



**Certificación ISO 9001:2000 ‡  
Laboratorios acreditados por EMA §**

---

---

# **RECOMENDACIONES DE ACTUALIZACION DE ALGUNOS ELEMENTOS DEL PROYECTO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS**

Alberto Mendoza Díaz  
Emilio Abarca Pérez  
Emilio Francisco Mayoral Grajeda  
Francisco Luis Quintero Pereda

**Publicación Técnica No 244  
Sanfandila, Qro, 2004**



---

**SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**Recomendaciones de  
actualización de algunos  
elementos del proyecto  
geométrico de carreteras**

**Publicación Técnica No. 244  
Sanfandila, Qro, 2004**

---



Este documento fue elaborado por el Coordinador de Seguridad y Operación del Transporte, Alberto Mendoza Díaz, y por los investigadores Emilio Abarca Pérez, Emilio Francisco Mayoral Grajeda y Francisco Luis Quintero Pereda.

Los autores contaron con los valiosos comentarios de las autoridades de la Dirección General de Carreteras Federales y de la Dirección General de Servicios Técnicos, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).



# Índice

---

<b>Resumen</b>	<b>VII</b>
<b>Abstract</b>	<b>IX</b>
<b>Resumen ejecutivo</b>	<b>XI</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2 Recomendaciones</b>	<b>3</b>
2.1. Estándar de proyecto	3
2.2. Control de acceso	3
2.3. Clasificación de las carreteras	4
2.4. Tipo de terreno	6
2.5. Velocidad de proyecto	7
2.6. Confiabilidad	8
2.7. Vehículos de proyecto	9
2.8. Distancias de visibilidad	13
2.8.1. De parada	13
2.8.2. De rebase	14
2.8.3. En curvas horizontales	17
2.8.4. En curvas verticales	19
2.8.5. De encuentro	20
2.8.6. De decisión	20
2.8.7. En intersecciones a nivel	21
2.9. Alineamiento horizontal	24
2.10. Alineamiento vertical	25
2.10.1. Pendientes	25
2.10.2. Rampas de escape para camiones	27
2.11. Combinación de los alineamientos horizontal y vertical	30
2.12. Sección transversal	31
2.12.1. Corona	31
2.12.2. Pendiente transversal	32
2.13. Puentes, estructuras y alcantarillas	33
<b>3 Conclusiones</b>	<b>35</b>
<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>37</b>





# Resumen

---

En sus orígenes, la normativa para el proyecto geométrico de carreteras a nivel mundial, se generó a partir de suposiciones empíricas y pruebas de campo acerca del comportamiento vehicular para los vehículos y las condiciones prevalecientes en ese momento. Sin embargo, al paso de los años se han alcanzado mayores conocimientos y las condiciones de la operación carretera han variado significativamente.

A manera de ejemplo, para la medición de las distancias de visibilidad de parada se asumió originalmente un valor de proyecto para una altura del objeto, de 15 cm. Sin embargo, se ha observado que la frecuencia de colisiones contra objetos de ese tamaño o menores, es baja. Además de que en la mayoría de los sitios donde ocurren tales accidentes no hay problemas de visibilidad y que en la mayoría de los casos las consecuencias no son severas. Por tanto, lo anterior requiere la actualización correspondiente para eliminar los sobrecostos de obra derivados de construir carreteras con distancias de visibilidad para esa altura del objeto; por ejemplo, elevarlo a 60 cm, que es representativo de la altura de los objetos que involucran riesgo.

Asimismo, hace 50 años el vehículo de carga más largo tenía alrededor de 15 m entre ejes extremos. Sin embargo, actualmente está autorizada la circulación de vehículos de carga con casi 30 m entre ejes extremos. Este segundo ejemplo ilustra cómo las características vehiculares han variado de una forma impresionante.

Los ejemplos anteriores son factores por los cuales una gran cantidad de normas de proyecto geométrico de carreteras actualmente en vigor, deben ser revisadas a la luz de los conocimientos y condiciones actuales.

Otro punto importante a considerar es el hecho de que por contar con recursos limitados, durante los últimos años frecuentemente se han relegado la seguridad, los costos de operación vehicular y el impacto ambiental, al realizar el proyecto geométrico en aras de construir la mayor cantidad posible de infraestructura. Sin reconocer que en el diseño de nuevas carreteras, así como en la reconstrucción de las existentes, debe darse particular atención a la seguridad vial como un criterio principal de proyecto. De hecho, tales reconstrucciones son a menudo una forma importante de actualizar progresivamente la seguridad de la red carretera.

Este trabajo presenta un conjunto de recomendaciones para actualizar algunos elementos del proyecto geométrico de carreteras, que se encuentran en la normativa mexicana vigente tal y como fueron concebidos hace más de 30 años.



# Abstract

---

Originally, standards of geometric design features for highways were generated worldwide based on empirical assumptions and field tests on the vehicular performance, for the prevailing conditions. However, in the course of time, more knowledge has been gained and the road operating conditions have changed significantly.

As an example, in measuring stopping sight distances, it used to be assumed a 15 cm object. However, it has been observed that the frequency of crashes involving objects less than 15 cm high, is low. Likewise, in most of the places where these collisions occurred, the sight distance was adequate and their consequences were not severe. Therefore, a 15 cm object is too conservative, thus needing modernization in order to eliminate over-costs derived from constructing roads for meeting such a conservative value. In light of the current knowledge, the height of object for stopping sight distance should be increased to 60 cm, which is more appropriate as it is representative of the objects involving significant risk and approximates the height of a vehicle tail light.

Furthermore, 50 years ago, the longest vehicle had 15 m between extreme axles. However, in the most important Mexican roads, 30 m long vehicles are currently authorized. This second example shows how dramatically the vehicle characteristics have evolved up to the present days.

The previous two examples show why many of the Mexican highway geometric design standards should be brought up to date. Another important point to consider is that safety, vehicle operating costs and environmental factors were relegated during the last years, in favor of constructing as many road kilometers as possible, due to the lack of sufficient economic resources.

This work presents a set of recommendations aimed at bringing several of the features of the Mexican highway geometric design up to date, as the current ones have been in the standards as they were conceived more than 30 years ago.



# Resumen ejecutivo

---

## 1. Introducción

En este trabajo se analiza la normativa mexicana vigente, contenida en las Normas de Servicios Técnicos para el Proyecto Geométrico de Carreteras (Referencia 1) y en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP) (Referencia 2). Las recomendaciones de actualización realizadas se generaron a partir de la comparación de los documentos anteriores con normativas vigentes de algunos países más avanzados en la materia (Referencias 3 y 4), así como de la consideración de los estudios y enfoques mundiales más recientes, particularmente los mexicanos sobre aspectos básicos de seguridad para el proyecto geométrico de carreteras (Referencias 5 y 6).

Aunque en algunas secciones del trabajo no se hace ninguna recomendación específica de actualización, implícitamente se aclaran algunas definiciones o conceptos tal y como se consideraron adecuados.

## 2. Recomendaciones

### 2.1 Estándar de proyecto

Se entiende por estándar de proyecto, el nivel de calidad geométrico al cual se construye una carretera. Su selección se efectúa durante la etapa de planeación. Entre mayor es el estándar geométrico, mejor es la seguridad vial. El mayor estándar geométrico para una carretera corresponde a las autopistas.

Algunos de los factores específicos más importantes a considerar en la selección del estándar geométrico son: la clasificación funcional de la carretera, el volumen de tránsito al final del horizonte o período económico de la misma (20 años), el tipo de terreno y la velocidad de proyecto. Aunque también deben influir consideraciones de capacidad, eficiencia económica, seguridad e impacto ambiental.

### 2.2 Control de acceso

Se refiere al ingreso del tránsito a una carretera, proveniente de otras, incluyendo intersecciones, vías públicas, privadas y retornos. En una carretera, éste puede ser total, parcial o inexistente.

Es el factor que más influye por sí mismo en la seguridad de una carretera. El índice de accidentes aumenta rápidamente con la densidad de los accesos. En la mayoría de las carreteras, por supuesto, no es posible o significativo eliminar el acceso, aunque los efectos negativos pueden ser moderados al reducir el conflicto en los puntos de acceso. La Referencia 5 recomienda “controlar el acceso,

siempre que sea posible, en aquellas vías que transportan la mayor cantidad de tráfico, o que conectan centros de actividad principales, y/o que son arterias regionales principales”.

### **2.3 Clasificación de las carreteras**

Las normativas mundiales de vanguardia anteponen una clasificación funcional a cualquier otra, con el fin de definir en primer lugar la función deseada para la vía en el contexto de la red nacional de carreteras. En ese sentido, se propone la siguiente clasificación funcional de las carreteras mexicanas para fines de proyecto geométrico:

- **Troncales o primarias**. Son parte de corredores de transporte que unen centros de población importantes, generalmente de más de cincuenta mil (50,000) habitantes, cuyas actividades generan o atraen viajes de largo itinerario. A su vez, se subdividen en:
  - **Autopistas (AP)**. Carreteras de sentidos separados físicamente por una faja central o mediana, control total de acceso, dos (2) o más carriles por sentido de circulación y velocidad de proyecto en el rango de ochenta (80) km/h a ciento diez (110) km/h. Sus TDPA's son mayores a cinco mil (5,000) vehículos.
  - **Vías rápidas (VR)**. Carreteras de sentidos separados físicamente por una faja central o mediana, y velocidad de proyecto en el rango de ochenta (80) km/h a ciento diez (110) km/h; y que en relación con uno o varios de los demás elementos (control de acceso, número de carriles por sentido, etc) no cumple con los estándares de las autopistas. Sus TDPA's van de tres mil (3,000) a cinco mil (5,000) vehículos.
- **Arterias o secundarias**. Son vías que unen poblaciones medianas o pequeñas con los nodos de la red troncal, que aportan gran proporción de los viajes de mediano y corto itinerario. Tienen un sólo cuerpo, control parcial de acceso, un carril por sentido de circulación, y velocidad de proyecto en el rango de setenta (70) km/h a ciento diez (110) km/h. Sus TDPA's van de mil quinientos (1,500) a tres mil (3,000) vehículos.
- **Alimentadoras**. Son aquéllas utilizadas por viajes de muy corto itinerario. Se subdividen en:
  - **Colectoras (C)**. Carreteras de un sólo cuerpo, control parcial de acceso, un carril por sentido de circulación, y velocidad de proyecto en el rango de sesenta (60) km/h a cien (100) km/h. Sus TDPA's van de quinientos (500) a mil quinientos (1,500) vehículos.
  - **Locales (L)**. Carreteras de un sólo cuerpo, sin control de acceso, un carril por sentido de circulación, y velocidad de proyecto en el rango de cincuenta

(50) km/h a ochenta (80) km/h. Sus TDPA's van de cien (100) a quinientos (500) vehículos.

- **Brechas (Br).** Carreteras de un sólo cuerpo, sin control de acceso, un carril de circulación, y velocidad de proyecto en el rango de treinta (30) km/h a setenta (70) km/h. Sus TDPA's son menores a cien (100) vehículos.

La clasificación anterior tiene además la ventaja de que sus tres grandes categorías (troncales, arterias y alimentadoras) pueden homologarse con las tres categorías (primarias, secundarias y alimentadoras) de una propuesta reciente de clasificación de caminos y puentes para el Reglamento de Pesos y Dimensiones (Referencia 7).

## 2.4 Tipo de terreno

Es un factor que puede influir significativamente en las características geométricas de una carretera. La mayoría de las normativas incluyendo la mexicana, consideran tres tipos de terreno: plano, lomerío y montañoso. Las normativas más avanzadas los definen en términos de las pendientes y las posibilidades de los vehículos pesados de circular por ellas.

## 2.5 Velocidad de proyecto

Es la mínima velocidad a lo largo de un tramo para la que quedarán preparados los segmentos diseñados con los estándares más restrictivos permitidos para esa velocidad (radio mínimo de curvatura, pendiente máxima, etc). En otras palabras, la velocidad de proyecto es una elección, la cual deberá ser congruente con el tipo de carretera, y sirve para determinar los diferentes elementos de diseño geométrico de la carretera.

La normativa mexicana más reciente permite rangos de velocidad de proyecto muy amplios para cada tipo de carretera. Las normativas más avanzadas consideran rangos más reducidos para cada categoría, con el fin de evitar variaciones muy fuertes de velocidad de proyecto a lo largo de una carretera, las cuales suelen ser fuente importante de accidentes. Por esa razón, en la clasificación funcional de carreteras propuesta, se consideran los siguientes rangos de velocidad de proyecto más reducidos:

- de 80 a 110 km/h para autopistas,
- de 80 a 110 km/h para vías rápidas,
- de 70 a 110 km/h para arterias,
- de 60 a 100 km/h para colectoras,
- de 50 a 80 km/h para locales, y
- de 30 a 70 km/h para brechas.

## **2.6 Confiabilidad**

Algunos estudios recientes (Referencia 6) sugieren incorporar el concepto de confiabilidad en el proyecto geométrico de los elementos de una carretera, definida como la diferencia de la unidad menos la probabilidad de que un conductor exceda la velocidad ofrecida por los elementos de la carretera.

En este trabajo se adopta la sugerencia anterior, con el fin de compatibilizar la velocidad de proyecto seleccionada para una carretera, con los deseos en ese sentido de los usuarios que circularán por ella, pues se ha observado que la incongruencia entre los dos aspectos anteriores suele ser fuente de accidentes.

## **2.7 Vehículos de proyecto**

La Tabla 1 muestra las características representativas para los vehículos circulantes por las carreteras nacionales, a partir de una serie de mediciones de dimensiones realizadas. Con el fin de ilustrar la magnitud de la modificación introducida en cuanto al espacio requerido con los vehículos de proyecto recomendados, cabe señalar que el radio de giro mínimo del más grande de estos últimos (DE-2970) es 15% superior al radio de giro mínimo del mayor en el anteproyecto de actualización de la normativa mexicana de 1992 (DE-2520).

## **2.8 Distancias de visibilidad**

### **2.8.1 De parada**

La gran diferencia en el cálculo de la distancia de visibilidad de parada entre la normativa mexicana más reciente y la de países más adelantados reside en que en la primera dicha distancia se calcula para la velocidad de marcha (asumiéndose que en promedio es 0.875 de la velocidad de proyecto), en tanto que en las de vanguardia se estima para la velocidad de proyecto.

Además, se propone actualizar la altura del ojo del conductor a 1.08 m considerando la altura de los vehículos actuales, así como la altura del objeto a 0.60 m, la cual prácticamente corresponde a la altura de las luces traseras o de los faros de los vehículos ligeros (automóviles, camionetas, etc).

### **2.8.2 De rebase**

La gran diferencia en el cálculo de esta distancia de visibilidad entre la normativa mexicana y la de países más desarrollados reside en que en la primera, dicha distancia se calcula como 4.5 veces la velocidad de proyecto, en tanto en las más avanzadas se determina a partir del modelo de maniobra de rebase de la AASHTO (Referencia 3), resultando casi siete veces la velocidad de proyecto.



**Tabla 1**  
**Propuesta de vehículos de proyecto**

CARACTERÍSTICAS	VEHÍCULO DE PROYECTO							
	DE-335	DE-620	DE-750	DE-760	DE-1890	DE-1980	DE-2545	DE-2970
Longitud total del vehículo (L), cm	580	1200	1360	1209	2088	2241	2740	3166
Distancia entre ejes extremos del vehículo (DE), cm	335	620	749	762	1890	1982	2545	2971
Vuelo delantero (VD), cm	92	236	240	127	122	122	119	119
Vuelo Trasero (VT), cm	153	344	371	320	76	137	76	76
Ancho total del vehículo (A), cm	214	255	260	244	259	259	259	259
Entrevía del vehículo (EV), cm	183	230	230	244	244	244	244	244
Longitud del remolque (Lr), cm	-	-	-	-	1463	1615	1006	1219
Altura total del vehículo (Ht), cm	167	354	380	410	410	410	410	410
Altura de los ojos del conductor (Hc), cm	107	212	232	250	250	250	250	250
Altura de los faros delanteros (Hf), cm	61	81	110	112	112	112	112	112
Altura de las luces posteriores (Hl), cm	61	154	140	100	100	100	100	100
Angulo de la desviación del haz de los faros	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°
Radio de giro mínimo, cm	732	1267	1359	1572	1372	1372	1372	1572
Relación Peso/Potencia, kg/HP	15	180	210	210	210	210	210	210
Vehículos representados por el proyecto	Vehículos ligeros	Autobuses		Camión unitario de carga	Combinación de tractor con semirremolque		Combinación de tractor con dos remolques	

La Referencia 2 explica que en México no se utiliza el modelo de la AASHTO porque los conductores nacionales efectúan sus maniobras de rebase en forma poco conservadora. En aras de la seguridad operativa, así como de los costos de operación de los flujos vehiculares, se sugiere actualizar las distancias de visibilidad de rebase a los valores obtenidos con el modelo de la AASHTO.

También se valora como pertinente la sugerencia en las normativas más avanzadas sobre proporcionar visibilidad de rebase, preferentemente en el cuarenta por ciento (40%) de la longitud de cada sentido de circulación, y lo más uniformemente repartido posible. Igualmente, se plantea actualizar las alturas del ojo del conductor y del objeto a 1.08 m, considerando la altura de los vehículos modernos.

### **Carriles de rebase**

Las limitaciones de rebasar en carreteras de dos carriles, con la presencia de vehículos lentos, pueden generar congestionamiento y accidentes en el rebase. En estas circunstancias, los carriles de rebase pueden mejorar las operaciones (ayudando a disolver los pelotones y disminuyendo los retrasos). Su ubicación juiciosa en alrededor de 10% de la longitud carretera, puede proporcionar la mayoría de los beneficios de la duplicación del cuerpo existente.

#### **2.8.3 En curvas horizontales**

Debe verificarse que se cuente con una distancia libre de obstáculos mínima **m** del eje del carril interior a obstáculos en el interior de curvas horizontales, para dar la distancia de visibilidad de parada o de rebase, según se desee satisfacer una u otra en la curva. El valor de **m** depende del grado de curvatura, pero también de la distancia de visibilidad (sea de parada o de rebase), por lo cual al actualizarse las distancias mexicanas de visibilidad, también deben reformarse los correspondientes valores de **m** tanto para parada como para rebase.

La remoción de vegetación u otros obstáculos en el interior de curvas horizontales, es rentable como medida para mejorar la visibilidad en todos los tipos de carreteras.

#### **2.8.4 En curvas verticales**

Para las curvas verticales en cresta, el criterio debe ser que **K** sea suficientemente grande, como para permitir que el conductor vea el objeto de 0.60 m de altura sin interferencia de la superficie del pavimento, siendo la altura del ojo del conductor de 1.08 m.

En el caso de las curvas verticales en columpio, el criterio debe ser que **K** permita que el conductor, para la condición de visibilidad nocturna, vea la superficie del pavimento al ser iluminada por los faros delanteros del vehículo, asumiéndose una altura para los faros de 0.60 m, una altura del objeto de 0 m y un ángulo de divergencia del cono luminoso de los faros de 1°.

### 2.8.5 De encuentro

Esta distancia de visibilidad, que es igual a dos veces la distancia de visibilidad de parada, se utiliza en el proyecto de carreteras Tipo E de un sólo carril (brechas, de la clasificación funcional), con el fin de que dos conductores que se encuentran al circular en sentidos opuestos detengan sus vehículos con seguridad y puedan realizar la maniobra necesaria para que ambos continúen su viaje.

Por lo anterior, todas las recomendaciones de actualización para las distancias de visibilidad de parada son aplicables a esta distancia de visibilidad, resultando en un incremento máximo del 14% en ella, para una velocidad de proyecto máxima en brechas de 70 km/h.

### 2.8.6 De decisión

Esta distancia de visibilidad es la distancia mínima necesaria para que un conductor, circulando a la velocidad de proyecto, pueda maniobrar con anticipación ante la presencia de una situación cuya complejidad demanda tiempos de percepción-reacción  $t$  más grandes que los requeridos usualmente. Se calcula y se mide utilizando los mismos criterios que la distancia de visibilidad de parada (altura del ojo del conductor de 1.08 m y altura del objeto de 0.60 m).

La distancia de visibilidad de decisión considera cinco diferentes grados de complejidad de maniobra:

- Parada en zona rural,  $t=3.0$  s
- Parada en zona urbana,  $t=9.1$  s
- Cambio de velocidad, trayecto o dirección en zona rural;  $t$  varía entre 10.2 y 11.2 s
- Cambio de velocidad, trayecto o dirección en zona suburbana;  $t$  varía entre 12.1 y 12.9 s
- Cambio de velocidad, trayecto o dirección en zona urbana;  $t$  varía entre 14.0 y 14.5 s

Se sugiere incluir esta distancia de visibilidad, ya que actualmente no se considera en la normativa mexicana.

### 2.8.7 En intersecciones a nivel

Una intersección debe disponer de suficiente distancia de visibilidad para que el conductor perciba los conflictos potenciales y lleve a cabo las acciones necesarias para maniobrar en la intersección con seguridad. Los criterios de distancia de visibilidad son aplicables a los vehículos que se aproximan a la intersección y a los que arrancan desde una posición de parada en la intersección.

A lo largo de los accesos de una intersección deben existir áreas libres de obstrucciones que permitan al conductor ver a los vehículos potencialmente conflictivos que se aproximan. Estas áreas específicas se conocen como triángulos de visibilidad.

En el caso de las intersecciones sin control del tránsito, los catetos de los triángulos de visibilidad de llegada deben ser iguales a la distancia recorrida durante el tiempo de percepción-reacción del conductor, más un tiempo adicional para proceder a frenar o acelerar, según se requiera, a la velocidad de proyecto del acceso correspondiente. En la normativa mexicana vigente se utiliza un tiempo de percepción-reacción de 2 s y un tiempo adicional para frenar o acelerar de 1 s, dando un tiempo total de cálculo de 3 s; en tanto que en las normativas más avanzadas los catetos se determinan para un mayor tiempo total equivalente, del orden de 4 s, por razones de seguridad. Aduciendo a las mismas razones, se propone actualizar las longitudes de los catetos, adoptando el criterio de los 4 s, con lo cual dichas longitudes se verán incrementadas en 33% con respecto a sus valores en la normativa vigente.

## **2.9 Alineamiento horizontal**

Las únicas actualizaciones pertinentes son las que se derivan de los menores rangos de velocidad de proyecto, y los nuevos vehículos de proyecto recomendados para cada tipo de carretera de la clasificación funcional. Los elementos anteriores definen las ampliaciones, las sobreelevaciones, y la longitud y tipo de las transiciones (mixta o espiral) de las curvas horizontales, siendo las ampliaciones las que experimentan las mayores modificaciones, derivadas básicamente de las mayores distancias entre huellas externas de los vehículos de proyecto recomendados en la Sección 2.6, para cada tipo de carretera.

Las especificaciones para las espirales de transición entre la normativa mexicana vigente y las más avanzadas son equiparables, por lo cual se considera que no se requieren actualizaciones en este sentido.

## **2.10 Alineamiento vertical**

### **2.10.1 Pendientes**

Los valores de pendiente gobernadora y pendiente máxima, establecidos para diferentes combinaciones de tipo de carretera, tipo de terreno y rango de velocidades de proyecto, son muy similares entre la normativa mexicana vigente y las más adelantadas. La especificación mexicana de pendiente mínima también es similar a la de las normativas de vanguardia.

### **2.10.2 Rampas de escape para camiones**

Son instalaciones de seguridad específicamente para vehículos pesados, con el fin de reducir el riesgo de camiones fuera de control en pendientes descendentes. Tienen por objeto segregar de la corriente de tránsito a los vehículos fuera de

control por sobrecalentamiento, falla de los frenos o fallas mecánicas, deteniéndolos con seguridad en lugares apropiados fuera de la carretera.

Funcionan por gravedad o mediante algún material que incrementa la fricción de rodado de las llantas del camión. Las hay seis tipos: I) montículo de arena; II) rampa de gravedad; III) cama de fricción con pendiente ascendente; IV) cama de fricción horizontal; V) cama de fricción con pendiente descendente; y VI) cama de fricción en las zonas laterales.

### **2.11 Combinación de los alineamientos horizontal y vertical**

La Referencia 5 indica que el riesgo crece cuando las expectativas de los conductores son violentadas por elementos aislados o inesperados de bajo estándar (p ej, intersecciones aisladas con un alto flujo vehicular; curvas cerradas precedidas por largas tangentes; curvas contiguas en el mismo sentido, donde la primera es de radio elevado y la segunda mucho más cerrada).

La presencia simultánea o cercana entre si de dos o más de esos elementos (pendientes, curvas, intersecciones o estructuras) magnifica el riesgo (p ej, curvas de radio menores de 500 m junto con pendientes mayores de 4%, curva horizontal después de una curva vertical en cresta).

### **2.12 Sección transversal**

Los aspectos comparativos más relevantes entre la normativa mexicana vigente y las más avanzadas en relación con la corona y sus elementos (calzada, anchos de carril, acotamientos y mediana), son:

- Cuando se requieren dos o más carriles por sentido, se recomiendan calzadas separadas para cada sentido (Referencia 4). No se aconseja tener los carriles de los dos sentidos en una sola calzada
- El ancho de carril más conveniente para los caminos más importantes es de 3.6 m. Anchos de menos de 3 m contribuyen a accidentes de múltiples vehículos
- No es recomendable proporcionar espacio para tres carriles y sólo pintar dos. Es más aconsejable en términos de seguridad, calidad de servicio y costo, instalar terceros carriles de rebase para una u otra dirección (p ej, en 10% de la longitud de la carretera)
- Un ancho de acotamiento de 2.5 m a cada lado, para las carreteras más importantes de dos carriles (vías rápidas y arterias de la clasificación funcional), especificando un ancho mínimo de 1 m a cada lado para todos los caminos de menor importancia. En el caso de las autopistas, un acotamiento exterior mínimo de 3.00 m y otro interior mínimo de 1.50 m

Es necesario contar con un buen drenaje superficial, ya que una película o capa de agua de 6 mm puede generar hidroplaneo al reducir el coeficiente de fricción a

cerca de cero, haciendo virtualmente imposible las operaciones de frenado así como dar vuelta. Por lo anterior, se sugiere:

- Una pendiente transversal mínima de 2% en carreteras de altas especificaciones, y de 3% o más en carreteras menos importantes
- Incrementar la pendiente transversal mínima hasta 2.5% en carreteras de altas especificaciones para condiciones pluviométricas severas o donde la distancia de drenaje superficial es más larga que el ancho de un carril
- Proporcionar en carreteras de calzadas separadas, la misma inclinación transversal mínima hacia un sólo lado.

Son también pertinentes las alternativas de drenaje transversal en carreteras de calzadas separadas en la normativa estadounidense, así como los valores de pendiente transversal recomendados por esta regulación dependiendo del tipo de superficie (incluyendo el de los acotamientos).

Los puentes, estructuras y alcantarillas pueden ser significativos en términos de su efecto en accidentes por salidas del camino. En puentes nuevos se recomienda que sea 1.8 m más amplio que el ancho de circulación (o dos acotamientos de 0.9 m). En carreteras muy transitadas, el ancho del puente debe incluir los anchos totales de acotamiento.

Los pasos superiores requieren pilas diseñadas para impacto. No debe haber pilas en los bordes de la carretera. Es conveniente que las pilas y los soportes extremos del puente estén lejos de los carriles de circulación.

Los puentes tienen que contar con barandillas longitudinales diseñadas para no experimentar deflexión significativa ante impactos; además de una transición de rigidez de la barrera adyacente hacia el poste inicial (final) del puente.

### **3. Conclusiones**

La revisión y comparación de normativa y literatura internacional de proyecto geométrico de carreteras permitió encontrar aquellos elementos de la nacional que han quedado rezagados en relación con las investigaciones de vanguardia y que necesitan ser revisados y, en su caso, modificados con base en las actuales necesidades del país.

Si bien las normas de Estados Unidos, Canadá y España incluyen los hallazgos más recientes relacionados con el tema, el objetivo principal no fue adoptarlas ciegamente sino identificar lo más pertinente para mejorar la seguridad y eficiencia operativa de nuestras carreteras. Como resultado de la síntesis comparativa, se detallaron los elementos que necesitan ser revisados minuciosamente.

En este trabajo se han presentado algunos elementos del proyecto geométrico de carreteras que se recomienda actualizar en la normativa mexicana a la luz de las condiciones actuales en nuestras carreteras, así como de los avances a nivel

mundial en esta temática en la búsqueda de un sistema carretero seguro y eficiente.

## Referencias bibliográficas

1. 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).
2. Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP), México, D F (1977).
3. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D C (2001).
4. Trazado: Instrucción de Carreteras; Normas 3.1-IC. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento, Centro de Publicaciones 2000, Series Normativas e Instrucciones de Construcción, Madrid, España (2000).
5. Mendoza D, Alberto, Francisco L Quintero Pereda y Emilio F. Mayoral Grajeda. Consideraciones de Seguridad para el Proyecto Geométrico de Carreteras. Publicación Técnica No 218, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro ( 2002).
6. Magallanes N, Roberto. La Implicación del concepto de seguridad en el Proyecto Geométrico de Carreteras. Primer Congreso Nacional de Ingeniería Vial, Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A C, México, D F (2003).
7. Propuesta reciente de clasificación de carreteras para el Reglamento de Pesos, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal. Dirección General de Servicios Técnicos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), México, D F (2003).





# 1 Introducción

---

En sus orígenes, la normativa para el proyecto geométrico de carreteras a nivel mundial se generó a partir de suposiciones empíricas y pruebas de campo sobre el comportamiento vehicular y las condiciones prevalecientes en ese momento. Sin embargo, al paso de los años se han alcanzado mayores conocimientos, y las condiciones de la operación carretera han variado significativamente.

Como muestra de lo anterior, la medición de las distancias de visibilidad de parada originalmente asumió un valor de proyecto para una altura del objeto de 15 cm. No obstante, se ha observado que la frecuencia de colisiones contra objetos de ese tamaño o menores es baja. Además de que en la mayoría de los sitios donde ocurren estos accidentes no hay problemas de visibilidad y que, en la mayoría de los casos, sus consecuencias no son severas. Por tanto, lo anterior requiere la actualización correspondiente para eliminar los sobrecostos de obra derivados de construir carreteras con distancias de visibilidad para esa altura del objeto, por ejemplo, elevarlo a 60 cm, que es representativo de la altura de los objetos que involucran riesgo.

Asimismo, hace 50 años el vehículo de carga más largo tenía alrededor de 15 m entre ejes extremos. Sin embargo, actualmente está autorizada la circulación a vehículos de carga con casi 30 m entre ejes extremos. Este segundo ejemplo ilustra cómo han variado las características vehiculares en forma impresionante.

Los casos anteriores son factores por los cuales una gran cantidad de normas de proyecto geométrico de carreteras, actualmente en vigor, deben ser revisadas a la luz de los conocimientos y condiciones contemporáneos.

Otro punto importante a considerar es el hecho de que por contar con recursos limitados, durante los últimos años frecuentemente se han relegado la seguridad, los costos de operación vehicular y el impacto ambiental, al realizar el proyecto geométrico en aras de construir la mayor cantidad posible de infraestructura. Sin reconocer que en el diseño de nuevas carreteras, así como en la reconstrucción de las existentes, debe darse particular atención a la seguridad vial como un criterio principal de proyecto. De hecho, tales reconstrucciones son a menudo una forma importante de actualizar progresivamente la seguridad de la red carretera.

En este trabajo se analiza la normativa mexicana vigente, contenida en las Normas de Servicios Técnicos para el Proyecto Geométrico de Carreteras (Referencia 1) y en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP) (Referencia 2). Las recomendaciones de actualización realizadas se originaron a partir de la comparación de los documentos anteriores con normativas vigentes de algunos de los países más avanzados en la materia (Referencias 3 y 4), así como de los estudios y enfoques mundiales más recientes, particularmente los mexicanos,

sobre aspectos básicos de seguridad para el proyecto geométrico de carreteras (Referencias 5 y 6).

Aunque en algunas secciones de este trabajo no se hace ninguna recomendación específica de actualización, implícitamente se aclaran algunas definiciones o conceptos tal y como se sugiere actualizarlos.

## **2 Recomendaciones**

---

### **2.1 Estándar de proyecto**

Se entiende por estándar de proyecto el nivel de calidad geométrico al cual se construye una carretera. Su selección se efectúa durante la etapa de planeación. Entre mayor es el estándar geométrico, mejor es la seguridad vial.

El mayor estándar geométrico para una carretera es aquél que corresponde a una velocidad de proyecto elevada, control total de acceso de las propiedades aledañas, zonas laterales benignas, entradas y salidas en intersecciones a desnivel y sentidos opuestos separados por una mediana. El estándar anterior corresponde a las autopistas.

Algunos de los factores específicos más importantes en la selección del estándar geométrico, son: la clasificación funcional de la carretera, el volumen de tránsito al final del horizonte o período económico de la misma (20 años), el tipo de terreno y la velocidad de proyecto. Aunque también deben influir consideraciones de capacidad, eficiencia económica, seguridad e impacto ambiental.

### **2.2 Control de acceso**

Se refiere al ingreso de tránsito a una carretera, proveniente de otras incluyendo intersecciones, vías públicas, privadas y retornos. En una carretera, éste puede ser total, parcial o inexistente.

Es el factor que más influye por sí mismo en la seguridad de una carretera. El índice de accidentes aumenta rápidamente con la densidad de los accesos.

En la mayoría de las carreteras por supuesto, no es posible o significativo eliminar los accesos, aunque sus efectos negativos pueden ser moderados al reducir el conflicto en esos puntos. La Referencia 5 indica que algunas medidas para moderar el impacto de los accesos en la seguridad en carreteras existentes, incluyen:

- Reducir su densidad (eliminando aberturas en la mediana, mediante calles laterales, etc); y
- Separar los flujos vehiculares de frente, de aquellos que utilizan el acceso (p ej, a través de carriles específicos para dar vuelta, de aceleración, de deceleración y de retorno).

La Referencia 5 recomienda “controlar el acceso, siempre que sea posible, en aquellas vías que transportan la mayor cantidad de tráfico, o que conectan centros de actividad principales, y/o que son arterias regionales principales”.

## 2.3 Clasificación de las carreteras

La clasificación para fines de proyecto geométrico en la normativa mexicana más reciente (Referencia 1) es básicamente en función del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) esperado al final del horizonte de proyecto. Así, las carreteras se clasifican en:

- A4, para un TDPA de 5 mil a 20 mil vehículos.
- A2, para un TDPA de 3 mil a 5 mil vehículos.
- B, para un TDPA de 1,500 a 3 mil vehículos.
- C, para un TDPA de 500 a 1,500 vehículos.
- D, para un TDPA de 100 a 500 vehículos.
- E, para un TDPA de hasta 100 vehículos.

Las normativas mundiales de vanguardia anteponen una clasificación funcional a cualquier otra, con el fin de definir en primer lugar la función deseada para la vía en el contexto de la red nacional de carreteras. En ese sentido, se propone la siguiente clasificación funcional de las carreteras mexicanas para fines de proyecto geométrico:

- **Troncales o primarias**. Son parte de corredores de transporte que unen centros de población importantes, generalmente de más de cincuenta mil (50,000) habitantes, cuyas actividades generan o atraen viajes de largo itinerario. A su vez, se subdividen en:
  - **Autopistas (AP)**. Carreteras de sentidos separados físicamente por una faja central o mediana, control total de acceso, dos (2) o más carriles por sentido de circulación y velocidad de proyecto en el rango de ochenta (80) km/h a ciento diez (110) km/h. Sus TDPA's son mayores a cinco mil (5,000) vehículos.
  - **Vías rápidas (VR)**. Carreteras de sentidos separados físicamente por una faja central o mediana, y velocidad de proyecto en el rango de ochenta (80) km/h a ciento diez (110) km/h; y que en relación con uno o varios de los demás elementos (control de acceso, número de carriles por sentido, etc) no cumple con los estándares de las autopistas. Sus TDPA's van de tres mil (3,000) a cinco mil (5,000) vehículos.
- **Arterias o secundarias**. Son vías que unen poblaciones medianas o pequeñas con los nodos de la red troncal, que aportan gran proporción de los viajes de mediano y corto itinerario. Tienen un sólo cuerpo, control parcial de acceso, un carril por sentido de circulación, y velocidad de proyecto en el rango de setenta (70) km/h a ciento diez (110) km/h. Sus TDPA's van de mil quinientos (1,500) a tres mil (3,000) vehículos.
- **Alimentadoras**. Son aquellas utilizadas por viajes de muy corto itinerario. Se subdividen en:

- **Colectoras (C).** Carreteras de un sólo cuerpo, control parcial de acceso, un carril por sentido de circulación, y velocidad de proyecto en el rango de sesenta (60) km/h a cien (100) km/h. Sus TDPA's van de quinientos (500) a mil quinientos (1,500) vehículos.
- **Locales (L).** Carreteras de un sólo cuerpo, sin control de acceso, un carril por sentido de circulación, y velocidad de proyecto en el rango de cincuenta (50) km/h a ochenta (80) km/h. Sus TDPA's van de cien (100) a quinientos (500) vehículos.
- **Brechas (Br).** Carreteras de un sólo cuerpo, sin control de acceso, un carril de circulación, y velocidad de proyecto en el rango de treinta (30) km/h a setenta (70) km/h. Sus TDPA's son menores a cien (100) vehículos.

La clasificación anterior tiene además la ventaja de que sus tres grandes categorías (troncales, arterias y alimentadoras) pueden homologarse con las tres categorías (primarias, secundarias y alimentadoras) de una propuesta reciente de clasificación de caminos y puentes para el Reglamento de Pesos y Dimensiones (Referencia 7). Aunque parezca extraño, esta correspondencia no es muy buena ni en las normativas más avanzadas, aunque es indispensable para garantizar que los vehículos para los que se diseña un camino son congruentes con los que operarán por el mismo (congruencia entre el diseño y la operación vehicular).

Cabe señalar que en el Reglamento de Pesos y Dimensiones vigente (Referencia 8), las carreteras se clasifican en los Tipos ET, A, B, C y D, donde:

- **Carreteras Tipo ET.** Son aquéllas que forman parte de los ejes de transporte establecidos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), cuyas características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, así como de otros que por interés general autorice la SCT, y que su tránsito se confine a este tipo de caminos.
- **Carreteras Tipo A.** Son las que por sus características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, excepto aquellos que por sus dimensiones y peso sólo se permitan en las carreteras tipo ET.
- **Carreteras Tipo B.** Se refiere a las que conforman la red primaria y que atendiendo sus características geométricas y estructurales prestan un servicio de comunicación interestatal, además de vincular el tránsito.
- **Carreteras Tipo C.** Red secundaria.- Son vías que atendiendo a sus características geométricas y estructurales, principalmente prestan servicio dentro del ámbito estatal con longitudes medias, estableciendo conexiones con la red primaria.

- **Carreteras Tipo D.** Red alimentadora.- Son las que atendiendo sus características geométricas y estructurales, principalmente prestan servicio dentro del ámbito municipal con longitudes relativamente cortas, estableciendo conexiones con la red secundaria.

En la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-1995, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 07 de enero de 1997, no se establecen los pesos y dimensiones máximas para las carreteras Tipo ET. Sin embargo, en el Reglamento de Pesos y Dimensiones (Referencia 7) se menciona que para esas carreteras, se permite la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso. Por tanto, para las Tipo ET, los vehículos deberán cumplir con lo especificado para las carreteras Tipo A, indicadas en la Norma, con la consideración de que se permite la circulación de los vehículos Extralargos, es decir, aquellos que tienen una configuración de tractocamión-semirremolque, de longitud máxima de 23.00 m, tractocamión-semirremolque-semirremolque y camión-remolque, de longitud máxima de 31.00 m.

## **2.4 Tipo de terreno**

Es un factor que puede influir significativamente en las características geométricas de una carretera. La mayoría de las normativas incluyendo la mexicana, consideran tres tipos de terreno: plano, lomerío y montañoso. Las más avanzadas los definen en términos de las pendientes y las posibilidades de los vehículos pesados de circular por ellas.

Se propone que las carreteras se proyecten considerando el relieve del terreno natural donde se alojan, de acuerdo con la siguiente clasificación:

- **Plano**. Es cualquier combinación de alineamientos vertical y horizontal, que permite a los vehículos pesados mantener la misma velocidad de los ligeros. Las pendientes están limitadas a 1 o 2%.
- **Lomerío**. Es cualquier combinación de alineamientos vertical y horizontal que hacen que los vehículos pesados reduzcan su velocidad substancialmente por debajo de los ligeros, sin llegar a la máxima velocidad que pueden alcanzar en pendientes sostenidas.
- **Montañoso**. Es cualquier combinación de alineamientos vertical y horizontal que hacen que los vehículos pesados operen a la máxima velocidad que pueden alcanzar en pendientes sostenidas.

La Referencia 9 define pendiente sostenida aquélla que es igual o superior a 3% y que tiene longitud igual o superior a 800 m.

## 2.5 Velocidad de proyecto

La normativa mexicana más reciente define velocidad de proyecto como la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un tramo carretero y que se utiliza para su diseño geométrico.

La velocidad de proyecto es la mínima velocidad a lo largo de un tramo para la que quedarán preparados los segmentos diseñados con los estándares más restrictivos permitidos para esa velocidad (radio mínimo de curvatura, pendiente máxima, etc).

En otras palabras, la velocidad de proyecto es una elección, la cual deberá ser congruente con el tipo de carretera, y sirve para determinar los diferentes elementos de diseño geométrico. Este concepto se establece a partir de dos principios básicos: 1) que todas las curvas de un tramo se proyecten para la misma velocidad; y 2) que la velocidad de proyecto refleje la velocidad a la que un porcentaje elevado de los conductores desea circular. El concepto de velocidad de proyecto se creó, por tanto, con el propósito de asegurar la homogeneidad o consistencia del trazo.

La normativa mexicana más reciente permite rangos de velocidad de proyecto muy amplios para cada tipo de carretera; esto es:

- De 60 a 110 km/h para caminos tipo A,
- De 50 a 110 km/h para caminos tipo B,
- De 40 a 100 km/h para caminos tipo C, y
- De 30 a 70 km/h para caminos tipo D y E.

Las disposiciones más avanzadas consideran rangos más reducidos para cada categoría, con el fin de evitar variaciones muy fuertes de velocidad de proyecto a lo largo de una carretera, las cuales suelen ser fuente importante de accidentes. Por esa razón, en la clasificación funcional de carreteras propuesta, se incluyen los siguientes rangos de velocidad de proyecto más reducidos:

- De 80 a 110 km/h para autopistas y vías rápidas,
- De 70 a 110 km/h para arterias,
- De 60 a 100 km/h para colectoras,
- De 50 a 80 km/h para locales, y
- De 30 a 70 km/h para brechas.

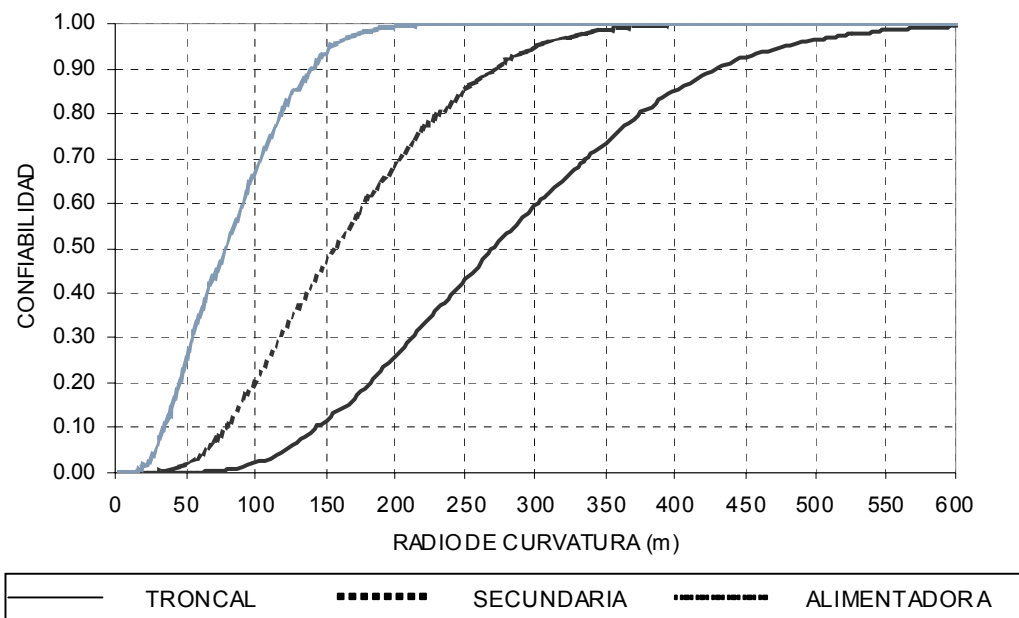
También se recomienda generar las velocidades de proyecto de los diferentes tramos de una carretera a partir de un análisis económico de sensibilidad realizado como parte del estudio de planeación, considerando varias opciones de velocidad dentro del rango correspondiente, haciendo intervenir en dicho análisis los costos de construcción y conservación de la vía y los costos de operación del transporte en términos de la magnitud y composición del tránsito, así como la seguridad y los aspectos ambientales.

## 2.6 Confiabilidad

En el medio de la operación de los sistemas, se entiende por confiabilidad la diferencia de la unidad menos la probabilidad de falla del sistema en cuestión. Algunos estudios recientes (Referencia 6) sugieren incorporar el concepto de confiabilidad en el proyecto geométrico de los elementos de una carretera, asumiendo que en este caso la falla consiste en que un conductor exceda la velocidad ofrecida por los elementos del camino (los que, como ya se dijo, están íntimamente relacionados con la velocidad de proyecto).

En este trabajo se adopta la sugerencia anterior, con el fin de compatibilizar la velocidad de proyecto seleccionada para una carretera con los deseos en ese sentido de los usuarios que circularán por ella, pues se ha observado que la incongruencia entre los dos aspectos anteriores suele ser fuente de accidentes. La Referencia 6 sugiere que el proyectista verifique que en ningún sitio del tramo proyectado, la confiabilidad sea menor a cincuenta (50) por ciento. Sin embargo, por congruencia con los criterios para establecer el límite máximo de velocidad, el cual debe ser coherente con la velocidad de proyecto, se piensa que sería más adecuada una confiabilidad de al menos ochenta y cinco (85) por ciento.

La Referencia 5 desarrolló un conjunto de distribuciones de probabilidad tipo Weibull, para segmentos en distintas condiciones según su radio de curvatura horizontal, pendiente vertical, o longitud de espiral, etc. A manera de ejemplo, la Figura 2.1 ilustra las distribuciones para segmentos con distintos radios de curvatura, en las tres categorías de la clasificación funcional de carreteras antes propuesta.



**Figura 2.1**  
**Confiabilidad en curvas del alineamiento horizontal**



## 2.7 Vehículos de proyecto

La normativa mexicana más reciente considera los siguientes vehículos de proyecto: un vehículo ligero representativo de automóviles, camionetas y vehículos ligeros de reparto (DE-335); un vehículo unitario representativo de autobuses y camiones sencillos de carga, de dos y tres ejes (DE-610); un tractocamión representativo de las combinaciones de tractor de dos ejes, con semirremolque de uno o dos ejes (DE-1220); y un tractocamión representativo de las combinaciones de tractor de tres ejes con semirremolque de dos o tres ejes (DE-1525). Asimismo, un anteproyecto de actualización de la normativa mexicana de 1992 (Referencia 10) incluye un tractocamión representativo de las combinaciones de tractor de tres ejes con semirremolque de uno o dos ejes y remolque de dos, tres o cuatro ejes (DE-2520).

A partir de una serie de mediciones realizadas a vehículos que transitan por las carreteras nacionales, se obtuvieron los siguientes resultados:

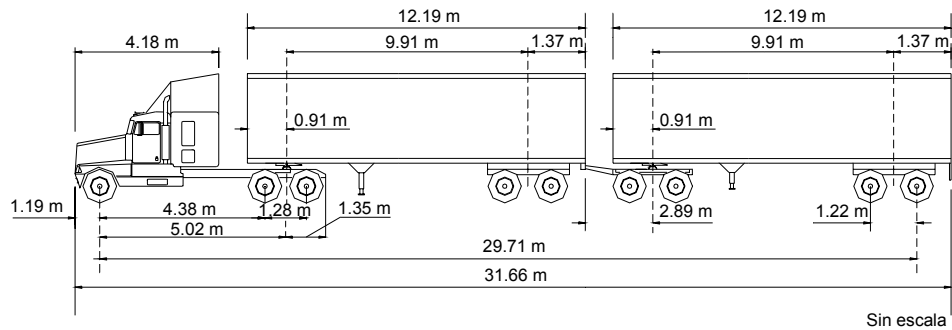
- Para los automóviles, camionetas y vehículos ligeros de reparto, se encontró que el vehículo de proyecto DE-335 todavía es representativo de aquéllos de este tipo que circulan actualmente por las carreteras. Por tanto, se propone conservarlo con las características representativas de la Tabla 2.1. Este vehículo puede circular por todos los tipos de carretera contemplados en el Reglamento de Pesos y Dimensiones vigente (Referencia 8).
- Se encontraron dos tipos diferentes de autobuses: un DE-620 y otro DE-750. El primero es congruente con las dimensiones máximas autorizadas a autobuses (B2 y B3) en carreteras tipo D, o superiores, del Reglamento vigente (locales a autopistas, de la clasificación funcional propuesta); en tanto que el segundo, con las dimensiones máximas autorizadas a autobuses integrales (p ej, B3) en carreteras tipo C o superiores (colectoras a autopistas, de la clasificación funcional). La Tabla 2.1 muestra las características representativas que se encontraron para los dos tipos anteriores de autobuses.
- Para los camiones de carga unitarios, se encontró un camión de tres ejes DE-760, con longitud total de 12 m. Esto es congruente con las dimensiones máximas autorizadas en carreteras tipo D, o superiores, del Reglamento vigente (locales a autopistas, de la clasificación funcional). La Tabla 2.1 contiene las características representativas que se proponen para este vehículo.
- En 2001, la Dirección General de Autotransporte Federal de la SCT tenía registrados alrededor de 120 mil remolques y semirremolques, autorizados para prestar el servicio de autotransporte federal (Referencia 11). De éstos, 4.9% tenían longitud entre 0 y 30 pies; 5.8% entre 30 y 37 pies; 20.3% entre 37 y 42 pies; 56.5% entre 42 y 46 pies; 5.1% de 48 pies; 7.3% de 53 pies y 0.1% mayor de 53 pies (comúnmente 57 pies). De acuerdo con los datos anteriores, es recomendable tener un vehículo de proyecto tractor-semirremolque DE-1890 (tipo T3-S2) en donde el semirremolque sea de 48 pies, y otro DE-1980,

en el que el semirremolque sea de 53 pies; ambos casos con un tractor convencional largo. El primero es congruente con las dimensiones máximas autorizadas a esa configuración en carreteras tipo B, o superiores, del Reglamento vigente (arterias a autopistas, de la clasificación funcional); en tanto que el segundo, con las dimensiones máximas autorizadas al tractor-semirremolque en carreteras tipo ET (autopistas, de la clasificación funcional). La Tabla 2.1 muestra las características representativas que se proponen para estos dos vehículos.

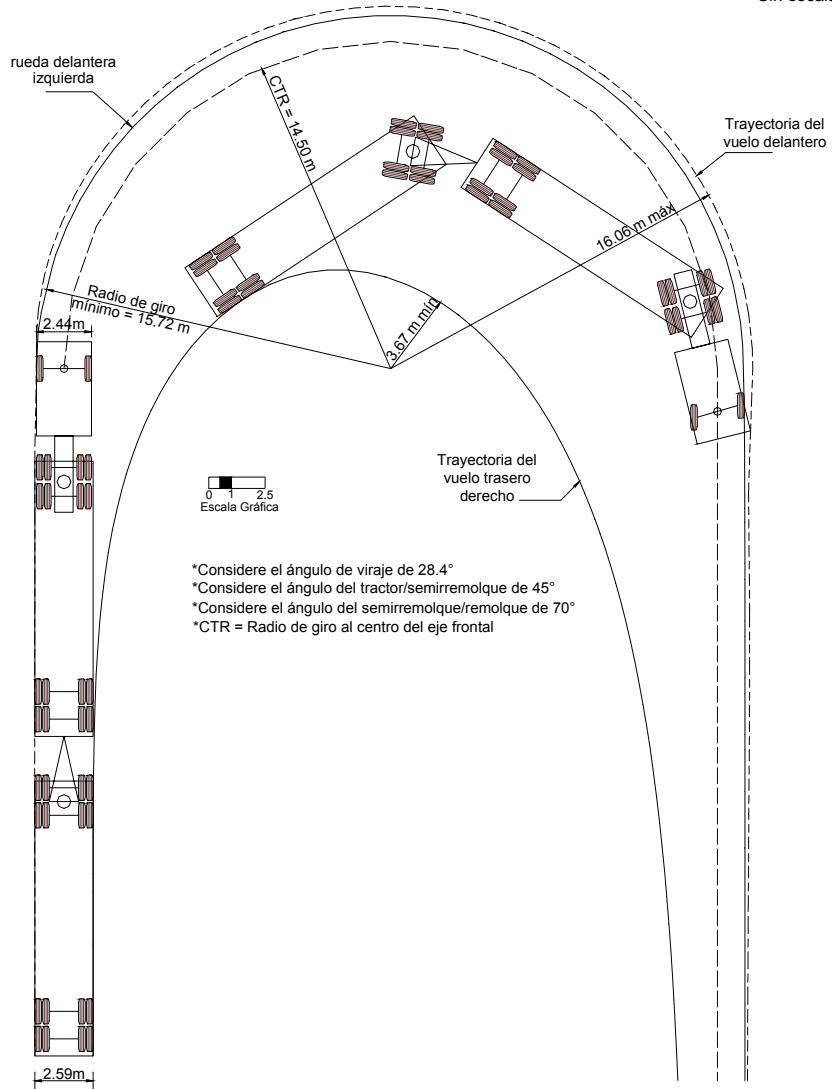
- Bajo la misma lógica del punto anterior, para las combinaciones tractor-semirremolque-remolque, es recomendable tener un vehículo de proyecto DE-2545 (tipo T3-S2-R4) en el que los dos remolques sean de 33 pies, y otro DE-2970, en donde los dos remolques sean de 40 pies; ambos casos con un tractor convencional. El primero es congruente con las dimensiones máximas autorizadas a esa configuración en carreteras tipo B, o superiores, del Reglamento vigente (arterias a autopistas, de la clasificación funcional); en tanto que el segundo, con las dimensiones máximas autorizadas a esa configuración en carreteras tipo A, o superiores (vías rápidas y autopistas, de la clasificación funcional), aunque da una longitud total (31.66 m) ligeramente mayor a la máxima autorizada. La Tabla 2.1 también contiene las características representativas que se proponen para ambos vehículos.
- A partir de un análisis de las ampliaciones requeridas en curva por cada uno de los vehículos recomendados, se obtuvo que: de todos los vehículos permitidos en carreteras ET del Reglamento vigente (autopistas, de la clasificación funcional), el que requiere la mayor ampliación (el crítico) es el DE-2970; de todos los autorizados en carreteras A (vías rápidas), el crítico es también el DE-2970; de todos los permitidos en carreteras B (arterias), el crítico es el DE-1890; de todos los autorizados en carreteras C (colectoras), el crítico es el DE-760; y de todos los permitidos en carreteras D (locales), el crítico es también el DE-760. Con base en lo anterior y en la congruencia operativa de las unidades circulando por los distintos tipos de carreteras de la red, el vehículo de proyecto más recomendable para las carreteras ET y A (autopistas y vías rápidas) es el DE-2970; para las B y C (arterias y colectoras), el DE-1890; y para las D (locales), el DE-760.
- A manera de ejemplo, la Figura 2.2 presenta la trayectoria de giro para el vehículo DE-2970. Con el fin de ilustrar la magnitud de la modificación introducida en cuanto al espacio requerido con los vehículos de proyecto recomendados, cabe señalar que el radio de giro mínimo del mayor de estos últimos (DE-2970) es 15% más grande que el radio de giro mínimo del mayor en el anteproyecto de actualización de la normativa mexicana de 1992 (DE-2520).

**Tabla 2.1**  
**Propuesta de vehículos de proyecto**

CARACTERÍSTICAS	VEHÍCULO DE PROYECTO							
	DE-335	DE-620	DE-750	DE-760	DE-1890	DE-1980	DE-2545	DE-2970
Longitud total del vehículo (L), cm	580	1200	1360	1209	2088	2241	2740	3166
Distancia entre ejes extremos del vehículo (DE), cm	335	620	749	762	1890	1982	2545	2971
Vuelo delantero (VD), cm	92	236	240	127	122	122	119	119
Vuelo Trasero (VT), cm	153	344	371	320	76	137	76	76
Ancho total del vehículo (A), cm	214	255	260	244	259	259	259	259
Entrevía del vehículo (EV), cm	183	230	230	244	244	244	244	244
Longitud del remolque (Lr), cm	-	-	-	-	1463	1615	1006	1219
Altura total del vehículo (Ht), cm	167	354	380	410	410	410	410	410
Altura de los ojos del conductor (Hc), cm	107	212	232	250	250	250	250	250
Altura de los faros delanteros (Hf), cm	61	81	110	112	112	112	112	112
Altura de las luces posteriores (Hl), cm	61	154	140	100	100	100	100	100
Angulo de la desviación del haz de los faros	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°
Radio de giro mínimo, cm	732	1267	1359	1572	1372	1372	1372	1572
Relación Peso/Potencia, kg/HP	15	180	210	210	210	210	210	210
Vehículos representados por el proyecto	Vehículos ligeros	Autobuses		Camión unitario de carga	Combinación de tractor con semirremolque		Combinación de tractor con dos remolques	



Sin escala



**Figura 2.2**  
**Trayectoria de giro para el vehículo de proyecto DE-2970**

## 2.8 Distancias de visibilidad

### 2.8.1 De parada

La distancia de visibilidad no debe ser menor a la de parada en ningún punto de una carretera. La Referencia 5 indica que distancias de visibilidad menores a 200 m (correspondientes a velocidades de proyecto menores a 100 km/h) son más peligrosas, particularmente en curvas y de noche.

La gran diferencia en el cálculo de la distancia de visibilidad de parada entre la normativa mexicana más reciente y la de los países más avanzados reside en que en la primera dicha distancia se calcula para la velocidad de marcha (asumiéndose que en promedio es 0.875 de la velocidad de proyecto), en tanto que en las de vanguardia se estima para la velocidad de proyecto.

Si se calculan las distancias de visibilidad de parada para la velocidad de proyecto (conservando los demás supuestos de cálculo de la normativa mexicana más reciente), se obtienen los valores en la tercera columna de la Tabla 2.2, la cual las compara contra los valores en la normativa mexicana vigente (en la segunda columna), calculados a partir de la velocidad de marcha. Dada la significativa diferencia entre los valores en las columnas 2 y 3 (más de 30% para velocidades de proyecto de 100 km/h o mayores), se recomienda actualizar las distancias de visibilidad de parada a los valores en la tercera columna.

Otro aspecto en el que la normativa mexicana vigente es diferente a las normativas más reconocidas es que en la mexicana las alturas del ojo del conductor y del objeto utilizadas para medir las distancias de visibilidad de parada son 1.14 m y 0.15 m respectivamente, en tanto que en las más avanzadas la altura del ojo del conductor ya se ha modificado considerando los vehículos modernos y la altura del objeto se ha incrementado de acuerdo con la experiencia sobre accidentalidad y para reducir los costos de obra no justificados derivados de tener un valor más pequeño.

Por lo anterior, se propone actualizar la altura del ojo del conductor a 1.08 m considerando la altura de los vehículos actuales, así como la altura del objeto a 0.60 m, la cual prácticamente corresponde a la altura de las luces traseras o de los faros de los vehículos ligeros (automóviles, camionetas, etc).

**Tabla 2.2**  
**Comparativa de las distancias de visibilidad de parada (DVP) en la normativa mexicana vigente contra los valores recomendados**

<b>VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)</b>	<b>DVP en la normativa vigente (m)</b>	<b>DVP recomendados (m)</b>	<b>Valores requeridos por los vehículos de carga con frenos convencionales (m)</b>
30	30	30	40
40	40	45	65
50	55	65	90
60	75	85	125
70	95	110	160
80	115	140	205
90	135	170	245
100	155	205	290
110	175	240	340

La última columna de la Tabla 2.2 contiene una serie de valores de distancias de visibilidad de parada, recomendados para camiones de carga con frenos convencionales en la Referencia 12. Aunque los valores en esa columna son mucho mayores a los de la columna 3, en la práctica su efecto se compensa en diversas situaciones con la mayor altura del ojo del conductor utilizada para vehículos de carga (2.33 m) en las normativas más avanzadas. También es importante destacar que las distancias de visibilidad de parada requeridas por los camiones de carga con frenos antibloqueo, que cada vez ocupan una mayor proporción del parque vehicular nacional de carga, son prácticamente iguales que para los vehículos ligeros (mostradas en la columna 3).

Es importante verificar que se cuente con la distancia de visibilidad de parada horizontal así como vertical, de acuerdo con los principios presentados en las secciones 2.7.3 y 2.7.4, respectivamente.

## **2.8.2 De rebase**

La gran diferencia en el cálculo de esta distancia de visibilidad entre la normativa mexicana y la de los países considerados como más avanzados reside en que en la primera, dicha distancia se calcula como 4.5 veces la velocidad de proyecto, en tanto en las otras se estima a partir del modelo de maniobra de rebase de la AASHTO (Referencia 3), resultando casi siete veces la velocidad de proyecto. La Referencia 2 explica que en México no se utiliza el modelo de la AASHTO porque los conductores nacionales efectúan sus maniobras de rebase en forma poco conservadora. En aras de la seguridad operativa, así como de los costos de operación de los flujos vehiculares, se sugiere modificar las distancias de

visibilidad de rebase a los valores obtenidos con el modelo de la AASHTO. La tercera columna de la Tabla 2.3 presenta los valores que resultan de este criterio, comparándolos contra los que se especifican en la normativa actual (en la segunda columna). Como es evidente a partir de la tabla, los valores en la columna 3 son significativamente mayores que los de la columna 2 (alrededor de 50% mayores).

**Tabla 2.3**  
**Comparativa de las distancias de visibilidad de rebase (DVR) en la normativa mexicana vigente contra los valores recomendados según el modelo de maniobra de rebase de la AASHTO**

<b>VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)</b>	<b>DVR en la normativa mexicana vigente (m)</b>	<b>DVR recomendados (m)</b>
30	135	200
40	180	270
50	225	345
60	270	410
70	315	485
80	360	540
90	405	615
100	450	670
110	495	730

También se considera pertinente la sugerencia en las normativas más avanzadas sobre proporcionar visibilidad de rebase, preferentemente en el cuarenta por ciento (40%) de la longitud de cada sentido de circulación y lo más uniformemente repartido posible.

Otro aspecto que es diferente entre la normativa mexicana y las de vanguardia es que en la mexicana las alturas del ojo del conductor y del objeto utilizadas para medir las distancias de visibilidad de rebase son 1.14 y 1.30 m, respectivamente, correspondiendo a los vehículos ligeros; en tanto que en las otras, dichas alturas ya se ha actualizado considerando los vehículos modernos. Por lo anterior, se propone modificar ambas alturas anteriores a 1.08 m, considerando la altura de los vehículos actuales.

### **Carriles de rebase**

Las limitaciones de rebasar en carreteras de dos carriles, con la presencia de vehículos lentos, pueden generar congestionamiento y accidentes en el rebase. En estas circunstancias, los carriles de rebase pueden mejorar las operaciones (ayudando a disolver los pelotones y disminuyendo los retrasos). Su ubicación juiciosa en alrededor de 10% de la longitud carretera, puede proporcionar la mayoría de los beneficios de la duplicación del cuerpo existente.

En pendientes ascendentes de 3 a 4%, se puede esperar una reducción en los accidentes en 10 a 20%; mientras que en pendientes más pronunciadas, ésta puede ser de 20 a 40%.

La disminución de accidentes generalmente se extiende más adelante de la zona del carril al relajarse la presión por rebasar. Por la misma razón, también puede extenderse hacia atrás proporcionando señalamiento informativo de 2 a 5 km antes del inicio de la zona del carril. También se usan secciones cortas de cuatro carriles, como parte de la eventual duplicación completa del cuerpo existente.

Es más conveniente proporcionar un número frecuente de carriles cortos a lo largo de la carretera, que unos cuantos carriles largos aislados. En vías de dos carriles se recomienda una longitud mínima de carril de rebase de 600 m (incluyendo transiciones inicial y final de 125 m cada una) y una longitud máxima de 1,200 m.

Se aconseja su implementación cuando la oportunidad de rebase en un recorrido sea de menos de 30% del tiempo. En carreteras de tránsito moderado, se sugieren espaciamientos típicos de secciones con carril de rebase de 10 a 15 km.

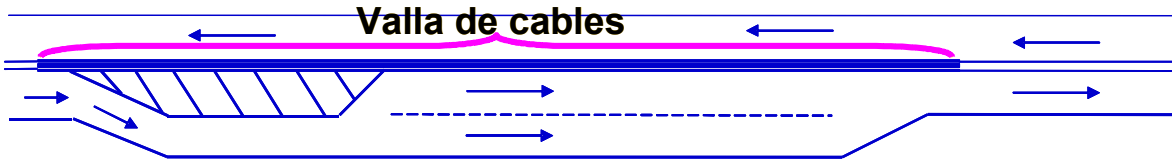
Ubicaciones adecuadas para carriles de rebase incluyen: cuellos de botella (pendientes pronunciadas, sitios con generación de tráfico al pie de una colina); sitios con una alta incidencia de accidentes por rebase; ubicaciones donde la construcción es de bajo costo (p ej, no requieren de cortes y terraplenes pronunciados, puentes, etc); y sitios con distancia de visibilidad adecuada en las transiciones de divergencia y convergencia.

Debe evitarse su instalación en zonas cercanas a poblaciones o en sitios que incluyan intersecciones o con un gran número de accesos.

El señalamiento horizontal y vertical de los carriles de rebase es importante para maximizar su efectividad.

La Figura 2.3 muestra una alternativa de operación utilizada en Suecia, en la que al inicio de la sección, todo el flujo es dirigido hacia el carril de baja velocidad, dejando el carril central disponible para el rebase de los vehículos más rápidos. Asimismo, al final de la sección los vehículos en el carril de rebase tienen la preferencia, ya que los que se encuentran en el carril de la derecha tienen una mejor visibilidad de la carretera y el tránsito, y si llegase a haber un conflicto que requiriese que un vehículo realizase una maniobra evasiva a la salida, es mejor que el de la derecha se meta en el acotamiento, a que el vehículo en el carril de rebase invada el carril del sentido opuesto. Como es el caso en Suecia, en la Figura 2.3, la separación de sentidos de circulación se realiza mediante una valla de cables, la cual es sostenida por una serie de postes suficientemente cercanos entre sí, como para evitar la interferencia entre sentidos opuestos al ocurrir un impacto vehicular contra dicha valla.





**Figura 2.3**  
**Sección con carril de rebase utilizada en Suecia**

### 2.8.3 En curvas horizontales

La distancia de visibilidad horizontal puede verse restringida en el interior de las curvas horizontales por objetos tales como pilas de puentes, edificios, barreras de concreto o metálicas, cortes, etc. Por tal razón, debe verificarse que se cuente con una distancia libre de obstáculos mínima  $m$  del eje del carril interior a obstáculos en el interior de curvas horizontales, para dar la distancia de visibilidad de parada o de rebase, según se desee satisfacer una u otra en la curva.

El valor de  $m$  depende del grado de curvatura, pero también de la distancia de visibilidad (sea de parada o de rebase), por lo cual, al actualizar las distancias mexicanas de visibilidad, también deben modificarse los correspondientes valores de  $m$  tanto para parada como para rebase. A manera de ejemplo de la magnitud de la modificación en este caso, la Tabla 2.4 compara los valores de  $m$  en la normativa mexicana vigente para satisfacer la distancia de visibilidad de parada (columna 2), contra sus correspondientes valores recomendados (columna 3) para un radio de curvatura (del eje del carril interior) de 300 m. Como es evidente, para la mayor velocidad de proyecto considerada en la tabla (110 km/h), el valor de  $m$  en la columna 3 es 88% mayor que el de la columna 2.

Una recomendación en las regulaciones más avanzadas que parece adecuada se refiere a que el ancho de acotamiento en el lado interno de las curvas no debe ser mayor de 3.6 m, pues de serlo los conductores pueden utilizarlo como carril adicional de viaje o para rebasar.

Otra observación interesante es que  $m$  también se requiere para el carril izquierdo (de alta velocidad) en curvas izquierdas de carreteras divididas. Con objeto de ilustrar lo anterior se presenta la Figura 2.4, en la que se muestra una curva horizontal izquierda con distancia de visibilidad deficiente por no cumplir con la distancia libre de obstáculos mínima.

La Referencia 5 menciona que la remoción de vegetación u otros obstáculos en el interior de curvas horizontales, es rentable como medida para mejorar la visibilidad en todos los tipos de carreteras.

**Tabla 2.4**  
**Comparativa de los valores de “m” en la normativa mexicana vigente para satisfacer la distancia de visibilidad de parada contra sus correspondientes valores recomendados para un radio de curvatura (del eje del carril interior) de 300 m**

<b>VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)</b>	<b>“m” en la normativa vigente (m)</b>	<b>“m” recomendadas (m)</b>
30	0.38	0.38
40	0.67	0.84
50	1.26	1.76
60	2.34	3.01
70	3.76	5.04
80	5.51	8.17
90	7.59	12.04
100	10.01	17.51
110	12.76	24.00



**Figura 2.4**  
**Curva horizontal izquierda, con distancia de visibilidad deficiente por no cumplir con la distancia libre de obstáculos mínima**

## 2.8.4 En curvas verticales

La distancia de visibilidad vertical puede verse restringida por la presencia de curvas verticales en el perfil de la carretera.

El principio para calcular las longitudes mínimas de curva vertical en cresta o en columpio, es que garanticen la distancia de visibilidad de parada o de rebase, según se desee satisfacer una u otra en la curva.

Al actualizarse el cálculo de las distancias de visibilidad de parada o de rebase para las velocidades de proyecto en vez de las de marcha, así como las alturas del ojo del conductor, del objeto y de los faros, también deben modificarse los valores mínimos del parámetro **K** (cociente de la longitud de la curva entre la diferencia algebraica de pendientes), tanto para curvas verticales en cresta como en columpio.

Por lo anterior, para las curvas verticales en cresta el criterio debe ser que **K** sea suficientemente grande para permitir que el conductor perciba el objeto de 0.60 m de altura sin interferencia de la superficie del pavimento, siendo la altura del ojo del conductor de 1.08 m.

En el caso de las curvas verticales en columpio, el criterio debe ser que **K** permita que el conductor, para la condición de visibilidad nocturna, vea la superficie del pavimento al ser iluminada por los faros delanteros del vehículo, asumiéndose una altura para los faros de 0.60 m, una altura del objeto de 0 m y un ángulo de divergencia del cono luminoso de los faros de un grado.

La Tabla 2.5 compara, tanto para curvas verticales en cresta como en columpio, los valores mínimos de **K** en la normativa mexicana vigente contra sus correspondientes valores recomendados (columnas 2 y 4, contra columnas 3 y 5, respectivamente). Como es evidente, para la mayor velocidad de proyecto considerada en la tabla (110 km/h), los valores en las columnas 3 y 5 son significativamente más altos que los de las columnas 2 y 4 (20 y 40% respectivamente).

Se reitera que la altura del objeto asumida en el caso de curvas verticales en cresta es de 0.60 m, en tanto que para curvas verticales en columpio es de 0 m.

La Referencia 5 señala que conviene alargar las curvas verticales en cresta, con el fin de aumentar su distancia de visibilidad, cuando la velocidad de proyecto está más de 33 km/h por debajo del percentil 85 de la velocidad de los vehículos que arriban a la curva, el flujo excede 1,500 vehículos por día y hay un riesgo mayor en las inmediaciones (p ej, una intersección transitada, una curva pronunciada, una pendiente fuerte de bajada o una interrupción de carril).

**Tabla 2.5**

**Comparativa de los valores mínimos del parámetro “K” para proporcionar la distancia de visibilidad de parada en curvas verticales, en la normativa mexicana vigente contra sus correspondientes valores recomendados**

VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	PARÁMETRO DE CURVATURA VERTICAL K (m/%)			
	Cresta		Columpio	
	Normativa vigente	Valores recomendados	Normativa vigente	Valores recomendados
30	3	2	4	4
40	4	3	7	8
50	8	6	10	12
60	14	11	15	17
70	20	18	20	24
80	31	29	25	32
90	43	43	31	40
100	57	62	37	50
110	72	87	43	60

### 2.8.5 De encuentro

Esta distancia de visibilidad, que es igual a dos veces la distancia de visibilidad de parada, se utiliza en el proyecto de carreteras Tipo E de un sólo carril (brechas, de la clasificación funcional), con el fin de que dos conductores que se encuentran al circular en sentidos opuestos detengan sus vehículos con seguridad y puedan realizar la maniobra necesaria para que ambos continúen su viaje.

Por lo anterior, todas las recomendaciones de actualización para las distancias de visibilidad de parada son aplicables a esta distancia de visibilidad, resultando en un incremento máximo del 14% en ella para una velocidad de proyecto máxima en brechas de 70 km/h.

Para la medición de la distancia de visibilidad de encuentro, la altura del ojo de ambos conductores debe ser igual a 1.08 m, con objeto de enfatizar la importancia de que ambos puedan verse entre sí.

### 2.8.6 De decisión

Esta distancia de visibilidad es la distancia mínima necesaria para que un conductor, circulando a la velocidad de proyecto, pueda maniobrar con anticipación ante la presencia de una situación cuya complejidad demanda tiempos de percepción-reacción  $t$  más grandes que los requeridos usualmente. Se

calcula y se mide utilizando los mismos criterios que la distancia de visibilidad de parada (altura del ojo del conductor de 1.08 m y altura del objeto de 0.60 m).

Las normativas más avanzadas incluyen este tipo de distancia de visibilidad, el cual no es considerado por la mexicana. Por tanto, se sugiere incluirlo según los valores en la Tabla 2.6, que considera cinco diferentes grados de complejidad de maniobra.

**Tabla 2.6**  
**Distancias de visibilidad de decisión**

VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE DECISIÓN (m)				
	MANIOBRA ANTICIPADA				
	A	B	C	D	E
30	34	85	89	104	119
40	50	118	119	139	158
50	69	154	149	174	198
60	92	193	178	208	238
70	118	236	208	243	277
80	148	284	238	278	317
90	180	332	268	313	356
100	215	384	297	347	396
110	253	440	327	382	435

Maniobra anticipada A: Parada en zona rural,  $t=3.0$  s  
 Maniobra anticipada B: Parada en zona urbana,  $t=9.1$  s  
 Maniobra anticipada C: Cambio de velocidad/trayecto/dirección en zona rural,  $t$  varía entre 10.2 y 11.2 s  
 Maniobra anticipada D: Cambio de velocidad/trayecto/dirección en zona suburbana,  $t$  varía entre 12.1 y 12.9 s  
 Maniobra anticipada E: Cambio de velocidad/trayecto/dirección en zona urbana,  $t$  varía entre 14.0 y 14.5 s

## 2.8.7 En intersecciones a nivel

Una intersección debe disponer de suficiente distancia de visibilidad para que el conductor perciba los conflictos potenciales y lleve a cabo las acciones necesarias para maniobrar en la intersección con seguridad. Los criterios de distancia de visibilidad son aplicables a los vehículos que se aproximan a la intersección y a los que arrancan desde una posición de parada en la intersección.

A lo largo de los accesos de una intersección deben existir áreas libres de obstrucciones que permitan al conductor percibir a los vehículos potencialmente conflictivos que se aproximan. Estas áreas específicas se conocen como triángulos de visibilidad. Las dimensiones de los catetos del triángulo dependen de la velocidad de proyecto de los caminos que se intersectan, y del tipo de control de tránsito que exista en la intersección. Deben considerarse dos tipos de triángulos de visibilidad: de llegada, para intersecciones en las que no existen señales restrictivas para controlar el tránsito que se aproxima (sin señales para ceder el paso, alto o semáforo); y de salida, para intersecciones donde hay señales restrictivas de alto para que los vehículos se detengan e inicien las maniobras de

vuelta y de cruce, desde esa posición. En ambos casos, los catetos se miden sobre los caminos que se intersectan, y la hipotenusa representa la visual de los conductores.

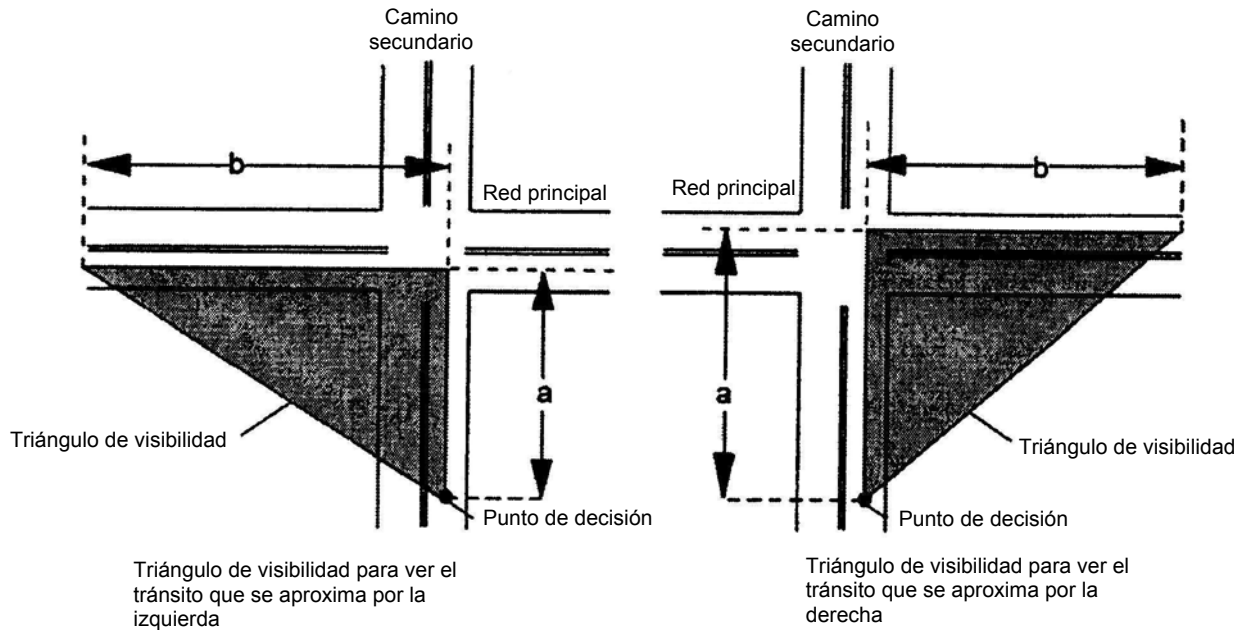
En el caso de las intersecciones sin control del tránsito, los catetos de los triángulos de visibilidad de llegada (**a** y **b**, en la Figura 2.5.A) deben ser iguales a la distancia recorrida durante el tiempo de percepción-reacción del conductor, más un tiempo adicional para frenar o acelerar, según se requiera, a la velocidad de proyecto del acceso correspondiente. En la normativa mexicana vigente se utiliza un tiempo de percepción-reacción de 2 s y un tiempo adicional para frenar o acelerar de 1 s, dando un tiempo total de cálculo de 3 s; en tanto que en las más avanzadas los catetos se determinan para un mayor tiempo total equivalente del orden de 4 s, por razones de seguridad. Aduciendo a las mismas razones, se propone actualizar las longitudes **a** y **b**, adoptando el criterio de los 4 s, con lo cual dichas longitudes se verán incrementadas en 33% con respecto a sus valores en la normativa vigente.

En el caso de las intersecciones con señales restrictivas de alto, las normativas de vanguardia consideran tres maniobras básicas que pueden presentarse: vuelta a la izquierda desde el camino secundario; vuelta a la derecha desde el camino secundario; y cruce de la carretera principal desde el camino secundario. En las tres maniobras, los vértices de los triángulos son: el punto de salida del vehículo detenido en el camino secundario (a 4.4 m de la orilla del mismo, distancia que se utiliza para calcular el cateto **a** que corresponda en la Figura 2.5.B), la ubicación del vehículo acercándose por el camino principal, y la intersección de las trayectorias en línea recta de los dos vehículos.

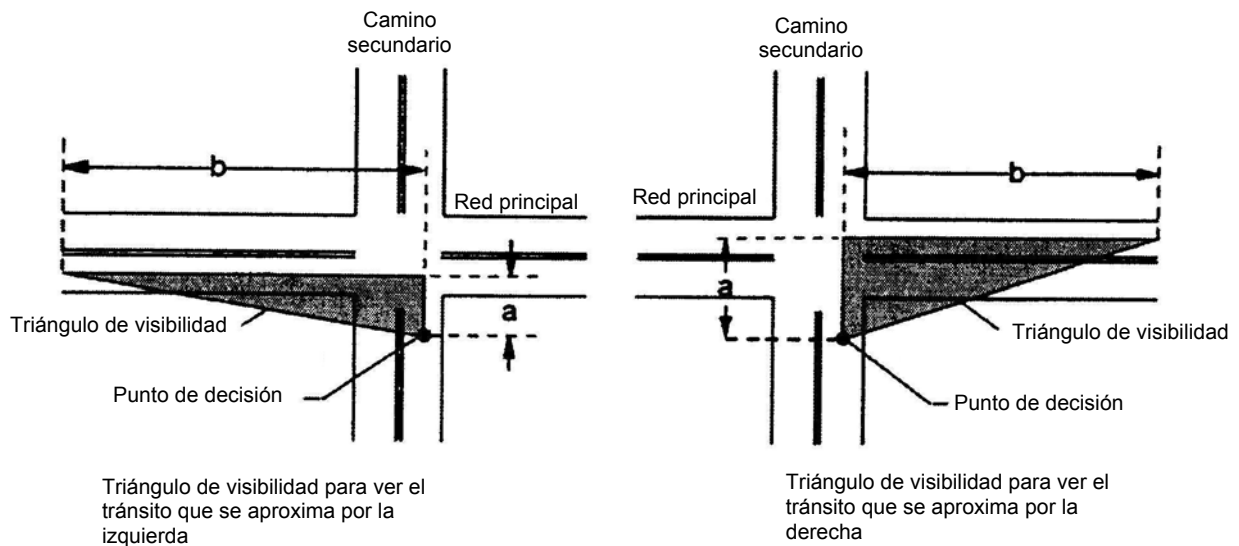
Para la maniobra de vuelta a la izquierda desde el camino secundario, los catetos **b** de los triángulos de visibilidad se calculan mediante multiplicar la velocidad de proyecto del camino principal por un intervalo en la corriente de tránsito del camino principal para que pase el vehículo por la vía secundaria (que es igual a 7.5 s si el vehículo de proyecto es un vehículo ligero; 9.5 s si es un camión unitario; y 11.5 s si es una combinación tractor-semirremolque). La maniobra de vuelta a la derecha es una variante de la de vuelta a la izquierda, pero con intervalo 1 s menor que el asumido para vuelta a la izquierda; en tanto que en la maniobra de cruce de la carretera principal deben tenerse los triángulos de visibilidad de las dos maniobras anteriores. Dado que el comportamiento en aceleración de los vehículos ha mejorado y su longitud ha aumentado, según se evidenció en la sección sobre vehículos de proyecto, se recomienda adoptar los criterios y valores anteriores para actualizar la normativa mexicana.

En todos los casos anteriores se introducen ajustes para tomar en cuenta la pendiente del acceso, el número de carriles a cruzar por el vehículo circulando por el camino secundario y camiones que requieran intervalos mayores a los considerados. También se recomienda proporcionar valores de **K** que garanticen las distancias de visibilidad requeridas en los accesos de intersecciones en curvas verticales en cresta.

Para medir las distancias de visibilidad en intersecciones a nivel, la altura del ojo de los conductores por ambas carreteras debe ser igual a 1.08 m, para enfatizar la importancia de que ambos conductores puedan verse entre sí.



### A. Triángulos de visibilidad de llegada



### B. Triángulos de visibilidad de salida

**Figuras 2.5.A y 2.5.B**  
**Triángulos de visibilidad en intersecciones a nivel**

## **2.9 Alineamiento horizontal**

Tanto la normativa mexicana vigente como las de vanguardia contienen especificaciones similares para las longitudes mínimas y máximas de las tangentes del alineamiento horizontal. Asimismo, para las curvas horizontales, la relación entre la sobreelevación máxima, el coeficiente máximo de fricción lateral, la velocidad de proyecto y el radio mínimo de diseño, se basa en la misma fórmula, especificándose además valores comparables para la sobreelevación máxima (12% en EEUU; 8% en España; y 10% en México) y el coeficiente máximo de fricción lateral. Por esta razón, los radios mínimos señalados para los diferentes casos, son bastante similares.

Por lo anterior, las únicas modificaciones pertinentes son las que se derivan de los menores rangos de velocidad de proyecto y los nuevos vehículos de proyecto recomendados para cada tipo de carretera de la clasificación funcional (véanse las Secciones 2.4 y 2.6, respectivamente). Los elementos anteriores definen las ampliaciones y sobreelevaciones, así como la longitud y tipo de las transiciones (mixta o espiral) de las curvas horizontales, siendo las ampliaciones las que experimentan las mayores modificaciones, derivadas básicamente de las mayores distancias entre huellas externas de los vehículos de proyecto recomendados en la Sección 2.6, para cada tipo de carretera. Con el fin de ilustrar la magnitud de la actualización introducida en este sentido, se menciona que el valor modificado de la ampliación por sentido (de dos carriles cada sentido) para la calzada y la corona de autopistas para una curva horizontal de radio mínimo (455 m), correspondiente a la velocidad de proyecto de 110 km/h, es 33% más grande que su respectivo valor en la normativa vigente (80 cm contra 60 cm, respectivamente).

La Referencia 5 establece que el alineamiento horizontal es el principal factor que afecta la velocidad de los vehículos, particularmente a velocidades menores a 100 km/h. Asimismo, reporta una mayor probabilidad de que los accidentes ocurran en curvas que en tangentes (3 a 1 para los accidentes en general, y 4 a 1 para las salidas del camino). Además, las curvas tienen mayores frecuencias de condiciones climáticas adversas (lluvia, neblina, hielo, etc). El radio es el principal factor que afecta la seguridad en curvas, seguido por el ancho de acotamiento, ancho de circulación y longitud de curva. Curvas con radio menor a 500 m están asociadas con un súbito aumento del riesgo. Aparentemente, radios mayores a 3,300 m también representan riesgos más altos pues induce a operaciones de rebase peligrosas.

Considerando la clasificación funcional de carreteras y sus rangos de velocidad de proyecto, para una autopista se propone de 80 a 110 km/h; mientras que en la normativa actual permite una velocidad de proyecto de 60 a 110 km/h; esa diferencia de 20 km/h en el valor mínimo del rango (de 60 a 80 km/h), representa un incremento de 104 m, quedando el radio mínimo en 208 m.



En el caso de carreteras existentes, conviene *tender* (aumentar el radio) las curvas horizontales cuando la velocidad de proyecto está más de 25 km/h por debajo del percentil 85 de la velocidad de los vehículos que arriban a la curva y el flujo excede 750 vehículos por día. Lo anterior considera beneficios en seguridad, costos de operación vehicular y tiempos de viaje. Algunas alternativas al *tendido*, de costo significativo, son: la remoción de riesgos en las zonas laterales (postes, árboles, etc) y la reducción de sus pendientes laterales; mejorar la resistencia al derrapamiento; aumentar la sobreelevación; pavimentar los acotamientos; eliminar escalones longitudinales; etc. En cuanto a medidas de menor costo están: remarcar las líneas centrales y de borde, añadir botones retrorreflejantes (p ej, vialitas), delineadores en las curvas, mejorar el señalamiento preventivo, etc.

Las especificaciones para las espirales de transición entre la normativa mexicana vigente y las de avanzada son comparables, por lo cual se considera que no se requieren actualizaciones en este sentido.

La Referencia 5 establece que las espirales reducen los accidentes de 2 a 9%, dependiendo del radio y la deflexión. Su ausencia es particularmente crítica para los vehículos con mayor centro de gravedad y menor rigidez torsional, como son los camiones de carga articulados, aumentando su probabilidad de invasión de otros carriles o el acotamiento.

## 2.10 Alineamiento vertical

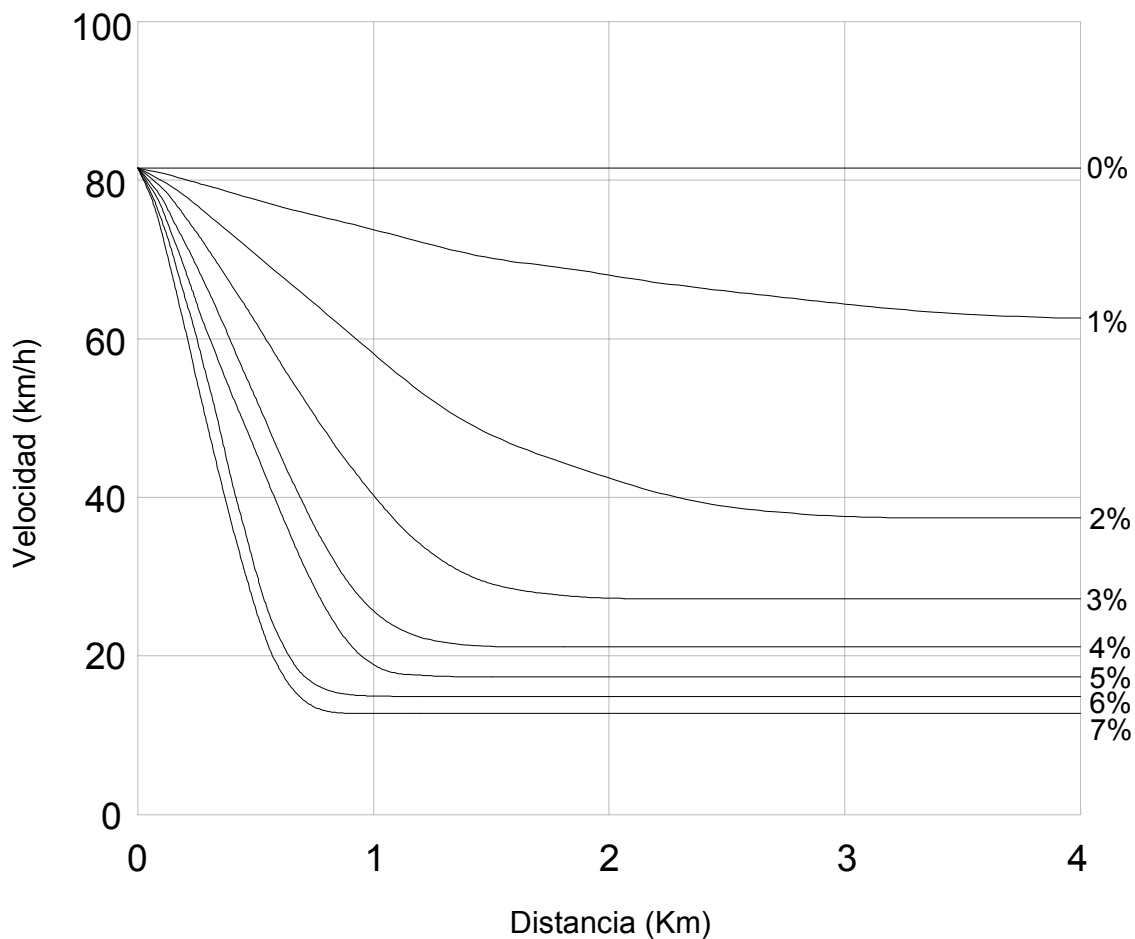
### 2.10.1 Pendientes

Los valores de pendiente gobernadora y de pendiente máxima, establecidos para diferentes combinaciones de tipo de carretera, tipo de terreno y rango de velocidades de proyecto, son muy similares entre la normativa mexicana vigente y las de vanguardia.

La especificación mexicana de pendiente mínima también es similar a la de las más avanzadas.

Se presenta la Figura 2.6, obtenida de la Referencia 10, la cual muestra el efecto que tienen diversas inclinaciones y longitudes de las pendientes, en los vehículos de carga que transitan usualmente en la red nacional de carreteras. La relación peso-potencia que se ha encontrado para los vehículos de carga en México, es de 210 kg/HP, misma que contrasta con la relación peso-potencia de 136 kg/HP correspondiente a los vehículos que circulan en carreteras de Estados Unidos de América. A partir de la figura es posible determinar los valores de "longitud crítica de pendiente" para un proyecto. Ésta, para una pendiente dada, es la longitud máxima sobre la cual puede operar un camión cargado sin que experimente una reducción riesgosa de su velocidad. En cuanto a una pendiente específica, las longitudes menores a la crítica, conducen a condiciones de operación aceptables en el rango de velocidades usuales. Si se desean mejores condiciones de operación en longitudes superiores a la crítica, será necesario hacer ajustes de

localización al proyecto para reducir las pendientes, o en su defecto incorporar carriles adicionales para el ascenso. La longitud crítica para una pendiente dada puede estimarse a partir de la figura, como la distancia correspondiente a una reducción de velocidad de 15 km/h. Para esta aplicación, debe entrarse a la figura con la velocidad al inicio de la pendiente (cuando ésta sea mayor que 82 km/h, que es la velocidad máxima al inicio de la pendiente para todas las curvas en la gráfica, deberá utilizarse 82 km/h como valor de dicha velocidad). La longitud crítica para una pendiente determinada puede obtenerse como la diferencia de distancias en la figura entre la correspondiente a la velocidad al inicio de la pendiente menos 15 km/h, y la correspondiente a la velocidad al inicio de la pendiente.



**Figura 2.6**  
**Efecto de las pendientes en los vehículos con relación peso/potencia de 210 kg/HP, México (Referencia 10)**

La Referencia 5 establece que las pendientes pronunciadas generalmente se asocian con mayores frecuencias de accidentes. Señala, asimismo, que la

frecuencia y la severidad de los accidentes aumentan con la pendiente, tanto en el sentido ascendente como en el descendente, indicando que el sentido descendente es más problemático, debido principalmente a los accidentes de camiones de carga, aunque se reconoce que el comportamiento y capacidad de frenado de estos últimos ha mejorado en los últimos años. Concluye que las pendientes pronunciadas de más de 6% frecuentemente se identifican con una mayor frecuencia de siniestros. Esta misma referencia indica que en Suecia, cualquier pendiente se considera potencialmente un problema, siendo las de 2.5 y 4% las que tienen frecuencias de accidentes mayores a 10 y 20%, respectivamente, en relación con segmentos horizontales adyacentes. Esto puede ser un reflejo de las condiciones climáticas de Suecia. Asimismo, sugiere que curvas y pendientes deben considerarse conjuntamente en relación con la ocurrencia de accidentes.

### **2.10.2 Rampas de escape para camiones**

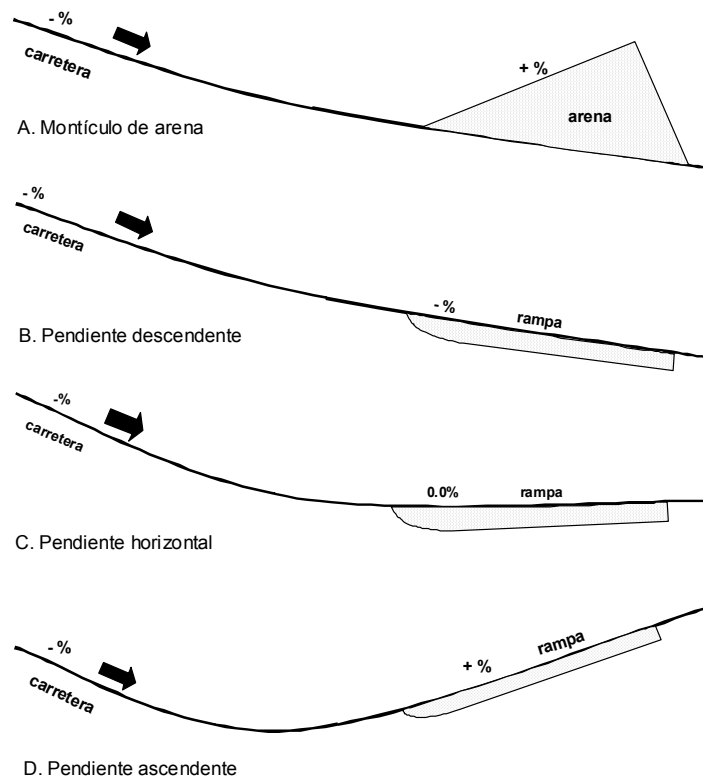
Son instalaciones de seguridad específicamente para vehículos pesados, con el fin de reducir el riesgo de camiones fuera de control en pendientes descendentes. Tienen por objeto segregar de la corriente de tránsito a los vehículos fuera de control por sobrecalentamiento, falla de los frenos o fallas mecánicas, deteniéndolos con seguridad en lugares apropiados fuera de la carretera.

Funcionan por gravedad o mediante algún material que incrementa la fricción de rodado de las llantas del camión. Hay seis tipos (Referencia 5):

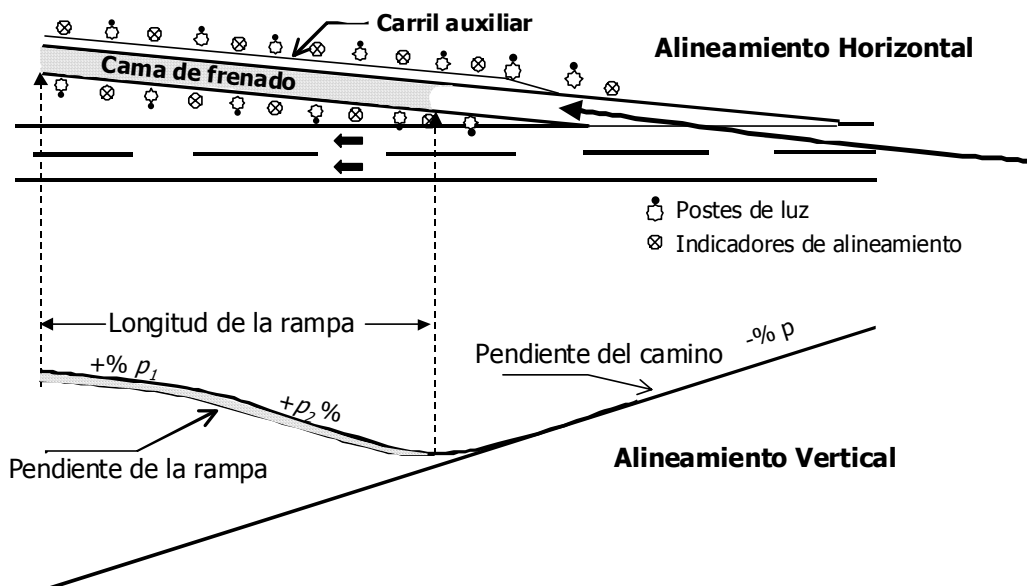
1. Montículo de arena;
2. Rampa de gravedad;
3. Cama de fricción con pendiente ascendente;
4. Cama de fricción horizontal;
5. Cama de fricción con pendiente descendente; y
6. Cama de fricción en las zonas laterales.

Una medida efectiva para prevenir el descontrol de los camiones de carga es el uso de señales de mensaje variable en la cima de las pendientes descendentes, que recomiendan determinadas velocidades a los vehículos pesados dentro de diferentes rangos de peso bruto vehicular.

La Figura 2.7 muestra configuraciones representativas de rampas de emergencia, mientras que la 2.8, el diseño de una rampa de emergencia típica.



**Figura 2.7**  
Configuración de rampas de emergencia



**Figura 2.8**  
Diseño de una rampa típica de emergencia

### 2.10.2.1 Criterios de diseño

- Las rampas se localizarán, de ser posible, a una distancia de entre cinco (5) y siete (7) kilómetros del punto donde inicia la pendiente descendente, en sitios donde existan tangentes o curvas suaves del alineamiento horizontal de la carretera.
- Se construirán de preferencia en el costado derecho de la carretera y con un alineamiento tangencial a la misma.
- Las rampas se proyectarán para ciento veinte (120) km/h, y de preferencia ciento cuarenta (140) km/h. La longitud de la rampa deberá ser suficiente para disipar la energía cinética del vehículo y detenerlo con seguridad.
- La anchura de la rampa será de diez (10) metros, y de ser posible doce (12) metros con el fin de alojar dos o más vehículos y habilitar un carril auxiliar que permita las maniobras de remoción de las unidades.
- El material de la cama de la rampa será limpio, difícil de compactar y tener una alta resistencia al rodamiento.
- La cama de la rampa se construirá con una profundidad mínima del agregado de cero punto tres (0.3) metros, y de preferencia cero punto nueve (0.9) metros, debiendo iniciar con una profundidad del material de ocho (8) centímetros y terminar con la profundidad total.
- Para lograr una deceleración gradual del vehículo, la cama de la rampa deberá construirse con la profundidad mínima en el punto de entrada y alcanzar la profundidad total a una distancia que puede variar entre treinta (30) metros y sesenta (60) metros después del punto de entrada.
- El pavimento de la carretera se extenderá hasta el sitio donde empieza la rampa con el fin de que el vehículo pueda entrar de manera expedita a la cama de retención.
- Deberá instalarse el señalamiento apropiado con suficiente anticipación con objeto de proporcionar al conductor del vehículo fuera de control, un tiempo de reacción suficiente que evite que la rampa pase inadvertida.

### 2.10.2.2 Resistencia al rodamiento

- Es la resistencia al movimiento del vehículo originada por el contacto entre las llantas y la superficie de rodamiento de la carretera, siendo aplicable cuando el vehículo está en movimiento. Dicha resistencia depende del tipo y características del material de la superficie del camino. Los valores de la resistencia al rodamiento (R), expresados en términos de pendiente equivalente para distintos materiales, se muestran en la Tabla 2.7.

**Tabla 2.7**  
**Resistencia al rodamiento**

MATERIAL DE LA SUPERFICIE	RESISTENCIA AL RODAMIENTO (R)
Concreto	0.010
Concreto asfáltico	0.012
Grava compactada	0.015
Terracería con arena suelta	0.037
Grava triturada	0.050
Grava suelta	0.100
Arena	0.150
Grava de río	0.250

### 2.10.2.3 Longitud de la rampa

La longitud de la rampa se calculará con la expresión:

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

En donde:

- L = longitud de la cama de retención (m)
- V = velocidad de entrada a la rampa (km/h)
- R = resistencia al rodamiento, expresada en términos de pendiente equivalente
- P = pendiente de la carretera, en decimal

## 2.11 Combinación de los alineamientos horizontal y vertical

La Referencia 5 indica que el riesgo aumenta cuando las expectativas de los conductores son violentadas por elementos aislados o inesperados de bajo estándar (p ej, intersecciones aisladas con un alto flujo vehicular; curvas cerradas precedidas por largas tangentes; curvas contiguas en el mismo sentido, donde la primera es de radio elevado y la segunda mucho más cerrada).

La presencia simultánea o cercana entre sí de dos o más de esos elementos (pendientes, curvas, intersecciones o estructuras) magnifica el riesgo (p ej, curvas de radio menor a 500 m con pendientes mayores de 4%; curva horizontal después de una curva vertical en cresta).

El efecto de un elemento depende de su contexto (p ej, una curva cerrada, aislada en un alineamiento de tangentes y curvas de radio grande, puede ser peligrosa; pero la misma curva en un alineamiento de menor estándar puede no generar problemas; la primera curva en una serie de curvas tiende a ser más peligrosa que otras posteriores, incluso más cerradas).

Cuando las expectativas de los conductores son violentadas, es necesario alertarlos (mediante el uso extensivo de señalamiento preventivo u otros dispositivos de delineación).

Por lo anterior, cualquier trabajo de reconstrucción en carreteras existentes debe realizarse a un estándar consistente.

## **2.12 Sección transversal**

Incluye los carriles, acotamientos, bordillos, elementos del drenaje, los cortes y terraplenes.

### **2.12.1 Corona**

Los aspectos comparativos más relevantes entre la normativa mexicana vigente y las más avanzadas en relación con la corona y sus elementos (calzada, anchos de carril, acotamientos y mediana), son:

- En España, cuando se requieren dos o más carriles por sentido se recomiendan calzadas separadas para cada sentido (Referencia 4). Esta recomendación es importante, entre otros aspectos, por favorecer la instalación de fajas separadoras centrales por encima de las soluciones a base de barreras centrales para separar los tránsitos de sentido opuesto.
- También se considera adecuada la normativa española en que se estima definir las características de la sección transversal (número de carriles por sentido, anchos de acotamiento, etc) para un nivel de servicio deseado en la hora de proyecto (entre los volúmenes horarios 30o y 150o más elevados del año horizonte, que puede ser 20 años después de la entrada en servicio) y a partir de los análisis económicos pertinentes.
- Las disposiciones más avanzadas consideran que el ancho de carril más conveniente para los caminos más importantes es de 3.6 m.
- Igualmente especifican un ancho de acotamiento de 2.5 m a cada lado para las carreteras más importantes de dos carriles (vías rápidas y arterias de la clasificación funcional), señalando un ancho mínimo de 1 m a cada lado para todos los caminos de menor importancia.
- En el caso de las autopistas, las normativas más avanzadas recomiendan un acotamiento exterior mínimo de 3.00 m y otro interior mínimo de 1.50 m.

- En relación con los acotamientos, la Referencia 5 señala que los índices de accidentes se reducen hasta anchos de acotamiento de 3 m. Asimismo, indica que desde la óptica de la seguridad vial, la combinación óptima de ancho de carril y ancho de acotamiento es 3.7 y 1.8 m, respectivamente. A la vez señala que afecta a la seguridad si el acotamiento es pavimentado o sólo revestido, importando su estado particularmente en este último caso.
- Respecto al ancho de carril, la Referencia 5 define que valores entre 3.4 y 3.7 m tienen los menores índices de accidentes en carreteras, representando también el mejor balance entre seguridad y calidad del flujo. Anchos de menos de 3 m contribuyen a accidentes de múltiples vehículos. El ancho de carril afecta a los choques de frente y las salidas del camino. Reporta también poco beneficio de contar con carriles más anchos de 3.7 m, excepto donde hay elevado volumen de camiones, donde 4 m puede ser adecuado. Señala que carriles muy anchos pueden ser contraproducentes, pues suelen inducir maniobras inseguras como rebasar sobre la línea central ante tráfico de frente. Establece, asimismo, que no es recomendable proporcionar espacio para tres carriles y sólo pintar dos. Es más recomendable en términos de seguridad, calidad de servicio y costo, instalar terceros carriles de rebase para una u otra dirección (p ej, en 10% de la longitud de la carretera).
- En relación con las medianas, éstas pueden ser: I) anchas sin barrera física, que proporcionan espacio para que un vehículo que pierde el control lo retome, así como para carriles de retorno; II) angostas con barrera física (metálica o de concreto), que devuelven al vehículo descontrolado a su camino e impiden el cruce directo de la carretera por los peatones; y III) angostas sin barrera física, que no ayudan a los vehículos descontrolados, pero sí a los peatones para cruzar la vía en dos etapas. La reducción en el índice de accidentes al incluirlas en carreteras de cuatro carriles ha sido: I) 54% en el caso de medianas anchas; II) 48% en el caso de medianas angostas con barrera central; y III) 30% en el caso de medianas angostas pintadas. Las anchas deben permitir espacio suficiente para proteger a los vehículos que cruzan o hacen retorno. Con un ancho de 9 m, entre 70 y 90% de los vehículos descontrolados no llegan al otro sentido. Las medianas angostas con barrera central tienen mayor frecuencia de accidentes, pero éstos son mucho menos severos. La pendiente de las medianas anchas no debe exceder 6:1. Pendientes mayores a 4:1 generan volcaduras. Deben eliminarse las aberturas en la mediana.

## **2.12.2 Pendiente transversal**

La Referencia 5 puntualiza sobre la necesidad de contar con un buen drenaje superficial, ya que una película o capa de agua de 6 mm puede generar hidropneumático al reducir el coeficiente de fricción a cerca de cero, haciendo virtualmente imposible las operaciones de frenado así como dar vuelta. Señala también que la mayoría de los accidentes en ambiente húmedo o mojado, ocurre en pavimentos con baja resistencia al derrapamiento, así como que una película



de agua en curvas de radio grande puede tener casi el doble de espesor que la de una sección en tangente con bombeo a uno y otro lado de la rasante, con la misma pendiente transversal. Éste es un factor importante a considerar en el proyecto carretero, especialmente donde la distancia de drenaje superficial es más larga que el ancho de un carril.

A partir de las especificaciones y recomendaciones anteriores, se sugiere:

- Una pendiente transversal mínima de 2% en carreteras de altas especificaciones, y de 3% o más en carreteras menos importantes;
- Incrementar la pendiente transversal mínima hasta 2.5% en carreteras de altas especificaciones para condiciones pluviométricas severas o donde la distancia de drenaje superficial es más larga que el ancho de un carril; y
- Proporcionar en carreteras de calzadas separadas, la misma inclinación transversal mínima hacia un sólo lado.

Son también pertinentes las alternativas de drenaje transversal en carreteras de calzadas separadas en la regulación estadounidense, así como los valores de pendiente transversal recomendados por esta regulación dependiendo del tipo de superficie (incluyendo el de los acotamientos).

## **2.13 Puentes, estructuras y alcantarillas**

La Referencia 5 menciona que estos elementos pueden ser significativos en términos de su efecto en accidentes por salidas del camino.

En puentes nuevos se recomienda que sea 1.8 m más amplio que el ancho de circulación (o dos acotamientos de 0.9 m). En carreteras muy transitadas, el ancho del puente debe incluir los anchos totales de acotamiento.

Los pasos superiores requieren pilas diseñadas para impacto. No debe haber pilas en los bordes de la carretera. Es conveniente que las pilas y los soportes extremos del puente estén lejos de los carriles de circulación.

Los puentes tienen que contar con barandillas longitudinales diseñadas para no experimentar deflexión significativa ante impactos; además de una transición de rigidez de la barrera adyacente hacia el poste inicial (final) del puente.



### 3 Conclusiones

---

La revisión y comparación de la normativa y literatura internacionales de proyecto geométrico de carreteras permitió encontrar aquellos elementos de las nacionales, que han quedado rezagados en relación con las investigaciones de vanguardia y que necesitan ser revisados y, en su caso, modificados con base en las actuales necesidades de nuestro país.

Si bien las normas de Estados Unidos, Canadá y España incluyen los hallazgos más recientes relacionados con el tema, el objetivo principal no fue adoptarlas ciegamente sino identificar lo más pertinente para mejorar la seguridad y eficiencia operativa de nuestras carreteras. Como resultado de la síntesis comparativa, se detallaron los elementos que necesitan ser revisados minuciosamente.

En este trabajo se han presentado algunos elementos del proyecto geométrico de carreteras que se recomienda actualizar en la normativa mexicana, a la luz de las condiciones actuales en las vías nacionales, así como de los avances a nivel mundial en esta temática, en la búsqueda de un sistema carretero seguro y eficiente.

A continuación se listan las recomendaciones más importantes derivadas de este estudio, aplicables principalmente a caminos de altas especificaciones:

- Determinar el tipo de camino y la velocidad de proyecto a partir de un estudio de planeación global de todo el proyecto, y no sólo de parámetros como el horizonte de proyecto y tipo de terreno.
- Elevar el estándar de diseño de las autopistas, implementando medidas que proporcionen un control total de accesos.
- Limitar la variación de la velocidad de proyecto a lo largo de una carretera.
- Analizar la conveniencia de tener velocidades de proyecto por encima de 110 km/h.
- Considerar una nueva propuesta de vehículos de proyecto.
- Considerar las necesidades de los camiones de carga en aquellas carreteras en las cuales exista la posibilidad de que el tráfico de carga se mueva a velocidades altas o en las que el tráfico de carga sea previsiblemente importante.
- Cambiar todos los elementos que se calculan con la velocidad de marcha por sus valores correspondientes para la velocidad de proyecto.
- Actualizar la altura del ojo del conductor y la altura del objeto tanto para los cálculos de la distancia de visibilidad de parada, longitud de curvas verticales y distancia a obstáculos laterales.

- Considerar la conveniencia de revisar el criterio mexicano del cálculo de la distancia de visibilidad de rebase (p ej, buscando valores similares a los de otros países).
- Considerar la recomendación de incluir a la normativa mexicana lo correspondiente a la distancia de visibilidad de decisión.
- Considerar la recomendación de instalar medianas o fajas separadoras centrales por encima de las soluciones a base de barreras centrales.
- Considerar la recomendación de implementar anchos de carril de 3.6 m para caminos importantes.
- Considerar la recomendación de implementar anchos de acotamiento de 2.5 m a cada lado para caminos A2 y B2, dejando un ancho mínimo de 1 m a cada lado para todos los caminos de menores especificaciones. En el caso de autopistas (A4 y A4s), se recomienda mantener un acotamiento exterior mínimo de 3 m y considerar un acotamiento interior mínimo de cuando menos 1 m.

## Referencias bibliográficas

---

1. *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).
2. *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras.* Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP), México, D F (1977).
3. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.* American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D C (2001).
4. *Trazado: Instrucción de Carreteras; Normas 3.1-IC.* Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento, Centro de Publicaciones 2000, Series Normativas e Instrucciones de Construcción, Madrid, España (2000).
5. *Mendoza D, Alberto, Francisco L Quintero Pereda y Emilio F. Mayoral Grajeda. Consideraciones de Seguridad para el Proyecto Geométrico de Carreteras.* Publicación Técnica No 218, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro ( 2002).
6. *Magallanes N, Roberto. La Implicación del concepto de seguridad en el Proyecto Geométrico de Carreteras.* Primer Congreso Nacional de Ingeniería Vial, Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A C, México, D F (2003).
7. *Propuesta reciente de clasificación de carreteras para el Reglamento de Pesos, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal.* Dirección General de Servicios Técnicos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), México, D F (2003).
8. *Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal.* Diario Oficial de la Federación, 19 de octubre de 2000.
9. *Mendoza D, Alberto y José E Jiménez Sánchez. Relación Peso/Potencia de los Vehículos de Carga en México.* Publicación Técnica No. 26, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro (1991).
10. *Anteproyecto de Normas SCT de Proyecto, Construcción y Conservación de la Infraestructura del Transporte, Parte 2.01, Proyecto Geométrico, Tomo I.* Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro (1992).

11. Características de los Vehículos del Autotransporte Federal. Dirección General de Autotransporte Federal, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), México, D F (2001).
12. Rico R, Alfonso, Alberto Mendoza Díaz y Emilio F Mayoral Grajeda. Consideraciones Operativas y de Proyecto Geométrico para Vehículos de Carga. Publicación Técnica No. 106, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro (1998).





‡ **Certificación ISO 9001:2000 según documento No 03-007-MX, vigente hasta el 24 de octubre de 2006 ([www.imt.mx](http://www.imt.mx))**

§ **Laboratorios acreditados por EMA para los ensayos descritos en los documentos MM-054-010/03 y C-045-003/03, vigentes hasta el 9 de abril de 2007 ([www.imt.mx](http://www.imt.mx))**

**CIUDAD DE MÉXICO**

Av Patriotismo 683  
Col San Juan Mixcoac  
03730, México, D F  
tel (55) 5598-5610  
fax (55) 55 98 64 57

**SANFANDILA**

km. 12+000, Carretera  
Querétaro-Galindo  
76700, Sanfandila, Qro  
tel (442) 216-9777  
fax (442) 216-9671

[www.imt.mx](http://www.imt.mx)  
[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)