



**XVII CONGRESO ARGENTINO
DE VIALIDAD Y TRÁNSITO**

Trabajo Técnico: **VELOCIDADES Y EQUILIBRIO DINÁMICO EN CURVAS**

Área Temática **Proyecto de Carreteras**

Autores **Alejandra Débora Fissore** – Ingeniera Civil UNSa

Florida 141 1º A

(4400) SALTA – Capital

(0387) 4319246

alejandra.fissore@gmail.com



Francisco Justo Sierra – Ingeniero Civil UBA

(1643) BECCAR – Buenos Aires

(011) 47471829

franjustierra@yahoo.com



ÍNDICE

RESUMEN

1 INTRODUCCIÓN

- 1.1 JOSEPH BARNETT 1897 – 1973
- 1.2 PLANTEO GENERAL DE LAS CUATRO MONOGRAFÍAS
- 1.3 VELOCIDADES Y EQUILIBRIO DINÁMICO EN CURVAS: GENERALIDADES
- 1.4 VIALIDAD ARGENTINA

2 DEFINICIONES DE VELOCIDAD

- 2.1 VELOCIDAD DIRECTRIZ, - DE PROYECTO, - ESPECÍFICA (ESPAÑA)
- 2.2 - MEDIA DE MARCHA
- 2.3 - DE OPERACIÓN
- 2.4 - DIRECTRIZ INFERIDA
- 2.5 - MÁXIMA SEGURA CRÍTICA

3 EQUILIBRIO DINÁMICO

4 CONDICIONES LÍMITES

- 4.1 PERALTE
- 4.2 FRICCIÓN TRANSVERSAL MÁXIMA
- 4.3 RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS

BIBLIOGRAFÍA

RESUMEN - 20025-RES

La velocidad directriz guía el diseño de elementos de los alineamientos horizontal y vertical según los principios físicos de equilibrio dinámico de un vehículo en movimiento curvo, y distancia visual de detención en curvas verticales, según modelos matemáticos racionales cuyos coeficientes se ajustan según resultados y observaciones de experiencias de campo que los investigadores realizan con actualizadas herramientas de medición de velocidad, desaceleración, distancia de frenado, fricción neumático-calzada, peralte, inclinación lateral del vehículo, medidas con riguroso control.

Para una dada velocidad directriz, teniendo en cuenta adecuados coeficientes de seguridad, en curvas horizontales, teóricamente el equilibrio dinámico se alcanza para una amplia gama de combinaciones de valores prácticos de radios, peraltes y fricciones.

Para analizar en profundidad las variables Velocidad, Radio, Peralte, Fricción Transversal y Longitud de transición, y para entender mejor cómo se relacionan, se plantearon cuatro monografías conexas y complementarias:

1) VELOCIDADES Y EQUILIBRIO DINÁMICO EN CURVAS

- 2) Distribución del peralte y fricción transversal
- 3) Velocidad directriz inferida y máxima segura crítica
- 4) Transición del peralte – Hidroplaneo

La primera trata los aspectos más generales del problema; definiciones, planteo físico y condiciones límites de velocidad, peralte, fricción transversal y radio.

La segunda analiza las situaciones intermedias; dada una determinada velocidad, un peralte máximo y una relación fricción transversal-velocidad, cómo distribuir el peralte para radios mayores al mínimo y cuál es la distribución resultante de la fricción transversal.

La tercera analiza el proceso inverso; para una curva con un determinado radio y peralte cuál es la velocidad directriz inferida (fricción lateral s/norma) y la velocidad máxima segura crítica (fricción lateral máxima)

La cuarta trata la transición del peralte y su efecto sobre la seguridad vial en relación con la posibilidad de hidroplaneo.

Se consideraron normas argentinas DNV 67/80 y ANDG 10 (no en vigor) y extranjeras AASHTO (EUA), 3.1 – IC Trazado (España) entre otras.

VELOCIDADES Y EQUILIBRIO DINÁMICO EN CURVAS

1 INTRODUCCIÓN

1.1 JOSEPH BARNETT 1897-1973

Época.

En los primeros días del automóvil, por las consecuencias de muertos y heridos graves en los choques a alta velocidad se establecieron límites de velocidad legales muy por debajo de las velocidades a las cuales la mayoría de los vehículos automotores eran capaces de alcanzar.



Las altas velocidades agravaron el polvo molesto y la destrucción de las superficies de macadán. Las caminos eran angostos, generalmente menos de 4.8 m de ancho, a menudo flanqueadas por zanjas profundas por lo que otros vehículos del mismo o distinto sentido solo pudieran pasar a baja velocidad. Los vehículos y especialmente sus neumáticos eran de fiabilidad incierta; los reventones y pérdidas de control de la dirección eran frecuentes, y desastrosos a velocidades superiores a 40 km/h. Todos estos factores cambiaron al aumentar los vehículos automotores y disminuir el tránsito de tracción animal. Los recubrimientos bituminosos resolvieron el problema del polvo y los vehículos y sus neumáticos se volvieron más fiables. Los conductores se sintieron más seguros y cómodos al aumentar su velocidad, y fueron capaces de ejercer suficiente presión política para que los límites de velocidad también aumentaran.



Con un tránsito más denso y velocidades más altas resultó peligroso conducir por el medio de la calzada, y los Estados de EUA comenzaron a pintar líneas centrales para canalizar el tránsito en los carriles. En 1918 el límite legal en Carolina del Sur fue de 25 km/h, 5 Estados tenían límites de 30 km/h; el límite de la mayoría de los Estados era de 40 a 50 km/h, y en Kansas de 65 km/h. Ocho Estados no tenían límite de velocidad. En 1928, sólo

Massachusetts todavía tenía un límite de 30 km/h, y en 32 Estados los límites eran de 55 a 65 km/h. En 1920, el condado de Marquette, Michigan, comenzó a pintar con cal líneas centrales blancas en las curvas, que duraban no más de un mes, pero eficaces para mantener a los conductores en su carril.

Alrededor de 1925 se expandió la práctica general de construir caminos de hormigón con una junta longitudinal para controlar el agrietamiento; la junta separaba los dos carriles de tránsito y servía como raya pintada.

Los carriles parecían angostos para la mayoría de los automovilistas, especialmente al adelantarse a los camiones.

Las líneas de carril también causaron que los camiones se acercaran a la banquina donde aumentaron las roturas de borde y esquinas de las losas de la calzada.

Para dar mayor seguridad y reducir los daños en los bordes, los departamentos de caminos estatales construyeron calzadas más anchas, y alineamientos más rectos. Estos mejoramientos, junto con los avances de la mecánica de los vehículos, como motores más potentes y frenos en las cuatro ruedas alentaron aún más las altas velocidades.



Después de 1918, el diseño vial siguió un vaivén de causa y efecto, lo que resultó en velocidades cada vez más altas y calzadas cada vez más amplias. Las fuerzas motivadoras fueron las preferencias de velocidad de conducción de la gran masa de los operadores de vehículos, y durante mucho tiempo las autoridades públicas no fueron capaces de imponer ni hacer cumplir los límites de velocidad que un gran número de conductores consideraba excesivamente baja.

En los años 1920 y 1930, el *diseño equilibrado* para la seguridad fue una buena práctica de ingeniería para trazar nuevos caminos, tanto como fuere posible en largas líneas rectas o “tangentes”. Cuando había que cambiar de dirección, el trazador introducía una curva circular, cuyo radio seleccionaba para adaptarse a la planta con el menor costo de construcción, pero que no podía ser inferior a un cierto mínimo fijado por la política del departamento vial. En la práctica, los trazadores diseñaron las curvas más abiertas que el mínimo cuando era más barato hacerlo, pero con poca o ninguna coherencia.

Biografía Abreviada

La creencia de que los caminos deben ser agradables a la vista y compatibles con el ambiente era una idea nueva cuando el Barnett se unió al *Bureau of Public Roads* en 1933. En el momento en que se retiró después de 33 años como Director Adjunto de Ingeniería, Barnett había hecho un buen diseño visual, un sello distintivo de los caminos americanos. Su dedicación al trabajo, su esforzado seguimiento de los principios de ingeniería y sus extensas y lúcidas publicaciones técnicas fueron claves en el desarrollo de las políticas viales actuales de EUA. Fue un pionero en la estandarización del diseño geométrico, propició un sistema de transporte equilibrado para eliminar la congestión del tránsito urbano, y desarrolló los principios de accesos controlados en la construcción moderna de caminos.

Barnett nació el 1 de enero de 1897, en Manhattan y asistió a escuelas públicas. A los 16 años recibió una beca para la Cooper Union Institute y se graduó en ingeniería civil a los 19. Después de servir un año bajo la bandera de guerra de la marina de los EUA, trabajó para empresas de consultoría en el campo del diseño estructural y construcción de edificios y en el área del diseño de tránsito urbano en la ciudad de Nueva York.

En 1925 trabajó para el condado de Westchester, donde participó en el desarrollo pionero de las primeras avenidas y autopistas de la zona metropolitana de Nueva York. Fue jefe de la División de Ingeniería de Diseño donde obtuvo una experiencia única en alineamiento fluido vial, servicios en avenidas, operación libre del tránsito y accesos viales controlados, que se convertirían en características claves en el diseño de los caminos de la red vial inter-estatal de los EUA de los años siguientes. El concepto de “diseño equilibrado” de Barnett se convirtió en una característica permanente de la política de diseño norteamericana.

En 1935 propuso que los nuevos caminos rurales se diseñaran según una “velocidad directriz asumida”, la cual debía ser la “máxima velocidad razonablemente uniforme, adoptada por el grupo de conductores más rápidos, una vez alejados de las áreas urbanas”. Los radios de curva, distancias visuales, peralte, pendientes, debían diseñarse en función de la velocidad directriz elegida, de modo que un conductor que viajara a esa velocidad no tendría que reducirla para completar cualquiera de las curvas o ascender cualquiera de las pendientes.

Durante la década de 1930 extendió la idea de *estandarización del diseño*. Primero puso orden en el diseño de los tipos de barreras y luego estableció normas para la adecuación y el uso de los tipos desarrollados subsecuentemente.

Organizó un estudio de ámbito nacional sobre peralte-radio-velocidad en las curvas de caminos existentes. Mediante el análisis de los datos se llegó a un nuevo estándar para diseñar el peralte en relación con la velocidad del vehículo y los factores de fricción.

Barnett elaboró un conjunto de prácticas tablas de diseño de la curva espiral, que podrían usar los ingenieros de campo con cálculos no más complicados que los requeridos para las curvas circulares.



La ADMINISTRACION GENERAL DE VIALIDAD NACIONAL, como norma general de proyecto, emplea peraltes máximos de 8 % en terrenos llanos y 10 % en terrenos muy quebrados. Para cumplir esta condición, en los casos que la Tabla I indique peraltes mayores, deberá adoptarse los máximos mencionados, previa verificación de que el radio elegido no sobrepase los valores mínimos dados en la Tabla XII.

Su manual de diseño, **Curvas de Transición de Caminos** se publicó en 1938. En 1941 la Administración General de Vialidad Nacional lo tradujo al español y lo convirtió al sistema métrico.

Barnett fue nombrado Secretario de la Comisión de Políticas de planificación y diseño de la AASHO desde su creación en 1937 hasta su retiro a finales de 1966. Este Comité influyó profundamente en el

diseño de caminos seguros y eficientes.

El alcance de la serie de normas AASHO, políticas y guías desarrolladas por el Comité da fe del liderazgo de Barnett y condiciones únicas para el innovador trabajo de desarrollo.

En conjunto, estos escritos mostraron sus atributos en varias formas: análisis del tema de estudio para derivar importantes principios de diseño; detalles y valores en una forma para uso directo de los proyectistas; textos claros, redactados con sencillez; buen juicio en los valores de control y la Guía Práctica; y asesoramiento para aplicaciones flexibles, pensadas para producir mejores diseños.

Completó cada tema por separado, adoptados y publicados por AASHO y aceptado por el *Bureau of Public Roads* para su uso en proyectos de autopistas de ayuda federal.

Los primeros siete folletos establecieron los conceptos de diseño del camino y se combinaron en una publicación de 1950 titulada *Políticas sobre Diseño Geométrica Vial*.

En expansiones posteriores de 1954 y 1965, con el título *Política sobre Diseño Geométrico de Caminos Rurales*, o **Libro Azul**, se puso en uso en programas viales de muchos países. En la vialidad argentina fueron fuente preferida del ingeniero Federico Rühle al redactar las normas de la DNV.

Una segunda obra importante producida en 1956 por el Comité fue Política de Diseño Geométrico de Caminos Arteriales Urbanos, el **Libro Rojo**.

Entre 1941 y 1943, Barnett dirigió un equipo especial de diseño de nuevos procesos operativos que rápidamente desarrolló planes de contrato para los principales caminos, intersecciones y estructuras necesarias para construir el edificio del Pentágono en Arlington, Virginia. Los caminos y puentes de todo el Pentágono fueron diseñados y construidos en menos de 2 años.

En febrero de 1950, Barnett se presentó al Premio Medalla de Plata del Departamento de Comercio por sus sobresalientes contribuciones al desarrollo de las vías urbanas, incluyendo el diseño de la red de caminos del Pentágono.

Después de completar esta tarea, se le dio la responsabilidad de establecer una ramificación de Caminos Urbanos para administrar la construcción de caminos en zonas urbanas según las disposiciones de la Ley Federal de Caminos con Ayuda Federal de 1944. Éste era un nuevo campo abierto en la medida en que la mayoría de los departamentos de caminos estatales sólo tenían programas rurales. Barnett encabezó la asistencia federal para establecer divisiones urbanas en el Estado y para asesorar sobre la planificación, ubicación y diseño de autovías urbanas y otras arterias.

En su posición clave Federal, Barnett también se ocupó en desarrollar y aplicar los principios de acceso controlado que había absorbido durante su experiencia en el condado de Westchester. Barnett hizo hincapié en el acceso controlado como una herramienta práctica para aliviar la congestión urbana en un momento en el que los atascos de tránsito en hora pico se estaban convirtiendo en una experiencia común de la ciudad.

En 1961 fue nombrado Director Adjunto de Ingeniería, un tomador de decisiones principal de la Política Federal de Ayuda relacionada con cuestiones de ingeniería. En 1963 recibió la Medalla de Oro al Servicio Federal Distinguido por parte del Departamento de Comercio.

A petición del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (Banco Mundial), dirigió una misión a Japón para estudiar e informar sobre la viabilidad de ampliar la autopista de Tokio Haneda a Yokohama.

Perteneció a la Sociedad de Ingeniería de honor Tau Beta Pi y fue un miembro activo de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles. Recibió la ASCE Arthur M. Premio Wellington en 1949.

Hasta su muerte en Eoslyn, Nueva York, el 30 de septiembre de 1973, predicó que el mejoramiento de los caminos puede y debe obtenerse mediante el diseño.

Su filosofía era que los principios y guías claras deben formularse; sin que su aplicación sea de memoria o rutinaria, sino por la adaptación reflexiva a las condiciones específicas.

"Un camino completo incorpora seguridad, utilidad, economía, y además belleza."

Joseph Barnett

1.2 PLANTEO GENERAL DE LAS CUATRO MONOGRAFÍAS

Las velocidades directrices guían los diseños de elementos de los alineamientos horizontal y vertical según los principios físicos de equilibrio dinámico de un vehículo en movimiento curvo, y distancias visuales de detención en las curvas verticales, según modelos matemáticos racionales cuyos coeficientes se ajustan según los resultados y observaciones de experiencias de campo que los investigadores realizan con actualizadas herramientas de medición de velocidad, desaceleraciones, distancias de frenado, fricciones neumático-calzada, peraltes, inclinaciones laterales del vehículo en medidas con riguroso control.

Además de los factores humanos de expectativas, reflejos, tiempos de reacción, género, edad, carácter y temperamento, educación, y clasificación funcional de los caminos, en función de la VD seleccionada el proyectista dimensiona y coordina los elementos curvos horizontales y verticales del camino teniendo siempre en consideración los previstos comportamiento de los conductores, y la eliminación de combinaciones que puedan violar sus expectativas. El proyectista debe comprender y adecuarse al sentir de los conductores; no debe pretender imponerles un comportamiento que violente, que sea contrario, a aquel que los conductores naturalmente tendrían en los diferentes escenarios del camino.

Para una dada velocidad directriz, teniendo en cuenta adecuados coeficientes de seguridad, en curvas horizontales, teóricamente el equilibrio dinámico se alcanza para una amplia gama de combinaciones de valores prácticos de radios, peraltes y fricciones.

Para analizar en profundidad las variables Velocidad, Radio, Peralte, Fricción Transversal y Longitud de transición, y para entender mejor cómo se relacionan, se plantearon cuatro monografías conexas y complementarias:

1) VELOCIDADES Y EQUILIBRIO DINÁMICO EN CURVAS

- 2) Distribución del peralte y fricción transversal
- 3) Velocidad directriz inferida y máxima segura crítica
- 4) Transición del peralte – Hidroplaneo

La primera de las cuatro es la que aquí se desarrolla. En ella se tratan los aspectos más generales del tema; definiciones, planteo físico y condiciones límites de velocidad, peralte, fricción transversal y radio.

La segunda analiza las situaciones intermedias; dada una determinada velocidad, un peralte máximo y una relación fricción transversal-velocidad, cómo distribuir el peralte para radios mayores al mínimo y cuál es la distribución resultante de la fricción transversal.

La tercera analiza el proceso inverso; para una curva con un determinado radio y peralte cuál es la velocidad directriz inferida (fricción lateral s/norma) y la velocidad máxima segura crítica (fricción lateral máxima)

La cuarta trata la transición del peralte y su efecto sobre la seguridad vial en relación con la posibilidad de hidroplaneo.

1.3 VELOCIDADES Y EQUILIBRIO DINÁMICO EN CURVAS: GENERALIDADES

En las curvas horizontales los elementos fijos son el radio y peralte, la velocidad se supone constante, y la fuerza reactiva de fricción lateral y longitudinal varía desde cero a máximos positivos o negativos, sobrepasado los cuales se produce el deslizamiento del vehículo. La separación de la fricción en sus componentes longitudinal (tangencial) y lateral (transversal) es un elemental artificio de cálculo que el proyectista debe considerar, dado que la variación de una componente significa la variación de la otra; por ejemplo, la distancia de detención no es igual en recta (fricción lateral nula) que en curva, donde la fricción longitudinal disminuye por la aparición de la componente lateral.

Las fuerzas de fricción crecen con el peso del vehículo y disminuyen con la velocidad, y dependen de las condiciones superficiales de calzada y neumáticos. En lugar de fuerzas se consideran aceleraciones y desaceleraciones.

Para una dada velocidad directriz, teniendo en cuenta adecuados coeficientes de seguridad, teóricamente el equilibrio dinámico se alcanza para una muy amplia gama de combinaciones de valores prácticos de radios, peraltes y fricciones, pero los accidentes frontales o por salida desde la calzada ocurren más para los radios menores. Es decir, el equilibrio dinámico no garantiza la seguridad del movimiento y el buen comportamiento de los conductores.

Para diseñar las curvas horizontales hay diversos métodos para combinar fricciones y peraltes. Mayoritariamente para caminos rurales se adopta una combinación tal que, a la velocidad de operación elegida por la mayoría de los conductores, la fricción lateral sea nula; teóricamente esto resultaría en mayor comodidad y seguridad del movimiento porque se supone que al elegirla los conductores tienen bien presente su seguridad y comodidad.

Tal velocidad suele ser la velocidad media de marcha $VMM = VO_{50}$ (velocidad de operación del 50º percentil) en flujo libre, o mejor, la velocidad de operación del 85º percentil VO_{85} de los vehículos en condiciones convenidas de flujo libre, sólo automóviles, calzada húmeda, buenas condiciones climáticas e iluminación.

Por razones prácticas el peralte se limita a determinados valores según el tipo de camino y zona rural o urbana, y clima (probabilidad de nieve o hielo en la calzada).

En la distribución del peralte de diseño, adoptando como velocidad de operación la elegida *democráticamente* por el x° percentil de los conductores, para fricción lateral nula, fijada una de las otras dos variables se determina la tercera.

El radio mínimo deseable es el correspondiente a la condición de peralte máximo (emáx), fricción lateral nula ($f_l=0$) y velocidad media de marcha ($VMM=VO_{50}$), o de operación (VO_{85}), u otra, deducida estadísticamente a partir de la velocidad directriz VD , según la norma que se trate. En el otro extremo, para radios decrecientes o curvatura creciente, para velocidad directriz, fricción lateral máxima admisible y peralte máximo está la condición crítica para **casos extremos**, como dice Rühle; se alcanza entonces el radio mínimo absoluto para la VD seleccionada. Sería algo así como la condición de tensión de rotura de una viga, que en algún **caso excepcional** el proyectista vial podría verse obligado a adoptar; por ejemplo, en virtud de restricciones topográficas /presupuestarias, previa 'excepción de diseño' aprobada.

Siguiendo las recomendaciones del Método 5 de AASHTO de distribución del peralte, las normas DNV67/80 de Rühle (no actualizadas en la versión DNV80) recomiendan distribuir el peralte para que a la velocidad media de marcha (VO50) la fricción lateral sea nula. Condición ideal que no se cumple en gran parte del rango práctico de radios; en efecto, al pretender una discutible *transición gradual* en el diagrama peralte y radio (o curvatura $1/R$ rad/m) para una dada VD, entre el enfoque cómodo y seguro y el caso extremo, en ambas normas se adoptaron distribuciones curvilíneas, tales que según cual sea el peralte máximo adoptado, para un determinado radio e igual velocidad directriz resultan peraltes diferentes.

Para un determinado radio, para peraltes máximos de 6, 8 y 10% (Tablas 3, 4 y 5 DNV67 se obtienen tres peraltes diferentes), como consecuencia de la transición hacia la condición crítica, condición que algunos proyectistas creen que tienen iguales condiciones de seguridad en todo el rango de radios; obviando tener en cuenta que a igualdad de equilibrio dinámico, por influencia del factor humano los accidentes en curva aumentan en frecuencia y gravedad al disminuir el radio (esto no ocurre en los ferrocarriles).

La peor situación ocurre con los proyectistas que usan sistemáticamente la condición crítica para diseñar sus curvas, por una pretendida razón de economía de movimiento de suelos; criticable proceder típico de quienes no tienen en cuenta los costos de los accidentes.

En la ANDG10 se limitan los radios al mínimo deseable con la condición de velocidad media de marcha y fricción nula.

Como dato extremo se indica el rango entre los radios mínimos absolutos (peralte máximo y fricción máxima) para excepcionales extremos, y los radios mínimos deseables (peralte máximo, fricción nula y la VO50 correspondiente según correlaciones estadísticas a la VD del proyecto.

Cuando se disponga de datos fidedignos, en la ANDG10 se recomienda cambiar VO50 por la VO85, como es práctica común en los países con grandes bases de datos de registros de velocidades de operación en caminos de diferente clasificación funcional y velocidades directrices, lo que les permite establecer correlaciones y modelos matemáticos, válidos para los caminos de las zonas desde donde provinieron los datos.

El problema inverso es inferir la velocidad directriz de una curva existente, de la cual se conoce el radio, el peralte, y la norma original de aplicación (forma de distribuir el peralte); es decir, obtener la velocidad directriz inferida, VDI.

1.4 VIALIDAD ARGENTINA

En la vialidad argentina, por malinterpretación de la letra y espíritu del artículo 51 c) y d) de la Ley 24449, sin sustento de estudios previos de ingeniería de tránsito ni de seguridad vial, desde mediados de los 90 todavía se padece un deletéreo divorcio entre los límites de velocidad máxima señalizados (130/120 km/h) en algunas llamadas autopistas y semiautopistas y sus velocidades directrices (110 y 100 km/h). Por ejemplo: RN9 Buenos Aires–Campana–Rosario, y RN8 Ramal Pilar, pródigas en accidentes mortales por errores de conducción, inducidos por defectos resultantes de la violación voluntaria de la ley, resoluciones, normas y reglas del arte.

La velocidad directriz de proyecto adoptada es de 110 km/h.
Los anchos de calzadas fueron adoptados en base a un ancho por carril de 3.50 m. Incluso los carriles de cambio de velocidad.
Los anchos de las banquetas exteriores pavimentadas son de 2.50 m y en los carriles con cambio de velocidad el ancho de la banquina es de 1.50 m.
Colectoras principales:
La velocidad de proyecto es de 80 km/h.
El radio mínimo de curvas horizontales se adoptó de 500 m.



2 DEFINICIONES DE VELOCIDAD

2.1 VELOCIDAD DIRECTRIZ, - DE PROYECTO, - ESPECÍFICA (ESPAÑA)

EUA - ARGENTINA

BARNETT: La **velocidad directriz** es la velocidad máxima razonablemente uniforme que podría ser adoptada por el grupo de conductores más veloces, una vez alejados de las zonas urbanas.

AASHTO: La **velocidad directriz** es la máxima velocidad segura que puede mantenerse sobre una sección específica de camino cuando las condiciones son tan favorables que gobiernan las características de diseño del camino. La velocidad directriz deber ser lógica respecto de la topografía, uso del suelo adyacente y clasificación funcional del camino. Deben hacerse esfuerzos para usar una velocidad directriz tan alta como fuere práctico como para alcanzar el deseado grado de seguridad, movilidad y eficiencia. Una vez seleccionada, todas las características viales pertinentes deben relacionarse con ella para obtener un diseño equilibrado. Deben usarse valores de diseño superiores al mínimo donde fuere posible. Algunas características, tales como curvatura, peralte y distancia visual están directamente relacionadas con ella y pueden variar apreciablemente. Otras características, tales como anchos de carriles y banquetas y separaciones a muros y barandas no están directamente relacionados con la velocidad directriz, pero afectan a la velocidad directriz. Donde se cambie la velocidad directriz cambiarán muchos elementos de diseño.

DNV 67/80/10: Referida a una sección de camino, la **velocidad directriz** es la máxima velocidad a la que puede circular con seguridad en todos sus puntos un conductor de habilidad media manejando un vehículo en condiciones mecánicas aceptables en una corriente de tránsito con volúmenes tan bajos que no influyan en la elección de su velocidad, cuando el estado del tiempo, de la calzada y de la visibilidad ambiente son favorables. Un camino de una velocidad directriz dada no podrá ser recorrido con seguridad a dicha velocidad cuando, por ejemplo, soplan vientos huracanados, cuando la calzada se encuentre resbaladiza por formación de hielo, o cuando, de noche, no se encuentra convenientemente iluminado. Es la velocidad que define los parámetros mínimos de diseño referidos a distancias visuales, y alineamientos horizontal o vertical. Otros elementos referidos a la sección transversal como el ancho de calzada, banquetas, medianas y zona despejada de peligros están íntimamente ligados a la velocidad directriz y pueden restringirla. De no preverse aumentos apreciables de costos es recomendable proyectar un camino para una velocidad directriz superior a la de su categoría, prolongando su vida útil.

FHWA: La **velocidad directriz** es la establecida como parte del proceso de diseño geométrico para un segmento específico del camino.

LEISCH: La **velocidad directriz** es una representante potencial de la velocidad de operación determinada por el diseño y la correlación de las características físicas (visibles, físicas) de un camino. Es indicativa de una velocidad máxima casi uniforme, o velocidad próxima a la máxima que un conductor podría mantener con seguridad sobre un camino en condiciones de tiempo ideales y con bajo tránsito (flujo libre) que sirve como índice o medida de la calidad del diseño geométrico vial.

MUTCD: La **velocidad directriz** es la velocidad determinada por el proyecto y la correlación de las características físicas de un camino que influyen en la operación del vehículo.

FAMBRO: La **velocidad directriz** es una velocidad seleccionada usada para determinar las características de diseño del camino.

La definición de Fambro fue adoptada por AASHTO a partir de su **Libro Verde** 2001 y por la FHWA. Tal como también define Rocci, se omite toda referencia a velocidad máxima segura, y a condiciones de tránsito (flujo libre), composición del tránsito (sólo automóviles), condición de la calzada (húmeda), tiempo (bueno), conductor (medio), vehículo (buen estado).

La definición actual tiene atisbos de círculo vicioso (la *velocidad directriz* es la *velocidad que se usa para diseñar*) porque los condicionantes y *coeficientes de seguridad* se incluyen en las definiciones de los elementos básicos de diseño que dependen de la velocidad directriz: distancia visual de detención (tiempo de percepción y reacción, fricción longitudinal, coeficiente de alturas) y equilibrio dinámico en curva (peralte máximo y mínimo, fricción lateral máxima en calzada húmeda, o fricción lateral nula para velocidad media de marcha o de operación para radios mayores que los mínimos absolutos, los cuales resultan para la situación crítica de peralte máximo y fricción transversal máxima). Si no se exceden demasiado los costos, unánimemente las normas internacionales recomiendan diseñar para velocidades directrices más altas, y se recomienda diseñar los elementos de los alineamientos horizontales y verticales (radios de curvas horizontales, distancias visuales, longitudes de curvas verticales) mayores que los mínimos resultantes para la velocidad directriz adoptada.

ESPAÑA

- específica

Sandro Rocci: En la práctica habitual, a cada elemento del diseño geométrico se le asocia una **velocidad específica**, cuya definición corresponde al percentil 85º de la distribución espacial de las velocidades (constantes) a las que se recorre ese elemento.

Norma 3.1 – IC: Velocidad específica de un elemento de trazado (V_e): Máxima velocidad que puede mantenerse a lo largo de un elemento de trazado considerado aisladamente, en condiciones de seguridad y comodidad, cuando encontrándose el pavimento húmedo y los neumáticos en buen estado, las condiciones meteorológicas, del tráfico y legales son tales que no imponen limitaciones a la velocidad. Se toma la fricción máxima según la Tabla 4.2.

- de proyecto (directriz)

Sandro Rocci: La **velocidad de proyecto** de un tramo es la menor de las velocidades específicas de los elementos que lo componen. En estas definiciones no interviene la velocidad máxima a la que se puede circular por imperativos legales (genéricos o específicos).

La simple observación de la realidad española indica que el 85º percentil de la distribución de las velocidades reales de una gran parte de la red vial es superior a la velocidad máxima legal en 10 – 15 km/h; y queda un 15% que rebasa aún más el límite.

Norma 3.1 – IC: La velocidad de proyecto de un tramo (V_p) es la velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado, en condiciones de comodidad y seguridad; se identifica con la **velocidad específica mínima** del conjunto de elementos que lo forman.

2.2 - MEDIA DE MARCHA

AASHTO: La **velocidad media de marcha** de todos los vehículos es la medida de la velocidad más adecuada para evaluar el nivel de servicio y los costos de usuarios de la vía. La velocidad media de marcha es la suma de las distancias recorridas por los vehículos en una sección de camino durante un periodo de tiempo especificado dividido por la suma de sus tiempos de ejecución.

La velocidad media de punto es la media aritmética de las velocidades de todo el tránsito, medido en un punto especificado sobre la calzada.

✚ AASHTO 94

Según AASHTO 94, la relación general entre la velocidad directriz y la VMM se encuentra influida por los distintos volúmenes de tránsito: cuando el volumen aumenta la VMM disminuye por la interferencia entre los vehículos.

Por regresión y mejor ajuste de los valores para bajo volumen de tránsito, Figura II-22 se obtuvo:

$$\begin{aligned} \text{VMM} &= V & V \leq 40 \text{ km/h} \\ \text{VMM} &= 1.782 V^{0.83758} & V > 40 \text{ km/h} \end{aligned}$$

✚ AASHTO 11

Por regresión y mejor ajuste de los valores tabulados en la Tabla 3-6, se obtuvo:

$$\begin{aligned} \text{VMM} &= V & V \leq 40 \text{ km/h} \\ \text{VMM} &= 1.8968 V^{0.82298} & V > 40 \text{ km/h} \end{aligned}$$

DNV 67/80/10: En condiciones de flujo libre, velocidad promedio. 50° percentil, de una corriente de tránsito computada como la longitud de un segmento de camino dividida por el tiempo promedio de viaje de los vehículos que atraviesan el segmento, en kilómetros por hora.

En condiciones de flujo libre, sumatoria de las distancias recorridas por todos los vehículos dividida por el tiempo de marcha. También referida como velocidad de espacio medio, en tanto que velocidad de tiempo medio es simplemente el promedio de las velocidades registradas.

✚ DNV 67/80

Para los valores tabulados en el Cuadro N° I-3, página 12, de la velocidad media de marcha VMM en función de la velocidad directriz VD, por regresión y mejor ajuste se obtuvo:

$$\text{VMM} = 1.035 \text{ VD} - \text{VD}^2/400$$

Así para VD = 30, 60, 90 y **120 km/h** se obtiene VMM = 29, 53, 73, **88 km/h** (redondeada), ajustados al Cuadro y al comentario de Rühle:

“Dado que los caminos que se proyectan en el presente (histórico 1967) deberán servir al tránsito futuro, se considera razonable adoptar como velocidad media de marcha 88 km/h cuando la velocidad directriz sea de 120 km/h”.

Estas premoniciones del ing. Rühle se basaron en el Cuadro N° I-2 sobre la evolución de la velocidad media de marcha entre 1948 y 1964 en los EUA, estudios en algunos caminos de la provincia de Buenos Aires, y estimación sobre la evolución del porcentaje de camiones hasta 30% en 1992.

ANDG 10

La actualización ANDG10 adoptó los valores de AASTHO 94 para bajo volumen de tránsito. Por regresión y mejor ajuste de los valores para bajo volumen de tránsito, Figura II-22 se obtuvo:

$$VMM = V \quad V \leq 40 \text{ km/h}$$

$$VMM = 1.782 V^{0.83758} \quad V > 40 \text{ km/h}$$

Para $VD = 30, 60, 90$ y **120** km/h se obtiene $VMM = 30, 55, 77, \mathbf{98}$ km/h.

2.3 - DE OPERACIÓN

ANDG10: Velocidad a la cual se observa que los conductores operan sus vehículos durante condiciones favorables de: flujo libre, clima, visibilidad y calzada húmeda. Se considera flujo libre cuando la separación entre los vehículos es de 5 segundos o más, para que sólo influyan sobre la elección de la velocidad la geometría del camino.

En tanto la velocidad directriz es teóricamente posible, la de operación es la observada en caminos existentes, y prevista para condiciones de proyecto similares a las existentes.

- **del 85º percentil:** Velocidad observada debajo de la cual viajan el 85 por ciento de los vehículos en condiciones de flujo libre.

2.4 - DIRECTRIZ INFERIDA

Los alineamientos horizontales (y verticales) se diseñan para una velocidad directriz designada (seleccionada) de acuerdo con las normas de diseño geométrico correspondientes.

El proceso inverso es tratar de inferir cuál fue la velocidad directriz seleccionada del proyecto geométrico de un camino existente, de cuyas curvas se conocen R y e por medición, y la norma de aplicación. Tal velocidad recibe el nombre de velocidad directriz inferida, VDI , que por definición, en un buen diseño debería ser igual a la VD designada (desconocida de otra forma).

2.5 - MÁXIMA SEGURA CRÍTICA

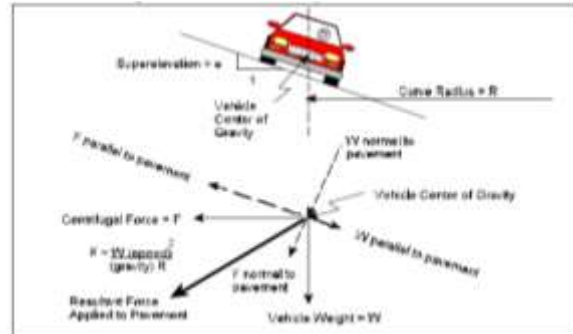
Un concepto distinto de la velocidad directriz (designada o inferida) es la velocidad máxima segura crítica o límite, $VMSC$, inferida a partir de los valores R y e medidos, para fricción lateral máxima. Se resuelve por iteración, dado que la fricción lateral máxima es función de la velocidad que se busca. Concepto similar al de **velocidad específica** de la norma española.

3 EQUILIBRIO DINÁMICO

El principal criterio de proyecto de una curva horizontal es la oposición a la fuerza centrífuga desarrollada cuando el vehículo se mueve en una trayectoria curva.

Las fuerzas que actúan sobre un vehículo circulando a velocidad V en una curva horizontal de radio R , con calzada inclinada respecto al plano horizontal, son:

- Fuerza centrífuga
- Fricción transversal
- Peso



El estudio del equilibrio dinámico conduce a la función:

$$\frac{v^2}{R} = (e + ft) g$$

$$\frac{V^2}{127R} = e + ft$$

- v: velocidad m/s
- V: velocidad km/h
- R: radio de la curva
- e: peralte de la curva ($e = \text{tangente } \beta$)
- ft: fricción transversal
- g: aceleración de la gravedad

El peralte y la fricción transversal se oponen a la sollicitación de la fuerza centrífuga.

PERALTE: Inclinación transversal de la calzada, tangente β . La inclinación hace que parte de la aceleración lateral actúe perpendicular a la calzada peraltada. Esto se siente como una fuerza hacia abajo (con respecto al vehículo) por parte de los ocupantes del vehículo.

FRICCIÓN TRANSVERSAL: Fuerza reactiva lateral o transversal entre los neumáticos y la superficie de la calzada mientras un vehículo recorre una curva horizontal, expresada como un coeficiente adimensional de la fuerza vertical impuesta por el peso del vehículo.

VELOCIDAD Y EQUILIBRIO:

Si la velocidad es equilibrada por el peralte, la fuerza lateral que actúa hacia el exterior sobre el vehículo será contrarrestada por las fuerzas que empujan al vehículo hacia abajo de la pendiente de la inclinación. El vehículo y sus ocupantes experimentarán una fuerza hacia abajo (perpendicular a la calzada) y el vehículo viajará alrededor de la curva con poca presión sobre el volante de dirección. Esta es una condición neutral o de equilibrio.

Si el vehículo se desplaza más rápido que la velocidad de equilibrio, la fuerza lateral resultante actúa hacia el exterior sobre el vehículo y sus ocupantes. A velocidades excesivas, el vehículo se desequilibra, y se deslizará o rodará afuera del camino.

Si la velocidad es inferior a la velocidad de equilibrio, el vehículo y sus ocupantes son empujados hacia adentro. Una inclinación extrema puede hacer que los vehículos muy pesados y lentos o detenidos vuelquen hacia el interior de la curva. Además, las condiciones de hielo pueden hacer que el vehículo se deslice hacia debajo de la inclinación, sobre todo cuando los neumáticos están girando para acelerar en una condición de tránsito *stop and go*.

4 CONDICIONES LÍMITES

4.1 PERALTE

Peralte máximo, emáx

Los factores que controlan los valores máximos de peralte son:

- Condiciones topográficas: llanura o montaña
- Condiciones climáticas: zonas de heladas y nevadas
- Condiciones de operación de los vehículos: zonas de bajas velocidades, intersecciones frecuentes, zonas suburbanas o urbanas

Donde la nieve y el hielo son un factor de control de diseño, el peralte no debe exceder el valor al cual un vehículo detenido o de baja velocidad se deslice hacia el centro de la curva con pavimento helado. La práctica de limitar el peralte en zonas frías, de modo que un vehículo detenido no se deslice si la calzada está cubierta de hielo es objetada por algunos proyectistas.

Se razona que contra la muy baja probabilidad de tal suceso (hielo + vehículo detenido) está la muy alta probabilidad de que los vehículos que entran en la curva con tal restricción del peralte puedan, aun a velocidades razonables, exceder el factor de fricción transversal, con la consecuente pérdida de control, situación obviamente más peligrosa.

Se considera que un enfoque más racional sería minimizar el riesgo de pérdida de control para el caso de la velocidad típica sobre una superficie congelada. Esta podría ser la velocidad promedio para los vehículos en operación sobre secciones rectas del camino con calzada congelada. El peralte sería calculado para absorber íntegramente la aceleración centrífuga correspondiente a la velocidad típica.

A velocidades más altas, el fenómeno de hidroplaneo parcial puede producirse en curvas con mal drenaje que permitan la acumulación de agua de lluvia en la superficie del pavimento. Por lo general el deslizamiento ocurre en las ruedas traseras, cuando el efecto lubricante de la película de agua reduce la fricción disponible lateral por debajo de la demanda de fricción para las curvas.

Cuando se viaja lentamente alrededor de una curva con peralte alto se desarrollan fuerzas laterales negativas y el vehículo sólo se mantiene en la trayectoria correcta cuando el conductor presiona el volante hacia arriba, en contra del sentido de la curva horizontal. Volantear en tal sentido le parece antinatural al conductor y puede explicar la dificultad de conducción en caminos donde el peralte supera al necesario como para viajar a velocidades normales. Estos peraltes altos no son deseables en los caminos de alto volumen, como en las zonas urbanas y suburbanas, donde hay numerosas ocasiones en que las velocidades de los vehículos deben reducirse sustancialmente por el volumen de tránsito u otras condiciones.

Algunos vehículos tienen centros de gravedad altos y algunos coches de pasajeros están suspendidos libremente sobre sus ejes. Cuando estos vehículos viajan lentos en pendientes transversales fuertes, los neumáticos cuesta abajo (interiores de la curva) llevan un alto porcentaje del peso del vehículo, y pueden volcar si esta condición se vuelve extrema.

Internacionalmente se aceptan peraltes máximos entre 4 y 12%. Esta limitación al valor máximo del peralte impide compensar sólo con peralte, toda la fuerza centrífuga. Es necesario recurrir a la fricción para impedir el deslizamiento lateral del vehículo hacia el exterior de la curva.

AASHTO

La consideración conjunta de los factores mencionados conduce a la conclusión de que ningún valor de peralte máximo sea universalmente aplicable. Sin embargo, en favor de la coherencia de diseño es deseable utilizar un solo tipo de peralte máximo en una región de similar clima y uso del suelo.

La coherencia de diseño representa la uniformidad del alineamiento y las asociadas dimensiones de elementos de diseño. La uniformidad permite a los conductores mejorar sus habilidades de percepción-reacción mediante el desarrollo de expectativas. Los elementos de diseño no uniformes para el mismo tipo de camino son contrarios a las expectativas del conductor y aumentan su carga de trabajo mental. Lógicamente, hay una inherente relación entre la coherencia del diseño, carga de trabajo del conductor, y frecuencia de choques, con diseños “coherentes” asociados con menores cargas de trabajo y choques.

Para caminos de uso común, el peralte mayor es 10%, aunque en algunos casos se utiliza 12%. Los peraltes mayores que 8% sólo se utilizan en zonas sin nieve y hielo. A pesar de que los peraltes más altos son ventajosos para quienes viajen a altas velocidades, la práctica actual considera que peraltes superiores al 12% están más allá de los límites prácticos.

Esta práctica reconoce los efectos combinados de los procesos de construcción, dificultades de mantenimiento, y operación de los vehículos a velocidades bajas.

Por lo tanto, un peralte de 12% parece representar un valor práctico máximo, donde no existan nieve y hielo. Un peralte de 12% puede utilizarse en caminos enripiados de bajo volumen para facilitar el drenaje transversal; sin embargo, tales peraltes pueden alentar velocidades más altas, que conduzcan a la formación de roderas y desplazamiento de ripio. Generalmente se reconoce 8% como un valor máximo razonable para el peralte.

Donde los factores de control sean la nieve y el hielo, las pruebas y experiencia muestran que un peralte máximo de 8% minimiza el deslizamiento de los vehículos a través de un camino al parar o intentar arrancar lentamente desde una posición de parada.

Donde la congestión del tránsito o el desarrollo marginal extensivo actúan para restringir las velocidades máximas, es práctica común utilizar un peralte máximo más bajo, generalmente de 4 a 6%. Del mismo modo -en las intersecciones importantes o de donde haya tendencia a conducir lentamente por los movimientos de giro y cruce, dispositivos de advertencia y semáforos- se usan peraltes máximos bajos o ningún peralte.

*En resumen, se recomienda que (1) al establecer los controles de diseño de las curvas deben reconocerse varios valores de peralte máximo en lugar de un único tipo, (2) no debe superarse un peralte de 12%, (3) un peralte máximo de 8% representa un peralte máximo lógico, independientemente de las condiciones de nieve o hielo, que tiende a reducir la probabilidad de que los conductores lentos experimenten fricción lateral negativa, lo que puede dar lugar a un esfuerzo excesivo sobre el volante de dirección, y a una operación errática, (3) un peralte de 4 o 6% es aplicable para diseño urbano en zonas con pocas limitaciones, y (4) el peralte puede omitirse en calles urbanas de baja velocidad con fuertes restricciones. Para tener en cuenta un amplio rango de práctica de los organismos viales, en este capítulo se presentan cinco peraltes máximos: **4, 6, 8, 10, y 12%.***

DNV 67/80 - ANDG 10

emáx	Condiciones en que se desarrolla la ruta
10%	En zonas rurales montañosas, con heladas o nevadas poco frecuentes
8%	En zonas rurales llanas, con heladas o nevadas poco frecuente
6%	En zonas próximas a las urbanas, con vehículos que operan a bajas velocidades, o en zonas rurales, llanas o montañosas, sujetas a heladas o nevadas frecuentes

NORMA 3.1 – IC

emáx	Tipo de camino
8%	Grupo 1: Autopistas, autovías, vías rápidas y carreteras C-100
7%	Grupo 2: Carreteras C-80, C-60 y C-40

Peralte mínimo: bombeo removido, BR

Para drenar lateralmente la superficie, se da a la calzada en curva una pendiente transversal mínima igual, en valor absoluto, a la de la calzada en recta. Para curvas de radios muy grandes, donde la aceleración centrífuga es muy baja (0.015), la sección curva se trata como recta (bombeo normal). Caso contrario, se *peralta* la sección curva con la pendiente transversal mínima, bombeo removido.

La pendiente mínima que se utiliza es aquella que permite un adecuado drenaje superficial en los límites tolerables para la operación segura del tránsito: 2% para caminos pavimentados y 3% para las superficies de grava.

4.2 FRICCIÓN TRANSVERSAL (LATERAL) MÁXIMA

La fricción permite tomar curvas, frenar y transmitir las fuerzas de aceleración desde los neumáticos hacia el pavimento. En lugar de utilizar el “coeficiente de fricción” de la dinámica, los ingenieros viales utilizan una relación de fuerzas laterales que el pavimento pueda resistir, comúnmente conocida como “factor de fricción”.

El factor de fricción para contrarrestar las fuerzas centrífugas se reduce en un vehículo al frenar (desaceleración) o acelerar. Por ejemplo, cuando la mayor parte de la fricción se usa para una detención de pánico, hay poca fricción disponible para tomar las curvas. Los sistemas de frenos antibloqueo (ABS) mejoraron mucho este aspecto.

El factor de fricción también depende de numerosas variables: velocidad, peso y suspensión del vehículo, estado de los neumáticos (desgaste, presión de inflado, temperatura, diseño del neumático (banda de rodadura, área de contacto, compuesto de goma, rigidez lateral), pavimento, y cualquier sustancia entre el neumático y pavimento.

Dado que el factor de fricción disminuye a medida que aumenta la velocidad, en el mundo se realizaron numerosos estudios para desarrollar factores de fricción para diferentes velocidades.

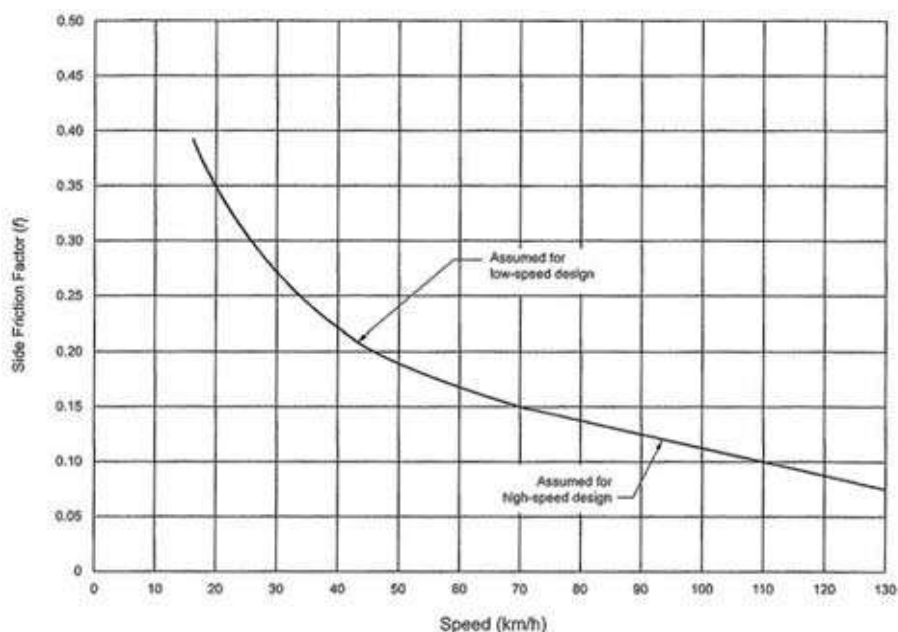
El factor de fricción disminuye sustancialmente cuando las ruedas giran más rápido o más lento que la velocidad del vehículo (por ejemplo, en un derrape los neumáticos giran cuando se trata de acelerar o parar en el hielo, y durante un recalentamiento o desgaste de dibujo).

El límite superior del factor de fricción lateral es el punto en el que el neumático empieza a patinar, lo que se conoce como punto de deslizamiento inminente. Debido a que las curvas viales se diseñan para que los vehículos puedan evitar el deslizamiento con un margen de seguridad, los valores f utilizados en el diseño deben ser sustancialmente menores que el coeficiente de fricción de deslizamiento inminente. El factor de fricción lateral en deslizamiento inminente depende, principalmente de la velocidad del vehículo, el tipo y condición de la superficie de la calzada, y el tipo y condición de los neumáticos del vehículo.

En el diseño geométrico a menudo se malinterpreta el uso de los factores de fricción límites o máximos; éstos no se determinan solamente como un asunto de física o ingeniería mecánica. Las maniobras de giro se vuelven más demandantes para los conductores a medida que aumenta la aceleración lateral desequilibrada (fricción lateral). Por ello se consideran los factores humanos al establecer los factores de diseño de la fricción lateral máxima.

Las curvas horizontales no deben diseñarse directamente sobre la base del máximo factor de fricción lateral disponible. Más bien, el factor de fricción lateral máxima utilizada en el diseño debe ser la parte de la fricción lateral máxima disponible que se puede utilizar con comodidad, y sin probabilidad de deslizamiento por la gran mayoría de los conductores. Los niveles de fricción lateral de pavimentos vidriosos, sangrados, o de otra forma carentes de razonables propiedades antideslizantes no deben controlar el diseño, porque tales condiciones son evitables, y el diseño geométrico debe basarse superficies de pavimento en condiciones aceptables, alcanzables a costo razonable.

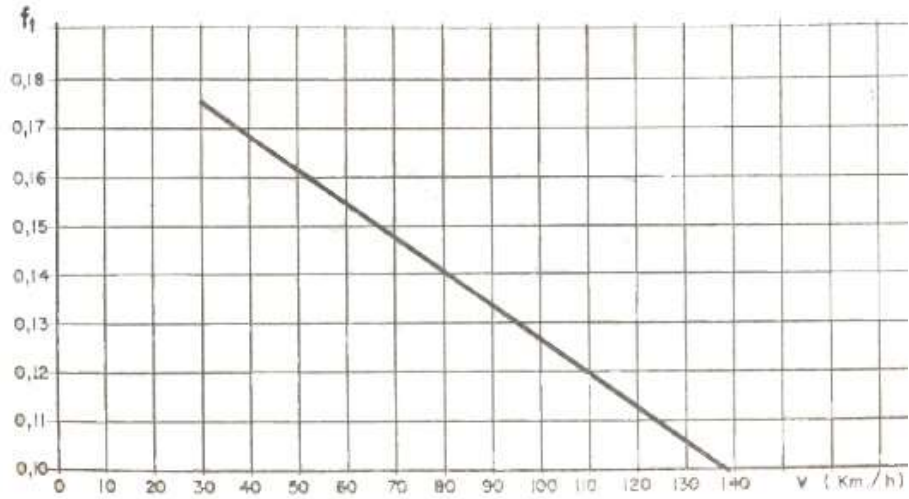
✚ AASHTO11



De ajuste: $f_{\text{máx}} = 0.8378 - 0.162 \ln V \text{ (km/h)}$ $V < 65 \text{ km/h}$
 $f_{\text{máx}} = 0.2403 - 0.0012 V \text{ (km/h)}$ $V \geq 65 \text{ km/h}$

DNV 67/80

Adopta la relación lineal decreciente: $f_{t\text{máx}} = (0.196 - 0.0007 V)$



ANDG10

Adopta los valores de AASHTO 1994. Por correlación y mejor ajuste de los valores de la Tabla III-6:

$$f_{t\text{máx}} = 0.188 - 3V/5000 \quad V \leq 80 \text{ km/h}$$

$$f_{t\text{máx}} = 0.24 - V/800 \quad V > 80 \text{ km/h}$$

NORMA 3.1 – IC

$$f_{t\text{máx}} = 0.2382 - 3V/2000 \quad V < 80 \text{ km/h}$$

$$f_{t\text{máx}} = 0.1926 - 9V/10000 \quad V \geq 80 \text{ km/h}$$

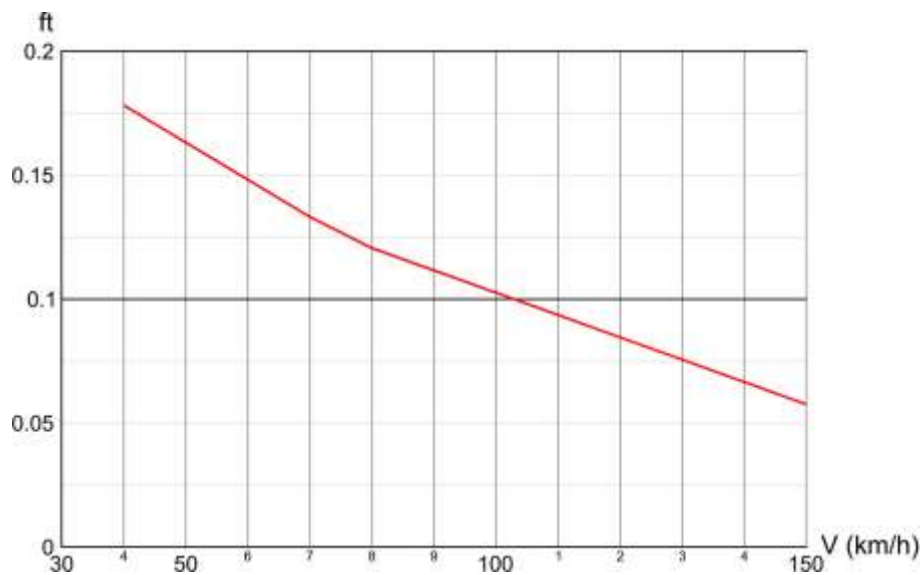
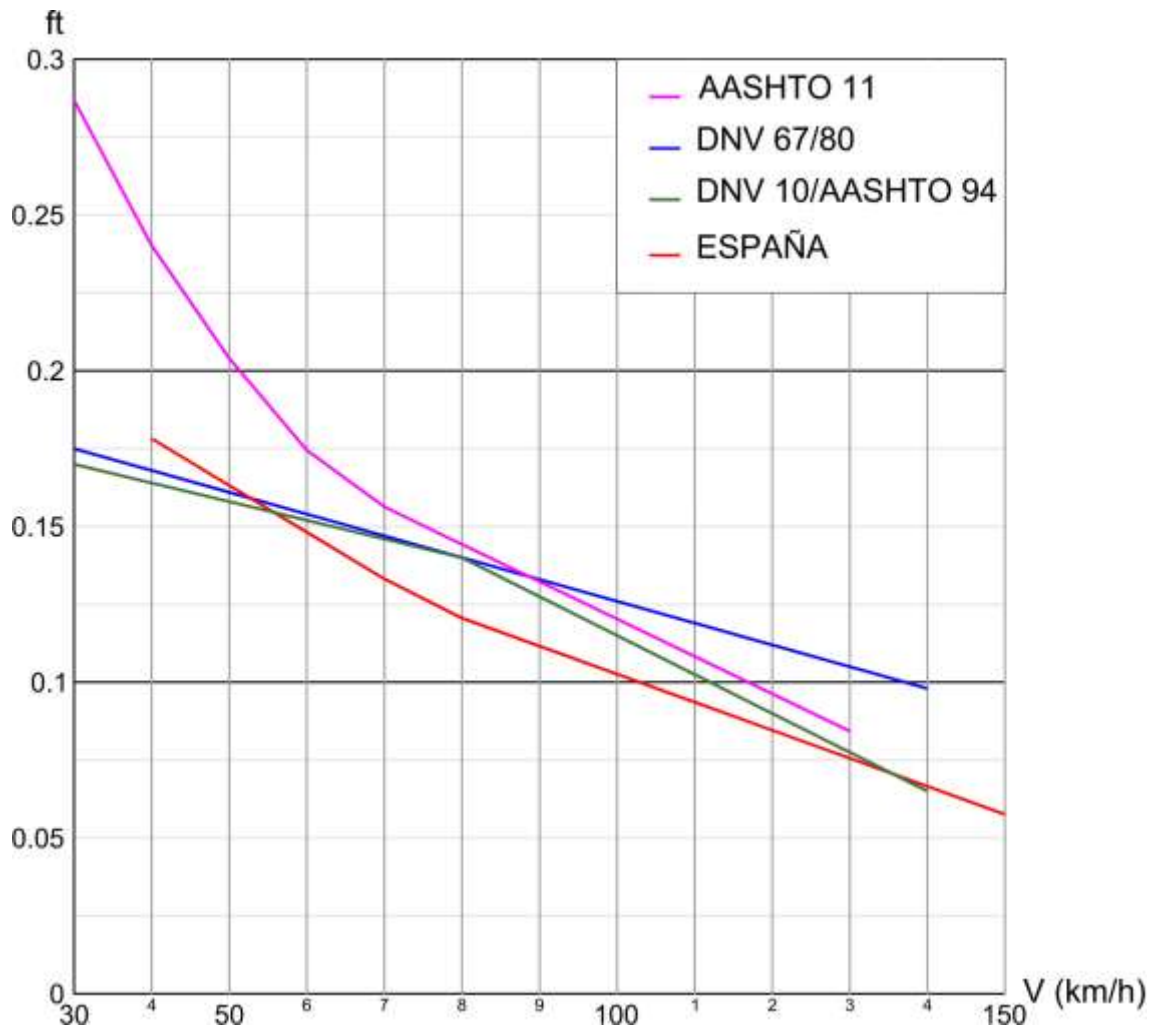


GRÁFICO COMPARATIVO



4.3 RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS

De la fórmula básica $\frac{V^2}{127R} = e + ft$ y para la Velocidad Directriz, $e_{m\acute{a}x}$ y $f_{m\acute{a}x}$, se obtienen los radios mínimos absolutos.

AASHTO11

El radio mínimo de curvatura se basa en un umbral de la comodidad del conductor, suficiente para dar un margen de seguridad contra el deslizamiento y el vuelco del vehículo. El radio mínimo de curvatura es también un valor de control importante para determinar los valores de peralte de las curvas más abiertas.

✚ DNV 67/80

También llamados mínimos admisibles en la Tabla N° 2

TABLA N°2													
RADIOS MÍNIMOS ADMISIBLES EN METROS PARA DIVERSAS VELOCIDADES DIRECTRICES Y PERALTES													
PERALTES	VELOCIDAD DIRECTRIZ EN KILOMETROS POR HORA												PERALTES
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	
%	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	%
-3	49	91	130	228	329	458	619	819	1069	1381	1772	2267	-3
-2	46	85	119	211	303	419	564	742	961	1231	1564	1976	-2
-1	43	80	110	197	281	387	518	678	873	1110	1399	1751	-1
0	40	75	102	184	262	360	479	624	800	1011	1266	1573	0
1	38	71	95	173	245	336	446	578	738	928	1156	1427	1
2	36	67	90	163	231	315	416	539	688	858	1063	1306	2
3	35	64	87	154	218	296	391	504	639	798	984	1204	3
4	33	60	83	146	206	280	368	474	599	745	917	1117	4
5	31	58	80	139	196	265	348	447	563	699	858	1042	5
6	30	55	77	132	186	252	330	423	532	658	806	976	6
7	29	53	75	126	177	240	308	401	504	622	759	918	7
8	28	51	72	121	170	229	299	382	478	590	718	866	8
9	27	49	70	116	162	219	286	364	455	561	682	819	9
10	26	47	68	111	156	210	273	348	435	534	648	779	10

✚ ANDG10

Para la velocidad directriz y peralte máximo dados, es el valor del radio correspondiente a la condición límite de seguridad contra el deslizamiento lateral: fricción transversal húmeda máxima.

En esta condición de radio mínimo absoluto, ningún conductor se sentirá cómodo o seguro al viajar a la velocidad directriz. Esta condición se reserva para casos excepcionales donde el proyectista tiene la obligación de eludir tanto como sea posible y práctico.

✚ NORMA 3.1 – IC

Radio mínimo	Tipo de camino
250	Grupo 1: Autopistas, autovías, vías rápidas y carreteras C-100
50	Grupo 2: Carreteras C-80, C-60 y C-40

8192 PALABRAS

BIBLIOGRAFÍA

- 1 **DNV 67/80**
Normas de diseño geométrico de caminos rurales
<https://goo.gl/YBjMFf>
- 2 **DNV ANDG10**
Actualización 2010 Normas y recomendaciones de diseño geométrico y seguridad vial – Instrucciones generales de estudios y proyectos A) Obras básicas
<http://goo.gl/fRq2nL>
- 3 **AASHTO**
2.1 Libro Verde 1994. 3a Edición
<https://goo.gl/OZFYXN>

2.2 Libro Verde 2011. 6a Edición
<http://goo.gl/dmRCLY>
- 4 **España. AEC**
Norma 3.1 – IC TRAZADO
<http://goo.gl/VmkITS>
<http://goo.gl/UqbB6Q>
- 5 **FHWA**
Conceptos de velocidad: Guía informativa. 2009. Pub. N° FHWA-SA-10-001
<https://goo.gl/zLIPRT>
<https://goo.gl/PbeZE4>
- 6 **TRB**
NCHRP SR 254. 1998 – Administración de la velocidad
<https://goo.gl/xhoXXm>

NCHRP Report 439. Métodos de distribuir el peralte y diseños de transiciones
<http://goo.gl/qzTvY9>
- 7 **NYS DOT**
Recomendaciones para diseñar el peralte según AASHTO
<https://goo.gl/4A1uTz>
- 8 **MUTCD**
Manual on Uniform Traffic Control Devices
<http://goo.gl/7hKVZW>
- 9 **Barnett, Joseph**
Curvas con transiciones para caminos. DNV 3ª Edición 1954
- 10 **Leisch – Neuman – Glennon**
Curvas de Caminos Rurales
<https://goo.gl/Lbxvk7>
- 11 **Fambro, Daniel B. y otros**
NCHRP Report 400 TRB Determinación de las distancias visuales de detención
<http://goo.gl/umU4kp>

- 12 Moreno, Eduardo Rosendo**
EICAM 2007. Distintos criterios para determinar el peralte
<https://goo.gl/fIZELi>
- 13 Sierra, Francisco J.**
EGIC DNV-UBA 1986. Trazado y Diseño Geométrico
<https://goo.gl/VbPT91>
- XII CAVyT 1997. Monografía. Comparación normas DNV 67/80 - AASHTO 1994 (Premio) Revista Carreteras
<https://goo.gl/6CNTGu>
- XIII CAVyT 2001. Monografía. La seguridad vial y las velocidades máximas señalizadas en las autopistas (Mención especial)
https://goo.gl/8wSXs5_004
- 14 BLOG FiSi**
Velocidad
<http://goo.gl/5QS1Dc>
- Ruediger Lamm
<http://goo.gl/Mkioyv>
- Simposio Diseño Geométrico Valencia 2010
<http://goo.gl/r2JWfv>
- Simposio Diseño Geométrico Vancouver 2015
<http://goo.gl/plrtnV>
- 15 Rocci, Sandro**
2003 Capacidad, trazado y sección transversal. Universidad Politécnica de Madrid
<https://goo.gl/7EHuxa>
- 2006 Revisión de los límites de velocidad en los caminos españoles. Asociación Técnica de Carreteras. España. Info AEC N° 108
<https://goo.gl/zsUpby>
- 16 Kanellaidis, George**
Diseño de peralte en curvas viales. 1995/99. Universidad de Atenas
<http://goo.gl/oc7lez>
- 17 Universidad Trieste**
Límites longitud curva de transición
<https://goo.gl/iSitCm>
- 18 Federal Highways Administration – US Department of Transportation**
America's Highways 1776-1976
<https://goo.gl/lmhJ8C>

INGENIERÍA DE SEGURIDAD VIAL



VELOCIDADES Y DISTRIBUCIÓN DEL PERALTE EN LAS CURVAS HORIZONTALES

