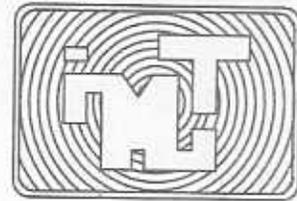


ISSN 0188-7297



---

# **CONSIDERACIONES OPERATIVAS Y DE PROYECTO GEOMETRICO PARA VEHICULOS DE CARGA**

**Instituto Mexicano del Transporte**

**Secretaría de Comunicaciones y Transportes**

**Publicación Técnica No. 106  
San Fandila, Qro. 1998**

---

**INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**

**Consideraciones Operativas y  
de Proyecto Geométrico  
para Vehículos de Carga**

**Publicación Técnica No. 106  
San Fandila, Qro. 1998**

---

---

Este trabajo fue realizado en el Instituto Mexicano del Transporte por Alfonso Rico Rodríguez, Alberto Mendoza Díaz y Emilio Mayoral Grajeda.

---

# Indice

---

	<u>Página</u>
Resumen.	VII
Abstract.	IX
Resumen Ejecutivo.	XI
I. Introducción.	1
II. Consideraciones sobre los Vehículos de Diseño.	3
III. Distancias de Visibilidad de Parada.	5
IV. Radios de Giro y Sobreanchos en Curvas.	7
IV.1. Radios de Giro Mínimos en Curvas Circulares (Bajas Velocidades).	7
IV.2. Sobreanchos en Carreteras.	9
V. Tiempos de Despeje de Camiones de Carga.	19
VI. Características de Estabilidad.	23
VI.1. Estabilidad ante la Volcadura.	23
VI.2. Relación entre la Máxima Aceleración Lateral del Ultimo Remolque y del Tractor.	29
VI.3. Estabilidad de Coleo.	29
VII. Alineamiento Horizontal.	31
VII.1. Consideraciones Generales.	31
VII.2. Comportamiento de los Vehículos en Curva.	32
VII.3. Distancia de Visibilidad en Curvas Horizontales.	34

	<u>Página</u>
VIII. Alineamiento Vertical.	35
VIII.1. Curvas Verticales en Cresta.	35
VIII.2. Pendientes Máximas Ascendentes o Descendentes.	37
VIII.3. Conveniencia de un Tercer Carril de Ascenso en Carreteras de 2 Carriles.	37
IX. Elementos de la Sección Transversal en Carreteras.	43
IX.1. Acotamientos.	43
IX.2. Bordillos.	43
X. Intersecciones.	45
X.1. Intersecciones a Desnivel.	45
X.2. Intersecciones a Nivel.	47
X.2.1. Distancias de Visibilidad en Intersecciones de Carreteras a Nivel.	48
X.2.2. Distancias de Visibilidad en Cruces de Carretera con Ferrocarril.	53
XI. Colocación de Señales de Advertencia.	61
XII. Comentario Final.	63
XIII. Referencias.	65

## **Resumen.**

---

Como es bien sabido, la gran mayoría de la normativa en proyecto geométrico de carreteras se basa en muchas de sus recomendaciones en estudios realizados con automóviles, de manera que en algunas de ellas se incurre en normas que no son adecuadas para los vehículos de carga o de transporte de pasajeros. Por lo anterior, este trabajo tiene por objeto publicar algunas normas interesantes o algunos resultados de estudios que recojan algunas modificaciones propuestas para tomar en cuenta los requerimientos de los modernos camiones de carga. Todo lo anterior con el propósito fundamental de que tales recomendaciones se tomen en cuenta en el proyecto geométrico, reforzándose con ello la seguridad en las carreteras mexicanas.

---

## **Abstract.**

---

As it is well known, most of the road geometric design standards are based on the performance characteristics of automobiles. For this reason, many of the requirements of heavy vehicles for passenger and freight transportation are usually ignored. This work is aimed at publishing some interesting recommendations or results of studies related to the geometric design needs of modern heavy vehicles. The former, with the purpose that such needs be taken into account in the geometric design of roads in Mexico, thus contributing to achieving a safer road environment.

---

## **Resumen Ejecutivo.**

---

Existe una gran cantidad de normativa sustentada en investigación de campo con muchos años de continuidad, sobre una gran cantidad de aspectos que respaldan el proyecto geométrico de carreteras. Esta normativa se aplica también en México y ha respaldado los proyectos carreteros de los últimos años.

Sin embargo, esa normativa, usualmente publicada en manuales, basa muchas de sus recomendaciones en estudios realizados con automóviles, de manera que en algunas de ellas se incurre en normas que no son adecuadas para camiones de carga o de pasajeros. Este hecho ha despertado inquietudes en diversos centros de investigación o de normalización sobre proyectos carreteros.

Con el propósito fundamental de reforzar la seguridad en las carreteras mexicanas, este trabajo tiene por objeto publicar, tras una revisión previa, algunas normas especialmente interesantes o algunos resultados de estudios que recojan algunas modificaciones propuestas para tomar en cuenta las condiciones en que circulan los modernos camiones de carga, algunas de las cuales quedan comprometidas en una carretera proyectada para el tránsito razonablemente seguro de automóviles o camiones de carga más antiguos.

Inicialmente se incorporan algunos vehículos de diseño correspondientes a configuraciones de carga modernas que circulan actualmente por las carreteras mexicanas (p. ej. tractor-semirremolque, este último con longitud de 48 ó 53 pies; tractor-semirremolque-remolque, estos últimos con longitud de 40 pies). Se establecen los valores de diferentes parámetros que caracterizan el comportamiento operativo de estos vehículos en las carreteras. A partir de estos valores se generan recomendaciones de diseño geométrico que deben observarse para garantizar la operación segura de estos vehículos. Dentro de éstas se incluyen distancias de visibilidad de parada y rebase requeridas por ellos, radios de giro mínimos y sobreamchos en curvas horizontales, longitud mínima de curvas verticales, pendientes máximas, anchos de carril y acotamientos, pendientes transversales, distancias de visibilidad en intersecciones a nivel, a desnivel y en cruces de carretera con ferrocarril y requerimientos de carril de ascenso y señalamiento.

---

# I. Introducción.

---

Como es bien sabido, existe una gran cantidad de normativa sustentada en investigación de campo con muchos años de continuidad, sobre una gran cantidad de aspectos que respaldan el proyecto geométrico de carreteras. Esta normativa se aplica también en México y ha respaldado los proyectos carreteros de los últimos años.

Debe decirse que el elemento central para el proyecto geométrico de carreteras ha sido la publicación de recopilaciones de la investigación internacional en Manuales de AASHTO.

Sin embargo, esos manuales, de tan amplia utilización en todo el mundo, basan muchas de sus recomendaciones en estudios realizados con automóviles, de manera que en algunas de ellas se incurre en normas que no son adecuadas para camiones de carga o de pasajeros. Este hecho ha despertado inquietudes en diversos centros de investigación o de normalización sobre proyectos carreteros, quizá preponderantemente en los Estados Unidos (Institute of Transportation Engineers, Transportation Research Board, la propia AASHTO, etc.).

Se ha considerado para la elaboración de este trabajo que puede ser conveniente para reforzar la seguridad en las carreteras mexicanas publicar, tras una revisión previa, algunas normas especialmente interesantes o algunos resultados de estudios que recojan algunas modificaciones propuestas para tomar en cuenta las condiciones en que circulan los modernos camiones de carga, algunas de las cuales quedan comprometidas en una carretera proyectada para el tránsito razonablemente seguro de automóviles.

En las páginas siguientes se proponen algunas de las adaptaciones que parecen más convenientes.

---

## II. Consideraciones sobre los Vehículos de Diseño.

---

Las recientes investigaciones que se han desarrollado sobre todo en Estados Unidos, tendientes a verificar la influencia de los camiones de carga en las normas de seguridad carretera actuales, que consideran al automóvil como el vehículo de proyecto, toman en cuenta el parque de vehículos de carga que circulan en aquel país. Si este parque se compara con el que actualmente circula por las carreteras mexicanas, puede llegarse a la conclusión de que la reciente investigación que se desglosa en este trabajo es plenamente aplicable al México actual y a los camiones de carga que circulan por las carreteras mexicanas, autorizados por los actuales Reglamentos de Pesos y Dimensiones.

Lo que sí parece necesario es realizar una modificación en los vehículos de proyecto que considera el Manual de Proyecto Geométrico (Referencia 1) que frecuentemente se utiliza para tal fin en los trabajos que a este respecto se realizan en México. Parece necesario añadir a los vehículos considerados las configuraciones que se señalan a continuación:

- Tractor-semirremolque, con semirremolque de 48 pies (14.6 m). Actualmente el Manual de Proyecto considera esta configuración, pero con semirremolque de 40 pies (12.2 m).
- Tractor-semirremolque-remolque, en las condiciones que acepta el Reglamento Mexicano actual de Pesos y Dimensiones (una longitud total de 31 m, con dos remolques de 40 pies).
- Debe considerarse que es cada día más frecuente en la zona de América del Norte la utilización de combinaciones de tractor y semirremolque, con semirremolque de 53 pies; con ello pudiera estarse marcando una tendencia del futuro. Si éste fuera el caso, esta combinación debería tomarse en cuenta para los proyectos del porvenir y para las modificaciones del presente.

Éste es también el caso de combinaciones tractor-semirremolque-remolque que actualmente no consideran reglamentariamente la posibilidad de utilizar unidades arrastradas de 48 ó de 53 pies, por otra parte frecuentes en el parque vehicular norteamericano y canadiense.

---

### **III. Distancias de Visibilidad de Parada.**

La Tabla 1 muestra las distancias de visibilidad de parada que consideran las normas que actualmente están en uso en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) (Referencias 1 y 2), para las velocidades de proyecto que se indican. Corresponden a recomendaciones de AASHO (American Association of State Highways Officials) de algún tiempo atrás (Referencia 3).

También se muestran en la tabla las distancias de visibilidad, para las mismas velocidades de proyecto, propuestas por AASHTO en 1990 (Referencia 4).

Finalmente, en la tabla aparecen valores recientes de las mismas distancias de visibilidad correspondientes a la operación segura de vehículos de carga, provistos de mecanismos de frenado convencionales y manejados por choferes con un grado de entrenamiento medio.

En todos los casos, el tiempo de percepción y reacción tomado en cuenta es de 2.5 segundos y los coeficientes de fricción longitudinal supuestos oscilan entre 0.4 para las menores velocidades, hasta 0.3 para las mayores.

Estos últimos valores proceden de estudios recientes reportados en la bibliografía internacional (Referencias 5 y 6) y consideran las condiciones de vehículos de carga de diversos tipos operando en distintas condiciones reales medidas en experiencias de campo.

Cabe el comentario de que las necesidades operativas de los vehículos de carga, resultan notablemente mayores que las consideradas en el pasado cuando se creía que la mayor altura de posición de un chofer de vehículo de carga, compensaba la diferencia en características vehiculares y que, adicionalmente, los vehículos de carga por circular a velocidades francamente menores no requerían consideraciones especiales de distancias de visibilidad. Las investigaciones recientes hacen ver que esta situación no es la correcta desde el punto de vista de seguridad, por lo cual se proponen los valores para camiones de carga en la Tabla 1. Estos valores parecen recomendables, por el momento, para aquellas carreteras en las cuales exista la posibilidad de que el tráfico de carga se mueva con velocidades altas o en las que el tráfico de carga sea previsiblemente importante.

**Tabla 1. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA.**

<b>VELOCIDAD DE PROYECTO (KM / H)</b>	<b>DISTANCIA DE VISIBILIDAD ACTUALMENTE PROPUESTA EN MÉXICO (M)</b>	<b>DISTANCIA DE VISIBILIDAD PROPUESTA POR AASHTO, 1990 (AUTOMÓVILES) (M)</b>	<b>DISTANCIA DE VISIBILIDAD PROPUESTA CONSIDERANDO CAMIONES DE CARGA (M)</b>
30	30	30	40
40	40	50	65
50	55	70	90
60	75	90	125
70	95	120	160
80	115	145	205
90	135	175	245
100	155	205	290
110	175	240	340

## **IV. Radios de Giro y Sobreanchos en Curvas.**

El actual Manual de Diseño frecuentemente utilizado en México (1997) (Referencia 1), considera como vehículo de proyecto más crítico en materia de necesidad de espacio en curvas, a la combinación de un tractor y un semirremolque con distancia entre ejes extremos de 15.25 m (50 pies). Sin embargo, como ya se mencionó, los reglamentos actuales permiten la circulación de un vehículo cuya distancia total entre ejes extremos es de 18.9 m (62 pies), correspondiente a un tractor y un semirremolque de 14.6 m (48 pies); también autoriza el Reglamento configuraciones de tractor-semirremolque-remolque con longitud total de 31 m, dentro de la cual cabe una longitud máxima de remolques de 24.4 m (80 pies). Adicionalmente, quizá deba contemplarse el hecho de que la utilización de remolques de 53 pies es sumamente usual en los Estados Unidos y en Canadá, lo que pudiera señalar con cierto interés la posibilidad de diseñar las nuevas carreteras considerando también este vehículo, así como tomar en cuenta este hecho para las modernizaciones que vayan haciéndose en las carreteras en uso.

La investigación actual ha procurado obtener información de campo a partir de las combinaciones vehiculares más actuales y ello en dos casos diferentes. El primero se refiere a trazos urbanos o suburbanos con radios de giro de geometría muy restringida, en tanto que el segundo caso considera las condiciones en carretera abierta.

### **IV.1 Radios de Giro Mínimos en Curvas Circulares (Bajas Velocidades).**

Obviamente se consideran en este caso movimientos a muy baja velocidad. La Tabla 2 proporciona el espacio requerido en curvas en términos de los radios de giro mínimos, exterior e interior, para los vehículos que convendría incorporar al Manual de Proyecto Mexicano. Como referencia se proporcionan los valores para automóviles y para la combinación tractor-semirremolque con distancia entre ejes extremos de 15.25 m, ya considerados por el Manual de Proyecto. La Tabla 2 procede de la Referencia 4.

**Tabla 2. RADIOS DE GIRO MÍNIMOS PARA DIFERENTES VEHÍCULOS.**

<b>VEHÍCULO</b>	<b>MÁXIMO RADIO DE GIRO <sup>(1)</sup> (M)</b>	<b>MÍNIMO RADIO INTERIOR <sup>(2)</sup> (M)</b>
Automóvil	7.35	4.05
Combinación:		
• Tractor-semirremolque con distancia entre ejes extremos de 15.25 m.	14.75	6.30
• Tractor-semirremolque de 14.6 m (48 pies).	14.75	2.98
• Tractor-semirremolque de 16.2 m (53 pies).	14.75	0
• Tractor-semirremolque-remolque.	19.70	5.70

Notas:

- (1) Trayectoria exterior del vuelo delantero izquierdo cuando el vehículo da la vuelta más forzada.
- (2) Trayectoria de la llanta trasera derecha cuando el vehículo da la vuelta más forzada.

La Referencia 5 amplía en algo la información del comportamiento de algunos vehículos articulados largos en curvas cerradas, detallando las dimensiones del inevitable desfase de los centros de los ejes delantero y trasero del vehículo (offtracking) (véase Figura 1). Adicionalmente, la Tabla 3 presenta el valor de este desfase para el sistema tractor-semirremolque en tres longitudes de este último.

Debe observarse que la Tabla 3 proporciona valores del "offtracking" correspondientes a curvas en plano; dichos valores se incrementan cuando en la curva existe sobreelevación, pero tales incrementos son muy pequeños por lo que no se considera necesaria su inclusión.

## **IV.2 Sobreanchos en Carreteras.**

Se considera en este caso el sobreancho del que es necesario dotar a las curvas para el servicio normal de las carreteras. Aparece ahora un segundo efecto de desfase entre los ejes delantero y trasero del vehículo, que se incrementa con el cuadrado de la velocidad del mismo. Este desfase ocurre en sentido contrario al que se mencionó para el caso de curvas descritas a muy bajas velocidades y hace que el eje trasero del camión tienda a invadir el lado exterior de la curva. Su efecto es notable en los camiones articulados que describen la curva circular a velocidades de 100 Km/h; hasta valores de este orden, el eje trasero del remolque no llega a invadir el lado exterior de la curva, pues en este caso ambos tipos de deriva tienden a compensarse (ello ocurre realmente a velocidades tan altas como 90 - 100 Km/h).

Las Tablas 4.a y 4.b (Referencias 5 y 6) presentan una serie de resultados experimentales que relacionan, para las condiciones norteamericanas y combinaciones articuladas de tractor-semirremolque (con semirremolque de 48 pies), las velocidades de operación, los radios de curvas circulares recorridas y la sobreelevación transversal de la curva, para llegar al ancho de carril necesario para acomodar en forma segura los dos tipos de deriva atrás comentados.

**Tabla 3. DESFASAMIENTO ENTRE CENTROS DE LOS EJES DELANTERO Y TRASERO DEL VEHÍCULO (OFFTRACKING).**

VEHÍCULO	RADIO DE GIRO (M)								
	15			30			90		
	ÁNGULO DE VUELTA (GRADOS)								
	60	90	120	60	90	120	60	90	120
Articulado con distancia entre ejes extremos de 15.25 m.	2.83	3.60	4.05	1.83	1.98	2.01	0.64	0.64	0.64
Articulado con semirremolque de 48 pies.	4.08	5.30	-	2.77	3.17	3.29	1.04	1.04	1.04
Articulado con semirremolque de 53 pies.	4.39	5.94	7.13	3.14	3.69	3.90	1.25	1.25	1.25

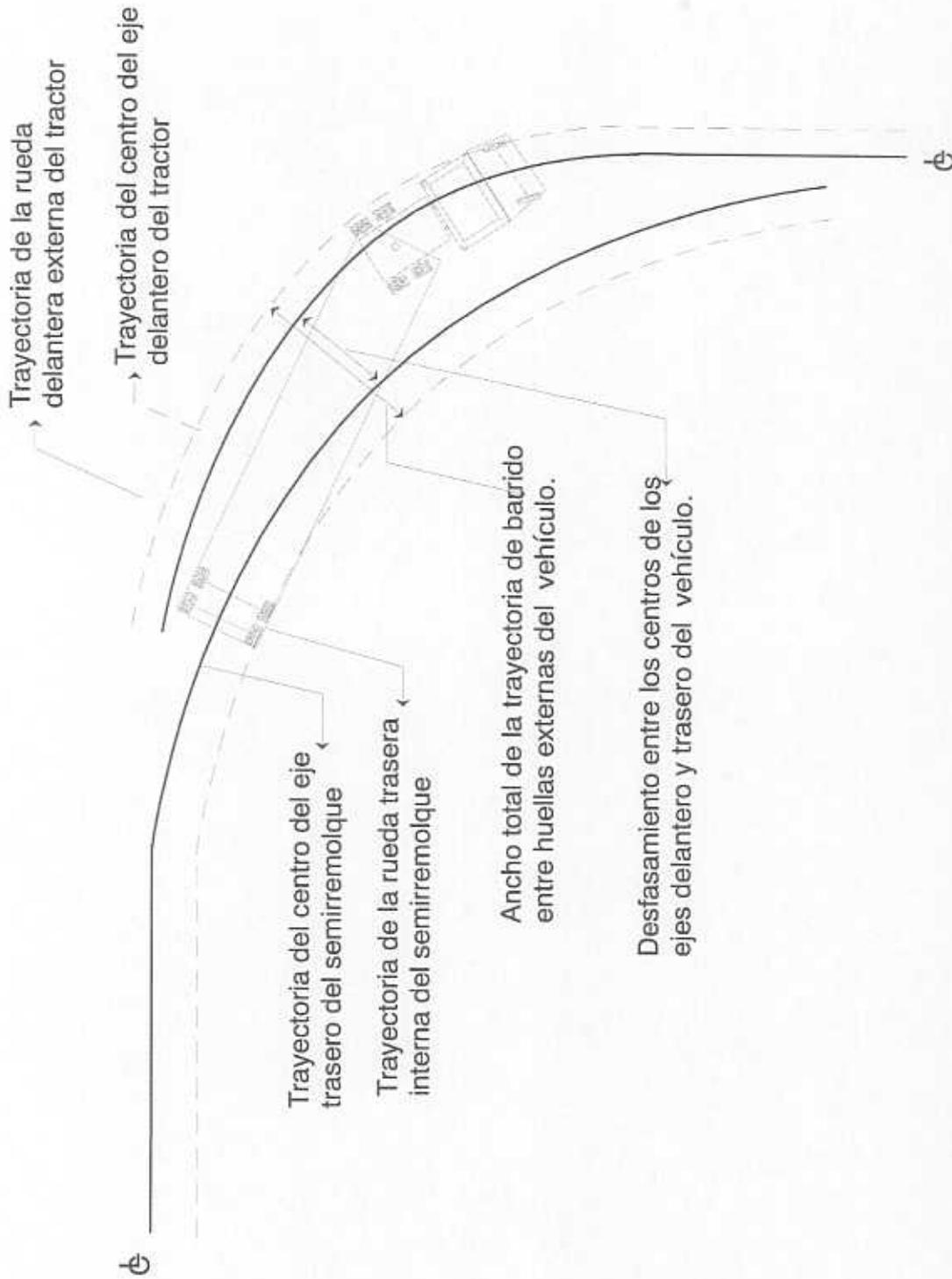


FIGURA 1. Desfasamiento entre los Centros de los Ejes Delantero y Trasero del Vehículo.

---

Tabla 4.a ANCHURA MÍNIMA DE CARRIL EN CURVAS HORIZONTALES PARA PERMITIR EL PASO SEGURO DE UN TRACTOR CON SEMIRREMOLQUE DE 48'.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KM/H)	RADIO DE CURVATURA (M)	GRADO DE CURVATURA (°)	SOBREELEVACIÓN ACTUAL (%)	ANCHO DE CARRIL <sup>(1)</sup> EN E.U.A. (M)
<b>MÁXIMA SOBREELEVACIÓN = 4%</b>				
64	174.77	6° 30'	4.00	3.66
	183.00	6° 15'	4.00	3.66
	244.00	4° 42'	3.70	3.51
	305.00	3° 45'	3.50	3.51
	457.50	2° 30'	3.00	3.36
	610.00	1° 53'	2.70	3.20
80	291.28	3° 55'	4.00	3.51
	305.00	3° 45'	4.00	3.51
	457.50	2° 30'	3.70	3.36
	610.00	1° 53'	3.30	3.36
96	466.04	2° 28'	4.00	3.36
	610.00	1° 53'	3.90	3.36

Nota:

- (1) Anchura mínima de carril basada en tractor con semirremolque de 48 pies, como vehículo de proyecto.

**Tabla 4.a ANCHURA MÍNIMA DE CARRIL EN CURVAS HORIZONTALES PARA PERMITIR EL PASO SEGURO DE UN TRACTOR CON SEMIRREMOLQUE DE 48'.  
(CONTINUACIÓN)**

VELOCIDAD DE DISEÑO (KM/H)	RADIO DE CURVATURA (M)	GRADO DE CURVATURA (°)	SOBRE-ELEVACIÓN ACTUAL (%)	ANCHO DE CARRIL <sup>(1)</sup> EN E.U.A. (M)
<b>MÁXIMA SOBREELEVACIÓN = 6%</b>				
64	155.25	7° 23'	6.00	3.97
	183.00	6° 15'	5.90	3.81
	244.00	4° 42'	5.60	3.66
	305.00	3° 45'	5.00	3.51
	457.50	2° 30'	4.10	3.36
	610.00	1° 53'	3.40	3.20
80	258.95	4° 26'	6.00	3.66
	305.00	3° 45'	5.90	3.66
	457.50	2° 30'	5.20	3.51
	610.00	1° 53'	4.50	3.36
96	411.14	2° 47'	6.00	3.51
	457.50	2° 30'	6.00	3.51
	610.00	1° 53'	5.50	3.36
112	635.32	1° 48'	6.00	3.51

Nota:

- (1) Anchura mínima de carril basada en tractor con semirremolque de 48 pies, como vehículo de proyecto.

Tabla 4.a ANCHURA MÍNIMA DE CARRIL EN CURVAS HORIZONTALES PARA PERMITIR EL PASO SEGURO DE UN TRACTOR CON SEMIRREMOLQUE DE 48'.  
(CONTINUACIÓN)

VELOCIDAD DE DISEÑO (KM/H)	RADIO DE CURVATURA (M)	GRADO DE CURVATURA (°)	SOBREELEVACIÓN ACTUAL (%)	ANCHO DE CARRIL <sup>(1)</sup> EN E.U.A. (M)
<b>MÁXIMA SOBREELEVACIÓN = 8%</b>				
64	142.74	8° 00'	8.00	4.12
	183.00	6° 15'	7.80	3.97
	244.00	4° 42'	7.10	3.66
	305.00	3° 45'	6.20	3.51
	457.50	2° 30'	4.70	3.36
	610.00	1° 53'	3.80	3.20
80	233.02	4° 55'	8.00	3.81
	244.00	4° 42'	8.00	3.81
	305.00	3° 45'	7.70	3.66
	457.50	2° 30'	6.30	3.51
	610.00	1° 53'	5.30	3.36
96	367.83	3° 07'	8.00	3.66
	457.50	2° 30'	7.80	3.66
	610.00	1° 53'	6.80	3.51
112	582.55	1° 58'	8.00	3.51
	610.00	1° 53'	8.00	3.51

Nota:

- (1) Anchura mínima de carril basada en tractor con semirremolque de 48 pies, como vehículo de proyecto.

**Tabla 4.b ANCHURA MÍNIMA DE CARRIL EN CURVAS HORIZONTALES PARA PERMITIR EL PASO SEGURO DE UN TRACTOR CON SEMIRREMOLQUE DE 48'.**

VELOCIDAD DE DISEÑO (KM/H)	RADIO DE CURVATURA (M)	GRADO DE CURVATURA (°)	SOBRE-ELEVACIÓN ACTUAL (%)	ANCHO DE CARRIL <sup>(1)</sup>	
				EN E.U.A.	NORMA MEXICANA
				(M)	
<b>MÁXIMA SOBREELEVACIÓN = 10%</b>					
64	131.76	8° 42'	10.00	4.27	3.93
	183.00	6° 15'	9.40	3.97	3.85
	244.00	4° 42'	8.40	3.81	3.79
	305.00	3° 45'	7.00	3.51	3.75
	457.50	2° 30'	5.10	3.36	3.70
	610.00	1° 53'	4.00	3.20	3.65
80	211.67	5° 25'	10.00	3.97	3.90
	244.00	4° 42'	10.00	3.97	3.85
	305.00	3° 45'	9.20	3.81	3.80
	457.50	2° 30'	7.20	3.51	3.75
	610.00	1° 53'	5.70	3.36	3.69
96	332.76	3° 27'	10.00	3.81	3.80
	457.50	2° 30'	9.30	3.66	3.78
	610.00	1° 53'	7.70	3.51	3.70
112	499.29	2° 18'	10.00	3.66	3.80
	610.00	1° 53'	9.60	3.66	3.75

**Nota:**

- (1) Anchura mínima de carril basada en tractor con semirremolque de 48 pies, como vehículo de proyecto.

La Tabla 4.a considera valores de sobreelevación máxima de 0.04, 0.06 y 0.08. La Tabla 4.b considera una sobreelevación máxima de 0.10, que es la sobreelevación máxima que también toma en cuenta la actual normativa mexicana; por esa razón, se añade una última columna que proporciona el ancho de carril necesario según la norma mexicana con fines de comparación con la experimentación reciente.

Puede verse, al comparar en la Tabla 4.b los resultados de las investigaciones más recientes (1990) con los actuales manuales de diseño en uso por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México, (Referencias 1 y 2), que para velocidades relativamente altas (del orden de 80 ó más kilómetros por hora), los anchos de carril actualmente recomendados en México resultan muy razonables para una combinación articulada con semirremolque de 48 pies. Para curvas más cerradas, correspondientes a trazados sinuosos, con velocidades autorizadas menores (en el orden de los 60 kilómetros por hora), la investigación reciente recomienda anchos de carril mayores que los actualmente utilizados en México. Por ejemplo, para una velocidad de operación de 65 Km/h, en una curva de 130 m de radio, la Tabla 4.b exige un ancho de carril de 4.30 m, en tanto que los actuales manuales de proyecto utilizados en México llegarían a 3.90 m (ancho de carril en tangente de 3.50 m).

En todas las comparaciones anteriores, el vehículo tomado en cuenta es el tractor con semirremolque de 48 pies; la situación sería un poco más desfavorable para la norma actual mexicana, si se tomara en cuenta un semirremolque de 53 pies.

---

## V. Tiempos de Despeje de Camiones de Carga.

---

En esta sección, se trata del cálculo de los tiempos necesarios para que los vehículos de carga puedan realizar las maniobras de despeje necesarias en toda clase de cruzamientos a nivel o en cualquier otra situación en que el vehículo deba tener la capacidad de apartarse dejando vía libre en el cruce o en una maniobra en que haya de ser rebasado en ascenso. Obviamente el tiempo necesario para la maniobra, depende de la relación peso/potencia del vehículo y de la pendiente que haya de vencerse para maniobrar. Los cálculos que adelante se detallan corresponden a una unidad articulada con semirremolque de 48 pies.

La Tabla 5 (Referencia 7) proporciona tales tiempos para diferentes longitudes de recorrido necesarias para lograr el despeje. Los datos presentados en la tabla suponen una relación peso/potencia de 200 kg/HP, inicialmente un valor razonablemente representativo del tránsito mexicano de tales arreglos vehiculares (Referencia 8). La Tabla 6 presenta el resultado de observaciones recientes (Referencia 9) sobre la tasa de aceleración que debe tener el vehículo de carga para alcanzar una velocidad de 65 Km/h a partir de los valores de velocidad inicial que se señalan y ello para diferentes valores de relación peso/potencia. El caso mexicano típico se asimila al último renglón de la tabla (relación peso/potencia de 200 kg/HP).

En términos generales puede decirse que las más recientes investigaciones realizadas a nivel mundial, indican que los tiempos de despeje son algo mayores para los actuales vehículos de carga de lo que indican los manuales mexicanos en vigencia para vehículos equivalentes (último renglón de la Tabla 6).

**Tabla 5. TIEMPO DE DESPEJE PARA BAJAS ACELERACIONES EN VEHÍCULOS ARTICULADOS CON SEMIRREMOLQUE DE 48'.**

PENDIENTE LONGI- TUDINAL (%)	VELOCIDAD (KM / H)	TIEMPO DE DESPEJE EN SEG. PARA DIFERENTES LONGITUDES DE ZONAS PELIGROSAS									
		29	32	35.1	38.1	41.2	44.2	47.3	50.3	53.4	56.4
		(M)									
0 - 2	10	11.1	11.9	12.8	13.7	14.5	15.4	16.2	17.1	17.9	18.8
3 - 5	8	13.8	14.9	16.1	17.2	18.3	19.5	20.6	21.8	22.9	24.0
6 - 10	6	16.0	17.3	18.7	20.0	21.4	22.8	24.1	25.5	26.9	28.2
11 - 13	5	19.2	20.9	22.6	24.3	26.0	27.7	29.4	31.1	32.8	34.5
0 <sup>(1)</sup>	12	10.7	11.2	11.8	12.4	13.0	13.5	13.9	14.2	14.5	14.7

Nota:

- (1) Norma Mexicana para un vehículo de proyecto con una distancia entre ejes extremos de 15.25 m (DE-1525).

**Tabla 6. CAPACIDADES DE ACELERACIÓN DE CAMIONES DE CARGA A PARTIR DE CIERTAS VELOCIDADES HASTA 64 KM / H.**

RELACIÓN PESO / POTENCIA (KG / HP)	RELACIÓN DE ACELERACIONES (M/SEG/SEG) PARA VELOCIDADES DE 64 KM / H.			
	0	16	32	48
	45	0.570	0.519	0.448
90	0.372	0.329	0.293	0.241
136.2	0.278	0.247	0.220	0.177
180	0.217	0.186	0.153	0.110
200	0.189	0.159	0.122	0.061

Fuente: Referencia 9.

---

## **VI. Características de Estabilidad.**

---

En los últimos años, se han obtenido algunos resultados sobre características de estabilidad de los vehículos de carga que no suelen estar todavía tomados en cuenta por los Manuales de Diseño de Carreteras en vigor. A continuación se mencionan algunos resultados a los que sería conveniente dar consideración.

### **VI.1 Estabilidad ante la Volcadura.**

Este parámetro se mide por la máxima aceleración lateral que puede darse al vehículo sin que éste se vuelque.

Un automóvil suele aguantar una aceleración lateral de 1.2 g antes de volcarse; el mismo vehículo, al circular rápidamente por una curva horizontal suele derrapar antes de llegar a la condición de volcadura. Sin embargo, los camiones, con más alto centro de gravedad y una posible movilización de su carga en curva, por el contrario, tienden a volcarse antes de derrapar.

La Referencia 10 proporciona algunos datos de interés, producto de mediciones de campo en combinaciones típicas de tractor y semirremolque, mismos que se incluyen en la Figura 2; las aceleraciones laterales de vuelco oscilan entre 0.34 y 0.24 g.

La misma Referencia 10 hace ver que la aceleración lateral de vuelco puede expresarse aproximadamente como el cociente del ancho del vehículo, medido entre los planos centrales de las llantas, entre el doble de la altura del centro de gravedad, respecto al piso. Para los esquemas de vehículos contenidos en la Figura 3 (un automóvil y un camión) se tolera una aceleración de 0.5 g en el caso del camión y 1.3 g en el caso del automóvil, antes de que se produzca la volcadura. De hecho debido a la rigidez de la suspensión, estos valores pasan a ser 0.3 y 1.2 g, respectivamente.

---

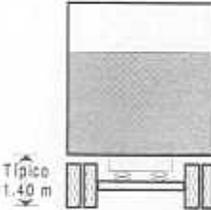
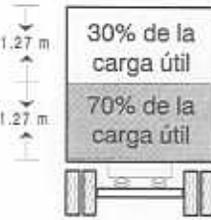
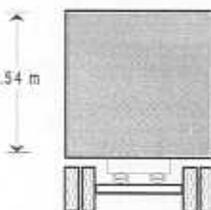
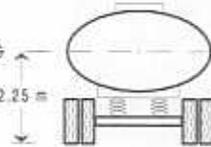
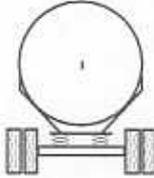
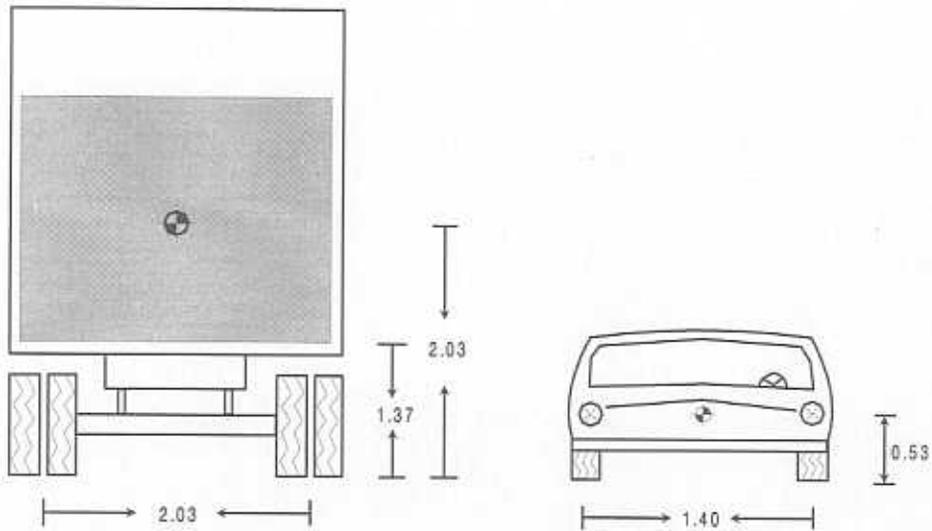
CONFIGURACIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR (TON)	ALTURA DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE LA CARGA ÚTIL (METROS)	ACELERACIÓN LATERAL DE VUELCO (g)
 <p>Carga de densidad media (0.55 Ton / m<sup>3</sup>)</p>	36.32	2.12	0.34
 <p>Carga consolidada</p>	33.14	2.41	0.28
 <p>Carga homogénea (0.3 Ton / m<sup>3</sup>)</p>	36.32	2.67	0.24
 <p>Tanque de gasolina</p>	36.32	2.25	0.32
 <p>Tanque Criogénico (He<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>)</p>	36.32	2.54	0.26

FIGURA 2. Valores de Aceleraciones Laterales de Vuelco para Diferentes Tipos de Vehículos.

\_\_\_\_\_



Nota:  
Acotaciones en metros.

**FIGURA 3. Altura del Centro de Gravedad y Ancho Efectivo de Entrevía para un Vehículo Cargado (semirremolque de caja) y un Automóvil.**

---

## **VI.2 Relación entre la Máxima Aceleración Lateral del Último Remolque y del Tractor.**

Este fenómeno se presenta típicamente en combinaciones de tractor y dos o más remolques y consiste en una amplificación de la aceleración lateral del tractor, que se propaga a lo largo del tren y se manifiesta en una tendencia al desplazamiento lateral sobre todo del último remolque. El fenómeno se genera cuando el conductor vira rápidamente en una dirección para evitar un obstáculo y trata de volver, también con rapidez, al rumbo original.

Se mide como la relación entre la máxima aceleración lateral del último remolque y la aceleración lateral del tractor.

Estudiando diferentes modelos de simulación, se encontraron (Referencia 9) máximas relaciones de amplificación de 2 y 3.5 para combinaciones de 2 y 3 remolques de 28 pies y de 1.25 para remolques dobles de 48 pies.

## **VI.3 Estabilidad de Coleo.**

Este efecto se refiere a la capacidad del vehículo para resistir movimientos de giro no intencionales en torno a su eje vertical, los cuales pueden desviar al propio vehículo de su trayectoria deseada. El efecto se combate, o con acciones correctivas en el volante o reduciendo velocidad, pero obviamente ambos efectos conducen a acciones de emergencia. La estabilidad ante el coleo es una característica que debe proporcionar el tractor, pero que no es afectada por las unidades remolcadas.

El tractor pierde estabilidad por derrapamiento de sus ejes traseros al entrar el vehículo a una curva debido a que la inercia del mismo trata de seguir de frente. Esta tendencia al derrapamiento hace que el vehículo pierda tracción en dichos ejes. El monto de pérdida de tracción depende de la velocidad, del radio de la curva y el monto de la fricción que son capaces de proporcionar sus llantas traseras. Esta tendencia al coleo se incrementa si el vehículo va frenando en curva. Si el efecto de coleo se presenta en un momento en que el vehículo va frenando, este hecho podría llegar a ser más desfavorable.



## **VII. Alineamiento Horizontal.**

---

### **VII.1 Consideraciones Generales.**

Muchos manuales de diseño actuales basan el diseño de curvas horizontales en la relación matemática que existe entre la velocidad del vehículo, el radio de curvatura, el coeficiente de fricción lateral que se considere entre llantas y pavimentos, la sobreelevación lateral de la curva y la masa del vehículo. Es muy usual que en los manuales existentes elementos tan importantes como los coeficientes de fricción lateral que se propongan estén basados en la marcha confortable y segura de un automóvil de pasajeros. En principio, esta política, al no tomar en cuenta camiones de carga, con condiciones de volcadura muy diferentes, con centro de gravedad más alto, y mayores necesidades de fricción lateral, pudiera llevar a condiciones inconsistentes.

Otro factor que a veces se descuida en el diseño de curvas horizontales es que el valor de sobreelevación que se toma es el que existe en el centro del arco, con lo que la entrada y la salida de la curva han de hacerse con sobreelevaciones gradualmente crecientes o decrecientes. Cuando la curva tiene espirales de transición, se utilizan éstas para dar la sobreelevación requerida de todo el arco de la curva circular, desapareciendo la dificultad anterior. Cuando no hay espirales de transición, se ha popularizado el criterio de dar 2/3 partes de la transición antes de entrar a la curva y la restante tercera parte en el semiarco de la curva circular, con el inconveniente de tener tramos rectos sobreelevados lateralmente.

Es evidente que estos criterios representan deficiencias que atentan contra la seguridad de los vehículos y que conducen a la comprensión de la gran influencia que las espirales de transición tienen en la marcha segura del tránsito, especialmente en el caso de camiones de carga con centros de gravedad notoriamente más altos. Esa influencia es particularmente importante en carreteras con velocidades de proyecto elevadas, para las que el uso de espirales de transición de proyecto parece obligatorio.

## **VII.2 Comportamiento de Vehículos en Curva.**

Es bien sabido que cuando un vehículo describe una curva con sobreelevación lateral hacia el centro de la curva, está sujeto a dos tipos de efectos, ambos nocivos: una acción centrífuga, que tiende a que el vehículo derrape hacia el exterior de la curva y una acción centrípeta, debida a la componente de su peso (aplicado naturalmente en su centro de gravedad), hacia el centro de la curva. La fricción llanta-pavimento contrarresta el primer efecto, en tanto que el segundo depende de las leyes de volcadura.

La Tabla 7 (Referencia 5), proporciona abundante información reciente de las condiciones de derrapamiento o volcadura para una amplia gama de velocidades y sobreelevaciones de curvas circulares. Como información complementaria, la columna número 3 se refiere a los valores de aceleración lateral límite que puede sentirse en un automóvil en condiciones todavía confortables. La columna número 4 proporciona los radios mínimos de curva circular a que se llega si el diseño se hace con base en los datos de las 3 columnas a la izquierda.

La segunda parte de la tabla (columna 5 en adelante) presenta los valores de velocidades que producen el derrapamiento (en pavimento mojado ó seco) o la volcadura para automóviles y para una combinación articulada de vehículo de carga. Las aceleraciones que aparecen en la tabla requieren una explicación adicional. En el caso de la volcadura de automóviles, la investigación reciente demuestra que 1.2 g es un valor crítico asociado a la aceleración lateral necesaria para producir la volcadura; en el caso de los camiones de carga, las aceleraciones laterales asociadas a la volcadura son más variables dependiendo del tipo de vehículo (en la tabla se presentan valores de 0.27 a 0.40 g).

Nótese que en los automóviles, la velocidad crítica para derrapar es siempre menor que la velocidad que produce la volcadura y ello para cualquier velocidad, dentro de las sobreelevaciones señaladas en la tabla y para las mismas condiciones de pavimento. Por el contrario, en el caso de los camiones de carga, la volcadura suele ser la condición más crítica.

Tabla 7. LÍMITES DE VELOCIDAD ANTE DESLIZAMIENTO O VOLCADURA EN CURVAS HORIZONTALES.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KM / H)	SOBRE-ELEVACIÓN MÁXIMA (%)	ACELERACIÓN LATERAL LÍMITE (AASHTO)	RADIO DE CURVATURA MÍNIMO (M)	VEL. DE AUTOMÓVILES (KM/H)				VEL. DE CAMIONES (KM / H)					
				AL DERRAPAMIENTO EN PAVIMENTO		A LA VOLCADURA UV <sup>(1)</sup> = 1.2 g	AL DERRAPAMIENTO EN PAVIMENTO		A LA VOLCADURA				
				MOJADO	SECO		MOJADO	SECO	UV <sup>(1)</sup> = 0.27 g	UV <sup>(1)</sup> = 0.30 g	UV <sup>(1)</sup> = 0.35 g	UV <sup>(1)</sup> = 0.40 g	
				MOJADO	SECO	MOJADO	SECO	UV <sup>(1)</sup> = 0.27 g	UV <sup>(1)</sup> = 0.30 g	UV <sup>(1)</sup> = 0.35 g	UV <sup>(1)</sup> = 0.40 g		
32	4	0.17 g	38.74	55.3	69.7	78.2	44.9	56.2	39.1	40.9	43.9	46.8	
48	4	0.16 g	92.11	80.1	107.3	120.5	65.2	86.6	60.3	63.1	67.6	71.8	
64	4	0.15 g	174.77	105.9	147.9	166.0	86.4	119.4	83.0	87.0	93.2	99.0	
80	4	0.14 g	291.28	132.7	190.8	214.5	108.4	154.0	107.2	112.3	120.2	127.8	
97	4	0.12 g	466.04	165.2	241.5	271.3	135.2	194.8	135.6	142.1	152.1	161.5	
32	6	0.17 g	35.38	53.7	67.3	75.3	43.9	54.5	38.6	40.2	43.0	45.5	
48	6	0.16 g	83.27	77.6	103.1	115.5	63.7	83.7	59.2	61.8	66.0	69.8	
64	6	0.15 g	155.25	101.8	140.8	157.8	83.8	114.2	80.8	84.3	89.9	95.4	
80	6	0.14 g	258.95	127.8	181.8	203.9	105.4	147.5	104.3	108.9	116.3	123.1	
97	6	0.12 g	411.14	158.6	229.1	256.8	131.0	185.8	131.5	137.2	146.6	155.1	
113	6	0.10 g	635.32	194.2	284.8	319.2	160.4	231.1	163.3	170.7	182.1	192.9	
32	8	0.17 g	32.64	52.3	65.2	72.9	43.1	53.1	38.1	39.7	42.3	44.7	
48	8	0.16 g	76.86	75.8	100.1	112.0	62.8	81.6	58.6	61.0	64.8	68.5	
64	8	0.15 g	142.74	99.4	136.3	152.5	82.5	111.2	79.8	83.0	88.3	93.3	
80	8	0.14 g	233.02	123.6	174.1	194.8	102.8	142.1	101.8	106.2	113.0	119.4	
97	8	0.12 g	367.83	153.2	218.8	244.9	127.6	178.4	128.1	133.4	141.9	150.0	
113	8	0.10 g	582.55	189.9	275.5	308.1	158.5	224.6	161.1	167.8	178.6	188.7	
32	10	0.17 g	30.20	51.2	63.2	70.6	42.5	51.8	37.7	39.3	41.7	43.8	
48	10	0.16 g	70.46	73.9	96.7	108.0	61.6	79.2	57.6	59.9	63.6	66.9	
64	10	0.15 g	131.76	97.3	132.3	147.7	81.4	108.3	78.8	81.9	86.9	91.6	
80	10	0.14 g	211.67	120.0	167.7	187.1	100.7	137.4	99.9	103.8	110.1	116.0	
97	10	0.12 g	332.76	148.5	210.1	234.8	124.9	172.2	125.2	130.2	138.1	145.6	
113	10	0.10 g	499.29	179.4	257.4	287.5	150.9	210.9	153.3	159.5	169.1	178.3	

Nota:

(1) UV = umbral de volteo del vehículo considerado.

Otra situación que merece consideración individual es la relación de velocidades de diseño que debe existir entre un camino principal y las rampas de salida en pasos a desnivel. Obviamente esta velocidad es una función de la velocidad del camino principal y de su nivel de ocupación. Al analizar la investigación reciente sobre estos tópicos se constata que las recomendaciones del Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de México (Referencia 1, Capítulo 11) continúan siendo concordantes con la práctica internacional; sin embargo, en el texto de dicho manual se aceptan condiciones más desfavorables que las originalmente propuestas en las tablas, en atención a consideraciones de costo de construcción de los entronques. Al respecto se estima que el desarrollo del tránsito en las carreteras mexicanas afectadas ya no debe de regatear condiciones de seguridad en cuestiones tan importantes y susceptibles de provocar accidentes de gran envergadura, por lo que deben considerarse sin cortapisas las condiciones propuestas por el Manual como las normas de proyecto. Tales condiciones de diseño corresponden, por cierto, a las de mayor exigencia presentadas por la AASHTO.

### **VII.3 Distancia de Visibilidad en Curvas Horizontales.**

La distancia de visibilidad horizontal se ve obviamente afectada por las curvas horizontales, especialmente en tramos montañosos en presencia de taludes. Este efecto también es diferente en automóviles de pasajeros y en camiones de carga. El manual actualmente en uso en México maneja las fórmulas adecuadas para el cálculo de las distancias necesarias ante la obstrucción visual de obstáculos laterales en las curvas horizontales; sin embargo, es frecuente que en el proyecto geométrico se utilicen en estos casos las distancias de visibilidad correspondientes a automóviles, aduciendo que si bien los camiones requieren distancias mayores para detenerse, este efecto queda prácticamente compensado por la mayor altura de la visual del chofer del camión. Como ya se señaló en este trabajo, este criterio conduce a situaciones inseguras, por lo que debe recomendarse que las distancias de visibilidad que se utilicen al aplicar las fórmulas de los manuales mexicanos en uso, sean las distancias de visibilidad contenidas para camiones en la Tabla 1.

## **VIII. Alineamiento Vertical.**

---

### **VIII.1 Curvas Verticales en Cresta.**

La Tabla 8 (Referencia 5) proporciona las longitudes mínimas de curva vertical que actualmente recomienda la investigación reciente, tomando en cuenta las necesidades de los camiones de carga usuales. La tabla incluye las últimas recomendaciones de AASHTO (1990), que como puede observarse son de carácter general y se refieren a automóviles con altura de visual de 1.07 m, lo que como se dijo, representa a los criterios actualmente usados. Adicionalmente la tabla también incluye los valores correspondientes a camiones con altura de visual de 1.91 m y 2.36 m, considerados en dos casos, según utilicen sistemas de frenado convencionales o frenos antibloqueo.

Las distancias de visibilidad de parada señaladas por la investigación reciente son mayores, en general, para camiones que para automóviles cuando los primeros usan sistemas de frenaje convencional; los sistemas de freno antibloqueo permiten, en cambio, longitudes de curva vertical notablemente menores.

Cabe notar que los manuales de proyecto que suelen utilizarse en México, conducen a proyectos con longitudes de curva vertical bastante menores que las actuales AASHTO (incluidos en la tabla), lo cual señala una deficiencia en la seguridad que debe analizarse para llegar a las correcciones que sean necesarias en los criterios actualmente utilizados en México, tanto en el caso de automóviles como de camiones.

Los frenos antibloqueo no son todavía muy usuales en las carreteras de todo el mundo, por lo que se juzga razonable utilizar para diseño los valores correspondientes a frenado convencional, especialmente en los casos de las carreteras con mayor tránsito de camiones. El criterio que parece desprenderse de los experimentos actuales es que las cifras a que llega el criterio AASHTO incluido en la tabla, son razonables para carreteras relativamente poco transitadas por camiones de carga, pero aquéllas que presenten un tránsito superior a 800 camiones por día deben diseñarse para esos vehículos, suponiendo frenaje convencional y una altura de visual de 1.91 m. Este aforo puede llegar a 4,000 camiones por día en autopistas de 4 carriles y diseño moderno.

**Tabla 8. COMPARACIÓN SELECCIONADA POR AASHTO PARA LONGITUDES MÍNIMAS EN CURVAS VERTICALES EN CRESTA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA.**

DIFERENCIA ALGEBRAICA DE PENDIENTES		LONGITUD MÍNIMA EN CURVAS VERTICALES (M) PARA DIFERENTES VELOCIDADES DE PROYECTO (KM/H)					
		32	48	64	80	97	113
DVP <sup>(1)</sup> para automóviles con una altura de ojo H <sub>oc</sub> = 1.07 m	2	18	27	46	79	186	326
	4	18	37	92	198	372	650
	6	18	52	137	296	555	973
	8	21	73	183	390	738	1,299
	10	27	88	226	491	924	1,623
DVP <sup>(1)</sup> para camiones con sistema de frenos convencional y H <sub>oc</sub> = 1.91 m	2	18	27	61	92	226	397
	4	18	46	119	259	461	793
	6	18	64	183	387	689	1,186
	8	24	92	244	519	921	1,583
	10	24	113	305	647	1,150	1,979
DVP <sup>(1)</sup> para camiones con sistema de frenos antibloqueo y H <sub>oc</sub> = 1.91 m	2	18	27	37	61	107	156
	4	18	27	40	122	214	351
	6	18	37	92	183	317	525
	8	18	43	122	244	427	702
	10	18	61	153	305	528	875
DVP <sup>(1)</sup> para camiones con sistema de frenos convencional y H <sub>oc</sub> = 2.36 m	2	18	27	52	110	168	336
	4	18	40	92	220	387	668
	6	18	46	156	329	583	1,003
	8	21	76	204	436	778	1,336
	10	27	95	256	546	970	1,668
DVP <sup>(1)</sup> para camiones con sistema de frenos antibloqueo y H <sub>oc</sub> = 2.36 m	2	18	27	37	58	98	119
	4	18	27	58	104	195	323
	6	18	34	79	171	293	485
	8	18	37	113	226	387	647
	10	18	55	140	281	485	808

Nota:

DVP = Distancia de Visibilidad de Parada.

H<sub>oc</sub> = Altura del ojo del conductor.

## **VIII.2 Pendientes Máximas Ascendentes o Descendentes.**

La investigación reciente hace ver que los criterios establecidos por la AASHTO en 1990 son sostenibles para las condiciones usuales de operación del parque de camiones norteamericanos; es decir, para una relación peso/potencia característica entre 300 y 400 lb/HP (entre 135 y 180 Kg/HP). En el caso mexicano, estos criterios de AASHTO (1990) resultan también muy apropiados para las condiciones de circulación de camiones que se mantengan dentro de los límites de los actuales reglamentos de pesos y dimensiones; es decir, para vehículos con relación peso/potencia de 350 lb/HP (165 Kg/HP). Sin embargo, si se piensa en camiones que rebasen los límites de carga tolerados, las actuales pendientes máximas de proyecto pudieran resultar exageradas, pues tales violaciones del reglamento conducen a relaciones peso/potencia características tan importantes como 210 Kg/HP o más (460 lb/HP). Este es un punto en el que el sobrepeso de los vehículos de carga puede ser muy influyente.

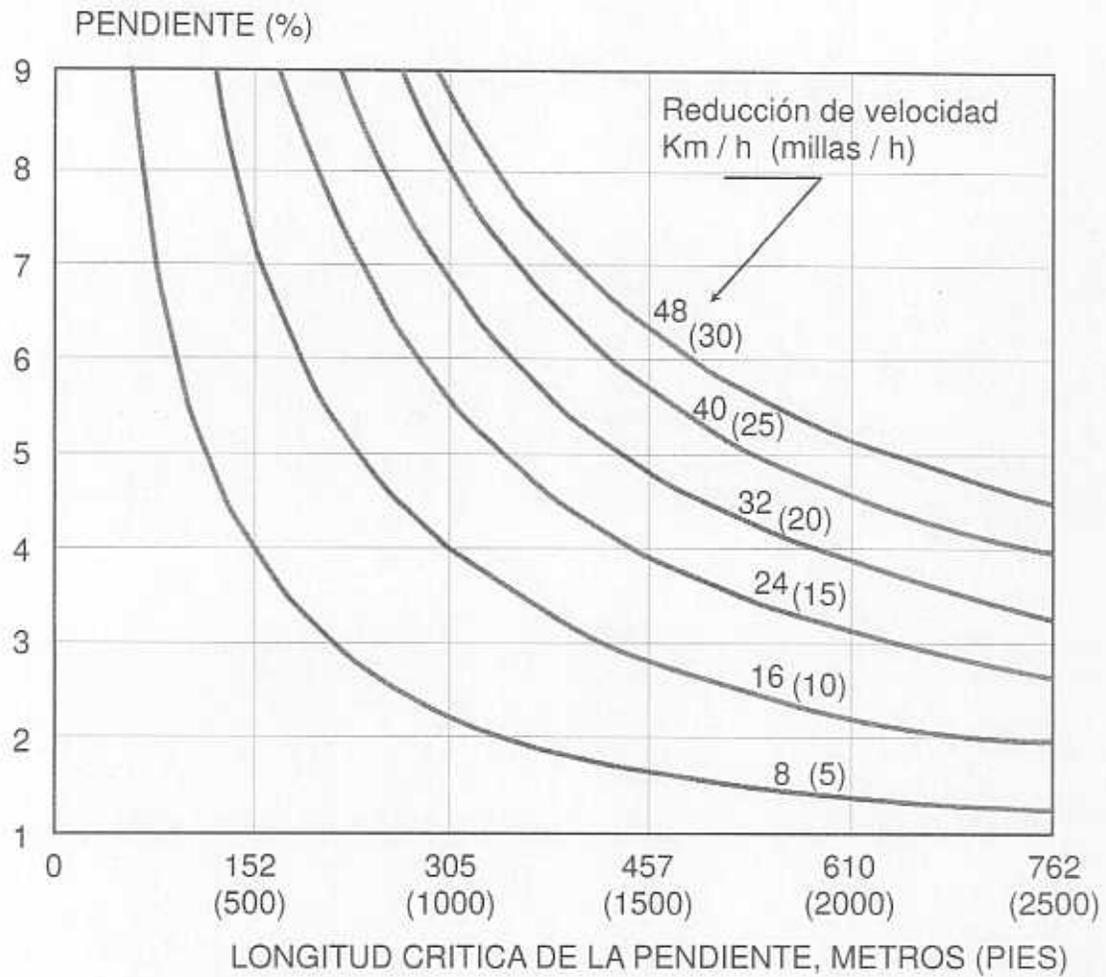
Por lo demás, los criterios de diseño que actualmente fijan las pendientes máximas y mínimas aceptables para las diferentes velocidades de operación en los proyectos mexicanos parecen ser muy razonables si no se producen transgresiones al Reglamento de Pesos y Dimensiones.

## **VIII.3 Conveniencia de un Tercer Carril de Ascenso en Carreteras de 2 Carriles.**

La investigación reciente sobre accidentes en pendientes ascendentes sostenidas, producidos por el obstáculo que representa un camión lento dentro del flujo general, hace ver que la tasa de accidentabilidad se dispara notablemente cuando la cuesta produce disminuciones en la velocidad de los camiones del orden de 15 Km/h (aproximadamente 10 millas/hora) o mayores. En estos casos parece recomendable la construcción de un tercer carril de ascenso.

La Figura 4 muestra una serie de relaciones proporcionadas por investigaciones adicionales, que resultan de interés. La figura relaciona la pendiente ascendente de la carretera con la reducción de velocidad de los camiones que se considera conveniente para el caso y con la longitud de la cuesta.

---



**FIGURA 4. Rangos de Reducciones de Velocidad bajo Diferentes Longitudes de Pendientes Ascendentes**

---

Por ejemplo, se ve que si la pendiente ascendente es 4% y se desea una reducción máxima en la velocidad de operación de los camiones de 16 Km/h (10 millas/h), la longitud de la cuesta no puede exceder de 305 m (1,000 pies).

La Figura 4 está presentada por la AASHTO (1990) de tal manera que relaciona los tres conceptos anteriores y es válida para cualquier velocidad con la que se ingrese a la cuesta. Por ejemplo, si con la misma pendiente de 4% se ingresara a una cuesta de 460 m (1,500 pies) con cualquier velocidad inicial, la pérdida de velocidad sería de 24 Km/h (aproximadamente 15 millas/h). De esta manera, la gráfica de la Figura 4 proporcionaría un primer criterio para saber en que casos conviene pensar en un tercer carril de ascenso si no se desean pérdidas de velocidad superiores a un determinado valor, por ejemplo, los 15 kilómetros por hora arriba mencionados. Sin embargo, otros factores influyen en la necesidad del carril de ascenso. Uno muy importante es el régimen de velocidad con el que el tránsito llega a la cuesta; si estas velocidades son altas, se hacen muy notables las reducciones de los vehículos lentos. Otro es, evidentemente, la intensidad del tránsito.

En los casos en que la longitud de cuesta produzca reducciones de velocidad en los camiones por arriba de lo deseable (por ejemplo, los 15 kilómetros por hora mencionados), deberá hacerse siempre un análisis cuidadoso del problema para determinar la necesidad del carril de ascenso extra.

---

## **IX. Elementos de la Sección Transversal en Carreteras.**

---

### **IX.1 Acotamientos.**

Una de las deficiencias más importantes que en materia de seguridad es posible ver en carreteras mexicanas de 2 carriles (que frecuentemente se palían mucho en carreteras de 4 ó más) es el ancho de los acotamientos. La investigación reciente hace ver que el acotamiento exterior ideal es del orden de los 3 m, lo que permite que un camión detenido pueda situarse sin invadir, para efectos prácticos, los carriles de circulación. Sin embargo, en carreteras de tránsito medio o bajo, es posible el uso de acotamientos algo más estrechos, de manera que el vehículo estacionado no invada el carril de circulación adyacente en algo más de 1 m, pudiendo llegar la invasión en casos extremos, a 1.5 m.

En carreteras de 4 carriles, el acotamiento exterior no debe ser menos de 3 m y estar debidamente pavimentado. El acotamiento interior debe ser por lo menos de 1.5 m, pudiendo llegar a 1.2 m.

### **IX.2 Bordillos.**

Como se dijo, los vehículos pesados, sobre todo los articulados, tienden a invadir el lado exterior de la curva a velocidades de relativa importancia. Se reportan accidentes a velocidades tan bajas como 60 Km/h a causa de que las invasiones hacia el exterior de curvas sobreelevadas hacen que las llantas traseras extremas del vehículo tropiecen con los bordillos, con el correspondiente efecto indeseable hacia la volcadura. Por estas razones no se recomienda el uso de tales bordillos. Se indica también que cuando el uso de bordillos se considere indispensable por otras razones, especialmente en áreas suburbanas, la geometría de éstos debe ser baja y suave, de manera que se minimicen los malos efectos mencionados, especialmente cuando se espere una participación de vehículos de carga significativa (quizá a partir de un 10%) dentro del flujo general de vehículos.

---

## **X. Intersecciones.**

---

### **X.1 Intersecciones a Desnivel.**

Ha sido usual en la práctica de todas partes, incluyendo las muy influyentes normas AASHTO, que el diseño de las rampas de incorporación en las intersecciones a desnivel se proyecten tomando en cuenta las necesidades de los automóviles; sin embargo, la investigación reciente señala la conveniencia de tomar en consideración para muchos aspectos, las características de los camiones de carga.

Los casos de atención más importantes a las características de los camiones de carga que deben tomarse en consideración, son los siguientes (Referencias 4, 5 y 10):

1. Selección de las velocidades de diseño en la rampa compatibles con las velocidades de operación de los flujos en la carretera principal.
2. Verificación de las características de la curva de incorporación ante una posible condición de volcadura.
3. Provisión de un carril de desaceleración adecuado.
4. Diseño cuidadoso de bordillos cuando no puedan ser eliminados en las partes exteriores de las curvas.
5. Verificación de pendientes descendentes abruptas, seguidas por curvas horizontales cerradas.
6. Provisión de superficies de pavimento con condiciones de fricción adecuadas.

Los puntos 1, 2 y 4 ya han sido tratados en páginas anteriores de este trabajo. A continuación se hacen algunos comentarios sobre los restantes puntos.

La Tabla 9 (Referencia 11) proporciona las longitudes mínimas de carril de desaceleración en salidas a desnivel que la investigación más reciente recomienda, dando consideración a tránsitos importantes de camiones de carga, en curvas cerradas. Se consideran las velocidades usuales de inicio de la salida (velocidad de diseño de la carretera por la que viene el vehículo) y un abanico de velocidades de diseño de la propia curva de salida.

**Tabla 9. LONGITUD DE DESACELERACIÓN MÍNIMA PARA SALIDAS A DESNIVEL CON LA PARTICIPACIÓN DE VEHÍCULOS DE CARGA EN CURVAS CERRADAS.**

VELOCIDAD DE DISEÑO (KM / H)	LONGITUD DE DESACELERACIÓN (M), PARA DIFERENTES VELOCIDADES DE DISEÑO A LA SALIDA DE CURVA (KM / H)								
	CONDICIÓN DE PARADA	24	32	40	48	56	64	72	80
	VELOCIDAD DE OPERACIÓN A LA SALIDA DE LA CURVA (KM / H)								
	0	23	29	35	42	48	58	64	71
48	82	70	61	49					
64	127	113	104	93	79	64			
80	178	165	156	145	133	117	90	70	
97	239	226	217	206	194	178	151	130	107
105	264	252	242	232	218	203	175	156	133
113	291	278	268	258	244	229	203	181	159

Debe señalarse que la investigación reciente indica longitudes de desaceleración en las curvas de salida (Tabla 9) substancialmente mayores que las que recomienda la AASHTO en sus más recientes especificaciones y también mayores que las que aparecen en los manuales de diseño actualmente en uso por parte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Dada la influencia que este asunto tiene en la seguridad, parece importante tomar lo anterior en consideración en los diseños mexicanos, dotando a los cruzamientos a desnivel de apropiados carriles de desaceleración y de aceleración y de curvas de incorporación con desarrollos suficientes y longitudes seguras.

La situación anterior se hace obviamente más grave cuanto mayor sea la pendiente de la curva recorrida. Es usual que en intersecciones a desnivel, las rampas que se recorren cuesta abajo tengan pendientes inusualmente grandes (a veces hasta alcanzar un 8%). Se ha visto que en esas condiciones extremas, en distancias del orden de 150 m, la velocidad de un camión puede aumentar substancialmente, en valores tan grandes como 20 Km/h ó más, lo que crea una condición muy desfavorable al final de la pendiente, con riesgo de volcadura en curva. De esta manera, la velocidad de diseño de la rampa descendente debe establecerse en términos de la curva final de incorporación a la otra vía.

Otro factor importante en las condiciones que se analizan es el nivel de fricción con las llantas que ofrezca el pavimento existente, por lo que en las situaciones analizadas se recomienda especial atención a la pendiente transversal, al drenaje superficial y a la condición de rodamiento.

## **X.2 Intersecciones a Nivel.**

Contrariamente a lo que sucede en otros aspectos, las especificaciones de proyecto publicadas por AASHTO en relación a intersecciones de rutas a nivel, toman en cuenta camiones de carga. Análogamente, la normativa de proyecto que actualmente maneja la Secretaría de Comunicaciones y Transportes es concordante, en general, con el estado actual de la tecnología. Sin embargo, hay algunos aspectos en donde investigación reciente señala aspectos dignos de consideración. Ellos serán mencionados en lo que sigue, en la inteligencia de que aquéllos que no se mencionen siguen siendo vigentes en el actual nivel de conocimiento.

### **X.2.1 Distancias de Visibilidad en Intersecciones de Carreteras a Nivel.**

En un primer caso, se trata de definir la distancia de visibilidad que debe tener un vehículo que hace alto total en la intersección de la vía que recorre para cruzar otra que corre perpendicularmente. A este respecto, existen recomendaciones explícitas dadas por AASHTO, pero la investigación reciente (Referencia 5) hace ver que para combinaciones vehiculares que actualmente son frecuentes, tales distancias resultan escasas.

La Tabla 10 presenta las distancias de visibilidad propuestas por AASHTO, considerando un vehículo de carga combinación de tractor y semirremolque con longitud total de 16.8 m (55 pies), pero presenta también las distancias de visibilidad seguras que la investigación de campo recomienda como necesarias para una combinación vehicular de tractor y semirremolque de 21.3 m (lo que equivale sensiblemente a un tractor con semirremolque de 48 pies) y para una combinación de tractor-semirremolque-remolque, con la longitud total de 22.9 m (75 pies). Especialmente en este último caso, debe notarse que se trata de vehículos frecuentes en el tránsito de los Estados Unidos, por lo que los valores de la Tabla 10 deben considerarse por parte de los proyectistas mexicanos como una referencia importante de criterio, pues en México son usuales combinaciones vehiculares notoriamente más largas, tales como el tractor-semirremolque-remolque, con longitud total de 31 m.

El segundo caso que conviene mencionar se refiere a las distancias de visibilidad que hay que considerar para maniobras seguras de incorporación a la vía perpendicular a aquélla por la que se está viajando.

Con referencia a la Figura 5, hay 2 maniobras principales. En la primera, el vehículo que viene por la carretera vertical tiene que incorporarse a la horizontal hacia la izquierda; en la segunda maniobra, el mismo vehículo se incorpora hacia la derecha. En ambos casos, la visibilidad necesaria para maniobra segura está relacionada con la velocidad con que circula un hipotético vehículo que venga por la carretera horizontal. Las distancias de visibilidad que considera la Tabla 11 son, en ambas maniobras, las necesarias para que cuando el vehículo que viene por la horizontal alcance al vehículo que cruzó, éste esté viajando ya a la velocidad de operación de la carretera horizontal.

**Tabla 10. DISTANCIAS DE VISIBILIDAD EN INTERSECCIONES DE CARRETERAS A NIVEL PARA VEHÍCULOS DE CARGA ARTICULADOS. (PROPUESTA AASHTO)**

VELOCIDAD EN EL CAMINO PRINCIPAL (KM / H)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD EN INTERSECCIONES (M)		
	AASHTO <sup>(1)</sup>	CALCULADA <sup>(2)</sup>	
	VEHÍCULO ARTICULADO CON LONGITUD DE:		
	16.8 M	21.3 M	22.9 M
32	113	129	133
40	141	161	166
48	170	193	199
56	198	226	232
64	226	258	265
72	254	290	299
80	282	322	332
88	311	354	365
97	339	386	398
105	367	419	431
113	396	451	465

**Nota:**

- (1) Basada en un ancho de pavimento de 10 m y una distancia del borde del camino al frente del vehículo de 3 m.  
 (2) Fuente: Referencia 5.

**Tabla 11. DISTANCIAS DE VISIBILIDAD EN CRUCES A NIVEL PARA INCORPORACIÓN DE VEHÍCULOS DE CARGA.**

VELOCIDAD DE DISEÑO (KM / H)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD EN INTERSECCIONES (M)				
	AASHTO <sup>(1)</sup> AUTOMÓVIL	CALCULADA <sup>(2)</sup>			
		AUTO-MÓVIL	CAMIÓN	VEH. ARTICULADO	
				DE 21.3 M	DE 22.9 M
<i>DVI v.izq-1</i>					
32	92	83	210	178	182
40	107	104	262	223	227
48	130	124	314	267	273
56	153	145	367	311	318
64	168	166	419	356	364
72	191	187	471	400	409
80	206	207	524	445	454
88	229	228	576	490	500
97	252	249	628	534	545
105	267	269	681	579	591
113	290	290	733	623	636
<i>DVI v.izq-2</i>					
32	76	76	204	nd	nd
40	104	105	275	137	164
48	137	140	360	195	266
56	177	184	462	292	377
64	229	238	591	415	521
72	290	302	757	540	680
80	363	376	976	705	822
88	439	461	nd	880	nd
97	528	558	nd	1039	nd
105	641	670	nd	nd	nd
113	763	796	nd	nd	nd
<i>DVI v.der-1</i>					
32	76	76	204	nd	nd
40	99	105	275	137	164
48	130	140	360	195	266
56	160	151	370	205	277
64	201	194	472	303	387
72	252	248	601	425	531
80	313	312	767	550	690
88	374	386	986	715	832
97	450	471	nd	890	nd
105	526	568	nd	1049	nd
113	610	581	nd	1061	nd

**Nota:**

- (1) Basada en un ancho de pavimento de 10 m y una distancia del borde del camino al frente del vehículo de 3 m.
  - (2) Fuente: Referencia 5.
- nd = no disponible.



FIGURA 5. Distancias de Visibilidad para las Maniobras de Vuelta Derecha e Izquierda.

---

La Tabla 11 analiza velocidades en la carretera a que se incorpora el vehículo, comprendidas entre alrededor de 30 y 110 Km/h y proporciona las distancias de visibilidad seguras, señaladas por AASHTO en 1984, para automóviles y los valores que las investigaciones recientemente realizadas aconsejan para vehículos articulados de 21 m (tractor con semirremolque de 48 pies) y doblemente articulados con longitud total de 23 m (tractor con 2 remolques y longitud total de 75 pies).

Puede observarse que las unidades actuales requieren distancias de visibilidad de incorporación notablemente mayores que las originales.

Hay que hacer notar que las distancias de visibilidad que se acaban de mencionar son más conservadoras que las que mencionan los actuales manuales de proyecto vigentes en México. Dado lo influyente que es esta cuestión en las condiciones de seguridad carretera, este hecho parece muy digno de análisis.

### **X.2.2 Distancias de Visibilidad en Cruces de Carretera con Ferrocarril.**

La Figura 6 ilustra los 2 casos involucrados en los cruces entre una carretera (que se dibuja verticalmente) y un ferrocarril:

#### Caso 1.

Se trata de la situación en que un vehículo se aproxima al cruce con la vía férrea. En este caso hay 2 distancias involucradas; la primera es  $dp$ , que se refiere a la que necesita el vehículo para poderse detener antes del cruce, si ve venir un tren; la otra distancia,  $dc$ , es la que debe mediar entre un vehículo que llegue a la velocidad de proyecto de la carretera al punto de cruce y todavía alcance a cruzar éste con plena seguridad, lo cual depende de la visión que el conductor del vehículo tenga del tren, por lo que la distancia  $dc$  está, obviamente, medida sobre la vía del ferrocarril. Ambas distancias definen el triángulo de visibilidad que muestra la figura, que en definitiva define un área de visión ininterrumpida sobre la que descansa la verdadera seguridad del cruzamiento.

---

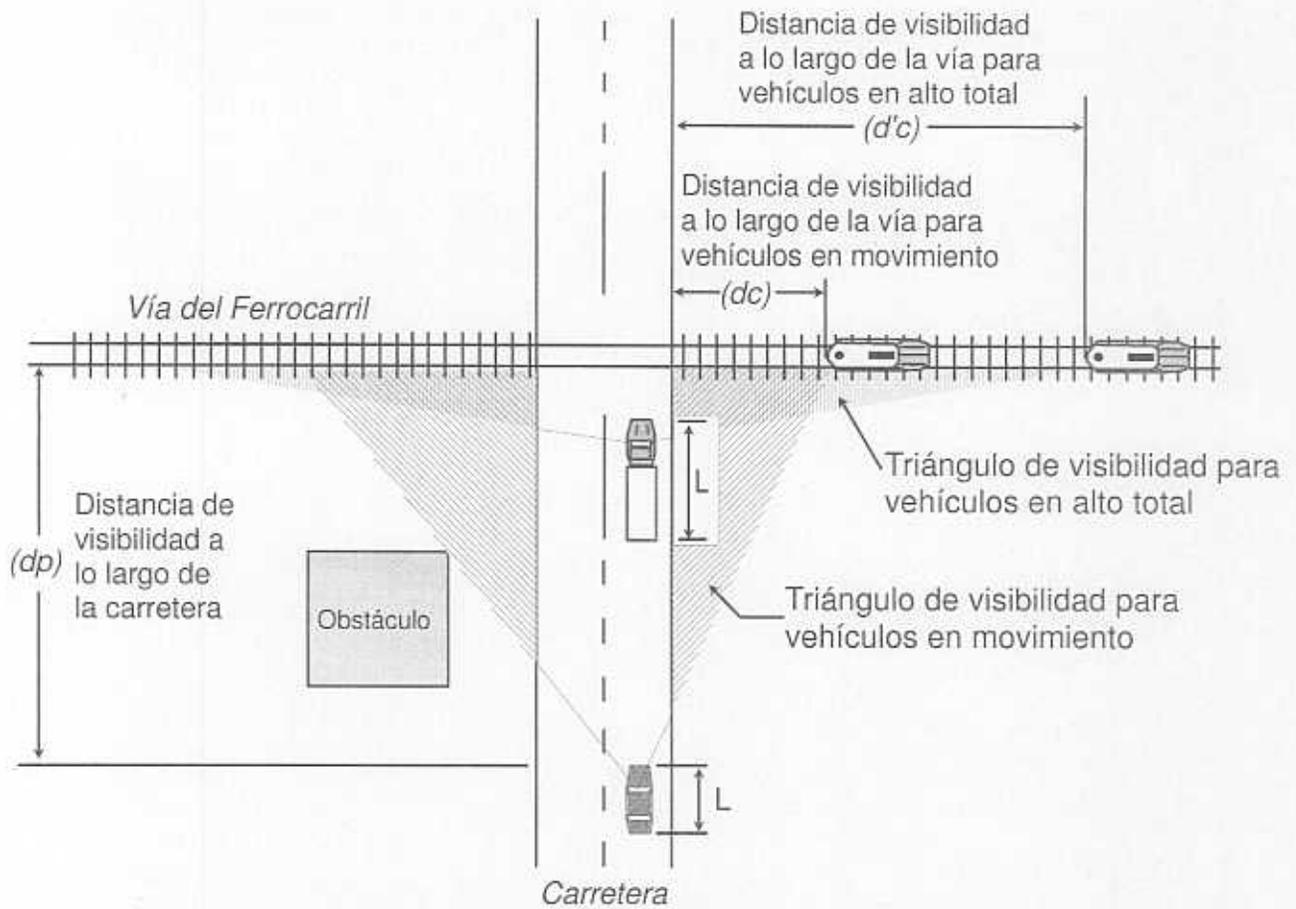


FIGURA 6. Distancias de Visibilidad para Intersecciones a Nivel con Ferrocarril.

---

La Tabla 12 (Referencia 5) proporciona los valores de  $dp$  que la investigación reciente recomienda, mostrando también para fines de comparación, los valores actuales normalmente en uso en Estados Unidos. Los valores recomendados se dan en 2 variantes; la primera, suponiendo un conductor del vehículo carretero no muy diestro y, la segunda, suponiendo un conductor muy hábil.

Puede verse que las experiencias realizadas con los equipos actuales (1990) recomiendan distancias de visibilidad de parada mayores que las tradicionales vigentes en Estados Unidos, que consideran al automóvil como vehículo de diseño, las cuales, cabe comentar, son aún ligeramente mayores que las que aparecen en los manuales mexicanos en uso.

La Tabla 13 (Referencia 5) proporciona valores de la distancia  $dc$ , en la cual debe tener plena visibilidad del tren el conductor del vehículo carretero para un cruce seguro. En la tabla se proporcionan las distancias relacionadas con la velocidad permitida al tren en el lugar y las velocidades de operación de la carretera. La tabla incluye recomendaciones vigentes de AASHTO para un camión de 19.8 m de longitud; también proporciona recomendaciones más recientes, producto de experimentación recogida por los autores de la Referencia 5, distinguiendo a los choferes muy hábiles, de los más noveles. En ambos casos, el vehículo objeto de las experiencias fue una unidad articulada de 21.3 m de longitud total.

También en este caso cabe el comentario de que los valores incluidos en la Tabla 13 sobrepasan las recomendaciones mexicanas que, al respecto, están en uso.

### Caso 2.

Se trata de la distancia de visibilidad  $d'c$ , que a lo largo de la vía tiene que tener un vehículo detenido en el paso a nivel, en posición de alto total, para iniciar su marcha y cruzar la zona de peligro, sin ser arrollado por un tren al que vea venir.

La Tabla 14 proporciona los valores más recientes utilizados en los Estados Unidos para el caso descrito. Debe hacerse notar que dichos valores son mayores que los que se manejan usualmente en los manuales mexicanos de diseño.

**Tabla 12. DISTANCIA DE VISIBILIDAD A LO LARGO DEL CAMINO (dp)**

	DISTANCIA DE VISIBILIDAD (dp) A LO LARGO DEL CAMINO (M), PARA DIFERENTES VELOCIDADES (KM / H)					
	32	48	64	80	97	113
VALORES ACTUALES DE LOS ESTADOS UNIDOS <sup>(1)</sup>	41	69	104	149	201	264
DVP <sup>(2)</sup> PARA VEH. CARGA CONDUCCION POR CHOFERES POCO DIESTROS	53	99	160	229	305	397
DVP <sup>(2)</sup> PARA VEH. CARGA CONDUCCION POR CHOFERES MUY HÁBILES	46	84	122	168	221	282

Nota:

(1) Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA).

(2) DVP = Distancia de Visibilidad de Parada.

Fuente: Referencia 5.

**Tabla 13. DISTANCIA DE VISIBILIDAD A LO LARGO DE LA VÍA (dc)  
PARA UN VEHÍCULO DE CARGA EN CIRCULACIÓN.**

VELOCIDAD DEL TREN (KM / H)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD (dc) A LO LARGO DE LA VÍA (M), PARA DIFERENTES VELOCIDADES EN LA CARRETERA (KM / H)					
	32	48	64	80	97	113
<i>Veh. articulado de 19.8 m <sup>(1)</sup></i>						
16	32	31	32	35	38	41
32	64	61	64	69	75	82
48	95	92	94	104	113	124
64	127	120	126	137	149	165
80	159	151	158	172	188	206
97	189	181	189	206	224	247
113	221	210	221	241	262	287
129	253	241	253	275	299	328
145	284	284	283	308	337	369
<i>Veh. articulado de 21.3 m <sup>(2)</sup></i>						
16	39	39	46	48	55	61
32	78	77	92	95	110	122
48	117	116	138	143	165	184
64	156	155	184	190	220	245
80	195	193	230	238	275	306
97	233	232	277	285	329	367
113	272	271	323	333	384	429
129	311	309	369	381	439	490
145	350	348	415	428	494	551
<i>Veh. articulado de 21.3 m <sup>(3)</sup></i>						
16	35	34	37	37	41	44
32	70	67	73	74	82	88
48	105	101	110	111	123	131
64	140	134	146	148	164	175
80	175	168	183	185	205	219
97	210	201	219	221	246	263
113	246	235	256	258	286	307
129	281	268	293	295	327	350
145	316	302	329	332	368	394

**Nota:**

- (1) Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA).
- (2) Vehículo conducido por chofer poco diestro.
- (3) Vehículo conducido por chofer muy hábil.

Fuente: Referencia 5.

**Tabla 14. DISTANCIA DE VISIBILIDAD A LO LARGO DE LA VÍA (d'c)  
PARA UN VEHÍCULO DE CARGA EN POSICIÓN DE ALTO TOTAL.**

VELOCIDAD DEL TREN (KM / H)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD (d'c) A LO LARGO DE LA VÍA DEL TREN (M), PARA UN VEHÍCULO DETENIDO		
	VEHÍCULO ARTICULADO CON LONGITUD DE:		
	19.8 M <sup>(1)</sup>	21.3 M	22.9 M
16	73	63	65
32	147	126	129
48	220	188	194
64	293	251	258
80	367	314	323
97	440	376	387
113	513	439	452
129	587	502	516
145	660	564	581

Nota:

(1) Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA).

Fuente: Referencia 5.

## **XI. Colocación de Señales de Advertencia.**

Se trata de cualquier tipo de señales y de definir a que distancia debe colocarse la advertencia que permita realizar la maniobra adecuada por la señal en forma segura. Esta distancia depende de la velocidad con que viaje el vehículo y de la maniobra que de él se espere.

En el pasado ha sido frecuente que estas distancias de aviso se hayan especificado con base en las potencialidades de maniobra de los automóviles; sin embargo, investigaciones recientes, contenidas en la Referencia 5 indican que la maniobrabilidad de los camiones en uso exige dar consideración a estos últimos vehículos, en la inteligencia de que tales condiciones incrementan la seguridad de las maniobras de los automóviles.

La Tabla 15 (Referencia 5) propone las distancias de señales de advertencia para 3 condiciones. En primer lugar, para lograr una comprensión completa de la maniobra que se avecina; en segundo lugar, para proporcionar distancia suficiente para frenar por completo antes de un determinado punto y, en tercer lugar para desacelerar hasta una determinada velocidad en un lugar específico. La tabla contempla velocidades iniciales de operación del vehículo comprendidas entre alrededor de 30 y 110 Km/h. Para el tercer caso arriba citado, se dan valores de distancia para desacelerar hasta velocidades comprendidas entre 16 y 80 Km/h.

En la tabla aparecen 2 números en cada caso. El primero corresponde a los valores que recomiendan los autores de la Referencia 5 y el segundo, entre paréntesis, contiene la recomendación del Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito Federal, actualmente vigente en los Estados Unidos (Referencia 12).

Debe comentarse que el Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras, vigente en México (Referencia 13), es relativamente poco específico en comparación a la Tabla 15; se refiere a las capacidades de maniobra de los automóviles y llega, en consecuencia, a distancias de advertencia menores que las incluidas en la Tabla 15, con las implicaciones correspondientes en la seguridad del tránsito.

Tabla 15. CRITERIOS PARA LA COLOCACIÓN DE SEÑALES PREVENTIVAS.

PERCENTIL 85 DE LA VELOCIDAD (KM / H)	DISTANCIA DE LA SEÑAL AL RIESGO POTENCIAL (M) SEGÚN LOS CRITERIOS RECOMENDADOS <sup>a</sup> Y LOS DE LA REFERENCIA 12 <sup>b</sup>							
	COMPREN- SIÓN COM- PLETA <sup>c</sup>	FRENADO TOTAL <sup>d</sup>	DESACELERACIÓN HASTA UNA DETERMINADA VELOCIDAD LÍMITE (KM /H) <sup>e</sup>					
			16	32	48	64	80	
32	76 (53)	f	f	f (-)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)
40	99 (76)	f	38 (31)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)
48	130 (99)	53 (31)	69 (46)	46 (31)	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)
56	153 (122)	76 (46)	99 (61)	76 (53)	31 (-)	- (-)	- (-)	- (-)
64	183 (145)	99 (69)	137 (84)	114 (76)	69 (53)	- (-)	- (-)	- (-)
72	206 (168)	130 (92)	183 (107)	153 (92)	99 (76)	53 (-)	- (-)	- (-)
80	236 (191)	160 (114)	229 (130)	198 (122)	160 (99)	99 (69)	- (-)	- (-)
88	259 (214)	198 (137)	275 (153)	252 (145)	206 (122)	153 (92)	69 (-)	- (-)
97	290 (236)	236 (168)	328 (175)	305 (168)	267 (153)	206 (122)	130 (92)	- (-)
105	313 (259)	290 (198)	374 (198)	366 (191)	320 (175)	259 (153)	183 (114)	- (-)

Nota:

- <sup>a</sup> Las cantidades sin paréntesis provienen de la Referencia 5.
- <sup>b</sup> Las cantidades entre paréntesis provienen del Manual de Dispositivos de los EUA (Referencia 12).
- <sup>a,b</sup> Todas las distancias se basan en el supuesto de que la señal es legible de 38 m en adelante. Para señales más grandes (1.22x1.22 m), la distancia de legibilidad puede incrementarse a 61 m y cada uno de los datos de esta tabla pueden reducirse en 23 m.
- <sup>c</sup> Esta condición es para lograr una comprensión completa de la maniobra que se avecina. Considera un tiempo de percepción y reacción de 12 seg (tradicionalmente se ha empleado 10 seg.).
- <sup>d</sup> Esta condición es para proporcionar distancia suficiente para frenar hasta hacer alto total. Considera un tiempo de percepción y reacción de 2.5 seg (tradicionalmente se ha empleado 3 seg) y valores de desaceleración de vehículos de carga.
- <sup>e</sup> Esta condición se basa en una tasa confortable de desaceleración igual a 2/3 partes de la utilizada para hacer alto total.
- <sup>f</sup> No se proporcionan valores.

## **XII. Comentario Final.**

---

Del conjunto de material de investigación que se ha analizado en este trabajo, que no es exhaustivo, se desprende que en los manuales de diseño tradicionales de utilización en muchos países, no se toma suficientemente en cuenta la presencia actual de los grandes vehículos de carga modernos, que imponen con frecuencia nuevas condiciones de proyecto y nuevas necesidades en la búsqueda de seguridad. Es una necesidad el continuo repaso de la investigación internacional para ir actualizando todo lo necesario, la normativa nacional de proyecto de carreteras, teniendo en cuenta que pudiera no ser conveniente la adopción ciega de normas producidas en otros países, sin refrendo de las mismas, producto de la reflexión y la investigación propias, pues las características de la Red Carretera Nacional y de los vehículos que sobre ella transitan, no son iguales a los de otros lugares.

---

### **XIII. Referencias.**

---

1. Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP), México, D.F., 1977.
2. Libro 2. Normas de Servicios Técnicos. Parte 2.01. Proyecto Geométrico. Título. 2.01.01 Carreteras. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT. México, D.F., 1984.
3. A Policy on Geometric Design of Rural Roads. American Association of State Highway Officials (AASHO), Washington, D.C., 1965.
4. A Policy on Geometric Design of Highway and Streets. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D.C., 1990.
5. Harwood, D W, Mason, J M, Glauz, W D, Kulakowski, B T y Fitzpatrick, K. *"Truck Characteristics for Use in Highway Design and Operation"*. Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1990.
6. Fitzpatrick, K. *"Geometric Design and Operational Considerations for Trucks"*. Institute of Transportation Engineers (ITE), Washington, D.C., 1992.
7. T. D. Gillespie. *"Start-Up Acceleration of Heavy Trucks on Grades"*. Transportation Research Record No. 1052, Washington, D.C., 1986.
8. Mendoza, Alberto y Jiménez, Elías. *"Desarrollo de Normas para el Proyecto del Tercer Carril de Ascenso en Carreteras de Dos Carriles. Fase I. Relación Peso/Potencia de los vehículos de carga en México,"*. Publicación Técnica No. 26, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, Qro., 1991.
9. T. D. Hutton. *"Acceleration Performance of Highway Diesel Trucks"*. Artículo No. 70664, Society of Automotive Engineers, 1970.
10. Ervin, R.D., MacAdam, C.C. y Barnes, M. *"Impact of Specific Geometric Features on Truck Operation and Safety at Interchanges"*. Final Report UMTRI-85-33, Transportation Research Institute, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, Vol. 1, 1986.

Consideraciones Operativas y de Proyecto Geométrico para Vehículos de Carga.

11. Firestine, M., McGee, H., y Toeg P. *"Improving Truck Safety at Interchanges"*. Federal Highway Administration, FHWA-IP-89-024, 1989.
12. Manual on Uniform Traffic Control Devices. Federal Highway Administration (FHWA), Washington, D.C., 1988.
13. Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras. Dirección General de Servicios Técnicos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, D.F., 1986.

CIUDAD DE MÉXICO

Av. Popocatepetl 506 B  
Col. Xoco  
03330 México, D.F.

Tel. (5) 688 76 29

688 76 03

Fax (5) 688 76 08

SAN FANDILA

Km 12, Carretera  
Querétaro - Galindo  
76700 San Fandila, Qro.

Tel. (42) 16 97 77

16 96 46

Fax (42) 16 96 71

Internet: <http://www.imt.mx>