para la operación de la intersección.
8. **Los vehículos lentos deben separarse de la corriente principal de tránsito en la intersección.** Los vehículos que deben reducir velocidad o detenerse debido al control del tránsito o para reducir velocidades en operaciones de giro, deben ser separados del tránsito de paso, que se desplaza a mayores velocidades relativas.
9. **Se deben conservar áreas para cruce y refugio de peatones, al igual que motocicletas, bicicletas y otros vehículos no motorizados.** El uso apropiado de la canalización puede minimizar la exposición de estos usuarios a los conflictos vehiculares, sin afectar el flujo del tránsito.

Para cumplir con estos principios parcial o totalmente existen siete elementos básicos de diseño, a saber:

1. Configuración y designación de carriles de circulación.
2. Tipo y tamaño de las islas canalizadoras.
3. Cortes en las medianas separadoras del tránsito.
4. Radios de las esquinas de las intersecciones.
5. Configuración geométrica de los accesos.

6. Transiciones y cambios horizontales de los bordes del pavimento ó bordillos.
7. Dispositivos para el control del tránsito.

5.7 Los Giros a Izquierda

5.7.1 Consideraciones Especiales para el Diseño de los Giros a Izquierda¹¹

El elemento más crítico en el diseño geométrico de una intersección a nivel, son los volúmenes de tránsito que giran a la izquierda, debido a la alta peligrosidad de la maniobra en relación con los otros movimientos que son característicos en estas áreas de conflicto. La disposición de excluir o permitir los giros a izquierda en una intersección, afecta los niveles de servicio de las carreteras y la seguridad de la misma intersección.

En la figura 5.2 se ilustra con suficiente claridad los diferentes conflictos que surgen en la circulación de vehículos a través de estos cruces. Gran parte de los accidentes que suceden tienen relación con los giros a izquierda y la capacidad de las intersecciones es altamente influenciada por los vehículos que giran en ese sentido. Los vehículos que giran a la izquierda entran en conflicto con i.) el tránsito que viene de paso en sentido contrario, ii.) el tránsito que cruza la intersección y iii.) el tránsito de paso en el mismo acceso. De lo anterior se desprende que es deseable en alto grado proveer carriles para giros a izquierda, aunque desafortunadamente no siempre es posible lograrlo.

Algunos de los factores geométricos y operacionales que influyen en la disposición de construir carriles para giros de izquierda, son los que siguen:

- Clasificación funcional de carreteras de dos o más carriles, con y sin mediana.
- Uso de dispositivos para el control del tránsito, con semáforos, marcas en el pavimento y señales verticales.
- Velocidad de los vehículos.
- Volúmenes de tránsito que giran a la izquierda.
- Otros volúmenes de tránsito en la intersección bajo análisis.
- Características del entorno de la intersección (urbano, suburbano, rural).
- Características topográficas del sitio.

La decisión para incluir carriles para giros a la izquierda debe decidirse en base a los siguientes criterios:

- Que el volumen de tránsito que gira a la izquierda sea mayor de 20 por ciento del volumen total en el acceso, y
- Que el volumen horario en la hora punta sea mayor de 100 vehículos.

¹¹ El diseño de los carriles para giros a derecha, además de ser menos conflictivos, se rigen por los mismos principios y procedimientos que los carriles para giros a izquierda.

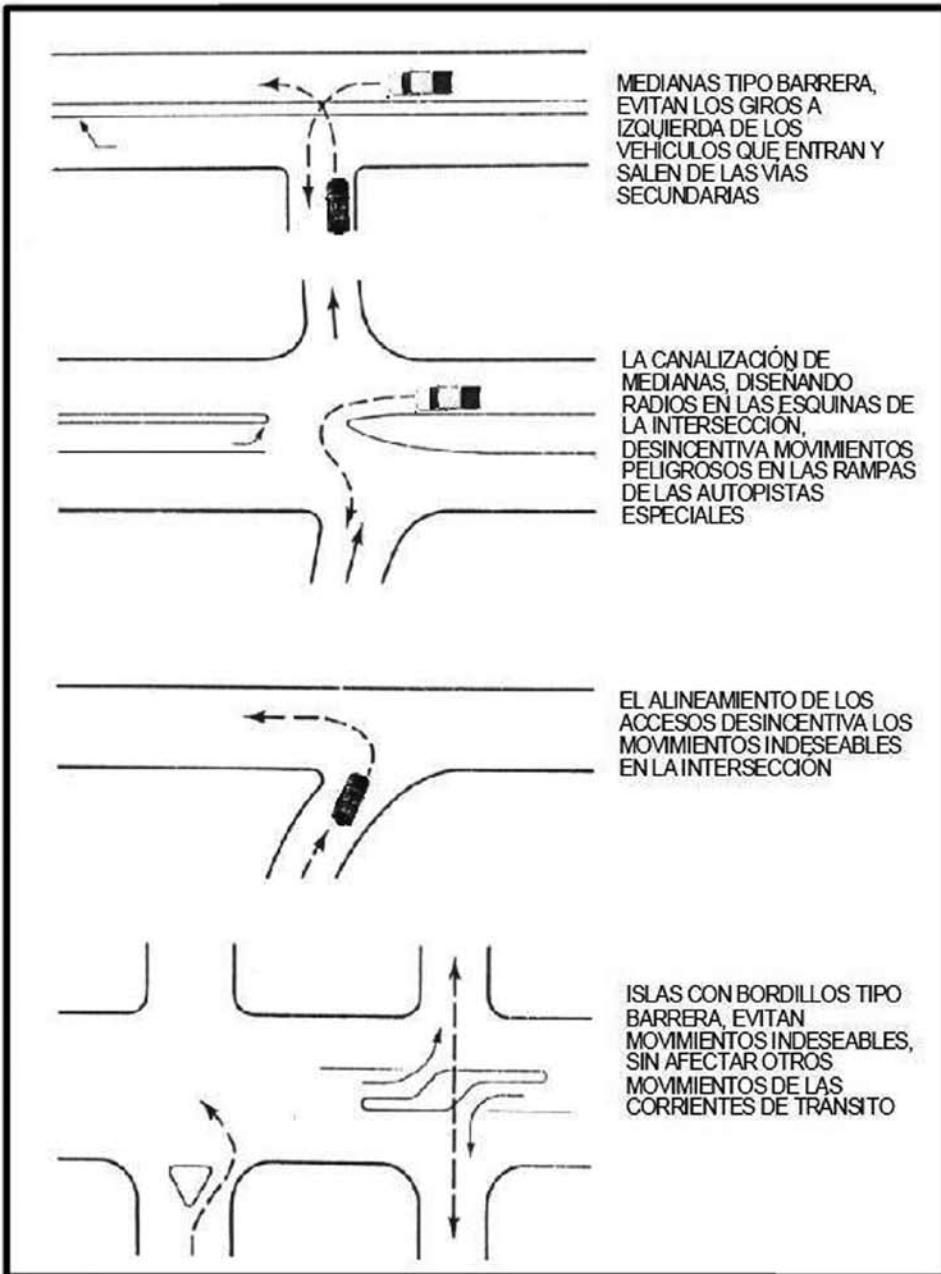


FIGURA 5.8. ILUSTRACIÓN DE MEDIDAS QUE EVITAN MOVIMIENTOS PELIGROSOS EN INTERSECCIONES

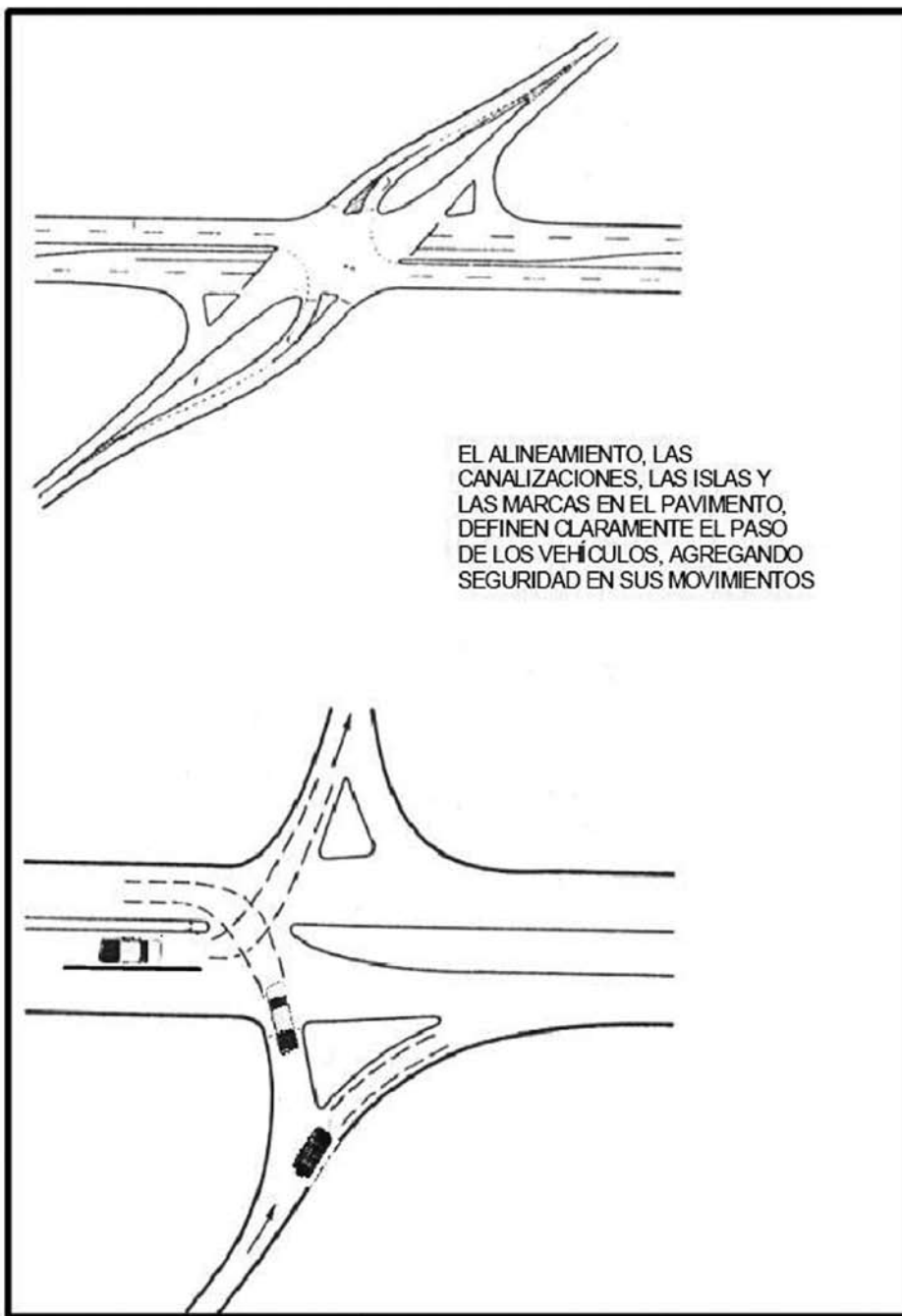


FIGURA 5.9. DEFINICIÓN CLARA DEL PASO DE VEHÍCULOS

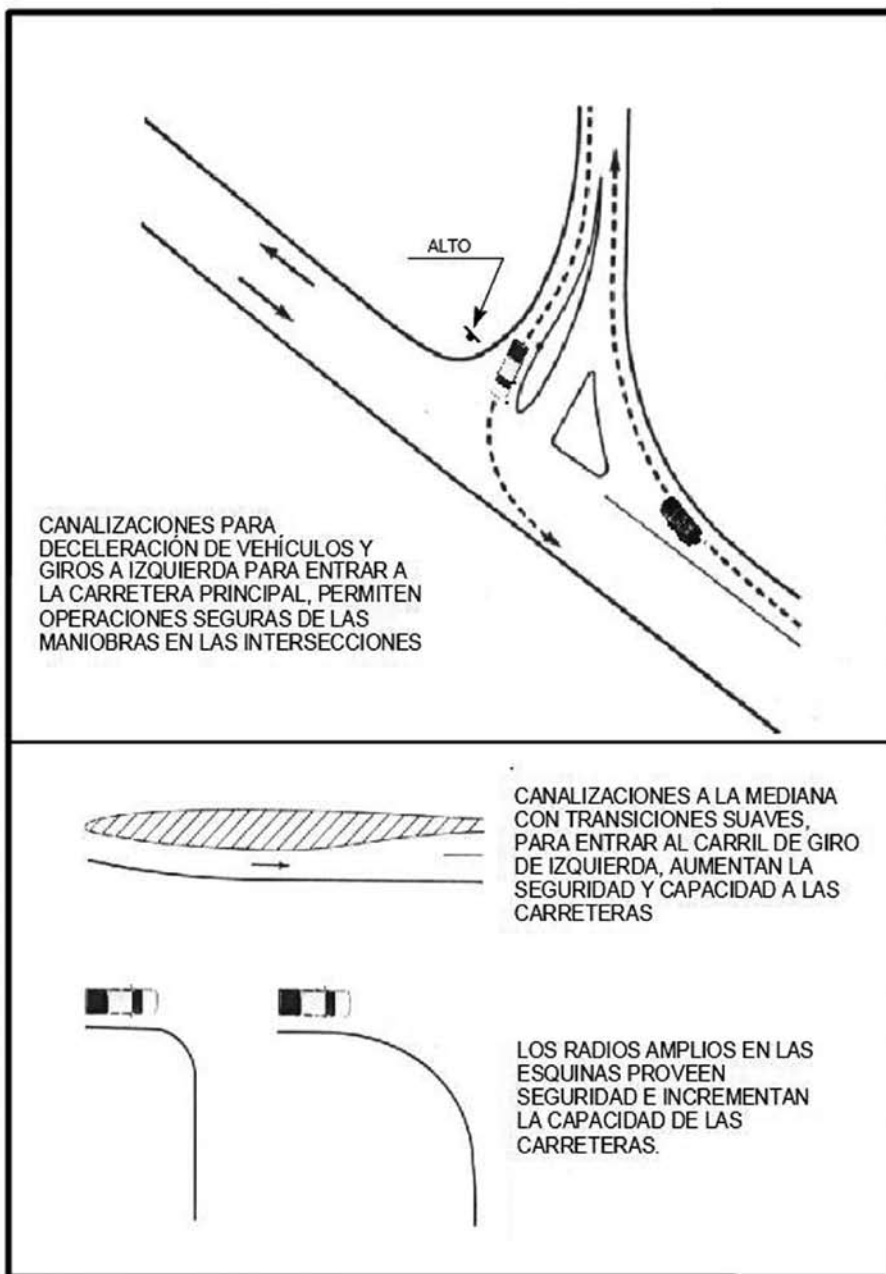


FIGURA 5.10. FACILIDADES PARA PROPICIAR VELOCIDADES SEGURAS DE LOS VEHÍCULOS

Para intersecciones con instalaciones operadas con semáforos, se dan las orientaciones tomando como base la figura 5.11, que presenta el documento de referencia Intersection Channelization Design Guide, publicado por el Transportation Research Board de los Estados Unidos de América¹²

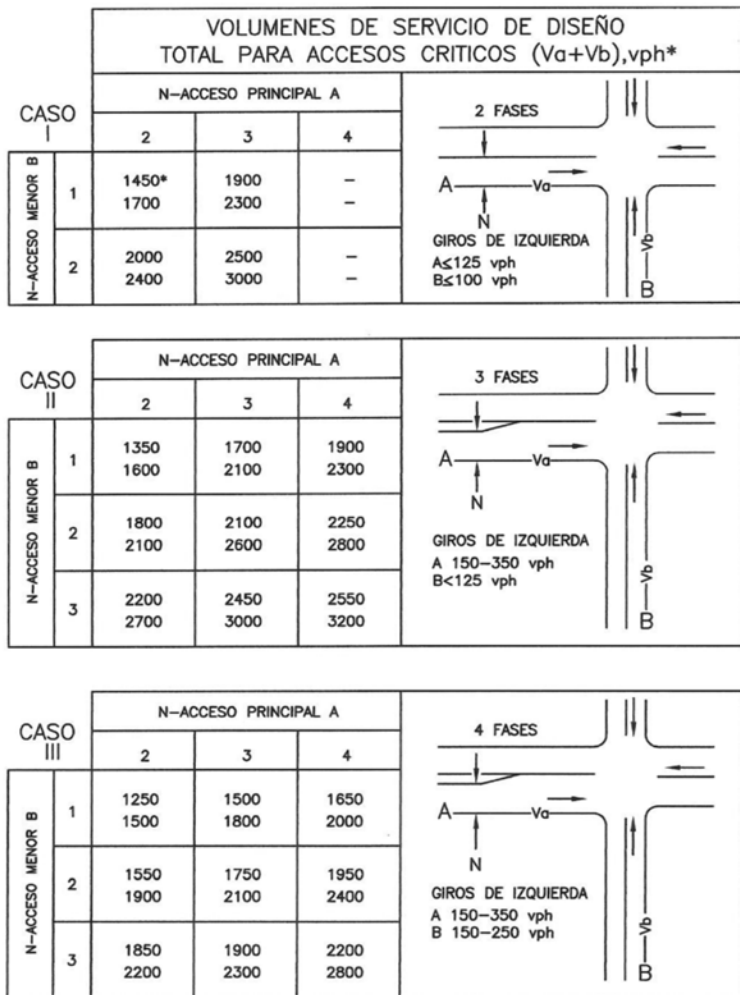
Las intersecciones sin semáforos, requieren carriles para giros de izquierda para facilitar el flujo del tránsito, si cumplen con las siguientes condiciones:

1. En carreteras de alta velocidad divididas, o sea con medianas.
2. En carreteras con circulación de tránsito prioritario, que se intersecta con carreteras colectoras, suburbanas y rurales.
3. Donde el análisis de capacidad sea tomado en debida cuenta, para minimizar las demoras y afectaciones a los vehículos que cruzan la intersección y realizan giros a la derecha.

En el diseño de estas instalaciones operadas sin semáforos, deben observarse las siguientes funciones:

- Opción segura para desacelerar en giros a izquierda, separados de la corriente vehicular principal.

¹² National Cooperative Highway Research Program Report, 1985.



NOTA:

N = NÚMERO BÁSICO DE CARRILES EN UNA DIRECCIÓN POR ACCESO EXCLUYENDO LOS CARRILES PARA GIROS.

2-3 Y 4= FASES DE SEMÁFORO, SIN REFERENCIA AL TOTAL REQUERIDO.

*= SUMA DE VOLÚMENES DE TRÁNSITO (vph) EN UNA DIRECCIÓN, DESDE DOS ACCESOS, DURANTE LA HORA DE DISEÑO. LOS NÚMEROS SUPERIORES REPRESENTAN EL VOLÚMEN DE SERVICIO C Y LOS DE ABAJO LA CAPACIDAD.

Figura.5.11: GUIA GENERAL DE CAPACIDAD DE CARRILES PARA GIROS A IZQUIERDA EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS.

- Como medio seguro de girar a la izquierda y almacenar vehículos, en las intersecciones provistas de semáforos.
- Disminución de la velocidad al pasar de la vía rápida a este refugio, con menos peligro de colisión o accidentes con otros vehículos que viajan en sentido contrario.
- La señalización apropiada para alertar a los conductores de la existencia de esta instalación.

Para calcular la longitud requerida para que un vehículo en marcha desacelere y frene enteramente fuera de la corriente principal de la carretera, se recomienda un tiempo mínimo de tres segundos para que el vehículo desacelere en la zona de transición. Cuando se construye este carril separador de los giros a izquierda en el centro de la carretera, hay que tomar en cuenta las características geométricas que se presentan en la figura 5.12, proyectadas para la condición en que el ancho de la isla es igual al ancho del carril de refugio y para una condición un tanto más restringida, que ocurre cuando el ancho de la isla es inferior al ancho del carril. Las longitudes de diseño se muestran en el cuadro 5.6, para diferentes velocidades de marcha.

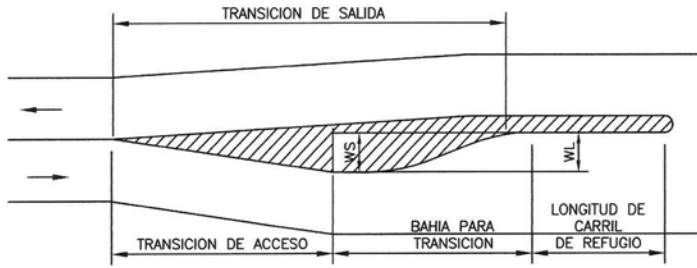
Velocidad	Longitud (m)			Longitud de Almacenamiento (m)	
	Km/h	Total	Longitud Carril para frenado	Transición	Volumen de diseño(vph)
50	75	30	45	≤ 60	15-25
65	100	40	60	61-120	30
80	135	60	75	121-180	45
100	165	75	90	> 180	60 (o más)

Fuente: TRB, Intersection Channelization Design Guidelines, 1985, fig. 4-18

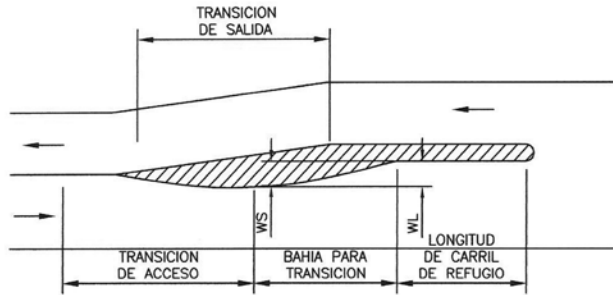
Cuadro 5.6. Longitudes de Diseño para Carriles de Giros a Izquierda

En el cuadro anterior, Ls es la longitud en metros del carril de refugio, con capacidad para almacenar vehículos en función de los volúmenes de diseño, pero con previsión mínima de un vehículo.

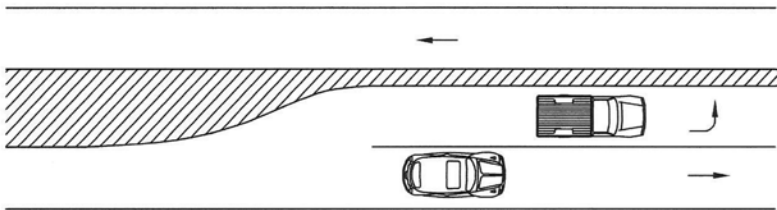
En intersecciones de autopistas de alta velocidad y áreas suburbanas abiertas, se recomiendan las longitudes de transiciones de las entradas y las bahías de acceso al carril de giro, que se muestran en el cuadro 5.7 adjunto.



CARRIL DE IZQUIERDA CUBIERTO TOTALMENTE ($WL=WS$).



CARRIL DE IZQUIERDA CUBIERTO PARCIALMENTE ($WL > WS$).



ELEMENTOS DE DISEÑO DE CARRILES PARA GIROS DE IZQUIERDA

FIGURA 5.12. BASES DE DISEÑO PARA DECELERACIÓN DE CARRILES A IZQUIERDA

Velocidad de Diseño (km/h)	Longitud de transición de Acceso (Ta)* Ancho de Carril (m)			Longitud de transición en Bahía (Tb)* Ancho de Carril (m)		
	3.3	3.5	3.6	3.3	3.5	3.6
50	50	52	55	40	43	44
65	90	93	100	53	56	60
80	140	146	150	67	70	73
100	200	210	220	80	85	90

Fuente: TRB, Intersection Channelization Design Guidelines, 1985, figura.4-19 *Ver figura 5.12

Cuadro 5.7. Longitudes en Metros de las Transiciones de Acceso y de las Bahías de Transición al Carril de Giro a Izquierda

Como mínimo la relación de transición deberá ser de 10:1 para Ta y de 4:1 para Tb.

5.7.2 Carriles Dobles para Giros a Izquierda

Los carriles dobles se construyen en intersecciones con altas intensidades de tránsito, donde significativos volúmenes de vehículos giran a la izquierda en uno o varios de los accesos.

Como regla de aplicación general, los carriles dobles deben proveerse en intersecciones con semáforos y demandas de 300 vehículos por hora o más.

Los análisis típicos de capacidades determinan la necesidad de construir estos carriles. La capacidad que se alcanza en un acceso de una intersección cuando se proveen estos dos carriles se incrementa en un 80%, en comparación con la capacidad de un solo carril. En los semáforos de una intersección debe proveerse una fase para dar protección completa a estos dobles giros de izquierda.

El ancho del carril doble de giro a la izquierda agrega comodidad y seguridad a los vehículos cuando tiene dimensiones comprendidas entre 9 y 11 metros, con lo que los anchos de carriles varían entre 4.5 y 5.5 metros.

Recomendaciones del MUTCD¹³ aconsejan pintar una raya discontinua en el pavimento de 60 cm de largo separada 1.2 m de la siguiente, para canalizar los giros del tránsito a lo largo de su trayectoria, conforme se muestra en la figura 5.13. Estos carriles dobles deben ser claramente demarcados para prevenir que el tránsito pase directo en la intersección. El diseñador debe estar prevenido para evitar conflictos o interferencias cuando se realizan simultáneamente los giros a izquierda de sentidos opuestos en la intersección.

¹³ Federal Highway Administration, "Manual on Uniform Traffic Control Devices", Washington, D.C., 1988.

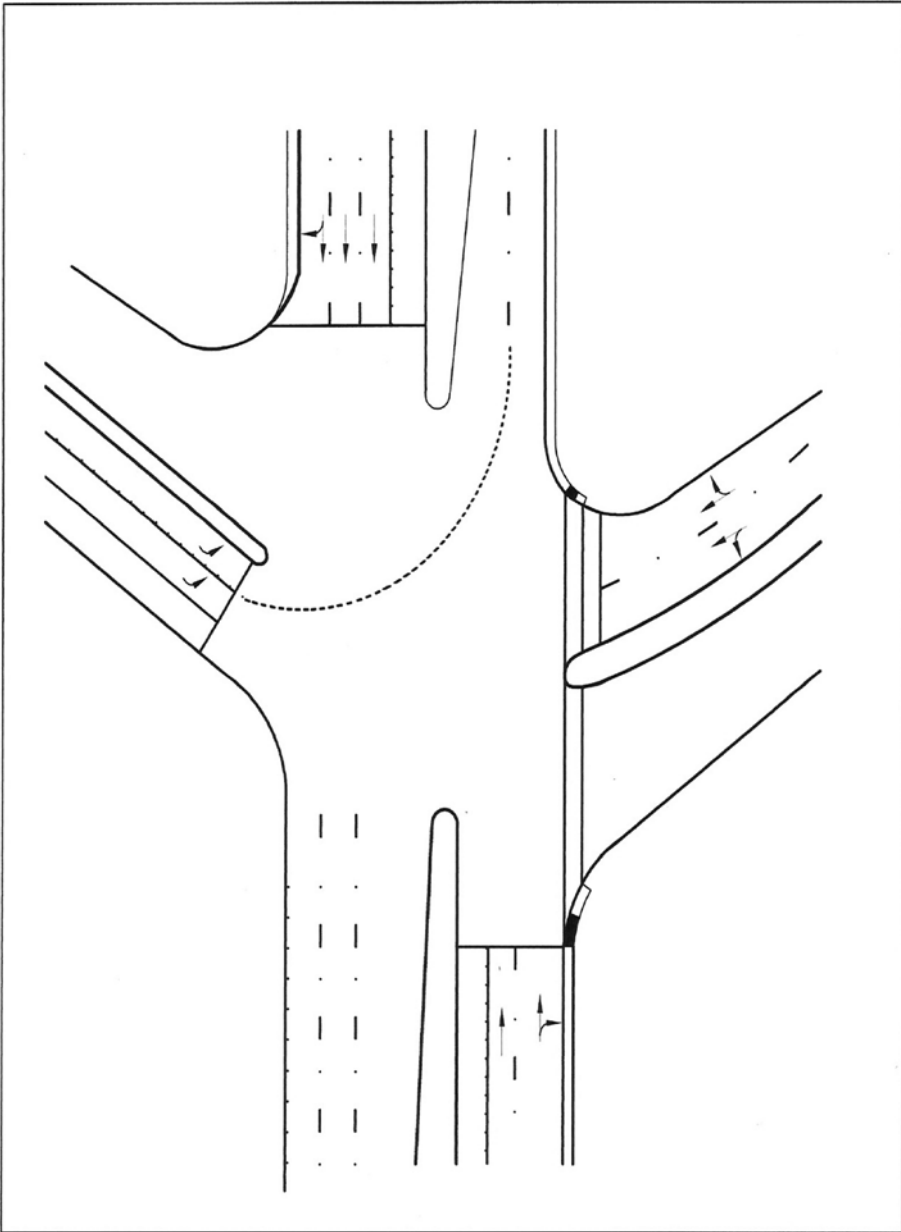


FIGURA 5.13. DISEÑO DE CARRILES DOBLES PARA GIROS A LA IZQUIERDA

En áreas urbanas y suburbanas se presenta a menudo el conflicto de los giros a izquierda en puntos intermedios entre las intersecciones, como acceso necesario y directo a propiedades y negocios al borde del derecho de vía, razón por la cual es aconsejable la construcción de un carril central hasta de 4.8 metros de ancho, donde se permiten de manera continua los giros a izquierda desde ambas direcciones. En general, este tipo de soluciones son aplicables donde las velocidades de diseño no son mayores de 80 kilómetros por hora.

5.8 Carriles Auxiliares para Aceleración y Desaceleración

Los vehículos que se desplazan desde una carretera secundaria hacia una primaria, tienen que ajustar las velocidades a la de los vehículos que se mueven sobre la carretera primaria, con el propósito de realizar una rápida y segura maniobra de confluencia o integración a la corriente principal. Ante una circunstancia tal, si no hay señal de ALTO o semáforo en la intersección, los conductores tienen que decidir cuándo y en qué momento se deben integrar a la corriente principal de tránsito, después de aumentar o reducir sus velocidades hasta encontrar un intervalo ó separación entre vehículos, que sea aceptable para la realización de una maniobra dentro de márgenes razonables de seguridad.

Otra situación se presenta cuando los vehículos que viajan sobre la carretera principal tienen que realizar maniobras de giro en la intersección. Estos vehículos deben ser operados de tal forma, que no causen atrasos ni maniobras azarosas para los vehículos que circulan de frente o detrás de ellos.

En estas dos circunstancias y con la debida consideración de los volúmenes de tránsito, es aconsejable la construcción de carriles de aceleración y desaceleración (carriles para cambios de velocidad), para asegurar el movimiento normal de la corriente de tránsito, con el mínimo de perturbación que pudieren causar los movimientos de giros en la intersección. Los carriles de aceleración para los vehículos que salen de la vía secundaria y los de desaceleración para los que entran a la vía secundaria desde la vía principal, en ambos casos deben disponer de una apropiada longitud de transición y diseñarse con un ancho mínimo de 3.0 metros, aunque es más deseable que tengan el ancho de carril de la carretera a la cual se integra. Estos carriles de aceleración y desaceleración son parte de una intersección a nivel, aunque igualmente y con el mismo concepto, se utilizan en las terminales de las rampas de los intercambios.

Este tipo de instalaciones se diseña habitualmente para carreteras de alta velocidad y grandes volúmenes de tránsito, como las autopistas especiales y las colectoras primarias. Es importante mencionar que este tipo de carriles, no se recomiendan en intersecciones operadas con semáforos o controladas por las señales de ALTO.

Para diseñar carriles de aceleración, deben considerarse los factores siguientes:

- ◆ Velocidades de ruedo
- ◆ Tasas de aceleración
- ◆ Distancias de visibilidad

- ◆ Proporción de vehículos pesados en la carretera secundaria
- ◆ Pendientes
- ◆ Entorno

La longitud de un carril de aceleración se basa en la velocidad que llevan los vehículos que entran a la intersección, la manera de acelerar, la velocidad de los vehículos que entran en relación con el tránsito directo y los volúmenes de tránsito de las carreteras que se intersectan.

Para determinar la longitud de un carril de aceleración se asume que la velocidad alcanzada, empezando del punto de giro es de 8 km/h menor que el promedio de la velocidad de ruedo del tránsito directo. La diferencia entre la velocidad inicial y la velocidad de ruedo alcanzada cuando se une a la corriente principal de tránsito, es la que determina la longitud del carril de aceleración.

Esta diferencia depende de tasas de aceleración aceptables, que van aumentando a medida que la velocidad inicial es menor, de forma que a una velocidad inicial de 32 kilómetros por hora, la tasa de aceleración es de 2.8 kilómetros por hora por segundo, en tanto que a una velocidad de 80 kilómetros por hora la tasa de aceleración se reduce a 1.6 kilómetros por hora por segundo, valores que son representativos de la operación de automóviles usuales en el diseño de este tipo de instalaciones.

En el caso de los carriles de desaceleración, es necesario conocer los siguientes factores:

- ◆ Radio de la curva de entrada a la vía secundaria
- ◆ Tasas de desaceleración
- ◆ Velocidad de ruedo de la corriente de tránsito
- ◆ Entorno

La longitud de carriles de desaceleración depende de estos factores:

- ◆ La velocidad a la cual los conductores maniobran para entrar a este carril auxiliar, que es la velocidad promedio del ruedo al inicio del mismo.
- ◆ La manera de desacelerar en cambio o embrague por 3 segundos.
- ◆ Los conductores frenen confortablemente hasta que alcanzan la velocidad promedio de ruedo de la curva al principio de la carretera secundaria.

Las tasas de desaceleración recomendadas son de 9.98 kilómetros por hora por segundo, cuando frenan desde una velocidad de 112 kilómetros por hora y de 6.44 kilómetros por hora por segundo, cuando la velocidad inicial es de 48 kilómetros por hora.

En relación con estos carriles para cambios de velocidad, es una práctica común proveer una transición para facilitar la traslación del vehículo desde un carril sobre la vía principal hacia el carril auxiliar lateral o viceversa. Para propósitos de diseño se ha establecido un tiempo que varía entre 3 y 4 segundos para realizar esta maniobra; se recomiendan 3.0 segundos para calcular esta longitud de transición. Esto se basa en el promedio de la velocidad de ruedo de los vehículos que viajan directo, pero en general

es relacionado con la velocidad de diseño. El ángulo que se forma entre el carril adyacente y los carriles de cambio de velocidad se recomienda entre 2 y 5 grados para empezar la transición.

En los accesos de las intersecciones, estos carriles auxiliares funcionan como carriles de refugio para los vehículos que giran, reduciendo así situaciones azarosas y al mismo tiempo aumentar la capacidad.

Se debe consultar la sección 6.6 del capítulo 6, para determinar las longitudes recomendables de los carriles de aceleración y desaceleración de los intercambios, que son igualmente aplicables a las intersecciones a nivel.

5.9 Las Maniobras de Retorno o Vueltas en U y los Giros a Izquierda en Carreteras Divididas

5.9.1 Discusión General

Las carreteras divididas con mediana, requieren de la interrupción de la continuidad de la misma para facilitar las maniobras de retorno o vueltas en U cada cierta distancia prudencial, así como para el desarrollo de maniobras indirectas de giro a izquierda. Los anchos mínimos de giro varían en función de los vehículos de diseño, como se muestra más adelante en la sección 5.9.2. El problema surge, sin embargo, cuando la mediana es demasiado angosta y no permite la construcción de carriles para giro a izquierda, ya que se generan afectaciones a la seguridad del tránsito en carreteras de gran intensidad de tránsito. Al disminuir su velocidad los vehículos para girar a izquierda, o detenerse en los carriles interiores, que son los que registran las mayores velocidades relativas en la corriente vehicular, se incrementan sensiblemente las oportunidades para colisiones por detrás y se afecta la fluidez de la circulación. Como regla de aplicación general, no se debe permitir las vueltas en U desde los carriles principales. Sin embargo, si el ancho de la apertura de la mediana provee refugio para los vehículos que normalmente realizan dicha maniobra, se puede admitir cierto grado de tolerancia a este tipo de solución.

Otro importante factor a tomar en cuenta en la solución de este caso, surge de la necesidad de atender las necesidades de diseño de los prototipos de vehículos, que demandan anchos compatibles con sus exigencias físicas para realizar las maniobras propuestas de vuelta en U y giros a izquierda.

Las opciones de diseño contemplan dos tipos de alternativas. La primera busca ofrecer la facilidad para realizar estas maniobras fuera de la pista principal, construyendo accesos diagonalmente opuestas en una intersección, por ejemplo, para convertir una vuelta en U en una separación a derecha, para integrarse a una carretera secundaria, desde donde se realiza acto seguido una maniobra de giro a izquierda para completar la maniobra de retorno (Ver la intersección en semitrebol a nivel, de la figura 5.4). Otras soluciones se auxilian de las calles marginales, cuando existen, para salir de la pista principal por una rampa y buscar una intersección cercana para realizar el giro a izquierda o, alternativamente, hacer lo anterior para luego cruzar la pista principal y tomar un aro que le coloque en condiciones de continuar el recorrido en sentido inverso al inicial.

La otra alternativa es el uso de la mediana, que en tanto sea de un ancho muy limitado, puede ser ensanchada para facilitar las maniobras de retorno de giro a izquierda, aunque la recomendación que se desprende de esta breve discusión, es la necesidad de contar con el ancho apropiado de la mediana que el tránsito y las maniobras a realizar justifiquen plenamente.

Los giros en U separados mediante cortes en la continuidad de la mediana, son justificados en determinados sitios, para acomodar movimientos de tránsito de menor significación en cuanto a volúmenes, que a propósito no son atendidos en los intersecciones o los intercambios, para dejar aislado el tratamiento de estos casos. La localización de estos sitios puede estar a distancias prudenciales de los intercambios, disponer de sus propios carriles para giro a izquierda y estar separados por una isla en forma de huso para aislar físicamente las maniobras contiguas de retorno en sentidos opuestos.

En carreteras sin control en los accesos, las aperturas de la mediana son recomendables para servir a las propiedades colindantes, recomendándose en casos tales que el espaciamiento de las interrupciones sea entre 400 y 800 metros. Por otra parte, en las carreteras de acceso controlado, la distribución de aperturas de la mediana es aconsejable cuando se desea además facilitar las maniobras de los vehículos de mantenimiento, de vigilancia y de atención a los vehículos con problemas mecánicos o accidentados.

5.9.2 Interrupción de la Mediana en una Carretera Dividida

Ya se mencionó que en carreteras divididas con mediana o franja separadora central, resulta bastante práctico interrumpir la continuidad de la mediana para permitir la ejecución de maniobras de retorno o vueltas en U y los giros a izquierda desde la vía principal, lo que contribuye a eliminar la alternativa de recorridos hacia las intersecciones más próximas para realizar esa maniobra de cruce. Para aplicar con efectividad este tipo de solución es necesario conocer el volumen, la composición del tránsito, los vehículos que cruzan y los que giran en las horas de diseño. Es necesario seleccionar el vehículo de diseño que permita seleccionar el ancho y tipo de los movimientos de giro y cruce.

Como una consecuencia de los diferentes volúmenes de tránsito que maniobran en el sitio donde se interrumpe la mediana, es necesario realizar un estudio comparativo de volúmenes y capacidades, para seleccionar la solución más apropiada para diseño.

Los dispositivos de control de tránsito horizontales y verticales, deben tener especial consideración para controlar, regular y mejorar la eficiencia en la operación del tránsito.

Se aceptan como mínimo velocidades de 15 a 20 kilómetros por hora para los vehículos que giran; cuando las velocidades son mayores, se debe tomar en cuenta la trayectoria del vehículo con el radio correspondiente para esa velocidad. En medianas anchas la apertura de la mediana tendrá una longitud relativamente menor para alcanzar el radio de giro necesario para una intersección a 90 grados, como puede apreciarse del

examen de los datos mostrados en el cuadro 5.8, que se ha preparado para mostrar las exigencias del diseño para los vehículos tipo automóviles o vehículos livianos, P, y camiones medianos, SU. A esta propuesta se pueden adecuar los grandes vehículos de carga adoptados para diseño, al realizar sus giros a izquierda.

Las puntas terminales de la mediana pueden ser semicirculares, de tres centros y punta de bala.

El semicírculo como forma de remate de la franja separadora central es conveniente para franjas angostas, hasta un ancho de mediana de 3 metros, aunque no existe diferencia operacional alguna para los remates de medianas de 1.2 metros o menos. Para anchos mayores, que permiten con facilidad el giro y necesitan una menor longitud de abertura de la mediana, se tiene preferencia por el remate en forma de punta de bala. El diseño con forma en punta de bala está formado por dos arcos circulares trazados con el radio de control y un arco de radio de aproximadamente 0.6 metros para redondear en condiciones mínimas la punta.

Las formas de punta de bala se proyectan con el propósito de encauzar a los vehículos que giran desde cualquier dirección, en tanto que los remates semicirculares pueden dar lugar a la invasión del carril de sentido contrario en el camino secundario de la intersección.

El esviaje u oblicuidad del cruce por la abertura de la mediana, obliga a diseños con anchos que se incrementan en cuanto el ángulo de la intersección se desvíe más y más de los 90 grados. Aunque el extremo de la mediana en punta de bala resulta siempre preferible, el esviaje introduce otras modificaciones convenientes para el cambio del diseño. En un cruce de este tipo se hace necesario usar como control el radio R en el ángulo agudo para localizar el PC (Principio de Curva) sobre el borde de la mediana o punto 1 mostrado en la figura 5.14. El arco del radio mencionado es equivalente al mínimo paso interno de un vehículo cuando gira a más de 90 grados. Existen varios diseños alternativos que dependen del esviaje, el ancho de la mediana y el radio, cuando se tiene al PC como control de diseño.

Las terminales semicirculares (A) resultan en aberturas muy amplias y dificultades para la canalización de los giros a izquierda con menos de 90 grados. Las de punta de bala (B) ofrecen problemas similares para los giros a izquierda, por lo que es recomendable una terminal de punta de bala asimétrica (C) con radios R y R2 como los más atractivos para enfrentar esta situación. Este segundo radio es mayor que el primero y tiene tangencia con el punto 2 de la figura y la línea central de la vía secundaria esviada.

Ancho de la Mediana (m)	Abertura Mínima de la Mediana (m)			
	Semicircular		Tres Centros. Punta de bala	
	P (12 m)	SU (15 m)	P (12 m)	SU (15 m)
1.2	22.8	28.8	22.8	28.8
1.8	22.2	28.2	18.0	22.8
2.4	21.6	27.6	15.9	20.4
3.0	21.0	27.0	14.1	18.6
3.6	20.4	26.4	12.9	17.4
4.2	19.8	25.8	12.0	15.9
4.8	19.2	25.2	12.0	15.0
6.0	18.0	24.0	12.0	13.2
7.2	16.8	22.8	12.0	12.0
8.4	15.6	21.6	12.0	12.0
9.6	14.4	20.4	12.0	12.0
10.8	13.2	19.2	12.0	12.0
12.0	12.0	18.0	12.0	12.0
15.0	12.0	15.0	12.0	12.0
18.0	12.0	12.0	12.0	12.0
21.0	-	12.0	12.0	12.0

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp 693 y 694

Cuadro 5.8. Anchos Mínimos de la Abertura en las Medianas para Vehículos Típicos de Diseño, P y SU

En estos diseños la nariz de la bala se redondea en el punto de cruce de las dos trayectorias circulares. En el cuadro 5.9 se presentan valores típicos mínimos de diseño de terminales de mediana utilizando como control un radio de 15 metros para rangos de ángulos de oblicuidad y anchos de mediana.

En general, las aberturas de las medianas no deben ser mayores de 30 metros, independientemente del grado de esviaje de la intersección. Los controles de diseño para las aberturas mínimas para giro a izquierda se muestran en el cuadro 5.10.

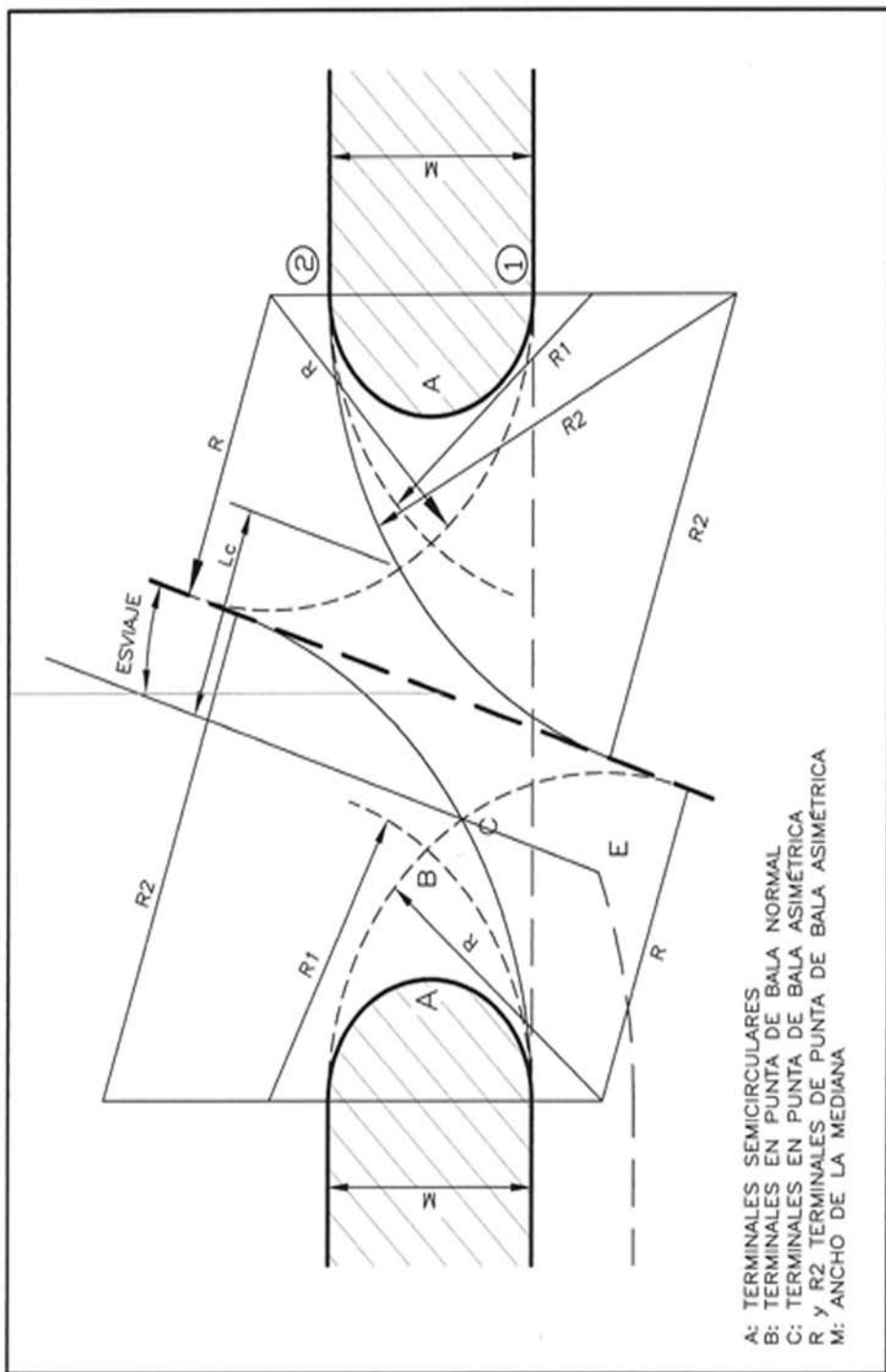


FIGURA 5.14. DISEÑO MÍNIMO DE LA ABERTURA DE LA MEDIANA

Los accidentes en las intersecciones son comunes y parte de ellos se deben a diseños obsoletos o diseños que, pese a ser adaptados a las nuevas tecnología, enfrentan situaciones de incompreensión de parte de los usuarios sobre la operación funcional de los mismos. Consecuentemente, el diseño de esta parte de las carreteras debe ser estudiado con mucho cuidado para evitar, hasta donde sea posible, todas las situaciones de riesgo que puedan llevar a movimientos azarosos de la corriente de tránsito. Uno de los elementos que debe llamar especial atención, es el diseño de distancias seguras de visibilidad en los accesos para los vehículos que circulan por la intersección.

El conductor que se aproxima a una intersección a nivel debe tener una visión sin obstáculos de la intersección completa y de suficiente longitud de la carretera que intercepta, para tener el control necesario del vehículo que le evite colisiones con otros vehículos. Debe existir una distancia de visibilidad suficiente sin obstáculos a lo largo de ambos accesos de las carreteras en una intersección, para permitir que los conductores de los vehículos que se aproximan simultáneamente alcancen a verse el uno al otro con tiempo suficiente para prevenir colisiones.

Cada conductor dispone de tres posibilidades, acelerar, reducir la velocidad y detenerse. Para cada caso, la relación espacio-tiempo-velocidad determinará el triángulo de visibilidad libre de obstrucciones que debe existir o, de otra manera, establecer las restricciones operativas necesarias para la seguridad de los movimientos donde se presenten condiciones inferiores a las deseables. Cualquier objeto dentro del triángulo de visibilidad mostrado en la figura 5-15, que sea suficientemente alto sobre la elevación de la carretera adyacente, como para ser un obstáculo visual, debe ser removido o reducido en su altura.

Angulo de Esviaje	Ancho Mediana	Semicircular	Largo abertura mediana		Radio diseño C (m)
			Simétrica B	Asimétrica C	
0°	3	27	19	-	-
	6	24	13	-	-
	9	21	12 Min	-	-
	12	18	12 Min	-	-
	15	15	12 Min	-	-
	18	13	12 Min	-	-
10°	3	32	24	23	21
	6	28	17	16	20
	9	25	14	12 Min	20
	12	21	12 Min	12 Min	19
	15	18	12 Min	12 Min	18
	18	14	12 Min	12 Min	18
20°	3	36	29	27	29
	6	32	22	20	28
	9	28	18	14	26
	12	24	14	12 Min	25
	15	20	12 Min	12 Min	23
	18	16	12 Min	12 Min	21
30°	3	41	34	32	42
	6	36	27	23	39
	9	31	23	17	36
	12	27	19	13	33
	15	23	15	12 Min	30
	18	18	12	12 Min	27
40°	3	44	38	35	63
	6	39	32	27	58
	9	35	27	20	53
	12	29	23	15	47
	15	24	19	12 Min	42
	18	19	15	12 Min	36

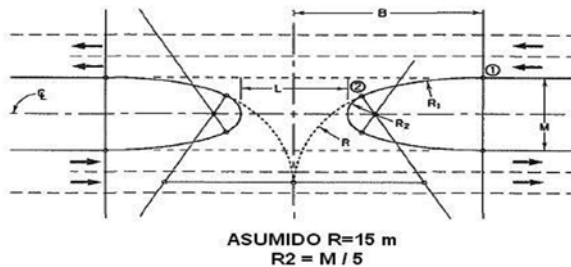
Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2044, pp. 703

Cuadro 5.9. Efecto de Oblicuidad en el Largo de Abertura de Medianas

Ancho de la Mediana (m)	R1=30 m		R1=50 m		R1=70 m	
	L	B	L	B	L	B
6.0	18.0	20.2	20.2	24.4	21.3	27.6
9.0	15.1	21.4	17.7	26.5	19.0	30.4
12.0	12.8	22.4	15.6	28.3	17.1	32.7
15.0	---	---	13.8	29.9	15.4	34.7
18.0	---	---	---	---	13.8	36.7
21.0	---	---	---	---	12.4	38.4

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 704

Cuadro 5.10. Controles de Diseño para Aberturas Mínimas de la Mediana



De manera análoga, cualquier vehículo que se ha detenido en una intersección, debe contar con suficiente distancia de visibilidad hacia uno y otro lado, formando un triángulo de visión completa e irrestricta, para realizar una maniobra segura dentro de la zona de la intersección, sea que desee cruzar la otra vía o se desee integrar a la corriente del tránsito en dicha vía.

Dentro de este concepto, se pueden considerar varias situaciones posibles:

- Intersecciones sin control, donde los vehículos que se aproximan para realizar sus maniobras previstas, deben ajustar su velocidad.
- Intersecciones controladas por señales de CEDA EL PASO, diseñadas conforme las normas de señalización vigentes
- Intersecciones donde los vehículos de la carretera secundaria deben responder al mandato de la reconocida señal de ALTO.
- Intersecciones donde todos los accesos son controlados por señales de ALTO o por luces de semáforos.
- Intersecciones donde los vehículos que giran a la izquierda desde la vía principal, deben ceder el paso a la corriente opuesta sobre la vía principal.

El uso de la figura 5.15 se hace necesario para explicar los primeros casos por ser los más frecuentes. Información adicional se encuentra desarrollada en *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, AASHTO 2004, páginas 650 a 679.

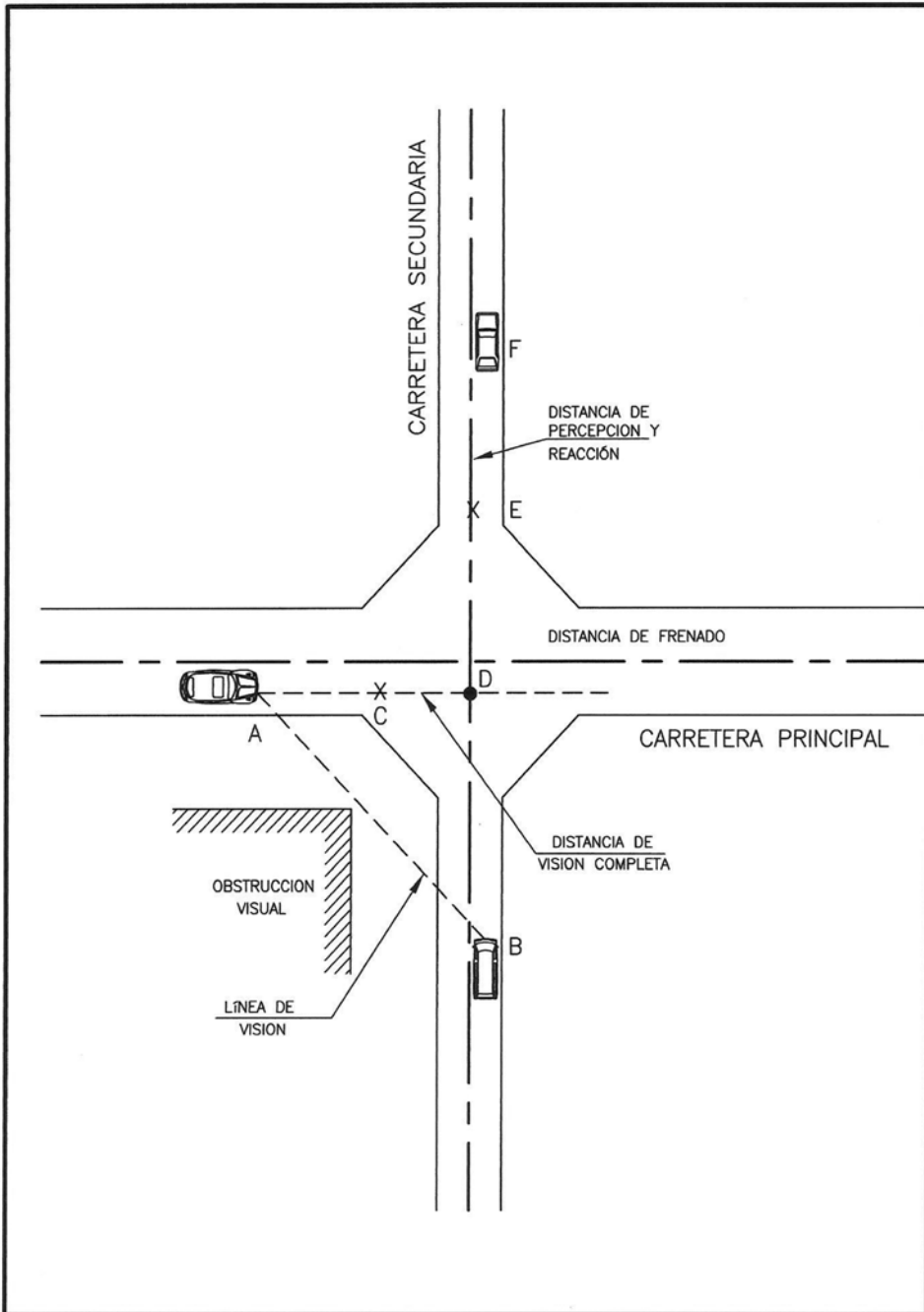


Figura 5.15: TRIANGULO DE VISIBILIDAD.

El acceso de la corriente con menos vehículos en circulación a través del punto D, debe disponer de suficiente distancia de visibilidad para que se compenetre de la situación del tránsito en la intersección y que tome la decisión para recorrer la distancia BD y cruzar o detenerse con seguridad.

La distancia BD debe tener tal longitud, que los conductores deben estar en condiciones de percibir y reaccionar ante las situaciones de amenaza a la seguridad vial y maniobrar sus vehículos para detenerse ante cualquier circunstancia.

La distancia BD se compone de dos partes:

- La distancia de percepción y reacción
- La distancia de frenado, necesaria para detener el vehículo hasta el punto propicio de la intersección.

La distancia BD, en metros, se determina de la siguiente manera:

$$B D= V_1 t_1 + V_1^2 / 2 d$$

Donde:

V_1 =Velocidad de los vehículos que circulan en la vía de menor intensidad,

en metros por segundo.

t_1 = Tiempo de percepción y reacción, del orden de 3 segundos.

d = Tasa de desaceleración (m/s^2).

Una carretera primaria con una velocidad de 80 kilómetros por hora en su intersección con una carretera secundaria con 50 kilómetros por hora de velocidad, necesita disponer de un triángulo rectángulo visual para los vehículos A y B con catetos de 65 y 40 metros, respectivamente, desde el punto de intersección. Estas distancias o mayores, le permitirán a los vehículos en ambas carreteras hacer los ajustes necesarios en las velocidades antes del punto de conflicto. Intersecciones con triángulos visuales de las dimensiones anotadas o mayores, no son necesariamente seguros, pues existe la posibilidad de enfrentar una sucesión de vehículos en el ramal de acceso de la otra vía. Por esta razón, en las intersecciones de este tipo, que se utilizan en carreteras con bajos volúmenes de tránsito, se acostumbra ceder el paso a los vehículos que se aproximan por la derecha, como una regla de tránsito que abona a la seguridad de la circulación en este tipo de intersecciones sin control.

Siempre refiriéndose a la figura 5.15, la distancia AD es la que recorre el vehículo que viaja en la carretera primaria o de mayor tránsito, en el momento que el vehículo de la vía secundaria cruza la intersección desde el punto D al punto F. Dentro de la distancia AD se incluye la distancia CD, a manera de ajuste por razones de seguridad.

Para el caso exclusivo de camiones, se presenta el cuadro que sigue para conductores buenos y regulares, manejando estos vehículos, tomando como modelo el vehículo de diseño identificado como WB-19. El diseñador, a su criterio, decidirá la mejor opción para el tratamiento de la visibilidad en intersecciones, conforme a las orientaciones dadas en este acápite.

Distancia de Visibilidad BD (ver triángulo de visibilidad)						
Velocidad km/h	30	50	60	80	90	110
FHWA Camión de 19.5m	41	69	103	149	201	264
Conductores buenos	53	99	160	228	305	396
Conductores regulares	46	83	122	168	221	282

Fuente: ITE, Geometric Design and Operational Considerations for Trucks, Informational Report, 1992

Nota: FHWA , Federal Highway Works Administration, USA.

Las distancias de visibilidad presentadas antes se refieren a las necesarias para realizar un cruce de los vehículos en ángulo recto entre una carretera primaria y una secundaria.

Cuando se hacen giros de derecha e izquierda las distancias recomendadas para automóviles y camiones son las mostradas en el cuadro 5.11.

Velocidad de diseño (m)	Derecha		Izquierda			
	Auto	Camión	Auto		Camión	
	A	A	B	C	B	C
30	76	204	83	76	209	204
40	105	275	104	105	262	275
50	140	359	124	140	314	359
55	184	462	145	184	366	462
60	238	591	166	238	419	591
70	302	757	187	302	471	757
80	376	975	207	376	523	975
80	461	ND	228	461	576	ND
90	558	ND	249	558	628	ND
100	670	ND	269	670	680	ND
110	796	ND	290	796	733	ND

Fuente: ITE, Geometric Design and Operational Considerations for Trucks, Informational Report, 1992.]

Las distancias A, B y C están mostradas en la figura 5.16.

ND: No Disponible

Cuadro 5.11. Distancia de Visibilidad para Giros a Derecha e Izquierda en Intersecciones

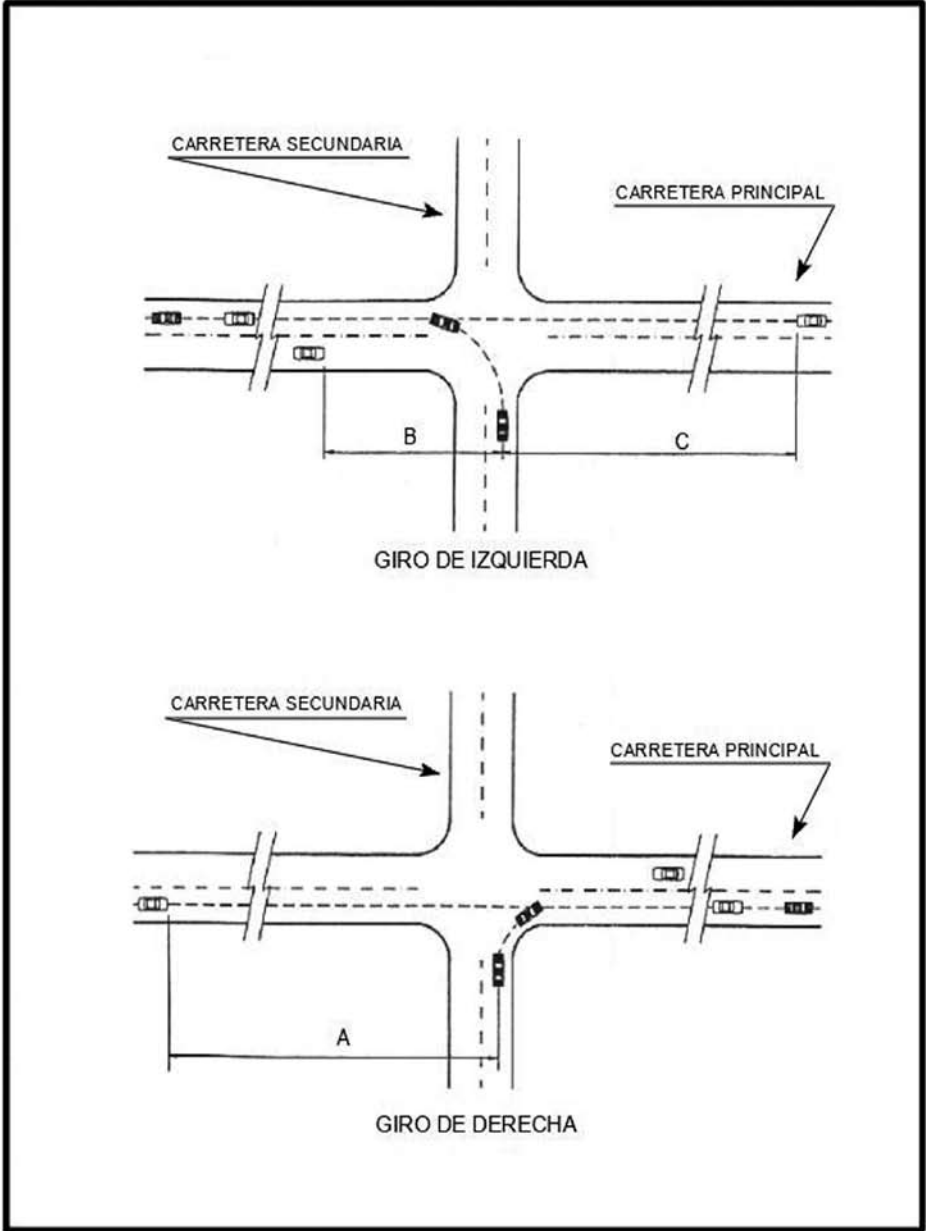


FIGURA 5.16. DISTANCIAS DE VISIBILIDAD PARA GIROS DE IZQUIERDA Y DERECHA

5.11 Diseño de Intersecciones Giratorias o Rotondas¹⁴

5.11.1 Consideraciones Generales

Las soluciones de este tipo son usuales en diferentes partes del mundo para solucionar a nivel, problemas de congestión del tránsito con volúmenes intermedios, porque constituyen una forma económica y flexible para dar solución al movimiento de tránsito en medios urbanos, suburbanos y rurales.

Existen ventajas notorias que dan credibilidad a la decisión de construir este tipo de facilidad en intersecciones donde se puedan alcanzar las siguientes ventajas:

- Marcan la transición entre distintos tipos de flujos vehiculares urbanos e interurbanos, al conseguir la reducción de velocidad a la entrada y salida del tránsito en los diferentes accesos.
- En la rotonda, los vehículos deben transitar a una velocidad uniforme para incorporarse, entrecruzarse y salir de la corriente de tránsito, sin serios conflictos.
- Las rotondas son aplicables cuando los volúmenes de tránsito que llegan a la intersección alcanzan unos 60,000 vehículos por día ó 6,000 vehículos por hora en la hora punta¹⁵, tomando en cuenta siempre que la proporción de tránsito en las entradas sea equilibrada. El volumen total de las ramas no norma el diseño, su capacidad se rige más bien por el tránsito principal y por el que se entrecruza en el sitio crítico de confluencia de la rotonda.
- Las rotondas funcionan mejor en sitios con tránsito peatonal escaso.
- Desde el punto de vista de su localización, ofrece ventajas de visibilidad a los conductores, cuando éstas garantizan una visión segura en sus aproximaciones y dentro de la isleta central.

Este tipo de intersecciones a nivel se justifica en las siguientes circunstancias:

- Cuando la circulación vehicular no es de larga distancia.
- Cuando existe una sucesión de pasos a nivel preestablecidos.
- Para atender todo tipo de maniobras en las intersecciones, convirtiéndolas en un movimiento de tránsito ordenado y continuo, de un solo sentido.
- Para dar respuesta eficiente a los tiempos de espera fuera de la hora de punta.
- Para dar respuesta eficiente a las solicitudes de intersecciones de cuatro accesos o más.
- Para ofrecer soluciones de bajo costo relativo en cuanto a construcción y mantenimiento, toda vez que se cuente con el derecho de vía apropiado.
- Para disminuir la tasa de accidentes en las intersecciones a nivel,

14 Referencias principales: Ourston and Doctors, "Roundabouts Design Guidelines", 1995, y The Dept. of Transport, UK, y otros, "Geometric Design of Roundabouts", Report TD 16/93, 1993

15 A un volumen total de 3,000 vph se limita la capacidad de las rotondas de primer orden, según el "Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras", de la Secretaría de Obras Públicas de México, 1976.

en comparación con otras soluciones usuales en intersecciones corrientes.

- Cuando se desea aprovechar la isleta central para la ejecución de obras complementarias de monumentación y ornato.

En contraposición de los aspectos positivos, hay que mencionar las desventajas de las mismas:

- No se pueden coordinar en carreteras que tienen instalaciones con semáforos.
- No existen prioridades de las corrientes de tránsito en los accesos.
- No se concilian con las oleadas de tránsito provenientes de otras intersecciones vecinas dotadas de instalaciones con semáforos.
- Las rotondas requieren grandes dimensiones cuando los caminos que se intersectan son de alta velocidad, ya que las zonas de entrecruzamiento tienen que ser de mayor longitud, o bien cuando la intersección está formada por más de cuatro ramales.
- Los peatones no encuentran satisfacción de cruce similar a los acostumbrados en otros tipos de intersecciones.

Para tomar decisiones definitivas, el diseñador debe tomar además muy en cuenta los aspectos topográficos y ambientales.

5.11.2 Tipos de Rotondas

Los elementos básicos de una rotonda son: una isleta central, cuyo radio debe corresponder a la velocidad de diseño, de modo que a una velocidad de proyecto de 60 kilómetros por hora se requiere un radio mínimo de 113 metros, que describe la orilla interior de la calzada; la calzada de la rotonda, que tiene un solo sentido de circulación alrededor de la glorieta central; las entradas y salidas de la rotonda, que para operar con eficiencia y seguridad deben alcanzar velocidades equiparables a las de la propia rotonda; y las islas canalizadoras, que dividen los accesos para formar las entradas y salidas a los mismos. Para sintetizar esta descripción, se ha preparado la figura 5.17 que contiene esquemáticamente tres tipos de rotondas:

- La identificada como rotonda normal, que está compuesta de 4 accesos con entradas ensanchadas, para permitir que entren como máximo 3 vehículos al mismo tiempo, con una franja asfáltica de 12 metros alrededor de una isla central circular de diferente diámetro, en concordancia con los volúmenes de tránsito.
- La identificada como mini-rotonda, que dispone de ensanchamientos en los accesos y una pequeña isleta al centro, que en algunos países del mundo con alto nivel de educación vial ha dado buenos resultados, al permitir un volumen total de tránsito en la intersección de unos 7,000 vehículos por hora.

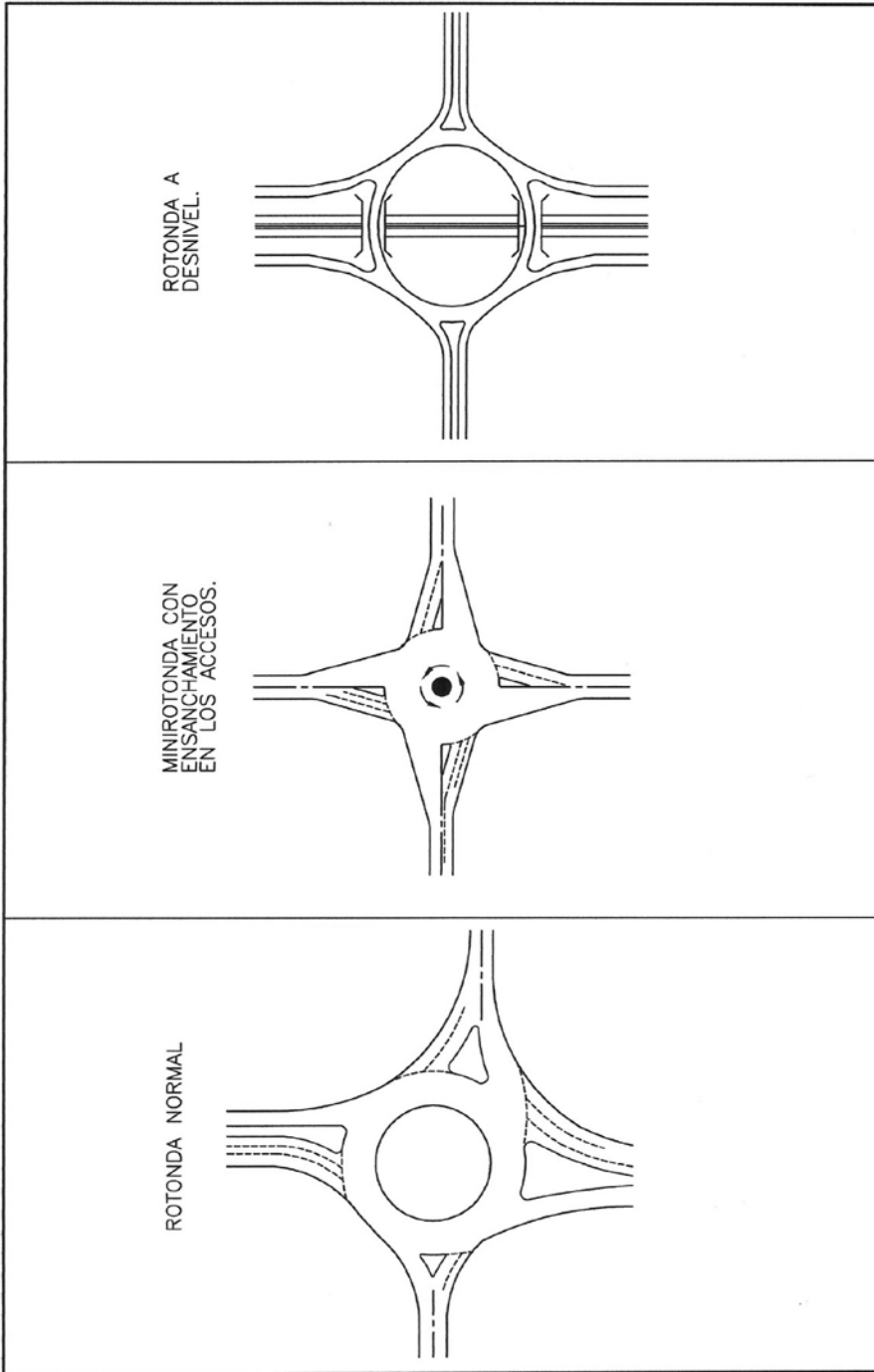


FIGURA 5.17. TIPOS DE ROTONDAS

- La rotonda a desnivel, que más bien corresponde a la categoría de intercambios que son tratados en el subsiguiente capítulo de este manual, que se tipifica mediante la configuración indicada en el extremo derecho de la figura 5.17. Esta rotonda está integrada por dos puentes que permiten el tránsito ininterrumpido de los vehículos en maniobras de cruce de la corriente principal, mientras que en la parte superior se mueven también elevados volúmenes de tránsito correspondientes al balance del tránsito total, operando bajo el régimen de circulación en el sentido opuesto a las manecillas del reloj, típico de las rotondas.

Estas rotondas permiten también segregar físicamente el tránsito que realiza maniobras de giro a la derecha en los accesos, para incrementar la capacidad de la solución propuesta.

5.11.3 Elementos de Diseño

Para interpretar con facilidad este tema hay que referirse a la figura 5.18, donde se aclaran algunos de los parámetros que son determinantes en la configuración geométrica de las glorietas, su tratamiento está relacionado con la capacidad, seguridad en el movimiento de los flujos vehiculares, economía y medio ambiente.

La longitud efectiva de ensanchamiento l' identificada en la figura 5.18. B, como CF se construye paralela a la línea BG empezando a una distancia $(e-v)/2$ en el punto C sobre la línea AB. La distancia BD es igual a $(e-v)$, la amplitud del ensanchamiento se define por la siguiente expresión:

$$S = 1.6 (e-v)/l$$

El ángulo de entrada \emptyset también se ilustra para varias condiciones geométricas en la figura 5.18.C; enfrenta conflictos entre el tránsito que entra y el que circula enfrente de los accesos. También en la misma figura 5.18.A se ilustra la longitud del diámetro del círculo inscrito (D).

El ángulo de entrada para diferentes configuraciones geométricas de glorietas se ofrece en la figura 5.18.

Los rangos de valores prácticos para los diferentes parámetros que han sido mencionados antes, son los siguientes:

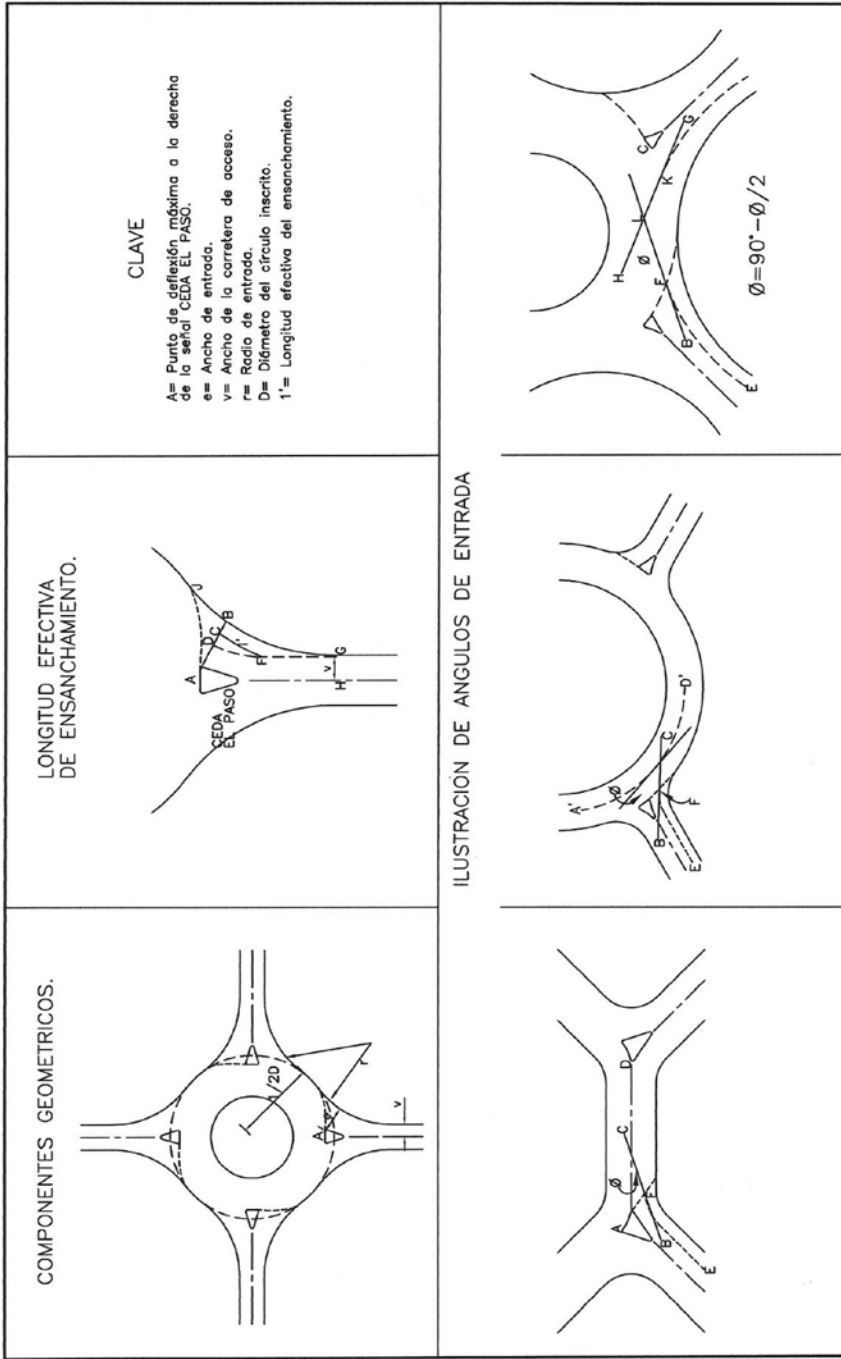


FIGURA 5.18. PARAMETROS DE DISEÑO.

Descripción	Valores prácticos
e Ancho de entrada	4 -15 m
v Mitad del ancho del acceso	2 - 7.3 m
l` Promedio de longitud efectiva del ensanchamiento	1 – 100 m
S Amplitud del ensanchamiento	0 – 2.9 m*
r Radio de entrada	6 – 100 m
∅ Angulo de entrada	10 – 60°
D Diámetro del círculo inscrito	15 – 100 m

* Rango medido

El ancho total de la entrada debe ser menor de 10.5 metros en carreteras de 2 carriles, uno por sentido de circulación y no debe ser mayor de 15 metros para carreteras de carriles dobles por sentido. El ancho de cada carril debe ser mayor de 3 metros.

El ancho de la entrada de los accesos y la longitud de ensanchamiento, l`, son elementos de diseño que tienen influencia relevante en la capacidad de la rotonda y en la seguridad de los movimientos vehiculares.

Se recomienda que el ancho de las entradas tenga como mínimo dos carriles y no ser mayor al equivalente de cuatro carriles.

5.11.4 Cálculo de Capacidades de Rotondas

El cálculo de capacidad de este tipo de facilidades viales se compone de dos partes:

- Capacidad práctica de las zonas de entrecruzamiento, Qp, en vehículos por hora.
- La capacidad de las entradas, Qe
- El primer cálculo de capacidad de las zonas de entrecruzamiento utiliza la siguiente expresión:

$$Q_p = 282 * W * (1 + E/W) * (1 - P/3) / (1 + W/L)$$

Donde:

W= Ancho de la calzada circular de rodadura, en metros

E= Promedio de ancho del acceso de entrada y el ancho de la calzada circular, en metros.

P= Proporción de las corrientes de tránsito que se entrecruzan en relación al volumen del total que se mueve en esa sección

L= Longitud de la sección de entrecruzamiento, en metros.

La proporción de tránsito que se entrecruza se calcula haciendo uso de la figura 5.19, donde aparece la proporción de entrecruzamiento explicada utilizando letras en los accesos. Específicamente se muestra el método aplicado a las corrientes de tránsito del acceso Sur.

- La segunda utiliza la siguiente expresión:

$Q_e = K (F - f_c * Q_c)$, cuando $f_c * Q_c$ es menor o igual que F .
 $Q_e = 0$, cuando $f_c * Q_c$ es mayor que F

Donde:

$$K = \left\{ (1 - 0.00347(\theta - 30)) - (0.978 \left[\frac{1 - 0.05}{r} \right]) \right\}$$

θ = Angulo de entrada.

r = Radio de entrada

F = $303 X_2$

f_c = $0.21 * t_p [1 + 0.2 X_2]$

Q_c = Volumen de tránsito que circula enfrente de la entrada

Donde los factores:

$$a) \quad X_2 = V + \left(\frac{e - V}{1 + 2 * S} \right)$$

e = Ancho del acceso ensanchado, en metros

V = Ancho de la calzada de la carretera antes del acceso, en metros

Amplitud del ensanchamiento (S)

$$S = 1.6 * \left[\left(\frac{e - V}{l} \right) \right]$$

Donde:

$$b) \quad T_p = = \frac{1 + 0.5}{1 + M}$$

$$M = e * \left(\frac{D - 60}{10} \right)$$

e = Base de logaritmos neperianos

D = Diámetro inscrito de rotonda, en metros.

5.11.5 Visibilidad en Rotondas

- La distancia de visibilidad de parada en rotondas se presenta en el cuadro 5.12. Es la distancia de visibilidad en los accesos que se muestran para las consideraciones geométricas de la figura 5.20, presentada en dos páginas. La altura del ojo del observador y del objeto es de 1.05 metros y deberá verse claramente hasta una altura de 2 metros sobre la superficie de rodamiento.

Hasta 1.05 metros se cubre la visibilidad sobre la parte superior de plantas y muros bajos y hasta 2 metros se dispone de visibilidad de las señales verticales.

- La visibilidad vertical tiene 1.05 metros como altura del observador y 0.26 metros para altura del objeto; siempre debe alcanzarse una visión segura hasta 2 metros de alto bajo el mismo criterio mencionado antes.
- La distancia de visibilidad hacia la izquierda de la entrada también se muestra en la Figura No.5.20; en este caso, todos los conductores que se acercan a la línea de CEDA EL PASO deberán tener la facilidad de ver todo el ancho de la franja de rodada localizada a su izquierda. Esta distancia se mide desde el centro del carril izquierdo del acceso, 15 metros adelante hasta alcanzar la línea del CEDA EL PASO a la entrada desde el acceso. Estas distancias de visibilidad se relacionan con el diámetro del círculo inscrito (D) y se muestran en el cuadro 5.12 antes citado.

a) Distancia de visibilidad de parada	b) Distancia de visibilidad hacia la izquierda de la entrada	
Velocidad de Diseño(km/h) 50 60 70 85 100	Diámetro inscrito (m) <40 40-60 60-100 >100	Distancia de visibilidad (m) Toda la Intersección 40 50 60
Mínima Deseable (m) 70 95 125 165 225		
Mínima Absoluta (m) 50 70 95 125 165		

Cuadro 5.12. Distancia de Visibilidad en Rotondas

La visibilidad requerida enfrente de la entrada se mide de la misma forma que la requerida para la izquierda y se utilizan las mismas distancias mostradas en la sección 5.10 de este capítulo. En la figura 5.20 ya señalada, se incluyen en forma gráfica los diferentes componentes de este requerimiento de visibilidad.

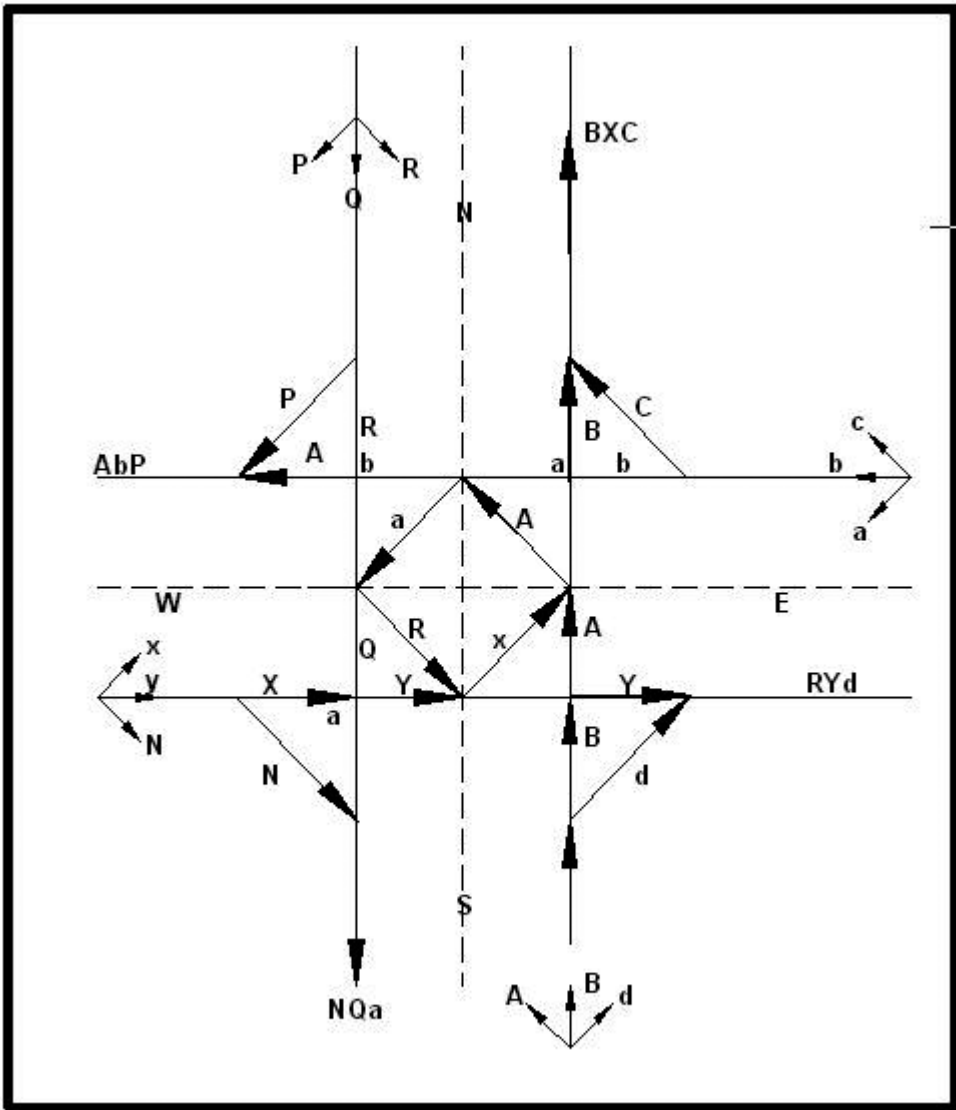


FIGURA 5.19. DISTRIBUCIÓN DEL TRÁNSITO EN ROTONDAS

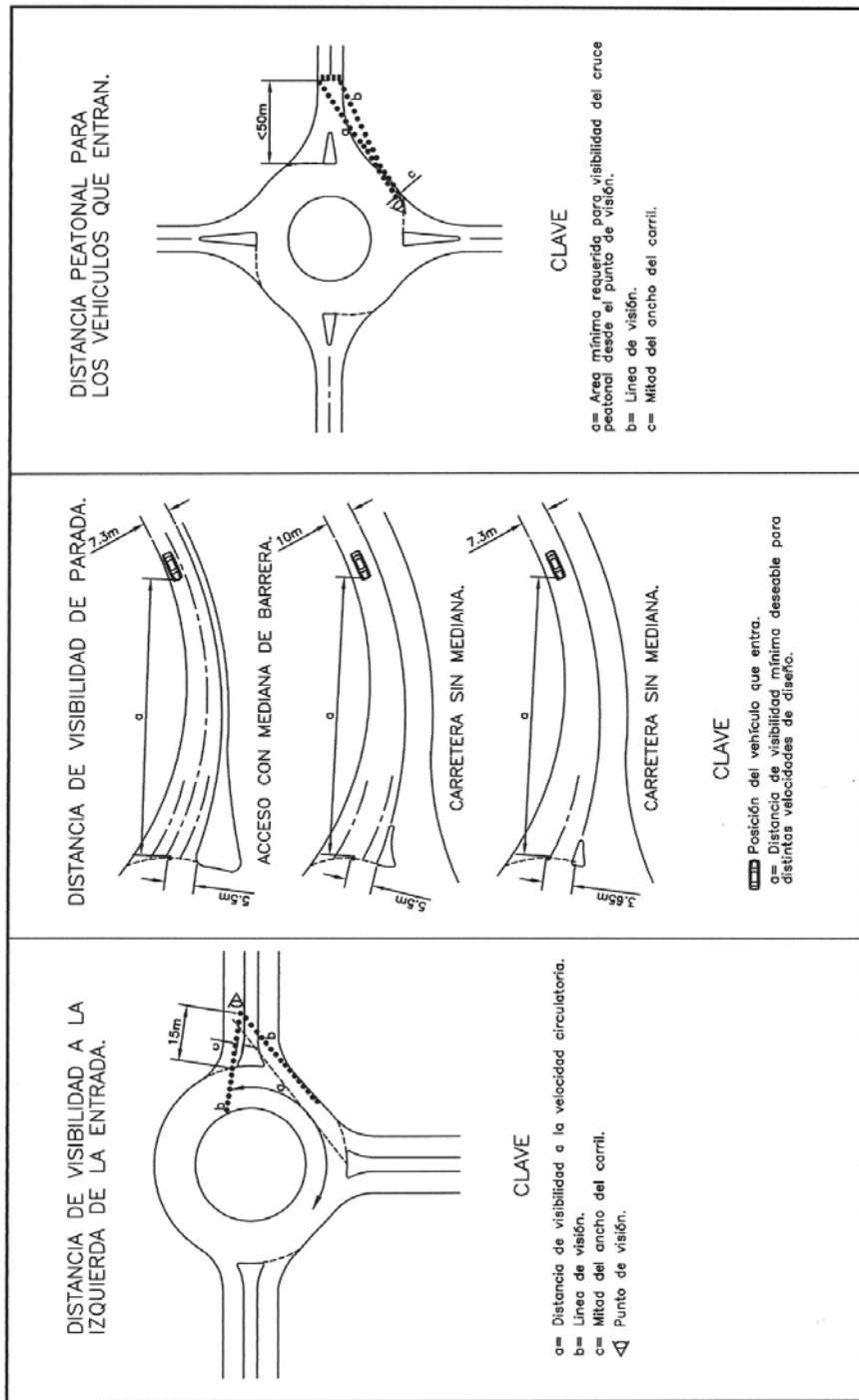


FIGURA No.5.20A. VISIBILIDAD EN ROTONDAS

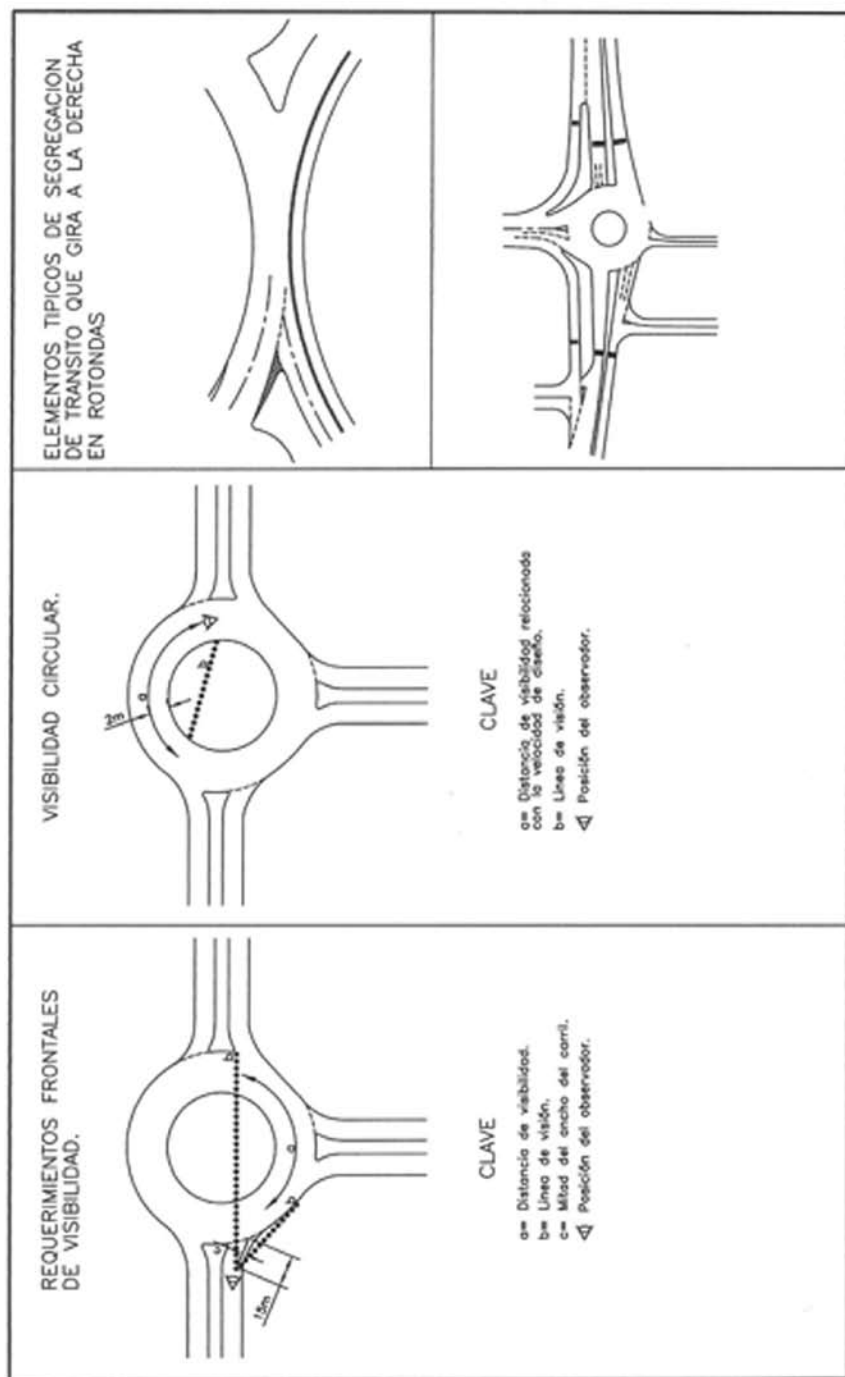


FIGURA No.5.20B: VISIBILIDAD EN ROTONDAS (CONTINUACIÓN)

- La visibilidad de los vehículos que circulan sobre la faja circular deben tener una visión clara del ancho de la misma delante de ellos, a una distancia apropiada de acuerdo al tamaño de la glorieta, tomando como parámetros las distancias de visibilidad mostradas en el Cuadro No.5.10. Se debe evitar que elementos ornamentales sobre la isla central causen obstrucción visual a los conductores y por consiguiente induzcan situaciones de peligro. Cuando se siembren plantas ornamentales deben ser de tamaño pequeño y bajo crecimiento. En la figura 5.20 se incluyen los elementos de diseño para esta situación de visibilidad.
- La visibilidad de vehículos para cruces de peatones deben tener una distancia deseable de parada, incluida en el cuadro antes indicado, a la altura de la línea de CEDA EL PASO. En la entrada del acceso los conductores deberán tener visión clara del ancho completo del cruce peatonal localizado en la salida próxima derecha de la rotonda. El cruce peatonal debe localizarse a 50m ó menos del punto de salida de los vehículos en circulación.

5.11.6 Ancho de Giro requerido para Vehículos Pesados

Para determinar el ancho de giro requerido para vehículos pesados en una rotonda normal, se utilizan dos vehículos tipo, la combinación de tractor con semirremolque identificada como California en los documentos de referencia, de 19.8 metros de largo total, que corresponde a un vehículo WB-18 según la clasificación de la AASHTO¹⁶, y el autobús, cuyas dimensiones y requerimientos para giros se muestran en la figura 5.21. Utilizando una isla central con bordillo de barrera y un claro mínimo de 1.0 metros, se pueden determinar del cuadro 5.13 el diámetro del círculo inscrito, f, y el ancho recomendable entre cunetas, g.

¹⁶ El vehículo WB-18 tiene el mismo radio mínimo de giro que el vehículo WB-19 adoptado para este manual, aunque requiere un radio interior de 6.8 metros, por lo tanto más exigente que el radio de 2.8 metros que exige el WB-19.

Diámetro del círculo inscrito, f	Vehículos de diseño			
	California mínimo		Bus mínimo	
91.4 85.3	6.6	6.6	5.2	5.2
79.2 73.2	6.9	7.0	5.2	5.3
67.1 61.0	7.3	7.6	5.3	5.5
57.9 54.9	7.8	8.1	5.5	5.6
51.8 48.8	8.4	8.7	5.8	5.8
45.7 42.7	9.1	9.6	5.9	6.1
39.6 36.6	10.2	11.1	6.2	6.4
33.5 30.5	12.3	*	6.7	7.0
29.0	*		7.2	

Este vehículo de diseño requiere diámetros de círculo inscrito más grande

Cuadro 5.13. Ancho de Giro Recomendable para Rotondas entre Cunetas, g, para Vehículos Pesados, en Metros

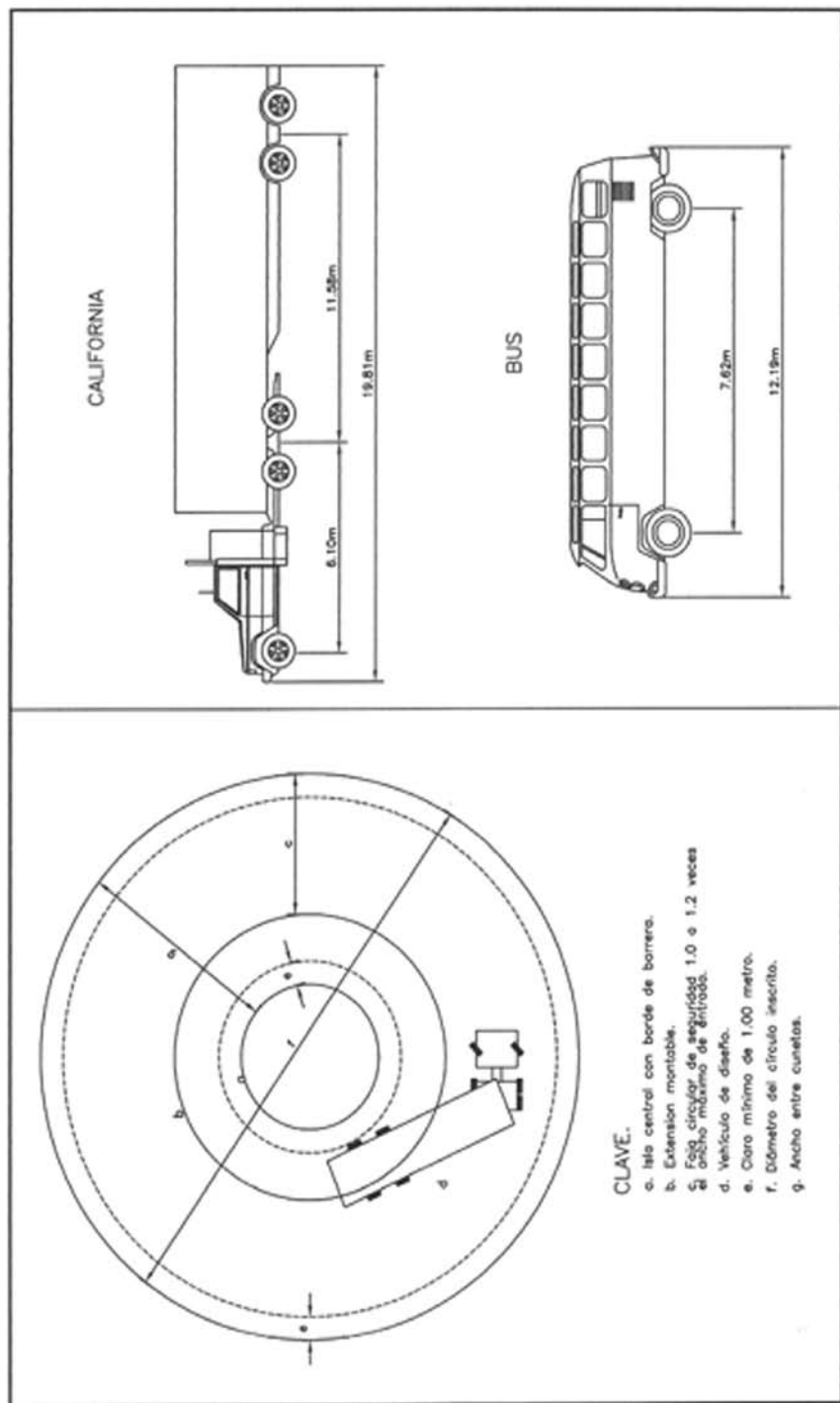


FIGURA No.5.21. ANCHO PARA GIRO DE VEHICULOS PESADOS EN ROTONDAS NORMALES.

Capítulo 6

CAPÍTULO VI INTERCAMBIOS E INTERSECCIONES A DESNIVEL

6.1 Los Intercambios, una Categoría Superior de Intersecciones

De los tres tipos básicos de intersecciones usuales en carreteras - las intersecciones a nivel, los simples cruces a desnivel para separar corrientes de tránsito y los intercambios - cada uno está previsto para desempeñar su propio papel, determinado éste en función de los volúmenes de tránsito de diseño, de la distribución direccional de los diversos movimientos del tránsito, de los costos como un elemento de primordial consideración, la topografía y la disponibilidad de derechos de vía, ocupando la categoría superior como solución técnica de diseño los intercambios, también conocidos como distribuidores y entronques a desnivel. En los países en desarrollo hay un elemento adicional importante a tomar en consideración: la necesidad de desarrollar una cultura para el uso apropiado y el seguimiento de las normas de operación de los intercambios, que hagan relucir sus ventajas en cuanto a seguridad, fluidez y economía en la circulación. Instrucciones simples, diseños para maniobras naturales y señalización oportuna, son componentes complementarios del esfuerzo de educación de los usuarios para el mejor uso de estas instalaciones.

Donde el tránsito de una carretera es de baja intensidad y subordinado al tránsito en la carretera principal, éste no sufre inconvenientes por la existencia de una intersección a nivel, situación en la cual el tránsito secundario es sacrificado y obligado a soportar los tiempos de espera para realizar las maniobras permitidas. Los tiempos de espera y las incomodidades van creciendo a medida que la vía secundaria incrementa su movimiento vehicular. El caso extremo ocurre en el momento en que ambas corrientes de tránsito siendo aproximadamente iguales, experimentan retrasos significativos que sufre el 50 por ciento de todo el movimiento de los vehículos en la intersección.

La idea de la separación de niveles para liberar el flujo de ambas corrientes o, en una opción más elaborada, la separación de niveles con su dotación de rampas, surge entonces como una opción justificada y justificable. La separación de niveles operará sin dificultades para la corriente principal que tendrá obvia preferencia, excepto cuando en el perfil se introducen pendientes longitudinales largas y pronunciadas, complicándose la operación de camiones y otros vehículos pesados. En este sentido, los terrenos ondulados se prestan más al diseño de los intercambios en armonía con el medio, caso contrario al de los terrenos planos, donde hay que aplicar un poco de imaginación paisajista para procurar soluciones visualmente agradables y prácticamente funcionales. Las rampas en estos intercambios no tienen efectos negativos en la corriente principal, excepto cuando la capacidad de dichas rampas es insuficiente, los carriles de aceleración y desaceleración y los entrecruzamientos no son de la longitud apropiada o se carece de algún tramo de las rampas de giro.

Las rampas están dispuestas para facilitar las maniobras del tránsito en los intercambios. Una rampa de un solo cuadrante, puede ser suficiente cuando los volúmenes son bajos. Sin embargo, puede ser que las operaciones de giro a izquierda en ambos extremos de la rampa, tengan que ser sustituidas por una solución con dos cuadrantes, de forma que los giros a izquierda solamente se realicen en la vía secundaria o menor.

La solución óptima, desde luego, ocurrirá cuando el intercambio ocupe los cuatro

cuadrantes para convertirse en la conocida solución en trébol. Ahí todos los movimientos del tránsito son directos y naturales. La complejidad operativa de los tréboles ocurre en los aros de cada cuadrante, donde se puede generar algún grado de confusión, además de que se requiere un área de entrecruzamiento que, para ser eficiente, debe contar con la longitud apropiada de diseño determinada por los volúmenes de tránsito que se entrecruzan. Pero el trébol es apenas una de las formas más conocidas de los intercambios utilizados en el medio vial.

6.2 Condiciones para la Construcción de Intercambios

6.2.1 Criterios Generales

Para dar respuesta a la pregunta de cuáles son las condiciones para la construcción de un intercambio, cabe recurrir al análisis de diversos factores que deben ser cuidadosamente examinados y ponderados con propiedad. En orden de prioridad, las condiciones más importantes para la construcción de intercambios tienen que ver con los volúmenes de tránsito para diseño, la eliminación de embotellamientos o congestionamientos del tránsito, los aportes a la seguridad vial, la clasificación de la arteria en lo relativo al control en los accesos, los resultados del análisis de beneficios y costos, la disponibilidad de recursos para inversión, incluyendo la construcción por etapas, y la topografía del sitio. Según sea la profundidad del análisis emprendido, la respuesta final debe indicar cuándo, dónde y cómo debe construirse el intercambio propuesto. Otros criterios más podrán complementar a los antes señalados, cuyo listado en ninguna manera puede considerarse como exhaustivo.

6.2.2 La Relación de Beneficios y Costos

Es fundamental soportar la recomendación de la construcción de un intercambio en una comparación de los beneficios y costos del mismo. De un lado se habrá de colocar un costo de inversión inicial que seguramente será bastante elevado, resultado de la construcción de estructuras para la separación de niveles, carreteras de paso preferencial, rampas, trabajos de nivelación y de desarrollo paisajístico, instalación de servicios especiales, etc.; a este costo inicial se le habrán de sumar gastos anuales en concepto de mantenimiento, comparativamente más elevados que si se tratara de una intersección a nivel. Del lado de los beneficios, se podrá contar con volúmenes significativos de ahorros en costos de operación de los vehículos y tiempos de espera (expresados estos últimos en costos del tiempo de los conductores y los pasajeros), durante todo el ciclo del proyecto. Los resultados de la comparación de ordinario son favorables a la solución de intercambio, sobre todo cuando el movimiento de paso es predominante. Solamente por efecto de la operación de las rampas direccionales, por ejemplo, se pueden generar ahorros considerables en las distancias de recorrido y eliminar las reducciones en velocidades. La realidad es que en el análisis económico de un intercambio, no es sólo la comparación de éste frente a una intersección a nivel, también es la comparación técnica y económica de un elenco de alternativas viables para seleccionar la mejor y más apropiada al medio.

6.2.3 Insuficiente Capacidad de la Intersección a Nivel

Los volúmenes de tránsito en exceso de la capacidad de una intersec-

ción a nivel, en la cual se han agotado las opciones operativas y de bajo costo relativo para incrementar la fluidez del movimiento, constituyen una clara invitación a considerar la construcción de intercambios. Al nivel de servicio F, que es prácticamente cuando la relación volumen/capacidad se aproxima a la unidad, el flujo del tránsito se vuelve forzado, las velocidades se restringen al máximo y los tiempos de espera se tornan insostenibles, obligando a algunos conductores a sacrificar su propia seguridad, realizando maniobras riesgosas para superar el embotellamiento. Consecuentemente, se incrementa la tasa de accidentalidad del sitio de la intersección, que pasa a ser señalada como una zona de peligro.

6.2.4 El Control en los Accesos

Donde la clasificación funcional de una carretera determina que debe disponer de control total en los accesos, está implícita la necesidad de construir intercambios en las intersecciones principales con las otras carreteras de la red. Esto significa que en su conjunto y con una visión de sistema, la carretera obligará a readecuar todas las intersecciones en un proceso de redistribución de flujos, relocalizando unas intersecciones, clausurando otras para reorientar o concentrar el movimiento, construyendo cruces a desnivel donde no interesa que exista interferencia en el tránsito principal, y dejando por último los sitios en donde necesariamente habrá que proveer intercambios.

Un análisis similar habrá de hacerse en aquellas carreteras que están supuestas a contar con control parcial en los accesos, aunque las exigencias sean de menor nivel, pues en casos tales se admite la existencia de intersecciones a nivel sujetas a determinados requisitos y exigencias, para favorecer la función de movilidad sobre la corriente principal del tránsito.

6.2.5 Las Necesidades en Centroamérica y Panamá

Donde se siente mayor presión en la región de Centroamérica y Panamá para la construcción de más y mejores intercambios, es en las áreas urbanas de las capitales de los seis países y en las zonas suburbanas, que normalmente forman parte de la región metropolitana que se conforma en torno a dichas capitales, donde ya se ha mencionado se producen las mayores concentraciones de tránsito. Es ahí también donde se suma al elevado costo de la inversión inicial, el conocido problema del elevado valor de la tierra, que hace difícil en sumo grado brindar las soluciones requeridas, tanto por la usual limitación de recursos financieros como por el hecho de que las agencias internacionales de crédito, al financiar estas obras, no cubren gastos de adquisición de derechos de vía ni el pago de impuestos. No obstante lo anterior, se cuenta cerca de treinta intercambios que están prestando variados servicios en las capitales centroamericanas y cuya evaluación operativa, así como el análisis de sus bondades y deficiencias, se impone para derivar lecciones útiles de la escasa experiencia adquirida hasta ahora.

6.3 Tipos Usuales de Intercambios

La configuración de los intercambios es variada y en muy raras oportunidades es permisible hablar de soluciones únicas; más bien los intercambios deben diseñar-

se ad-hoc, teniendo a la vista todo el menú de requerimientos y todo el elenco de alternativas técnicamente posibles.

Sin embargo existen ciertas configuraciones básicas usuales en la práctica de la ingeniería vial, cuyo conocimiento es esencial, para determinar la medida en que cualquiera de ellas es aplicable a un caso dado o, en la mejor de las opciones, abrir la posibilidad para que el diseñador elabore su propia y original solución, al gusto del cliente y sus necesidades.

Por razones de conveniencia, la primera clasificación de los intercambios usuales es en función de los ramales, que pueden ser tres o cuatro.

6.3.1 Intercambios de Tres Ramales

El intercambio en trompeta, en T o en Y, es el más común de los que entrelazan tres ramales importantes, ya que consiste de una o más estructuras de separación de niveles, en complemento a carreteras de un solo sentido de circulación para todos los movimientos del tránsito. El movimiento del tránsito de paso tiene preferencia en esta configuración. De los dos giros a izquierda, se favorecerá al de mayor volumen con el alineamiento directo, en tanto que el volumen menor se movilizará por el aro, donde experimentará mayores restricciones para su velocidad y comodidad. Curvas con espirales de transición son efectivas para el mejor alineamiento horizontal de las rampas en las trompetas.

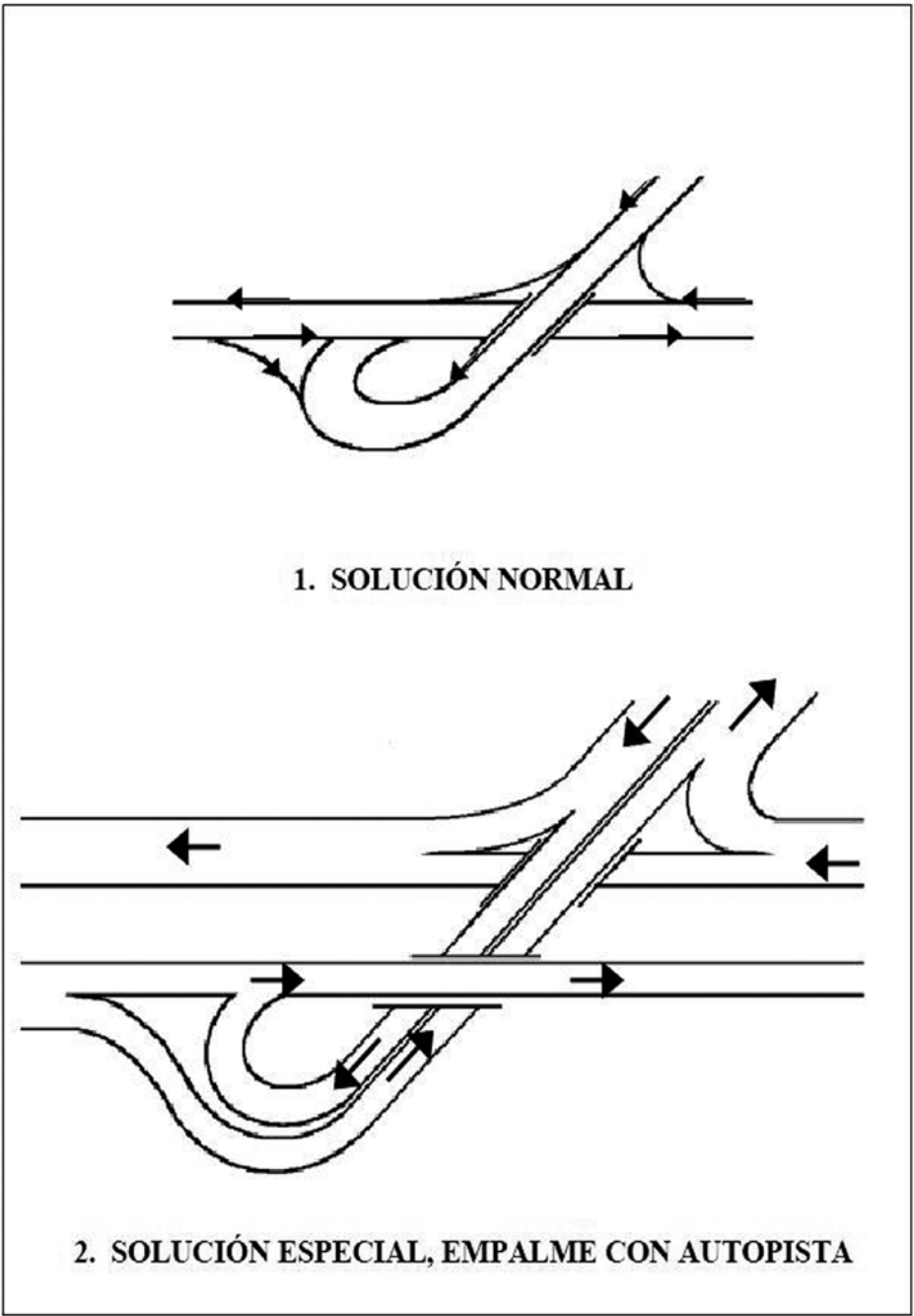


FIGURA 6.1. INTERCAMBIO TIPO TROMPETA

En la intersección de una autopista con una carretera principal, se puede aplicar un diseño como el que muestra la Figura 6.1, dibujo 2, donde la carretera local pasa por encima de la autopista en sus carriles de la derecha, pero pasa por debajo en los carriles de la izquierda, para luego incorporarse en el aro en ascenso para reducir su velocidad, que luego ganará en el correspondiente carril de aceleración, parcialmente desarrollado sobre la estructura.

6.3.2 Intercambios de Cuatro Ramales

Los intercambios de cuatro ramales se construyen donde se entrecruzan dos carreteras importantes, que necesitan redistribuir sus corrientes de tránsito en operaciones de cruce, separación, integración y entrecruzamiento, admitiéndose como soluciones las configuraciones en diamante, en trébol de cuatro hojas, con sus variantes de tres, dos y hasta una hoja, y los intercambios con conexiones directas y semidirectas, que adquieren formas caprichosas y son los más elaborados y costosos de los intercambios posibles. Por su mayor adaptación al medio, se hará referencia a los intercambios en diamante y en trébol.

a) Los Diamantes

Los intercambios del tipo diamante son los más apropiados donde existen severas limitaciones en derecho de vía, ya que sus exigencias de espacio para acomodar las rampas diagonales requeridas en cada cuadrante son mínimas, de ahí que sean extensamente utilizados en áreas urbanas y en zonas suburbanas, por causar las menores afectaciones a las propiedades colindantes.

Desde la pista principal, el flujo de salida o de entrada hacia o desde las rampas diagonales tiene que ser libre y puede realizarse a velocidades relativamente altas. En la vía secundaria y en tanto los volúmenes de tránsito no sean elevados, se podrán realizar de manera relativamente fácil las maniobras de giros a derecha o izquierda hacia o desde las rampas diagonales. Para incrementar la seguridad de estas operaciones, se recomienda algún tipo de canalización de las corrientes, recomendación que se vuelve obligada cuando los volúmenes de tránsito en estos puntos alcanzan magnitudes mayores. Estas canalizaciones, incluyendo la mediana central, pueden ser demarcadas en el pavimento o, preferiblemente, ser delimitadas mediante bordillos montables

La señalización en estas intersecciones es esencial. El crecimiento de los volúmenes de tránsito puede hacer necesario que una rampa diagonal que salga de la pista principal con un solo carril de circulación, tenga que ser ampliada hacia el extremo de entrada con dos o tres carriles, para permitir la acumulación del tránsito y su incorporación al flujo de la vía secundaria, sea con el auxilio de semáforos o sin ellos. Lo importante, en todo caso, es que la acumulación de tránsito en la diagonal no llegue hasta ocasionar fricciones con el tránsito de la carretera principal.

Una diversidad de variantes admite la solución de los intercambios en diamante, el más frecuente de ellos ocurre cuando a lo largo de la carretera principal existen calles marginales de un solo sentido de circulación, a las cuales se integran las rampas diagonales unos 100 metros o más

antes y después de la intersección, para dar lugar al entrecruzamiento y el acomodo de los vehículos en circulación antes de realizar su maniobra deseada.

La forma más elaborada y costosa de diamante es la que cuenta con una estructura de tres niveles y cuatro pares de rampas, para posibilitar el flujo ininterrumpido del tránsito en ambas carreteras que se intersectan. En esta solución, solamente los giros a izquierda se efectúan a nivel. No obstante lo sofisticada de esta solución, ocupa todavía menos espacio que otro tipo más complejo de los intercambios conocidos.

Las rampas diagonales son todas de 4.2 metros de ancho de carril, con pendientes menores del uno por ciento.

La figura 6.2 ilustra esquemáticamente la configuración de los tipos de diamante a que se ha hecho referencia.

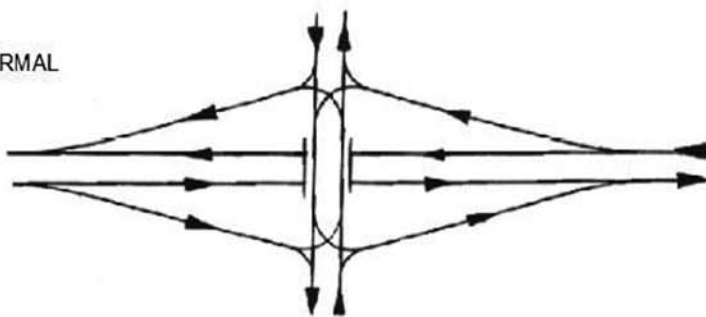
b) Los Tréboles

La figura del trébol es bastante conocida en el medio centroamericano, desde que hace cerca de cincuenta años se construyó en la ciudad de Guatemala el primer trébol de cuatro hojas, que ahora es un punto de referencia obligado de la capital. Con todo y sus deficiencias y modificaciones cuestionables, el trébol de la ciudad sigue prestando un invaluable servicio a la comunidad urbana y alivio al acelerado congestionamiento del tránsito ciudadano.

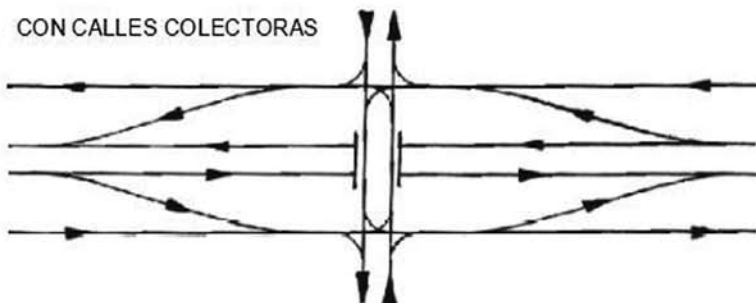
Un trébol completo resuelve, con aros, los cuales implican giros derechos de 270 grados, todas las demandas de los movimientos a la izquierda en un intercambio, integrándolos por la derecha en la corriente deseada. A cambio, esos aros incrementan considerablemente la longitud de recorrido de los vehículos, en mayor medida según sean mayores las velocidades de diseño – por cada 10 kilómetros por hora de aumento de la velocidad de diseño, se incrementa la distancia de recorrido del aro en un 50 por ciento y el tiempo en un 20 a 30 por ciento - requiriendo además extensas áreas de derecho de vía en terrenos que, usualmente, tienen costos elevados por metro cuadrado. En un aro diseñado para 30 kilómetros por hora con un radio de 27 metros, la distancia extra de recorrido es de 200 metros, mientras que para 50 kilómetros por hora de velocidad de diseño y radio de 80 metros, la distancia extra de recorrido se eleva a 500 metros. Considerando estos factores, se recomienda el uso de radios de 30 a 50 metros para aros en carreteras de menor movimiento y velocidades de diseño de 80 kilómetros por hora o menos y 50 a 75 metros de radio para el movimiento de camiones pesados en carreteras más importantes, que operan a mayores velocidades de diseño.

Otra desventaja de los tréboles son las cortas distancias disponibles para las peligrosas maniobras de entrecruzamiento, que en cierta forma alivia la construcción de carriles colectores-distribuidores, cuya carencia complica la operación del carril derecho de la pista principal, que además de atender su propio movimiento, debe dar lugar al entrecruzamiento desde y hacia los aros del intercambio. Se afirma que cuando la intensidad de tránsito horario en los dos aros contiguos se aproxima a los 1,000 vehículos por hora, la interferencia crece fuera de proporciones y se reduce la velocidad del tránsito principal. Cuando supera los 1,000 vph, hay necesidad de transferir a una pista colectora-distribuidora todo el movimiento de entrecruzamientos, para dejar libre la corriente principal de paso.

1. NORMAL



2. CON CALLES COLECTORAS



3. CON ESTRUCTURAS ADICIONALES

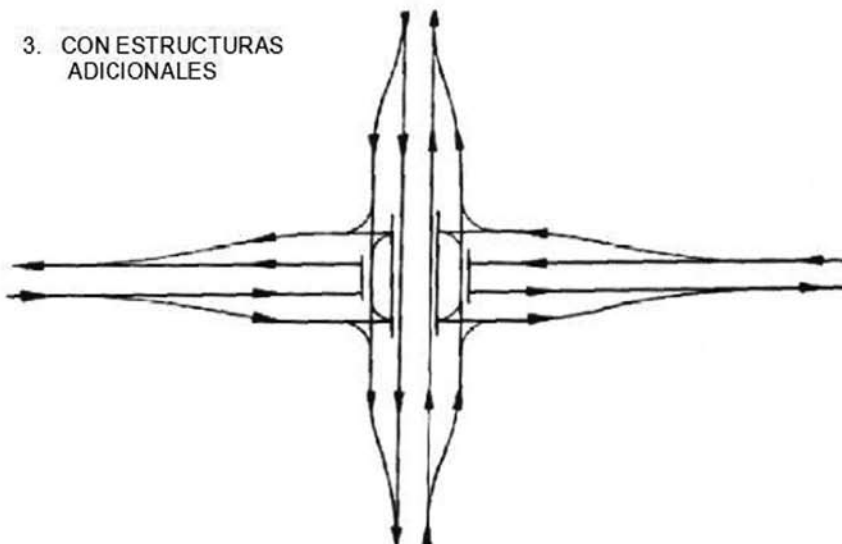


FIGURA 6.2. DIAMANTES Y ALGUNAS DE SUS VARIANTES

La Figura 6.3 muestra variantes al trébol de cuatro hojas, con soluciones parciales de tres, dos y hasta un aro, que se acomodan a las condiciones del sitio y pueden brindar soluciones satisfactorias, siempre y cuando las rampas se acomoden de manera tal que los giros de entrada y salida no interfieran o lo hagan en grado mínimo, con las corrientes de tránsito sobre la pista principal. Un criterio fundamental es que los movimientos principales de giro se realicen con salidas y entradas por la derecha. Complementario a ese criterio, es que donde el tránsito principal de paso sea considerablemente mayor que en la otra arteria, siempre debe procurarse que la entrada o la salida desde la vía principal se haga por la derecha, no importando si en la vía secundaria la terminal de la rampa resulte en un giro por la izquierda.

6.4 Las Estructuras para la Separación de Niveles

6.4.1 ¿Por Arriba o por Debajo?

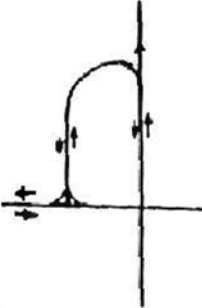
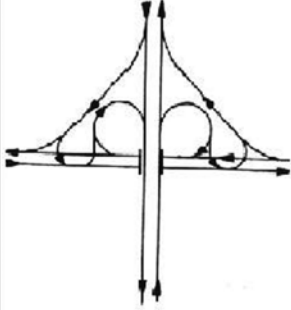
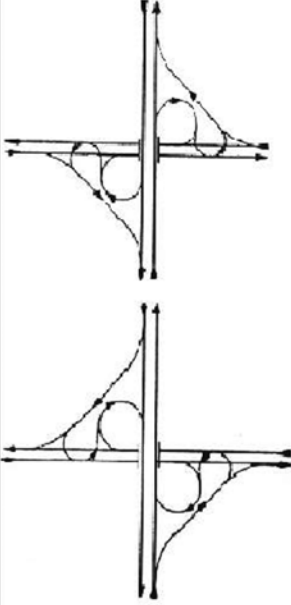
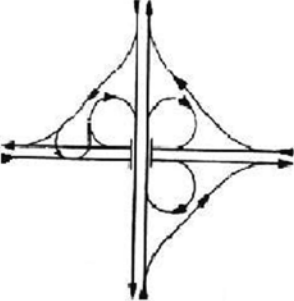
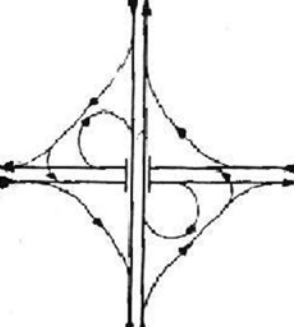
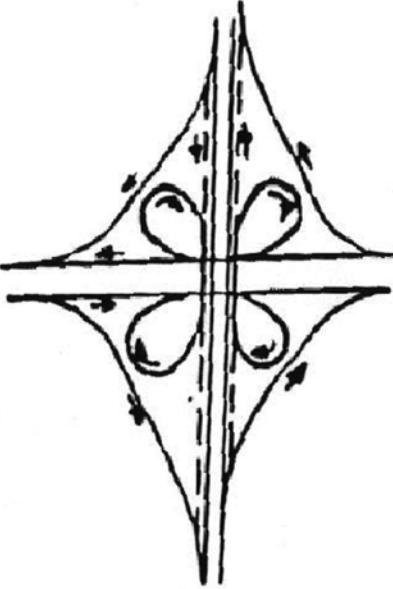
La primera consideración para determinar si la carretera principal debe pasar por arriba o por debajo de la estructura de separación de niveles en un intercambio, está en función de la adaptación del diseño a la topografía del terreno, adaptación que será tanto más exitosa cuanto mejor reúna los atributos de ser una solución estéticamente agradable y funcional, además de fácil de construir y mantener. Si la topografía predomina, el diseño de la estructura y los demás componentes del intercambio deben ineludiblemente someterse a ella, sin desconocer la sensible ponderación que el costo tiene en la escogencia de la mejor alternativa. Un puente con un solo claro puede cubrir aproximadamente hasta 45 metros, con peraltes en las vigas de aproximadamente 1/15 a 1/30 del claro total. Puentes de longitudes mayores podrían requerir pilas intermedias soportadas en la mediana, mayores peraltes de las vigas o mayores rellenos en los accesos para hacer más corta la longitud total de la solución estructural del puente.

Del anterior criterio pareciera ser indiferente la decisión de si el tránsito principal de paso es por arriba o por debajo de la estructura. Sin embargo hay pros y contras a las dos posibilidades extremas. Ver Figura 6.4.

a) **El Paso Inferior por las Estructuras de Separación de Niveles**

Se afirma que el paso inferior del tránsito principal, presenta la ventaja de ofrecer al conductor la visión inmediata del puente del intercambio y de las entradas y salidas de las diferentes rampas que lo complementan. Esta ventaja se mantiene aún cuando la rasante del puente se identifica con el nivel del terreno donde la topografía es relativamente plana, y la carretera principal se deprime un tanto para acomodar el paso por debajo de la estructura. Otra ventaja adicional la ofrecen las rampas, que lucen más naturales cuando los vehículos que se separan de la corriente principal empiezan a perder velocidad en el ascenso de la rampa y, por el contrario, empiezan a ganar velocidad en el descenso de la rampa para incorporarse a la corriente principal, haciendo más eficiente el funcionamiento de los carriles de aceleración. Si se tiene el propósito de atenuar la contaminación por ruidos del tránsito, el paso inferior de la carretera principal tiene sus ventajas evidentes.

6.3 TRÉBOLES Y ALGUNAS DE SUS VARIANTES

		
<p>1. UN CUADRANTE</p>	<p>2. DOS CUADRANTES, A AMBOS LADOS DE LA ARTERIA PRINCIPAL</p>	<p>3. DOS CUADRANTES OPUESTOS DIAGONALMENTE</p>
		
<p>4. TRES CUADRANTES, CON DOS SALIDAS DIRECTAS DE LA ARTERIA PRINCIPAL</p>	<p>5. CUATRO CUADRANTES, CON SALIDA DIRECTA DE LA ARTERIA PRINCIPAL</p>	<p>6. TRÉBOL COMPLETO CON CARRIL COLECTOR-DISTRIBUIDOR</p>

b) **El Paso Superior por la Cubierta de las Estructuras**

El paso superior ofrece, por su parte, las mejores facilidades para el desarrollo del proyecto por etapas, algo que puede ser sumamente atractivo para los países en desarrollo. La construcción de una parte del ancho del puente, en una primera etapa, para luego adicionarle los carriles y la franja divisoria central en los anchos preestablecidos, constituye un buen ejemplo de un desarrollo incremental o por etapas de la solución estructural, que no sacrifica nada de la primera parte de la inversión. Donde una nueva carretera cruza con considerables volúmenes de tránsito una ruta existente, la construcción de un paso superior ocasiona las menores alteraciones al tránsito existente, ya que no exige la construcción o habilitación de desvíos provisionales. Adicionalmente, el cruce de la carretera principal por arriba no tiene limitación alguna para el movimiento de camiones con cargas de dimensiones extraordinarias, a menos que la estructura del puente sea una armadura de acero de paso a través. Finalmente, cabe destacar que el paso superior del tránsito principal es más favorable para el tratamiento apropiado del drenaje superficial en el área del intercambio.

6.4.2 Ancho de las Estructuras de Separación de Niveles en los Intercambios

La recomendación más general en lo que se refiere al ancho de la sección transversal del puente o los puentes de un intercambio, es que esta sección debe ser igual al ancho de la corona de la carretera en sus accesos al puente o los puentes, particularmente si se trata de una autopista, para que transmita al conductor la confortable sensación de amplitud y seguridad que requiere en sus operaciones. En contraste, la sensación de estrechamiento que producen los postes, los pasillos, las columnas de los puentes, los parapetos y los pasamanos de las estructuras, induce al conductor a separarse de esos obstáculos fijos e invadir los carriles contiguos, a riesgo de su seguridad y la de los demás.

Se admite, sin embargo, que en los puentes de mayores longitudes se pueda sacrificar un tanto del ancho deseable, en beneficio de la economía de la obra, aunque este no puede ser un criterio absoluto, sino que debe combinarse con el análisis de las características del tránsito, de las medidas de seguridad, de los imprevistos y de la factibilidad económica de la solución recomendable.

En autopistas, donde se supone que no deben circular peatones, se acostumbra que a 0.60 metros del borde del hombro se construya una base de concreto o parapeto, sobre la cual se colocan los postes de soporte de la defensa del puente o pasamanos. La mayoría de estas defensas o pasamanos son rígidas, aunque se están incorporando con mayor frecuencia dispositivos para la absorción de la energía de los impactos, a fin de reducir la severidad de los accidentes.

Tratándose de otro tipo de carreteras, diferentes de las autopistas, se debe dar debida consideración a la construcción de aceras para atender las necesidades del movimiento peatonal que, en Centroamérica y Panamá, es intenso por calles y carreteras.

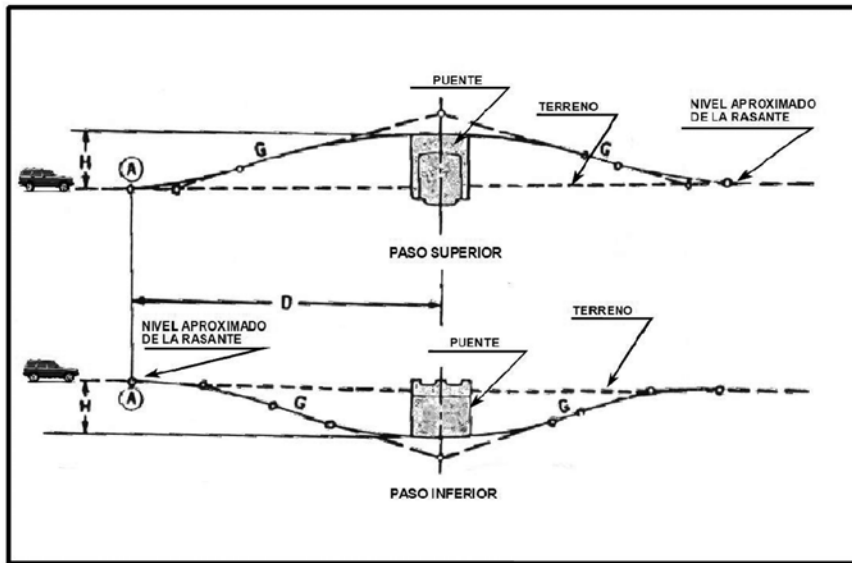


FIGURA 6.4 ALTURA LIBRE, H, REQUERIDA EN TERRENO PLANO PARA HABILITAR EL PASO SUPERIO O INFERIOR DE LA ESTRUCTURA DE UN CRUCE A DESNIVEL

6.4.3 Las Restricciones Laterales

El ancho de la mediana gobierna el despeje de obstáculos del lado izquierdo en una carretera dividida, ya que un ancho mínimo de 3.0 metros, permite la eventual construcción de hombros de 1.20 metros de ancho a cada lado, junto con una barrera rígida del tipo previsto para redireccionar el tránsito. En carreteras de seis o más carriles, se recomienda que la mediana sea de 6.60 metros por lo menos, para dejar hombros de 3.0 metros y la barrera rígida del centro.

Las carreteras de alta velocidad deben ser diseñadas para llevar a lo largo del paso inferior todo el ancho del hombro derecho, con bordillos continuos solamente para el tratamiento del drenaje, ya sea a la derecha o a la izquierda. Donde sea necesario proporcionar aceras, estas deben construirse incrementando el ancho de la sección transversal del paso inferior en la porción correspondiente. Las paredes de los estribos verticales deben incorporar secciones de barreras, similares a las que se propone colocar al centro de la sección transversal.

Donde es imposible dejar una sección suficientemente despejada, se recomienda que todos los estribos, pilas y columnas sean protegidos con los dispositivos apropiados, a menos que estén situados fuera del alcance de los vehículos fuera de control. Las defensas instaladas en tales sitios deben tener una distancia libre apropiada a la deflexión dinámica lateral de dichas defensas.

6.4.4 Medianas

No se recomienda la construcción de una mediana con bordillos en puentes de 30 metros o menos, cuando la carretera de acceso consta de una calzada de cuatro o más carriles sin división central o se tiene una mediana a nivel de menos de 1.20 metros de ancho. Para puentes entre 30 y 120 metros de longitud, los volúmenes de tránsito, las velocidades, las distancias de visibilidad, la necesidad de postes para el alumbrado público, la sección transversal de los accesos, etc., determinarán si se requieren o no las medianas. En puentes de más de 120 metros, se justifica la construcción de medianas delimitadas por bordillos.

6.4.5 Altura Libre del Paso Inferior

Conviene recordar que la mayor altura del vehículo de diseño es de 4.10 metros, aunque algunos Estados norteamericanos admiten que los vehículos cargados alcancen alturas hasta de 4.40 metros. Si se toma en cuenta que debe haber una altura libre entre el vehículo cargado y la cara inferior de la estructura de soporte del puente de por lo menos 0.30 metros, al adicionar a los datos anteriores la pérdida de altura por los trabajos de revestimiento periódico de la carretera, se tiene que la altura libre deseable del nivel de la rasante a la cara inferior de la estructura es de 5.50 metros y de 4.80 metros el mínimo recomendable bajo ciertas condiciones.

6.4.6 Distancia Horizontal para efectuar la Separación de Niveles

La distancia mínima requerida, D , para efectuar la separación de niveles depende de la velocidad de diseño, de la pendiente longitudinal de la carretera y de la altura de subida o bajada, H , necesaria para la separación de niveles. La Figura 6.4 muestra la distancia requerida en terreno plano, que puede utilizarse como guía para el diseño preliminar de soluciones con pendientes y rasantes diferentes, según la conformación del terreno.

La distancia requerida, para un diseño preliminar, puede determinarse del cuadro 6.1 para pendientes comprendidas entre 2 y 7 por ciento y para velocidades de 80 a 110 kilómetros por hora, aplicables a autopistas, y velocidades hasta de 50 kilómetros por hora para carreteras menores. Los valores se han derivado para condiciones similares de pendientes de ambos lados de la estructura, pudiendo interpolarse o extrapolarse dichos valores. Los valores de D , expresados en metros, son válidos igualmente para situaciones de pendientes desiguales. La distancia D es la suma de la curva vertical de entrada, más la longitud de la tangente y la mitad de la curva vertical en la cresta o el columpio de la estructura, pero está basada en la mínima distancia de visibilidad de parada, siendo que lo recomendable es proporcionar curvas de mayor amplitud. Pendientes mayores de 3, 4, 5 y 6 por ciento, no deben usarse con velocidades de 110, 100, 80 y 60 kilómetros por hora respectivamente, cuando la separación de niveles sea de 7.50 metros o menos.

La diferencia típica en elevaciones es de 6.0 a 6.6 metros, para tomar en consideración tanto la altura libre vertical como el peralte de la estructura, incluida la losa.

Velocidad, km/h y Pendiente		Valores de H**, metros			
VELOCIDAD	PENDIENTE	4	6	8	10
50	5%	130	170	210	250
50	7%	-	160	180	210
60	4%	160	210	260	310
60	6%	-	190	220	250
80	3%	220	290	350	420
80	5%	-	-	300	340
100	2%	330	400	460	530
110	3%	-	350	410	480

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 768

*La distancia D es la suma de la curva vertical de entrada, más la longitud de la tangente y la mitad de la curva vertical en la cresta o el columpio al nivel de la estructura (Ver figura 6.4).

**Diferencia en metros del nivel del terreno y la cresta o el fondo del columpio en una estructura de separación de niveles (Ver figura 6.4).

Cuadro 6.1. Distancia Mínimas (D^* , en metros) para realizar la Separación de Niveles en Estructuras de Paso por Arriba o por Debajo

6.5 Las Rampas, su Diseño

6.5.1 Definiciones

Todos los tipos de configuraciones, disposiciones y tamaños de segmentos de carreteras para salir de un ramal a otro dentro de un intercambio, se conocen bajo el nombre genérico de rampas, que en lo esencial están constituidas por una terminal en cada extremo, provista de giros en uno o en ambos sentidos, una sección de carretera con circulación en un solo sentido, algún grado de curvatura horizontal con su correspondiente transición y pendiente longitudinal.

Las rampas sirven como carreteras de transición, permitiendo la transferencia de un vehículo de una carretera a la otra, en movimientos sucesivos de separación y convergencia. La separación convierte una sola corriente de tránsito en dos, en tanto que la convergencia opera en sentido contrario, integrando en una sola corriente dos corrientes separadas. Ambos alineamientos (el horizontal y el vertical) son, por lo general, construidos por debajo de las normas de diseño de las carreteras que enlazan, aunque en raras ocasiones pueden ajustarse a normas similares. Las distancias de visibilidad a lo largo de una rampa deben ser por lo menos iguales a las de visibilidad de parada, aunque se recomienda incrementarlas en un 25 por ciento o más, antes de llegar a la nariz de la rampa de salida de una autopista¹⁷. Los diferentes tipos de rampas se muestran en la Figura 6.5.

6.5.2 Velocidades de Diseño

Las velocidades de diseño en las rampas no es posible equipararlas a las de las carreteras que intersecta, aunque no deberían ser inferiores a las que

¹⁷ Se recomienda la lectura del Capítulo 14, Capacity Analysis of Ramps and Ramps Junction, del libro de McShane and Roess, *Traffic Engineering*, Prentice Hall, 1990

muestra el cuadro 6.2 adjunto. Las rampas deben ser provistas de transiciones apropiadas y de carriles de cambio de velocidad, en un todo congruentes con el diseño de las carreteras involucradas.

Velocidad de Diseño Carretera	50	60	70	80	90	100	110
Velocidad de Diseño Rampa							
• Rango Superior	40	50	60	70	80	90	100
• Rango Medio	30	40	50	60	60	70	80
• Rango Inferior	20	30	40	40	50	50	60
Radios Mínimos*							

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 826

*Ver cuadro correspondiente del capítulo 3

Cuadro 6.2. Velocidades de Diseño de las Rampas en función de las Velocidades de Diseño de la Carretera, en kilómetros por hora

Para las rampas de giros a derecha, se recomienda que la velocidad de diseño sea escogida entre el límite superior y el límite medio, con un uso más frecuente de este último.

Para los aros se recomienda utilizar el límite inferior de la tabla, aunque no debería bajar de 40 kilómetros por hora y radio de 45 metros, cuando la velocidad de la carretera principal sea de 80 kilómetros por hora o más.

Para conexiones directas, se recomienda que la velocidad de diseño se seleccione en el límite superior o medio, con un mínimo deseable de 60 kilómetros por hora.

Donde una rampa se une con una carretera o calle principal formando una intersección a nivel, el diseño es guiado por el uso de señales de alto, de ceda el paso o de semáforos, según conveniencia técnica.

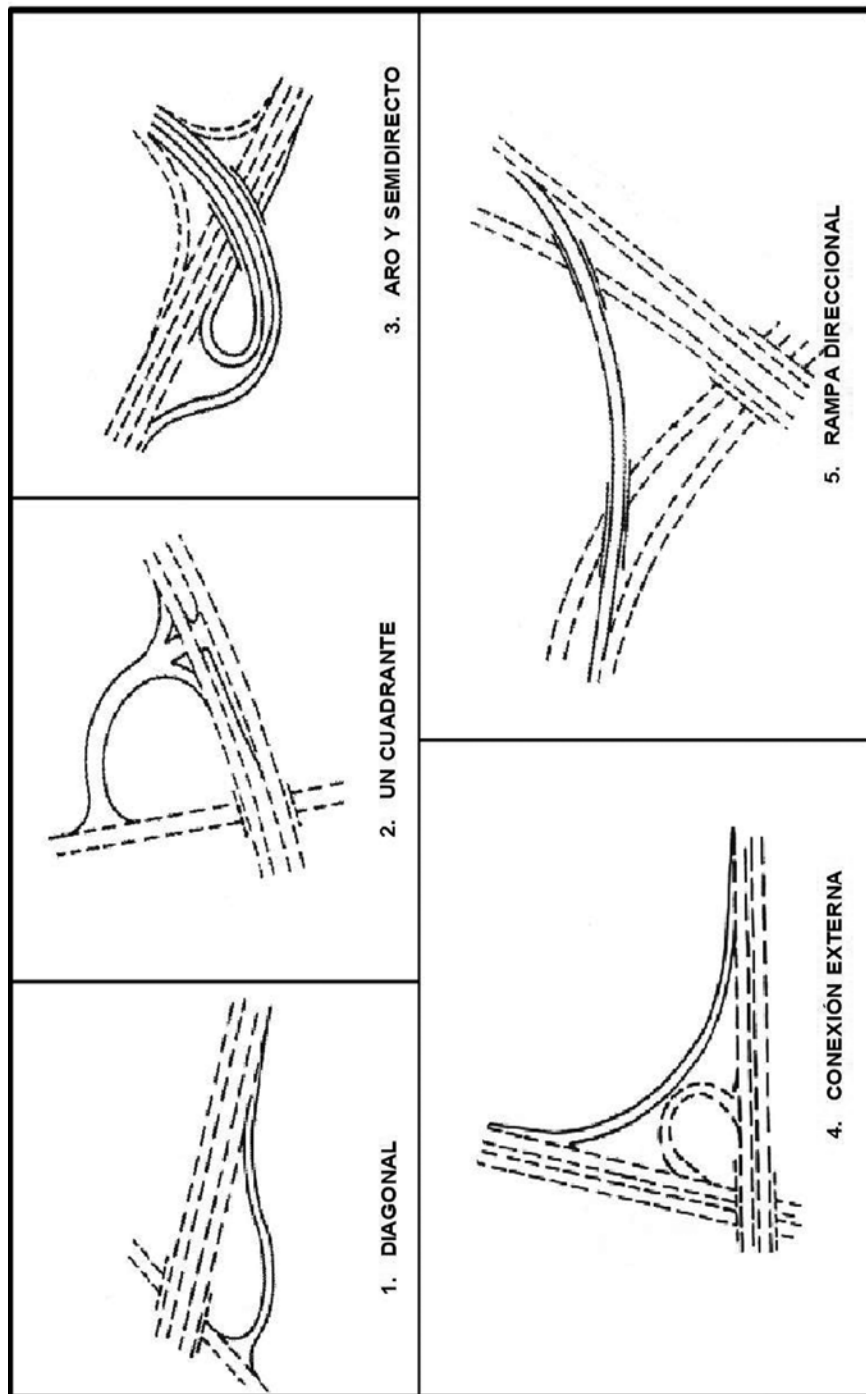


FIGURA 6.5. TIPOS DE RAMPAS

6.5.3 Ancho de Rampas

El ancho de diseño de las rampas, que incluye los hombros o su equivalente como área despejada fuera de la vía de circulación, varía según el tipo de operación de la rampa, la curvatura y los volúmenes de tránsito, pero sobre todo de la composición del tránsito que está dado, en el cuadro 6.3,

Radio Interior del Pavimento	CASO I			CASO II			CASO III		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	5.4	5.5	7.0	6.0	7.8	9.2	9.4	11.0	13.6
25	4.8	5.0	5.8	5.6	6.9	7.9	8.6	9.7	11.1
30	4.5	4.9	5.5	5.5	6.7	7.6	8.4	9.4	10.6
50	4.2	4.6	5.0	5.3	6.3	7.0	7.9	8.8	9.5
75	3.9	4.5	4.8	5.2	6.1	6.7	7.7	8.5	8.9
100	3.9	4.5	4.8	5.2	5.9	6.5	7.6	8.3	8.7
125	3.9	4.5	4.8	5.1	5.9	6.4	7.6	8.2	8.5
150	3.6	4.5	4.5	5.1	5.8	6.4	7.5	8.2	8.4
Tangente	3.6	4.2	4.2	5.0	5.5	6.1	7.3	7.9	7.9
Modificaciones al ancho en función del tratamiento del hombro									
Hombro no estabilizado	ninguna			ninguna			Ninguna		
Curva con peralte	Ninguna			ninguna			ninguna		
En Curva Vertical									
Un lado	Aumentar 0.30 m			ninguna			Aumentar 0.30 m		
Dos lados	Aumentar 0.60 m			Aumentar 0.30 m			Aumentar 0.60 m		
Hombro estabilizado en uno o en ambos lados	El ancho de carril para condiciones B y C, en tangente, puede reducirse a 3.60 m si el ancho del hombro es 1.20 m o más			Reducir ancho del hombro, el ancho mínimo del pavimento es menor que el Caso I			Reducir 0.060 m donde el ancho del hombro es 1.20 o mayor		

Fuente: AASHTO, *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 2004, pp. 839

Caso I: un carril, circulación en un sentido, sin disponibilidad para adelantar a un vehículo varado.

Caso II: un carril, circulación en un sentido y disponibilidad para adelantar a un vehículo varado.

Caso III: dos carriles para circulación en uno o en ambos sentidos.

Condición A: Predominantemente vehículos de diseño "P", con alguna consideración para permitir maniobras del vehículo de diseño "SU".

Condición B: Suficientes vehículos de diseño "SU" como para gobernar el diseño, pero con alguna participación de combinaciones de semirremolques.

Condición C: Suficientes vehículos de diseño tipo autobús y camiones de combinaciones de semirremolques como para gobernar el diseño.

Cuadro 6.3. Anchos de Diseño para Rampas de Giro en Intercambios, dimensiones en metros

En lo que se refiere a los hombros, cuando estos son pavimentados, deberían tener un ancho uniforme a lo largo de toda la rampa, con 0.60 a 1.20 metros en el lado izquierdo y 2.40 a 3.00 metros en el lado derecho. En las rampas direccionales con velocidades de diseño de 60 o más kilómetros por hora, el hombro izquierdo pavimentado debería ser de 0.30 a 1.80 metros, y de 2.40 a 3.00 metros el hombro derecho. Los hombros están previstos para proveer refugio fuera de la vía de circulación para los vehículos dañados o para auxiliar a los conductores extraviados, por eso se recomienda que se diseñen con el espesor total del pavimento de la pista de rodamiento.

Las rampas están previstas para no contar con bordillos, excepto cuando resultan necesarios para atender problemas de drenaje superficial por limitaciones en los derechos de vía.

6.5.4 Perfil Longitudinal y Pendientes Recomendables

Con terminales apropiadas, las pendientes cortas de ascenso de 7 y 8 por ciento, permiten las operaciones de los vehículos livianos sin afectar su velocidad ni su seguridad. Por otra parte, las pendiente de 5 por ciento, en tanto sean aplicadas en cortas distancias de ascenso, no interfieren con las operaciones de los camiones y otros vehículos pesados. En las rampas de descenso, las pendientes hasta de 8 por ciento no afectan las operaciones de los vehículos livianos, sin embargo para no afectar a los camiones y otros vehículos pesados usuales en la corriente del tránsito, se recomienda que las rampas de descenso sean limitadas a 3 y 4 por ciento de pendiente.

Puesto que la pendiente longitudinal está relacionada con la velocidad de diseño y que velocidades mayores exigen pendientes más suaves, se ha establecido como criterio general que las rampas de ascenso con una velocidad de diseño de 70 a 80 kilómetros por hora sean limitadas a pendientes comprendidas entre 3 y 5 por ciento; que para velocidades de 60 kilómetros por hora la pendiente se ubique entre 4 y 6 por ciento; que para velocidades dentro del rango de 40 a 50 kilómetros por hora, la pendiente pueda ser de 5 a 7 por ciento y de 6 a 8 por ciento para la velocidades menores de 40 kilómetros por hora. Para rampas con circulación en un solo sentido se admite que los valores anteriores puedan ser incrementados, por lo que se refiere a pendientes, en un dos por ciento más.

El perfil típico de una rampa asume la forma de la letra S, con una curva vertical en columpio en la parte inferior, una curva en cresta en la parte superior y una tangente intermedia, aunque dependiendo del diseño y de la longitud de dicha rampa, se pueden incorporar otras curvas verticales según sea necesario para mejorar la solución.

6.5.5 Sobreelevación y Pendiente Transversal

La Figura 6.6 ejemplifica los métodos más corrientes para el desarrollo de la pendiente transversal y de la sobreelevación en las rampas de flujo libre en los intercambios más usuales, que en lo sustantivo siguen las normas aplicables a las intersecciones a nivel, recomendándose la aplicación de las tasas de sobreelevación ubicadas en el tercio superior para las velocidades de 60 kilómetros por hora o menos. La pendiente transversal en las rampas en tangente, se establece normalmente en una sola dirección, a una tasa de 1.5 a 2.0 por ciento para pavimentos de alta calidad. El desarrollo de la

sobreelevación comienza o termina en el carril auxiliar o en la transición. Líneas alternas de perfil para ambos bordes del pavimento deben estudiarse, para asegurar que todos los perfiles coincidan en los puntos de control y que no se presenten elevaciones o depresiones de incómoda o desagradable presentación y funcionamiento.

Los tres segmentos de las rampas que deben analizarse para determinar las tasas de sobreelevación y su compatibilidad con la velocidad de diseño y de la configuración de dichas rampas, son la terminal de salida, la rampa propiamente dicha y la terminal de entrada a la pista principal.

6.5.6 Cuchilla de Salida de una Rampa

En la intersección del hombro de una carretera con la rampa de salida de un intercambio se forma una sección denominada cuchilla, que tiene las características generales mostradas en la Figura 6.7.

El área neutral que queda en el interior de la cuchilla, debe estar claramente señalada conforme los manuales correspondientes, para orientar al conductor en sus maniobras y mostrarle la separación de las calzadas. Pueden utilizarse franjas delineadoras resaltadas para advertir al conductor, mediante el ruido, de la presencia de la cuchilla.

A lo largo de una autopista, las cuchillas de los intercambios deben ser uniformes en diseño, para mayor facilidad en su reconocimiento por los usuarios de estas instalaciones.

Como una regla general, el ancho de la nariz de la cuchilla varía entre 6.0 y 9.0 metros, medido entre el borde del pavimento de la pista de rodadura de la carretera principal y el pavimento de la rampa. Esta dimensión puede ser mayor a mayores velocidades de diseño y cuando la curva de la rampa se separa con rapidez de la pista principal.

Diversos diseños de cuchillas de salida se muestran en la Figura 6.7, donde se hace referencia a una distancia de transición, Z , para compensar el desplazamiento de la nariz (intersección de los hombros de las calzadas) de la cuchilla, que puede variar entre 1.20 y 2.40 metros, con base en los datos del cuadro 6.4.

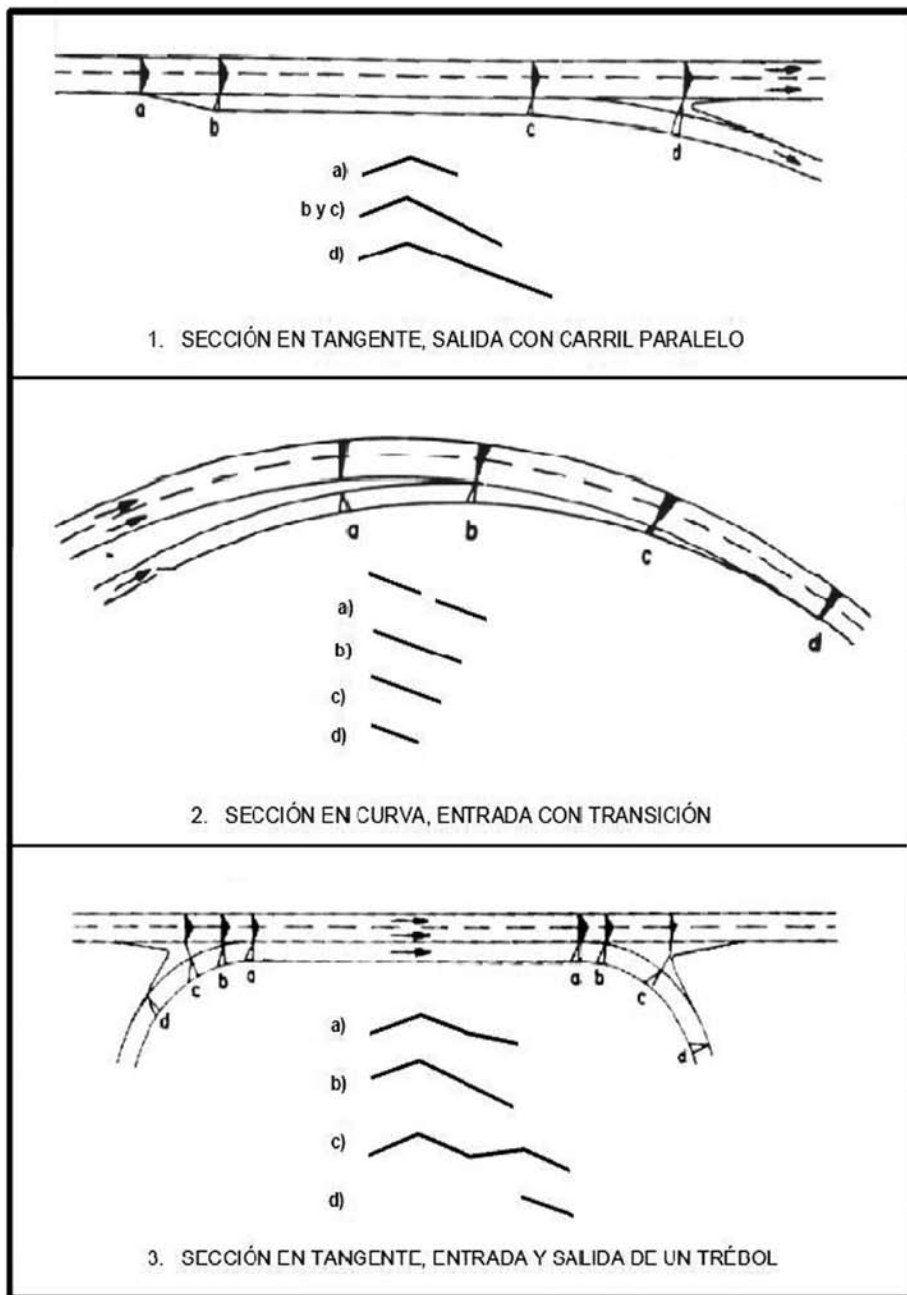


FIGURA 6.6. DESARROLLO DE LA SOBREELEVACIÓN EN TERMINALES DE RAMPA CON FLUJO LIBRE

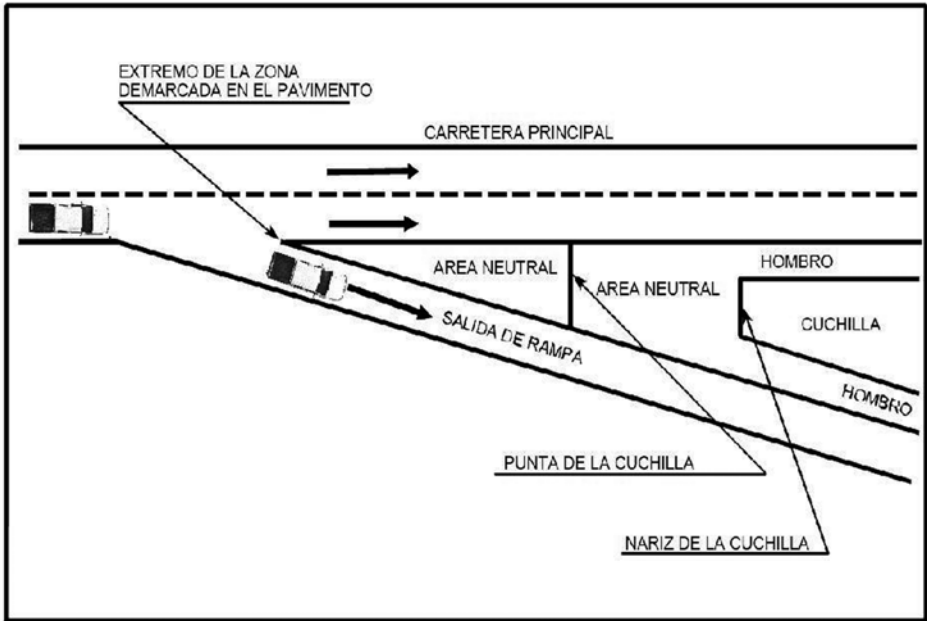


FIGURA 6.7. CARACTERÍSTICAS DE UNA CUCHILLA DE SALIDA A UNA RAMPA

Velocidad de Diseño de la carretera de acceso, en km/h	Longitud de Transición, Z, en metros por metro de desviación. de la Nariz, conforme Figura 6.9
50	15.0
60	20.0
70	22.5
80	25.0
90	27.5
100	30.0
110	35.0

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 835

Cuadro 6.4. Longitud Mínima de Transición, más allá de la Nariz de la Cuchilla

6.6 Las Rampas, sus Terminales

6.6.1 Tipos de Terminales de Rampas

La terminal de la rampa de un intercambio puede ser ubicada a la entrada o a la salida de la rampa, puede ser de carril sencillo o múltiple¹⁸ y, según la configuración del carril de cambio de velocidad, puede ser de carril paralelo a la vía principal o de carril tipo transición diagonal a la vía. Hay una marcada preferencia por el uso de carriles de transición, aunque otras autoridades en la materia persisten en su preferencia por los carriles paralelos para los cambios de velocidad.

A esos elementos del diseño de una rampa, se deben añadir las islas o canalizaciones, que el diseño imponga como necesarias para conducir con mejor facilidad las corrientes en su trayectoria escogida. Conviene recordar que las salidas de las rampas diagonales de un intercambio en diamante, participan más bien de las características de una intersección a nivel, que según las necesidades puede ser sencilla, canalizada y en ocasiones semaforizada.

Hay dos criterios generales que es necesario tener presentes en el diseño de las terminales de las rampas. En primer lugar, debe evitarse a toda costa la construcción de entradas o salidas de las rampas por la izquierda en los intercambios, porque esa solución rompa con las expectativas de maniobra de los conductores, sobre todo cuando otros componentes del intercambio y otros intercambios de la carretera siguen el concepto de separación e integración del tránsito por la derecha. En los casos extremos cuando haya que utilizar las salidas o entradas por la izquierda, estas maniobras deben estar precedidas por toda la información necesaria y suficiente para que el conductor acierte en la escogencia de la rampa o en su integración a la corriente principal.

El otro criterio destaca la importancia de que la terminal de una rampa no debe estar muy cerca de la estructura de separación de niveles. Los conductores esperan y prefieren entrar a las rampas antes de la estructura. Si no es posible colocarla antes, la entrada debe hacerse más allá de la estructura, a fin de que el conductor disponga de suficiente distancia para ver la conformación de la rampa y estar seguro de operar en la rampa de entrada correcta. Aquí la distancia de visibilidad debe operar con eficiencia, por lo que el perfil de las terminales de las rampas debe diseñarse en perfecta combinación con el alineamiento horizontal, para evitar condiciones adversas a la circulación. La distancia entre la estructura y la nariz de acceso a la terminal de la rampa debe ser suficiente para que el conductor que ingrese a la rampa, lo haga sin poner en peligro el tránsito por los carriles de paso.

6.6.2 Los Carriles de Cambio de Velocidad

Pero el éxito para el buen funcionamiento de un intercambio consiste en la provisión de los carriles apropiados para el cambio de velocidad, para que los vehículos al entrar a la rampa y reducir la velocidad, lo hagan sin interferir inconvenientemente con el movimiento en la pista principal y que, igualmente, al integrarse dichos vehículos a la corriente principal, justo al salir de la rampa, lo hagan a velocidades compatibles con las de la corriente mayor, para que el flujo vehicular conserve su régimen de operación libre.

¹⁸ Por la similitud en su tratamiento, en este manual se hará referencia solamente a los carriles sencillos.

Estos carriles de cambio de velocidad, incluyendo las áreas de transición, son concebidos para que la aceleración y desaceleración de los vehículos que salen de, o entren a las rampas, se desarrolle en unas extensiones virtuales de las rampas, que siguen un recorrido paralelo a las pistas que se cruzan en el intercambio.

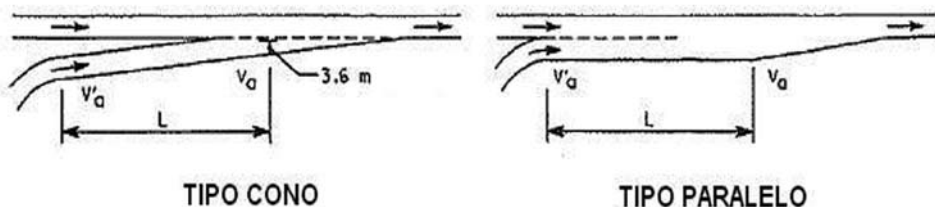
Construir intercambios sin la dotación de carriles de aceleración, es una invitación clara al fracaso funcional de la solución en el corto o en el mediano plazo.

Longitud de Aceleración, L_a , en metros Para la Velocidad de Diseño (km/h) de la Curva de Entrada									
Velocidad de Diseño de la Carretera, en km/h	Velocidad de Incorporación a la Carretera, en km/h V_a	0	20	30	40	50	60	70	80
		Velocidad en Inicio de Carril de Aceleración, V'_a km/h							
		0	20	28	35	42	51	63	70
50	37	60	50	30	-	-	-	-	-
60	45	95	80	65	45	-	-	-	-
70	53	150	130	110	90	65	-	-	-
80	60	200	180	165	145	115	65	-	-
90	67	260	245	225	205	175	125	35	-
100	74	345	325	305	285	255	205	110	40
110	81	430	410	390	370	340	290	200	125

NOTA: SE RECOMIENDA TRANSICIÓN UNIFORME DE 50:1 A 70:1 SI LA LONGITUD DE ACCELERACIÓN EXCEDE 400 m

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 847

Cuadro 6.5. Longitudes Mínimas de Aceleración para las Terminales de Entrada de Rampas con Pendientes de 2 por ciento o menos



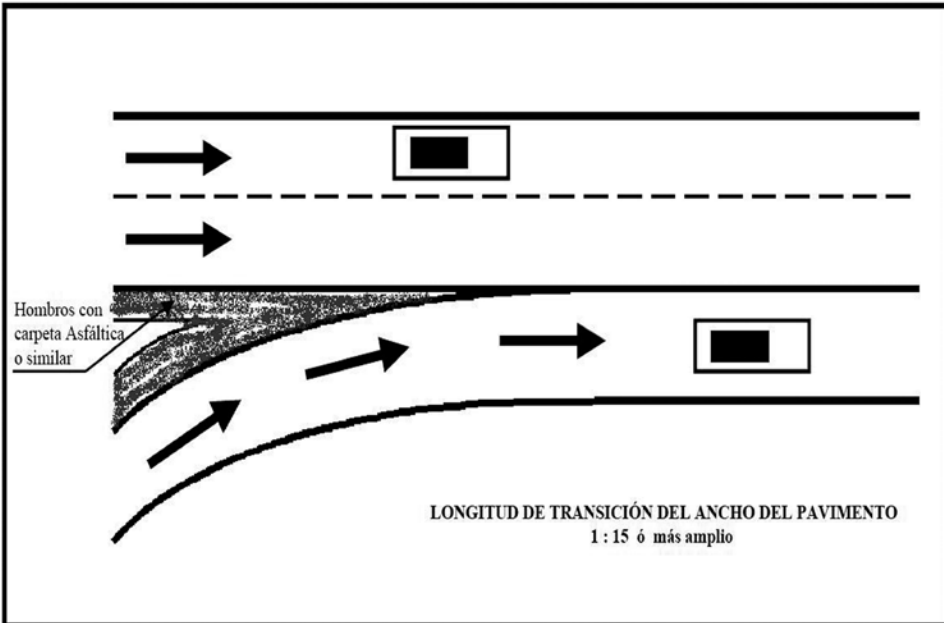


FIGURA 6.8. CARACTERÍSTICA DE UNA CUCHILLA DE ENTRADA DE UNA RAMPA

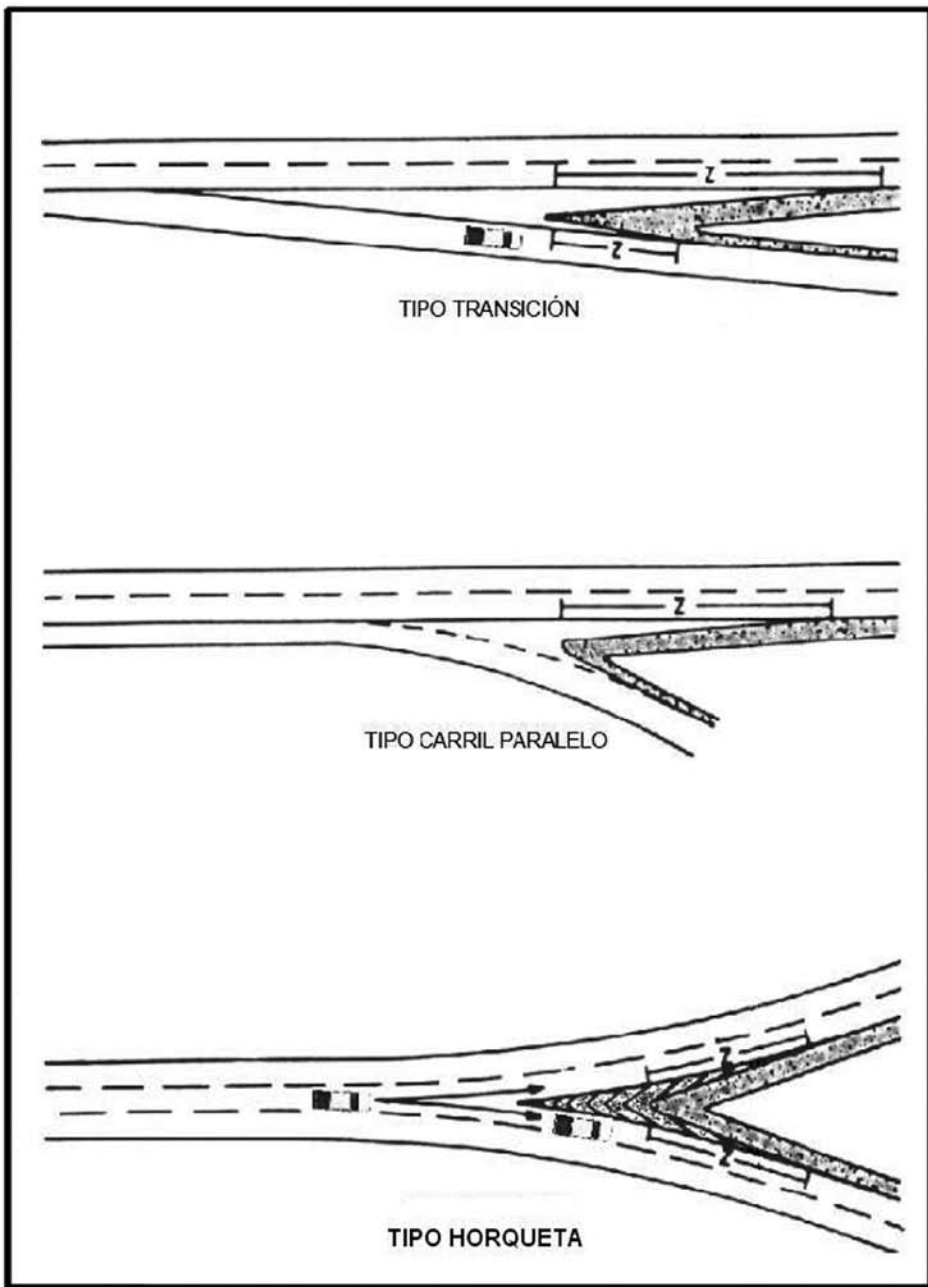


FIGURA 6.9. DETALLES TÍPICOS DE CUCHILLAS DE SALIDA

6.6.3 Las Entradas Típicas de las Rampas en un Intercambio

Las entradas típicas de rampas para carril sencillo se ilustran en la Figura 6.10 para la condición de diseño con transición y para el diseño con carril paralelo. El cuadro 6.5 establece la longitud de aceleración mínima, para ser ajustadas en función de las pendientes longitudinales mediante el cuadro 6.6.

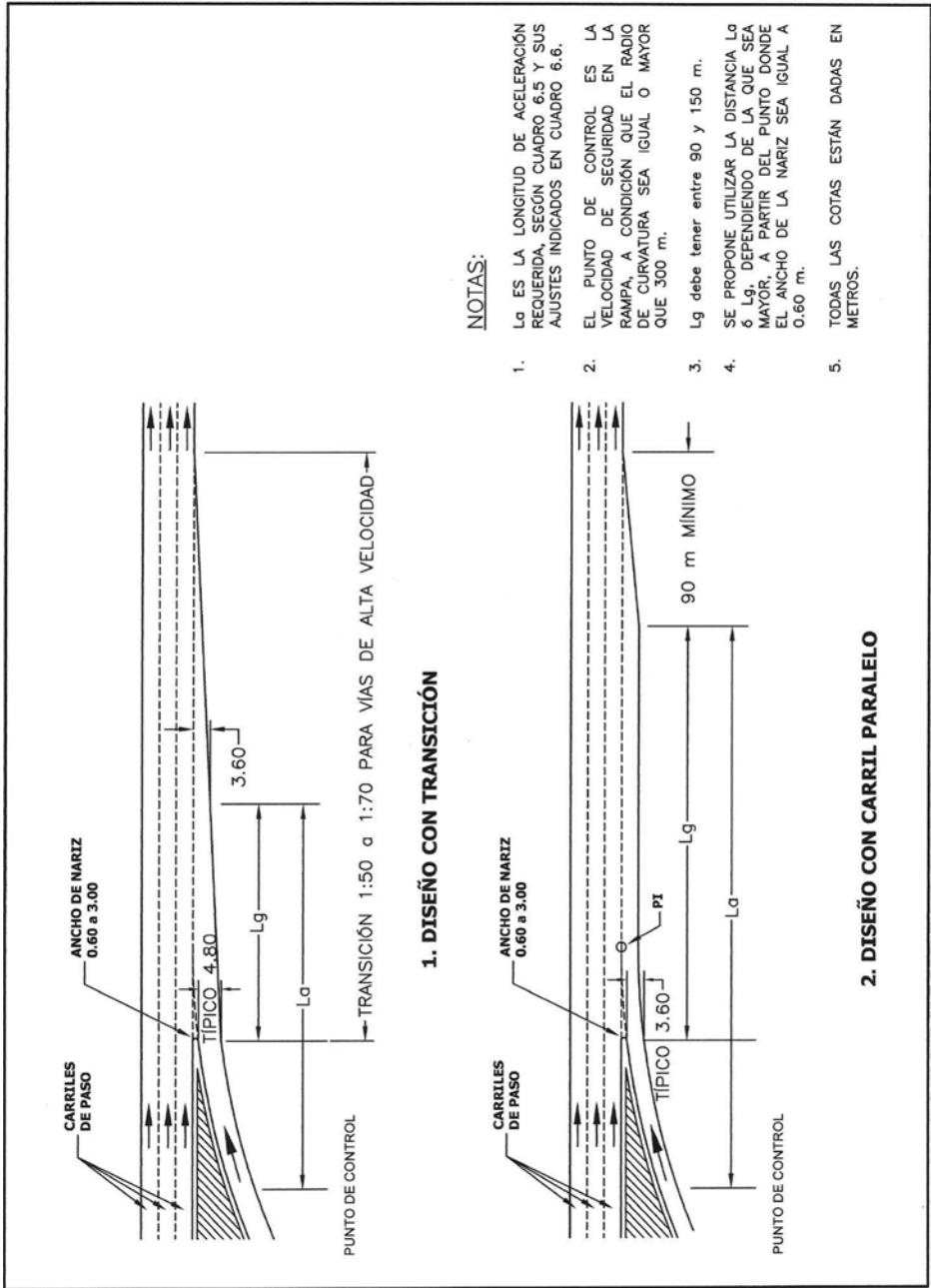
Las entradas de rampas del tipo de transición operan muy bien bajo todas las condiciones de demanda, cuando se diseñan con las dimensiones recomendadas. Con menores ajustes en la velocidad, de más o menos 10 kilómetros por hora por debajo de la velocidad de marcha, los conductores pueden aprovechar la brecha necesaria para integrarse a la pista en el punto de convergencia, que se encuentra donde el borde derecho del carril de aceleración está a 3.60 metros del borde derecho del carril de paso.

Velocidad de Diseño de la CarreteraKPH	Relación de la Longitud en Pendiente a la Longitud a Nivel para la Velocidad de Diseño de la Curva de la Rampa de Giro de Entrada a la Carretera, en Km/h (Cuadro 6.5)
--	--

	40	50	60	70	80	Todas las Velocidades
+3 a +4 % pendiente			-3 a -4 %			
60	1.3	1.4	1.4	-	-	0.70
70	1.3	1.4	1.4	1.5	-	0.65
80	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	0.65
90	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	0.60
100	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8	0.60
110	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8	0.60
+5 a +6 % pendiente			-5 a -6 %			
60	1.5	1.5	-	-	-	0.60
70	1.5	1.6	1.7	-	-	0.60
80	1.5	1.7	1.9	1.8	-	0.55
90	1.6	1.8	2.0	2.1	2.2	0.55
100	1.7	1.9	2.2	2.4	2.5	0.50
110	2.0	2.2	2.6	2.8	3.0	0.50

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 848
 Los factores de este cuadro se multiplican por las distancias del cuadro 6.5, para obtener la longitud horizontal del carril de aceleración.

Cuadro 6.6. Ajustes de la Longitud del Carril de Aceleración, en función de la Pendiente Longitudinal



NOTAS:

1. L_g ES LA LONGITUD DE ACELERACIÓN REQUERIDA, SEGÚN CUADRO 6.5 Y SUS AJUSTES INDICADOS EN CUADRO 6.6.
2. EL PUNTO DE CONTROL ES LA VELOCIDAD DE SEGURIDAD EN LA RAMPA, A CONDICIÓN QUE EL RADIO DE CURVATURA SEA IGUAL O MAYOR QUE 300 m.
3. L_g debe tener entre 90 y 150 m.
4. SE PROPONE UTILIZAR LA DISTANCIA L_a 6 L_g , DEPENDIENDO DE LA QUE SEA MAYOR, A PARTIR DEL PUNTO DONDE EL ANCHO DE LA NARIZ SEA IGUAL A 0.60 m.
5. TODAS LAS COTAS ESTÁN DADAS EN METROS.

2. DISEÑO CON CARRIL PARALELO

FIGURA 6.10. ENTRADAS TÍPICAS DE RAMPAS PARA CARRIL SENCILLO

Las entradas por el carril paralelo disponen de un carril de suficiente longitud para que la maniobra de convergencia se realice casi a la misma velocidad de operación de los vehículos en la pista principal. Donde el radio de la curva final de la rampa es menor de 300 metros, se evidencia la peligrosa tendencia de los conductores de ingresar directamente a la pista principal, lo cual debe evitarse.

Un carril de aceleración de 360 metros o más debe construirse con su correspondiente transición, cuando tanto la carretera principal como la rampa acarrean volúmenes elevados de tránsito, cercanos a la capacidad de diseño de la zona de convergencia.

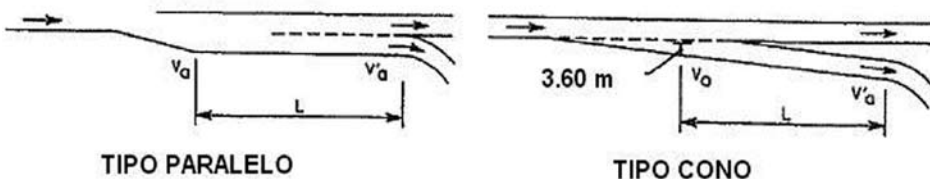
6.6.4 Las Salidas Típicas de las Rampas en un Intercambio

Las salidas típicas de rampas para las dos alternativas usuales de diseño, con transición y con carril paralelo, se muestran en la Figura 6.11. Las distancias mínimas de desaceleración se obtienen directamente del uso de los cuadros 6.7 y 6.8.

		Longitud de Desaceleración, L, en metros, para la Velocidad de Diseño de la Curva de Salida, km/h							
Velocidad de Diseño de la Carretera, en km/h	Velocidad de Ruedo de la Carretera, en km/h	0	20	30	40	50	60	70	80
		Velocidad de Ruedo, en km/h							
		0	20	28	35	42	51	63	70
50	47	75	70	60	45	-	-	-	-
60	55	95	90	80	65	55	-	-	-
70	63	110	105	95	85	70	55	-	-
80	70	130	125	115	100	90	80	55	-
90	77	145	140	135	120	110	100	75	60
100	85	170	165	155	145	135	120	100	85
110	91	180	180	170	160	150	140	120	105

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 851

Cuadro 6.7. Longitudes Mínimas de Desaceleración para las Terminales de Salida de Rampa, con Pendientes de 2 por ciento o menos



Los estudios sobre este tipo de salidas de rampas mediante transición, revelan que los vehículos se separan de la corriente principal a velocidades relativamente altas y ajustan su velocidad a medida que se desplazan sobre la rampa misma.

Por su conformación, es el diseño preferido por los conductores. El ancho del área de recuperación, o sea la distancia entre los bordes del pavimento en la nariz de la rampa, es usualmente de 6.0 a 9.0 metros. Esta sección debe ser pavimentada para mayor seguridad del tránsito.

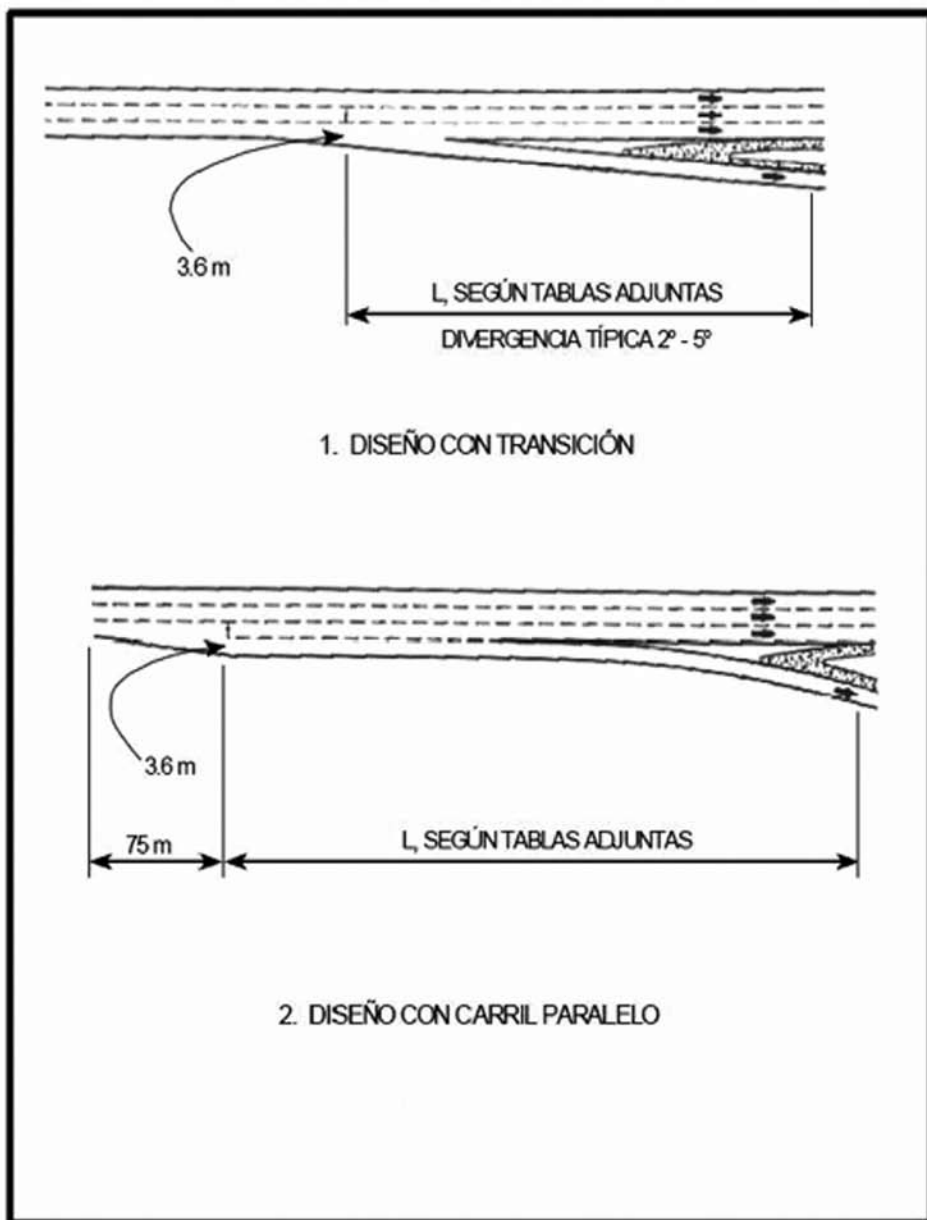


FIGURA 6.11. SALIDAS TÍPICAS DE RAMPAS PARA CARRIL SENCILLO

Velocidad de Diseño de la Carretera, KPH	Relación de la Longitud en Pendiente a la Longitud de la Velocidad de Diseño de la Curva de Entrada, en kilómetros por hora	
Todas	+3 a +4 % 0.9	-3 a -4 % 1.2
Todas	+5 a +6 % 0.8	-5 a -6 % 1.35

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 848
Factor a aplicar a los datos del cuadro 6.7, para obtener la longitud horizontal de desaceleración.

Cuadro 6.8. Ajustes de la Longitud del Carril de Desaceleración, en función de la Pendiente Longitudinal

El carril de cambio de velocidad de entrada está precedido por una sección de transición, bajo el supuesto de que los vehículos empezarán a cambiar de carril desde el inicio, para hacer los ajustes de velocidad en dicho carril de desaceleración, realizando una maniobra de cambio de dirección que no resulta natural. Esto no sucede a bajos volúmenes de tránsito, pues los vehículos tienden a hacer su salida cerca del final de la rampa, resultando en una desaceleración forzada o en conflictos en el carril de cambio de velocidad.

Se recomienda el uso de carriles de desaceleración de 2.40 metros mínimo en las rampas de salida.

6.7 Otras Consideraciones Generales de Diseño

6.7.1 Secciones de Entrecruzamiento

Las secciones de entrecruzamiento pueden presentarse en los intercambios, en las secciones de carreteras comprendidas entre una rampa de entrada y otra inmediata de salida, en las rotondas y en segmentos de carreteras que se traslapan. En general, las secciones de entrecruzamiento ocurren donde la trayectoria de los vehículos que entran y salen de determinadas secciones de carreteras, desarrollan trayectorias vehiculares que se cruzan una con otra, generando interferencias que, deseablemente, deben ser evitadas en el diseño de los intercambios. La opción para evitar los entrecruzamientos consiste en la construcción de estructuras adicionales y la adición de algunas conexiones directas, con la consiguiente elevación en los costos, razón por la cual se debe ponderar bien la opción más recomendable y factible. La capacidad de una sección de entrecruzamiento puede ser muy restrictiva, a menos que se le provea de la longitud recomendada y del número de carriles necesarios conforme el Manual de Capacidad del Transportation Research Board, en su versión de 2010.

6.7.2 Control en las Rampas

El propósito del control en las rampas es evitar el congestionamiento o mejorar la operación de integración o convergencia del tránsito con la autopista principal.

Consiste este control en la colocación de semáforos en la entrada de las rampas, antes del final de la entrada, para controlar el número de vehículos que ingresan a la autopista. Los semáforos pueden ser de tiempo fijo o activado

por el tránsito, para dejar entrar en la rampa a los vehículos individualmente o en grupos. Los semáforos de tiempo fijo deben ser activados con base en estudios de tránsito, mientras que los semáforos que son activados por el tránsito deben contar con sensores ubicados en la autopista, antes de la entrada de la terminal, para determinar la carga del tránsito y el posible efecto de alteración de la corriente aportada por el ramal de acceso.

Capítulo 7

Capítulo VII

DISEÑO DE AUTOPISTAS

7.1 Introducción

Las autopistas son carreteras cuya función principal es de movilidad, no de acceso. En un sistema vial desarrollado, las autopistas junto con las carreteras principales constituyen entre 2 y 4 por ciento de la longitud total de las vías rurales, aunque pueden movilizar alrededor del 50 por ciento del tránsito diario. Las autopistas urbanas pueden disponer en ciertos tramos de 4 hasta 16 carriles de circulación, aunque solamente en casos especiales se exceden de seis carriles por sentido.

De lo antes expresado se deriva que las autopistas son construidas con calzadas separadas y provistas de dos o más carriles de circulación por sentido; disponen además de control total en los accesos, por lo que se puede afirmar que son las carreteras con mayor nivel de calidad y costo dentro de la red vial de una zona, un país o una región, como la centroamericana. Las principales ventajas del control de los accesos son la preservación de la capacidad de la carretera, la operación de la corriente vehicular a velocidades relativamente altas y la mejoría sustantiva de la seguridad para todos los usuarios de la vía.

La autopista es el único tipo de carreteras que proporciona un flujo completamente continuo o ininterrumpido. No existen intersecciones a nivel y el acceso directo, desde y hacia las propiedades adyacentes, está limitado físicamente, prohibido y además controlado por la autoridad pública. Componentes esenciales de una autopista son las medianas o franjas separadoras centrales, la separación de niveles en las intersecciones, las rampas y las conexiones de las rampas en entradas y salidas de las mismas y, en algunos casos, la disponibilidad de carreteras marginales o frontales.

No existen en las autopistas intersecciones a nivel, semaforizadas o controladas por señales de ALTO, y el acceso y salida desde la pista principal está limitado a los lugares donde existen ramales. Los ramales están proyectados en general para permitir las maniobras de convergencia y divergencia a altas velocidades, minimizando por tanto las perturbaciones al tránsito en la vía principal. La circulación de los dos sentidos opuestos está separada por una mediana o división continua de anchos variables, en función de las disponibilidades de terreno y de las expectativas de desarrollo a largo plazo.

Las condiciones de la circulación en una autopista son el resultado, en primer lugar, de las interacciones entre los vehículos y los conductores y, por otra parte, entre los vehículos con sus conductores y las características geométricas de las autopistas. Las operaciones también se ven afectadas por otras condiciones, tales como el clima, el alumbrado público en la vía, las condiciones físicas del pavimento y su superficie de rodamiento, y por la existencia de incidencias y perturbaciones en el tránsito.

En las autopistas por lo general es posible distinguir tres tipos de sub-tramos:

- **Secciones Básicas de Autopistas:** Son segmentos de la autopista cuya operación no se ve afectada por movimientos de convergencia o separación de los ramales cercanos o por movimientos de entrecruzamiento.

- **Áreas de Entrecruzamiento:** Son segmentos de las autopistas en donde dos o más flujos vehiculares deben entrecruzarse entre ellos mismos a lo largo de un tramo de la carretera. Las áreas de trenzado, como también se denomina al entrecruzamiento, se forman normalmente cuando las zonas de confluencia van seguidas a corta distancia por zonas salidas. También se forman cuando un ramal de entrada a una autopista va seguido a continuación de un ramal de salida, quedando ambos ramales conectados por un carril auxiliar continuo.
- **Intercambios:** Son soluciones de diseño provistas de uno o varios puentes para separar en uno o varios niveles las corrientes de tránsito, en los cuales los ramales de entrada o de salida se unen con la autopista, formando en dichos puntos un área de turbulencia, debido a las concentraciones de vehículos que fluyen, convergen y divergen.

Las autopistas son componentes claves, seleccionadas dentro de un plan maestro de desarrollo del sistema de transporte rural o urbano, para complementar la función de la red vial y, en particular, para servir a las arterias principales de los corredores. Son construidas con altos niveles de seguridad y eficiencia, para el movimiento de grandes volúmenes de tránsito a altas velocidades.

Las autopistas según su ubicación se dividen en dos grupos:

Autopistas Urbanas y Suburbanas

Las autopistas urbanas y suburbanas son capaces de soportar elevados volúmenes de tránsito. Estas autopistas pueden llegar a contar con un sinnúmero de carriles de circulación, aunque la solución más frecuente consta de dos y tres carriles en una sola dirección. Una autopista, ya sea urbana o suburbanas, puede ser diseñada y construida tanto en trinchera, como elevada mediante terraplenes o viaductos, o proyectada a nivel del terreno existente. Puede también compartir combinaciones de éstas variantes a lo largo de su trazo de extremo a extremo, según sea lo apropiado para las condiciones topográficas, de la demanda del tránsito proyectado para el año de diseño y de la forma como dichas obras están comprendidas dentro de los planes de desarrollo urbano existentes.

Autopistas Rurales

Las autopistas rurales son similares en concepto a las autopistas urbanas a nivel, pero el alineamiento y los elementos de cruces a desnivel e intercambios son más libres en diseño, es decir, que las opciones son menos restringidas, lo cual está en correlación con las altas velocidades permisibles y, generalmente, con las usualmente altas disponibilidades relativas de derechos de vía.

7.2 Elementos Generales del Diseño Geométrico

7.2.1 Velocidad de Diseño

Siendo catalogada una autopista como la categoría superior en la tipología de las carreteras, debe proyectarse para altas velocidades de diseño, con un máximo razonable de 110 kilómetros por hora. Una velocidad de diseño de 110 kilómetros por hora debe usarse en las autopistas de características rurales o suburbanas. En terreno ondulado puede restringirse la velocidad de diseño a 90 kilómetros por hora y en terreno montañoso puede admitirse una velocidad de diseño menor, en el límite mínimo

de los 70 kilómetros por hora, todo ello en función de las expectativas del conductor y los costos de la obra. Cabe mencionar que el manual de la AASHTO recomienda no bajar de 80 kilómetros por hora la velocidad de diseño de una autopista.

La velocidad de diseño en autopistas debe reflejar el deseo de brindar seguridad de operación fuera de las horas pico, por lo que dicha velocidad no debe ser tan alta que exceda los límites prudentes de construcción, de adquisición de derechos de vía y de costos socioeconómicos del proyecto, dado que una gran proporción del tránsito circula durante el período del flujo de hora pico, o sea cuando la velocidad alcanza sus valores más conservadores.

La velocidad de diseño de una autopista no debe ser inferior a los 70 kilómetros por hora en terreno montañoso o con muchos accidentes topográficos. Cuando se utilice este diseño mínimo de velocidad, se debe tener en cuenta una señalización que informe al usuario y asegure la vigencia del límite de velocidad durante las horas picos. En muchas autopistas urbanas de regular longitud, particularmente en áreas en desarrollo, donde el costo del suelo es bajo, puede ser evaluada la adopción de un diseño de velocidad de 100 kilómetros por hora o ligeramente mayor, pero sin exceder el máximo permisible, quizá con una elevación marginal y aceptable en los costos de inversión.

7.2.2 Volúmenes de Tránsito para Diseño

Ya se ha señalado que las autopistas, tanto urbanas como rurales, al igual que las demás carreteras, se diseñan normalmente para acomodar las volúmenes de tránsito proyectados para un período de diseño de alrededor de 20 años, aunque en los casos de reconstrucción de algunos elementos de las autopistas, los volúmenes de diseño pueden proyectarse para un horizonte de servicio de menos de 20 años, quizá de hasta 10 años. Los requerimientos específicos de capacidad, deben determinarse de los volúmenes direccionales de tránsito horario para el año de diseño, dedicando especial atención a la previsión de las maniobras críticas en los intercambios.

En todo caso, las autopistas, como ejes fundamentales del sistema vial, deben proyectarse para ser parte de tal sistema, desempeñando el papel que les tienen asignado dentro de los planes maestros de desarrollo de los sistemas viales.

7.2.3 Capacidades y Niveles de Servicio en Autopistas

Según el Manual de Capacidad de Carreteras 2010(5), la capacidad en autopistas con condiciones ideales de circulación y de condiciones físicas de la vía, es de 2,000 vehículos livianos/automóviles por hora y por carril (vl/h/c).

Para información adicional refiérase al Capítulo II, página 2-19 a 2-21 para niveles de servicio y Cuadro 2.3 para seleccionar el Nivel de Servicio.

El Manual antes referido establece las técnicas y los procedimientos de cálculo para determinar los volúmenes de servicio que se proponen para

las autopistas en la Clasificación Funcional de las carreteras de Centroamérica y Panamá, por lo que su utilización es indispensable para los análisis de diseño. **Se ha seleccionado el nivel de servicio C para las autopistas.** En áreas rurales puede ser conveniente, en ciertas situaciones particulares que deben ser sometidas a evaluación, mejorar las opciones y diseñar para el nivel de servicio B, en tanto que en áreas urbanas muy desarrolladas y con altos niveles de tránsito, puede ser necesario rebajarse al nivel de servicio D en casos muy excepcionales.

Conforme estas referencias, las autopistas deben reconocer la ocurrencia de aceptables grados de congestión en la propia autopista, cuya medida de eficiencia estará dada por la densidad, que se expresa en vehículos livianos o automóviles por kilómetro por carril, así como en sus instalaciones auxiliares, tales como las rampas (medida de eficiencia, las tasas de flujo expresadas en vehículos livianos por hora) y los tramos de entrecruzamiento (medida de eficiencia, la velocidad media de recorrido, en kilómetros por hora).

Las relaciones características de velocidad-flujo en una autopista muestran dos regiones características: la primera, es aquella en la que la velocidad es insensible a la intensidad creciente (esta región se extiende hasta 1.300 vl/h/c para autopistas de 110 kilómetros por hora y hasta 1.750 vl/h/c para autopistas de 90 kilómetros por hora); la segunda, es una región en la que ante un incremento de intensidad del tránsito, se comienza a afectar sensiblemente la velocidad, reduciéndola. Las curvas típicas no trazan la porción de curva que ocurre dentro de una cola producida en un embotellamiento del tránsito, porque no se han realizado las suficientes investigaciones para definir claramente esta región del flujo. Algunas investigaciones han mostrado que también puede existir una zona de transición cercana a la capacidad.

A continuación y con propósito enteramente ilustrativo, se indican las densidades en vehículos livianos por kilómetro por carril (vl/km/c) utilizadas para definir los niveles de servicio desde A hasta D en tramos básicos de autopista:

NIVEL DE SERVICIO	DENSIDAD MÁXIMA (vl/km/c)
A	6.2
B	10.0
C	15.0
D	20.0

Las densidades utilizadas para el Nivel de Servicio E son las siguientes:

VELOCIDAD, KPH	DENSIDAD MÁXIMA (vl/km/c)	
	CUATRO CARRILES	SEIS O MÁS CARRILES
110	22.8	24.7
105	24.8	27.0
95	25.8	28.6
90	27.3	29.8

Para el Nivel de Servicio F, la densidad máxima excede de los límites correspondientes del Nivel de Servicio E. La densidad máxima permitida, para cualquier nivel de servicio, es ligeramente inferior a la correspondiente al mismo nivel de servicio en carreteras de carriles múltiples. Esto refleja la mayor calidad de servicio que los conductores esperan cuando utilizan las autopistas en comparación con carreteras de carriles múltiples.

7.2.4 Anchos de Carriles y Hombros o Espaldones

Ya se ha dicho que las autopistas deben tener un mínimo de dos carriles de circulación por sentido, con un ancho de 3.60 metros por carril. El pavimento debe ser de alta calidad, disponer de una superficie de rodaje resistente al deslizamiento y capacidad estructural adecuada.

Los carriles deben tener una sección transversal con pendientes de 1.5 a 2.0 por ciento en los tramos en tangente, los cuales están constituidos en dos líneas en cada dirección con una corona en el centro de la línea del pavimento. En áreas de constantes o intensas lluvias, se recomienda incrementar a 2.5 por ciento la pendiente transversal del pavimento, para garantizar un adecuado drenaje.

Se debe de asegurar que la autopista cuente con hombros pavimentados en ambos lados, tanto a la izquierda como a la derecha. Para las autopistas se recomienda que el ancho del pavimento del hombro de la derecha sea al menos de 2.5 metros, pero donde el movimiento de camiones exceda los 250 vehículos por hora de diseño, se recomienda que este hombro sea incrementado hasta un ancho de 3.6 metros. En autopistas de cuatro carriles, se propone que el hombro de la mediana o el hombro interior sea por lo menos de 1.5 metros de ancho, pudiendo reducirse a un mínimo de 1.0 metro. Del hombro interior, no menos de 1.0 metro de la superficie de rodamiento debe ser asfaltada y con espesores suficientes de pavimento, el resto de la superficie puede ser revestida hasta cierta extensión. Se recomienda que el color o la textura del hombro sean diferentes que la de los carriles. La diferencia entre las vías y los hombros es a menudo acentuada por franjas y marcas en el pavimento o introduciendo irregularidades en la textura de la superficie de rodamiento.

La pendiente transversal en tangente de los hombros debe variar entre 2 y 6 por ciento, con un mínimo de uno por ciento más que la pendiente de la calzada en su extremo exterior, para facilitar el drenaje.

7.2.5 Bordillos

Los bordillos de barrera no deben ser usados en las autopistas, pero si resultan necesarios en casos especiales, dichos bordillos no deben estar más cerca que los bordes exteriores de los hombros. Los bordillos montables, si se usan, deben ser ubicados igualmente en los bordes exteriores de los hombros.

7.2.6 Sobreelevación

Las tasas máximas de sobreelevación utilizadas en las autopistas en trinchera, a nivel o en terraplenes, no son aplicadas a las autopistas elevadas

en los viaductos. La apariencia y desarrollo adyacentes limitan un poco la diferencia de la elevación entre los exteriores de los pavimentos con carriles múltiples. Tasas de sobreelevación de 6 a 8 por ciento son generalmente el máximo en los viaductos. Deben evitarse las combinaciones de velocidad de diseño y curvatura que obliguen a utilizar sobreelevaciones mayores. En las áreas en proceso de desarrollos urbanos y rurales, las autopistas pueden utilizar sobreelevaciones máximas comprendidas entre 8 y 10 por ciento.

7.2.7 Pendientes Longitudinales

Las pendientes verticales longitudinales en autopistas urbanas deben ser equiparables a las pendientes en todas las autopistas rurales que tengan la misma velocidad de diseño. La inclinación de la rasante estará determinada en función de la configuración del terreno y del volumen de tránsito previsto en el tramo a estudiar. La pendiente máxima será la mayor inclinación de rasante que se permita en el proyecto. Se pueden utilizar pendientes más pronunciadas, pero el menor espaciamiento entre los intercambios y la necesidad de frecuentes cambios de velocidad, hace aconsejable el uso de pendientes menores y restringidas a sus rangos más bajos. Los niveles máximos de las pendientes longitudinales, concebidos como una función de la velocidad de diseño y el tipo de terreno, son dados en el cuadro 7.1, aceptándose que las pendientes puedan ser uno por ciento más altas en casos extremos en áreas urbanas y para bajadas en un solo sentido, excepto en zonas montañosas.

TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO, KPH			
	80	90	100	110
	PENDIENTE EN PORCENTAJE			
Plano	4	4	3	3
Ondulado	5	5	4	4
Montañoso	6	6	6	5

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 505

Cuadro 7.1. Pendientes Máximas para Autopistas Urbanas y Rurales

7.2.8 Estructuras

El diseño de puentes, alcantarillas, túneles y otras estructuras de drenaje mayor y de paso, debe guardar una estrecha correspondencia con las normas de la ASSHTO, *Standard Specification for Highway Bridges* (Última Edición) (3) y con las revisiones internas a dichas especificaciones¹⁹ o con AASHTO LRFD *Bridge Design Specifications* (4).

El ancho de la sección transversal del puente debe ser igual a la carretera que le sirve de acceso. Las estructuras que sirven a las rampas, deben disponer de un ancho igual al de la propia rampa y sus hombros. El ancho de la estructura y su despeje lateral para el caso de las carreteras y

¹⁹ Es extensa la lista de publicaciones de la AASHTO en materia de puentes, que puede consultarse en el sitio www.aashto.org

arterias que cruzan la autopista, deben diseñarse de acuerdo a su clasificación funcional.

Los anchos en las estructuras guardan estrecha relación con el tipo de vía y la velocidad del proyecto, lo mismo que con los valores de los volúmenes de diseño. En autopistas y vías especiales, los anchos mínimos de carril, hombros exteriores e interiores, aceras y resguardos en las estructuras y pasos superiores e inferiores de autopistas y vías especiales, se determinan en el cuadro 7.2.

TPDA	> 20,000	> 10,000
Anchos de carril (P.S. y P.B)	3.60	3.60
Ancho del hombro exterior (P.S. y P.B)	2.50	1.50
Ancho de hombro interior (P.S. y P.B)	1.50	1.00
Ancho de acera exterior con paso de peatones (P.S.)	1.25	1.25
Ancho de acera exterior sin paso de peatones. (P.S.)	1.00	1.00
Ancho de acera interior (P.S.)	1.00	1.00
Resguardo mínimo frente a pilas y obstáculos (P.B)	0.50	0.50

Siendo:

P.S., Paso superior o sobre nivel del terreno.

P.B., Paso inferior o bajo nivel del terreno.

Cuadro 7.2. Sección Transversal Mínima en Estructuras de Autopistas y Vías Especiales, en Función de los Volúmenes de Tránsito, en Metros

7.2.9 Altura Libre en Estructuras

La altura libre para estructuras de paso sobre una autopista debe ser al menos 5.50 metros sobre el ancho total de la carretera, incluyendo carriles auxiliares y ancho usable de los hombros o espaldones tomando también en cuenta el peralte de la sección transversal. A esto puede añadirse una tolerancia de 15 centímetros, para tomar en consideración la pérdida de altura libre como efecto de los revestimientos o recapeos del pavimento.

La altura libre de las estructuras de soporte de señales y pasos peatonales, también se recomienda que sea de 5.50 metros.

7.2.10 Despeje Lateral de las Obstrucciones

Las autopistas urbanas en terrenos a nivel y las autopistas rurales deben tener anchas zonas de despeje que sean consistentes con su velocidad de operación y con sus taludes laterales. El término **zona despejada** se usa para designar la franja de área libre de obstrucciones y relativamente plana, habilitada para la recuperación de vehículos fuera de control. El ancho de las zonas de despeje está relacionado con la velocidad, el volumen de tránsito y el diseño de las laderas de los terraplenes. Los pilares de los puentes y otros obstáculos fijos deben colocarse en el borde o más allá de las zonas de despeje, a como sea práctico.

Las autopistas en trinchera tienen limitaciones en el derecho de vía, por lo que a veces requieren la colocación de muros de retención o pilares, que deben estar ubicados a no menos de 0.60 metros de los hombros, preferiblemente más alejados a fin de dotarlos de barreras de protección para absorber los impactos de los vehículos.

Las autopistas elevadas en terraplén pueden requerir barreras laterales de protección, cuando los taludes son de 3 a 1 o más inclinados.

7.2.11 Separaciones Exteriores, Fronteras y Calles Marginales

La separación exterior es el área entre la pista de rodaje de una carretera y la carretera o calle marginal o frontal. La frontera es el área entre la pista de rodaje adyacente y el desarrollo privado a lo largo de la carretera. Donde no existen carreteras frontales o calles locales que funcionen como una carretera frontal o marginal, el área entre la pista de rodaje y el límite del derecho de vía debe ser referida como la frontera. Debido al denso desarrollo a lo largo de las autopistas urbanas, las carreteras frontales son a menudo necesarias para mantener los servicios locales y para recolectar y distribuir el tránsito de entrada y salida de las rampas en las autopistas. Donde la autopista ocupa un bloque entero, las calles adyacentes paralelas son usualmente operadas como carreteras frontales.

La separación exterior o frontera proporciona espacio para los hombros, el drenaje, los taludes laterales y las barreras para el control de los accesos. La separación exterior o frontera también puede proporcionar espacio para la instalación de dispositivos para la disminución del ruido, en áreas sensitivas.

Usualmente la separación exterior es el elemento más flexible en la sección de una autopista urbana, pudiendo operar como una zona de atenuación del ruido o para separar la autopista de las áreas adyacentes. El rango típico en anchura de la separación exterior es de 25 a 45 metros, pero se pueden utilizar anchos más reducidos en áreas urbanas, si se diseñan muros de contención.

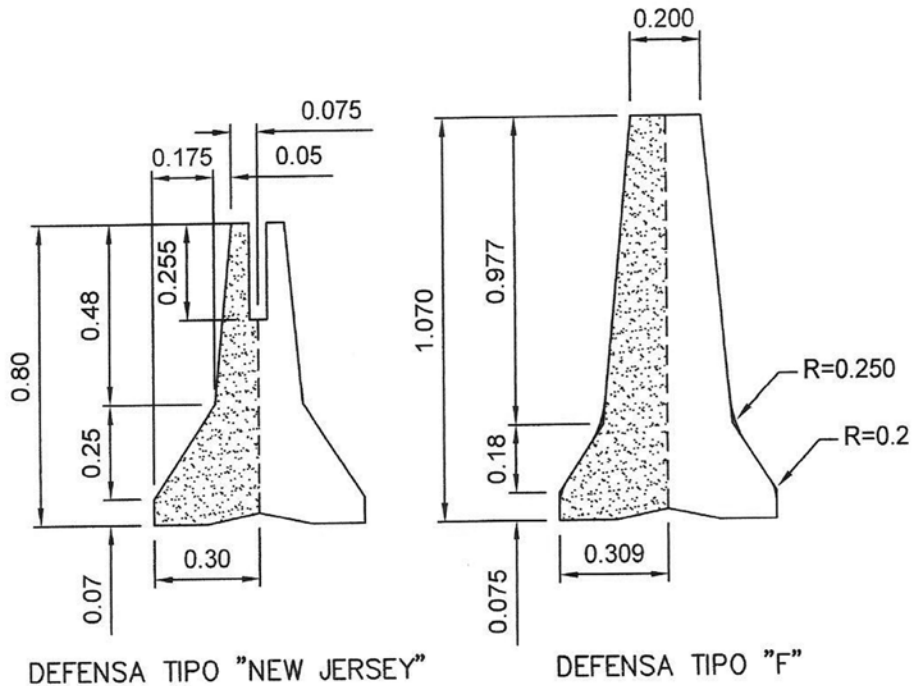
La frontera debe extenderse más allá de los límites de construcción, donde sea posible para facilitar las operaciones de mantenimiento y seguridad. Anchas separaciones exteriores también permiten un estándar alto del diseño de las rampas entre la autopista y la carretera frontal.

7.2.12 Medianas

En las autopistas urbanas las medianas deben de ser anchas y planas para proporcionar una amplia separación que permita seguridad y comodidad a los motoristas. A mayor amplitud de la mediana, menor deslumbramiento de los vehículos en sentido contrario durante la conducción nocturna.

El ancho de la mediana también puede ser usado para proveer carriles adicionales, si en el futuro se requiere de una mayor capacidad que por el momento resulta difícil de cuantificar, sin embargo, en áreas densamente desarrolladas con derechos de vías costosos, el ancho disponible para una mediana es por lo general restringido.

El ancho mínimo de la mediana para una autopista urbana de cuatro carriles es de 3.00 metros, tras cuya utilización posterior puede disponerse de 1.20 m para los hombros interiores y 0.60 metros para la construcción de una barrera medianera. Para autopistas con seis o más carriles, el ancho mínimo es de 6.60 metros y preferiblemente de 7.80 metros según la AASHTO, cuando los camiones exceden los 250 unidades en la hora de diseño. En las autopistas rurales se recomienda que la mediana tenga dimensiones correlativas con los anchos de carril, en previsión de que futuras ampliaciones deban echar mano de esa disponibilidad para aumentar la capacidad. Consecuentemente, para las autopistas se propone utilizar entre 4 y 12 metros, dimensión esta última posible de lograr en áreas suburbanas y rurales, que permite adicionar eventualmente dos carriles de 7.2 metros de ancho y dejar todavía un ancho suficiente de 4.8 metros, con capacidad para acomodar un carril para retornos. Para los anchos mínimos de mediana, es aconsejable utilizar siempre una barrera separadora, que impida las colisiones frontales de los vehículos en la corriente del tránsito. Estas barreras podrán anclarse al pavimento si su uso es definitivo o dejarse sobrepuestas si su uso será temporal.



ESQUEMA QUE MUESTRA LAS DIMENSIONES DE LAS BARRERAS (metros)

7.3 Autopistas en Trinchera

7.3.1 Consideraciones sobre el Diseño

El diseño y la construcción de autopistas en trinchera es característica en las áreas urbanas y suburbanas, donde puede ocupar un bloque (o manzana) completo de ancho, siendo por consiguiente su trazo paralelo a las calles en la mayoría de su longitud. A menudo estas autopistas son flanqueadas en uno o ambos lados por las calles o carreteras frontales o marginales al nivel del terreno colindante.

Todas las calles importantes pasan sobre la autopista. Otras calles son interceptadas por las carreteras frontales o interrumpidas con “cul de sacs” (se les llama así a los callejones sin salida, abiertos en un extremo de la calle y tienen un área para retorno en el extremo cerrado de la misma) en los límites del derecho de vía. Los intercambios con las calles de la red vial se efectúan por rampas, que se conectan directamente con las carreteras frontales o por intercambios en diamante donde no hay carreteras frontales. Los grandes tipos de intercambios son igualmente diseñados en las intersecciones con ciertas arterias principales.

Las autopistas en trinchera son convenientes para reducir su impacto en las áreas adyacentes. Estas alteran menos el paisaje urbano, son menos llamativas que las autopistas elevadas o a nivel, permiten además que la superficie de las calles cruce en su nivel normal y reducen el ruido de las autopistas. Sin embargo, las ventajas tienen que balancearse contra el costo adicional de atender los problemas del drenaje.

Las estructuras que pasan sobre las autopistas a desnivel y los muros de retención, ubicados con una cercana aproximación a las líneas de tránsito, deben de ser amuralladas tanto por razones de seguridad como para prevenir que se lancen objetos encima de los carros que circulan por las pistas principales.

7.3.2 A Propósito de las Secciones Típicas de Cruce y los Derechos de Vía

Las secciones de cruce de autopistas en trinchera varían considerablemente a través de las áreas urbanas y suburbanas. Estas son influenciadas primordialmente por la necesidad de acomodar el requerido número de carriles de circulación, pero un factor importante adicional es la disponibilidad del derecho de vía, lo cual depende de factores tales como el tipo y el valor del suelo urbano o suburbano, la topografía, las condiciones del suelo y el drenaje, y la frecuencia y el tipo de intercambios requeridos. El diseño de las secciones de cruces debe ser libre, pero a veces es necesario ajustar la solución en ciertos elementos por las limitaciones físicas y económicas, para adecuar la sección de cruce con un derecho de vía angosto y restrictivo. Las ilustraciones adjuntas ilustran algunas condiciones típicas de los desarrollos de las autopistas en trinchera.

En las áreas urbanas no es práctico ni es necesario mantener un ancho uniforme del derecho de vía en las autopistas en trinchera. Los cambios en los patrones de las calles, los costos de construcción y las curvaturas en las alineaciones horizontales de las autopistas, son factores para causar variaciones en el ancho del derecho de vía. En algunas instancias, los cambios en el ancho del derecho de vía se necesitan para hacer ajustes

apropiados en las intersecciones con otras vías. En tales casos un balance en el ancho debe mantenerse entre los varios elementos de cruces seleccionados. En la construcción de nuevas instalaciones en las autopistas, los anchos de carriles y hombros no están sujetos a ajustes. Los ajustes suelen ser posibles en el ancho de las medianas y bordes, aunque su mayoría se logra en el ancho de las separaciones de los exteriores de la pista principal.

En las áreas periféricas, donde los cruces de caminos son espaciosamente separados, es posible y económicamente viable ajustar al perfil longitudinal a fin de disminuir la profundidad de corte entre las estructuras. Un acercamiento resulta en una combinación de autopistas en trinchera y a nivel.

Al proyectar el diseño de las rampas de entrada y salida de la pista principal, la solución se simplifica dado que las cantidades de excavación son reducidas, las laderas pueden ser planas y las amplias áreas marginales en las calles pueden ser facilitadas dentro del derecho de vía. Generalmente el resultado es una autopista de diseño agradable y balanceado.

El ancho mínimo de la mediana, de 3.00 a 6.00 metros, supone que para las autopistas en trinchera se construye de una sola vez todo el ancho requerido de carriles y hombros. Sin embargo, donde el ancho adicional está previsto en la mediana para la construcción por etapas, la mediana debe ser ensanchada en múltiplos de 3.60 metros (ancho del carril recomendable). En los sitios donde las rampas no son necesarias, el ancho uniforme de la sección debe de ser provisto de laderas tan planas a como sea posible dentro el derecho de vía disponible.

Los muros verticales pueden construirse en varios puntos en el cruce de sección, tal como la adyacente al hombro de la autopista, la adyacente al hombro de la rampa o en los extremos de las laderas, o en varias combinaciones de estas ubicaciones.

7.3.3 Secciones de Autopistas en Trinchera, incluyendo el Uso de Muros

La figura 7.1 muestra el ancho de la sección de cruce que permite a las secciones de autopistas en trinchera ser construidas con laderas de tierra en ciertas ubicaciones con rampas, que requieren muros de retención. El cruce de sección en la figura mencionada incluye 12 metros de carretera marginal, 3.60 m de los carriles de tránsito, y de 1.80 a 6.60 de mediana. La figura muestra también una sección lateral de 7 a 10 metros de ancho, con rampas de salida y de entrada a la pista principal, desarrollada con el uso de taludes y cortas secciones con muros de retención.

La figura 7.2 muestra secciones de cruce restringido que son factibles para las autopistas en trinchera. La autopista es continuamente amallada, y las rampas son omitidas, sin colgantes como se muestra en la imagen superior. El ancho del derecho de vía requerido es aproximadamente de 48 m para cuatro carriles, 58.50 metros para seis, ó 66 metros para ocho carriles.

Estos anchos se basan en las siguientes dimensiones: el ancho de las carreteras frontales más el borde y parapeto de 12 metros, la separación

exterior de 3.60 metros, los carriles de tránsito de 3.60 metros cada uno y la mediana de 3.00 a 6.60 metros.

En casos especiales en donde se presentan mayores limitaciones al derecho de vía deseable, el diseño se puede completar con una parte de la carretera frontal en voladizo sobre el ancho del hombro de la autopista, siempre que se mantenga un claro vertical mínimo de 5.50 m, como se muestra en la ilustración inferior de la figura 7.2. Al usar de 3.00 a 4.20 metros de saliente y las mismas dimensiones que en el caso anterior, la solución requiere un ancho del derecho de vía de alrededor de 42 metros para cuatro, 52.50 metros para seis y 60 metros para ocho carriles en la pista principal.

Aunque las secciones de cruces restringidas mostradas son aceptadas, estas deben ser usadas únicamente donde la adquisición adicional del derecho de vía sea extremadamente caro, o donde este tipo de sección de cruce se necesite para proteger el medio ambiente.

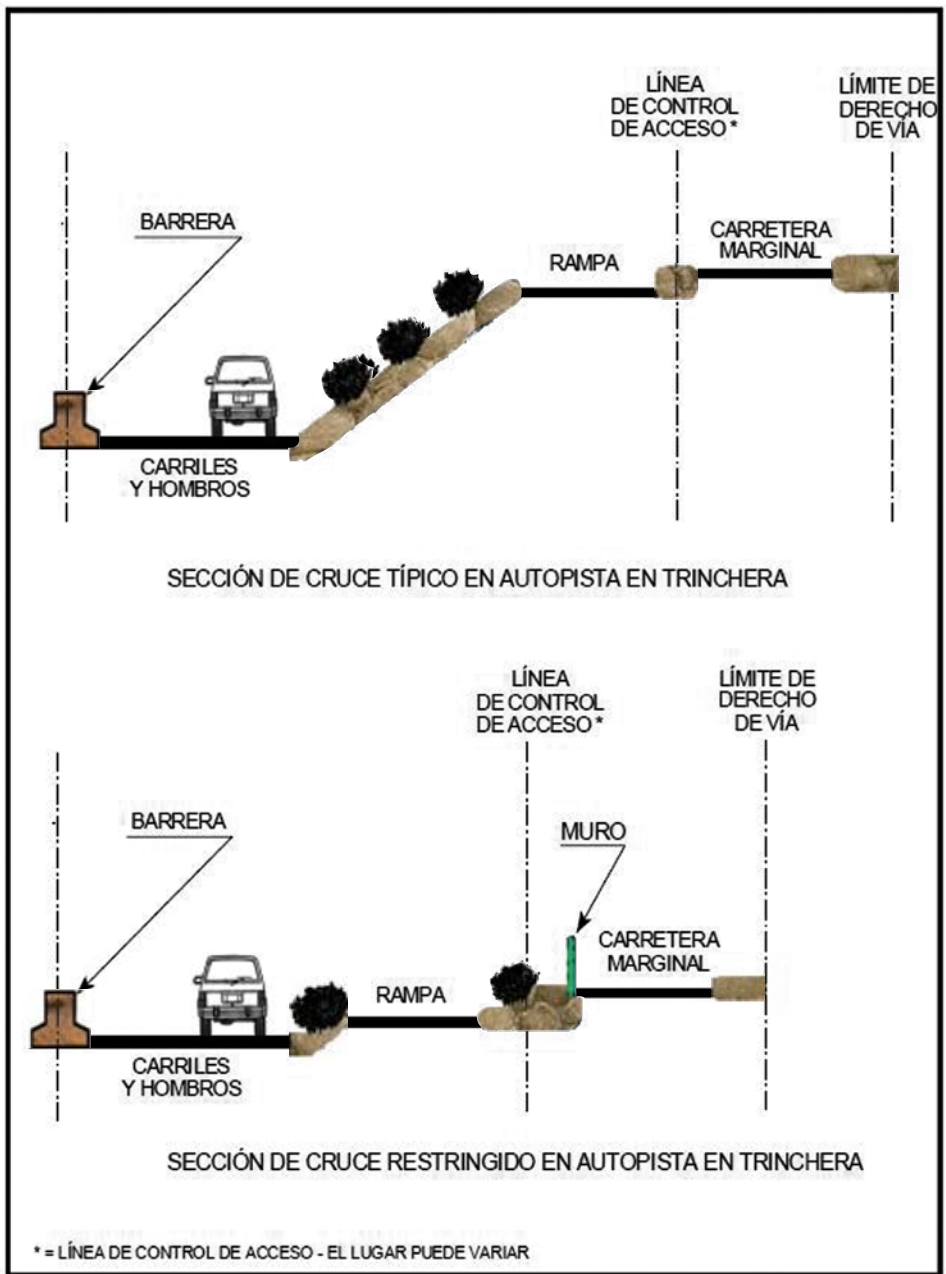


FIGURA 7.1. AUTOPISTAS EN TRINCHERA

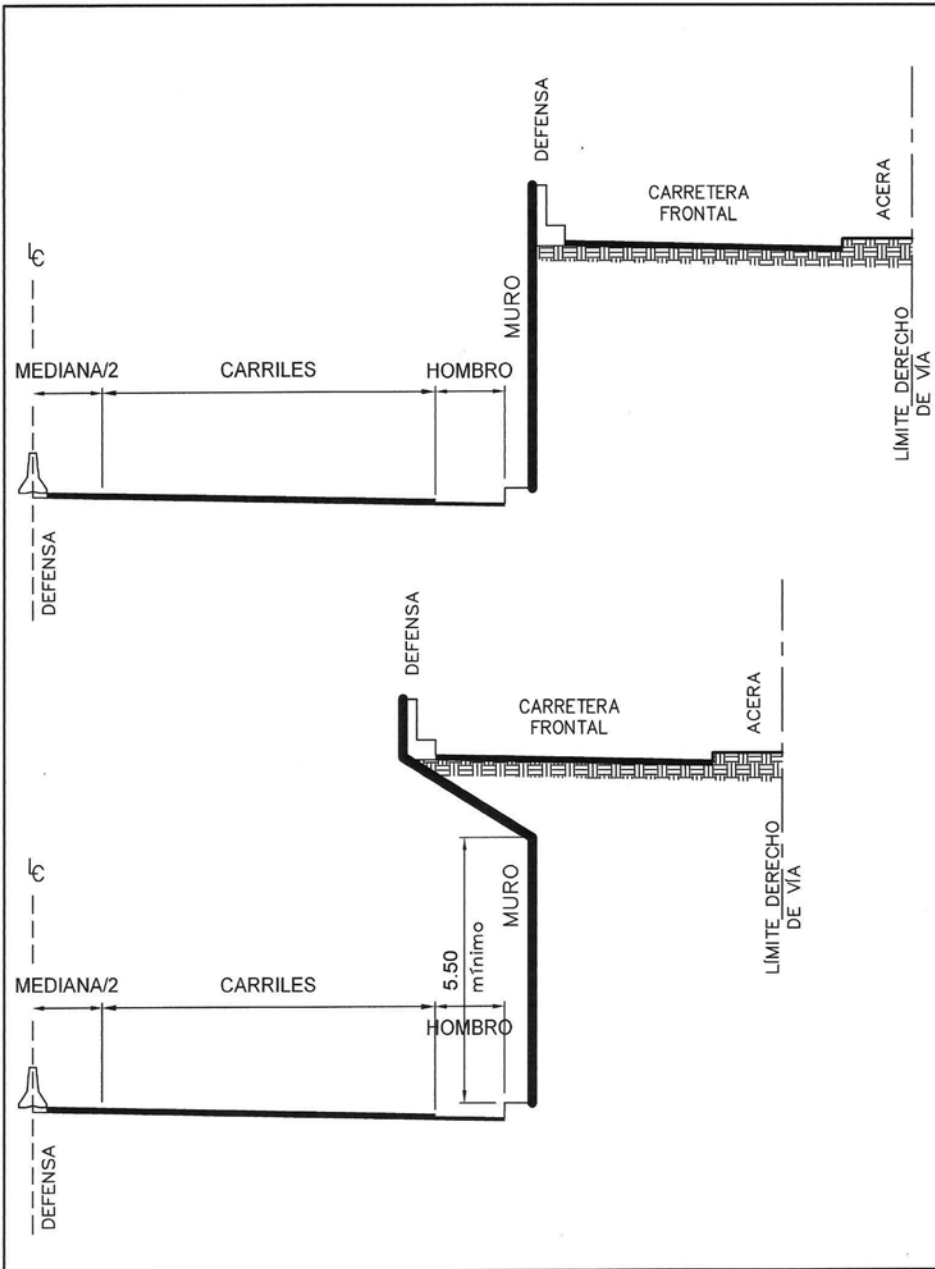


FIGURA 7.2 AUTOPISTAS EN TRINCHERA

7.4 Autopistas Elevadas

7.4.1 Consideraciones sobre el Diseño

Una autopista elevada puede ser construida tanto en un viaducto como en un terraplén. La elevación continua de la autopista puede recomendarse en un terreno plano donde el derecho de vía es restringido, donde las diversas instalaciones y servicios se encuentran bajo tierra, las construcciones cercanas de las calles deben ser conservadas y existen además algunas otras restricciones, que hacen indeseables y quizá no económicas las construcciones en trinchera.

Una gran diversidad de estructuras se utilizan en los viaductos que se conectan con autopistas elevadas. La elección para el diseño de estos viaductos es función de los requerimientos del tránsito, de las limitaciones del derecho de vía, de las condiciones topográficas, de las características de soporte del suelo para los cimientos, del carácter del desarrollo urbano, de las necesidades de los intercambios, de la disponibilidad de los materiales y, desde luego, de consideraciones estrictamente económicas. En todo caso, es de reconocer que los viaductos son quizá los tipos de autopistas que más difícilmente armonizan con el medio ambiente.

Las columnas de apoyo y los estribos de los viaductos son ubicados de manera de dejar un margen libre en cada lado, quedando la mayor parte del terreno nivelado y libre para otros usos. Este diseño tiene ventajas porque (1) prácticamente todos los cruces de calles pueden ser conservados, con o sin gastos agregados, (2) se mantienen en su condición original los servicios públicos existentes, que cruzan el derecho de vía de las autopistas y (3) la superficie para los cruces de calles usualmente pueden ser mantenidas en operación durante la construcción, con poca o sin desviación alguna. Los espacios bajo la superestructura pueden ser utilizados para el rodaje del tránsito en las calles, para la construcción de parques o para una línea de tránsito, según se requiera.

Si no se necesita para los propósitos anteriores, el área bajo el viaducto tiene un alto valor potencial para la comunidad, para algunas obras en común de interés social. Este uso puede ser uno de una amplia variedad de tipos, alcanzando desde zonas de juegos hasta grandes edificios.

Por el contrario, las desventajas del diseño son los altos costos de mantener la estructura y su sistema de drenaje, la dificultad de obtener una apariencia agradable y su posible destino como un espacio subdesarrollado cerca de las estructuras.

Una autopista elevada sobre un terraplén de tierra debe ser suficiente alta para permitir a las carreteras contar con superficie para la construcción de intercambios y poder pasar bajo esta. Las autopistas sobre terraplenes son factibles en áreas suburbanas donde los cruces de calles son especialmente anchos y donde el ancho del derecho de vía está disponible.

Usualmente, una sección en terraplén se construye cuando se da una combinación de tipo de autopistas en terrenos ondulados y donde el material de excavación es usado en los terraplenes, en tanto cuenta con las características físicas apropiadas. Los taludes del terraplén en tanto deban ser

mayores de 3 a 1, señalan la conveniencia de utilizar muros de retención.

7.4.2 Medianas

Cuando la autopista está sobre un viaducto continuo, el ancho de la mediana generalmente tendrá el mínimo necesario para acomodar los hombros de la mediana y una barrera.

Cuando una autopista está sobre un terraplén, el ancho de la mediana debe aproximarse a los 9 metros o menos, para prevenir que los vehículos que entran a la mediana puedan caer en un arroyo o a una carretera ubicada en el nivel inferior.

7.4.3 Carreteras Marginales o Frontales

Las nuevas carreteras marginales adyacentes a los viaductos de las autopistas generalmente no son necesarias, porque las redes locales de las calles no son alteradas. Las vías paralelas existentes y los cruces de calles son adecuadas para facilitar la circulación local y de acceso. Sin embargo, habrá casos en que las carreteras frontales puedan ser requeridas para el uso en los terraplenes y para proveer una adecuada circulación y acceso/egreso de la pista principal.

7.4.4 Separación de las Líneas de Construcción

La mínima separación lateral entre el viaducto de una autopista y las construcciones adyacentes, pueden ser un elemento significativo de la sección transversal a considerar en el diseño. Los principales factores para que los edificios estén próximos a la autopista son:

1. El espacio de trabajo mínimo o indispensable para el mantenimiento y reparación de las estructuras o construcciones.
2. El espacio necesario para prevenir que las salpicaduras de lodo y agua ensucien y causen daños a los edificios colindantes.
3. El espacio protector contra posibles daños por fuego y la caída de objetos durante los incendios.
4. El espacio necesario para que las escaleras y otros equipos de incendios alcancen los pisos más altos de las construcciones.

Todos estos requerimientos de espacio son razonables y quedan satisfechos con una separación lateral de 4.50 a 6.00 metros. Dicha separación provee un espacio razonable pero mínimo para el mantenimiento, reparación, construcción o reconstrucción en las edificaciones y viaductos; evita daño a las estructuras causados por el fuego en los edificios o por el incendio de algún vehículo; permite usar las escaleras y otros equipos contra incendios. Sin dicha separación, se entorpecería el uso de algunos equipos contra incendios, tales como las escaleras mecánicas que se elevan; Algunas de estas unidades tendrían que ser operadas desde las autopistas elevadas.

7.4.5 Sección Transversal Típica y Derechos de Vía.

El ancho de las secciones de las autopistas elevadas varía considerablemente, a como sucede en el ancho del derecho de vía, según se trate de viaductos o de construcciones en terraplén, según ilustran las figuras 7.3 y 7.4. Las autopistas elevadas pueden proyectarse como estructuras en voladizo sobre las carreteras o aceras, así como ya se mencionó que las carreteras marginales también pueden proyectarse en voladizo sobre las autopistas en trincheras.

Una ventaja de las autopistas elevadas en los viaductos es que el espacio bajo la estructura puede utilizarse como calles, parques u otros propósitos. La diferencia de elevaciones deseable entre las calles locales y las autopistas elevadas es de aproximadamente 6.0 metros, sin embargo la altura libre debe ser de 5.50 metros. Para simple referencia, conviene señalar que la altura libre para el paso sobre una línea ferroviaria debe ser de 6.60 metros, lo cual hace necesario que la diferencia de niveles entre la plataforma del viaducto y la de la vía del tren sea de 8.4 metros.

7.4.6 Autopistas de Viaductos sin Rampas

Las secciones de los cruces típicos de las autopistas elevadas sin rampas en las estructuras se ajustan a los siguientes criterios recomendables:

1. Todo espacio bajo la estructura está disponible para calles o para cualquier otro uso comunitario.
2. El ancho del carril es de 3.60 metros.
3. El ancho del parapeto es de 60 centímetros como mínimo.
4. El ancho del hombro para cuatro carriles es de 2.50 metros a la derecha y 1.20 metros a la izquierda, en tanto que para seis y ocho carriles, el ancho de hombro es de 3.00 metros a la derecha y 1.50 metros a la izquierda.
5. El ancho de la mediana es de 3.00 m para 4 carriles y 6.60 m para seis y ocho carriles.
6. La separación lateral entre la estructura y la línea de construcción es de 4.50 a 6.00 metros.

Donde no es práctico obtener el ancho necesario del derecho de vía, se puede proyectar una estructura de dos niveles, aunque tienen la desventaja de la considerable longitud de las rampas para bajar del nivel superior a la calle local o arteria de conexión.

7.4.7 Viaductos de Autopistas de dos Vías con Rampas

Los viaductos son generalmente desarrollados a un solo nivel con circulación en ambos sentidos, teniendo las siguientes dimensiones típicas:

Ancho de mediana	3.00 a 6.60 metros
Ancho de carril	3.60 metros
Ancho del hombro derecho 4-8 carriles	2.50 metros
Ancho del hombro izquierdo 4 carriles	1.00-1.50 metros
Ancho del hombro izquierdo 6-8 carriles	1.50 metros ²⁰
Ancho del parapeto	0.60 metros.
Separación horizontal entre edificios	4.50-6.00 metros

²⁰ Como una mayor diferencia de criterio, la AASHTO recomienda en este caso hombros de 3.0 metros, en previsión de que puedan ser necesarios para refugio de un vehículo descompuesto o con problemas mecánicos. En este manual se prevé que el hombro interno sirva para alejar los obstáculos laterales y aumentar la seguridad de la circulación en el carril interno, que es el de mayor velocidad relativa en la corriente del tránsito.

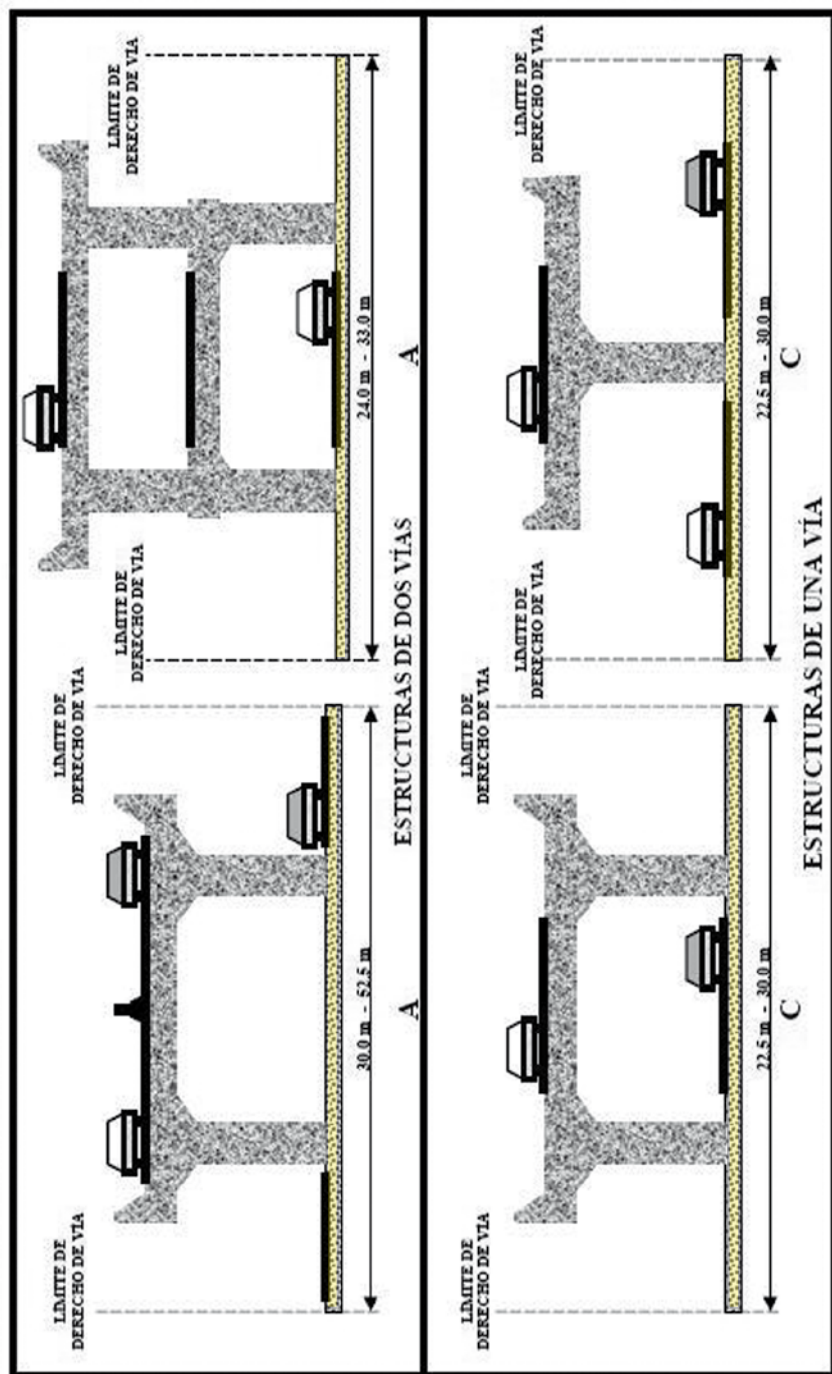


FIGURA 7.3. AUTOPISTAS ELEVADAS EN ESTRUCTURAS

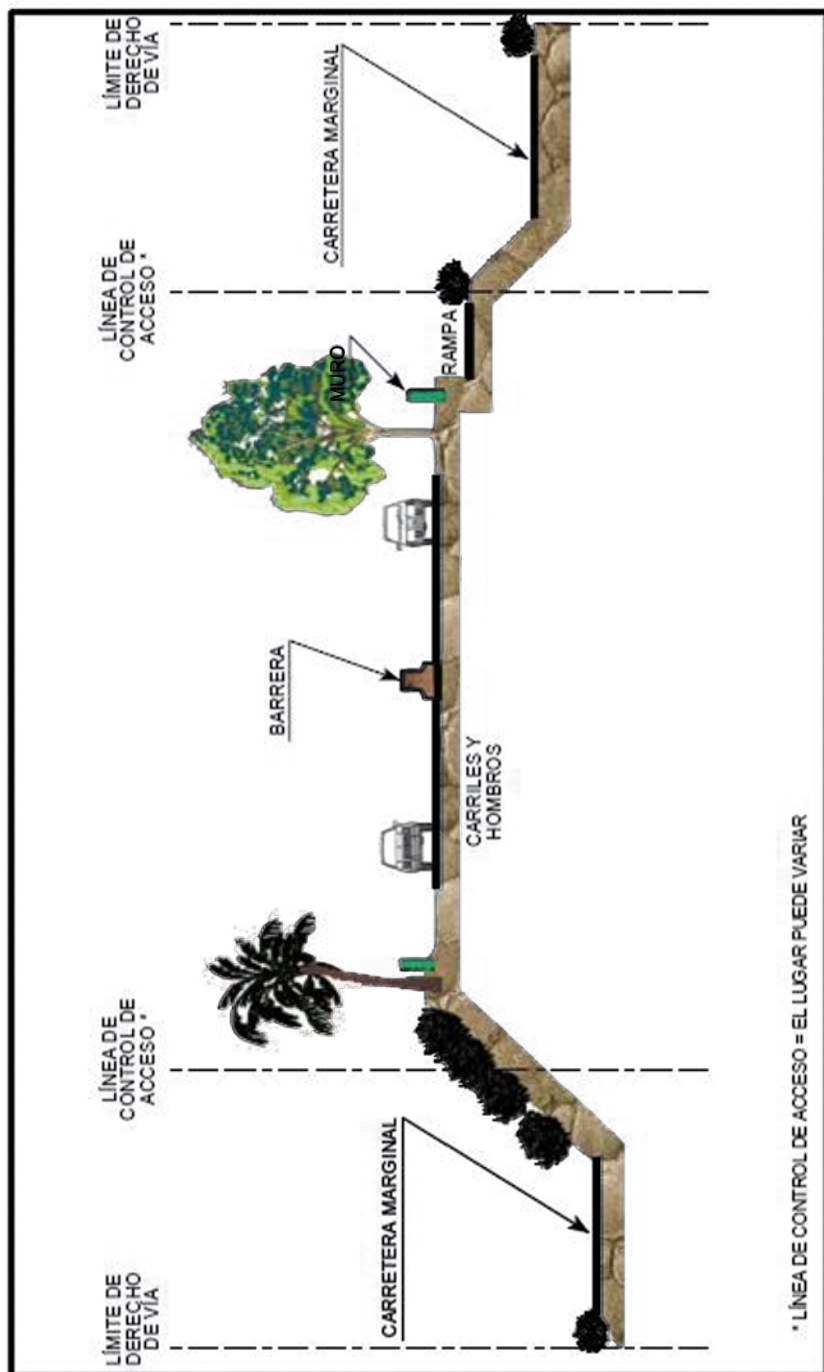


FIGURA 7.4. AUTOPISTAS ELEVADAS EN TERRAPLENES

7.4.8 Autopistas sobre Terraplenes de Tierra

Las autopistas elevadas sobre terraplenes, que deben contar con suficiente altura para permitir el paso a las vías a nivel del terreno, son apropiadas donde el terreno es ondulado y el derecho de vía es suficientemente ancho para que los taludes puedan ser ornamentadas.

7.5 Autopistas a Nivel del Terreno

7.5.1 Algunos Criterios de Diseño

Muchas autopistas tienen longitudes sustanciales y son diseñadas y construidas en terrenos planos y a lo largo de las líneas ferroviarias y cursos de ríos o canales navegables. Las autopistas a nivel son también apropiadas en áreas suburbanas donde los cruces de calles están bastante espaciados. Una característica especial es que cambian en cada cruce de calle, ya que esta pasa en ocasiones por arriba o a veces por debajo de la autopista según la configuración del terreno. Estas autopistas tienen muchas de las características de las autopistas rurales. No pueden construirse en áreas ampliamente abiertas, porque los cruces de las calles no pueden ser alterados sin ningún impacto en la comunidad. El perfil cambia en los cruces de calles.

Cuando las autopistas a nivel siguen el trazado de la ciudad, es deseable proveer el continuo servicio de carreteras de una vía a ambos lados, como significado de conexión para las calles que no se conectan entre sí, sin embargo, habrá situaciones donde las carreteras de dos vías serán el único medio para mantener servicios locales, aún siendo estos menos deseados que las carreteras de una vía. Las autopistas a nivel son empleadas en las secciones periféricas de las áreas metropolitanas (anillos periféricos), donde el derecho de vía no es tan caro como en las áreas de la ciudad. Como resultado, los elementos variables de la mediana, separaciones exteriores y los bordes, son ampliados para aumentar la seguridad y apariencia de las autopistas.

7.5.2 Secciones Típicas de Cruces y Derechos de Vía

La figura 7.5 muestra secciones típicas de autopistas a nivel, con y sin carreteras frontales. Donde únicamente cuatro o seis carriles se provean inicialmente, puede ser deseable disponer del mismo ancho de derecho de vía, que se propone para las de 6 y 8 carriles de circulación. En estas situaciones, la mediana debe de ampliarse por múltiplos de 3.60 metros, en anticipación de una necesidad para carriles adicionales. El costo será nominal, y habrá una mínima interrupción del tránsito.

Los requerimientos de ancho del derecho de vía son de alrededor de 80 a 90 metros. Donde el derecho de vía adicional esté disponible y ello no implique impactos severos en la comunidad, las separaciones exteriores y bordes deben de ser ampliados para proveer estéticas y llamativas áreas verdes y aislar la autopista de las áreas que la rodean. En áreas donde las conexiones de rampa son hechas hasta las carreteras frontales, la anchura de las separaciones exteriores deben aumentarse generosamente y, de preferencia, permitir espacios para diseños libres de las rampas y terminaciones de las rampas.

Donde haya disponibilidad de material selecto se recomienda construir bermas en las medianas, la separación exterior o el borde del derecho de vía. La berma de tierra protege la vista de la autopista, disminuye los ruidos en las áreas adyacentes y disminuye el resplandor de las luces frontales. Una adecuada provisión debe hacerse para el drenaje, para asegurarse que el agua no se acumule en las áreas de los hombros.

7.5.3 Restricciones de Secciones de Cruce y de Derecho de Vía

Con secciones de cruces restringidos, tanto la mediana como la separación exterior deben ser pavimentadas, agregando además una barrera para la mediana. En carreteras frontales de dos vías, también es deseable proveerlas con una barrera en la separación exterior en lugar de una defensa de control de acceso. Preferiblemente, la barrera debe ser colocada cerca de la carretera marginal, para lograr una recuperación extra entre espacios de los hombros de la autopista. Donde no se pueda poner una fuente de luz, una señal reflectiva es deseable para definir la separación exterior. La figura 7.5 muestra una sección de cruce restringido sin una carretera frontal.

7.6 El Derecho de Vía en las Autopistas

La discusión de la sección 3.4 del Capítulo 3 de este manual, sobre conceptos y criterios aplicables al derecho de vía, son igualmente válidos para las autopistas, aunque sus requisitos en cuanto a dimensiones de la franja a adquirir son muy particulares y, desde luego, de mayores exigencias por los mayores volúmenes de tránsito que deben atender en su función predominante de movilidad.

En una autopista construida a nivel del terreno existente, con características de plano a ligeramente ondulado, **la franja del derecho de vía puede variar desde 80-90 metros hasta 60-70 metros**, según que se contemple o no la construcción de calles marginales para llenar las funciones de acceso a las propiedades y desarrollos urbanos colindantes. Ver figura 7.5

Donde se propone la construcción de tres carriles por sentido, como corresponde al caso examinado, debe dimensionarse la mediana central de forma que provea capacidad para la construcción de dos carriles adicionales, en caso sea necesario incrementar la capacidad y disponer de cuatro carriles por sentido, dejando todavía ancho suficiente para los carriles de giro a izquierda y los retornos. En tal caso resulta conveniente diseñar la mediana para un ancho inicial de 12.0 metros, que se reduciría a 4.80 metros al construir en una segunda etapa los dos carriles adicionales.

La franja lateral, que separa la calle marginal de la pista central, puede ser engramada, jardinizada o arborizada con plantas que desarrollen poco diámetro, o ser provista de una berma o camellón de suficiente altura para aminorar las molestias del ruido de la pista principal, ocultar la autopista de la vista de las urbanizaciones vecinas y minimizar el resplandor de los vehículos circulando en sentidos opuestos. Puede igualmente servir para la instalación en su cresta de las pantallas recomendadas para la reducción del ruido. Con un ancho recomendable de 7.00 metros, esta franja lateral puede utilizarse para la construcción de carriles de desaceleración y de aceleración, para los vehículos que salgan o se incorporen a la corriente principal hacia o desde las pistas marginales.

Un ancho mínimo de 7.00 metros para las pistas marginales, con dos carriles de circulación en un solo sentido o un carril y estacionamiento a la orilla del bordillo, a conveniencia del proyectista, se podría combinar con aceras de 2.00 metros de ancho, separadas del bordillo por una franja verde de 1.00 metro mínimo, dejando otro metro más desde la acera al límite del derecho de vía. Es normal que en las nuevas urbanizaciones, el frente de la construcción de una vivienda o de un edificio, sea retirado unos cuantos metros del límite del derecho de vía, para dar lugar a la construcción de estacionamientos fuera de la vía, jardines o, más estratégicamente, como reserva para futuras necesidades de la circulación vehicular.

Para una autopista en trinchera o una autopista elevada, las exigencias en materia de derecho de vía deben estudiarse caso por caso, aunque es fácil adelantar que la franja a adquirir tendrá menores dimensiones que para la solución de la autopista a nivel. Ver figuras de la 7.1 a la 7.4 arriba citadas.

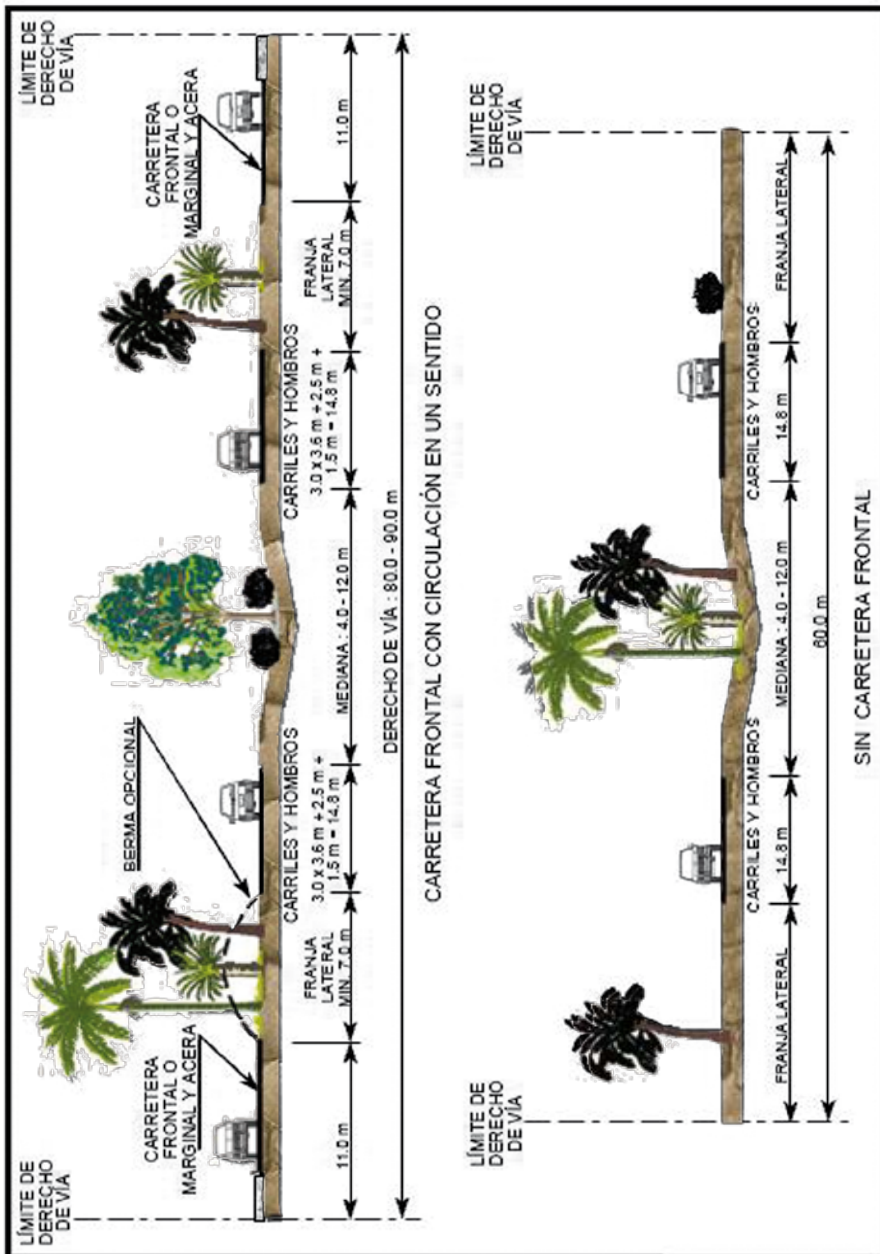


FIGURA 7.5. AUTOPISTAS A NIVEL

BIBLIOGRAFIA

1. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets
American Association of State Highways and Transportation Officials,
2004.
2. Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las
Carreteras Regionales. Secretaría de Integración Económica Centro-
americana.
SIECA. 2^a. Edición, 2004
3. AASHTO. Standard Specifications for Highway Bridges, Washington,
D.C.:
AASHTO, 2002.
4. 3. AASHTO. LRFD Bridge Design Specifications, second edition, Was-
hington, D.C.:
AASHTO, 2004.
5. Highway Capacity Manual, HCM 2010
Transportation Research Board, 2010.

Capítulo 8

CAPÍTULO VIII

GESTION DE RIESGO Y SEGURIDAD VIAL EN EL DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS

INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como propósito aportar criterios y recomendaciones en materia de gestión de riesgo y seguridad vial al diseñador de la geometría de carreteras, para la selección de la ruta más adecuada que no ponga en peligro vidas humanas ni la infraestructura vial. Además estos criterios se deben basar y sustentar en los estudios que elaboran otros especialistas en el diseño de la carretera. Los mismos criterios deben tener aplicabilidad tanto en carreteras nuevas como en existentes que por una nueva necesidad serán ampliadas o modificadas en su geometría (sección o longitud).

El desarrollo de este Capítulo se presenta en tres grandes subdivisiones: a. gestión de riesgo, b. seguridad vial y c. diseños especiales debido a situaciones específicas.

- a) Se entenderá por gestión de riesgo un proceso social complejo, cuyo fin último es la reducción o la previsión y control permanente del riesgo de desastre en la sociedad, en consonancia con, e integrada al logro de pautas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenibles.

En la actualidad la Gestión de Riesgo a desastres, debe ser integral, y se considera como parte intrínseca de los procesos de planificación e inversión pública. El riesgo y los factores de riesgo se han convertido en conceptos y nociones fundamentales en el estudio y la práctica en torno a la problemática de los desastres.

La gestión integral de riesgos derivada de las amenazas naturales reviste especial importancia para los países de la región. Actualmente es un tema fundamental para que éstos alcancen su desarrollo económico sostenible, reducción de la pobreza y equidad social.

En los últimos años los países de Centroamérica han experimentado pérdidas cuantiosas en infraestructura vial a consecuencia de los eventos naturales como, huracanes, tormentas tropicales, sequías, erupciones, volcánicas, sismos y otros.

Lo anterior establece la necesidad de un riguroso conocimiento de los tipos de eventos resultantes de las amenazas potenciales que enfrenta un determinado territorio. Estas pueden estar referidas a amenazas de baja frecuencia y altas consecuencias que llevan a la declaración de “desastre” y por otro lado amenazas de alta frecuencia y baja consecuencia que por la acumulación de impactos negativos retrasan el desarrollo.

Otro factor importante es el cambio en el uso del suelo que se encuentra en el área de influencia de la carretera sea ésta nueva o existente y que el responsable del diseño geométrico, debe tomar en consideración ya que puede tener efectos sobre el proyecto (actividades que se localizan más allá de la servidumbre de paso).

- b) El análisis para incrementar la seguridad vial se entenderá como: “La pre-

vención de accidentes de tránsito o la minimización de sus efectos especialmente para la vida y la salud de las personas, cuando tuviera lugar un hecho no deseado de tránsito”.

Las normas reguladoras de tránsito y la responsabilidad de los usuarios de la vía pública componen el principal punto en la seguridad vial. Sin una organización por parte del estado y sin la moderación de las conductas humanas (particulares o colectivas) no es posible lograr un óptimo resultado.

Muchos conductores que siguen la misma ruta cada día lo hacen sin utilizar el área del cerebro donde tiene lugar el pensamiento consciente, según afirma el científico especialista en tráfico Michael Schrekkenberg, de la Universidad de Duisburgo Essen (Alemania). Como conocen el camino, los conductores se ocupan de otras cosas sin concentrarse muchas veces en el tráfico; en consecuencia, tardan más en advertir los peligros. Por esta razón, se les recomienda recordar continuamente la necesidad de estar alerta y no distraerse de la carretera.

Los especialistas recomiendan identificar los denominados “Puntos Negros” o *Tramos de concentración de accidentes (TCA)*, que son tramos de la red de vías públicas de carreteras en los cuales se dan cierto número de accidentes por unidad de tiempo según las autoridades competentes. Un punto negro puede ser debido a diversas causas, entre las que se destacan:

- Curvas peligrosas.
- Tramos con baja visibilidad.
- Intersecciones con gran variedad de movimientos permitidos.
- Tramo con pendiente mayor a 10° de inclinación
- Cercanía a centros poblados
- Tramo de carreteras sin señalización
- Tramo de carreteras sin mantenimiento

Se recomienda consultar el “Manual Centroamericano de Seguridad Vial” Edición 2009, de la Secretaría de Integración Económica SIECA, publicado con el apoyo de la Unión Europea y el Banco Interamericano de Desarrollo BID

- c) jemplos de carreteras con diseños especiales debido a situaciones específicas.

Son diseños con características especiales, ya sea por su ubicación o por su uso, por lo que se requiere que el diseñador cumpla con ciertas especificaciones especiales; siendo importante integrar al grupo de especialistas y a otros técnicos que conozcan el tema de la carretera especial; dentro de estas podemos mencionar:

- Carreteras en parques nacionales
- Carreteras en centros históricos o lugares con patrimonio cultural
- Vías exclusivas para determinado tipo de vehículo (transporte público)
- Disposiciones locales o nacionales (restricciones)

- Vías para transporte especial
- Rutas panorámicas o paisajísticas
- Carreteras con corredores industriales
- Carreteras que atraviesan centros poblados

Además, se incluyen aspectos de riesgo sísmico y riesgo volcánico para carreteras, con la finalidad de enriquecer al equipo de profesionales que participan en el diseño geométrico con estos dos temas; tomando en cuenta el número de volcanes en Centroamérica y la posición del istmo con respecto a las placas tectónicas. Estos eventos naturales todavía impredecibles, afectan grandes zonas o áreas geográficas dañando en muchos casos la infraestructura vial.

OBJETIVOS DE LA INCLUSIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO:

- ⇒ Contribuir a la disminución de pérdidas de la infraestructura, y de accidentes de tránsito a lo largo de la red vial de Centroamérica con la introducción de los temas de Gestión de Riesgos y Seguridad Vial con un enfoque preventivo.
- ⇒ Proyectar y construir obras con el menor costo posible que cumplan con los objetivos para los cuales se concibieron. *“La elección de la ruta es la responsabilidad más importantes del diseñador pues lo errores que se cometen en las etapas subsecuentes se corrigen de una manera más fácil y económica que una falla en el proceso de elección de ruta que en general consiste en varios ciclos de reuniones, reconocimientos, informes y estudios. En la elección de la ruta los trabajos son interdisciplinarios ya que intervienen profesionales de diferentes ramas de la ingeniería y especialistas.”* (Ing. Fernando Olivera)

El diseño se puede referir a los requerimientos para la ampliación, reconstrucción y rediseño de una ruta existente o una nueva; pero dependiendo de la magnitud e importancia del proyecto así será el requerimiento de apoyarse en los estudios que deben realizar los otros especialistas que le permitan adquirir una visión amplia y criterios para un mejor diseño.

Las áreas más importantes pueden resumirse en:

- Medio Ambiente (clima, accidentes geográficos, sismos y otros)
- Vehículos (de diseño o no)
- Personas (peatones y conductores)
- Líneas Vitales (agua, drenajes, electricidad, comunicaciones y otros)

8.1 LA GESTION DE RIESGO EN EL DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS

Tal como se indica en la introducción se entenderá por gestión de riesgos como un proceso social complejo, cuyo fin último es la reducción o la previsión y control permanente del riesgo de desastre en la sociedad, en consonancia con, e integrada al logro de pautas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenibles.

A continuación se presentará las medidas para reducir el riesgo que el diseñador deberá tomar en cuenta en el diseño de carreteras. Es importante indicar que cada apartado que se analiza corresponde a lo establecido en capítulos específicos del Manual referidos en capítulos anteriores.

8.1.1 Riesgos en Terrenos Inclinados, Taludes, Cortes y Rellenos

(Se relaciona con el Capítulo IV inciso 4.2.2)

En la mayoría de los proyectos nuevos así como en el reacondicionamiento de carreteras existentes, se hace necesario realizar “cortes y rellenos”, con la finalidad de cumplir con las especificaciones técnicas establecidas para el proyecto. En el caso de terrenos inclinados, como cortes, taludes y rellenos, el estudio para su estabilidad le corresponde al especialista en geotecnia, pero es importante que el diseñador de la geometría de la carretera, con el apoyo de información básica de campo pueda tomar decisiones, para la determinación del trazo, evitando que el proyecto quede vulnerable a las condiciones locales ambientales o de la zona de influencia.

Cada corte y relleno presenta características específicas por lo que no se aconseja aplicar soluciones generales, ya que se pueden realizar obras inadecuadas.

Después de elegir una ruta, se procede casi siempre a realizar un anteproyecto que consiste en los levantamientos topográficos y en estudios de gabinete, con la finalidad de obtener el mejor diseño posible. En la elección de la ruta los principales estudios son los geológicos, pero en el anteproyecto ya se trabaja más a detalle con el geotecnista, el hidrólogo y el de mecánica de suelos, quienes se familiarizan con la franja en estudio y asesoran a los encargados del diseño geométrico.

Algunos autores clasifican los taludes en dos tipos a) los que quedarán del nivel de la carretera hacia arriba y b) los que quedarán a partir del nivel de la carretera hacia abajo que generalmente son rellenos. Sin embargo para cualquier tipo de vía terrestre los taludes se deben proyectar de acuerdo con los materiales del terreno natural y los de relleno.

En cortes, los taludes usuales son de cero para roca firme, de un cuarto a uno para pizarras, lutitas y calizas (material estratificado y consolidado) con hechados horizontales o que no ponen en peligro la estabilidad y de un medio a uno en talpetates, arcillas o rocas fisuradas.

En los taludes de relleno (terraplenes), se utiliza en general inclinación de uno y medio a uno sin embargo cuando se forman con arenas, son convenientes los valores de tres a uno a cinco a uno pues el agua los puede erosionar. En la mayoría de los casos se recomienda provocar el crecimiento de vegetación para una buena protección de las partes inclinadas.

En la naturaleza se encuentran diferentes tipos de suelos y también se encuentran diferentes tipos de clasificaciones; sin embargo una de las más utilizadas es la siguiente por su sencillez:

- ⇒ **Suelos Gruesos:** que incluye las Gravas (G) y las Arenas (s) o que pasen a través del tamiz No. 4
- ⇒ **Suelos Finos:** Limos, Arcillas y suelos finos altamente orgánicos
- ⇒ **Rocas:** Bloques y macizos

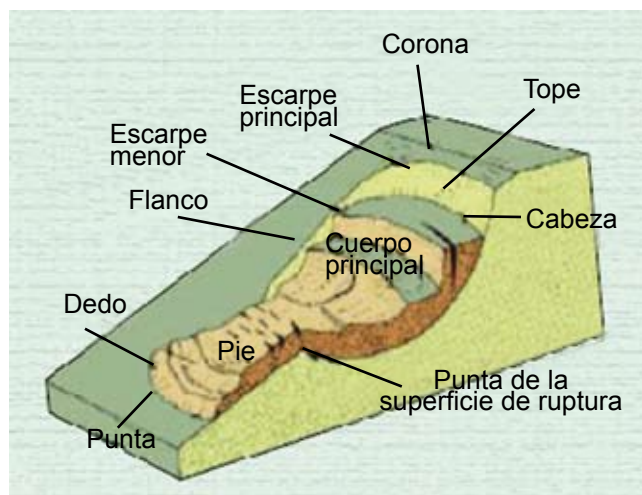
Estos se pueden analizar: a) en campo y b) en laboratorio, aplicándoles diferentes tipos de pruebas. Será el experto en suelos quien indique el número de pruebas, los lugares donde se tomarán las muestras y las profundidades (Mecánica de Suelos y Cimentaciones de Crespo Villalaz).

CLASIFICACION DE LOS DESLIZAMIENTOS

Tipo de Movimiento		Tipo de Material		
Caída		Roca	Suelo	Derrubio (grano fino)
			Detrito grano grueso	
Volcamiento		Caída de rocas	Caída de detritos	Caída de derrubios
Deslizamiento	Rotacional	Deslizamiento de rocas	Deslizamiento de detritos	Deslizamiento de derrubios
	Traslacional	Deslizamiento de rocas	Deslizamiento de detritos	Deslizamiento de derrubios
Flujo		Flujo de rocas	Flujo de detritos	Flujo de derrubios
Propagación		Propagación de rocas	Propagación de detritos	Propagación de derrubios
Complejo		Combinación de dos o más de los tipos arriba indicados		

Fuente: Clasificación de los tipos de deslizamiento de terreno (modificado) de Varnes 1958, 1978, 1984, Citado por Castellanos, Enríques y Pérez Proyecto de Evaluación "Geólogo – Geomorfología de la amenaza de deslizamientos para las condiciones de Cuba", 2004

Las principales partes o componentes de un deslizamiento se pueden presentar de la siguiente forma:



Fuente. Varnes 1978 (Guía Técnica obras físicas de prevención y mitigación en caso de deslizamiento CEPREDENAC-NGI 2005-2008)

8.1.2 Deslizamiento y Cortes

Los deslizamientos de tierra por cortes o naturales son un fenómeno que afecta periódicamente a la red de carreteras causando pérdidas de vidas y económicas; por lo que es importante que el responsable del Diseño Geométrico de una Carretera sea nueva o existente, debe buscar las alternativas que permitan reducir y controlar los daños.

Se entiende por deslizamiento al movimiento de los materiales que componen la ladera pendiente abajo por la influencia de la gravedad y pueden ser detonados por las lluvias, los sismos y la actividad humana.

Existe una variedad de medidas estructurales, pero debe tenerse en cuenta que cada una de ellas debe ser aplicada en función de algunos parámetros como la geometría, propiedades geotécnicas de los materiales que conforman los taludes, costo económico y otros incluyendo la legislación vigente.

Los movimientos en masa son procesos de la geodinámica externa los cuales modifican las diferentes formas y relieves de los terrenos por donde pasará la carretera; siendo los deslizamientos la principal manifestación de los movimientos en masa.

Los factores que producen o provocan un deslizamiento están relacionados con las precipitaciones, temperaturas, la alteración de suelos y rocas, la erosión, la fluctuación de las capas freáticas y las acciones antrópicas; que provocan una reducción progresiva o rápida en la disminución del factor de seguridad y del ángulo de reposo del material hasta quedar inestable y provocar la rotura.

La estabilidad de un talud está determinada por los siguientes factores:

- Geométricos (altura e inclinación)
- Geológicos (planos y zonas de debilidad en el talud)
- Hidrogeológicos (presencia de agua en el talud)
- Geotécnicos (comportamiento mecánico del terreno)
- Antropogénicos (excavaciones, sobrecargas y otras)

La combinación de los factores antes indicados, puede determinar la condición de rotura a lo largo de una o varias superficies. Provocando el movimiento de un cierto volumen de masa de suelo o roca. Dichos factores se pueden clasificar como condicionantes y desencadenantes.

Factores de formación de deslizamiento

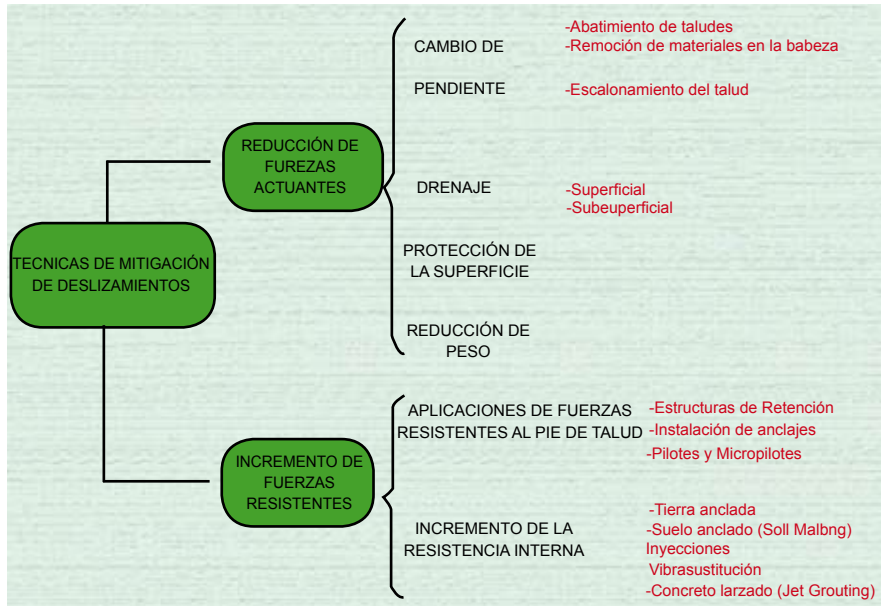
Factores Físicos	
Lluvia	El aporte de agua en el suelo favorece su inestabilidad. Estas pueden ser fuertes aunque de corta duración o bien leves pero de muchos días
Topografía	Los deslizamientos ocurren con mayor frecuencia en terrenos de mucha pendiente y desprovistos de vegetación
Tipos de suelos y rocas	Los suelos de mala calidad como arcillas, rocas muy fracturas y rellenos mal compactados son todos muy susceptibles a desarrollar derrumbes
Temblores y sismos	La actividad sísmica o temblores son un factor detonante de deslizamientos

Fuente. Guía, La Amenaza por deslizamiento o deslave y su vigilancia comunal RECLAIMM – CEPREDENAC-NGI

Factores Humanos	
Vibraciones	Maquinaria pesada o explosiones
Fugas de Agua	Tuberías con desperfectos
Excavaciones a cielo abierto	Canteras, bancos de materiales
Rellenos no compactados	Botaderos de material terreo de corte o nivelación
Deforestación	Corte de árboles que cubren terrenos inclinados

Fuente. Guía, La Amenaza por deslizamiento o deslave y su vigilancia comunal RECLAIMM – CE-PREDENAC-NGI

Técnicas para Ejecutar Obras de Prevención y Mitigación



Fuente "Guía Técnica, Obras Físicas de Prevención y Mitigación en Casos de Deslizamiento" Programa RECLAIMM 2005 - 2008

8.1.3 Deslizamiento y Cortes en Roca

Los cortes que se realizan para el emplazamiento de una carretera, pueden ser en material rocoso. Para ello el diseñador de la geometría deberá apoyarse en los estudios que realiza el geotecnista, geólogo, pero de preferencia el especialista en Mecánica de Rocas.

Dependiendo del tipo de proyecto, una fuerte pendiente en un talud rocoso puede ser una solución económica o no, por lo que se deben sopesar las diferentes alternativas que resultan al diseñar un talud, por ejemplo a) reforzar el macizo rocoso, b) hacer una pendiente menor que aumenta los costos de excavación y remoción del material, c) tomar el riesgo que involucra diseñar una fuerte pendiente sin refuerzo utilizando factores de seguridad d) tomar ejemplos precedentes en el área del proyecto y e) permitir pequeños deslizamientos sin que esto implique

una ruptura del diseño del proyecto que pueda resultar en ciertos casos económicamente factible.

Cuando se va a analizar la estabilidad del macizo rocoso es preciso caracterizar dicho macizo, para lo cual se requiere conocer los factores geológicos y los procedimientos de campo a fin de obtener una información detallada del mismo.

También es importante entender los criterios de resistencia al corte bajo los niveles de esfuerzo considerados; y finalmente definir los mecanismos de rotura para la aplicación de los métodos de análisis correspondientes.

Un mal control geológico en la estratigrafía de la zona en la estructura geológica durante la etapa de factibilidad de un proyecto puede provocar malos diseños, dando como resultado reparaciones costosas.

Cada tipo de roca se caracteriza de forma individual, en su textura, resistencia cohesiva, macro y micro estructura. Lo más importante de las propiedades de una roca es la naturaleza de los minerales y de la resistencia que la conforman.

Los factores determinantes para la falla de taludes de roca son los siguientes:

1. Rocas con contenidos minerales solubles como: yeso, calcita, dolomita y halita las cuales además sufren alteraciones físicas cuando se presentan cambios en el nivel freático.
2. Los cambios en el contenido de humedad pueden originar presiones de expansión peligrosa.
3. El cambio de humedad también puede provocar el quiebre y rotura en la roca debido a la acción de resquebrajamiento.
4. Inestabilidad provocada por la presión del agua y no por el flujo de agua
5. Las discontinuidades del macizo rocoso
6. El espaciamiento de las discontinuidades
7. El tipo de relleno de las discontinuidades
8. La inclinación y orientación de las discontinuidades
9. El origen de las discontinuidades:
 - Provocadas por esfuerzos tectónicos regionales
 - Fracturas por descargas (relajación por fracturas paralelas a la superficie del terreno
 - Fracturas provocadas por enfriamiento de material ígneo intrusivos o extrusivos que dependiendo del tipo de roca pueden tomar formas regulares
10. Tamaño de los bloques

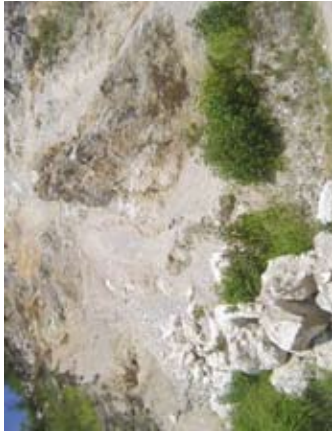
11. La calidad de la roca RQD (Rock Quality Design)

Dentro de los análisis regionales que el diseñador de carreteras debe realizar están:

1. Mapa de orientación y estabilidad geométrica de taludes
2. Disposición de las capas o estratos
3. Cuesta de buzamiento (sectores con ángulos reales de buzamiento de las capas menores de aquellos planos tangentes al talud y el plano horizontal)
4. Contracuesta de buzamiento (estratos o capas que buzan en sentido contrario a la ladera)
5. Identificación de sectores intermedios (disposición ortogonal transversal en relación a la ladera)
6. Mapa de pendientes topográficas
7. Mapa Geomorfológico
 - Deslizamientos
 - Derrumbes
 - Flujos
 - Escurrimientos
8. Mapa de Análisis integrado (según la metodología propuesta)
9. Mapa de Análisis de Alineamientos (control estructural)

EJEMPLOS DE DESLIZAMIENTOS Y POSIBLES SOLUCIONES

Caída de Rocas



Ruta CA-09 Norte, Guatemala

Caída de Bloque: bloques o masas de roca desprendidas de taludes verticales o con pendientes muy altas, que se mueven en caída libre dando tumbos (saltos) o ruedan lateralmente abajo.

Mitigación



Protección con Malla de Alta resistencia, El Salvador

Volcamiento de Rocas







Ruta CA-09 Norte, Guatemala

Volcamiento de Rocas: rotación de uno o más bloques de rocas muy fracturadas, se presenta en zonas volcánicas

Rejilla de Concreto



Ruta CA-01 El Salvador

EJEMPLOS DE DESLIZAMIENTOS Y POSIBLES SOLUCIONES	
<p style="text-align: center;">Lahar y flujo Piroclástico</p>  <p style="text-align: center;">Ruta Nacional RN-16 Santa Rosa, Volcán Tecuamburro,</p>	<p>Flujos: masa de lodo, rocas, troncos de árboles que se mueven como una corriente o fluido ladera abajo a gran velocidad. Son muy peligrosos pues alcanzan mucha velocidad.</p>
<p style="text-align: center;">Deslizamiento Traslacional</p>  <p style="text-align: center;">Ruta CA-09 Norte Guatemala</p>	<p>Deslizamiento Traslacional: se da cuando la superficie de ruptura es más o menos plana o suavemente ondulada.</p>
<p style="text-align: center;">Muro de Gravedad</p>  <p style="text-align: center;">Gaviones en grada, Ruta CA-01 Occidente, Guatemala</p>	<p style="text-align: center;">Terra Mesh</p>  <p style="text-align: center;">Alambre galvanizado, El Salvador</p>

GUÍA DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTO O DESLAVE EN EL ÁMBITO MUNICIPAL" CEPREDENAC, EMBAJADA DE NORUEGA, INSTITUTO NORUEGO DE GEOTECNIA (2008)

EJEMPLOS DE DESLIZAMIENTOS Y POSIBLES SOLUCIONES

Deslizamiento Rotacional



Ruta CA-09 Norte, Guatemala

Deslizamiento Rotacional: se da cuando la superficie de ruptura del suelo de la ladera es curva y cóncava. La masa se inclina y gira hacia atrás formando una herradura o cuchara.

Terrazas o Bermas



Ruta Nacional RN-14 departamento de Sacatepéquez, Guatemala, solución sigue la forma de herradura del deslizamiento

Desplazamientos Laterales



Ruta CA-09 Norte Guatemala

Deslizamientos Laterales: movimiento de extensión lateral acompañado por fracturamiento. Suelen presentarse en suelos con pendiente moderada y suelos de muy mala calidad.

Electromalla + Concreto Lanzado



CA-01 Oriente; ladera bastante estable con protección contra la lluvia, solución no es adecuada cuando hay mucha humedad o presencia de agua en el talud.

SINTESIS

- **Área:** Riesgos Naturales y Antrópicos
- **Tema:** Taludes y Cortes
- **Riesgo:** Deslizamiento
- **Riesgo Concatenado:** Suma de eventos lluvia + sismos
- **Vulnerabilidad:** Física y social
- **Peligro:** Pérdida de vidas humanas, lesiones, daños materiales, económicas
- **Desastre:** Daños a la infraestructura
- **Recomendaciones que el equipo de diseño debe tomar en cuenta para mitigar el riesgo a desastres:**
 - Estructuras retenedoras (muros de protección de diferentes tipos)
 - Drenaje superficial para evitar que el agua fluya sobre el terreno inclinado
 - Reducir la pendiente del terreno
 - Eliminar peso o material del terreno inclinado
 - Reducir la erosión mediante reforestación o cubrir con vegetación arbustiva
 - Consultar mapa de vulnerabilidad y riesgos
 - Consultar mapas topográficos, de tipos de suelos y geológicos
 - Identificar actividades humanas cercanas al proyecto (cultivos, poblados otros)
 - Evacuar el agua de forma rápida de cortes y rellenos
 - Disminuir la altura del corte mediante bermas o gradas

8.1.4 Riesgo en el Diseño del Drenaje Superficial

(Se relaciona con el Capítulo IV Inciso 4.2.3).

Uno de los elementos que causa mayores problemas a las carreteras y caminos es el agua, pues en general disminuye la resistencia de los suelos, presentándose fallas en terraplenes, cortes y superficies de rodamiento. Debido a lo anterior es obligado construir drenajes eficientes que alejen el agua en el menor tiempo del proyecto. El buen drenaje es el alma de las carreteras.

Los drenajes son obras artificiales que captan, conducen y alejan el agua de la carretera que le pueda causar problemas al conductor.

Las carreteras o caminos que no cuentan con revestimiento superficial impermeable y en los cuales los materiales están expuestos al ataque del agua requieren estudios cuidadosos del drenaje con la finalidad de que las obras cumplan con sus objetivos.

El agua al caer sobre la superficie del suelo tiene varios destinos, a) se infiltra en el suelo, b) se evapora, c) se une y forma pequeñas corrientes formando arroyos. Sin embargo cuando se construye una carretera, generalmente o casi siempre se corta el escurrimiento natural de los terrenos, por lo que se debe conducir el agua a los puntos que el diseñador decide alejando el agua lo más pronto posible, lo que obliga al diseño de obras de captación y conducción.

Se debe tomar en cuenta que con la construcción de una carretera se altera una cuenca y las condiciones del escurrimiento que la ruta atravesará lo cual puede causar problemas como erosiones o inundaciones.

El estudio del drenaje debe iniciarse desde la elección de la ruta, eligiéndose una zona que tenga menos problemas de escurrimiento. Las acciones de desmonte y corte de vegetación tienen incidencia pues alteran la rapidez de concentración del agua.

Algunos diseñadores aprovechan los “parte aguas” en donde el drenaje es mínimo, pues el agua que se infiltra en el suelo tiende a aflorar en los cortes y taludes pudiendo dañar la estabilidad de la carretera, por ello es importante cortar las corrientes o fluidos, conducirlos y alejarlos; lo mismo sucede con los mantos freáticos superficiales.

Cuando un camino corta una ladera, el drenaje aumenta aunque los drenajes y escurrideros estén bien definidos. Pero cuando el terreno es plano es difícil a veces definir el drenaje. Por ello es importante realizar un estudio detallado desde la etapa del anteproyecto y revisarlo en el proyecto definitivo.

8.1.4.1 Consideraciones Hidrológicas

Los factores que afectan el escurrimiento del agua son los siguientes:

1. Cantidad de precipitación
2. Tipo de precipitación
3. Tamaño de la cuenca
 - a. Forma de la cuenca
 - b. Pendiente superficial
 - c. Permeabilidad del suelo y rocas
 - d. Condiciones de saturación de los suelos
 - e. Cantidad y tipo de vegetación
 - f. Actividades antrópicas cercanas al proyecto

En la actualidad existen diferentes métodos hidrológicos para obtener el gasto que puede aportar una cuenca y se clasifican en. a) empíricos, b) estadísticos, c) lluvia – escurrimiento, d) simulaciones en computadoras.

El drenaje artificial se clasifica en artificial y subterráneo, dependiendo de si el agua escurre o no por las capas de la corteza terrestre. El drenaje superficial se considera longitudinal o transversal según su posición con respecto al eje de la carretera

Los técnicos también utilizan el término de Drenaje Longitudinal el cual tiene por objeto captar los escurrimientos para evitar que lleguen a la carretera o que permanezcan en él. Dentro de este tipo de drenaje se tienen:

1. Cunetas
2. Contracunetas
3. Bordillos
4. Canales de encauzamiento
5. Tragantes y cajas receptoras
6. Subdrenajes

El drenaje transversal da paso de un lado a otro de la carretera o retira el agua de la corona, dentro de estos se tienen:

1. Tubos

2. Bóvedas
3. Vados sifones
4. Bombeo de la corona
5. Puentes
6. Cajones
7. Losas

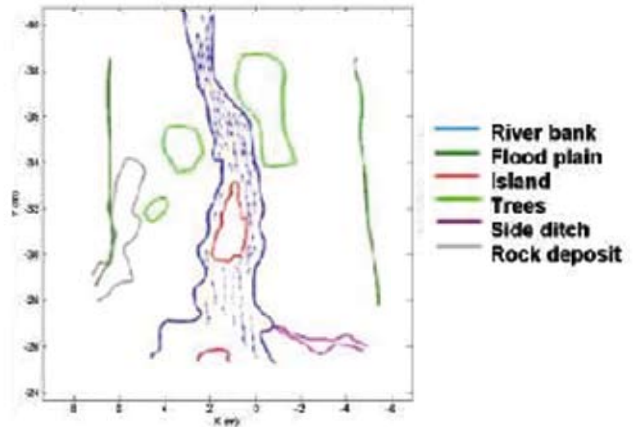
De conformidad con la dimensión del claro de la obra el drenaje transversal es clasificado en

- Mayor (luces superiores a los 6.00 metros incluye Puentes)
- Menor (alcantarillas)

8.1.4.2 Herramientas y Programas para Hidrología

En la actualidad se han desarrollado herramientas y programas de cómputo que simulan crecidas instantáneas, áreas de inundación, etc., a través de modelaciones que pueden constituirse en información de apoyo para el responsable del Diseño Geométrico.

También es accesible en los países de Centroamérica la adquisición de mapas de inundaciones, de precipitación, humedad, temperatura, además de datos estadísticos (históricos) de lluvias intensas y crecidas de ríos. por lo que es información que ya no pueden obtenerse o estimarse de manera empírica.



Dibujo en computadora de un río, extraído de una imagen de satélite

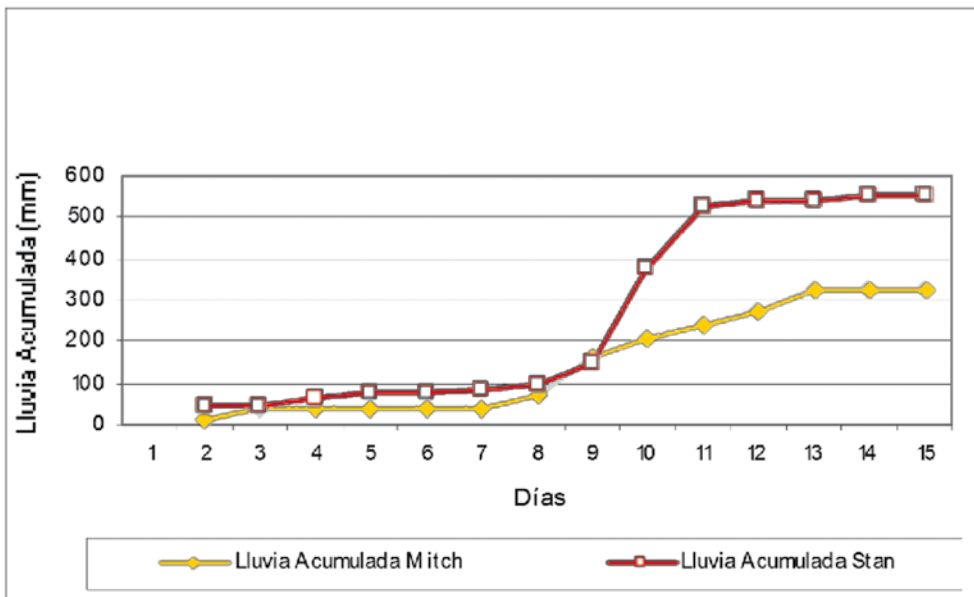







Grafico que compara la precipitación en el altiplano de Guatemala de dos eventos naturales; en 5 días de lluvia de la Tormenta Stan precipitó la cantidad de lluvia que se reporta como lluvias normales para un año.

EJEMPLOS DE INUNDACIONES Y POSIBLES SOLUCIONES		
<p>Inundación de la Ruta</p>  <p>Carretera destruida en una crecida por el Río Caldera, Panamá (encauzar el río)</p>	<p>Inundación de Autopista</p> <p>Autopista Palín – Escuintla, Ruta CA-09 Sur Guatemala, Tormenta Agatha, mayo 2010</p> 	<p>Cunetas y Pasos de Entrada</p>  <p>San Isidro, Costa Rica (internet)</p>
<p>Inundación</p>  <p>Ruta Departamental RD-02 Escuintla, desborde de ríos (dragado y bordas) Agatha, mayo 2010</p>	<p>Pistas a Diferentes alturas</p> <p>Ruta CA-09 Sur, el río paso sobre el puente de menor altura (tormenta Agatha 2010)</p> 	<p>Cuneta Revestida en Corona de Talud</p>  <p>Ruta CA-09 Norte, Guatemala</p>

SINTESIS

- **Área:** Riesgos Naturales y Antrópicos
- **Tema:** Drenaje Superficial
- **Riesgo:** Inundaciones
- **Riesgo Concatenado:** Suma de eventos lluvia + bruma o niebla
- **Vulnerabilidad:** Visibilidad
- **Peligro:** Pérdida de vidas humanas, lesiones, daños materiales, económicas
- **Desastre:** Daños a la infraestructura
- **Recomendaciones que el Equipo de Diseño debe tomar en cuenta para mitigar el riesgo de desastres:**
 - Mayor capacidad de los drenajes
 - Mayor pendiente del drenaje
 - Menor espaciamiento del drenaje
 - Obras de mitigación en áreas cercanas al proyecto (derecho de vía)
 - Disipadores de energía en caídas de agua
 - Estudio detallado de la cuenca
 - Historial de la cuenca y su tamaño
 - Mapas temáticos (lluvia, humedad, viento, temperatura y otros)
 - Evitar que volúmenes de agua considerables lleguen a la carretera
 - Contemplar las actividades que se desarrollan dentro de la cuenca
 - Considerar que en áreas urbanas generalmente los drenajes son combinados
 - Contemplar el mantenimiento y limpieza de las estructuras hidráulicas cada año

8.2 LA SEGURIDAD VIAL EN EL DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS

Tal como se indica en la introducción, el análisis para incrementar la seguridad vial se entenderá como: *“La prevención de accidentes de tránsito o la minimización de sus efectos especialmente para la vida y la salud de las personas cuando tuviera lugar un hecho no deseado de tránsito”*.

8.2.1 Riesgo en el uso de los Diferentes Tipos de Vehículos para el Diseño (Se relaciona con el Capítulo II Inciso 2.2).

La seguridad vial tiene como objetivo salvar vidas y consiste en la prevención de accidentes de tránsito o la minimización de sus efectos, especialmente para la vida y la salud de las personas, cuando tuviera lugar un hecho no deseado de tránsito. También se refiere a las tecnologías empleadas para dicho fin en cualquier vehículo de transporte terrestre (ómnibus, camión, automóvil, motocicleta y bicicleta).

Las normas reguladoras de tránsito y la responsabilidad de los usuarios de la vía pública componen el principal punto en la seguridad vial. Sin una organización por parte del estado y sin la moderación de las conductas humanas (particulares o colectivas) no es posible lograr un óptimo resultado.

Abuso de Capacidad del Vehículo



Familia de seis miembros se transportan en una motocicleta en la Ruta CA-09 Norte

Lavado de Camiones en Ruta



Actividades a orillas de la ruta pueden causar accidentes (CA-09 Norte)

La seguridad vial también evalúa y estudia la actitud de los peatones hacia los conductores y el equipamiento de las carreteras y vías terrestres

En otros países se han realizado estudios que relacionan el comportamiento del usuario con el vehículo que conduce y en los países de Centroamérica aun se observan medios de transporte, con características muy específicas y que no están incluidos dentro de la clasificación de vehículos que se presentan en la Cuadro 2.1 de este manual. Siendo un error pensar que las carreteras están hechas para todo tipo de vehículos, el diseñador de carreteras debe tomar en cuenta el vehículo que predomina en las diferentes localidades por donde pasará la carretera.

EJEMPLOS DE RIESGO POR USO DE DIFERENTES TIPOS DE VEHICULOS

Camión Cañero



Camión Cañero del Ingenio Pantaleón, Guatemala con 4 jaulas

Carreta de Bueyes



Carreta de bueyes en Ruta CA-01 Oriente, Guatemala

Los vehículos que están fuera de las normas generalmente son parte o producen accidentes debido a que se presentan en situaciones especiales; por ejemplo: tratar de adelantar o rebasar un camión cañero de más de dos plataformas o remolques en carreteras arteriales o colectoras. Una carretera tirada por semovientes que circula en una carretera en la madrugada o crepúsculo, es muy difícil de ver en virtud de que además carece de luz propia y se hace difícil establecer el tipo de maniobras que realizará, por lo que este tipo de transportes o vehículos se considera que producen riesgo de accidente para otros conductores.

SINTESIS	
-	Área: Vehículos
-	Tema: Seguridad Vial
-	Riesgo: Accidentes
-	Riesgo Concatenado: Accidentes múltiples y daños a terceros
-	Vulnerabilidad: Uso de vehículos no adecuados o medios de transporte
-	Peligro: Pérdida de Vidas Humanas, lesiones, daños materiales
-	Desastre: Daños a la infraestructura
-	Recomendaciones que el equipo de diseño debe tomar en cuenta para mitigar el riesgo a desastres:
	<ul style="list-style-type: none"> • Señalización • Equipamiento (pasarelas, paradas de bus, banquetas, otros) • Controles (semáforos) • Educación vial • Capacitación de los conductores

8.2.2 Riesgo por Contaminación de Ruido

(Se relaciona con el Capítulo II inciso 2.2.3)

El ruido se define como una distorsión sonora no armónica que causa incomodidad, malestar y daño al oído del ser humano. El ruido de un vehículo en circulación es el resultado de la superposición de los diversos ruidos provocados por el motor, los órganos de transmisión, los neumáticos, la carrocería etc.

Los siguientes datos fueron extraídos del decreto del 25 de octubre de 1962 de la legislación francesa que impone límites al ruido producido por los vehículos:

✓	Motocicletas	86 dB
✓	Vehículos con carga inferior a 1.3 t	83 dB
✓	Vehículos de transporte público	83 dB
✓	Vehículos con carga superior a 1.3 t	90 dB

La norma municipal de Localización Industrial (julio de 1982), de la ciudad de Guatemala establece:

✓	Susurro de calles muy tranquilas	20 dB
✓	Calles tranquilas	40 dB
✓	Calle de negocios	60 dB
✓	Calle con mucho tránsito	80 dB
✓	Bocina de carro (a 7.00 metros)	100 dB
✓	Motocicleta	100 dB
✓	Motor sin silenciador	110 – 130 dB

La normativa establece el umbral del límite de ruido en los 70 dB (decibeles); más alto produce daños al oído de las personas. Una característica del ruido es que disminuye con la distancia hasta un (1) decibel por metro de distancia de la fuente que lo genera en condiciones al aire libre aunque además se debe tomar en cuenta, la dirección del viento y su densidad.

El ruido que impera cerca de una calzada o calle raramente es producido por un solo vehículo. Con frecuencia se debe a la superposición de los ruidos provocados por numerosos vehículos distintos, repartidos sobre la calle o carretera con posiciones, velocidades y aceleraciones diversas; en consecuencia el ruido tiene un carácter estadístico.

Los niveles de ruido producidos por el tráfico de una carretera suelen ser estudiados desde dos puntos de vista:

- El primero, a través de modelos teóricos que permiten diagnosticar el nivel de ruido en base a las características de la carretera, el tráfico y el medio urbano.
- El segundo, mediante la toma de datos directamente en la carretera.

Está ampliamente admitido el uso del decibelio (dB) como medida de presión sonora sobre el oído. Esta unidad de medida puntual es corregida en su aplicación al estudio del impacto del ruido sobre un medio urbano. La unidad comúnmente utilizada es el Nivel Sonoro Continuo Equivalente (Leq). Esta magnitud es la más adecuada como escala de medida de la exposición prolongada al ruido variable y representa el nivel de ruido constante que, en el mismo intervalo de tiempo, contiene la misma energía total que el ruido fluctuante que se ha medido de manera puntual. También es frecuente encontrar en textos el término “Presión Sonora” (Watts)

El Nivel Sonoro Continuo Equivalente (Leq) es ponderado con la escala A, la que mejor toma en cuenta el comportamiento del oído humano a los diferentes espectros de frecuencia que constituyen el ruido.

El ruido producido por los vehículos tiene dos fuentes distintas, cuya importancia varía al variar la velocidad de circulación de los vehículos:

- El motor de explosión del vehículo, factor principal a bajas velocidades (por debajo de 80 km/h). Al ruido del motor cabe añadir otros ruidos producidos por los vehículos y cuyo carácter no es continuo, los frenazos, bocinas, etc.
- La rodadura del vehículo sobre la calzada. Este ruido empieza a ser importante en la circulación con velocidades por encima de 80 km/h y predominante, por encima de los 110 km/h.

8.2.2.1 Factores que influyen en las lesiones auditivas por ruido

En América Latina con una población aproximada a los 400 millones de habitantes y una variabilidad de las condiciones sanitarias en todo el continente, es muy difícil obtener una idea de la prevalencia de la pérdida de audición y sus consecuencias. Pero en la “Guía para el Ruido Comunitario”, de la OPS-OMS de 1999, se identifican los factores que influyen en las lesiones auditivas:

1. La intensidad del ruido (arriba de los 90 dB es nocivo)
2. La frecuencia del ruido (frecuencias altas superiores a los 100 ciclos)

3. La duración de la exposición
4. La susceptibilidad individual

Otros daños

- Efectos sobre el sueño
- Efectos sobre las funciones fisiológicas
- Efectos sobre la salud mental
- Efectos sobre el rendimiento
- Efectos sociales y sobre la conducta
- Efectos sobre el feto

EFFECTOS DEL RUIDO A NIVEL SISTEMICO	
Sistema afectado	Efecto
Sistema nervioso central	Hiperreflexia y Alteraciones
Sistema nervioso autónomo	Dilatación pupilar
Aparato cardiovascular	Alteraciones de frecuencia cardiaca e Hipertensión arterial (aguda)
Aparato digestivo	Alteración de la secreción gastrointestinal
Aparato respiratorio	Alteraciones del ritmo
Aparato reproductor - gestación	Alteraciones menstruales, bajo peso al nacer, Premadurez, riesgos auditivos en el feto
Sistema endocrino	Aumento del cortisol y otros efectos hormonales
Órgano de la visión	Estrechamiento del campo visual y problemas de acomodación
Aparato vestibular	Vértigo y nistagmus
Aparto fonatorio	Disfonías disfuncionales

Efectos del ruido sobre la salud. Dr. Ferran Tolosa (traducción) discurso inaugural del Curso Académico 2003 en la Real Academia de Medicina de las Islas Baleares, España.

8.2.2.2 Medidas para reducir el ruido.

Para conseguir la atenuación del nivel sonoro se debe actuar sobre varios frentes; sobre la propia fuente productora para que sea lo más silenciosa posible, sobre el medio transmisor, el aire y sobre el receptor, una edificación o espacio público, para amortiguar los efectos que no han podido ser limitados en su origen.

La actuación sobre la fuente emisora se dirige principalmente a mejorar la tecnología de los automóviles, de manera que el nivel de ruido emitido sea tolerable. Ya dentro del ámbito de proyecto, el nivel de ruido se reduce actuando sobre el firme de la carretera, consiguiéndose efectos muy positivos con los pavimentos porosos:

Una adecuada adherencia de las ruedas de los vehículos en la superficie de rodadura, colabora a la reducción del ruido sobre piso mojado. La superficie es acústicamente absorbente y no refleja el ruido emitido por los vehículos. La reducción del ruido de rodadura mediante actuaciones sobre los pavimentos puede oscilar entre 3 dB(A) para vehículos pesados y 4 dB(A) para vehículos ligeros.

El nivel de ruido también se reduce con un trazado óptimo de la carretera. Este debe evitar cambios de pendientes que produzcan fuertes aceleraciones y desaceleraciones, así como rampas de pendientes muy inclinadas e interrupciones por cruces, estrechamientos, informaciones confusas o cualquier otro tipo de obstáculo.

En el caso de vías arteriales, los problemas de ruido se ven agudizados por las detenciones en las intersecciones y una semaforización incorrecta que obligue a los vehículos a constantes paradas.

8.2.2.3 Medidas mitigadoras sobre el entorno de la carretera para reducir el ruido

Las principales medidas de mitigación que deberá tomar en cuenta el Diseñador de la Geometría de la Carretera para reducir el ruido de tráfico se dirigen a proteger el entorno de la carretera mediante la localización de obstáculos a la libre propagación de las ondas sonoras; se deben prever los espacios y áreas para su implementación. La variada gama de medidas pueden ser agrupadas de la siguiente forma:

- ⇒ **Vegetación:** El efecto de reducción de ruido que se consigue con la vegetación es más psicológico que real. Sólo con grandes masas y vegetación densa se consiguen resultados apreciables de amortiguación sonora, pero a pesar de sus limitaciones combinadas con otros medios de amortiguación de ruido puede presentar ventajas.

La vegetación aporta sus mejores cualidades paisajísticas al tiempo que su carácter difusor mientras que los otros medios aportan sus mejores capacidades de reflexión o absorción acústica.

- ⇒ **Diques de tierra:** Los diques de tierra se utilizan como barrera longitudinal de protección. En ellos, la altura pasa a ser su principal característica definitoria, obteniéndose resultados semejantes a los conseguidos con pantallas acústicas de gran masa y altura similar a la máxima del dique. La implantación de arbolado en las partes más bajas aminora el efecto de barrera visual y superpone los efectos ventajosos de ambas intervenciones. Otra solución mixta es la utilización conjunta de diques de tierra y muros, que permite soluciones en secciones con márgenes estrechos y no llegan a tener el impacto visual de las pantallas.

- ⇒ **Pantallas acústicas:** Las pantallas acústicas constituyen objetos diseñados especialmente para reducir los efectos del ruido allí donde la falta de espacio impida otros tratamientos más extensivos, basados en barreras de tierra y plantaciones. Las pantallas deben cumplir unas condiciones básicas en sus dimensiones, materiales y disposición en la carretera, para garantizar su eficacia.

- La distancia de la pantalla a la fuente emisora deberá ser la mínima, situándose a la mínima distancia de seguridad del borde de la plataforma o en continuidad con el muro de contención, si existe, en carreteras deprimidas.
- La altura de la pantalla quedará definida por la necesidad de dejar toda la edificación y espacios públicos a proteger en la sombra, no siendo eficaces alturas de pantalla inferiores a 1 m ni visual-

mente admisibles alturas superiores a 4 m. En caso de ser necesarias alturas superiores a 4 m, debe recurrirse a coberturas parciales que faciliten el mismo efecto con un menor ángulo de intrusión visual.

- La longitud necesaria para proteger una zona debe prolongarse, por ser una fuente lineal, entre 150 y 200 m antes y después de la zona, salvo que se recurra a formas convexas envolventes.
- La estanqueidad debe quedar garantizada, resolviendo las interrupciones con pantallas paralelas solapadas.
- Los extremos deben resolverse con formas graduales en cuña o escalonados que eviten efectos de incidencia brusca del viento sobre los vehículos o del ruido sobre la zona.
- Por situarse próximas a la calzada, las pantallas deben tener un buen comportamiento ante la posibilidad de choques. Por un lado, el papel de protección puede quedar resuelto con barreras previas o ser asumido por la propia pantalla si se le dota de características resistentes. En cualquier caso se debe garantizar que cuando pueda verse afectada por choque, no se romperá arrojando fragmentos peligrosos al entorno.
- La pantalla supone un obstáculo visual para el entorno y restringe las vistas hacia los márgenes de la carretera. El proyecto de instalación de pantallas acústicas deberá evaluar el valor de las posibles vistas laterales y hacer mínima esa intrusión, cuando así se justifique. De todos modos, es importante diseñar la pantalla de forma que tenga amenidad propia con colores, texturas distintas o jardineras, que eviten el efecto opaco y continuo.

8.2.2.4 Mapas Estratégicos de Ruido en Carreteras

Los mapas estratégicos de ruido deben ser algo más que un mapa de ruido en los que se incluyan los niveles acústicos en un mapa. Un Mapa Estratégico de Ruido es un “mapa diseñado para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona”.

Es decir el proceso de realización de los mapas está encaminado a conseguir una estimación de la afección acústica en una zona determinada y de los efectos reales que tiene la carretera sobre la ciudadanía.

Este proceso de realización de los mapas de ruido de carreteras será un proceso largo en la que están interviniendo diversos consultores y para el cual en algunos países europeos se ha creado un férreo Procedimiento de Control de Calidad para la ejecución de los mapas. El proceso de ejecución se ha dividido en dos Fases:

- **FASE A:** Mapas básicos a escala 1:25.000, realizados sobre toda la extensión de las carreteras que son objeto del estudio particular.
- **FASE B:** Mapas de detalle a escala 1:5.000, que se realiza en las zonas en las que se considera que es necesario un estudio más pormenorizado con una mejora de los datos introducidos.

En cada una de estas fases se generan unos mapas que permiten estimar el efecto acústico de la carretera a una ciudad o centro poblado:

- Mapas de nivel acústico, en los que se muestran las isófonas sobre las zonas pobladas o no en las situaciones de día (L_{día}), tarde (L_{tarde}), noche (L_{noche}) y en global (L_{total}).
- Mapas de exposición y afección, en los que se muestran los edificios, viviendas, personas, colegios y hospitales afectados por determinados niveles de inmisión en las fachadas de los edificios.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), trabajando en conjunto con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), ha recomendado valores límites de emisión de ruido de acuerdo al lugar y hora de exposición, basándose en los múltiples efectos que el ruido tiene sobre la salud.

Estos valores se muestran en la siguiente tabla, expresados en Leq dB(A), que es el nivel de presión sonora continuo equivalente para un periodo de 8 horas, en decibeles con ponderación A. En el caso de un ambiente laboral, el tiempo de exposición máximo no deberá exceder de 8 horas. Si el nivel sonoro es mayor que el recomendado, el tiempo de exposición disminuirá en función del incremento

VALORES RECOMENDADOS POR LA OMS	
Tipo de Ambiente	Leq dB(A)
Laboral	75
Doméstico, auditorio, aula	45
Dormitorio	35
Exterior diurno	55
Exterior nocturno	45
Fuente: Organización Panamericana de la Salud (1983) Criterios de salud ambiental 12: El Ruido. Organización Mundial de la Salud, México.	

La Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo –OCDE- (Francia), teniendo en cuenta el nivel actual de conocimientos técnicos y las implicaciones económicas de las políticas contra el ruido originado por la operación del transporte en las carreteras, propone límites máximos aceptables para carreteras, alcanzables a mediano plazo, es decir, en un lapso de 5 a 10 años.

Analizando el cuadro de Valores Recomendados, se identifica el valor de 70 dB(A) como el valor máximo aceptable para el horario diurno en una carretera ya construida, siendo deseables valores de hasta 50 dB(A) en carreteras nuevas durante la noche.

Valores Recomendados por OCDE

Niveles aceptables propuestos por la OCDE (Leq, Límites en fachadas de zonas habitacionales)

Leq (día)		Leq (noche)	
Carretera nueva	Carretera existente	Carretera nueva	Carretera existente
60+/-5 dB(A)	65+/-5 dB(A)	50-55 dB(A)	55-60 dB(A)

Fuente: Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Dirección General de Carreteras (1995) Reducción del ruido en el entorno de las carreteras. OCDE, Francia.

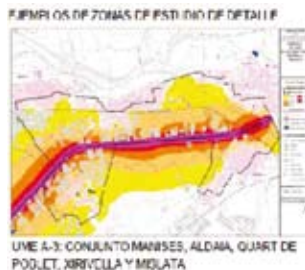
EJEMPLOS DE MAPAS DE RUIDO EN CARRETERAS

Mapa Regional de Ruidos de Cataluña



Juan Carlos Sierra, imagen formato shape de ICC

Mapa Local de Niveles Sonoros (poblado)



Lurdes Cabello Pérez STEYCO –Valencia España

Mapa de Isofonas



Programa CEDEX Dirección de Carreteras España

Mapa de Exposición de Fachadas



Programa CEDEX Dirección de Carreteras España

EJEMPLOS DE MEDIDAS DE MITIGACION PARA EL RUIDO

Carretera en Trinchera



Honduras

Vegetación Lateral



Ruta CA-10 Guatemala
(Barreras Vegetales)

La geometría básica de una carretera, como emisora de ruido, es la de una fuente lineal con propagación cilíndrica y, puede alcanzar una atenuación de 3 dB por duplicación de distancia, sin considerar reflexiones ni obstáculos. Por otra parte, la absorción del aire produce una atenuación de 0.7 a 0.8 dB cada 100 m. En una carretera, el tráfico de vehículos livianos y pesados es considerado como fuentes lineales de ruido con una superficie de impacto paralela al recorrido. El ruido transmitido puede estar relacionado con los parámetros del tráfico y las propiedades acústicas de la superficie. Los estudios deben incluir un primer juicio de la afección acústica de la carretera en la zona, así como un primer acercamiento a lo que podrían ser los planes de acción a abordar en el futuro.

SINTESIS

- **Área:** Medio Ambiente
- **Tema:** Contaminación por ruido
- **Riesgo Antrópico:** Daños al oído humano
- **Riesgo Concatenado:** Daños a una población o grupo social
- **Vulnerabilidad:** Daños a la Salud
- **Peligro:** Pérdida de audición, lesiones, daños
- **Desastre:** Daños a la infraestructura
- **Recomendaciones que el Equipo de Diseño debe tomar en cuenta:**
 - Obras Mitigadoras (pantallas, vegetación, trinchera, otro)
 - Cambiar trazo de la carretera
 - Señalización preventiva vertical
 - Medición en tramos cercanos a las áreas urbanas de forma periódica con
 - Identificación de fuentes fijas y móviles (tapaderas de alcantarillas no ajustadas)
 - Establecer zonificaciones (habitationales, escuelas, hospitales y otros)

8.2.3 Riesgo en el Comportamiento de los Conductores

(Se relaciona con el capítulo II inciso 2.3)

El Diseñador de Geometría de Carreteras se debe informar sobre lo amplio del tema y que es llevado a niveles de investigación dando como resultado documentos denominados “**Estudios de Comportamiento del Usuario**” los cuales tienen como objetivo el de relacionar el comportamiento del usuario con el vehículo que conduce; y su finalidad es la de obtener evaluaciones objetivas de la efectividad de los dispositivos de control de tránsito.

Incluyen las evaluaciones de manera cuantitativa sobre los factores de obediencia de conductores y peatones, tanto en lugares específicos como en zonas delimitadas a priori; estos estudios se utilizan como base de comparación en la solución de problemas de un lugar en particular.

Cuando se han ejecutado estudios de comportamiento “antes y después” al llevar a cabo medidas de mejoramiento tendientes a aumentar la eficacia de los dispositivos de control; se obtienen resultados en los que destacan:

- Efectos de la coacción
- La educación
- El mejoramiento de la visibilidad mediante la relocalización del dispositivo
- La iluminación adecuada
- Otros.

También se usan los estudios de comportamiento en la investigación de la relación de la falta de obediencia con respecto al **riesgo de accidente** en un lugar con alta frecuencia de accidentes. Por lo que puede ser considerado dentro del tema de Seguridad Vial, pero tienen como objetivo el de disminuir el número de accidentes de tránsito posterior a la toma de decisiones que se basan en la aplicación de instrumentos y registros estadísticos.

8.2.3.1 Lugar de aplicación del estudio

La Asociación Mexicana de Caminos, recomienda que los estudios de comportamiento, deben hacerse en los lugares con alta frecuencia de accidentes, así como en otros lugares “problema” en los cuales están en uso los dispositivos de control del cual se desea comprobar su efectividad. También se hacen en otros lugares adicionales en los que se esté empleando el mismo tipo de dispositivo de control. Estos lugares adicionales deben distribuirse en toda la ciudad o puntos de la carretera, para obtener una amplia zona como base de comparación.

8.2.3.2 Horario y duración del estudio

Los estudios de comportamiento deben hacerse a la hora del día y de la semana en la cual la efectividad de un determinado dispositivo de control está en duda. No deberán predominar en el estudio situaciones excepcionales que puedan influir en la conducta tales como: condiciones de tráfico poco comunes, condiciones climáticas y otras.

El mínimo de tiempo debe ser de una hora con una observación no menor de 50 vehículos o peatones. Si el tráfico es alto y se presenta dificultad en la realización del aforo se puede obtener una muestra

8.2.3.3 Resultados

Se obtiene un resultado del porcentaje de obediencia a cualquier dispositivo de control de tránsito con base en la todos los lugares estudiados. El resultado puede obtenerse al promediar los porcentajes de cada uno de los lugares estudiados

8.2.3.4 Aplicaciones

Los estudios tienen diferentes aplicaciones, entre los más importantes se encuentran los siguientes:

1. Es una ayuda para el Diseñador de la Geometría de Carreteras para identificar los puntos de conflicto en los que se debe resolver mediante pasos a nivel o desnivel, rotondas, semáforos u otros.
2. Para mejorar la efectividad de los dispositivos de control en los sitios estudiados.
3. Justificar la supresión de dispositivos de control de tránsito que resultan inefectivos
4. Mediante el análisis de la desobediencia se puede establecer que un dispositivo está mal ubicado o que no es visible
5. Se puede establecer que se requiere de una campaña de educación vial
6. Puede apoyar a las estadísticas de accidentes de un sitio determinado estudiado.

Otros estudios que se recomienda deban realizarse de forma paralela o secuencial con el Estudio de Comportamiento del Usuario son:

1. Estudio de accidentes de tránsito
2. Estudio de volúmenes de tránsito
3. Estudios de velocidad
 - Estudio de velocidad de punto
 - Estudio de tiempo de recorrido
4. Estudios de origen y destino
5. Estudios de transporte colectivo
6. Estudio de estacionamiento (zonas urbanas)
7. Estudios sobre iluminación de calles
8. Estado de la iluminación del vehículo
9. Velocidad del tráfico en el horario nocturno

EJEMPLOS DE RIESGO POR EL COMPORTAMIENTO DE LOS USUARIOS

Pérdidas Económicas y de Vidas



Foto: Internet, fotos accidentes en carreteras
Irrespeto a la autoridad, o abuso de la autoridad

Algunos Accidentes dañan la Carretera



Foto: Internet accidentes en carreteras
Carretera entre el Progreso y Tela, 13 Muertos (4/10/10) Honduras

SINTESIS

- **Área:** Personas
- **Tema:** Seguridad Vial
- **Riesgo Antrópico:** Accidentes de tránsito
- **Riesgo Concatenado:** Accidentes múltiples y daños a terceros
- **Vulnerabilidad:** Física y social
- **Peligro:** Pérdida de Vidas Humanas, lesiones, daños materiales
- **Desastre:** Daños a la infraestructura
- **Recomendaciones que el Equipo de Diseño debe tomar en cuenta**
 - Mejora de elementos de control,
 - Capacitación,
 - Educación vial, otros
 - Mejorar señalización
 - Restricción de velocidades en algunas áreas (límites de velocidad)

8.2.4 Riesgo por Disminución de Visibilidad

(Se relaciona con el Capítulo III inciso 3.1)

Una de las características más importantes que debe ofrecer un proyecto de carreteras al conductor de un vehículo, es la habilidad y posibilidad de ver hacia delante de tal manera que le permita realizar una circulación segura y eficiente. La distancia de visibilidad se define como: *“La longitud continua de la carretera que es visible hacia adelante por parte del conductor de un vehículo que circula por ella”*.

Esta distancia de visibilidad deberá tener la suficiente longitud, que le permita a cualquier conductor desarrollar la velocidad de diseño y a su vez controlar la velocidad de operación de sus vehículos ante la realización de ciertas maniobras en la carretera, como puede ser la presencia inesperada de un obstáculo sobre su carril

de circulación, o el adelantamiento de un vehículo que circula a velocidad menor en carretera de dos carriles.

8.2.4.1 Riesgo por disminución de visibilidad de adelantamiento

Se puede decir que un tramo de una carretera tiene distancia de visibilidad cuando la distancia de visibilidad en ese tramo es suficiente para que en condiciones de seguridad. El conductor de un vehículo puede adelantar a otro que circula en el mismo carril a una velocidad menor, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en el sentido contrario y se haga visible al iniciarse la maniobra de adelantamiento o rebase. La distancia de adelantamiento generalmente se considera en carreteras de dos carriles, con tránsito en dos direcciones, donde el adelantamiento se realiza en carril del sentido opuesto.

Por otra parte, en una carretera con doble sentido de circulación, la seguridad impone que dos vehículos que viajen en sentidos contrarios deban distinguirse a tiempo, para si se encuentra en el mismo carril (lo cual sucede cuando uno de ellos trata de adelantar a otro que circula a menor velocidad), puedan maniobrar para que no se produzca colisión entre ellos. Al proyectar una carretera hay entonces que proveer estos dos tipos de visibilidad, los cuales se designan con los nombres de:

Visibilidad de parada

- Visibilidad de parada
- Visibilidad de adelantamiento

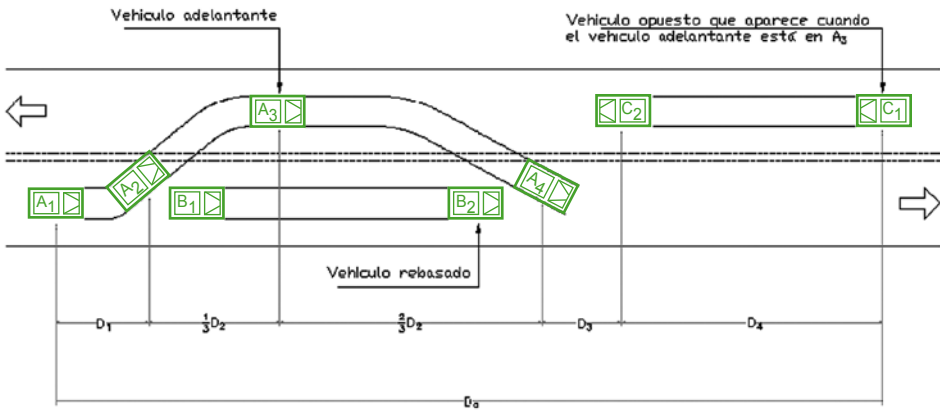
“Entendiéndose por visibilidad la longitud continua de carretera que es visible para el conductor que transita por ella”

Al establecer los radios y longitudes mínimas de las curvas de enlace (horizontales o verticales) de los alineamientos rectos de una carretera, es requisito esencial obtener una visibilidad satisfactoria, ya que la longitud del tramo de carretera que sea visible al conductor es la mayor importante en la seguridad y facilidad de operación.

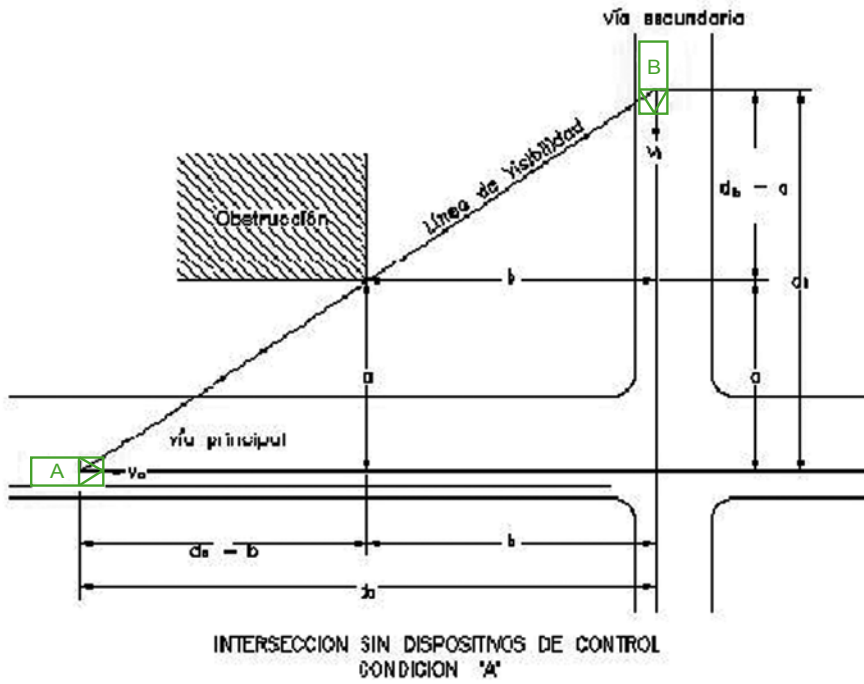
A veces ocurren choques entre vehículos que circulan en el mismo sentido, o entre un vehículo en marcha y otro parado o cualquier obstáculo que se encuentre en la vía. Con el fin de evitar este tipo accidentes, es necesario disponer de suficiente visibilidad en la vía; ello permitirá detener el vehículo cuando la aparición de un obstáculo así lo aconseje.

**** Nota:** Se recomienda consultar el Cuadro 3.3, página 3-5 del Capítulo III del Manual de Diseño Geométrico

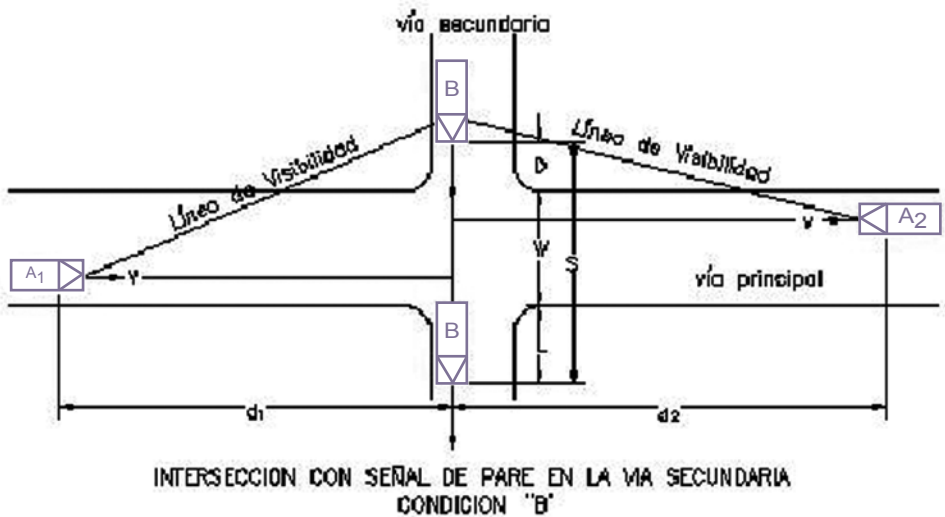
A efectos de aplicación de un criterio ya comprobado, se debe estimar que la distancia mínima de visibilidad de adelantamiento de acuerdo a la siguiente figura se determinará como la suma de cuatro distancias (longitud recorrida por el auto) donde: D_x = distancia de visibilidad de adelantamiento en metros.



Fuente de la gráfica: internet



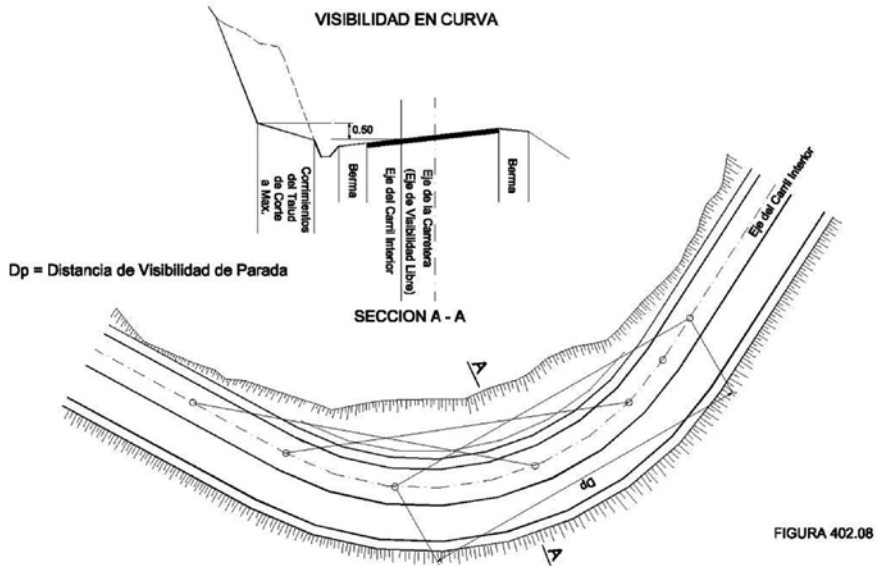
Fuente de la gráfica: internet



Fuente de la gráfica: internet

**** Nota:**

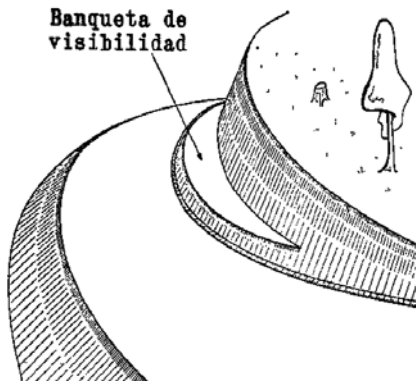
- Ver Figura 5.15 "Triángulos de Visibilidad" página 5-51 del Capítulo V y Cuadro 5.11 "Distancia de Visibilidad para Giros a Derecha e Izquierda en Intersecciones", página 5.53 del Capítulo V
- En los lugares donde la visibilidad es obstaculizada por edificaciones u otros elementos, como son los cruces o esquinas el apoyo de la señalización es importante para disminuir el riesgo de accidentes, como se muestra en los gráficos anteriores.
- Se recomienda consultar el Cuadro 3.1, página 3-3 del Capítulo III del Manual de Diseño Geométrico



Fuente de la gráfica internet

EJEMPLOS DE RIESGO POR DIMINUCIÓN DE VISIBILIDAD

Visibilidad en Curva



Mitigación de visibilidad en bordo o talud

Visibilidad, Curvas y Pendientes



Carretera de Panamá, (Internet), se debe apoyar con señalización, curvas horizontales cerradas

EJEMPLOS DE RIESGO POR DIMINUCIÓN DE VISIBILIDAD

Humo por quemas de Caña de Azúcar



Costa sur de Guatemala, humo, cenizas y calor pueden tener efecto sobre la conducción cuando los cultivos están muy cerca de la ruta

Visibilidad - Neblina



Cerro de la Muerte Costa Rica, carretera rumbo a Panamá 9/11/10 (internet), se debe apoyar con señalización e iluminación

Visibilidad – Polvo y Ceniza



Polvo y ceniza, Volcán Pacaya, Guatemala mayo 2010 + Tormenta Agatha, los finos que levanta el viento afectan la visibilidad, azolvan alcantarillas y cunetas

Actividad Inesperada



Conducción de Ganado en Honduras, el responsable de los vacunos debe colocar banderolas en carretera.

8.2.4.2 Riesgo de Conducción ante poca Visibilidad

La pérdida de la visibilidad en una persona puede ser instantánea o paulatina; sin embargo se presentan circunstancias de una pérdida temporal; se por el ingreso de un objeto al ojo del conductor o de factores que disminuyen la distancia de visibilidad a muy pocos metros dentro de estos tenemos:

1. Polvo o arena arrastrada por el viento hacia la carretera (zonas desérticas)
2. Bancos de Neblina (zonas montañosas)
3. Lluvias intensas (zonas tropicales)
4. Humo de otro vehículo
5. Humo por quema cerca de la ruta (basura, vegetación, incendios, otros)

6. Reflejo de luz intensa
7. Deslumbramiento por parte de otro automóvil que circula en sentido contrario
8. Ceniza de origen volcánico
9. Otros

SINTESIS

- **Área:** Conductores
- **Tema:** Seguridad Vial
- **Riesgo Antrópico:** Accidentes de tránsito
- **Riesgo Concatenado:** Accidentes múltiples y daños a terceros
- **Vulnerabilidad:** Uso de vehículos no adecuados o medios de transporte
- **Peligro:** Pérdida de Vidas Humanas, lesiones, daños materiales
- **Desastre:** Daños a la infraestructura
- **Recomendaciones que el Equipo de Diseño debe tomar en cuenta para mitigar el riesgo:**
 - Identificación de actividades humanas y uso del suelo
 - Identificación de áreas susceptible de riesgo por disminución de visibilidad
 - Mejora de elementos de control,
 - Señalización,
 - Capacitación,
 - Otros

8.2.5 Riesgo por Distractores de Propagando y Anuncios en Carreteras (Se relaciona con el Capítulo III inciso 3.7)

Las vallas publicitarias y propaganda en carreteras en la mayoría de los casos, es autorizada por la autoridad local pues representa ingresos a las arcas municipales por la autorización y colocación de los anuncios. El problema consiste en que no se aplica la normativa de tamaño, distancia, colores, materiales y otros que se indican en los reglamentos pero en algunos casos no existen dichos reglamentos. Además al no tenerse control en el lugar donde se colocará la valla publicitaria es frecuente que se cubra o tape la señalización vertical de las carreteras.

La publicidad en carreteras ha provocado muchos accidentes. Actualmente se utilizan vallas publicitarias “electrónicas” (pantallas) fijas y móviles, las cuales son más llamativas por los cambios de imágenes constantes que producen; presentan la versatilidad de cambiar de patrocinador así como del lugar donde se coloca, al no existir normativa sobre este tipo de propaganda se dificulta su control.

Es importante identificar tramos de carreteras donde pueda colocarse la publicidad sin causar distracción o percances y que permita observar el paisaje sin interrumpirlo, para ello se debe aplicar la normativa y de preferencia la señalización se debe colocar fuera del derecho de vía; además identificar las rutas y carreteras escénicas en donde se prohíba colocar la publicidad.

EJEMPLOS DE DISTRACTORES EN RUTAS

Vallas en Laterales y Puentes



Dentro del Derecho de Vía

Vallas en Autopista



Vallas fuera del derecho de vía

Vallas colocadas en lugares Altos



Dentro del Derecho de Vía

Valla Tipo Silueta



Fuera del derecho de Vía

SINTESIS

- **Área:** Conductores
- **Tema:** Seguridad Vial
- **Riesgo Antrópico:** Accidentes de tránsito
- **Riesgo Concatenado:** Accidentes múltiples y daños a terceros
- **Vulnerabilidad:** Distractores en la conducción
- **Peligro:** Pérdida de Vidas Humanas, lesiones, daños materiales
- **Desastre:** Daños a la infraestructura
- **Recomendaciones que el Equipo de Diseño debe tomar en cuenta para mitigar el riesgo:**
 - Aplicar normativa sobre vallas y anuncios en carreteras
 - Alejar vallas y anuncios de la carretera
 - Establecer rutas panorámicas
 - Tomar en cuenta la dirección del viento
 - Supervisar y revisar la estructura portantes de las vallas y anuncios
 - Normar uso de colores
 - Evitar reflejos de los materiales

8.2.6 Disminución de accidentes con el Diseño de Ciclovías

(Se relaciona con el Capítulo IV inciso 4.8)

Las ciclovías son elementos que ayudan a disminuir los riesgos de accidentes, principalmente cerca de los centros poblados o de las fuentes de trabajo, permite la circulación de bicicletas en dos sentidos. Se ilustran algunos ejemplos de ciclovías existentes, algunas con adaptaciones aceptables como la del puente o la del paso por la parte de atrás de la parada de bus.

EJEMPLOS DE CICLOVIAS	
<p>Ciclovía en Ambos Lados</p>  <p>Carretera de Nicaragua, permite desplazamiento de bicicletas en los dos lados de la ruta, pero se ocupan los hombros en ambos lados</p>	<p>Hombro + Ciclovía</p>  <p>Carretera a Puerto Quetzal, permite que vehículos se puedan a orillar</p>
<p>Solución en Puente</p>  <p>Puente en la entrada a Puerto Quetzal, solución creativa, pero el puente se debe diseñar con la ciclovía</p>	<p>Solución en Parada de Bus</p>  <p>Carretera a Puerto de Iztapa, evita se interrumpa la conducción en bicicleta en paradas de bus</p>

SINTESIS





- **Área:** Personas
- **Tema:** Seguridad Vial
- **Riesgo Antrópico:** Accidentes de tránsito
- **Riesgo Concatenado:** Accidentes múltiples y daños a terceros
- **Vulnerabilidad:** Vehículos livianos (bicicletas)
- **Peligro:** Pérdida de Vidas Humanas, lesiones, daños materiales
- **Recomendaciones que el Equipo de Diseño debe tomar en cuenta:** Establecer los espacios para la ciclovía dejando los hombros o bermas de la carretera libres. Evitar cruce de circulaciones (peatonal y autos), tomar en cuenta a discapacitados, capacitación, otros.

8.2.7 Riesgo de Accidente en Intersecciones a Nivel y Retornos

(Se relaciona con el Capítulo V)

Los riesgos de accidente en las intersecciones a nivel y en retornos, se deben principalmente a la poca visibilidad, falta de señalización e imprudencia del los conductores, conforme el parque automotor va creciendo algunas intersecciones se vuelven insuficientes, requiriendo para ello una intervención técnica que soluciones los principales conflictos y ayude a resolver el flujo vehicular lo mejor posible.

En las fotografías se presentan algunas situaciones que aparentemente solo se resuelven por medio de pasos a desnivel, pero que conlleva una inversión alta, pero para mientras continua produciendo pérdidas materiales y humanas, con accidentes muy violentos, también se presentan soluciones buenas

EJEMPLOS DE INTERSECCIONES Y RETORNOS	
<p>Intersección en Curva</p>  <p>Intersección de Autopista con entrada a poblado en curva, y contravía en una parte. Ruta CA-02 Occidente entrada a Siquinalá, con alto riesgo de accidente</p>	<p>Retorno en "U"</p>  <p>Retorno en "U" con obstrucción de visión por columna de pasarela, Ruta CA-09 Norte</p>
<p>Abertura sin Canalización</p>  <p>Intersección en "T" Ruta RD-19 con Ruta CA-09 Norte sin señalización</p>	<p>Islas con Bordillo</p>  <p>Islas con bordillos Ruta RD-10 entrada a poblado de Zacapa, requiere de iluminación nocturna y señalización, intersección en "T"</p>

SINTESIS

- **Área:** Personas
- **Tema:** Seguridad Vial
- **Riesgo Antrópico:** Accidentes de tránsito
- **Riesgo Concatenado:** Accidentes múltiples y daños a terceros
- **Vulnerabilidad:** Retornos e intersecciones a nivel
- **Peligro:** Pérdida de vidas humanas, lesiones, daños materiales
- **Recomendaciones que el Equipo de Diseño debe tomar en cuenta para mitigar el riesgo:**
 - Señalización vertical y horizontal (pintura en pista)
 - Establecimiento de controles (semáforos)
 - Educación vial
 - Capacitación

8.2.8 Seguridad Vial en Pasos a Desnivel

(Se relaciona con el Capítulo VI)

Para no interrumpir el flujo de tráfico con otras rutas se hace necesario el diseño y construcción de pasos a desnivel sean estos por arriba o por abajo solucionando el problema de dos o más ejes de intersección; también se pueden presentar intersecciones con otros sistemas de transporte como los ferrocarriles o pasos peatonales.

La decisión para la construcción de estos elementos es variada pero todos se enfocan a la solución de disminuir los flujos viales, en los que deberá predominar la Seguridad Vial.

Algunos problemas se presentan cuando los costos del proyecto no contemplan cambios a infraestructura existente, la cual puede ser muy antigua y obsoleta, se presentan algunas ilustraciones para que el Diseñador de la Geometría de la Carretera los tome en consideración

EJEMPLOS DE PROBLEMAS EN PASOS A DESNIVEL

Estructura Existente Antigua



Puente de Ferrocarril, Los Molinos en Costa Rica 28/06/07 Carretera Villa Bonita (Foto Internet)

Inundación en Paso a Desnivel



Paso a Desnivel La Chaveña en El Salvador 13/07/10 (Foto Salvador Castro)

EJEMPLOS DE PROBLEMAS Y SOLUCIONES EN PASOS A DESNIVEL

Mala Transición en Entrada



Paso a Desnivel Santa Rosalía, Guatemala, (2010) con problemas en rampa de entrada

Mala Transición en Salida



Paso a Desnivel Santa Rosalía, Guatemala, (2010) con problemas en rampa de salida

Iluminación Nocturna



Paso a Desnivel en San Salvador, iluminado

Señalización



Intersección CA-01 con Ruta RD-10 departamental Sacatepéquez

Rampas de entrada y salida



Distribuidor vial en Ruta a Caldera, Costa Rica (foto Internet)

Barandas



Paso a Desnivel en Avenida Sur. Colonia Montserrat (foto Lisset moreno)

SINTESIS

- **Área:** Conductores
- **Tema:** Seguridad Vial
- **Riesgo Antrópico:** Accidentes de tránsito
- **Riesgo Concatenado:** Accidentes múltiples y daños a terceros
- **Vulnerabilidad:** Pasos a desnivel
- **Peligro:** Pérdida de vidas humanas, lesiones, daños materiales
- **Recomendaciones que el Equipo de Diseño debe tomar en cuenta para mitigar el riesgo:**
 - Indicar Altura de los puentes
 - Señalización Horizontal (pintura en pista)
 - Señalización Vertical
 - Controles (semáforos de precaución – luz amarilla)
 - Equipamiento (barandas, banquetas, otros)

8.2.9 Seguridad Vial en Autopistas

(Se relaciona con el Capítulo VII)

En virtud de que las Autopistas tienen como función principal la movilidad, los flujos de automóviles y las velocidades de desplazamiento son mayores en tal sentido la señalización juega un papel importante ya que con anticipación se debe informar al conductor sobre que se presentarán más adelante.

Debido a la velocidad de conducción los riesgos por accidentes son mayores, por lo que las condiciones ambientales locales deben analizarse a detalle para que la toma de decisiones sea lo más acertada posible tanto en el diseño geométrico como en las obras de apoyo de ingeniería civil o infraestructura. (Corresponde al Cap. VII)

EJEMPLOS DEL EQUIPAMIENTO DE AUTOPISTAS

Rampa de Frenado



Rapa de Emergencia CA-09
Sur Guatemala

Casetas de Cobro



Casetas de Cobro en CA-09
Sur Guatemala

EJEMPLOS DEL EQUIPAMIENTO DE AUTOPISTAS

Competencias Deportivas



Prácticas Deportivas en autopistas constituyen un riesgo para los conductores , El Salvador en autopista

Carril Auxiliar



Carril para ingreso a Centros Comerciales, San Salvador Ruta CA-01

SINTESIS

- **Área:** Conductores
- **Tema:** Seguridad Vial
- **Riesgo Antrópico:** Accidentes de tránsito
- **Riesgo Concatenado:** Accidentes múltiples y daños a terceros
- **Vulnerabilidad:** Equipamiento de las autopistas
- **Peligro:** Pérdida de vidas humanas, lesiones, daños materiales
- **Recomendaciones que el Equipo de Diseño debe tomar en cuenta para mitigar el riesgo:**
 - Señalización Horizontal (pintura en pista)
 - Señalización Vertical
 - Controles (semáforos de precaución – luz amarilla)
 - No permitir ingresos laterales
 - Construir puentes y pasarelas
 - No aprobar paradas de autobús
 - Equipamientos (garitas de cobro, rampas de emergencia, otros)

8.3 CASOS ESPECIALES EN EL DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS INCLUYE LA GESTION DE RIESGO Y SEGURIDAD VIAL

Como se indica en la introducción se presentan ejemplos de carreteras con diseños especiales debido a situaciones específicas.

8.3.1 Diseño de Carreteras Especiales

En los países de Centroamérica, se presentan algunas situaciones particulares en el diseño de carreteras; estas generalmente se encuentran en áreas protegidas, sitios arqueológicos, lugares de interés turístico y centros históricos. En ellas se deberá tomar en cuenta:

1. Velocidades controladas
2. Señalización especial
3. Uso de transporte escolar
4. Uso de vehículo familiar
5. Evitar ruido (efectos sobre la fauna)
6. Señalización para casos de emergencia
7. Circulación de vehículos livianos y Peatones
8. Restricción a transporte pesado
9. Normativa específica de los parques

EJEMPLOS DE CASOS ESPECIALES

Árbol Nacional



En Guatemala, no se puede cortar el árbol nacional

Fauna en Carretera



Áreas Protegidas de Costa Rica

Ruta Costanera



Panamá, ruta a orilla de mar comunica de plataforma continental con algunas islas

Entrada a Parque Nacional



Parque Nacional Volcán Masaya, Nicaragua

SINTESIS

- **Área:** Riesgos Naturales y Seguridad Vial
- **Tema:** Carreteras Especiales
- **Riesgo:** Deslizamiento
- **Riesgo Concatenado:** Suma de eventos lluvia + sismos
- **Vulnerabilidad:** Física y social
- **Peligro:** Pérdida de vidas humanas, lesiones, daños materiales, económicas
- **Desastre:** Daños a la infraestructura
- **Recomendaciones que el equipo de diseño debe tomar en cuenta para mitigar el riesgo:**
 - Elaborar normas de comportamiento y uso de las diferentes áreas
 - Capacitación en temas de seguridad vial y emergencias
 - Establecer control de ingresos y salidas
 - Señalización vertical y horizontal para dirigir grupos a lugares o sitios seguros
 - Establecer rutas de evacuación
 - Elaborar mapa de vulnerabilidad y riesgos
 - Consultar mapas topográficos, de tipos de suelos y geológicos
 - Identificar actividades humanas cercanas al proyecto (cultivos, poblados otros)
 - Ubicar lugares de apoyo a emergencias (hospitales, clínicas, bomberos, otros)
 - Control y mitigación del ruido
 - Autobuses escolares
 - Visita de extranjeros (turistas)

8.3.2 Obras de Infraestructura existentes o por construir

La compatibilidad de la ruta con otras actividades es muy importante, pero en algunos casos existe o se diseña nueva infraestructura que pone en peligro el uso de las actividades establecidas para las carreteras. Deberá prevalecer en lo posible el respeto al derecho de vía.

Canal de Riego junto a Ruta



Canal de Riego "La Fragua" Guatemala, la altura o nivel del canal es superior al de la Carretera, localizado a 5,00 metros de la Ruta CA-10

Sub Estación Electrica



Sub estación de Electricidad + parada de bus dentro del Derecho de vía, Ruta CA-10, Zacapa, la carretera queda sin hombros

Básculas



Derivación con Listón de Concreto instalación para el pesado de camiones, ubicación dentro del derecho de vía

Oleoducto



Franja Transversal del Norte, Municipio de Raxujá, Guatemala 477 Kms. Tiene la longitud de tubería de 12" superficial a 3.00 mts de la ruta

8.3.3 Cambio de uso por disposición local o nacional

Algunos tramos carreteros o vías pueden ser sujetos a cambio por el beneficio a una comunidad o población; estos pueden ser de tipo temporal o permanente, sucede generalmente en carreteras existentes

- **Temporales:** Desfogar congestionamientos (accidentes, desfiles, manifestaciones y otros), retorno de vacacionistas, reparaciones en ruta, pérdida de alguna infraestructura (puente).
- **Definitivos:** Cambio de vía (dirección), establecer carriles exclusivos, construcción o cambios de línea (o parte de un tramo).

Cambios Definitivos o Temporales en Rutas	
Retorno de Vacacionistas  <p>Cota Rica se aumenta en un carril la vía de retorno a la ciudad</p>	Carril Exclusivo  <p>Bus articulado en zona urbana, Guatemala</p>

SINTESIS
<ul style="list-style-type: none">- Área: Seguridad vial- Tema: Cambios por disposición local o nacional- Riesgo: Cambios, modificaciones y restricciones- Riesgo Concatenado: Suma de eventos accidentes viales + condiciones ambientales- Vulnerabilidad: Física y social- Peligro: Pérdida de vidas humanas, lesiones, daños materiales, económicas- Desastre: Daños a la infraestructura- Recomendaciones que el Equipo de Diseño debe tomar en cuenta para mitigar el riesgo:<ul style="list-style-type: none">• Diseños Específicos• Contratación o consulta a especialista del tema• Señalización específica• Contemplar situaciones de emergencia• Restricciones en vehículos pesados• Velocidades controladas• Otros

8.3.4 Diseño de Carreteras en Zonas Sísmicas

Un sismo, también llamado terremoto o temblor de tierra¹ Las formas más comunes de medir un sismo son por medio de

- Escalas de magnitud
 - La Escala magnitud de onda superficial (M_s).
 - La Escala magnitud de las ondas de cuerpo (M_b).
 - La Escala sismológica de Richter, también conocida como escala de magnitud local (M_L), es una escala logarítmica arbitraria que asigna un número para cuantificar el efecto de un terremoto.
 - La Escala sismológica de magnitud de momento es una escala logarítmica usada para medir y comparar sismos. Está basada en la medición de la energía total que se libera en un terremoto. Fue introducida en 1979 por Thomas C. Hanks y Hiroo Kanamori como la sucesora de la escala de Richter.

- Escalas de Intensidad
 - La Escala sismológica de Mercalli es una escala de 12 puntos desarrollada para evaluar la intensidad de los terremotos a través de los efectos y daños causados a distintas estructuras. Debe su nombre al físico italiano Giuseppe Mercalli.
 - La Escala Medvedev-Sponheuer-Karnik, también conocida como escala MSK o MSK-64, es una escala de intensidad macrosísmica usada para evaluar la fuerza de los movimientos de tierra basándose en los efectos destructivos en las construcciones humanas y en el cambio de aspecto del terreno, así como en el grado de afectación entre la población. Tiene doce grados de intensidad, siendo el más bajo el número uno, y expresados en números romanos para evitar el uso de decimales.
 - La Escala Shindo o escala cerrada de siete, conocida como Escala japonesa que se centra en cada zona afectada más que en la intensidad del temblor en rango entre 0 y 7.

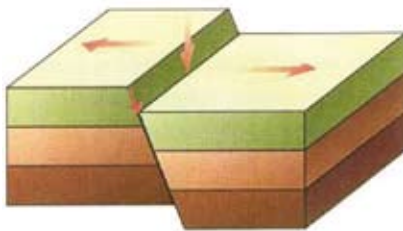
8.3.4.1 Tipos de Fallas

Al producirse los movimientos tectónicos o de la tierra, está se fractura produciendo, fisuramientos, agrietamientos, diaclasados, fracturamientos, fallamientos, y discontinuidades (estos términos no deben confundirse)

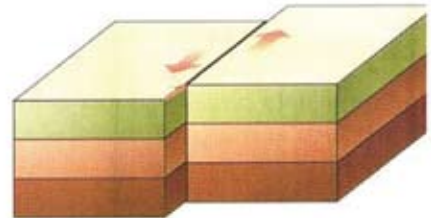
Generalmente las fallas son las más problemáticas, pues se caracterizan por tener movimiento y/o desplazamiento, en tanto que una grieta por ejemplo se puede producir por un impacto, golpe o por deshidratación del suelo.

Las fallas pueden tener orientaciones horizontal, vertical o inclinada; dependerá de la litología y de las estratificaciones y condiciones locales del terreno, las más representativas son las siguientes:

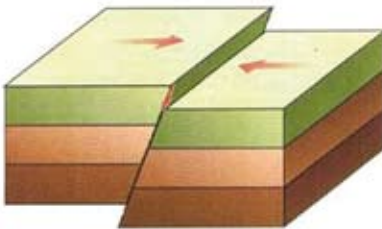
1. es una sacudida del terreno que se produce debido al choque de las placas tectónicas, a la erupción de un volcán o por actividades antrópicas (explosiones) y consiste en la liberación de energía en el curso de una reorganización brusca de materiales de la corteza terrestre al superar el estado de equilibrio mecánico.



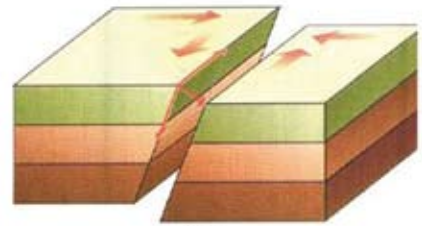
Normal



Horizontal



Inversa



Mixta

8.3.4.2 Vibración de un sismo

Tres factores determinan el movimiento (sacudida) se siente durante un sismo:

1. Magnitud del sismo
2. Localización en relación al epicentro
3. Tipo y condiciones del Terreno

En general se puede esperar un sismo fuerte de magnitud moderada entre los 5.0 a 5.9 de la escala de Mercalli o más fuerte. Es el fuerte movimiento de los sismos lo que agrieta el suelo y hace que el movimiento (sacudida) dañe los edificios y otras estructuras como las carreteras y los puentes.

Todavía no es posible pronosticar los sismos; sin embargo el equipo de diseño de la carretera deberá analizar a detalle las áreas por donde pasará el nuevo proyecto de carretera o las condiciones geológicas locales donde se encuentra el proyecto existente. Pues la naturaleza de los materiales de la tierra locales y la estructura geológica influyen en gran medida en la cantidad de movimiento del suelo.

Los diferentes tipos de materiales de la tierra se comportan de distinta manera en un sismo. Esta diferencia está relacionada con su grado de consolidación. Las ondas sísmicas se mueven más de prisa a través de sustratos de roca que a través de sedimentos o suelo sin consolidar. Se ralentiza todavía más si el material sin consolidar tiene un elevado contenido de agua.

8.3.4.3 Regiones geográficas con riesgo de sismos

Los sismos no están distribuidos al azar, La mayor parte ocurre en zonas bien definidas a lo largo de los límites de las placas tectónicas de la tierra, en las proximidades de los volcanes y en las obras que realiza el ser humano bajo la superficie de la tierra.

Cuando los sismos se producen en los límites de las placas tectónicas se han identificado tres tipos:

1. Divergente
2. Convergente
3. Transformante

Dentro de los efectos que puede producir un sismo se pueden mencionar:

1. Ruptura del suelo por la vibración
2. Licuefacción (sedimentos saturado de agua en un suelo cambie su comportamiento de sólido a líquido)
3. Cambios regionales en la elevación del terreno
4. Deslizamientos de terrenos

EJEMPLOS DE CARRETERAS DAÑADAS POR SISMOS

Grada en Carril



Daño a carretera por sismo en Honduras 29 de mayo (San Pedro Sula)

Falla Longitudinal en Ruta



Sismo de 6,2 grados con epicentro a 10 kilómetros del volcán Poas

Carretera de Terracería



Honduras, sismo del 29 de mayo

Caída de Rocas



Sismo 6.2 grados Costa Rica, también pueden producirse deslizamientos

Daño a Carpeta de Rodadura



Honduras, sismo del 29 de mayo

Grada en Camino Vecinal



Honduras, sismo del 29 de mayo

SINTESIS

- **Área:** Riesgos naturales y antrópicos (explosiones)
- **Tema:** Sismos, temblores y terremotos
- **Riesgo:** Deslizamiento, fallas, colapsos
- **Riesgo Concatenado:** Suma de eventos sismos + lluvias + otros
- **Vulnerabilidad:** Física y social
- **Peligro:** Pérdida de vidas humanas, lesiones, daños materiales, económicas
- **Desastre:** Daños a la infraestructura
- **Recomendaciones que el Equipo de Diseño debe tomar en cuenta para mitigar el riesgo de desastres:**
 - Ubicación macro o regional de posibles fuentes de sismos (placas tectónicas, volcanes, actividades mineras, otras)
 - Evitar el trazo de carreteras en zonas con muchos fallamientos
 - Es preferible que el trazo de una carretera sea perpendicular a la dirección de las fallas
 - En las fallas se puede conducir agua (infiltraciones)
 - Un macizo rocoso muy fracturado puede tener una respuesta como un suelo
 - Consultar mapa de vulnerabilidad y riesgos
 - Consultar mapas topográficos, de tipos de suelos y geológicos
 - Consultar mapa de fallas
 - Identificar actividades humanas cercanas al proyecto (minas, excavaciones, perforaciones petroleras, otros)
 - Consultar el historial sísmico de la región o área donde se ejecutará el proyecto
 - Otros.

8.4 DISEÑO DE CARRETERAS EN ZONAS VOLCÁNICAS

Un volcán puede definirse como una estructura geológica por la cual emergen el magma (roca fundida) en forma de lava y gases del interior del planeta. El ascenso ocurre generalmente en episodios de actividad violenta denominados «erupciones», las cuales pueden variar en intensidad, duración y frecuencia; siendo desde conductos de corrientes de lava hasta explosiones extremadamente destructivas.

Generalmente adquieren una característica forma cónica que es formada por la presión del magma subterráneo así como de la acumulación de material de erupciones anteriores. Encima del volcán podemos encontrar su cráter o caldera.

En Centroamérica el vulcanismo está directamente relacionado con la tectónica de placas y la mayoría de los volcanes más activos están localizados cerca del límite de placas.

8.4.1 Tipos de volcanes (6 y 8)

Cada tipo de volcán tiene un estilo característico de erupción, que se debe en parte a lo resistente que sea el magma que fluye. Esta resistencia a fluir se conoce como **viscosidad** la cual está determinada por su contenido en sílice (SiO_2) y por su temperatura. El magma muy viscoso con frecuencia sale a la superficie de un modo explosivo, a diferencia del magma menos viscoso que suele fluir en lugar de explotar, ello determinara la configuración física del volcán por lo que se identifican cuatro tipos:

1. Volcanes escudo (muy extendidos)
2. Volcanes compuestos (forma de cono)
3. Domos Volcánicos (formados por magma muy viscoso)
4. Conos de Ceniza (formados por la acumulación de tephra)

8.4.2 Tipos de erupciones

En centro América los más comunes son los volcanes compuestos siendo algunos muy activos siendo las diferencias: la temperatura, la composición, la viscosidad y los elementos disueltos del magma que constituyen los factores fundamentales de los cuales depende el tipo de explosividad y la cantidad de productos volátiles que acompañan a la erupción volcánica; las formas de erupción más conocidas son:

1. Hawaiano o efusivo (lavas muy fluidas)
2. Estromboliano o mixto (frecuentes explosiones por gases)
3. Vulcaniano (magma poco fluido que consolida con rapidez)
4. Pliniano o vesubiano (explosiones violentas)
5. Peleano (lava densa que tapona el cráter produciendo explosiones laterales)
6. Fisurales (lava que emerge por fisuras)
7. Submarinas (suelen a veces desconocerse por estar bajo algún cuerpo de agua o el mar)

8.4.3 Factores que causan daño

Las erupciones volcánicas no obedecen a ninguna ley de periodicidad, y no ha

sido posible descubrir un método para preveerlas, aunque a veces vienen precedidas por sacudidas sísmicas y por la emisión de fumarolas. Su violencia está en relación con la acidez de las lavas y con el contenido de estas en gases oclusos. Éstos alcanzan así altas presiones y, cuando llegan a vencer la resistencia que encuentran, se escapan violentamente, dando lugar a una erupción explosiva. Por el contrario, una lava básica es mucho más fluida y opone escasa resistencia al desprendimiento de sus gases: las erupciones son entonces menos violentas y pueden revestir un carácter permanente.

Las erupciones son causa del aumento de la temperatura en el magma que se encuentra en el interior del manto. Esto ocasiona una erupción volcánica en la que se expulsa la lava hirviendo que se encontraba en el magma. Puede generar derretimiento de hielos y glaciares, los derrumbes, los aluviones, etc.

Los daños que ocasionan a las poblaciones pueden ser desde muy leves, hasta sepultar ciudades o comunidades enteras con lava o ceniza o por efecto de los deslaves. Se daña la agricultura, se destruyen bosques y cosechas enteras y el terreno dañado tarda muchos años en recuperarse o se vuelve totalmente infértil. También se pueden dañar tramos de carreteras y puentes ocasionando pérdidas económicas. Otros factores asociados a las erupciones se definen a continuación

- Un **lahar** (en inglés *mudflows* o flujos de lodo) es un flujo de barro que se moviliza desde las laderas de los estratovolcanes. Durante los últimos siglos, los lahares han destruido más propiedad pública o privada que cualquier proceso volcánico y han sido los causantes de la pérdidas de miles de vidas humanas. Los lahares, junto con la caída de tefra, son la principal causa de riesgo asociado a volcanes.
- La **ceniza volcánica** es una composición de partículas de roca y mineral muy finas (de menos de 2 milímetros de diámetro) eyectadas por un viento volcánico. La ceniza se genera a partir de la roca cuarteada y separada en partículas diminutas durante un episodio de actividad volcánica explosiva. La naturaleza normalmente violenta de una erupción, incluyendo chorros de vapor de agua (erupción freática), produce como resultado una gran cantidad de magma y tal vez roca sólida que rodea el viento volcánico, torneando las partículas hasta reducirlas al tamaño de granos de arena.
- El término **piroclasto** se refiere a cualquier material volcánico sólido arrojado al aire durante una erupción. Si se eyecta magma líquido en forma de aerosol, las partículas se solidifican en el aire formando pequeños fragmentos de vidrio volcánico.
- Las **bombas volcánicas** son glóbulos de roca fundida (piroclastos) cuyo tamaño iguala o supera los 64 mm de diámetro. Se forman cuando un volcán expulsa fragmentos viscosos de lava durante una erupción. Las bombas volcánicas pueden ser lanzadas a kilómetros de distancia del cráter del volcán. Durante el vuelo, las más fluidas suelen adquirir formas aerodinámicas, a la vez que se enfrían en mayor o menor grado. Si el exterior de una bomba volcánica se solidifica durante su vuelo, puede desarrollar una superficie externa agrietada a medida que se expande desde el interior. Este tipo de bomba se conoce como bomba de corteza de pan. Si la bomba sigue en estado plástico, en el impacto en tierra se deforma.

8.4.4 Modelación de Amenaza Volcánica

En la actualidad existen programas de computadoras que modelan las erupciones y las áreas vulnerables a las amenazas volcánicas, que constituye instrumentos de apoyo al equipo responsable del diseño de una carretera. A continuación se ejemplifica con un modelo aplicado al Volcán Concepción ubicado en Nicaragua.

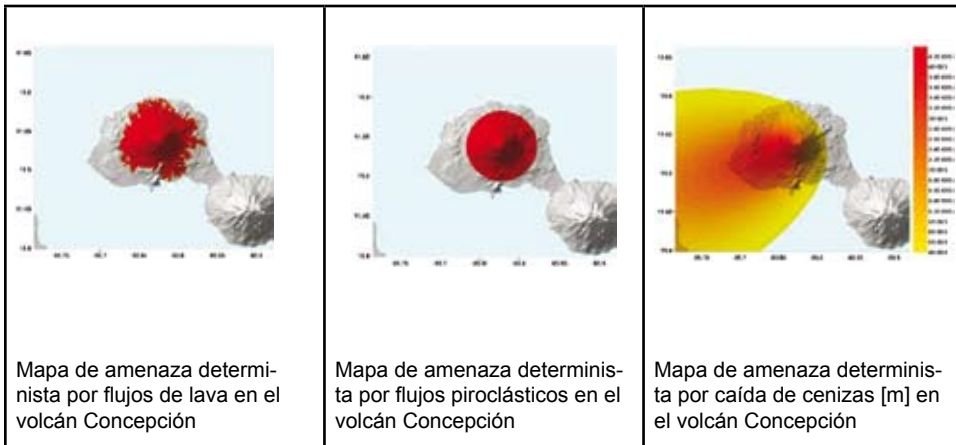
Ejemplo de la modelación de amenaza volcánica

La modelación de la amenaza se llevó a cabo empleando el programa ERN-Volcán (ERN, 2009). Los valores de las diferentes variables involucradas en la modelación de la amenaza del volcán Concepción se presentan en el cuadro siguiente.

Parámetros del modelo del Volcán Concepción

Modelo de ERN-Volcán				
Tipo de análisis:	Determinista			
Definición de ventosas:	Única Ventosa	Coordenadas:	Este	-85.62°
			Norte	11.54°
Flujos de lava				
Distancia máxima:	30000 m	Espesor:	5 m	
Flujos piroclásticos				
Altura columna eruptiva:	15 Km	Ángulo cono:	70°	
Verifica accesibilidad:	Si			
Caída de cenizas				
Altura columna eruptiva:	7 Km	Campo de viento		
Volumen expulsado:	0.1 Km ³	Altura (%)	Vel (m/s)	Dir (°)
Factor de forma:	0.2	0	0.5	200
N° divisiones altura:	20	20	0.5	200
m Tamaño partículas:	-3	40	0.5	200
s Tamaño partículas:	1.5	60	0.5	200
Paso discretización X:	10	80	0.5	200
Paso discretización Y:	10			
Coefficiente difusividad:	750 m ² /s			

A continuación se presentan los mapas de amenaza para los diferentes tipos de productos volcánicos considerados.



EJEMPLOS DE VOLCANES DE CENTROAMERICA

Cono de Ceniza



Volcán Cerro Negro, León, Nicaragua

Cadena Volcánica



Complejo Volcánico el Salvador

Erupción + Tormenta Eléctrica



Volcán Arenal, Costa Rica

Cráter Activo



Volcán de Fuego, Guatemala

Cráter con agua



Volcán Irazú, Nicaragua

Río de Lava



Volcán de Pacaya, Guatemala

SINTESIS

- **Área:** Riesgos Naturales
- **Tema:** Volcanes
- **Riesgo:** Erupciones
- **Riesgo Concatenado:** Suma de eventos lava + cenizas + llluvias
- **Vulnerabilidad:** Física y social
- **Peligro:** Pérdida de vidas humanas, lesiones, daños materiales, económicas
- **Desastre:** Daños a la infraestructura
- **Recomendaciones que el Equipo de Diseño debe tomar en cuenta para mitigar el riesgo de desastres:**
 - Características y tipo de volcán
 - Historial de erupciones
 - Tipo de erupciones
 - Clasificación (activo, inactivo, reposo)
 - Área de influencia estimada de daños
 - Ubicación de poblados cercanos al volcán
 - Localización de carreteras y rutas existentes
 - Consultar mapas topográficos, de tipos de suelos y geológicos
 - Identificar actividades humanas cercanas al proyecto (cultivos, poblados otros)

BIBLIOGRAFÍA:

1. Bustamante, Fernando **“ESTRUCTURACIÓN DE VIAS TERRESTRES”** Grupo Editorial Patria, México 2011, pp 413
2. Chow, Ven te; Maidment, Mays **“HIDROLOGIA APLICADA”** Editorial Mc Graw Hill, Santa Fe de Bogotá, Colombia 1,996 pp 584.
3. Chow, Ven te; **“HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS”** Editorial Mc Graw Hill, Santa Fe de Bogotá, Colombia 1,994 pp 666.
4. Cril M. Jarris **MEDIDAS ACÚSTICAS Y CONTROL DE RUIDO”** Editorial Mc Graw Hill México 1996, pp. 1,025
5. Das M. Braja, **“PRINCIPIOS DE INGENIERIA DE CIMENTACIONES”** Editorial CENGAGE, México 2010 pp. 742
6. Keller, Edward y Blodgett **“RIESGOS NATURALES”** Editorial Prentice Hall, España 2005, pp. 686
7. Lambe, William **“MECANICA DE SUELOS”** Editorial Limusa, México 2006 pp. 582.
8. Tarbuck, Edward y Lutgens **“CIENCIAS DE LA TIERRA”** Editorial Prentice Hall, España 2007, pp. 422
9. Villalaz, Crespo; **“MECANICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES”** Editorial Limusa, México 2,008 pp. 644

10. **Glosario Actualizado de Términos en la Perspectiva de la Reducción de Riesgos a Desastres** CEPREDENAC 2008.
11. **Guía La Amenaza por Deslizamiento o Deslave y su Vigilancia Comunal** – CEPREDENAC-EMBAJADA DE NORUEGA-NGI
12. **Manual Centroamericano de Gestión de Puentes** – SIECA-CEPREDE-NAC-AECID Edición 2010-
13. **Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras** – SIECA –CEPREDENAC-AECID- Edición 2010
14. **Manual Centroamericano de Seguridad Vial** – SIECA-UNION EUROPEA-BID
15. **Manual de Estudios de Ingeniería de Transito** Asociación Mexicana de Caminos 1964
16. **Plan Regional de Reducción de Desastres 2006 – 2015** CEPREDE-NAC
17. **Riesgo y Desastres Su gestión Municipal en Centroamérica** BID, 2007
18. **Guía de Amenaza por Deslizamiento o Deslave en el Ámbito Municipal”** CEPREDENAC, Embajada de Noruega, Instituto Noruego de Geotecnia (2008)

Capítulo 9

IX. GLOSARIO

9.1. TERMINOLOGÍA USADA EN DISEÑO GEOMÉTRICO

9.1.1 Abreviaturas. Dondequiera que sean empleadas las siguientes abreviaturas de estas especificaciones técnicas, se deben interpretar de la misma forma que se muestran a continuación:

AASHTO: Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (American Association of State Highway and Transportation Officials).

STM: Asociación Americana para el Ensayo de Materiales (American Society for Testing Materials)

BID: Banco Interamericano de Desarrollo.

BM: Banco Mundial.

BCIE: Banco Centroamericano de Integración Económica.

BIRF: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento.

CEPRENAC: Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central.

FHWA: Federal Highway Administration - USA -

MICIVI: Ministerio de Comunicaciones, Obras Públicas, Transporte y Vivienda,

DGC: Dirección General de Caminos, en GUATEMALA.

MOP: Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano, en EL SALVADOR.

SOPTRAVI: Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano, en HONDURAS.

MTI: Ministerio de Transporte e Infraestructura, en NICARAGUA.

MOP: Ministerio de Obras Públicas y Transporte; CONAVI: Comisión Nacional de Vialidad en COSTA RICA.

MOP: Ministerio de Obras Públicas, en PANAMÁ.

NCHRP: National Cooperative Highway Research Program - USA -

ONG: Organización No Gubernamental

PCA: Asociación de Cemento Pórtland (Portland Cement Association)

PIP: Proyecto de Inversión Pública

SIECA: Secretaría de Integración Económica Centroamericana

TRB: Transportation Road Board, - USA -

Pto.	Puerto
Pte.	Puente
m	Metro
km	Kilómetro
km/h	Kilómetro por hora, también se usa KPH
kg	Kilogramo
t	Tonelada
hh:mm:ss	Horas;minutos;segundos

9.1. 2 Definiciones

A

ABSORCIÓN: Fluido que es retenido en cualquier material después de un cierto tiempo de exposición (suelo, rocas, maderas, etc.).

ACARREO: Transporte de materiales a diferentes distancias en el área de la obra.

ACCESO: Ingreso y/o salida a una instalación u obra de infraestructura vial.

ACCIDENTE DE TRÁNSITO: Cualquier hecho fortuito u ocurrencia entre uno o más vehículos en una vía pública o privada.

ACERA (BANQUETA): Parte de una vía urbana o de un puente destinada exclusivamente al tránsito de peatones. También se denomina banqueta o vereda. También se usa el término banqueta para construir una terraza en el talud adyacente a la carretera destinada a que se cumpla el requisito de la distancia mínima de visibilidad de parada del vehículo.

ADOQUÍN: Piedra labrada, concreto u otro material en forma de un prisma para uso en pavimentos.

ADOQUINADO: Tipo de pavimento cuya superficie de rodadura está formada por adoquines.

AFIRMADO: Capa compactada de material granular natural ó procesado con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en carreteras y trochas.

AGLOMERANTE: Material capaz de unir partículas de material inerte por efectos físicos o transformaciones químicas o ambas.

Agregado: Un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria, o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

- Agregado grueso: Material retenido por el tamiz de 2.36 mm (No. 8)
- Agregado fino: Material que pasa el tamiz de 2.36mm (No. 8)
- Relleno mineral: Fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.60mm (No. 30)
- Polvo mineral: Fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.075 mm (No. 200.)

AGREGADO ANGULAR: Agregados que poseen bordes bien definidos formados por la intersección de caras planas rugosas.

AGREGADO BIEN GRADUADO: Agregado cuya gradación va desde el tamaño máximo hasta el de un relleno mineral y que se encuentra centrado a una curva granulométrica “huso” especificada.

AGREGADO DE GRADACIÓN ABIERTA: Agregado que contiene poco o ningún relleno mineral, y donde los espacios de vacíos en el agregado compactado son relativamente grandes. **AGREGADO FINO:** Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general pasa la malla N° 4 (4,75 mm) y contiene finos.

AGREGADO GRUESO: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general es retenida en la malla N° 4 (4,75 mm).

AGUAS ABAJO: Curso de agua visto en el sentido de la corriente.

AGUAS ARRIBA: Curso de agua visto en el sentido contrario a la corriente.

AHUELLAMIENTO: Surcos o huellas que se presentan en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada y que son el resultado de la consolidación o movimiento lateral de los materiales por efectos del tránsito.

ALCANTARILLA (TUBERÍA): Elemento del sistema de drenaje superficial de una carretera, construido en forma transversal al eje ó siguiendo la orientación del curso de agua; puede ser de madera, piedra, concreto, metálicas y otros. Por lo general se ubica en quebradas, cursos de agua y en zonas que se requiere para el alivio de cunetas.

ALTERACIÓN DE LA CAPACIDAD VIAL E INTERFERENCIA AL TRÁNSITO: Son situaciones que pueden presentarse como consecuencia del uso de la infraestructura vial, ocasionando alteraciones en el flujo máximo vehicular, interferencias o congestión al tránsito.

ALTITUD: Altura o distancia vertical de un punto superficial del terreno respecto al nivel del mar. Generalmente se identifica con la sigla “msnm” (metros sobre el nivel del mar).

ALTIMETRÍA: Conjunto de operaciones necesarias para definir y representar, numérica o gráficamente, las cotas de puntos del terreno.

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO: Metodología de evaluación de un Proyecto de Inversión Pública (PIP) que consiste en identificar, cuantificar y valorar monetariamente los costos y beneficios generados por el PIP durante su vida útil, con el objeto de emitir un juicio sobre la conveniencia de su ejecución en lugar de otra alternativa.

ANÁLISIS COSTO EFECTIVIDAD: Metodología de evaluación de un Proyecto de Inversión Pública que consiste en comparar las intervenciones que producen similares beneficios esperados con el objeto de seleccionar la de menor costo dentro de los límites de una línea de corte. Se aplica en los casos en los que no es posible efectuar una cuantificación adecuada de los beneficios en términos monetarios.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO O MECÁNICO: Procedimiento para determinar la granulometría de un material ó la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños.

ÁNGULO DE REPOSO: El que se produce entre la horizontal y el talud máximo que el suelo asume a través de un proceso natural.

APLICACIÓN ASFÁLTICA: Utilización del material asfáltico en sus distintas formas con o sin agregados.

ARCILLAS: Partículas finas con tamaño de grano menor a 2 μm (0,002 mm) provenientes de la alteración física y química de rocas y minerales.

ÁREAS DE ACCESO RESTRINGIDO: Son aquellos tramos o partes de la carretera en donde la autoridad competente ha impuesto restricciones de acceso al tránsito y/o transporte para aislar externalidades negativas generadas por las actividades relacionadas con el transporte y tránsito. Dichas restricciones pueden ser aplicadas en forma permanente, temporal o periódica.

ARISTA EXTERIOR DE LA EXPLANACIÓN: Es la intersección del talud del desmonte o terraplén con el terreno natural. Cuando el terreno natural circundante está al mismo nivel que la carretera, la arista exterior de la explanación es el borde exterior de la cuneta.

ASENTAMIENTO: Desplazamiento vertical o hundimiento de cualquier elemento de la vía.

ASENTAMIENTO DIFERENCIAL: Diferencia de nivel como consecuencia del desplazamiento vertical o hundimiento de cualquier elemento de la vía.

ASFALTO: Material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se encuentra en proporciones variables en la mayoría del crudo de petróleo.

ASFALTO DE IMPRIMACIÓN: Asfalto fluido de baja viscosidad (muy líquido) que por aplicación penetra en una superficie no bituminosa.

AUTOPISTA DE PRIMERA CLASE : Carretera de TPD mayor a 4,000 vehículos/día, de calzadas separadas por medio de un separador central mínimo de 6 m, cada una con dos o más carriles, con control total de accesos (ingresos y salidas) que proporciona flujos vehiculares continuos, sin pasos a nivel, con servicios auxiliares (mecánico y salud), hombro lateral derecho de 3.00 m o más y hombro lateral izquierda no menor de 1,20 m, que permite velocidades de circulación mayor a 120 km/h para vehículos livianos.

AUTOPISTA DE SEGUNDA CLASE (CARRETERA DUAL): Carretera de TPD mayor a 4,000 vehículos/día, de calzadas separadas por medio de un separador central que puede ser menor de 6.00 m, cada una con dos o más carriles, que proporcionan flujos vehiculares continuos, hombro lateral derecha menor de 3.00 m y hombro lateral izquierda no menor de 1.20 m, que permite velocidades de circulación hasta 120 km/h para vehículos livianos. Excepcionalmente puede tener pasos a nivel con rampas de acceso y salida concordante con la velocidad de diseño y necesidades de seguridad vial de la carretera.

B

BACHE: Depresión que se forma en la superficie de rodadura producto del des-

gaste originado por el tránsito vehicular y la desintegración localizada.

BADÉN: Estructura construida con piedra y/o concreto para permitir el paso vehicular sobre quebradas de flujo estacional o de flujos de agua menores. A su vez, permiten el paso de agua, materiales y de otros elementos sobre la superficie de rodadura.

BALASTO: Una capa superficial de material selecto consistiendo por lo general de material granular natural o agregado triturado, que se coloca sobre la subrasante terminada de una carretera, con el objeto de protegerla y que sirva de superficie de rodadura, para permitir el libre tránsito durante todas las épocas del año.

BANCO DE MARCA (BENCH MARK) (BM): Referencia topográfica de coordenadas y altimetría de un punto marcado en el terreno, destinado a servir como control de la elaboración y replanteo de los planos de un proyecto vial.

BANCO DE GRAVA: Material que se encuentra en depósitos naturales y usualmente mezclado en mayor ó menor cantidad con material fino (arenas, arcillas) que da lugar a bancos de gravas arcillosas, gravas arenosas.

BASE: Capa de material selecto y/o procesado que se coloca entre la parte superior de una subbase o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.

BARRERA DE SEGURIDAD VIAL: Sistema de contención de vehículos instalados en los márgenes o en el separador central de la carretera y en los bordes de los puentes.

BARRERA O TALANQUERA: Obstáculo colocado para desvío de tráfico vehicular.

BERMA: Obra de estabilización de taludes consistente en la construcción de una o más terrazas sucesivas en el talud. También se usa el término banquetta para construir una terraza en el talud aledaño a la carretera destinada a que se cumpla el requisito de la distancia mínima de visibilidad de parada del vehículo.

BIFURCACIÓN: División de una vía en ramales, uno de los cuales cuando menos se aparta de la dirección primitiva.

BOMBEO: Inclinación transversal que se construye en las zonas en tangente a cada lado del eje de la plataforma de una carretera con la finalidad de facilitar el drenaje lateral de la vía.

BOTADERO: Lugar elegido para depositar desechos de forma tal que no afecte el medio ambiente.

C

CABEZAL DE ALCANTARILLA: Estructura terminal a la boca de entrada y salida de una alcantarilla, construida con la finalidad de encauzar y evitar la erosión del agua, así como ajustarse a la superficie del talud del terreno.

CABEZAL PARA PILOTES: Bloque de madera, rollo de mecate, o ambos, que se colocan sobre la cabeza del pilote con fines de protección, y sirven para amortiguar y repartir el golpe del mazo de un martinete.

CAJA: Estructura que recoge las aguas de una cuneta para encauzar a una alcantarilla.

CALICATA: Excavación superficial que se realiza en un terreno, con la finalidad de permitir la observación de los estratos del suelo a diferentes profundidades y eventualmente obtener muestras generalmente disturbadas.

CALIZA: Roca de origen sedimentario compuesta esencialmente de carbonato de calcio (calcita) proveniente de acumulación mecánica de fragmentos de este mineral, por precipitación química.

CALZADA: Ver SUPERFICIE DE RODADURA.

CAMBIO DE ESTÁNDAR: Modificación de las características de una vía, ya sea en forma integral o progresiva para alcanzar niveles de servicio adecuados.

CAMINO: Vía terrestre para el tránsito de vehículos motorizados y no motorizados, peatones y animales, con excepción de las vías férreas.

CAMINO DE HERRADURA: Vía terrestre para el tránsito de peatones y animales.

CANAL: Es una zanja construida para recibir y encauzar medianas o pequeñas cantidades de agua provenientes del terreno natural o de otras obras de drenaje.

CANTERA (Banco): Depósito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras.

CANTO RODADO: Fragmento de roca que al ser transportado a lo largo del tiempo por el flujo de agua ha adquirido formas no angulares y superficie lisa.

CAPA ASFÁLTICA DE FRICCIÓN DE GRADACIÓN ABIERTA: Una capa superficial de pavimento que consiste de una mezcla de planta con muchos vacíos, y que permite el drenaje rápido de aguas de lluvia a través de la capa y hacia la cuneta. La mezcla se caracteriza por un alto porcentaje de agregado grueso de un solo tamaño. Este tipo de capa evita el hidroplaneo, y proporciona una superficie resistente al desgaste.

CAPA ASFÁLTICA NIVELANTE: Una capa (mezcla de asfalto y agregado) de espesor variable usada para eliminar irregularidades en el contorno de una superficie existente, antes de un tratamiento o de una construcción.

CAPACIDAD DE CARGA DEL TERRENO: Es la resistencia admisible del suelo de cimentación considerando factores de seguridad apropiados al análisis que se efectúa.

CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA DEL TERRENO: Es la presión requerida para producir la falla del terreno, sin considerar factores de seguridad.

CARPETA DE RODADURA: La parte superior de un pavimento; usualmente de

concreto asfáltico o concreto rígido, que sostiene directamente la circulación de vehículos. Puede ser de otros materiales.

CARRETERA, CAMINO O CALLE: Superficie preparada para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos dos ejes, con características geométricas definidas de acuerdo a las normas técnicas vigentes en la SIECA.

CARRETERA NO PAVIMENTADA: Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado, suelos estabilizados o terreno natural.

CARRETERA PAVIMENTADA: Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por mezcla bituminosa (flexible) o de concreto Pórtland (rígida).

CARRIL: Parte de la calzada destinada a la circulación de una fila de vehículos en un mismo sentido de tránsito.

CARRIL ADICIONAL PARA CIRCULACIÓN LENTA: Carril adicional situado a la derecha de los principales, que permite desviarse a los vehículos que circulan con menor velocidad para permitir el adelantamiento de vehículos más rápidos.

CARRIL DE CAMBIO DE VELOCIDAD: Carril destinado a incrementar o reducir la velocidad, desde los elementos de un acceso a la de la calzada principal de la carretera, o viceversa.

CAUCE: Lecho de ríos, quebradas y arroyos.

CBR (California Bearing Ratio): Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.

CEMENTO ASFÁLTICO: Un asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad o consistencia para ser usado directamente en la construcción de pavimentos asfálticos.

CEMENTO PORTLAND: Es un producto obtenido por la pulverización del clinker portland con la adición eventual de yeso natural.

CEMENTO PORTLAND TIPOS: a) Tipo I: Para usos generales en la construcción, donde no se requiere tenga propiedades especiales; b) Tipo II: Para uso general y donde se requiere resistencia moderada a la acción de los sulfatos y un moderado calor de hidratación; c) Tipo III: Para uso en obras donde se requiera una alta resistencia inicial; d) Tipo IV: Para uso en obras donde se requiere un bajo calor de hidratación; y e) Tipo V: Para uso en obras donde se requiere una alta resistencia a los sulfatos.

CHAPEO: Consiste en el corte y eliminación de la vegetación con fines de ejecución o mantenimiento de la carretera.

CIMENTACIÓN: Parte de una estructura que transmite cargas al terreno de fundación.

CLASIFICACIÓN DE RUTAS: Según la clasificación de la SIECA, las carreteras se clasifican en Sistema Arterial, Sistema Colector y Sistema local. Incluye las carreteras existentes y en proyecto, el Código de Ruta y su definición según puntos o lugares principales que conecta.

CLOTOIDE: Es una curva plana del tipo espiral (de Euler) que se utiliza como curva de transición en el diseño geométrico de carreteras.

CÓDIGO DE RUTA: Identificación simplificada de una vía del Sistema Nacional de Carreteras.

COHESIÓN: La resistencia al corte de un suelo, a una tensión normal.

COLOIDALES (partículas): Tamaño tan pequeños que ejercen una actividad superficial apreciable sobre las propiedades del agregado.

COMPACTACIÓN: Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de suelos, mezclas bituminosas, morteros y concretos frescos de cemento Pórtland.

CONCRETO: Mezcla de material aglomerante y agregados fino y grueso. En algunos casos se agrega aditivos para proporcionarle cualidades que no poseen y en otros para mejorar los que poseen.

CONCRETO ASFÁLTICO: Mezcla procesada, compuesta por agregados gruesos y finos, material bituminoso y de ser el caso aditivos de acuerdo a diseño y especificaciones técnicas. Es utilizada como capa de base o de rodadura y forma parte de la estructura del pavimento.

CONCRETO CICLÓPEO: Concreto Portland al que se adiciona piedra grande o mediana en porcentajes según diseño. Por lo general se utiliza en estructuras de gran volumen.

CONCRETO PORTLAND: Mezcla de material aglomerante (cemento Portland y agua) y agregados fino y grueso. Pueden contener aditivos para darle cualidades de que carecen o para mejorar las que poseen.

CONCRETO PRE-MEZCLADO: Concreto dosificado en planta y transportado a obra por camiones mezcladores o agitadores.

CONFLUENCIA: Tramo en que convergen flujos de tráfico similares o cursos de agua.

CONGLOMERADO: Roca sedimentaria clástica, compuesta de cantos rodados cementados en una matriz fina que puede ser calcárea o silicosa.

CONO DE ABRAMS: Molde con forma de cono trunco constituido de un metal no atacable por la pasta de cemento, que se usa para medir la consistencia de la mezcla de concreto fresco. Se conoce también como cono de asentamiento o SLUMP.

CONSOLIDACIÓN: Reducción gradual en volumen de un suelo, como resultado de un incremento de las tensiones de compresión. Puede haber: i) Consolidación Inicial (compresión inicial), ii) Consolidación Primaria, iii) Consolidación Secundaria.

CONSTRUCCIÓN: Ejecución de obras de una vía nueva con características geométricas acorde a las normas de diseño y construcción vigentes.

CONTENIDO DE HUMEDAD: Volumen de agua de un material determinado bajo ciertas condiciones y expresado como porcentaje de la masa del elemento húmedo, es decir, la masa original incluyendo la sustancia seca y cualquier humedad presente.

CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO: Es el contenido de humedad al cual un suelo ó material granular al ser compactado utilizando un esfuerzo especificado proporciona una máxima densidad seca. El esfuerzo puede ser estándar ó modificado.

CONTRACCIÓN: Esfuerzo volumétrico asociado con un decrecimiento en sus dimensiones.

CONTROL DE CALIDAD: Pruebas técnicas para comprobar la correcta ejecución de las diferentes etapas o fases de un trabajo con relación a las especificaciones técnicas o requisitos específicos establecidos.

COORDENADAS DE REFERENCIA: Referencias ortogonales Norte-Sur adoptadas para elaborar los planos de topografía y de diseño del proyecto.

CORREDOR VIAL: Conjunto de dos o más rutas continuas que se conforman con una finalidad específica.

CORROSIÓN: Destrucción paulatina de las estructuras metálicas por acción de agentes externos.

CORTE (directo): Ensayo según el cual un suelo sometido a una carga normal falla al moverse una sección con respecto a otra.

CORTE A MEDIA LADERA: Sección transversal de la carretera que se desarrolla en zona de corte abierto o combinada con el terraplén.

CORTE CERRADO: Sección transversal de la carretera que se desarrolla en zona de corte.

COTA: Altura de un punto sobre un plano horizontal de referencia.

COTA DE RASANTE: Valor numérico de un punto topográfico que representa el nivel terminado o rasante referido a un BENCH MARK (BM).

COTA DE TERRENO: Valor numérico de un punto topográfico del terreno referido a un BENCH MARK (BM).

CRUCE A DESNIVEL: Ver PASO A DESNIVEL

CUBICACIÓN: Medición de los volúmenes de movimiento de tierras (excavaciones, terraplenes o rellenos).

CUNETA DE CORONACIÓN (CONTRACUNETA): Cuneta construida en la parte alta de una ladera, para alejar las aguas que pudieran llegar a la carretera.

CUNETAS: Canales abiertos construidos lateralmente a lo largo de la carretera, con el propósito de conducir los escurrimientos superficiales y sub-superficiales procedentes de la plataforma vial, taludes y áreas adyacentes a fin de proteger la estructura del pavimento.

CURADO DE CONCRETO: Proceso que consiste en controlar las condiciones ambientales (especialmente temperatura y humedad) durante el fraguado y/o endurecimiento del concreto o mortero.

CURVA COMPUESTA: Dos o más arcos concurrentes de radios diferentes y curvatura de igual sentido, con o sin interposición de curva de transición.

CURVA DE COMPACTACIÓN (curva de Proctor): Representación gráfica que relaciona el peso unitario seco (densidad) y el contenido de agua del suelo para un determinado esfuerzo de compactación.

CURVA DE NIVEL: Línea definida por la intersección del terreno con un plano horizontal estableciéndose una cota determinada, la curva de nivel une puntos de igual cota.

CURVA DE TRANSICIÓN: Curva en planta que facilita el tránsito gradual desde una trayectoria rectilínea a una curva circular, o entre dos circulares de radio diferente.

CURVA GRANULOMÉTRICA: Representación gráfica de la granulometría y proporciona una visión objetiva de la distribución de tamaños del agregado. Se obtiene llevando en abscisas los logaritmos de las aberturas de los tamices y en las ordenadas los porcentajes que pasan o sus complementos a 100, que son los retenidos acumulados.

CURVA HORIZONTAL: Curva circular que une los tramos rectos de una carretera en el plano horizontal.

CURVA HORIZONTAL DE TRANSICIÓN: Trazo de una línea curva de radio variable en planta, que facilita el tránsito gradual desde una trayectoria rectilínea a una curva circular o entre dos curvas circulares de radio diferente.

CURVA VERTICAL: Curva en elevación que enlaza dos rasantes con diferente pendiente.

D

DEGRADACIÓN: Descenso general y progresivo del perfil longitudinal del lecho de un cauce como resultado de la erosión a largo plazo.

DENSIDAD: Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

DENSIDAD EN EL SITIO: Procedimiento para determinar el peso unitario de los suelos en el terreno.

DERECHO DE VÍA: Faja de terreno de ancho variable dentro del cual se encuentra comprendida la carretera, sus obras complementarias, servicios, áreas previstas para futuras obras de ensanche o mejoramiento, y zonas de seguridad para el usuario. Su ancho se establece mediante resolución del titular de la autoridad competente respectiva.

DERRUMBE: Desprendimiento y precipitación de masas de tierra y piedra, obstaculizando el libre tránsito de vehículos por la carretera.

DESMONTE: Acción de cortar y eliminar todo arbusto, hierba, maleza, vegetación que crezca en los costados de la carretera y que impida su visibilidad.

DESINTEGRACIÓN: Separación progresiva de partículas de agregado en el pavimento, desde la superficie hacia abajo o desde los bordes hacia el interior. La desintegración puede ser causada por falta de compactación, construcción de una capa muy delgada en periodos fríos, agregado sucio o desintegrable, muy poco asfalto en la mezcla, o sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.

DIAGRAMA DE MASAS: Metodología de cómputo de transporte de materiales provenientes de movimiento de tierras que se utilizan para optimizar la inversión en costo de transporte.

DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRÁNSITO: Señales, marcas, semáforos y dispositivos auxiliares que tienen la función de facilitar al conductor la observancia estricta de las reglas que gobiernan la circulación vehicular, tanto en carreteras como en las calles de la ciudad.

DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO (DE REBASE, DE AVENTAJAR): Distancia necesaria para que, en condiciones de seguridad, un vehículo pueda adelantar a otro que circula a menor velocidad, en presencia de un tercero que circula en sentido opuesto. En el caso más general es la suma de las distancias recorridas durante la maniobra de adelantamiento propiamente dicha, la maniobra de reincorporación a su carril delante del vehículo adelantado, y la distancia recorrida por el vehículo que circula en sentido opuesto. También se conoce como “Distancia de Rebase”, “Distancia de Aventajar”.

DISTANCIA DE CRUCE: Longitud de carretera que debe ser vista por el conductor de un vehículo que pretende atravesar dicha carretera.

DISTANCIA DE PARADA: Distancia total recorrida por un vehículo obligado a detenerse tan rápidamente como le sea posible, medida desde su situación en el momento de aparecer el objeto u obstáculo que motiva la detención. Comprende la distancia recorrida durante los tiempos de percepción, reacción y frenado.

DISTANCIA DE TRANSPORTE: Distancia pagada de transporte de materiales para una obra, que se computa desde los bancos, canteras o donde termina la distancia libre de transporte (explanaciones), hasta el lugar de su utilización.

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO: Distancia mínima de visibilidad necesaria para que en condiciones de seguridad un vehículo pueda adelantar a otro.

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE CRUCE: Distancia mínima de visibilidad a lo largo de una carretera en ambas direcciones, que requiere observar el conductor de que pretende atravesar una carretera.

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA: Distancia mínima que necesita ver el conductor de un vehículo, delante de su vehículo, para detenerlo al observar un obstáculo ubicado en su carril, para evitar impactarlo.

DISTANCIA LIBRE DE TRANSPORTE: Distancia máxima a la que es transportado un material de explanaciones sin pago de transporte.

DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO: Proceso de medición por peso o por volumen de los ingredientes y su introducción en la mezcladora para una cantidad de concreto y mortero.

DUCTILIDAD: Propiedad de una sustancia de ser estirada o estrechada en forma delgada. Aún cuando la ductilidad se considera como una característica importante del cemento asfáltico en muchas de sus aplicaciones, la presencia o ausencia de ductilidad es generalmente considerada más importante que el mismo grado de ductilidad.

DURABILIDAD: Propiedad de un material o mezcla para resistir desintegración por efectos mecánicos, ambientales o de tráfico.

DURABILIDAD DEL CONCRETO ASFÁLTICO: Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación para resistir desintegración por efectos ambientales o de tráfico. Los efectos ambientales incluyen cambios en las características del asfalto, tales como oxidación y/o volatilización y en el agregado debido a la acción del agua, incluyendo congelamiento y deshielo.

DUREZA: Resistencia superficial que presentan los materiales a ser rayados.

E

ECUACIÓN DE ESTACIONAMIENTO: Expresión algebraica usada para corregir la progresiva (estacionamiento) en una sección específica de una vía, como resultado de variantes o cambios de progresivas.

EJE DE LA CARRETERA: Línea longitudinal que define el trazado en planta, el mismo que está ubicado en el eje de simetría de la calzada. Para el caso de autopistas y carreteras duales el eje se ubica en el centro del separador central.

ELASTICIDAD: Propiedad de un material que hace que retorne a su forma original después que la fuerza aplicada se mueve o cesa.

ELEMENTOS VIALES: Conjunto de componentes físicos de la vía, tales como superficie de rodadura, hombros, cunetas, obras de drenaje, elementos de seguridad vial.

EMERGENCIA VIAL: Daño imprevisto que experimenta la vía por causa de las fuerzas de la naturaleza o de la intervención humana, y que obstaculiza o impide la circulación de los usuarios de la vía.

EMPALME: Conexión de una carretera con otras, acondicionada para el tránsito vehicular.

EMULSIFICANTE: Sustancia que modifica la tensión superficial de gotas microscópicas (coloidales).

EMULSIÓN ASFÁLTICA: Una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de agente emulsivo.

EMULSIÓN SELLANTE: Mezcla semifluida de una emulsión asfáltica y un árido fino.

ENCAUZAMIENTO: Acción de dirigir una corriente de agua hacia un cauce deter-

minado.

ENCOFRADO: Apoyos temporales para mantener el concreto fresco en el lugar hasta que se endurezca en tal grado que se pueda auto soportar (cuando la estructura es capaz de soportar sus cargas muertas).

ENROCADO: Colocación de piedras grandes en forma ordenada para fundación de cimentación o protección de taludes.

ENSANCHE DE PLATAFORMA: Obra de una carretera que amplía su sección transversal, utilizando parte de la plataforma existente.

ENSAYO DE COMPRESIÓN: Ensayo para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión.

ENSAYO DE PENETRACIÓN (Sonda de Windsor): Medidor de dureza. El aparato consiste en una pistola activada por pólvora que clava una sonda de aleación dentro del concreto. Se mide la longitud expuesta de la sonda y se la relaciona con una tabla de calibración para obtener la resistencia a compresión del concreto.

ENSAYO MARSHALL: Procedimiento para obtener el contenido de asfalto y diferentes parámetros de calidad de una mezcla bituminosa.

EN LOS AGREGADOS: Procedimiento para determinar el contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables en agregados que se emplearán en la elaboración de concretos y morteros.

ENSAYO SPT (Standard Penetration Test): Medida de la resistencia de un suelo al ser hincado en el terreno, un muestreador ó instrumento.

EQUIVALENTE DE ARENA: Proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo (sucio) ó material arcilloso en los suelos ó agregados finos.

EROSIÓN: Desgaste producido por el agua en la superficie de rodadura o en otros elementos de la carretera.

ESCORIA DE ALTO HORNO: Producto no metálico, compuesto esencialmente por silicatos y aluminio-silicatos de cal y otras bases, que se obtiene simultáneamente, en un alto horno, con la producción del hierro.

ESCORRENTÍA: Agua de lluvia que discurre por la superficie del terreno.

ESPECIFICACIONES ESPECIALES: Adiciones, revisiones y complementos a las Especificaciones Generales, que se generan para una obra específica individual y son aplicables solo a ella. El Proyectista es el autor y responsable de la emisión de estas Especificaciones Especiales.

ESPECIFICACIONES GENERALES: Definen las diferentes partidas susceptibles a considerar en un proyecto de infraestructura vial, incluyendo aspectos tales como descripción de las actividades, procedimientos o métodos de construcción, recursos de personal, equipo y materiales a emplear, requisitos técnicos, control de calidad, métodos de medición y forma de pago.

ESTABILIDAD: Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación de resistir

deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material.

ESTABILIDAD BAJO AGUA: Capacidad del suelo de conservar sus propiedades volumétricas y/o de soporte bajo condición de inmersión en agua.

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS: Mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en las superficies de rodadura o capas inferiores de la carretera, y son conocidas como suelo cemento, suelo cal y otros diversos.

ESTACA: Elemento de madera, metal u otro con punta en un extremo, que se hinca en el terreno para marcar un punto.

ESTACADO: Puntos señalados en el terreno mediante estacas que indican posiciones.

ESTACIÓN: Punto del terreno en el cual se ubica el aparato topográfico para efectuar la medición correspondiente.

ESTACIÓN TOTAL: Instrumentos topográfico que combina un teodolito electrónico y un medidor electrónico de distancias con su correspondiente microprocesador.

ESTADÍA: Medición indirecta de distancia.

ESTADO LÍMITE: Condición más allá de la cual el puente o elemento estructural deja de satisfacer los requisitos para los cuales fue diseñado.

ESTIAJE: Nivel más bajo de las aguas de un río en un período determinado.

ESTRATO TÍPICO: Estrato de suelo con características tales que puede ser representativo de otros iguales o similares en un terreno dado.

ESTRIBOS: Apoyos extremos de un puente, que tienen por finalidad principal soportar la superestructura, transmitir las cargas al terreno y sostener el relleno de los accesos.

ESTUDIOS BÁSICOS DE INGENIERÍA: Documento técnico que forma parte del estudio definitivo y contiene como mínimo lo siguiente: tráfico; topografía; suelos; canteras y fuentes de agua; hidrología y drenaje; geología y geotecnia.

ESTUDIO DEFINITIVO: Documento Técnico donde se establecen los detalles de diseño de ingeniería de los elementos que constituyen el proyecto vial y que contiene como mínimo lo siguiente: i) Resumen ejecutivo, ii) Memoria descriptiva, iii) Cubicación de materiales, iv) Análisis de precios unitarios, v) Presupuesto, vi) Formulas polinómicas (según corresponda), vii) Cronogramas, viii) Especificaciones Técnicas, ix) Estudios básicos, x) Diseños, xi) Plan de mantenimiento, xii) Impacto Ambiental, xiii) Planos.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD: Documento técnico que contiene el diseño preliminar del proyecto con la finalidad de obtener la valoración de los beneficios y costos de la alternativa seleccionada.

ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA): Documento técnico que contiene el plan de manejo socio-ambiental de los proyectos de infraestructura vial según su grado de riesgo, para las diferentes fases de estudios, ejecución de obras, mantenimiento y operación, incluyendo los sistemas de supervisión y control en concordancia con los dispositivos legales sobre la materia. Además incluye las normas, guías y procedimientos relativos al Reasentamiento Involuntario y temas relacionados con el desarrollo de pueblos indígenas y arqueología del área de trabajo.

ESTUDIO DE PERFIL: Documento técnico que comprende la estimación inicial tanto de aspectos técnicos como de beneficios y costos de un conjunto de alternativas.

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD: Documento técnico que comprende el análisis preliminar de diferentes alternativas, con el objeto de seleccionar la más conveniente en función del costo y beneficio del proyecto.

ESTUDIO DE PREINVERSIÓN: Documento técnico que se realiza con la finalidad de obtener la declaración de viabilidad de un proyecto de inversión pública, comprendiendo etapas a nivel de perfil, prefactibilidad y factibilidad.

ESTUDIO DE INVERSIÓN: Documento técnico a nivel de ejecución de obra de un proyecto de inversión pública.

ESTUDIO DE SUELOS: Documento técnico que engloba el conjunto de exploraciones e investigaciones de campo, ensayos de laboratorio y análisis de gabinete que tiene por objeto estudiar el comportamiento de los suelos y sus respuestas ante las sollicitaciones de carga.

EXPLANACIÓN (TERRACERÍA): Movimiento de tierra para obtener la plataforma de la carretera y sobre la cual se construirán las distintas capas que conformarán la calzada o superficie de rodadura, hombros y cunetas.

F

FASES DE LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA: Preinversión, Inversión y Postinversión.

FATIGA: Reducción gradual de la resistencia de un material debido a sollicitaciones repetidas.

FILLER: Material proveniente por lo general de la caliza pulverizada, polvos de roca, cal hidratada, cemento Pórtland, y ciertos depósitos naturales de material fino, empleado en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente como relleno de vacíos, espesante de la mezcla ó como mejorador de adherencia.

FINOS: Porción del agregado fino o suelo que pasa la malla N° 200 (0,074 mm).

FISURA: Fractura fina, de varios orígenes, con un ancho igual o menor a 3 milímetros.

FLEXIBILIDAD: Propiedad de un pavimento asfáltico para ajustarse a asentamientos en la fundación. Generalmente, un alto contenido de asfalto mejora la flexibilidad de una mezcla.

FLUJO DE TRÁNSITO: Movimiento de vehículos que se desplazan por una sección dada de una vía, en un tiempo determinado.

FRAGUADO: Proceso de una mezcla de concreto o mortero para alcanzar progresivamente la resistencia de diseño.

G

GÁLIBO: Distancia libre entre el fondo de la superestructura del puente y el nivel de aguas máximas del río.

GAVIONES: Tipo de muro de diversos usos conformado por lo general de malla metálicas rellenas por material pétreo según diseño.

GEODINÁMICA EXTERNA: Conjunto de factores geológicos de carácter dinámico, que actúan sobre el terreno materia del estudio geológico y geotécnico.

GEOTEXTIL: Material de construcción sintético u orgánico que existe en grandes variedades y tienen una amplia gama de aplicaciones en obras viales.

GPS (SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL): Es un instrumento de medición tridimensional utilizada en topografía para establecer puntos de control mediante coordenadas así como para definir posiciones exactas en cualquier lugar del mundo durante las 24 horas del día.

GRADOS DE PENETRACIÓN: Sistema de Clasificación de los cementos asfálticos basado en la penetración a una temperatura de 25°C. Existen grados patrones de clasificación tales: 40-50, 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300.

GRADOS DE VISCOSIDAD: Sistema de clasificación de cementos asfálticos basado en rangos de viscosidad a una temperatura de 60°C (140°F). Usualmente también se especifica una viscosidad mínima a 135°C (275°F). El propósito es de establecer valores límites de consistencia a estas dos temperaturas. Los 60°C (140°F) se aproximan a la máxima temperatura de servicio de la superficie del pavimento asfáltico. Los 135°C (275°F) se aproximan a la temperatura de mezclado y colocación de pavimentos de mezclas en caliente. Existen cinco grados de cemento asfáltico basado en la viscosidad del asfalto original a 60°C (140°F).

GRANULOMETRÍA: Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas.

GRAVA: Agregado grueso, obtenido mediante proceso natural o artificial de los materiales pétreos.

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL SUELO: Determina el Peso Específico de un suelo con el Picnómetro, siendo la relación entre el peso en el aire de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada.

GRIETA: Fractura, de variados orígenes, con un ancho mayor a 3 milímetros, pudiendo ser en forma transversal o longitudinal al eje de la vía.

H

HDM: Modelo de transportes del Banco Mundial para la evaluación técnica y eco-

nómica de inversiones y mantenimiento de carreteras.

HIDRATACIÓN: Formación de un compuesto por combinación de agua en otras sustancias.

HIDRÓMETRO: Instrumento de laboratorio que permite determinar el porcentaje de partículas de suelo dispersado que permanecen en suspensión en un determinado tiempo.

HITOS KILOMÉTRICOS O DE KILOMETRAJE: Elementos de diversos materiales que sirven únicamente para indicar la progresiva de la carretera. Generalmente se ubican cada 1,000 m.

HOMBRO (ESPALDÓN): Franja longitudinal, paralela y adyacente a la superficie de rodadura de la carretera, que sirve de confinamiento de la capa de rodadura y se utiliza como zona de seguridad para estacionamiento de vehículos en caso de emergencia.

IMPACTO AMBIENTAL: Alteración o modificación del medio ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza, que incluye los impactos socio ambientales.

IMPERMEABILIDAD: Capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro o a través del mismo.

IMPRIMACIÓN: Aplicación de un material bituminoso, de baja viscosidad, para recubrir y aglutinar las partículas minerales, previamente a la colocación de una capa de mezcla asfáltica.

ÍNDICE DE FORMA (agregados): Permite medir las características de forma y textura.

INERTE: Que no participa en alguna forma en una reacción química.

INESTABILIDAD: Pérdida de resistencia a las fuerzas que tienden a ocasionar movimiento o distorsión de una estructura del pavimento.

INFLAMACIÓN (Punto de): Temperatura a la cual los vapores de un material bituminoso producen ignición (inflamación) al contacto directo con una llama. Puede hacerse con la copa abierta TAG.

INFRAESTRUCTURA VIAL DE CARRETERAS: Toda carretera que conforma o no el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC).

INFRAESTRUCTURA VIAL PÚBLICA: Todo camino, arteria, calle o vía férrea, incluidas sus obras complementarias, de carácter rural o urbano de dominio y uso público.

INTEMPERISMO: Efectos producidos por la intemperie (a cielo descubierto, sin techo).

INTERCAMBIO VIAL: Zona en la que dos o más carreteras se cruzan a distinto nivel para el desarrollo de todo los movimientos posibles de cambio de dirección de una carretera a otra sin interrupciones del tráfico vehicular.

INTERSECCIÓN: Caso en que dos o más vías se interceptan a nivel (EMPALME) o a desnivel.

INVENTARIO VIAL: Registro ordenado, sistemático y actualizado de todas las carreteras existentes, especificando su ubicación, características físicas y estado operativo.

IRI: Sigla que corresponde al Índice de Rugosidad Internacional.

ITINERARIO: Dirección y descripción de una carretera con indicación de sus puntos notables.

J

JERARQUIZACIÓN VIAL: Ordenamiento de las carreteras que conforman el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) en niveles de jerarquía, debidamente agrupadas en tres redes viales (Red Vial Nacional, Red Vial Departamental o Regional y Red Vial Vecinal o Rural), sobre la base de su funcionalidad e importancia.

JUNTA: Separación establecida entre dos partes contiguas de una obra, para permitir su expansión o retracción por causa de las temperaturas ambientales.

L

LADERA: Terreno de mediana o fuerte inclinación donde se asienta la carretera.

LECHO: Curso de un río o quebrada por donde corren las aguas en crecientes y estiajes.

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO: Conjunto de operaciones de medidas efectuadas en el terreno para obtener los elementos necesarios y elaborar su representación gráfica.

LICITACIÓN PÚBLICA: Proceso de selección que se convoca para la contratación de obras y adquisición de bienes y suministros.

LÍMITE LÍQUIDO: Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo.

LÍMITE PLÁSTICO: Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semi-sólido.

LIMOS: Partículas de roca o minerales cuyas dimensiones están entre 0,02 y 0,002 mm.

LÍNEA DE PENDIENTE: Procedimiento de trazado directo de una poligonal estacada en el campo, como eje preliminar con cotas que configuran una pendiente constante, hasta alcanzar un punto referencial de destino en un trazo nuevo.

LICUEFACCIÓN: Proceso de transformación del suelo del estado sólido al estado líquido.

LONGITUD DE PUENTE: Distancia longitudinal entre las juntas de dilatación extremas de la superestructura de un puente.

LUZ DEL PUENTE: Distancia longitudinal entre los ejes de apoyo de la superestructura de un puente.

LUZ LIBRE: Distancia longitudinal vertical de una estructura sin obstrucciones.

M

MALLA: Abertura cuadrada de un tamiz.

MANTENIMIENTO PERIÓDICO: Conjunto de actividades programables cada cierto periodo, que se realizan en las vías para conservar sus niveles de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a: i) reposición de capas de rodadura, colocación de capas de nivelación y sello, ii) reparación o reconstrucción puntual de capas inferiores del pavimento, iii) reparación o reconstrucción puntual de túneles, muros, obras de drenaje, elementos de seguridad vial y señalización, iv) reparación o reconstrucción puntual de la plataforma de carretera y v) reparación o reconstrucción puntual de los componentes de los puentes tanto de la superestructura como de la subestructura.

MANTENIMIENTO RUTINARIO: Conjunto de actividades que se realizan en las vías con carácter permanente para conservar sus niveles de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a labores de limpieza, bacheo, perfilado, roce, eliminación de derrumbes de pequeña magnitud; así como, limpieza o reparación de juntas de dilatación, elementos de apoyo, pintura y drenaje en la superestructura y subestructura de los puentes.

MANTENIMIENTO VIAL: Conjunto de actividades técnicas destinadas a preservar en forma continua y sostenida el buen estado de la infraestructura vial, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario, puede ser de naturaleza rutinaria o periódica.

MAPAS VIALES: Diagramas viales a escala y con coordenadas geográficas. Pueden ser de carácter nacional, departamental o provincial (municipal).

MARCAS EN EL PAVIMENTO: Líneas y símbolos que se utilizan con el objeto de reglamentar el movimiento de vehículos e incrementar la seguridad en su operación. Sirve, en algunos casos, como suplemento a las señales y semáforos en el control del tránsito; en otros constituye un único medio, desempeñando un factor de suma importancia en la regulación de la operación del vehículo en la vía.

MARGEN DERECHA: Orilla o borde derecho de curso de agua visto en sentido AGUAS ABAJO.

MARGEN IZQUIERDA: Orilla o borde izquierdo de curso de agua visto en sentido AGUAS ABAJO.

MATERIA ORGÁNICA: Son compuestos carbonáceos existentes en el suelo, tales como turba, lodos orgánicos y suelos que contengan materia vegetal. **MATERIAL DE CANTERA:** Material de características apropiadas para su utilización en las diferentes partidas de construcción de obra, que deben estar económicamente cercanas a las obras y en los volúmenes significativos de necesidad de la misma.

MATERIAL DE PRÉSTAMO LATERAL: Material de características apropiadas para su uso en la construcción de las explanaciones, que provienen de bancos y

canteras naturales adyacentes a la explanada de la carretera.

MATERIAL DE PRÉSTAMO: Material adecuado para las explanaciones, proveniente de los cortes para ser utilizado en rellenos, transportado fuera de la distancia denominada “libre de transporte”.

MÁXIMA DENSIDAD SECA: Máximo valor de densidad seca definido por la curva de compactación para un esfuerzo especificado (estándar ó modificado). **MEJORAMIENTO:** Ejecución de las obras necesarias para elevar el estándar de la vía mediante actividades que implican la modificación sustancial de la geometría y de la estructura del pavimento; así como la construcción y/o adecuación de los puentes, túneles, obras de drenaje, muros, y señalizaciones necesarias.

MÉTODOS NUCLEARES: Procedimientos utilizados para la determinación de densidades y/o humedades en los terraplenes, bases y superficies utilizando equipos nucleares.

MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO: Es una mezcla en frío procesada en planta u otros medios, compuesta por agregados gruesos y finos, material bituminoso y de ser el caso aditivos de acuerdo a diseño y especificaciones técnicas. Es utilizada como capa de rodadura y forma parte de la estructura del pavimento.

MINERAL: Material inorgánico de origen natural con una composición química definida.

MÓDULO RESILIENTE (Suelos): Esfuerzo repetido axial de desviación de magnitud, duración y frecuencias fijas, aplicado a un espécimen de prueba apropiadamente preparado y acondicionado.

MORTERO: Conglomerado o masa constituida por arena, conglomerante (bituminoso o cemento Portland), agua y puede contener aditivos.

MORTERO ASFÁLTICO: Mezcla de agregados pétreos, agua, emulsión asfáltica, polvo mineral y, eventualmente aditivos que se aplica sobre la superficie de una vía de acuerdo con las especificaciones.

MOVIMIENTO DE TIERRA: Ver EXPLANACIÓN.

MUESTRAS DE CAMPO: Materiales obtenidos de un yacimiento, de un horizonte de suelo y que se reduce a tamaños, cantidades representativos y más pequeñas según procedimientos establecidos.

MUESTREO: Investigación de suelos, materiales, asfalto, agua etc., con la finalidad de definir sus características y/o establecer su mejor empleo y utilización.

MURO (ESCOLLERA): Estructura destinada a garantizar la estabilidad de los elementos que constituye la vía, según su función, se denominan: de contención, sostenimiento, encauzamiento y otros.

N

NAPA FREÁTICA: Nivel superior del agua subterránea en el momento de la exploración. El nivel se puede dar respecto a la superficie del terreno o a una cota de referencia.

NIVELES DE SERVICIO: Indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural, y de seguridad. Los indicadores son propios a cada vía y varían de acuerdo a factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario (comodidad, oportunidad, seguridad y economía) y rentabilidad de los recursos disponibles.

O

OBRA: Infraestructura vial ejecutada en un **ÁREA DE TRABAJO**, teniendo como base un Expediente Técnico aprobado, empleando generalmente recursos: mano de obra, materiales y equipo.

OBRA ADICIONAL: Aquella no considerada en el expediente técnico, ni en el contrato, cuya realización resulta indispensable y/o necesaria para dar cumplimiento a la meta prevista de la obra principal.

OBRAS DE DRENAJE: Conjunto de obras que tienen por fin controlar y/o reducir el efecto nocivo de las aguas superficiales y subterráneas sobre la vía, tales como: alcantarillas, cunetas, badenes, subdrenaje, zanjas de coronación y otras de encauzamientos.

OBRAS DE PUESTA A PUNTO: Intervenciones de mantenimiento vial extraordinario que se ejecuta con la finalidad de recuperar los niveles de servicio.

OBRA PÚBLICA: Obra que ejecuta en forma directa o indirecta una entidad del Estado con la finalidad de servir al público.

OPERACIÓN VIAL: Conjunto de actividades que se inician al término de una intervención de la vía y tienen por finalidad mantener un nivel de servicio adecuado. Estas están referidas al cuidado y vigilancia de los elementos confortantes de la vía incluyendo la preservación de la integridad física del Derecho de Vía, el control de cargas y pesos vehiculares, los servicios complementarios, medidas de seguridad vial así como la prevención y atención de emergencias viales.

ÓVALO O ROTONDA: Intersección dispuesta en forma de anillo (circular u oval) al que acceden, o del que parten, tramos de carretera, siendo único el sentido de circulación en el anillo.

P

PASIVO AMBIENTAL: Daño ambiental o impacto no mitigado. Este pasivo es considerado cuando afecta de manera perceptible y cuantificable elementos ambientales naturales (físicos y bióticos) y humanos e incluso bienes públicos (infraestructura) como parques y sitios arqueológicos.

PASO A DESNIVEL: Cruce a diferentes niveles entre dos o más carreteras o líneas férreas o la combinación de estas, se conoce también como **BYPASS**. **PASO A NIVEL:** Cruce a la misma cota entre una carretera y una línea de ferrocarril o entre dos carreteras.

PASO DE PEATONES: Zona transversal al eje de una vía, destinada al cruce de peatones mediante regulación de la prioridad de paso.

PATRIMONIO VIAL: Conjunto de caminos, arterias, calles o vías férreas, incluidas sus obras complementarias, que con su respectivo derecho de vía conforman la estructura vial de uso y dominio público susceptible de valorización.

PAVIMENTO: Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: subbase, base y rodadura.

PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO: Pavimento asfáltico resultante de la mezcla asfáltica antigua recuperada mediante fresado y con adición de asfalto, agregados y de ser el caso aditivos, según diseño.

PAVIMENTO FLEXIBLE: Constituido con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos.

PAVIMENTO RÍGIDO: Constituido por cemento Pórtland como aglomerante, agregados y de ser el caso aditivos.

PEAJE: Tasa que paga el usuario, por el derecho de utilizar la infraestructura vial pública.

PENDIENTE DE LA CARRETERA: Inclinação del eje de la carretera, en el sentido de avance.

PERFIL LONGITUDINAL: Trazado del eje longitudinal de la carretera con indicación de cotas y distancias que determina las pendientes de la carretera.

PERALTE (sobreelevación): Inclinação transversal de la carretera en los tramos de curva, destinada a contrarrestar parcialmente la fuerza centrífuga del vehículo.

PERMEABILIDAD: Capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna.

PESO ESPECÍFICO (productos asfálticos): Sólidos y semisólidos. Relación del peso de un volumen dado de material a 25°C y el peso de un volumen aquel de agua a la temperatura indicada.

pH: Medida del estado de acidez o basicidad de una solución. Los valores extremos del pH son 0 y 14; y el valor medio 7 indica que la solución es neutra.

PILARES: Apoyos intermedios de un puente, que tienen por finalidad principal soportar la superestructura y transmitir las cargas al terreno.

PILOTE: Elemento de cimentación profunda de madera, acero o concreto. Transmiten la carga por punta o fricción del cuerpo con el suelo que lo circunda o por ambas.

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL (PMA): Conjunto de obras diseñadas para mitigar o evitar los impactos negativos de las obras de la carretera, sobre la comunidad y el medio ambiente. Las obras PMA deben formar parte del proyecto de la carretera y de su presupuesto de inversión.

PLANO TOPOGRÁFICO: Representación gráfica pormenorizada a escala de una extensión de terreno.

PLANOS DEL PROYECTO: Representación conceptual de una obra vial constituido por plantas, perfiles, secciones transversales y dibujos complementarios de ejecución. Los planos muestran la ubicación, naturaleza, dimensiones y detalles del trabajo a ejecutar.

PLANOS TIPO: Documentos aprobados que se elaboran en base a especificaciones técnicas y que se usan en obras estándar de uso frecuente.

PLATAFORMA (CORONA): Superficie superior de una carretera, incluye calzada, hombro y cunetas.

PONTÓN: Denominación utilizada para referirse a puentes de longitud menor a 10 m.

POLÍMERO: Aditivo modificador del asfalto.

POROSIDAD: Propiedad de un cuerpo que se caracteriza por la presencia de vacíos en su estructura.

PRESIÓN ADMISIBLE: Máxima presión que la cimentación puede transmitir al terreno sin que ocurran asentamientos mayores a lo admisible, según lo especifique la norma del diseño respectiva.

PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN: Es la cota o estrato del terreno de fundación de la estructura de una obra.

PROGRAMA DE EJECUCIÓN: Documento en el que consta la programación por periodos determinados de tiempo para la ejecución de un estudio u obra.

PROPIEDAD RESTRINGIDA: Faja de terreno lateral y colindante al Derecho de Vía, donde está prohibido ejecutar construcciones permanentes que puedan afectar a la seguridad vial, a la visibilidad, o dificulten posibles ensanches. Su ancho se establece por resolución del titular de la autoridad competente respectiva.

PROYECTISTA (DISEÑADOR): Persona natural o jurídica, que la Entidad encar- ga o contrata para la elaboración de los documentos relativos a un proyecto.

PROVEEDOR: Persona natural o jurídica que vende o arrienda bienes, presta servicios generales o de consultoría o ejecuta obras.

PUENTE: Estructura requerida para atravesar un accidente geográfico o un obstáculo natural o artificial.

PUESTO EN OBRA: Se dice de los materiales y/o equipos colocados dentro del ÁREA DE TRABAJO.

PUNTO DE ABLANDAMIENTO (anillo y bola): Temperatura de referencia a la cual los asfaltos tienen la misma viscosidad o penetración (aproximadamente 800 dmm); es decir, cuando se tornan fluidos debido a que son materiales viscoelásticos.

PUNTO DE INTERSECCIÓN: Punto en que se cortan las prolongaciones de dos

tangentes sucesivas del alineamiento horizontal, conocido como PI; en el alineamiento vertical se conoce como PIV

PUNTO DE TANGENCIA: Punto donde termina la tangente y comienza la curva, conocido como PT.

PUNTO NOTABLE: Sitio o lugar importante en el itinerario de una ruta, tales como puentes, ciudades, centros poblados, abras, túneles, etc.

Q

QUEBRADA: Abertura entre dos montañas, por formación natural o causada por erosión de las aguas.

R

RAMAL: Bifurcación de una carretera que tiene un punto de inicio fijo, siendo que su punto final no se conecta necesariamente con otra vía similar o de mayor rango vial

RAMPA: Ramal de intercambio con pendiente, destinado a empalmar una vía con otra a niveles diferentes.

RASANTE: Nivel terminado de la superficie de rodadura. La línea de rasante se ubica en el eje de la vía.

REACTIVIDAD (agregado/álcali del cemento): Método para medir la posible reactividad de los agregados con los álcalis del aglomerante.

RECAPEO ASFÁLTICO: Colocación de una o más capas de mezcla asfáltica sobre la superficie de rodadura de un pavimento existente con fines de mantenimiento ó rehabilitación. En caso se especifique incluye una capa de nivelación para corregir el perfil del pavimento antiguo.

RECONSTRUCCIÓN: Renovación completa de una obra de infraestructura vial, previa demolición parcial o completa de la existente, pudiendo modificarse sus características originales.

RECUPERACIÓN (elástica): Sirve para determinar el grado de elasticidad de los asfaltos modificados.

RED VIAL: Conjunto de carreteras que pertenecen a la misma clasificación funcional (Arterial, Colector y Local; También puede ser, según la determinación de responsabilidades: Nacional, Departamental o Regional y Vecinal o Rural)

RED VIAL DEPARTAMENTAL O REGIONAL (Colector): Conformada por las carreteras que constituyen la red vial circunscrita al ámbito de un Gobierno Regional. Articula básicamente a la Red Vial Nacional con la Red Vial Vecinal o Rural.

RED VIAL NACIONAL (Arterial): Corresponde a las carreteras de interés nacional conformada por los principales ejes longitudinales y transversales, que constituyen la base del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC). Sirve como elemento receptor de las carreteras Departamentales o Regionales y de las carreteras Vecinales o Rurales.

RED VIAL VECINAL O RURAL (Local): Conformada por las carreteras que constituyen la red vial circunscrita al ámbito local, cuya función es articular las capitales de provincia con capitales de distrito, éstas entre sí, con centros poblados ó zonas de influencia local y con las redes viales nacional y departamental o regional

REFORESTACIÓN: Consiste en sembrar vegetación con la finalidad de estabilización de taludes, y protección del medio ambiente.

REHABILITACIÓN: Ejecución de las obras necesarias para devolver a la infraestructura vial sus características originales y adecuarla a su nuevo periodo de servicio; las cuales están referidas principalmente a reparación y/o ejecución de pavimentos, puentes, túneles, obras de drenaje, de ser el caso movimiento de tierras en zonas puntuales y otros.

REPLANTEO TOPOGRÁFICO: Acción de trazar y/o controlar en el terreno un proyecto antes, durante y después de su ejecución y cuantas veces sea necesario.

RELLENO: Ver TERRAPLÉN.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN: Ensayo de resistencia a la compresión que se realiza colocando una muestra cilíndrica en una prensa al que se le aplica una fuerza hasta la rotura de la muestra o testigo.

RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO: Propiedad de la superficie del pavimento, particularmente cuando esta mojado, para resistir el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos.

RIEGO DE LIGA: Aplicación delgada y uniforme de material asfáltico sobre una superficie existente de asfalto o de concreto hidráulico, con la finalidad de asegurar la adherencia entre la capa de rodadura existente y la de cobertura.

RIEGO PULVERIZADO: Aplicación de emulsión asfáltica diluida en forma ligera, que tiene por objeto renovar viejas superficies asfálticas, sellar pequeñas fisuras y vacíos en la superficie.

ROCA: Material formado por diversos minerales unidos por fuerzas cohesivas permanentes.

ROCA FIJA: Masas de rocas medianas o fuertemente litificadas que, debido a su cohesión y consolidación, requieren necesariamente el empleo sistemático de explosivos para su disgregación.

ROCA SUELTA: Masas de rocas cuyos grados de fractura, cohesión y consolidación, necesiten el uso de maquinaria y/o requieran explosivos, siendo el empleo de este último en menor proporción que para el caso de roca fija.

ROTURA DE EMULSIÓN: Fenómeno de separación del agua y el asfalto, comenzado el proceso de curado. La velocidad de rotura está controlada principalmente por el agente emulsivo. **RUGOSIDAD (PAVIMENTO):** Parámetro del estado más característico de la condición funcional de la capa de superficie de rodadura de un pavimento. Se expresa mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

RUTA: Carretera, definido entre dos puntos determinados, con origen, itinerario y destino debidamente identificados.

S

SECCIÓN TRANSVERSAL: Representación gráfica de una sección de la carretera en forma transversal al eje y a distancias específicas.

SECTOR: Parte continúa de un tramo.

SEDIMENTACIÓN: Proceso por el cual un material sólido se deposita en los cauces de los ríos, quebradas, alcantarillas, cunetas o canales, por efecto del transporte de corrientes de agua.

SEGURIDAD VIAL: Conjunto de acciones orientadas a prevenir o evitar los riesgos de accidentes de los usuarios de las vías y reducir los impactos sociales negativos por causa de la accidentalidad.

SELLOS ASFÁLTICOS: Trabajos consistentes en la aplicación de un material bituminoso sobre la superficie de un pavimento existente y cubierto por agregado fino de diferente graduación según diseño.

SEÑALIZACIÓN VIAL: Dispositivos que se colocan en la vía, con la finalidad de prevenir e informar a los usuarios y regular el tránsito, a efecto de contribuir con la seguridad del usuario.

SEPARADOR: Espacio o dispositivo estrecho y ligeramente saliente, distinto de una franja o línea pintada, situado longitudinalmente para separar el tránsito de la misma o distinta dirección y dispuesto de tal forma que intimide e impida el paso de vehículos entre calzadas o carriles.

SERVICIOS COMPLEMENTARIOS: Conjunto de servicios de carácter opcional que la autoridad competente autoriza mediante contrato, en beneficio de la seguridad y la comodidad de los usuarios, dentro del Derecho de Vía.

SISTEMA DE PEAJE ABIERTO: Es aquel donde el usuario abona la tasa en el ingreso de la carretera afectada a este sistema, independientemente del kilómetro recorrido.

SISTEMA DE PEAJE CERRADO: Consiste en mantener controles de acceso a la carretera y tasas proporcionales a las distancias recorridas, en módulos establecidos, efectuándose el pago en cada salida.

SLUMP.- MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO CON EL CONO DE ABRAMS: Establece la determinación del asentamiento del concreto fresco tanto en el laboratorio como en el campo. Este método consiste en colocar una muestra de concreto fresco en un molde con forma de cono trunco, según las características y procedimientos que establezcan las especificaciones técnicas correspondientes.

SOBREANCHO: Ancho adicional de la superficie de rodadura de la vía, en los tramos en curva para compensar el mayor espacio requerido por los vehículos para circular.

SOCAVAR: Erosión de la cimentación de una estructura u otro elemento de la vía por la acción del agua.

SOLUBILIDAD: Es una medida de la capacidad de una determinada sustancia

para disolverse en otra.

SUBBASE: Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de Base.

SUBDRENAJE: Obra de drenaje que tiene por finalidad deprimir la napa freática que afecta la vía por efectos de capilaridad.

SUBESTRUCTURA: Componente estructural donde se apoya la superestructura y que trasmite al terreno de cimentación las cargas aplicadas al puente, entre ellos los estribos y pilares.

SUBRASANTE: Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

SUELO ARCILLOSO: Conformado por arcillas o con predominancia de éstas. Por lo general, no es adecuado para el tránsito vehicular.

SUELO ARENOSO: Conformado por arena o con predominancia de ésta. Por lo general, no es adecuado para el tránsito vehicular.

SUELOS EXPANSIVOS: Suelos que al ser humedecidos sufren una expansión que pone en peligro a las estructuras cimentadas sobre ellos.

SUELOS INALTERADOS (No disturbados): Generalmente son cohesivos que conservan su estructura y humedad.

SUPERESTRUCTURA: Componente estructural que recibe en forma directa las cargas vehiculares que circulan por el puente; conformada por diferentes tipos de elementos metálicos, de concreto, madera y otros.

SUPERFICIE DE RODADURA: Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos compuesta por uno o más carriles, sin incluir los hombros.

SUPERFICIE DE RODADURA DE UN PUENTE: Parte de la superestructura destinada a la circulación de vehículos compuesta por uno o más carriles. Estructuralmente representa la superficie de desgaste del tablero de un puente.

SUPERVISOR DE OBRA: Persona natural o jurídica que presta el servicio de supervisión en un estudio u obra.

T

TALUD: Inclinação de diseño dada al terreno lateral de la carretera, tanto en zonas de corte como en terraplenes.

TAMIZ: Aparato, en un laboratorio, usado para separar tamaños de material, y donde las aberturas son cuadradas.

TASA: Tributo cuya obligación tiene como hecho generador la prestación efectiva por el Estado de un servicio público individualizado en el contribuyente.

TENSIÓN: Ensayo que se practica en barras y alambres de acero, determinando

parámetros que hacen a la calidad del producto, como son: alargamiento, área y su reducción, carga máxima, carga final, etc.

TENSIÓN DE COMPRESIÓN: Esfuerzo normal que tiende a acortar el cuerpo en la dirección en la que actúa.

TÉRMINOS DE REFERENCIA: Documento que elabora la Entidad Contratante, con la finalidad de establecer los objetivos, alcances, características técnicas, productos esperados y demás condiciones requeridas para la prestación de un servicio de consultoría a contratar.

TERRAPLÉN: Parte de la EXPLANACIÓN situada sobre el terreno original. También se le conoce como relleno.

TESTIGO: Una muestra cilíndrica de concreto endurecido, de mezcla bituminosa compactada y endurecido usualmente obtenida por medio de una broca diamantina de una máquina extractora.

TORONES: Elementos constitutivos de los cables de acero.

TRABAJABILIDAD: La facilidad con que las mezclas de pavimentación y de otras obras de infraestructura vial pueden ser colocadas y compactadas.

TRÁFICO: Ver TRÁNSITO.

TRAMO: Parte continúa de una carretera.

TRÁNSITO: Actividad de personas y vehículos que circulan por una vía

TRANSICIÓN DEL PERALTE: Es la traza del borde de la calzada, en la que se desarrolla el cambio gradual de la pendiente del borde de la calzada, entre la que corresponde a la zona tangente, y el que corresponde a la zona peraltada de la curva.

TRANSICIÓN DE SOBREENCHO: Traza del borde de la calzada, en la que se modifica gradualmente el ancho de la calzada hasta alcanzar el máximo ancho de la sección requerida en la curva.

TRANSITABILIDAD: Nivel de servicio de la infraestructura vial que asegura un estado tal de la misma que permite un flujo vehicular regular durante un determinado periodo.

TRATAMIENTO SUPERFICIAL: Aplicación de una o más capas conformadas por riegos asfálticos que pueden incluir aditivos y agregados cuyas características son definidas según especificaciones técnicas. Por lo general son de una, dos y tres capas (monocapa y bicapa)

TRAYECTORIA: Ver ITINERARIO.

TROCHA: Vía transitable que no alcanza las características geométricas de una carretera.

TÚMULO (MUERTO): Dispositivo de seguridad para obligar a los conductores a disminuir la velocidad del vehículo. Su uso no es recomendable por razones de seguridad.

U

USUARIO: Persona natural o jurídica, pública o privada que utiliza la infraestructura vial pública.

V

VARIANTE (DESVÍO): Bifurcación de una carretera en el que se fija su punto de inicio, siendo su punto final, necesariamente, otro punto de la misma carretera.

VEHICULO: Cualquier componente del tránsito cuyas ruedas no están confinadas dentro de rieles.

VEHICULO LIVIANO DE USO PRIVADO (Ligero): Vehículo automotor de peso bruto hasta 1,5 t.

VEHICULO LIVIANO: Vehículo automotor de peso bruto mayor a 1,5 t hasta 3,5 t.

VEHICULO PESADO: Vehículo automotor de peso bruto mayor a 3,5 t.

VELOCIDAD DIRECTRIZ: Ver VELOCIDAD DE DISEÑO.

VELOCIDAD DE DISEÑO: Máxima velocidad con que se diseña una vía en función a un tipo de vehículo y factores relacionados a: topografía, entorno ambiental, usos de suelos adyacentes, características del tráfico y tipo de pavimento previsto. Se expresa en km/h o en KPH.

VELOCIDAD DE OPERACIÓN: Máxima velocidad autorizada para la circulación vehicular en un tramo o sector de la carretera. Se expresa en km/h o en KPH.

VELOCIDAD DE RUEDO: Velocidad a la que circulan los vehículos en un tramo de la carretera. Se expresa en km/h o en KPH.

VÍA: Camino, arteria o calle.

VÍA DE ACCESO RESTRINGIDO: Ver ÁREAS DE ACCESO RESTRINGIDO.

VÍA DE DESVÍO: Vía que se construye para evitar atravesar una zona urbana.

VÍA DE SERVICIO: Vía sensiblemente paralela a una carretera, respecto de la cual tiene carácter secundario, conectado a ésta solamente en algunos puntos y que sirve a las propiedades o edificios contiguos. Puede ser con sentido único o doble sentido de circulación.

VÍA URBANA: Arterias o calles conformantes de un centro poblado, que no integran el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC).

VIDA ÚTIL: Lapso de tiempo previsto en la etapa de diseño de una obra vial, en el cual debe operar o prestar servicios en condiciones adecuadas bajo un programa de mantenimiento establecido.

VIADUCTO: Vías rápidas de tránsito continuo, elevadas o no.

VIABILIDAD DE UN PROYECTO DE INVERSIÓN PÚBLICA: Condición atribuida expresamente a un Proyecto de Inversión Pública (PIP) que demuestra ser rentable, sostenible y compatible con las políticas sectoriales.

VIGA BENKELMAN: Instrumento que se usa para determinar la deflexión de un pavimento flexible producido por una carga estática.

VISCOSIDAD: Medida de la resistencia al flujo. Es un método usado para medir la consistencia del asfalto.

VISCOSIDAD ABSOLUTA: Método usado para medir viscosidad usando el poise como la unidad de medida. Este método hace uso de un vacío parcial para inducir flujo en el viscosímetro.

VISCOSIDAD CINEMÁTICA: Método usado para medir viscosidad, usando el STOKE como la unidad de medida.

VISCOSÍMETRO: Aparato (Tubo capilar) de vidrio adecuado para el ensayo a viscosidad capilar de vacío, cuando se requiere este ensayo.

VOLUMEN DE VACÍOS: Cantidad total de espacios vacíos en una mezcla compactada.

Z

ZANJA DE CORONACIÓN (CONTRACUNETETA): Canal abierto en terreno natural, encima de un talud de corte, destinado a captar y conducir las aguas de escorrentía y evitar la erosión del talud.

9.1.3 Medidas. Las medidas descritas a continuación corresponden a las que se utilizan actualmente en el ámbito centroamericano. En la Tabla 9-1 se indican los factores de conversión para las medidas más utilizadas en estas especificaciones.

TABLA 9-1
Factores de Conversión

Para convertir	a	Multiplicar por
acre	metro ² (m ²)	4046.856
acre	hectómetro ² (hm ²)	0.404 686
Atmósfera (técnica = lkgf / cm ²)	kilopascal (kPa)	98.066 50
Barril (42 gal.)	decímetro ³ (dm ³) o litro (l)	158.987 3
BTU (Tabla Internacional)	kilojulio (kJ)	1.055 56
bushel	decímetro ³ (dm ³)	35.239 1
DINA	micro Newton (μN)	10.000 0
dina/centímetro ²	pascal(Pa)	0.100 0

Fahrenheit (temperatura)	Celsius (°C)	$t_c = (t_f - 32) / 1.8$
pie	metro (m)	0.304 80
pie ²	metro ² (m ²)	0.092 903
pie ³	metro ³ (m ³)	0.028 317
pie ³	litro (l)	28.317 0
pielibrafuerza	julio (J)	1.355 818
pie / minuto	metro / segundo (m/s)	0.005 08
pie/segundo ²	metro/segundo ² (m/s ²)	0.304 80
galón (U.S. líquido)	(decímetro ³ (dm ³) o litro (l))	3.785 412
galón (U.S. líquido)	metro ³ (m ³)	0.003 785
galón / minuto	decímetro ³ /segundo (dm ³ /s) o litro / segundo (l/s)	0.063 09
Para convertir	a	Multiplicar por
galón/yarda ²	decímetro ³ /metro ² (dm ³ /m ²) o litro/ metro ² (l/m ²)	4.527 314
horsepower (eléctrico)	kilovatio (Kw)	0.746 0
pulgada	milímetro (mm)	25.400 0
pulgada ²	centímetro ² (cm ²)	6.451 60
pulgada ²	milímetro ² (mm ²)	645.160 0
pulgada ³	centímetro ³ (cm ³)	16.387 06
pulgada / segundo	metro / segundo (m/s)	0.025 40
pulgada de mercurio (60°C)	pascal(Pa)	3376.85
pulgada/segundo ²	metro / segundo ² (m/s ²)	0.025 40
kilogramo (kg)	tonelada (métrica)	0.001 00
kilolibra (1 000 lbf)	kilonewton (kN)	4.448 222
kilolibra/pulgada	megapascal (mPa)	6.894 757
milla (estauto U.S.)	kilómetro (km)	1.609 344
milla ²	kilómetro ² (km ²)	2.589 988
milla/hora	kilómetro/hora (km/hr)	1.609 344
minuto (ángulo)	radian (rad)	0.000 290
onzafuerza	Newton (N)	0.278 013
onzamasa	gramo (g)	28.34 9 52
onza fluida	centímetro ³ (cm ³)	29.573 53
onza fluida	litro (l)	0.029 574
poise (viscosidad absoluta)	pascalsegundo (Pas)	0.1000 00
libra – fuerza	Newton (N)	4.448 222

librafuerza (lbf)	kilonewton (kN)	0.004 448
librafuerzapulgada	Newtonmetro (Nm)	0.112 984
librafuerza/pie	pascal(Pa)	47.880 26
librafuerza/pulgada ² (psi)	kilopascal(kPa)	6.894 757
libramasa	kilogramo (kg)	0.453 592
libramasa/pie ²	kilogramo/metro ² (kg /m ²)	4.882 428
libra masa/pie ³	kilogramo/metro ³ (kg/m ³)	16.018 46
libramasa/pie ³	megagramo/metro ² (mg/m ²)	0.016 018
libramasa/pulgada ³	kilogramo/decimetro ³ (kg/dm ³)	27.679 90
libramasa/yarda ²	kilogramo/metro ² (kg/m ²)	0.542 492
libramasa/yarda ³	kilogramo/metro ³ (kg /m ³)	0.593 276
libramasa/galón (U.S. líquido)	kilogramo/metro ³ (kg/m ³)	119.826 4
Para convertir	a	Multiplicar por
libra-masa/galón (U.S. líquido)	kilogramo/decimetro ³ (kg/dm ³)	0.119 826
psi	kilopascal (kPa)	6.894 757
tonelada (métrica)	kilogramo (kg)	1000.000 0
tonelada (corta 2 000 lb)	kilogramo (kg)	907.184 7
tonelada (larga 2 400 lb)	kilogramo (kg)	1016.046 1
toneladamas/yarda ³	kilogramo/metro ³ (kg /m ³)	1186.5527
yarda	metro (m)	0.914 40
yarda ²	metro ² (m ²)	0.836 127
yarda ³	metro ³ (m ³)	0.764 554 1

9.2 TERMINOLOGÍA USADA EN GESTIÓN DE RIESGO

La terminología utilizada para la Gestión de Riesgos corresponde con el “**Glosario Actualizado de Términos en la Perspectiva de la Reducción de Riesgo a Desastres**” del Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central CEPREDENAC en agosto del año 2007.

AMENAZA: peligro latente que representa la probable manifestación de un fenómeno físico de origen natural, socio-natural o antropogénico, puede producir efectos adversos, daños y pérdidas en las personas, la producción, la infraestructura, la propiedad, los bienes y servicios y el medio ambiente. Constituye un factor de riesgo físico externo a un elemento o grupo de elementos sociales expuestos, que se expresa como la probabilidad de que un fenómeno se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un período de tiempo definido.

AMENAZA NATURAL: peligro latente asociado con la posible manifestación de un

fenómeno físico cuya génesis se encuentra totalmente en los procesos naturales de transformación y modificación de la Tierra y el ambiente por ejemplo, un terremoto, una erupción volcánica, un tsunami o un huracán y que puedan resultar en la muerte o lesiones a seres vivos, daños materiales o interrupción de la actividad social y económica en general. Suelen clasificarse de acuerdo con sus orígenes terrestres, atmosféricos, o biológicos (en la biosfera) permitiendo identificar, entre otras, amenazas geológicas, geomorfológicas, climatológicas, hidrometeorológicas, oceánicas y bióticas.

AMENAZA SOCIO-NATURAL: peligro latente asociado con la probable ocurrencia de fenómenos físicos cuya existencia, intensidad o recurrencia se relaciona con procesos de degradación ambiental o de intervención humana en los ecosistemas naturales. Ejemplos de estos pueden encontrarse en inundaciones y deslizamientos resultantes de, o incrementados o influenciados en su intensidad, por procesos de deforestación y degradación o deterioro de cuencas; erosión costera por la destrucción de manglares; inundaciones urbanas por falta de adecuados sistemas de drenaje de aguas pluviales. Las amenazas socio-naturales se crean en la intersección de la naturaleza con la acción humana y representan un proceso de conversión de recursos en amenazas. Los cambios en el ambiente y las nuevas amenazas que se generarán con el Cambio Climático Global son el ejemplo más extremo de la noción de amenaza socio-natural. Las amenazas socio-naturales mimetizan o asumen las mismas características que diversas amenazas naturales.

AMENAZA ANTROPOGÉNICA O ANTRÓPICA: peligro latente generado por la actividad humana en la producción, distribución, transporte, consumo de bienes y servicios, y la construcción y uso de infraestructura y edificios. Comprenden una gama amplia de peligros como lo son las distintas formas de contaminación de aguas, aire y suelos, los incendios, las explosiones, los derrames de sustancias tóxicas, los accidentes de los sistemas de transporte, la ruptura de presas de retención de agua, etc.

ANÁLISIS DE AMENAZAS: Es el proceso mediante el cual se determina la posibilidad de que un fenómeno físico peligroso se manifieste, con un determinado grado de severidad, durante un período de tiempo definido y en un área determinada. Representa la recurrencia estimada y la ubicación geográfica de eventos probables.

ANÁLISIS DE RIESGO: en su forma más simple, es una consideración de las causas, y la interacción de amenazas y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos, impactos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos en un territorio y con referencia a grupos o unidades sociales y económicas particulares. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y las consecuencias en un área determinada. Análisis de amenazas y de vulnerabilidades componen facetas del análisis de riesgo y deben estar articulados con este propósito y no comprender actividades separadas e independientes. Un análisis de vulnerabilidad es imposible sin un análisis de amenazas, y viceversa.

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD: Es el proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento ante una amenaza específica, contribuyendo al conocimiento del riesgo a través de interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso.

ANTRÓPICO O ANTROPOGÉNICO: de origen humano o de las actividades del hombre, incluidas las tecnológicas. (Brenes., Alice. CEPREDENAC, Definiciones complementarias).

CAPACIDAD: combinación de todas las fuerzas y recursos disponibles de una comunidad u organización que pueden reducir el nivel de riesgo o los efectos de ello.

CUENCA HIDROLOGICA: Se entiende por **cuenca hidrográfica**, **cuenca de drenaje** o **cuenca imbrifera** el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago (endorreico). Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas.

DESASTRE: situación, contexto o proceso social que se desencadena como resultado de la manifestación de un fenómeno de origen natural, socio-natural o antrópico que, al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en una población y en su estructura productiva e infraestructura, causa alteraciones intensas, graves y extendidas en las condiciones normales de funcionamiento del país, región, zona o comunidad afectada, las cuales no pueden ser enfrentadas o resueltas de manera autónoma utilizando los recursos disponibles a la unidad social directamente afectada.

Estas alteraciones están representadas de forma diversa y diferenciada, entre otras cosas, por la pérdida de vida y salud de la población; la destrucción, pérdida o inutilización total o parcial de bienes de la colectividad y de los individuos, así como daños severos en el ambiente, requiriendo de una respuesta inmediata de las autoridades y de la población para atender a los afectados y reestablecer umbrales aceptables de bienestar y oportunidades de vida.

DESLIZAMIENTO: Movimiento de los materiales que componen la ladera pendiente abajo por influencia de la gravedad y pueden tener como detonante a las lluvias, los sismos y la actividad humana (CEPREDENAC – NGI)

DECIBEL: Es la unidad relativa empleada en acústica y telecomunicaciones para expresar la relación entre dos magnitudes, acústicas o eléctricas, o entre la magnitud que se estudia y una magnitud de referencia. Por lo que se utiliza para medir el RUIDO. Su símbolo = dB.

EFFECTOS O IMPACTOS (ECONÓMICOS Y SOCIALES) DIRECTOS: aquellos que mantienen relación de causalidad directa e inmediata con la ocurrencia de un fenómeno físico, representados usualmente por el impacto en las infraestructuras, sistemas productivos, bienes y acervos, servicios y ambiente, o por el impacto inmediato en las actividades sociales y económicas (ver IMPACTOS HUMANOS DIRECTOS E INDIRECTOS).

ELEMENTOS EXPUESTOS: es el contexto social y material representado por las personas y por los recursos, producción, infraestructura, bienes y servicios, que pueden ser afectados directamente por un fenómeno físico. Corresponden a las actividades humanas, todos los sistemas realizados por el hombre tales como edificaciones, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, servicios, la gente que los utiliza.

EMERGENCIA: estado directamente relacionado con la ocurrencia de un fenóme-

no físico peligroso o por la inminencia del mismo, que requiere de una reacción inmediata y exige la atención de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general. Cuando es inminente el evento, puede presentarse confusión, desorden, incertidumbre y desorientación entre la población. La fase inmediata después del impacto es caracterizada por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, zona o región y las condiciones mínimas necesarias para la supervivencia y funcionamiento de la unidad social afectada no se satisfacen. Constituye una fase o componente de una condición de desastre pero no es, per se, una noción sustitutiva de desastre. Puede haber condiciones de emergencia sin un desastre.

ESCENARIOS DE RIESGO: un análisis presentado en forma escrita, cartográfica o diagramada, utilizando técnicas cuantitativas y cualitativas, y basado en métodos participativos, de las dimensiones del riesgo que afecta a territorios y grupos sociales determinados. Significa una consideración pormenorizada de las amenazas y vulnerabilidades, y como metodología ofrece una base para la toma de decisiones sobre la intervención en reducción, previsión y control de riesgo. En su acepción más reciente, implica también un paralelo entendimiento de los procesos sociales causales del riesgo y de los actores sociales que contribuyen a las condiciones de riesgo existentes. Con esto se supera la simple estimación de diferentes escenarios de consecuencias o efectos potenciales en un área geográfica que tipifica la noción más tradicional de escenarios en que los efectos o impactos económicos se registran sin noción de causalidades.

FENÓMENO NATURAL: es toda manifestación de la naturaleza que puede ser percibido por los sentidos o por instrumentos científicos de detección. Se refiere a cualquier expresión que adopta la naturaleza como resultado de su funcionamiento interno.

FENÓMENO (EVENTO) PELIGROSO: suceso natural, socio-natural o antrópico que se describe en términos de sus características, su severidad, ubicación y área de influencia. Es la materialización en el tiempo y el espacio de una amenaza. Es importante diferenciar entre un fenómeno potencial o latente que constituye una amenaza, y el fenómeno mismo, una vez que éste se presenta.

GESTIÓN DE RIESGOS (o, de forma más explícita, la Gestión de la Reducción, Previsión y Control del Riesgo de Desastre): un proceso social complejo, cuyo fin último es la reducción o la previsión y control permanente del riesgo de desastre en la sociedad, en consonancia con, e integrada al logro de pautas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenibles.

En principio, admite distintos niveles de intervención que van desde lo global, integral, lo sectorial y lo macro-territorial hasta lo local, lo comunitario y lo familiar.

Además, requiere de la existencia de sistemas o estructuras organizacionales e institucionales que representan estos niveles y que reúnen bajo modalidades de coordinación establecidas y con roles diferenciados acordados, aquellas instancias colectivas de representación social de los diferentes actores e intereses que juegan un papel en la construcción de riesgo y en su reducción, previsión y control.

La Gestión del Riesgo (colectivo) a desastre involucra cuatro dimensiones o políticas públicas bien definidas: la identificación del riesgo (que se relaciona con

la percepción individual y colectiva; y con un análisis y evaluación), la reducción del riesgo (que se relaciona con las acciones de prevención y mitigación); y la transferencia y financiación del riesgo (que se refiere a los mecanismos de protección financiera para cubrir pasivos contingentes y riesgos residuales) (Cardona et al.,2003).

En el contexto del Marco Estratégico y del nuevo Convenio Constitutivo, el CEPREDENAC convocó, analizó, consensuó, y actualizó el Plan Regional de Reducción a Desastres PRRD para el periodo 2006-2015, tomando en cuenta los siguientes elementos: La Gestión del Riesgo como una propuesta de política pública transversal que contribuye a la delimitación de planes, programas y proyectos de toda política de desarrollo.

En atención a los compromisos del Plan de Acción de Hyogo, los avances actuales en materia de construcción de políticas públicas, demandan la participación de diversos actores, en un marco de gestión con sólida base institucional, que tenga aplicación en el ámbito nacional y local.

GESTIÓN CORRECTIVA DEL RIESGO: un proceso que pretende reducir los niveles de riesgo existentes en la sociedad o en un sub-componente de la sociedad, producto de procesos históricos de ocupación del territorio, de fomento a la producción y la construcción de infraestructuras y edificaciones entre otras cosas. Reacciona a, y compensa riesgo ya construido en la sociedad. Ejemplos de acciones o instrumentos de la gestión correctiva incluyen la construcción de diques para proteger poblaciones ubicadas en las zonas de inundación, la reestructuración de edificios para dotarlos de niveles adecuados de protección sismo resistente o contra huracanes, cambios en el patrón de cultivos para adecuarse a condiciones ambientales adversas, reforestación o recuperación de cuencas para disminuir procesos de erosión, deslizamiento e inundación (ver MITIGACIÓN (REDUCCIÓN) DE RIESGO).

GESTIÓN DE RIESGOS EN LOS NIVELES LOCALES: hace referencia al proceso de reducción o previsión y control de riesgos manifiestos en los niveles locales. Tal proceso puede conducirse o lograrse con la participación de actores sociales de distintas jurisdicciones territoriales-internacionales, nacionales, regionales o locales.

GESTIÓN LOCAL DE RIESGOS DE DESASTRES: obedeciendo a la lógica y las características de la Gestión del Riesgo definido genéricamente, la Gestión Local comprende un nivel territorial particular de intervención en que los parámetros específicos que lo definen se refieren a un proceso que es altamente participativo por parte de los actores sociales locales y apropiado por ellos, muchas veces en concertación y coordinación con actores externos de apoyo y técnicos.

La Gestión Local como proceso es propio de los actores locales, lo cual lo distingue del proceso más general de gestión de riesgo en los niveles locales, cuya apropiación puede remitirse a distintos actores con identificación en distintos niveles territoriales pero con actuación en lo local.

ECHADO: Dirección o pendiente que tienen las capas de un macizo rocoso, en geología se conoce como “Dirección de Buzamiento”.

INTENSIDAD: medida cuantitativa y cualitativa de la severidad de un fenómeno en un sitio específico.

UNUNDACION: Es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de ésta, bien por desbordamiento de ríos y lagos por lluvias torrenciales o en mares por la subida de las mareas por encima del nivel habitual o por avalanchas causadas por maremotos.

LÍNEAS (REDES) VITALES: infraestructura básica o esencial:

- **Energía:** presas, subestaciones, líneas de fluido eléctrico, plantas de almacenamiento de combustibles, oleoductos, gasoductos.
- **Transporte:** redes viales, puentes, terminales de transporte, aeropuertos, puertos fluviales y marítimos.
- **Agua:** plantas de tratamiento, acueductos, alcantarillados, canales de irrigación y conducción.
- **Comunicaciones:** redes y plantas telefónicas, estaciones de radio y televisión, oficinas de correo e información pública.

LLUVIA: Según la definición oficial de la Organización Meteorológica Mundial, la lluvia es la precipitación de partículas líquidas de agua, de diámetro mayor de 0,5 mm o de gotas menores, pero muy dispersas.

LADERA: Cualquiera de los lados de un monte que se encuentran en declive. Declive lateral de un monte o una montaña, cuya pendiente es el ángulo que forma con la horizontal.

MITIGACIÓN (REDUCCIÓN) DE RIESGOS DE DESASTRE: ejecución de medidas de intervención dirigidas a reducir o disminuir el riesgo existente. La mitigación asume que en muchas circunstancias no es posible, ni factible, controlar totalmente el riesgo existente; es decir, que en muchos casos no es posible impedir o evitar totalmente los daños y sus consecuencias, sino más bien reducirlos a niveles aceptables y factibles. La mitigación de riesgos de desastre puede operar en el contexto de la reducción o eliminación de riesgos existentes, o aceptar estos riesgos y, a través de los preparativos, los sistemas de alerta, etc., buscar disminuir las pérdidas y daños que ocurrirían con la incidencia de un fenómeno peligroso. Así, las medidas de mitigación o reducción que se adoptan en forma anticipada a la manifestación de un fenómeno físico tienen el fin de: a) evitar que se presente un fenómeno peligroso, reducir su peligrosidad o evitar la exposición de los elementos ante el mismo; b) disminuir sus efectos sobre la población, la infraestructura, los bienes y servicios, reduciendo la vulnerabilidad que exhiben. La mitigación es el resultado de la decisión a nivel político de un nivel de riesgo aceptable obtenido en un análisis extensivo del mismo y bajo el criterio de que dicho riesgo no es posible reducirlo totalmente.

NEBLINA: Es un fenómeno meteorológico, concretamente un hidrometeoro, que consiste en la suspensión de muy pequeñas gotas de agua en la atmósfera, de un tamaño entre 50 y 200 micrómetros de diámetro, o de partículas higroscópicas húmedas, que reducen la visibilidad horizontal a una distancia de un kilómetro o más. Es común en atmósfera fría debajo de aire templado.

NIEBLA: La única diferencia entre **neblina** y niebla es la intensidad de las partículas, que se expresa en términos de visibilidad: Si el fenómeno meteorológico da una visión de 1 km o menos, es considerado como niebla; y si permite ver a más de 1 km, el fenómeno es considerado como neblina.

Visto a la distancia, la neblina toma más la tonalidad del aire (grisáceo/azulino),

mientras que la niebla es más blanquecina. La neblina como la bruma hace visibles los rayos solares, por el contrario, la niebla debido a su alta densidad de partículas no hace visibles los rayos solares.

ORDENAMIENTO TERRITORIAL: Es un proceso de organización del territorio en sus aspectos sociales y económicos, que permita la incorporación del mayor número de componentes endógenos en forma consensuada y que compatibilice las componentes ambientales del territorio, las aspiraciones sociales y la mantención de niveles de productividad crecientes en las actividades económicas. Se trata del proceso a través del cual se distribuye la actividad humana de forma óptima sustentable en el territorio. (Consensos Urbanos. Aportes del Plan de Acción Regional de América Latina y el Caribe sobre Asentamientos Humanos. CEPAL 1999).

PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS: conjunto coherente y ordenado de estrategias, programas y proyectos que se formula para orientar las actividades de reducción o mitigación, previsión y control de riesgos, y la recuperación en caso de desastre. Ofrece el marco global e integrado, el detalle de las políticas y estrategias globales y los niveles jerárquicos y de coordinación existentes para el desarrollo de planes específicos, sectoriales, temáticas o territoriales relacionados con los distintos aspectos del riesgo y desastre.

PREVENCIÓN DE RIESGOS: medidas y acciones dispuestas con anticipación que buscan prevenir nuevos riesgos o impedir que aparezcan. Significa trabajar en torno a amenazas y vulnerabilidades probables. Visto de esta manera, la prevención de riesgos se refiere a la Gestión Prospectiva del Riesgo, mientras que la mitigación o reducción de riesgos se refiere a la Gestión Correctiva. Dado que la prevención absoluta rara vez es posible, la prevención tiene una connotación semi-utópica y debe ser vista a la luz de consideraciones sobre el riesgo aceptable, el cual es socialmente determinado en sus niveles (ver RIESGO ACEPTABLE).

REDUCCIÓN DE RIESGOS: ver MITIGACIÓN DE RIESGOS.

RIESGO (COLECTIVO): probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental) resultado de interacciones entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad. Convencionalmente el riesgo es expresado como función de la amenaza, vulnerabilidad y capacidad. Algunas disciplinas también incluyen el concepto de exposición o valoración de los objetos expuestos para referirse principalmente a los aspectos físicos de la vulnerabilidad.

Más allá de expresar una posibilidad del daño físico, es crucial reconocer que los riesgos pueden ser inherentes, aparecen o existen dentro de sistemas sociales, igualmente es importante considerar los contextos sociales en los cuales los riesgos ocurren; por consiguiente, la población no necesariamente comparte las mismas percepciones sobre el riesgo y sus causas subyacentes. (EIRD. Vivir con el Riesgo)

La probabilidad de consecuencias negativas, daños y pérdidas esperadas, (muertes, lisiados, en la propiedad, medios de vida, la actividad económica y social, la cultura e historia, psique, etc.) como resultado de la interacción entre amenazas y elementos sociales y económicos expuestos en un sitio particular y durante un período de tiempo de exposición definido.

Riesgo es una condición latente que anuncia futuro daño y pérdida. La valorización del riesgo en términos sociales y económicos puede ser objetivo (calculado matemáticamente); o subjetivo, (producto de la percepción e imaginarios de las personas o grupos)

RIESGO ACEPTABLE: posibles consecuencias sociales y económicas que, implícita o explícitamente, una sociedad o un segmento de la misma asume o tolera en forma consciente por considerar innecesaria, inoportuna o imposible una intervención para su reducción, dado el contexto económico, social, político, cultural y técnico existente.

La noción es de pertinencia formal y técnica en condiciones donde la información existe y cierta racionalización en el proceso de toma de decisiones puede ejercerse, y sirve para determinar las mínimas exigencias o requisitos de seguridad, con fines de protección y planificación, ante posibles fenómenos peligrosos.

Valor de probabilidad de consecuencias sociales, económicas y ambientales que, a juicio de la autoridad que regula este tipo de decisiones, es considerada lo suficientemente bajo para permitir su uso en planificación, la formulación de requerimiento de la calidad de los elementos expuestos o para fijar políticas sociales, económicas o ambientales afines.

RIESGO A DESASTRE: es la probabilidad de que se presente un nivel de consecuencias económicas y sociales adversas en un sitio particular y durante un tiempo definido que exceden niveles aceptables, o valores específicos (riesgo aceptable-ver definición) a tal grado que la sociedad o un componente de la sociedad afectada encuentre severamente interrumpido su funcionamiento rutinario, y no pueda recuperarse de forma autónoma, requiriendo de ayuda y asistencia externa.

RIO: Es una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado, rara vez constante a lo largo del año, y desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denomina afluente. La parte final de un río es su desembocadura.

RUIDO: es el sonido no deseado por el receptor y que le molesta para la recepción del sonido en el que está interesado. Es una distorsión del sonido armónico.

SEGURIDAD VIAL consiste en la prevención de accidentes de tránsito o la minimización de sus efectos, especialmente para la vida y la salud de las personas, cuando tuviera lugar un hecho no deseado de tránsito. También se refiere a las tecnologías empleadas para dicho fin en cualquier vehículo de transporte terrestre (ómnibus, camión automóvil, motocicleta y bicicleta).

TERREMOTO: También llamado **seísmo** o **sismo** o **temblor de tierra** es una sacudida del terreno que se produce debido al choque de las placas tectónicas y a la liberación de energía en el curso de una reorganización brusca de materiales de la corteza terrestre al superar el estado de equilibrio mecánico. Puede ser de origen Volcánico.

TALUD: Terreno inclinado de forma natural o artificial. En Geomorfología, a la pendiente que forman los derrubios acumulados por la erosión al pie de un acantilado o de una vertiente abrupta.

VULCANISMO: (actividad volcánica): Son estructuras geológicas de forma cónica de los cuales emerge el magma (roca fundida) en forma de lava y gases del interior del planeta. El ascenso ocurre generalmente en episodios de actividad violenta denominados «*erupciones*», las cuales pueden variar en intensidad, duración y frecuencia; siendo desde conductos de corrientes de lava hasta explosiones extremadamente destructivas.

VULNERABILIDAD: factor de riesgo interno de un elemento o grupo de elementos expuestos a una amenaza. Corresponde a la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que se manifieste un fenómeno peligroso de origen natural, socio natural o antrópico. Representa también las condiciones que imposibilitan o dificultan la recuperación autónoma posterior.

Las diferencias de vulnerabilidad del contexto social y material expuesto ante un fenómeno peligroso determinan el carácter selectivo de la severidad de sus efectos. Sistema de condiciones y procesos resultantes de factores físicos, sociales, económicos y medioambientales que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de los peligros.

APÉNDICE 1
VEHÍCULOS DE DISEÑO
CARACTERÍSTICAS GENERALES

A falta de información local, se han adoptado las dimensiones para los vehículos de diseño indicadas en *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (1).

Vehículo de Diseño Tipo	Dimensiones (m)										Distancia entre Centro de Ejes		
	Dimensiones Exteriores			Salientes			Varias (ver notas al pie)						
	Símbolo	Alto	Ancho	Longitud	Delantero	Trasero	WB1	WB2	S	T		WB3	WB4
Vehículo de Pasajeros	P	1.30	2.10	5.80	0.90	1.50	3.40	3.40	--	--	--	--	--
Camión de una Unidad	SU	3.40-4.10	2.40	9.20	1.20	1.80	6.10	6.10	--	--	--	--	--
BUSES													
Buses Interurbanos	BUS-12	3.70	2.60	12.20	1.80	1.9 ^a	7.30	1.10	--	--	--	--	--
	BUS-14	3.70	2.60	13.70	1.80	2.6 ^a	8.10	1.20	--	--	--	--	--
Buses Urbanos	CITY-BUS	3.20	2.60	12.20	2.10	2.40	7.60	--	--	--	--	--	--
Bus Escolar Convencional	S-BUS 11	3.20	2.40	10.90	3.70	3.70	6.50	--	--	--	--	--	--
Bus Escolar Largo	S-BUS 12	3.20	2.40	12.20	2.10	4.00	6.10	--	--	--	--	--	--
Bus Articulado	A-BUS	3.40	2.60	18.30	2.60	3.10	6.70	5.90	1.90 ^b	4.0 ^b	--	--	--
COMBINACIÓN DE CAMIONES													
Semiremolque intermedio	WB-12	4.10	2.40	13.90	0.90	0.80 ^a	3.80	8.40	--	--	--	--	8.40
Semiremolque Grande	WB-15	4.10	2.60	16.80	0.90	0.80 ^a	4.50	10.80	--	--	--	--	11.40
Semiremolque interstatal	WB-19*	4.10	2.60	20.90	1.20	0.80 ^a	6.60	12.30	--	--	--	--	13.00
Semiremolque interstatal	WB-20**	4.10	2.60	22.40	1.20	1.40-0.80 ^a	6.60	13.20-13.8	--	--	--	--	13.90-14.50
Semiremolque interstatal	WB-20D	4.10	2.60	22.40	0.70	0.90	3.40	7.00	0.90 ^c	2.10 ^d	7.00	--	7.00
Remolque/Semiremolque Triple	WB-30T	4.10	2.60	32.00	0.70	0.90	3.40	6.90	0.90 ^e	2.10 ^d	7.00	7.00	7.00
Semiremolque doble Turnpike	WB-33D*	4.10	2.60	34.80	0.70	0.80 ^a	4.40	12.20	0.80 ^a	3.10 ^f	13.60	--	13.00
VEHICULOS DE RECREACIÓN													
Casa Rodante	MH	3.70	2.40	9.20	1.20	1.80	6.10	--	--	--	--	--	--
Carro y Trailer Camper	P/T	3.10	2.40	14.80	0.90	3.10	3.40	--	1.50	5.80	--	--	--
Carro y Trailer de Bote	P/B		2.40	12.80	0.90	2.40	3.40	--	1.50	4.60	--	--	--
	MH/B	3.70	2.40	16.20	1.20	2.40	6.10	--	1.80	4.60	--	--	--
Tractor de Fincas	TR	3.10	2.40-3.10	4.9 ^g	--	--	3.10	2.70	0.90	2.00	--	--	--

Nota: Algunos vehículos son fabricados en unidades inglesas y son mostradas como medidas físicas de cada vehículo de diseño, lo valores mostrados en los dibujos de vehículos de diseño han sido para los números mostrados en pies y luego, al mostrarlos en metros en esta tabla, se han redondeado al décimo más cercano

* = Vehículo de diseño con remolque de 14.63 m, adoptado en 1982 STAA (Surface Gransportation Assistance Act.)

** = Vehículo de diseño con remolque de 16.16 m, adoptado en 1982 STAA (Surface Gransportation Assistance Act.)

a = Esta es la distancia del saliente del eje trasero medida desde eje trasero del tandem de ruedas traseras

b = 5.91 es la dimensión combinada y la sección articulada es de 1.22 metros de ancho

c = La dimensión combinada es típicamente de 3.05 metros

d = La dimensión combinada es típicamente de 3.05 metros

e = La dimensión combinada es típicamente de 3.81 metros

f = La dimensión combinada es típicamente de 3.81 metros

g = La dimensión es entre 150 a 200 hp para el tractor, excluyendo cualquier longitud de vagón

Para obtener la longitud total del tractor y un vagón, agregue 5.64 m a la longitud del tractor. La Longitud de vagón es medida desde la barra de tiro hasta atrás del vagón,

y la longitud de la barra hacia adelante es de 1.98 metros

WB₁, WB₂, WB₃ y WB₄ son distancias efectivas entre ejes del vehículo, o distancia entre grupos de ejes, empezando de el frente hacia atrás en cada unidad

S es la distancia efectiva desde el eje trasero hasta el punto de enganche de la articulación

T es la distancia efectiva desde el punto de enganche o articulación hasta el centro del eje siguiente o el centro de ejes en tandem

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO 2004, pp 16.

Figura A1.1 Dimensiones de los Vehículos de Diseño

Vehículo de Diseño Tipo	Dimensiones (m)											Distancia entre Centro de Ejes	
	Dimensiones Exteriores			Salientes		Varias (ver notas al pie)							
	Símbolo	Alto	Ancho	Longitud	Delantero	Trasero	WB1	WB2	S	T	WB3		WB4
Vehículo de Pasajeros	P	1.30	2.10	3.80	0.90	1.30	3.40	--	--	--	--	--	--
Camión de una Unidad	SU	3.40-4.10	2.40	9.20	1.20	1.80	6.10	--	--	--	--	--	--
BUSES													
Buses Interurbanos	BUS-12	3.70	2.60	12.20	1.80	1.9 ^a	7.30	1.10	--	--	--	--	--
	BUS-14	3.70	2.60	13.70	1.80	2.6 ^a	8.10	1.20	--	--	--	--	--
Buses Urbanos	CITY-BUS	3.20	2.60	12.20	2.10	2.40	7.60	--	--	--	--	--	--
Bus Escolar Convencional	S-BUS 11	3.20	2.40	10.90	0.80	1.70	6.50	--	--	--	--	--	--
Bus Escolar Largo	S-BUS 12	3.20	2.40	12.20	2.10	4.20	6.10	--	--	--	--	--	--
Bus Articulado	A-BUS	3.40	2.60	18.30	2.60	3.10	6.70	5.90	1.90 ^b	4.0 ^b	--	--	--
COMBINACIÓN DE CAMIONES													
Semirremolque Intermedio	WB-12	4.10	2.40	13.90	0.90	0.80 ^c	3.80	8.40	--	--	--	--	8.40
Semirremolque Grande	WB-15	4.10	2.60	16.80	0.90	0.60 ^d	4.50	10.80	--	--	--	--	11.80
Semirremolque Interestatal	WB-19 ^e	4.10	2.60	20.90	1.20	0.80 ^d	6.60	12.30	--	--	--	--	13.00
Semirremolque Interestatal	WB-20 ^f	4.10	2.60	22.40	1.20	1.40-0.80 ^g	6.60	13.20-13.8	--	--	--	--	13.90-14.50
Semirremolque Interestatal	WB-200	4.10	2.60	22.40	0.70	0.90	3.40	7.00	0.90 ^h	2.10 ⁱ	7.00	--	7.00
Remolque/Semirremolque Triple	WB-30T	4.10	2.60	32.00	0.70	0.90	3.40	6.90	0.90 ^h	2.10 ⁱ	7.00	7.00	7.00
Semirremolque doble Tumpike	WB-330 ^a	4.10	2.60	34.80	0.70	0.80 ^g	4.40	12.20	0.80 ^h	3.10 ^h	13.60	--	13.00
VEHÍCULOS DE RECREACIÓN													
Casa Rodante	MH	3.70	2.40	9.20	1.20	1.80	6.10	--	--	--	--	--	--
Carro y Trailer Camper	P/T	3.10	2.40	14.80	0.90	3.10	3.40	--	1.50	5.80	--	--	--
Carro y Trailer de Bote	P/B	3.70	2.40	12.80	0.90	2.40	3.40	--	1.50	4.60	--	--	--
	MH/B	3.10	2.40	16.20	1.20	2.40	6.10	--	1.80	4.60	--	--	--
Tractor de Finca	TR	3.10	2.40-3.10	4.9 ^a	--	--	3.10	2.70	0.90	2.00	--	--	--

Nota: Algunos vehículos son fabricados en unidades inglesas y son mostradas como medidas físicas de cada vehículos de diseño, lo valores mostrados en los dibujos de vehículos de diseño han sido para los números mostrados en pies y luego, al mostrarlos en metros en esta tabla, se han redondeado al décimo más cercano

* = Vehículo de diseño con remolque de 14.63 m, adoptado en 1982 STAA (Surface Transportation Assistance Act.)

** = Vehículo de diseño con remolque de 16.16 m, adoptado en 1982 STAA (Surface Transportation Assistance Act.)

a = Esta es la distancia del saliente del eje trasero medida desde eje trasero del tandem de ruedas traseras

b = 5.91 es la dimensión combinada y la sección articulada es de 1.22 metros de ancho

c = La dimensión combinada es típicamente de 3.05 metros

d = La dimensión combinada es típicamente de 3.05 metros

e = La dimensión combinada es típicamente de 3.81 metros

f = La dimensión es entre 150 a 200 hp para el tractor, excluyendo cualquier longitud de vagón

g = Para obtener la longitud total del tractor y un vagón, agregue 5.64 m a la longitud del tractor. La longitud de vagón es medida desde la barra de tiro hasta atrás del vagón, y la longitud de la barra hacia adelante es de 1.96 metros

WB₁, WB₂, WB₃ y WB₄ son distancias efectivas entre ejes del vehículo, o distancia entre grupos de ejes, empezando de el frente hacia atrás en cada unidad

S es la distancia efectiva desde el eje trasero hasta el punto de enganche de la articulación

T es la distancia efectiva desde el punto de enganche o articulación hasta el centro del eje siguiente o el centro de ejes en tandem

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO 2004, pp 16.

Figura A1.2. Trayectorias Mínimas de Giro de los Vehículos de Diseño

Las dimensiones de los giros mostrados en las Figuras A1.3 y de A1.10 a A1.23 fueron deducidas mediante el uso de programas de computadora disponibles comercialmente (2).

El vehículo de diseño P, con las dimensiones y características de giro mostradas en la figura A1.3, satisface los requerimientos para representar la clase vehículo de pasajeros.

Las características del vehículo de diseño SU son adecuadas para todos los camiones de unidad única y buses pequeños; las dimensiones de control para su trayectoria de giro mínima satisfacen un número de buses y combinaciones de camiones actualmente en operación (Ver Figura A1.4.) Sin embargo, en la mayoría de las vías que sirven al tráfico de camiones o de buses, en el diseño debería considerarse el vehículo de diseño ya sea para combinaciones de semirremolques o grandes buses (ver figuras A1.5 o A1.6).

Para los buses interurbanos o de tránsito, un vehículo de diseño denominado CITY-BUS se muestra en la Figura A1.7. Este vehículo de diseño tiene una separación de ejes de 7.62 m y una longitud total de 12.20 m. Los buses que sirven áreas urbanas particulares puede que no se ajusten a las dimensiones mostradas en la Figura A1.7. Un ejemplo es el bus articulado que actualmente sirve ciertas ciudades, son más largos que los buses convencionales, su bisagra cerca del centro permite mayor maniobrabilidad. La Figura A1.10 muestra las dimensiones críticas para el vehículo de diseño A-BUS.

También, debido a la importancia de los buses escolares, dos vehículos de diseño denominados S-BUS-11 y S-BUS-12 se muestran en las Figuras A1.8 y A1.9 respectivamente. El mayor vehículo de diseño es un bus de 84 pasajeros y el menor es un bus de 65 pasajeros. El proyectista vial debe también ser consciente de que para ciertos buses la combinación de separación desde el terreno, saliente y curvatura vertical del camino puede presentar problemas en las zonas topográficas accidentadas.

Las Figuras A1.13 a A1.19 muestran las dimensiones y mínimas trayectorias de giro para los vehículos que representan varias combinaciones de camiones. Para carreteras y calles locales, el WB-15 o el WB-12 pueden considerarse como apropiados vehículos de diseño. La mayor combinación de camiones es apropiada para el diseño de instalaciones de servicio que sirven a los camiones en su paso por la carretera.

Las Figuras A1.20 a A1.23 indican las mínimas trayectorias de giro para vehículos recreacionales típicos.

Según sea apropiado, además de los vehículos mostrados en las Figuras A1.3 a A1.10 y Figuras A1.13 a A1.23, pueden usarse otros vehículos para aplicaciones seleccionadas. Con el apareamiento de los programas de computadoras que pueden trazar las huellas (2), el proyectista puede determinar las características de los vehículos seleccionados, si estos difieren de los mostrados.

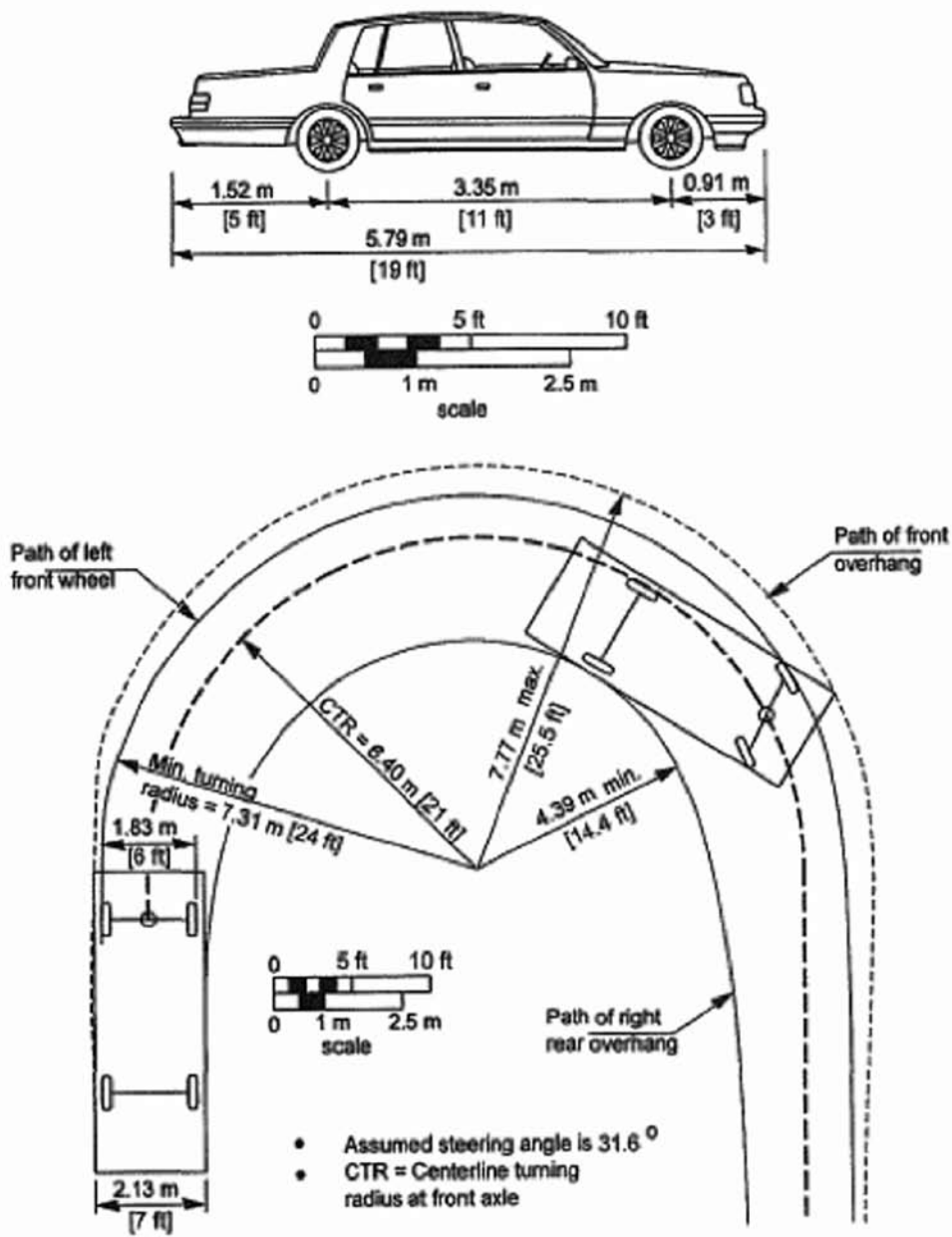


Figura A1.3. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño P

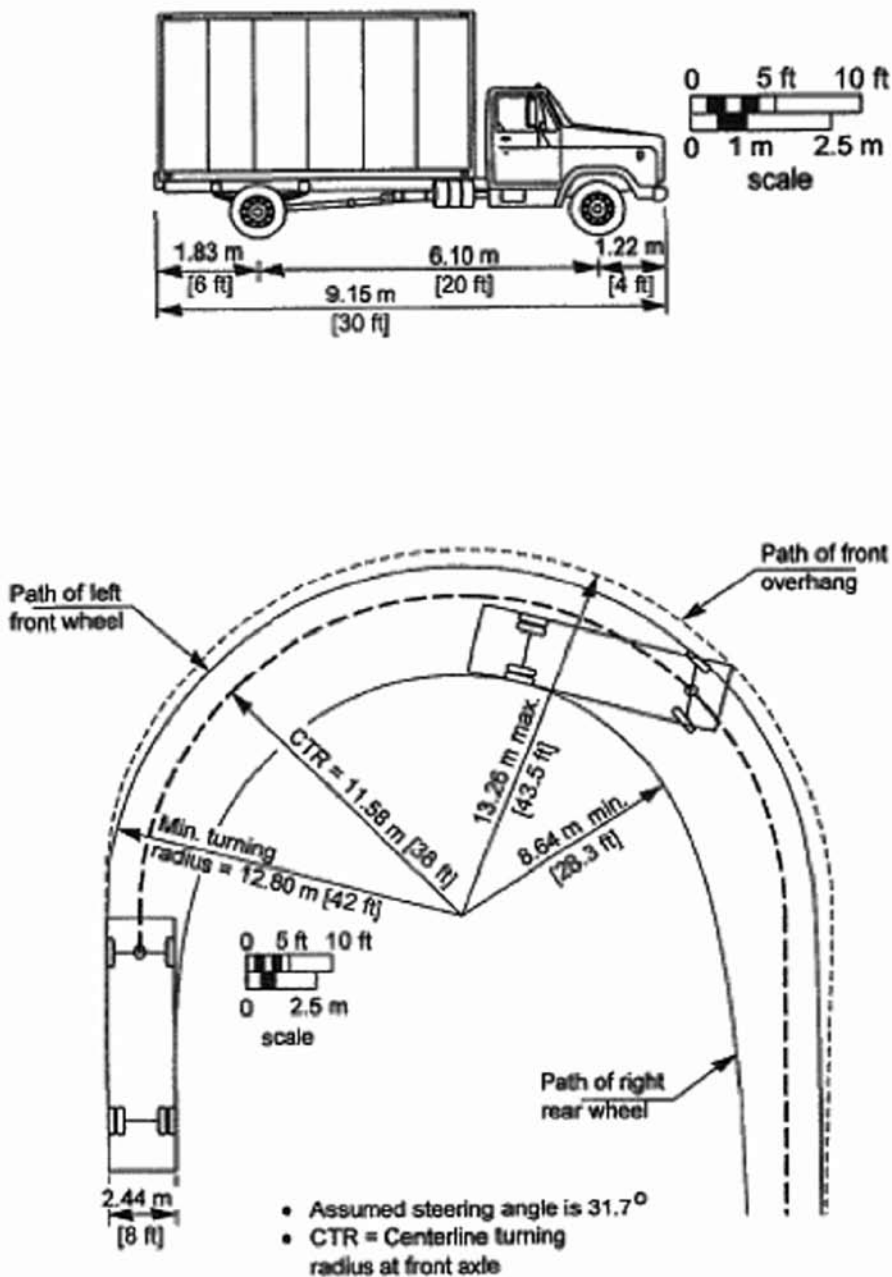


Figura A1.4. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño SU

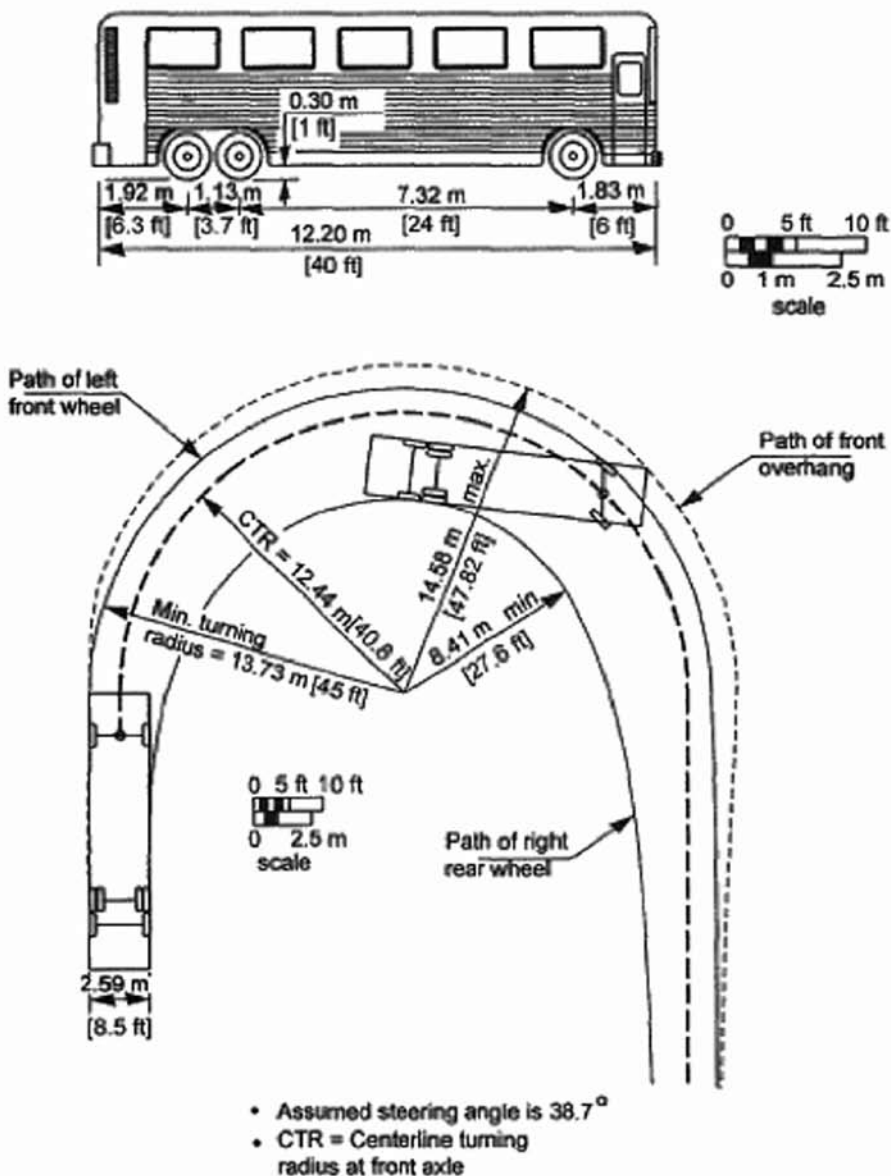


Figura A1.5. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño Bus Interurbano (BUS-12)

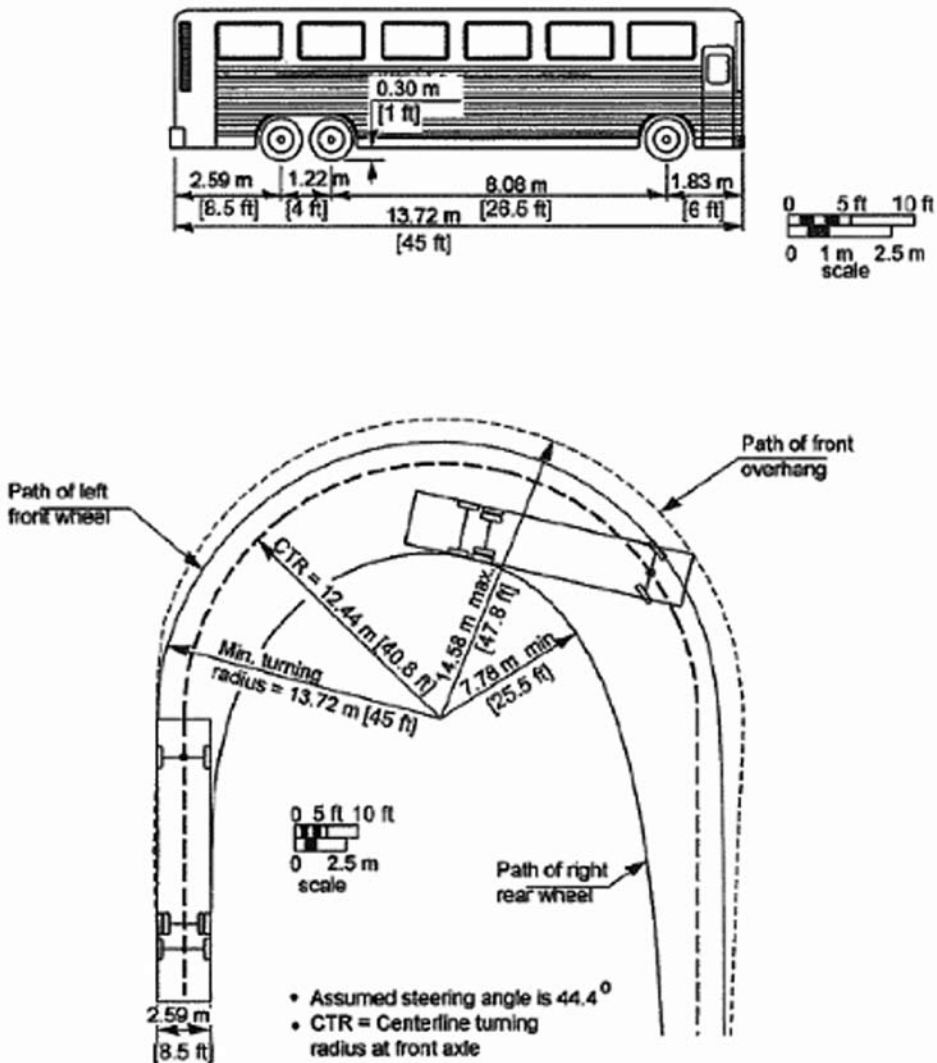


Figura A1.6. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño Bus Interurbano (BUS-14)

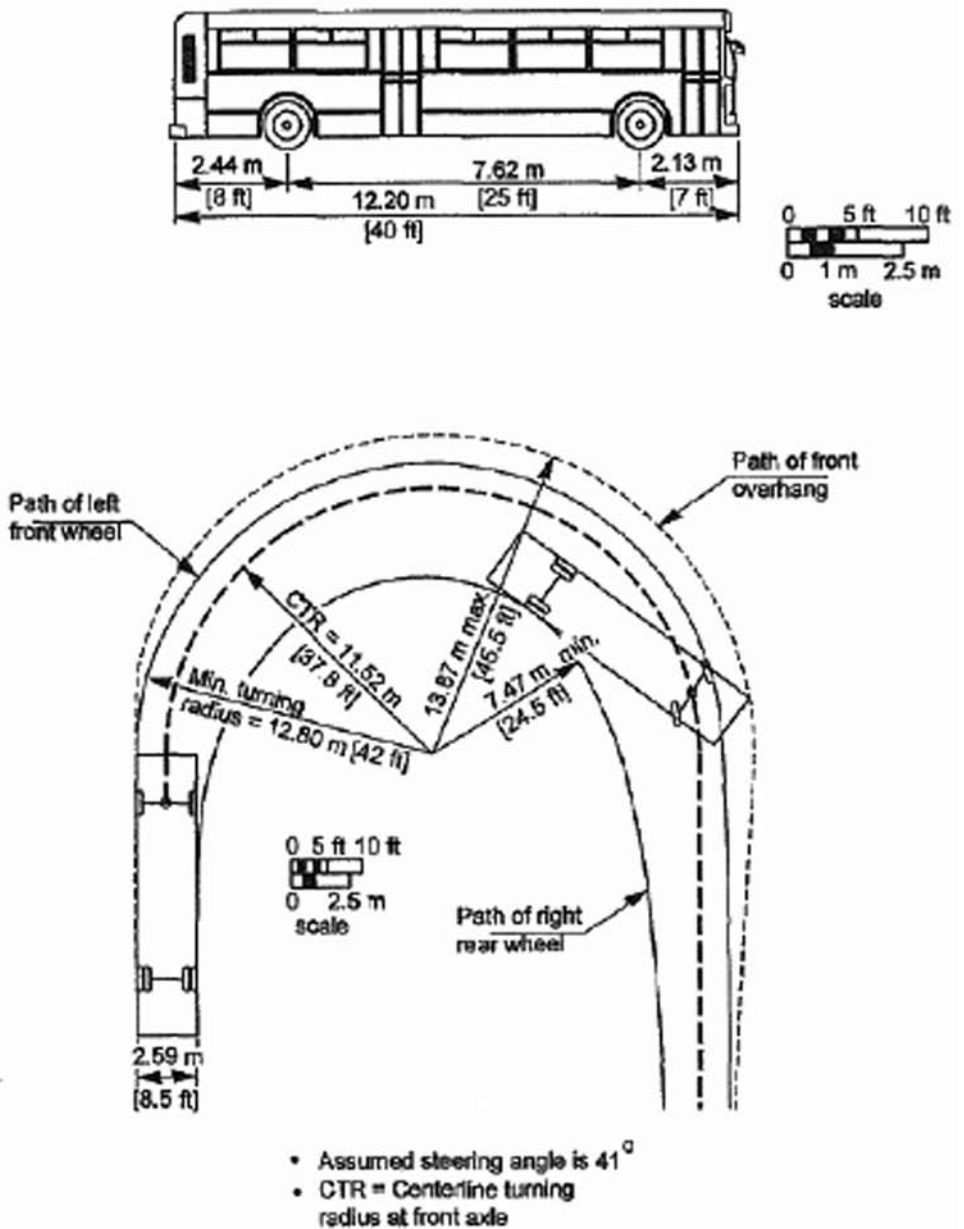
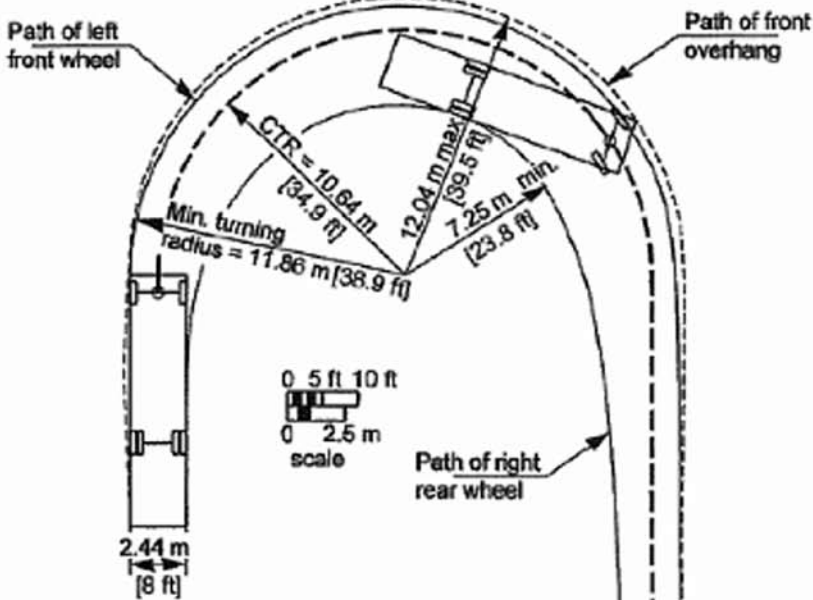
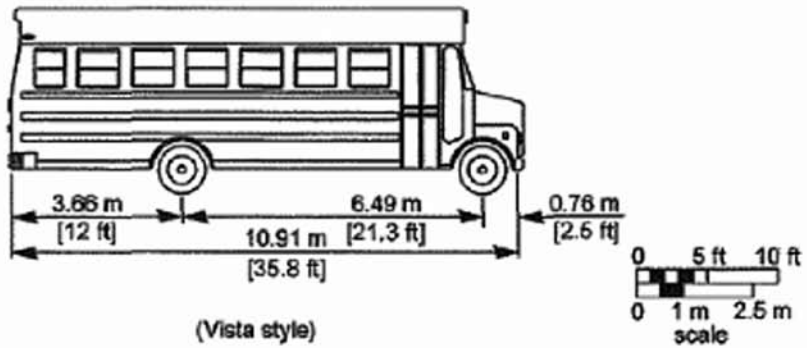


Figura A1.7. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño Bus Urbano (CITY-BUS)



- Assumed steering angle is 37.2°
- CTR = Centerline turning radius at front axle
- 65 passenger bus

Figura A1.8. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño Bus Escolar Convencional (S-BUS-11)

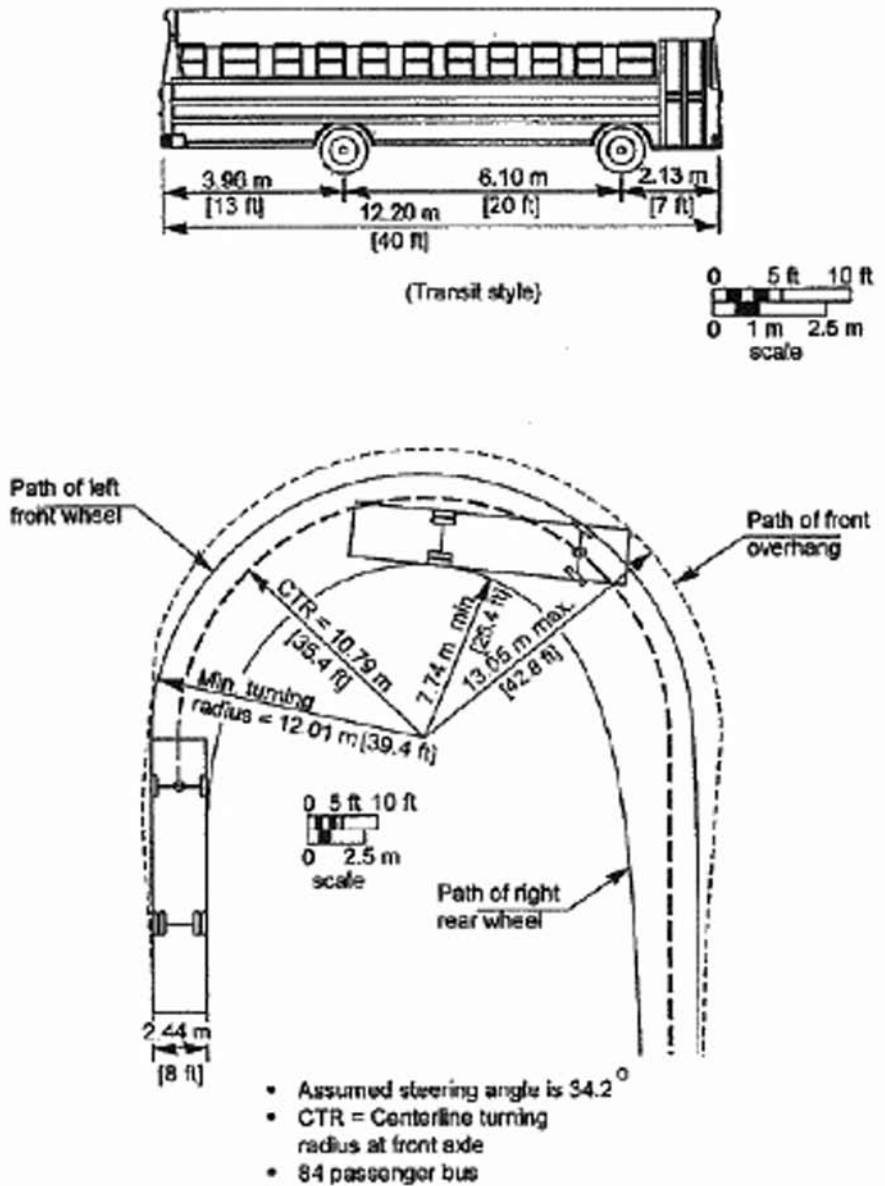


Figura A1.9. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño Bus Escolar Largo (S-BUS-12)

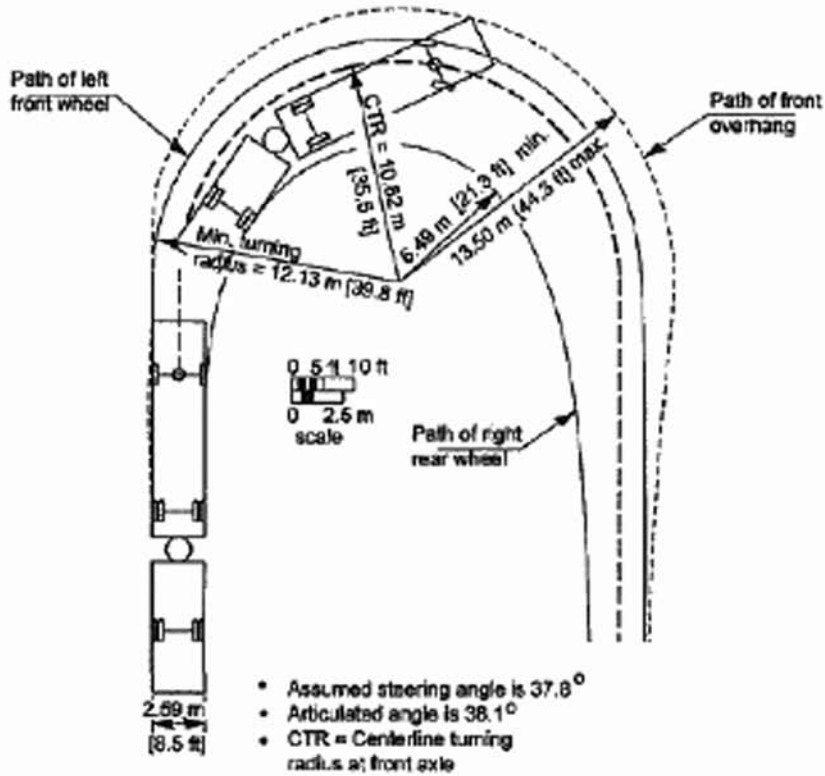
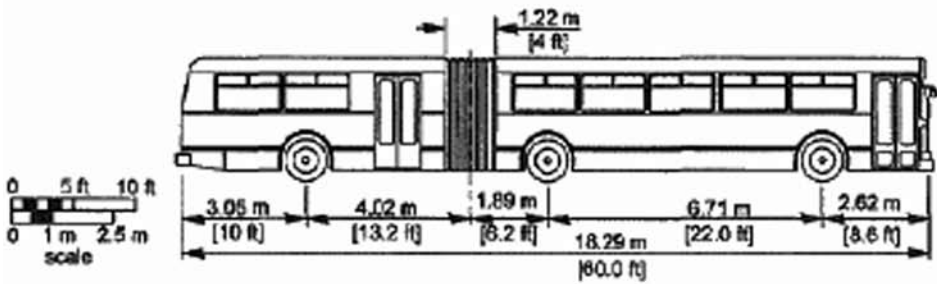
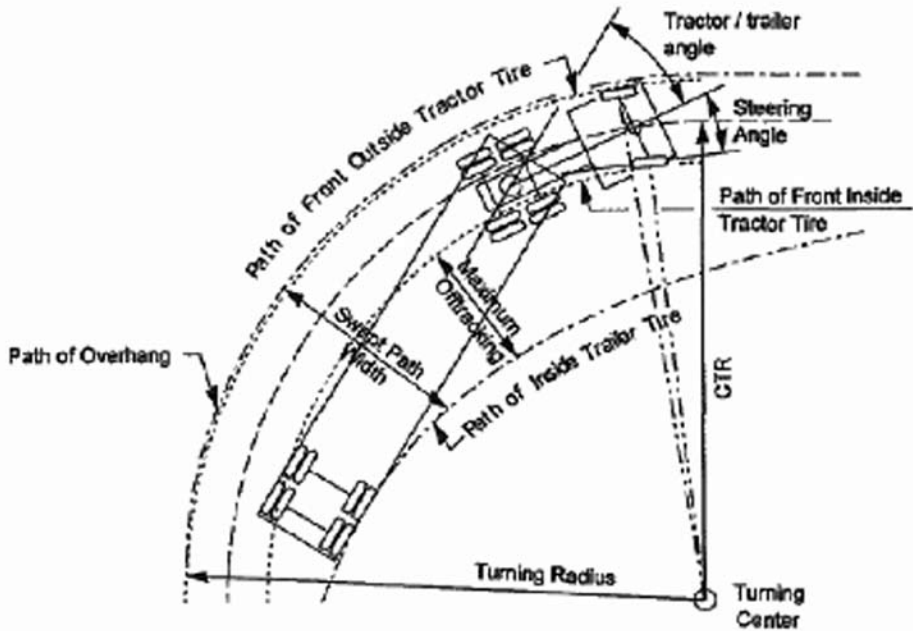


Figura A1.10. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo Bus Articulado (A-BUS)



Definitions:

1. **Turning radius**—The circular arc formed by the turning path radius of the front outside tire of a vehicle. This radius is also described by vehicle manufacturers as the "turning curb radius."
2. **CTR**—The turning radius of the centerline of the front axle of a vehicle.
3. **Offtracking**—The difference in the paths of the front and rear wheels of a tractor/semitrailer as it negotiates a turn. The path of the rear tires of a turning truck does not coincide with that of the front tires, and this effect is shown in the drawing above.
4. **Swept path width**—The amount of roadway width that a truck covers in negotiating a turn and is equal to the amount of offtracking plus the width of the tractor unit. The most significant dimension affecting the swept path width of a tractor/semitrailer is the distance from the kingpin to the rear trailer axle or axles. The greater this distance is, the greater the swept path width.
5. **Steering angle**—The maximum angle of turn built into the steering mechanism of the front wheels of a vehicle. This maximum angle controls the minimum turning radius of the vehicle.
6. **Tractor/trailer angle**—The angle between adjoining units of a tractor/semitrailer when the combination unit is placed into a turn; this angle is measured between the longitudinal axes of the tractor and trailer as the vehicle turns. The maximum tractor/trailer angle occurs when a vehicle makes a 180° turn at the minimum turning radius; this angle is reached slightly beyond the point where maximum swept path width is achieved.

Figura A1.11. Características de Giro para una Combinación Típica de Cabezal y Remolque

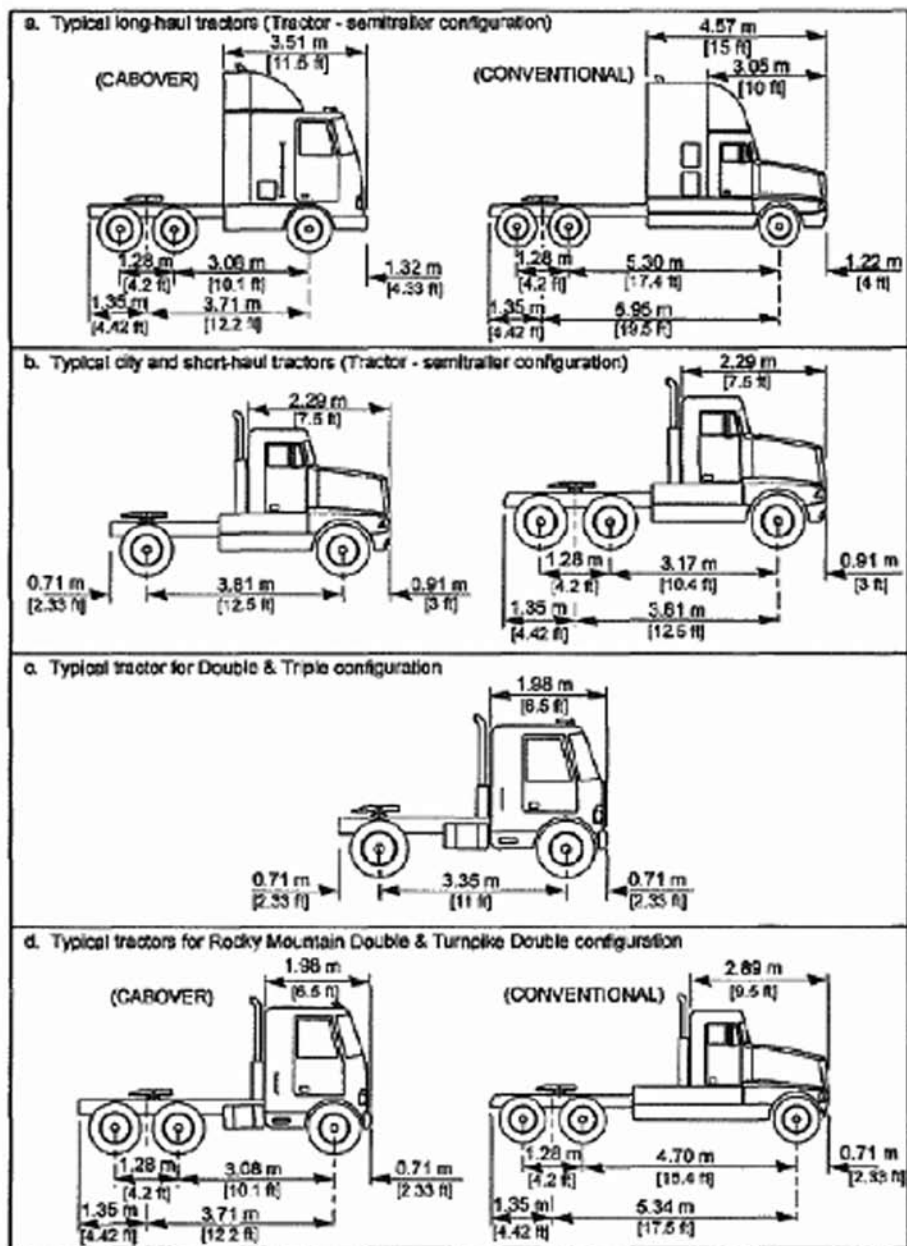
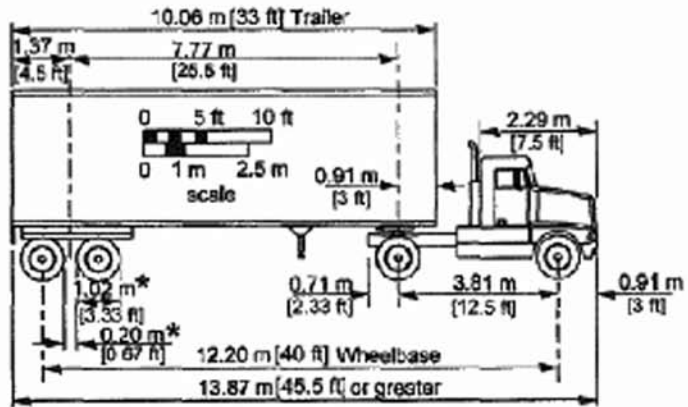


Figura A1.12. Longitudes de Cabezas de Uso Común



* Typical tire size and space between tires applies to all trailers.

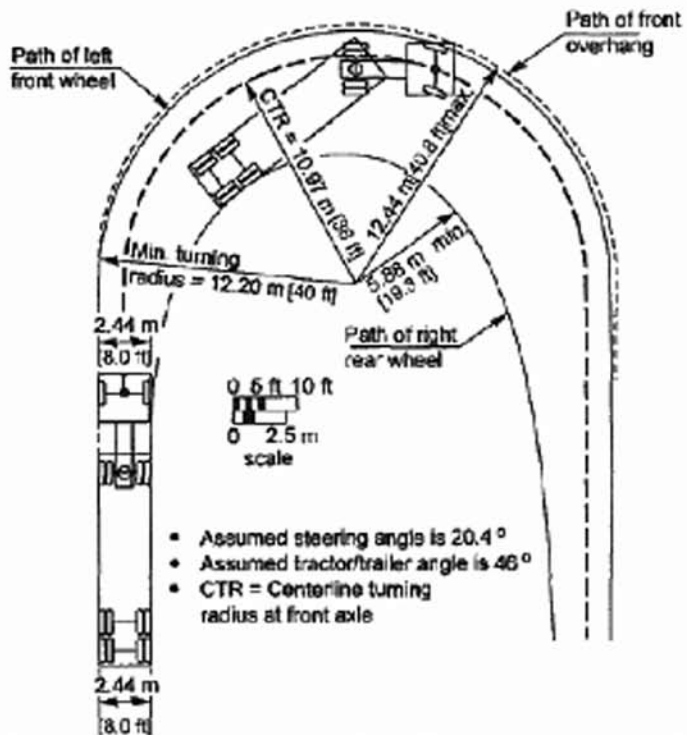


Figura A1.13. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño Cabezal con Remolque (WB-12)

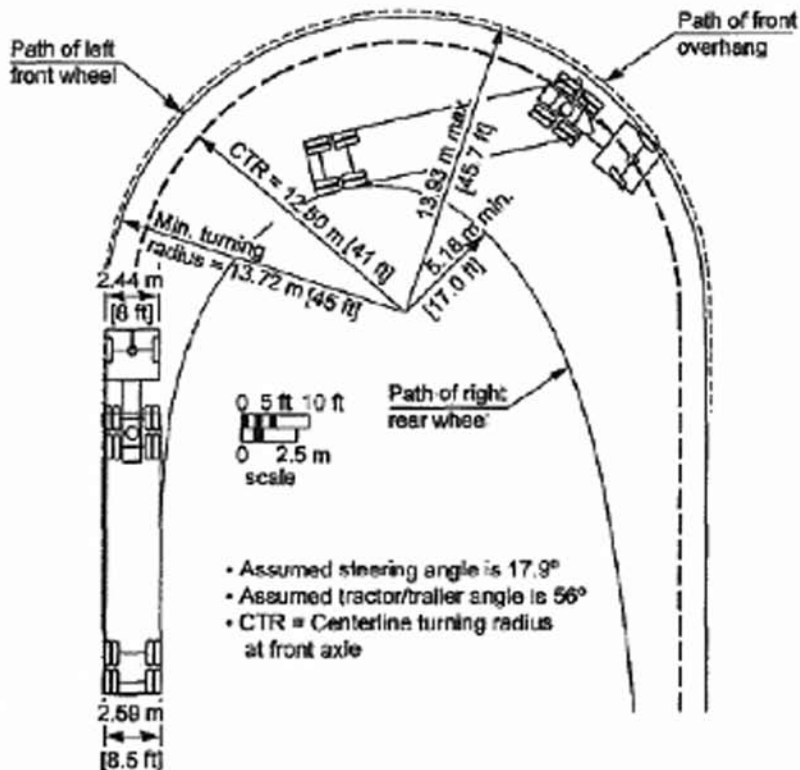
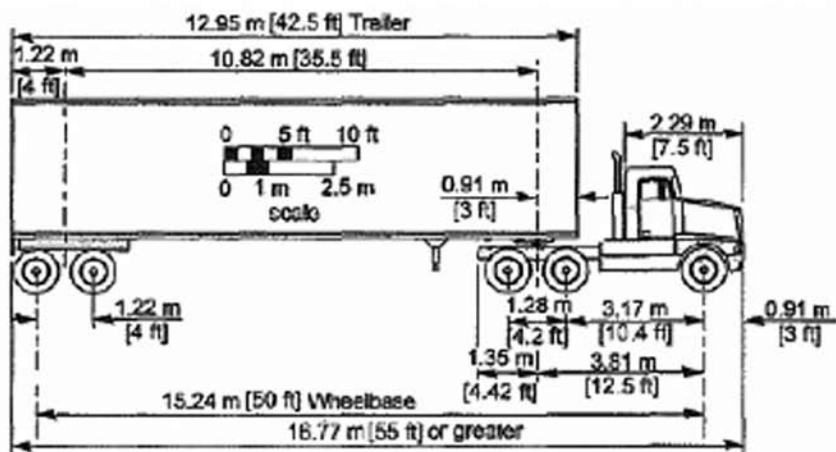


Figura A1.14. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño Cabezal con Remolque (WB-15)

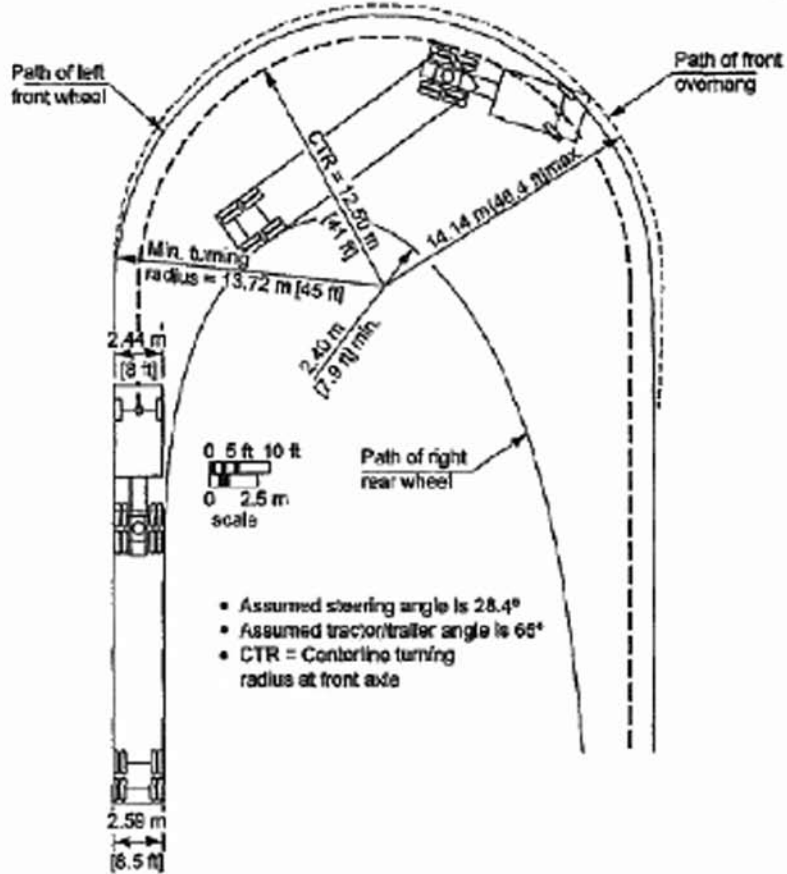
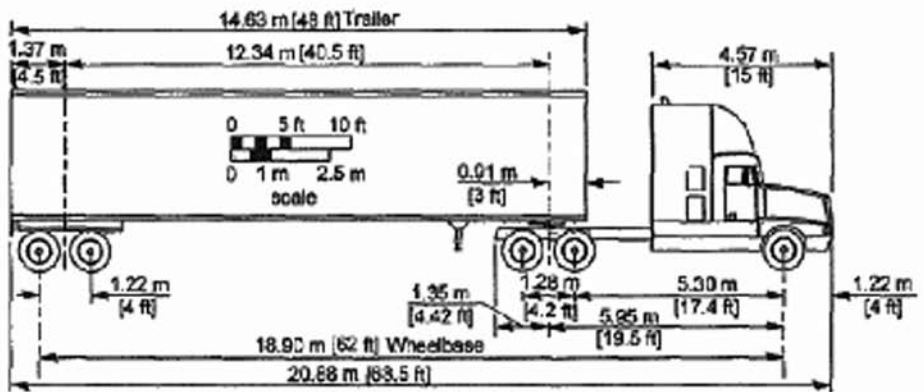


Figura A1.15. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño Cabezal con Remolque (WB-19)

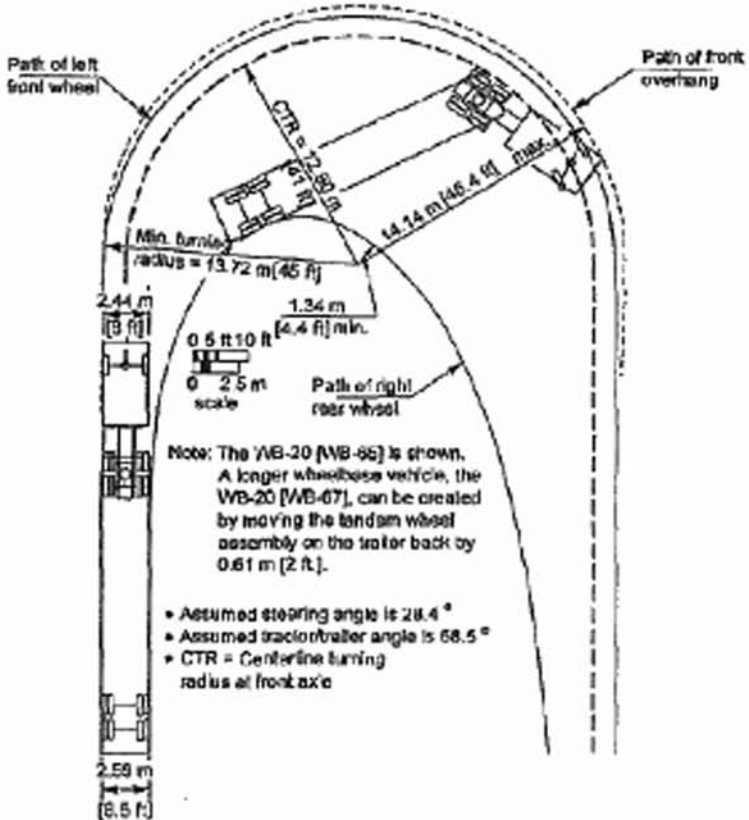
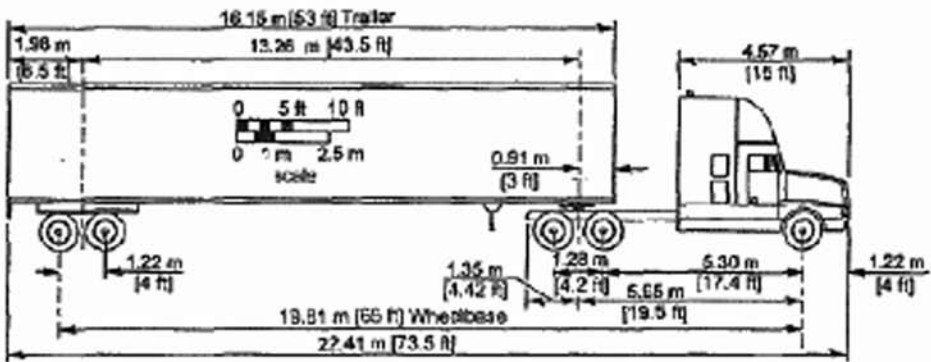


Figura A1.16. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño Cabezal con Remolque (WB-20)

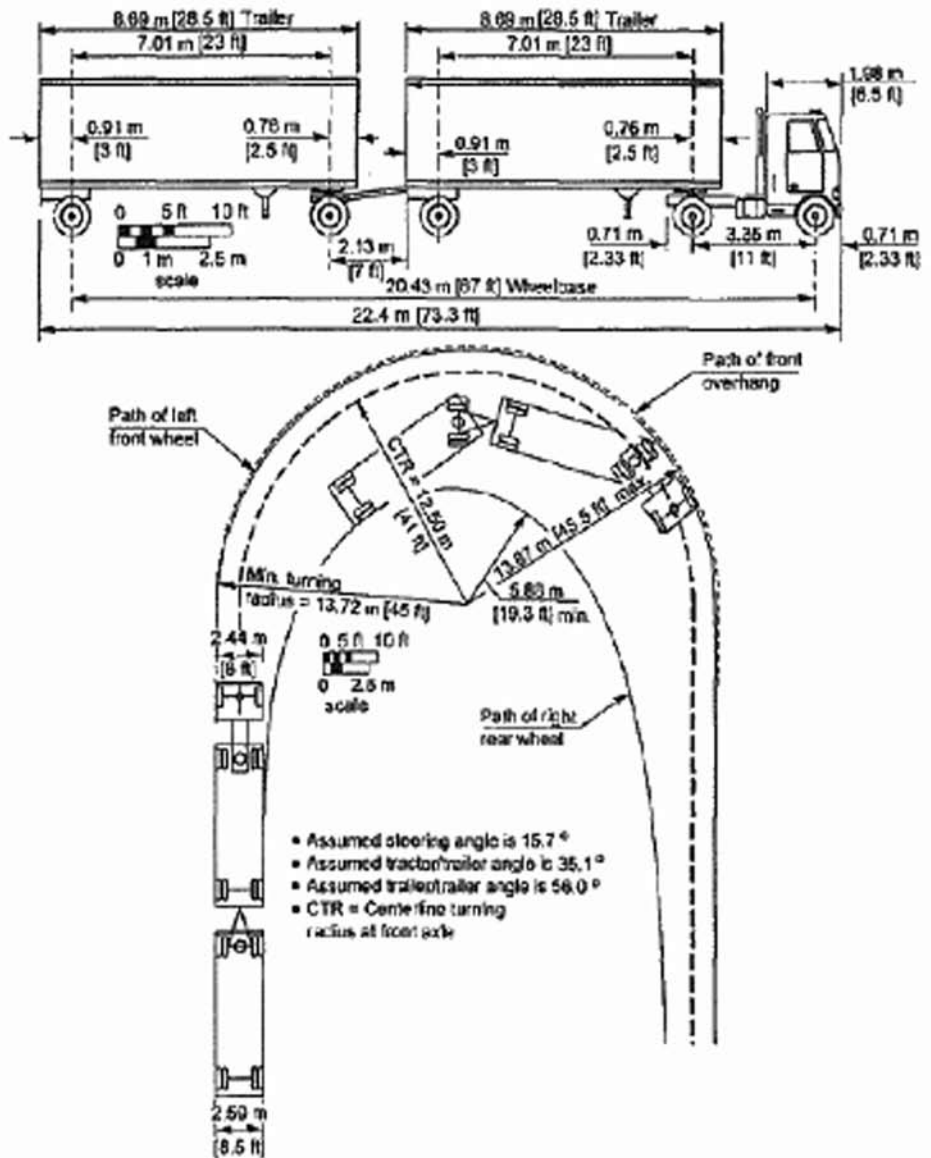


Figura A1.17. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño Cabezal con Combinación de Doble Remolque (WB-20D)

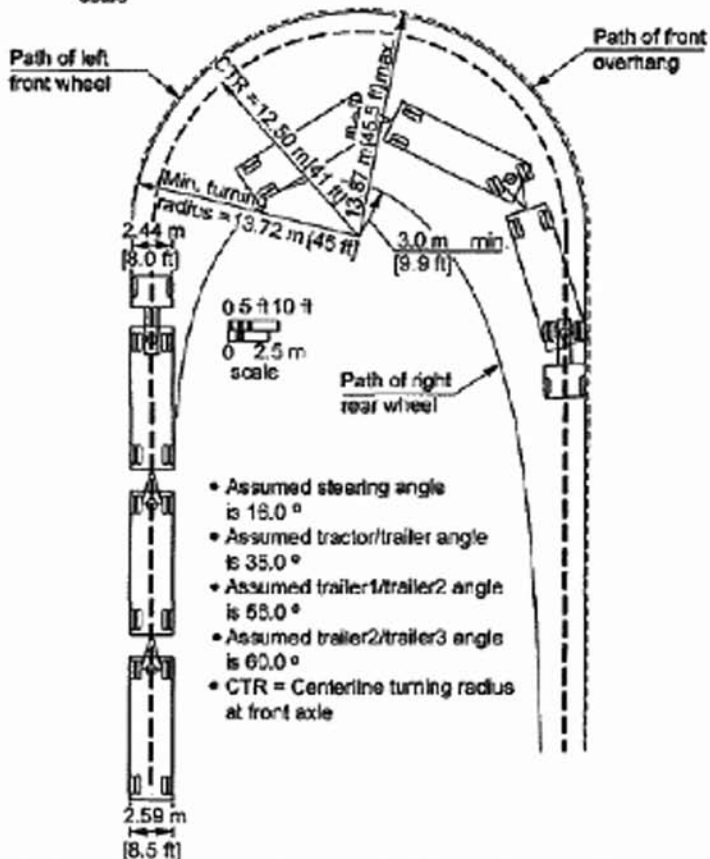
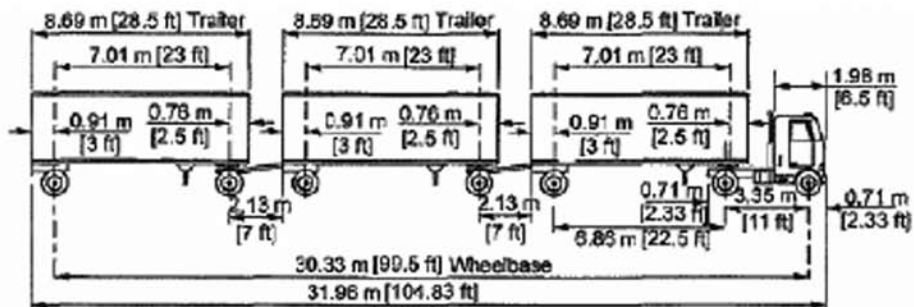


Figura A1.18. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño Cabezal con Triple Combinación de Remolque (WB-30T)

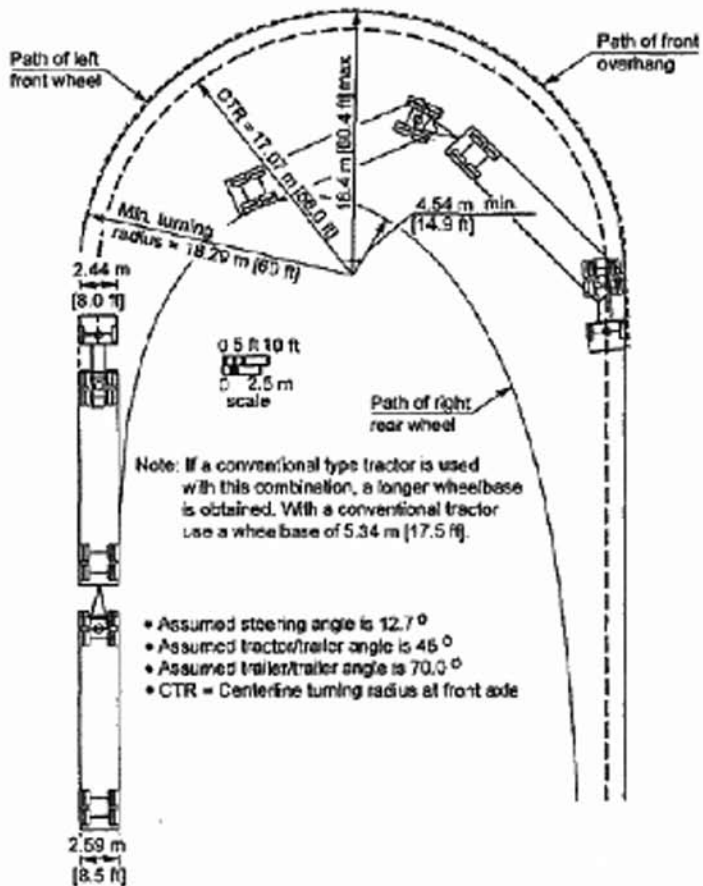
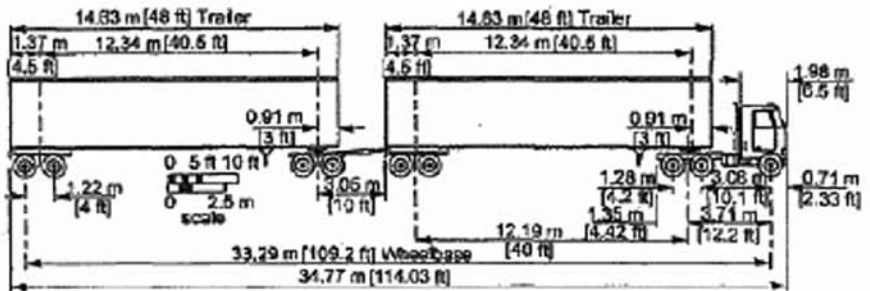
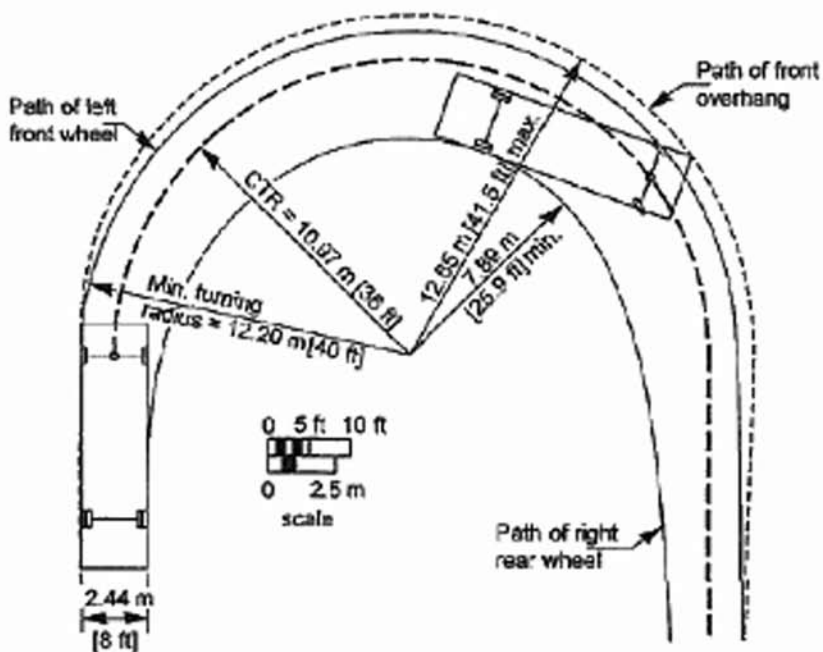
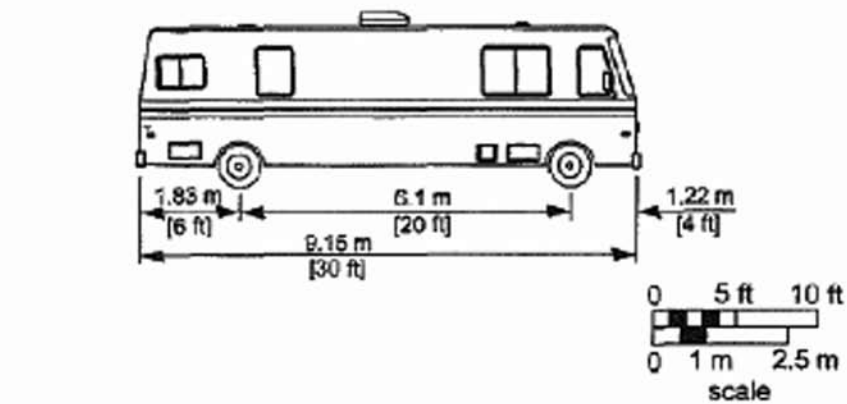


Figura A1.19. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño Cabezal con Doble Combinación de Remolque (WB-33D) (permitido en Autopista)



- Assumed steering angle is 33.7°
- CTR = Centerline turning radius at front axle

Figura A1.20. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño Casa Rodante

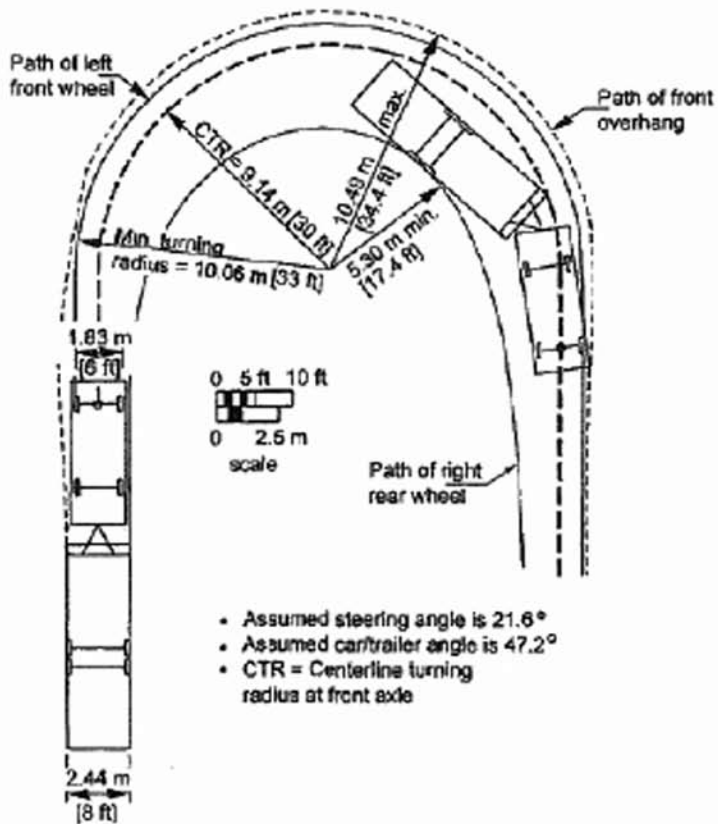
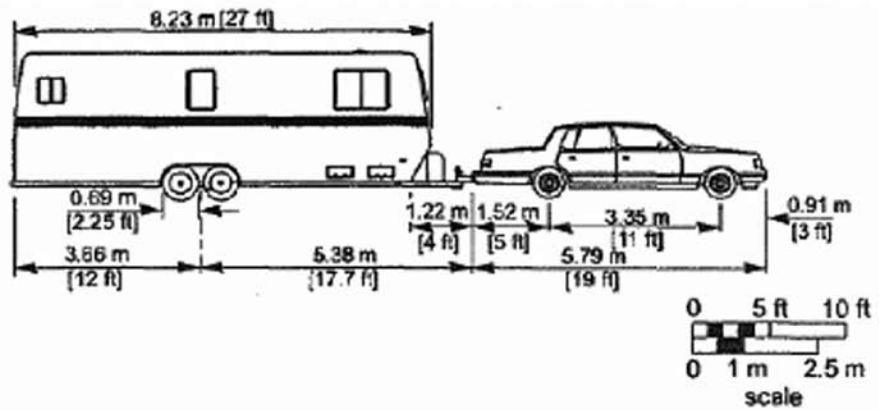


Figura A1.21. Mínima Trayectoria de Vehículo de Diseño Automóvil con Casa Rodante (P/T)

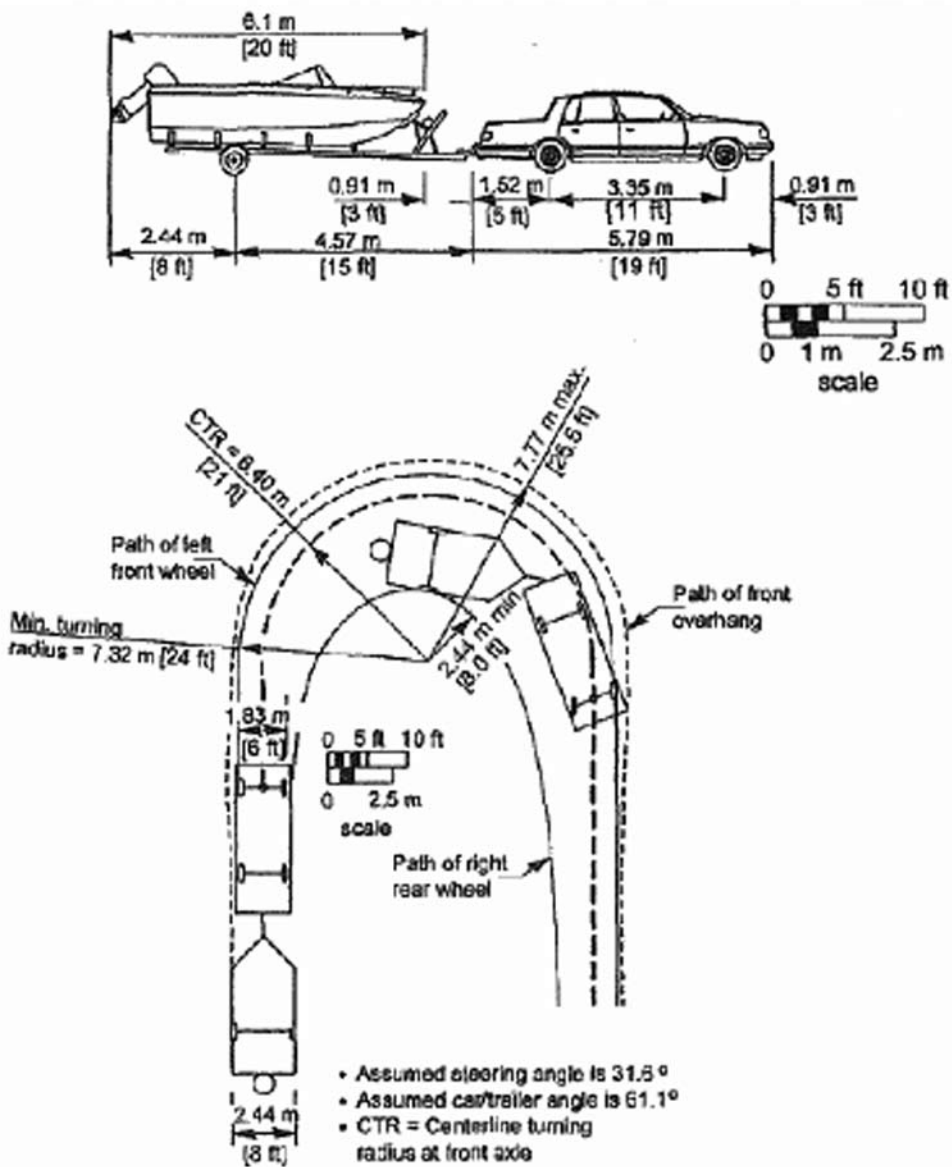


Figura A1.22. Mínima Trayectoria para Vehículo de Diseño Automóvil con Remolque con Bote (P/B)

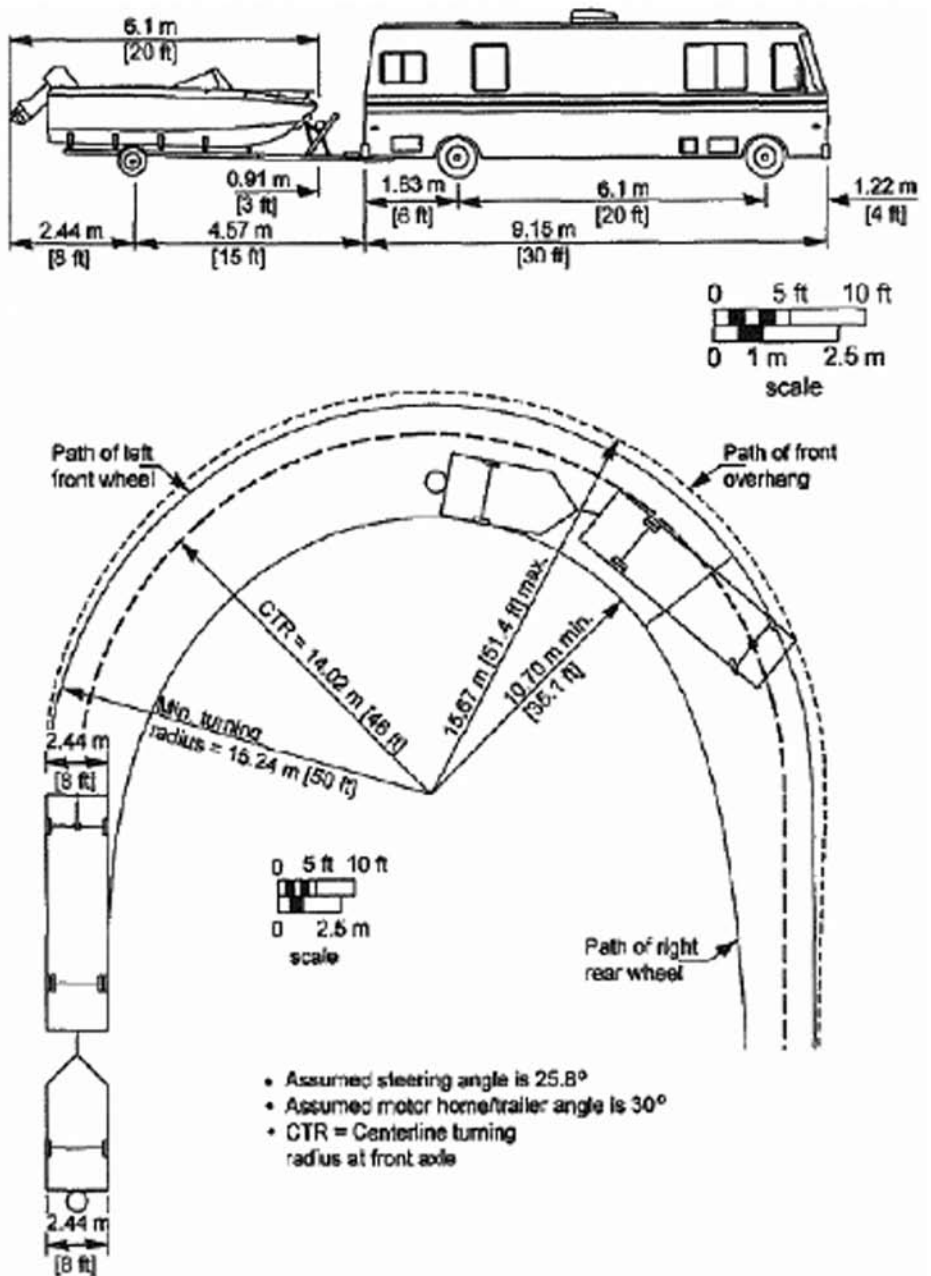


Figura A1.23. Mínima Trayectoria de Vehículo de Diseño Casa Rodante con Remolque con Bote (MH/B)

BIBLIOGRAFÍA

1. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets
American Association of State Highways and Transportation Officials, 2004.
2. Fong, K. T., and D. C. Chenu. "Simulation of Truck Turns With a Computer Model,"
Transportation Research Record 1100, Transportation Research Board, 1985: 20-29.

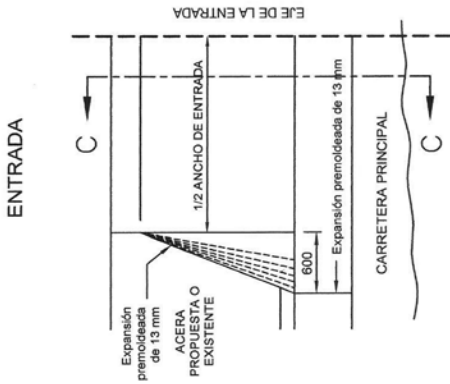
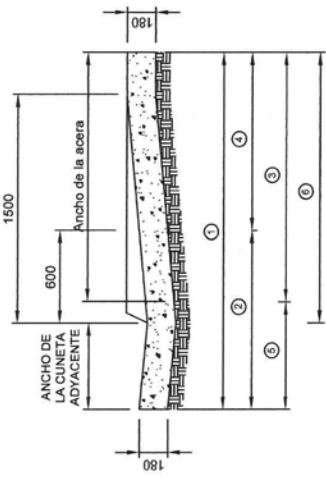
APÉNDICE 2

ENTRADAS A CASAS Y GARAGES

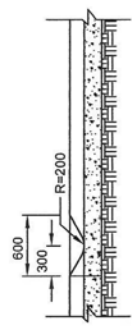
ESQUEMAS ILUSTRATIVOS DE USO GENERAL

NOTAS:

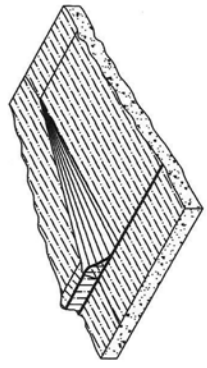
1. COTAS EN mm
2. ANCHO MÍNIMO DESEABLE = 4900 mm
3. ANCHO MÍNIMO ABSOLUTO = 3650 mm



PLANTA
(1/2 SECCIÓN)



ELEVACIÓN
(CORTE EN LÍNEA DE CUNETETA)



VISTA ISOMÉTRICA

1. PARA ACERA, BORDILLO, CUNETETA, CONSTRUIR DE ACUERDO, INICIALMENTE BORDILLO Y CUNETETA.
2. INICIALMENTE SOLO ACERA, HUNDIR LA ACERA 180 mm.
3. PARA SOLO ACERA, DESPUÉS DE CONSTRUIR BORDILLO Y CUNETETA.
4. PARA SOLO BORDILLO Y CUNETETA, DESPUÉS DE CONSTRUIDA LA ACERA.
5. PARA SOLO BORDILLO Y CUNETETA, DESPUÉS DE CONSTRUIDA LA ACERA.
6. SOLO PARA BORDILLO Y ACERA, SIN CUNETETA.

Figura AP.2.1 ENTRADA "A" A TRAVÉS DE CUNETETA Y ACERA

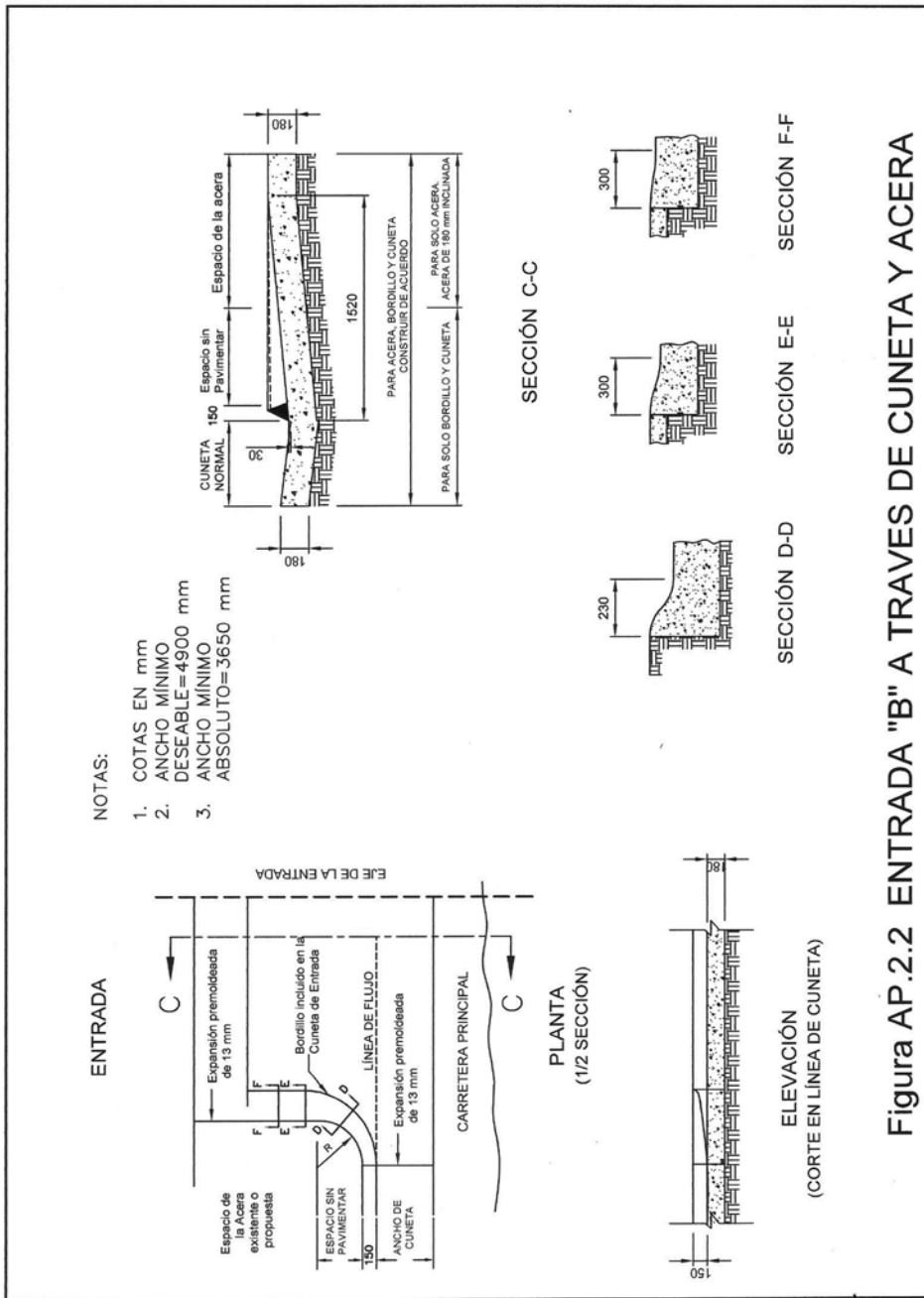
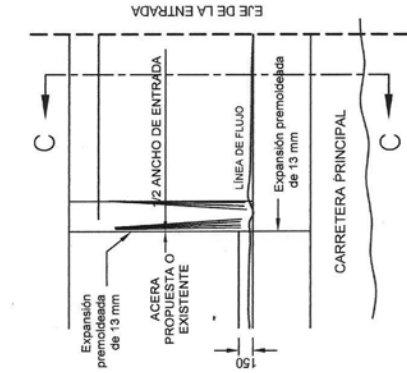
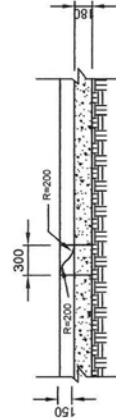


Figura AP.2.2 ENTRADA "B" A TRAVES DE CUNETA Y ACERA

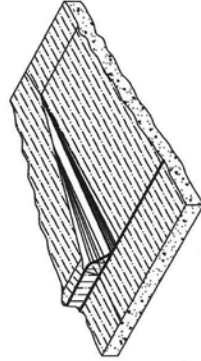
ENTRADA



PLANTA (1/2 SECCIÓN)



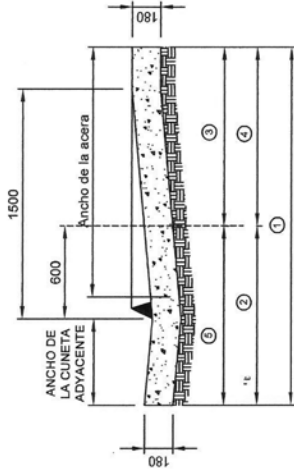
ELEVACIÓN (CORTE EN LÍNEA DE CUNETETA)



VISTA ISOMÉTRICA

NOTAS:

1. COTAS EN mm
2. ANCHO MÍNIMO DESEABLE= 4900 mm
3. ANCHO MÍNIMO ABSOLUTO= 3650 mm



SECCIÓN C-C

1. PARA ACERA, BORDILLO, CUNETETA, CONSTRUIR DE ACUERDO.
2. PARA CONSTRUIR INICIALMENTE BORDILLO Y CUNETETA.
3. PARA SOLO ACERA, ACERA DE 180 mm, INCLINADA.
4. PARA SOLO ACERA, DESPUES DE BORDILLO Y LA CUNETETA.
5. PARA SOLO BORDILLO Y CUNETETA, DESPUES DE LA ACERA.

Figura AP.2.3 ENTRADA "C" A TRAVES DE CUNETETA Y ACERA

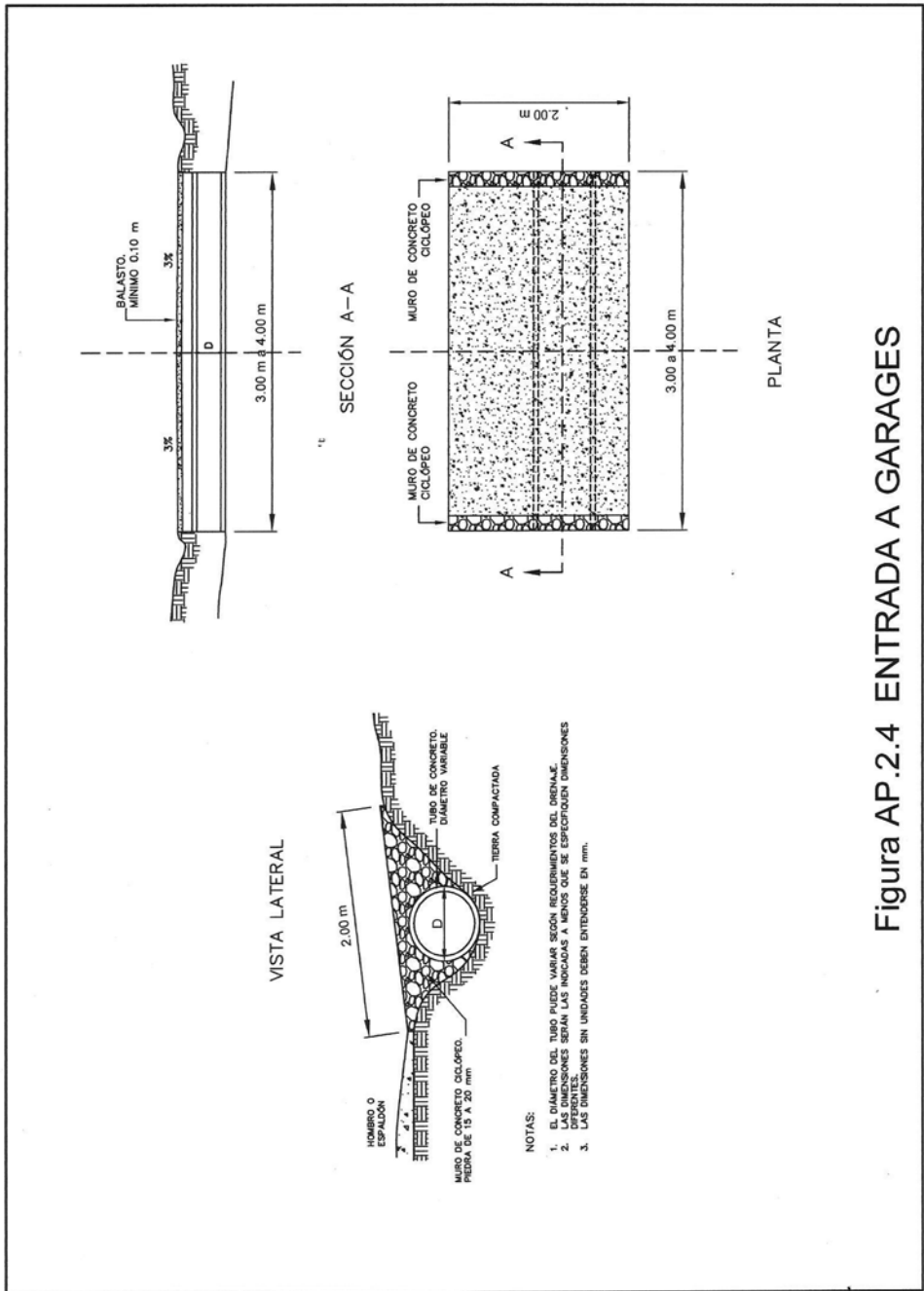
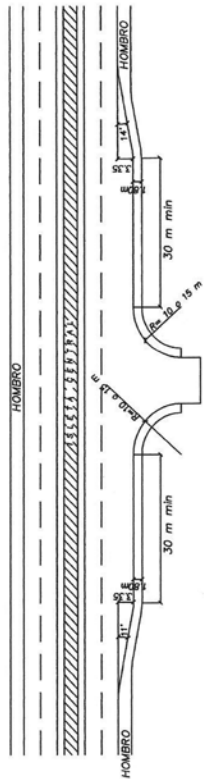
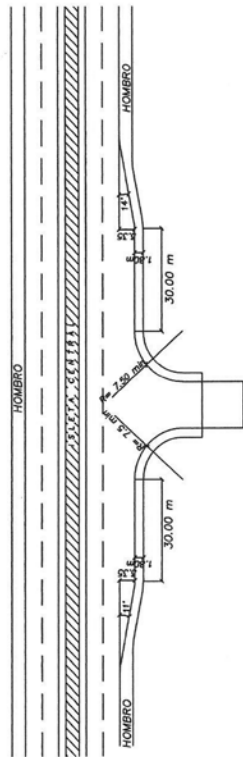


Figura AP.2.4 ENTRADA A GARAGES



INTERSECCION EN "T" SIN GIRO A LA IZQUIERDA



INTERSECCION CON CALLES SECUNDARIAS

Figura AP.2.5 INTERSECCIÓN EN "T"

