



**XVII CONGRESO ARGENTINO
DE VIALIDAD Y TRÁNSITO**

Trabajo Técnico: **TRANSICIÓN DEL PERALTE – HIDROPLANEО**

Área Temática **Seguridad Vial**

Autores **Francisco Justo Sierra - Ingeniero Civil UBA**

Avenida Centenario 1825 9A

(1643) BECCAR – Buenos Aires

(011) 47471829

franjustierra@yahoo.com



Alejandra Débora Fissore – Ingeniera Civil UNSa

Florida 141 1º A

(4400) SALTA – Capital

(0387) 4319246

alejandra.fissore@gmail.com



ÍNDICE

RESUMEN – 20037-RES

TRANSICIÓN DEL PERALTE – HIDROPLANEAO

1 PLANTEO GENERAL DE CUATRO MONOGRAFÍAS

A TRANSICIÓN DEL PERALTE

A1 TRANSICIONES DE LA CURVATURA – LA CLOTOIDE

A1.1 LONGITUD MÁXIMA DE LA CLOTOIDE

A1.2 MANEJO DEL CONDUCTOR SEGÚN LA LONGITUD DE LA CLOTOIDE

A1.3 LA CLOTOIDE SEGÚN NORMAS DE DISEÑO INTERNACIONALES

A1.4 LONGITUD MÍNIMA DE LA CLOTOIDE

A2 TRANSICIÓN DEL PERALTE

A3 RELACIÓN ENTRE DISEÑO Y SEGURIDAD SUSTANTIVA

A4 DISTRIBUCIÓN DEL PERALTE Y DISEÑO DE TRANSICIONES

A4.1 LIBRO VERDE DE AASHTO

A4.2 MÉTODOS EUROPEOS

B HIDROPLANEAO

B1 INTRODUCCIÓN

B2 CONDUCCIÓN SOBRE CALZADA HÚMEDA

B3 QUÉ ES EL HIDROPLANEAO

B3.1 INTRODUCCIÓN

B3.2 EL ROL DE LA CALZADA

B4 CONCLUSIONES

B4.1 ASPECTOS LEGALES

B5 ANEXO

B5.1 VIDEOS

B5.2 GRÁFICOS Y FOTOS

BIBLOGRAFÍA

RESUMEN – 20037-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 – HIDROPLANEО

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 hidroneo.

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

TRANSICIÓN DEL PERALTE – HIDROPLANEО

1 PLANTEO GENERAL DE 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 – HIDROPLANEО

La primera trata 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, que aquí se desarrolla, trata la transición del peralte y su efecto sobre la seguridad vial en relación con la posibilidad de hidroplaneo.

A TRANSICIÓN DEL PERALTE

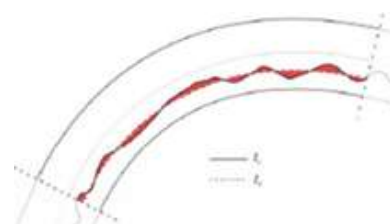
A1 TRANCIÓN DE LA CURVATURA – LA CLOTOIDE

La mayoría de las normas de diseño recomiendan usar la clotoide en el diseño de la transición. La requieren entre dos elementos con curvatura constante (recta o curva circular), independientemente del radio de la curva o de la categoría de camino. Usualmente, las ventajas relacionadas con el uso de la clotoide son un gradual incremento de la fuerza centrífuga, una conveniente disposición del peralte, y una apariencia estética satisfactoria. En general se usan tres criterios para definir los límites de la longitud de la espiral, los cuales conducen a un amplio rango de la longitud de la espiral dentro de la cual los proyectistas pueden elegir.



A1.1 LONGITUD MÁXIMA DE LA CLOTOIDE

Por razones estéticas y siguiendo la práctica alemana de Hanz Lorenz, se recomienda que el ángulo de desvío de la transición sea por lo menos de 3° , lo cual se traduce en una longitud aproximadamente igual a la décima parte del radio; $L \approx 0.1 R$. Para seguir largo trecho la variación lineal de la curvatura, a velocidad constante el conductor debería ejercer una presión sobre el volante de dirección de velocidad angular uniforme cual un movimiento analógico. La investigación del factor humano halló que aunque en flujo libre, el conductor acciona el volante con presiones discretas de unos dos segundos de duración, dado que además del volante debe atender otros controles tal como la velocidad, señales, vehículos de igual o distinto sentido, etc. de modo que la trayectoria real resulta zigzagueante, aún en rectas, arcos de circunferencia, curvas compuestas y en la clotoide. La carga mental del conductor para seguir estrictamente la trayectoria de una clotoide o una curva compuesta es mayor que para seguir trayectorias de curvatura constante, como la recta y arcos de circunferencia.



Las normas DNV 67/80 permiten curvas espirales muy largas sin ninguna advertencia acerca de las posibles consecuencias de su uso.

La práctica recomendada actual es limitar la longitud de clotoides tales que al recorrerlas a la velocidad directriz se tarde un tiempo del orden de los dos segundos. Por ejemplo, las longitudes de clotoide de 150 m para 130 km/h en la Chicana de Cañada de Gómez RN9 km 355 deberían haber sido del orden de la mitad, 80 m. Esto también aplica a la Chicana de Leones, RN9 km 459.5.

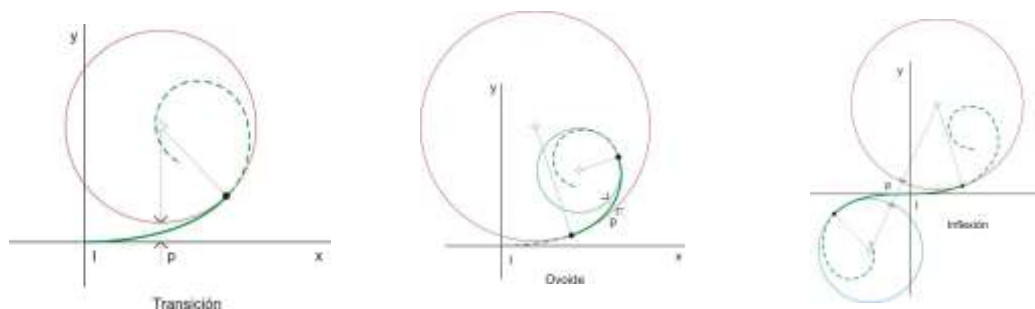
La elección de la longitud máxima de la clotoide en este rango asegura óptimas condiciones de operación a los conductores, al evitar problemas de percepción de curvatura y así mejorar la seguridad vial.

A1.2 MANEJO DEL CONDUCTOR SEGÚN LA LONGITUD DE LA CLOTOIDE

La longitud de la clotoide influye en el manejo del conductor porque afecta la percepción de la curva cuando es muy larga. En estos casos el conductor mira la primera parte de la curva -la cual tiene una curvatura media menor que el arco de curva circular siguiente-, y usa esta percepción errónea para decidir su acción de manejo.

Se estableció una conexión entre los despistes, choques y vuelcos y la excesiva variación de la curvatura a lo largo de la curva. Los resultados del análisis de trayectorias respalda el efecto negativo de una excesiva longitud de clotoide en el comportamiento de manejo del conductor. Si la clotoide es muy larga, el conductor maniobra a lo largo de la primera parte y luego, al final de la acción sobre el volante -que corresponde al tiempo de manejo- comienza a volanteear y corregir la velocidad en un intento por seguir la creciente curvatura. Estas correcciones y acción de frenado fuerzan al vehículo hacia afuera de la trayectoria planeada por el conductor. Lo dicho vale para las tres aplicaciones de la clotoide en un alineamiento horizontal: recta-circular (*transición*), y circular-circular, de circunferencias soporte interiores (*ovoide*) o exteriores (*inflexión*).

En estos temas conviene pensar en la recta como una circunferencia exterior de radio infinito. Así, la *transición* sería un caso singular de la ovoide, o de la inflexión.



A1.3 LA CLOTOIDE SEGÚN NORMAS DE DISEÑO INTERNACIONALES

La mayoría de las normas de diseño requieren o recomiendan usar la curva de transición, aunque hay una general falta de uniformidad en las condiciones de su uso y en los controles de su longitud.

La clotoide se caracteriza por una curvatura que crece linealmente a lo largo de la longitud de su arco. La clotoide es la curva que estudió y tabuló Joseph Barnett en los 40.

Usualmente, las normas definen los límites de la longitud de la clotoide según tres criterios:

- Comodidad
- Apariencia
- Pendiente relativa de borde

El criterio de comodidad del conductor procura proveer una longitud de clotoide que permita una gradual aplicación de la aceleración lateral mientras el vehículo entra en la curva.

El criterio de apariencia asegura que la percepción visual de la curva es correcta.

El criterio de pendiente define la longitud mínimo de clotoide basado en la limitación de la pendiente de borde del pavimento en relación con la pendiente del eje de rotación, dado que usualmente el peralte se alcanza a lo largo de la clotoide.

Los parámetros mínimos de clotoide permitidos por las normas suizas se calculan usando el criterio de comodidad, y recomiendan que la rotación del peralte se debe realizar usando la pendiente relativa máxima en los caminos rurales, para mejorar la percepción de la curva adelante.

La norma alemana recomienda usar una clotoide corta ($A=R/3$) si esta curva sigue a una recta u otra curva que tenga un radio mucho más grande; con esto se asegura una buena percepción de la curva

La norma francesa subraya que la clotoide debe ser corta para impedir la confusión de los conductores respecto de la agudeza de la inminente curva.

La norma del Reino Unido calcula la longitud de clotoide usando la ecuación del control de comodidad con una tasa de cambio de la aceleración lateral entre 0.3 m/s^3 y 0.6 m/s^3 .

Las guías australianas y norteamericanas aunque reconocen las ventajas de una curva de transición antes de una curva circular, no recomiendan usarla.

La guía australiana sugiere no usar una clotoide más larga que la longitud necesaria para alcanzar el peralte, especialmente en caminos con entorno de baja velocidad. La norma recomienda un retranqueo p de 0.5 m para curvas en caminos con un entorno de alta velocidad en terreno llano.

La guía de los EUA informa la ecuación de comodidad (sin el cambio en la pendiente transversal) usando una tasa de cambio en la aceleración lateral que varía de 0.3 m/s^3 a 0.9 m/s^3 , aunque la longitud resultante puede acortarse para tomar en cuenta el peralte. Además, la guía sugiere que la tasa de cambio de la aceleración lateral coherente con la comodidad del conductor es 1.2 m/s^3 . Para evitar la confusión del conductor acerca de la agudeza de la curva inminente, la norma recomienda que el retranqueo máximo entre la recta y el arco circular sea de 1 m. **Finalmente, la guía de los EUA introdujo una longitud deseable de clotoide que es del orden de la longitud recorrida a la velocidad de diseño en dos segundos -tiempo representativo de la natural maniobra de giro del volante de la mayoría de los conductores.**

La norma italiana requiere insertar la clotoide entre dos elementos geométricos con curvatura constante. Es decir, la clotoide debe usarse en todas las categorías rurales y urbanas de caminos. Además, la norma no fija al radio un límite superior, arriba del cual no pueda usarse la clotoide.

La actualización de la norma argentina ANDG 10 recomienda usar las transiciones en todas las curvas que requieran peralte; y limita la longitud máxima en función de la longitud mínima, $L_{\text{máx}} = 1.25 L_{\text{mín}}$.

Para la norma argentina DNV 67/80, las transiciones son innecesarias para $p \leq 0.1 \text{ m}$, de lo que resulta $R \approx V^2/10$ para radio R en metros y velocidad directriz V en km/h.

A1.4 LONGITUD MÍNIMA DE LA CLOTOIDE

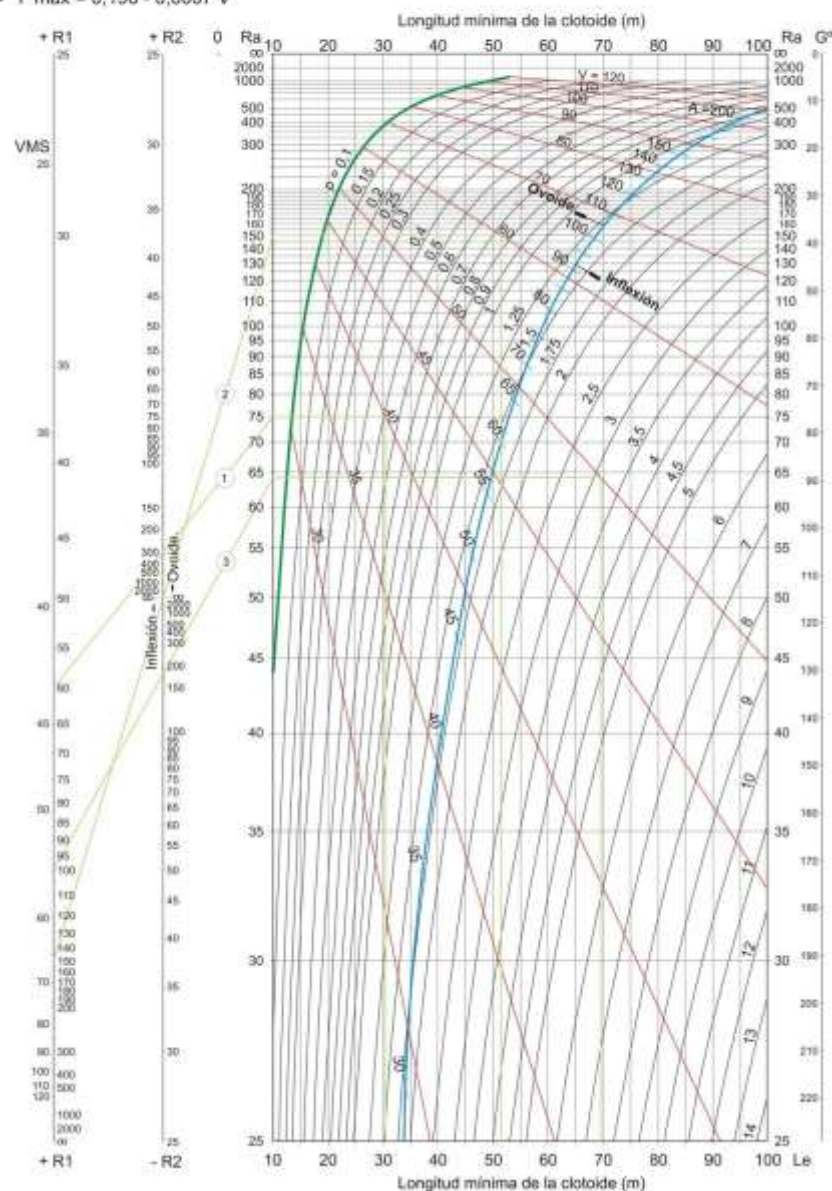
La longitud mínima de la clotoide se atiene al criterio de comodidad del conductor de aplicar gradualmente la aceleración centrífuga, del orden de 0.6 m/s^3 a la velocidad directriz, o 0.45 m/s^3 a la velocidad de operación o media de marcha.

El nomograma siguiente de fuente ANDG 10 es válido para la clotoide en sus tres aplicaciones, y según los datos e incógnita puede entrarse a él por varios puntos y ejes, como se explica con ejemplos en la ANDG 10, pág. 3.143 (<https://goo.gl/qP6T0U>) y lámina 12 del Atlas (<https://goo.gl/iwlciU>).

Longitud mínima de la clotoide

Datos básicos:

- $a = 0,6 \text{ m/s}^2$
- $p \geq 0,1 \text{ m}$
- $Le \geq 10 \text{ m}$
- $e_{\text{máx}} = 8\%$
- $f_{\text{máx}} = 0,196 - 0,0007 V$



A2 TRANSICIÓN DEL PERALTE

En las curvas de transición para Caminos de Joseph Barnett, traducidas y convertidas al sistema métrico por la DVN en 1941, se trata la ubicación de las transiciones de peralte en relación con curvas espirales de transición (clotoides) de entrada y salida a las curvas circulares: *"la curvatura comienza desde cero en TE [Tangente-Espiral], momento en el que la mitad exterior del pavimento debe ser horizontal para que en ningún punto de la curva la pendiente de la superficie hacia el exterior sea negativa. El peralte completo debe alcanzarse en el punto EC [Espiral-Curva] donde el radio de curvatura es el aquel para cual se diseñó el peralte". Es decir, se prescribe desarrollar el peralte sobre la longitud de la espiral, entre TE y EC.* Barnett recomienda una tasa de transición máxima de 1:150 (pendiente del borde de pavimento exterior con respecto a la rasante aplicada en el centro de la calzada) para una velocidad directriz asumida de 50 km/h; 1: 175 para 65 km/h; y 1: 200 para velocidades más altas.

El **Libro Azul** de AASHO 1954/65 adoptó los criterios de Barnett para desarrollar el peralte íntegramente sobre las espirales.

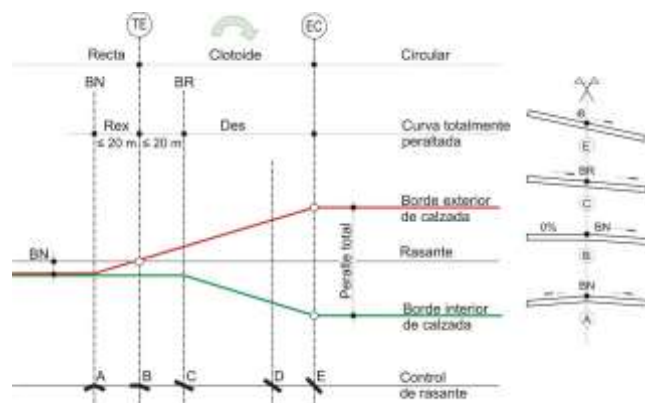
En la primera edición del **Libro Verde** de AASHTO 1984 se añadió que en las curvas simples sin transiciones *"la práctica del diseño actual es colocar aproximadamente dos tercios del desarrollo en la recta de aproximación y un tercio en la curva"*.

En ediciones posteriores AASHTO reconoce que para recorrer la longitud de la trayectoria espiral natural creada al entrar y salir de una curva circular simple, los conductores tardan de dos a cuatro segundos.

La actualización de la norma argentina ANDG 10, por razones prácticas y para obviar las consecuencias de la eventual aparición de fricciones laterales negativas al desarrollar parte del peralte en la recta, recomienda proyectar transiciones en toda curva que requiera peralte.

La Figura 3.20 de la ANDG 10, muestra cómo modificar el perfil de la sección transversal desde el BN (bombeo normal) en recta al perfil peraltado en curva EC, y viceversa.

<https://goo.gl/qP6T0U>



Toda curva que requiera peralte debe tener transiciones en la entrada y en la salida, para favorecer la variación de la curvatura en correspondencia con la variación del peralte y del sobreancho.

En general todas las guías requieren que el peralte desde 0% hasta el peralte final se obtenga a lo largo de la clotoide, mientras que el peralte inicial entre -2.5 y +2.5% se alcanza a lo largo de la recta (Rex). Sin embargo, no es un requerimiento absoluto; por razones de apariencia estética la clotoide puede ser más larga que el desarrollo del peralte.

La transición del peralte está compuesta de dos partes: el desarrollo en recta extendida (Rex o *runout*) y el desarrollo del peralte (Des o *runoff*)

Desarrollo en recta extendida (Rex): se refiere a la rotación del carril exterior desde el bombeo normal (A) hasta su posición horizontal (B).

Desarrollo del peralte (Des): se refiere a la rotación del carril exterior desde su posición horizontal (B) hasta revertir el bombeo (C) y desde allí la rotación de ambos carriles hasta el peralte total (E).

Para evitar problemas de drenaje, la longitud de los tramos con pendiente transversal menor que 2% se limita a 40 m.

Una profundidad de agua de 1,5 cm es suficiente para producir hidroplaneo; si los neumáticos estuvieran desgastados, una profundidad menor sería suficiente.

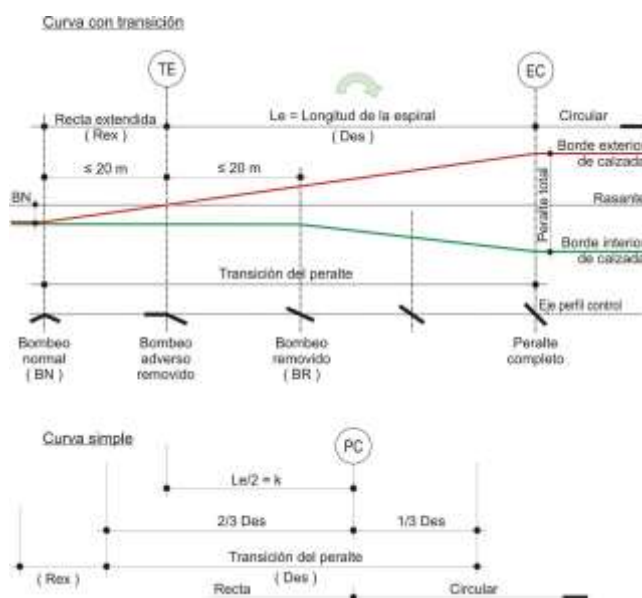
La pendiente del desarrollo en recta extendida (Rex) es igual que la del desarrollo del peralte (Des), siempre que se verifique que la longitud con pendiente transversal inferior a 2% no supera los 40 m. En caso contrario la transición del peralte se realiza según el diagrama de peralte de la lámina modelo incluida en el Atlas de la ANDG 10, (<https://goo.gl/iwlcIU>).

ANDG 10 – Métodos de transición del peralte, Subsección 3.3.5, pág. 3.30

En la sección 3.5.5 de la ANDG 10 (<https://goo.gl/qP6T0U>), los métodos de transición del peralte se distinguen según sea la línea elegida como eje de giro: eje central, borde interior, borde exterior. En la mayoría de los casos se emplea el giro del peralte alrededor del eje central. Restricciones tales como accesos a propiedad o drenaje en ambiente urbano pueden requerir la rotación alrededor del borde interior o exterior; en estos casos y cuando la rasante está aplicada en el eje de la calzada, estas opciones distorsionan la rasante de la línea central que se ve afectada por el peralte. Para evitar los cálculos de ajuste de la rasante, lo más práctico es trasladar el punto de aplicación de la rasante en toda la curva y hacia el borde elegido como eje de giro.

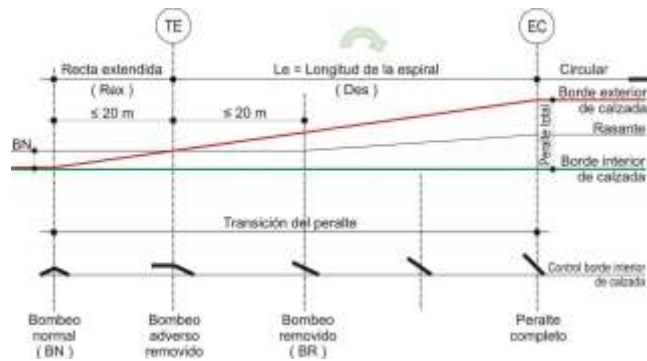
Alrededor del eje central

Generalmente para peraltar un camino de dos carriles se gira el pavimento alrededor de su eje central.



Alrededor del borde interior

Este método se utiliza como excepción en los casos en que el pavimento se encuentre a la altura mínima sobre las cunetas o napa freática, o la curva se encuentre en correspondencia con obras de arte con tapada mínima.



Alrededor del borde exterior

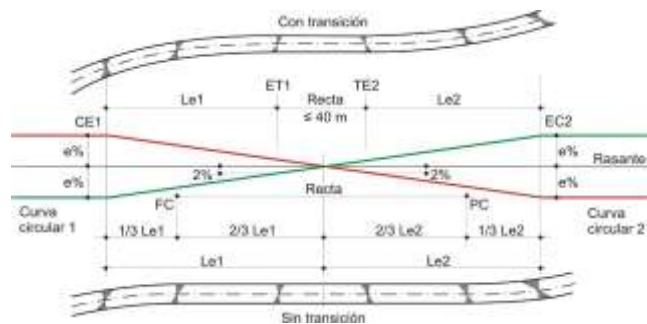
Este método se puede utilizar como excepción, cuando por razones estéticas no sea conveniente deformar el perfil externo, el cual es más notable para los conductores.



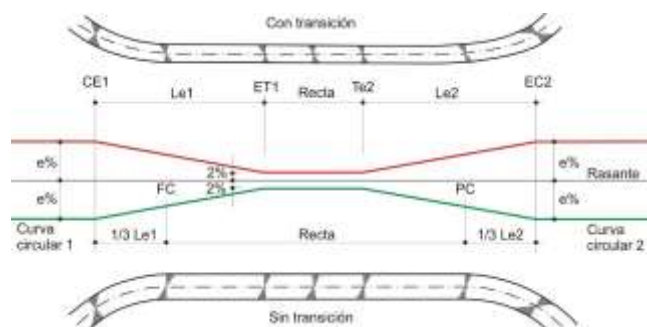
Casos especiales

Correspondientes para la transición del peralte en curvas reversas y espalda-quebrada.

En Curvas Reversas, conviene eliminar la pequeña recta intermedia.



En Curvas Espalda-Quebrada, en el tramo recto, por razones prácticas conviene mantener el bombeo removido (BR), en lugar del bombeo normal (BN)



A3 RELACIÓN ENTRE DISEÑO Y SEGURIDAD SUSTANTIVA

El proceso tradicional desarrollar un proyecto vial se basa en aplicar normas y criterios de diseño de las tres dimensiones de la calzada: sección transversal, y alineamientos horizontal y vertical. Los criterios de diseño se basan en las normas de diseño geométrico. La presunción de la mayoría es que estos criterios están relacionados directamente con la seguridad (seguridad nominal), lo cual no siempre es el caso, sobre todo con normas desactualizadas. Por ejemplo, el **Libro Verde** de AASHTO basa el diseño de las curvas horizontales en la *comodidad del conductor*; no en estudios basados en datos de seguridad de fondo.

El cálculo de la distancia visual de detención y longitud mínima de curvas verticales no se basa en la investigación de datos de choques, sino en el ejercicio de un modelo simple: conductor que ve un objeto en el camino y frena hasta detenerse antes.

Comprender la seguridad sustantiva basada en la seguridad vial y el beneficio de evaluar el diseño del proyecto en términos cuantificables basados en datos requiere conocer las relaciones entre las acciones del conductor, el medio ambiente, el tránsito, y otras características, y el efecto que estas relaciones pueden tener en la frecuencia y gravedad de los choques: muertos, heridos y daños materiales. Sin embargo, la mayoría de los criterios de diseño (alineamientos horizontal y vertical, y anchuras de carriles y banquetas) se establecieron hace años sin conocer los efectos de la geometría sobre los choques. Algunos criterios se perfeccionaron a lo largo de los años para incorporar la experiencia de choque o de análisis de riesgos. Hasta el reciente reconocimiento de la investigación y conocimiento sobre la seguridad de fondo cubierto en el Manual de Seguridad Vial de AASHTO (*Highway Safety Manual*), el avance más allá de estas aplicaciones limitadas fue difícil. Muy lentamente en la Argentina, este enfoque está cambiando.

A4 DISTRIBUCIÓN PERALTE Y DISEÑOS DE TRANSICIONES

A4.1 LIBRO VERDE DE AASHTO

En general, las normas y criterios acondicionar instalaciones viales se desarrollaron sin tener en cuenta los efectos de seguridad por los cambios en el elemento de diseño asociado. Muchas características viales afectan a la seguridad de la instalación.

Los conductores lentifican en las curvas horizontales cerradas. Desde el punto de vista del diseño de la curva, los proyectistas deben evitar las curvas tan cerradas que promuevan una significativa reducción de la velocidad de operación (más de 15 km/h). Sin embargo, para diseñar las curvas de radio mínimo, algunos investigadores hallaron que una reducción nominal de velocidad de 3 a 5 km/h provee un compromiso aceptable entre la comodidad del conductor y el tiempo de viaje; Lamm propone no más de 10 km/h.

Un análisis cinemático del movimiento lateral de un vehículo en la sección de transición del peralte indica que el diseño adecuado de esta sección puede minimizar o eliminar el desvío lateral.

Al diseñar la curva de transición recta-a-curva (clotoide), muchos organismos viales no mantienen una mínima transición de desarrollo del peralte igual a 2 segundos de tiempo de viaje a la velocidad directriz.

El Libro Verde no trata explícitamente el tema del drenaje de la superficie del pavimento en la sección de transición del peralte. El alabeo de la calzada en esta sección puede imponer varios problemas de drenaje; puede resultar en inadecuada pendiente longitudinal o lateral para propósitos de drenaje, que puede resultar en una significativa reducción de la provisión de fricción (hidroplaneo). El drenaje inadecuado en la sección de transición del peralte es particularmente peligroso porque durante la entrada en una curva aparecen demandas de fricción adicionales en la interfaz neumático-pavimento.

PERALTE

El peralte ayuda a aumentar la comodidad del conductor al contrarrestar la aceleración lateral experimentado como el vehículo atraviesa la curva. La velocidad máxima de peralte depende del clima, el contexto de la zona, y la frecuencia de vehículos lentos. Los estados del norte, donde la nieve y el hielo que prevalezcan condiciones, tienen tasas máximas de peralte de 6 a 8% para evitar la emisión de vehículos deslizante transversalmente cuando las condiciones climáticas son pobres y causar marcha lenta. **Para los estados donde la nieve o el hielo condiciones no son un problema, AASHTO da una guía de diseño para las tasas de peralte de hasta 12%.**

El peralte junto con curvatura horizontal tiene un efecto significativo en choques fuera del camino. El factor de fricción del pavimento también afecta todo terreno choques. En general, las curvas más planas tienden a ser más seguras. Sin embargo, el proyectista debe ser consciente de que con el mismo ángulo de desviación, la curva más plana será más larga. Además, todos estos factores tienen un efecto más grande cuando hay un alto porcentaje de camiones con un centro de gravedad alto.

Los caminos de alta velocidad requieren peralte en las curvas que dan la comodidad del conductor y la capacidad de controlar el vehículo. Las curvas cerradas en caminos con alto porcentaje de camiones pueden necesitar el ensanchamiento de los carriles a través de las curvas, para acomodar la salida de huella de los camiones. El diseño adecuado de los carriles en las curvas disminuye la frecuencia de choques atribuibles a vehículos que no pueden permanecer en sus carriles. La coherencia en el diseño es importante para evitar la violación de las expectativas del conductor. Las curvas cerradas después de rectas largas tienden a conducir a violaciones de las expectativas del conductor, con resultantes choques por despistes.

FRICCIÓN LATERAL MÁXIMA

Los conductores tienen demandas similares de fricción lateral cuando viajan por curvas de caminos y calles. Así, no parece justificarse el uso de factores separados de fricción lateral para diseñar curvas en calles urbanas de baja y alta velocidad.

Una significativa bajada del camino agota el abastecimiento de fricción disponible para cortar-la-curva.

A4.2 MÉTODOS EUROPEOS

Las distribuciones de peralte de Alemania, Francia y Reino Unido están representadas por relaciones lineales (o casi, como Alemania) entre el peralte y la curvatura. Esta tendencia es un fuerte contraste con la distribución parabólica asimétrica usada en el **Libro Verde**. La ventaja obvia de una relación lineal es la simplicidad de cálculo, en relación con la parábola.

B HIDROPLANEAO

B1 INTRODUCCIÓN

Aquí se trata el hidroplaneo en relación con el pobre drenaje de la calzada debido a pendiente transversal insuficiente, tanto en rectas como en curvas. Desde el punto de vista del diseño geométrico e ingeniería de seguridad vial, lo principal es reducir al máximo las pendientes transversales menores que 2%, y mejor 2.5% en zonas lluviosas y eliminar bordos de pocos centímetros sobresaliente por falta de mantenimiento, como es común bajo las barandas metálicas, a veces con postes empotrados en cordones sobresalientes unos cm del nivel de terreno, y otras veces inútiles, hasta sin objeto fijo o condición de riesgo detrás.

Regla Empírica del Doctor Ingeniero John Glennon:

Puede Esperarse el Hidroplaneo a Velocidades Superiores a los 70 km/h donde haya Charcos de Agua de 2.5 mm o más en una Longitud de Camino de 9 m o más.

B2 CONDUCCIÓN SOBRE CALZADA HÚMEDA

Las lluvias afectan negativamente la seguridad del tránsito vial, sobre todo en áreas de drenaje superficial insuficiente. El riesgo de hidroplaneo está influido principalmente por el espesor de la película de agua. Un parámetro igualmente importante para la incidencia hidroplaneo es la velocidad de operación.

Varias investigaciones mostraron que los usuarios reducen su velocidad durante las fuertes lluvias. **Hasta ahora, raramente los resultados se diferencian según tipo o intensidad de la precipitación.** La cuestión es en qué medida los usuarios reducen su velocidad en función de la intensidad de lluvia y si su velocidad cae por debajo de la velocidad necesaria para que se produzca el hidroplaneo.

La velocidad de hidroplaneo indica cuándo se debe esperar que los neumáticos pierdan tracción y naveguen sobre un colchón de agua en la calzada. Es posible determinar las velocidades de hidroplaneo en función de varios factores. Entre otros, el grado de deterioro depende del espesor de la película de agua sobre la calzada. Para la determinación del espesor de la película de agua sobre la calzada y de las velocidades de hidroplaneo se desarrollaron programas como el PLANUS (*Ressel, W.; Herrmann, S. (2006): 'PLANUS', Benutzerhandbuch. Universität Stuttgart*).

Diversas investigaciones de choques mostraron que **las condiciones de superficie de calzada húmeda llevan a un claro aumento del riesgo de choque, en comparación con una calzada seca. Esto es especialmente cierto para las secciones de desarrollo de peralte donde el valor del peralte pasa por cero.**

El **riesgo de choque** en condiciones de humedad en las secciones de desarrollo del peralte es **hasta cinco veces más alto** que en superficies secas.

Para reducir el riesgo de choques en las secciones de desarrollo de peralte en condición húmeda son necesarias medidas de ingeniería de diseño, de infraestructura o de tránsito; por ejemplos, pavimento drenante, ranurado, reconstrucción de la calzada... remedios costosos que el proyectista debe prever.

B3 QUÉ ES EL HIDROPLANEO

B3.1 INTRODUCCIÓN

El hidroplaneo (*aquaplaning, hydroplaning*) de los vehículos en la calzada es un fenómeno caracterizado por la pérdida completa de control direccional cuando un neumático se mueve lo suficientemente rápido como para cabalgar sobre una película de agua sin contactar el pavimento.



Cuanto mayor sea la velocidad del vehículo, mayor es el riesgo de hidroplaneo en condiciones de humedad. Si un neumático que rueda sobre la superficie húmeda a alta velocidad se está levantando y se desliza sobre una “cuña” de agua, respectivamente, si el neumático se separa de la superficie del camino por una película de agua cerrada esto se conoce como hidroplaneo.

Aunque es un fenómeno muy complejo, se sabe que su probabilidad de ocurrencia está asociada con varios factores del camino, ambiente, conductor y vehículo:

Factores viales

- Profundidad de huellas de rueda compactadas
- Microtextura de pavimento
- Macrotextura de pavimento
- Pendiente transversal pavimento
- Pendiente
- Ancho del pavimento
- Curvatura camino
- Depresiones longitudinales

Factores ambientales

- Intensidad de la lluvia
- Duración lluvia

Factores del conductor

- Velocidad
- Aceleración
- Frenado
- Dirección

Factores del vehículo

- Desgaste dibujo neumático
- Relación carga del neumático a presión de inflado
- Tipo de vehículo

El hidroplaneo crece con:

- Profundidad de Compactadas Huellas de Ruedas
- Deterioro de la Microtextura del Pavimento
- Deterioro de la Macrotextura del Pavimento
- Disminución de la Pendiente Transversal del Pavimento
- Velocidad del Vehículo
- Desgaste de la Banda de Rodadura del Neumático
- Relación entre Carga de Neumático y Presión de Inflado
- Intensidad de Lluvia
- Duración de Lluvia

Para cualquier conjunto de acciones del conductor y condiciones de los neumáticos, el hidroplaneo es una función del espesor de agua.

Además, la probabilidad de pérdida de control del vehículo por hidroplaneo crece según el grado del giro, la tasa de aceleración o desaceleración, el tipo de vehículo y la magnitud de los vientos cruzados.

Los choques viales que involucran hidroplaneo son más evidentes a medida que aumentan las *velocidades*, los *anchos de carriles pavimentados* y un mayor *desgaste del pavimento* por mayor tránsito y cargas más pesadas.



Un organismo vial interesado en minimizar la ocurrencia del fenómeno del hidroplaneo sólo puede ejercer un mínima control sobre el vehículo, conductor y factores ambientales. Sin embargo, puede identificar y corregir los lugares que demuestran una susceptibilidad al hidroplaneo; por ejemplo, fondo de las curvas verticales cóncavas y pavimentos con notable ahuellamiento donde se estanca el agua.

Donde se carezca de fondos para tales trabajos, en los lugares propensos al hidroplaneo deberían aplicarse contramedidas de bajo costo, tal como reducir los límites de velocidad y colocar señales de advertencia de la condición resbalosa de la calzada.

B3.2 EL ROL DE LA CALZADA

En los EUA, la comunidad de ingeniería vial mostró gran preocupación por el hidroplaneo en la década de 1960 y principios de 1970. Con límites de velocidad en todo el país de 70 km/h, y con calzadas más anchas en construcción, sobre todo en los caminos interestatales, los accidentes por hidroplaneo aumentaron dramáticamente. Como reacción parcial a estas tendencias, se iniciaron proyectos de investigación para estudiar el problema.



Algunos de los trabajos más significativos de hidroplaneo vial fueron obra de Bob M. Gallo-way y otros. En los EUA, los resultados de su investigación parecen haber sido pasados por alto en gran medida desde 1973, cuando los límites de velocidad en todo el país se redujeron a 80 km/h y el problema del hidroplaneo disminuyó. Ahora, con los límites de velocidad en todo el país de 110 km/h los accidentes aumentaron y las nuevas investigaciones reiteran las recomendaciones anteriores.

La falta de una adecuada pendiente transversal de la calzada parece desempeñar un papel importante cuando las condiciones viales son importantes en la creación de hidroplaneo. Por lo tanto, parecería útil examinar las normas de diseño de la pendiente transversal de calzada.

B4 CONCLUSIONES

Aunque AASHTO parece estar preocupado por el drenaje del pavimento, la preocupación no se expresa con fuerza, sobre todo en las especificaciones de la pendiente transversal donde se permite un mero 1,5% de pendiente transversal para pavimentos de tipo alto. Esta designación de alto tipo no está definida directamente por AASHTO, pero connota una adecuada pavimento de caminos de alta velocidad; una fuerte pavimento con tolerancias de construcción en la pendiente transversal. Pero obtener este tipo de pavimento puede ser algo así como un sueño imposible.

Sobre la base de los resultados de investigaciones recientes, y en consideración de las demasiado comunes irregularidades del pavimento (asentamientos, surcos de las ruedas, etc.) que parecen demasiado común, debería insistirse en la recomendación de pendiente transversal mínima de 2 a 2,5% para minimizar la propensión a hidroplaneo, especialmente para caminos de alta velocidad, y limitar la tangente extendida (*runout*) a no más de 20 m en la transición del peralte, y a cada lado de la CE-EC de las curvas reversas, como se recomienda en la ANDG 10, y en todas las normas internacionales actualizadas.

En los contratos de repavimentación, deberían escribirse especificaciones relativas a la pendiente transversal y deberían exigirse inspectores de pavimentación para asegurar que la pendiente transversal se construya según las especificaciones. Cuando una deficiencia de pendiente transversal existente pudiera crear dificultades para satisfacer el contrato según la oferta, entonces deben incluirse disposiciones especiales en el contrato para demoler o parchar esa sección para crear una razonable pendiente transversal de la capa subyacente. Cuando las deficiencias de pendiente transversal existente se encuentren durante la pavimentación, deben instituirse órdenes de cambio para corregir el problema.



B4.1 ASPECTOS LEGALES

A continuación se transcribe un extracto de sentencia sobre responsabilidades:

La Cámara Nacional Civil y Comercial de Junín imputó responsabilidad concurrente a la Dirección Provincial de Vialidad y a la Provincia de Buenos Aires por los daños producidos en el automotor del actor (a quien le impuso el 65% de responsabilidad por circulación a exceso de velocidad y con neumáticos lisos) en circunstancias de circular bajo la lluvia y estando bacheado profundamente la ruta, debido al efecto de “hidroplaneo”, en virtud de los defectos de construcción y/o conservación que permitían la formación de charcos de agua en el pavimento. También se le ordenó a la Dirección Provincial de Vialidad reparar la carpeta asfáltica de la ruta dentro del plazo de 180 días, y que dentro del plazo de 60 días se coloque en ambas manos, con una antelación de 1000 m, carteles indicadores sobre el peligro de hidroplaneo y la reducción de velocidad en días de lluvia.

B5 ANEXO

B5.1 VIDEOS

En qué consiste el aquaplaning y cómo evitarlo (TyreSafe) <http://goo.gl/ayasZl>

Aquaplaning - Alta velocidad sobre una superficie húmeda <https://youtu.be/zyU-8zIXb98>

Real aquaplaning <https://youtu.be/mERAaeCrj0E>

Semi Truck Vaporizes Aquaplaning Car https://youtu.be/01_44d3yiYo

Compilation - Hydroplaning #1 (Aquaplaning) https://youtu.be/AomH_P4hEm8

Compilation - Hydroplaning #2 (Aquaplaning) https://youtu.be/_0bhFDIjf34

Compilation - Hydroplaning #3 (Aquaplaning) <https://youtu.be/KZiPi97GNT4>

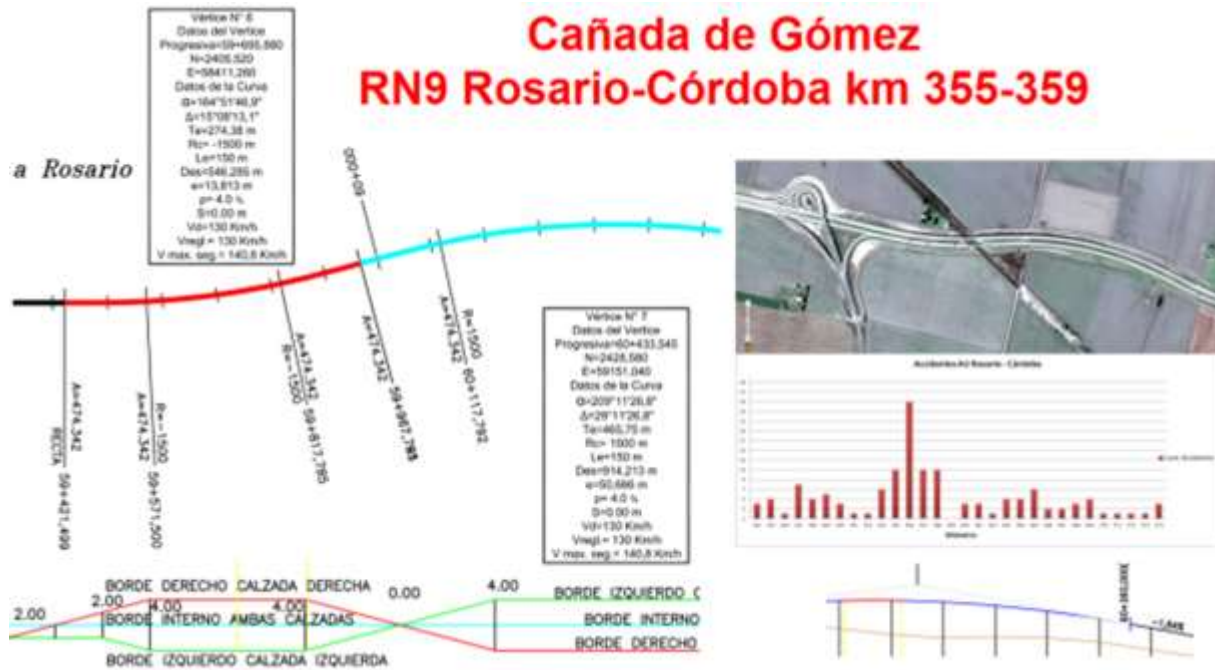
Compilation - Hydroplaning #4 (Aquaplaning) <https://youtu.be/7X2yU4ggdWU>

Compilation - Hydroplaning #5 (Aquaplaning) https://youtu.be/YP_5wWzCDvE

B5.2 GRÁFICOS Y FOTOS

El siguiente gráfico corresponde a la planialtimetría de la Chicana de Cañada de Gómez, RN9 km 355-359. Allí la ruta presenta una longitud de calzadas de 150 m con pendiente transversal < 2%. Condición que convendría verificar en las rectas, en otros Puntos Negros de concentración de choques por despistes registrados en rectas por los bomberos de la zona al acudir a llamados de emergencia; hasta 16 en un día por los bomberos de General Roca en el km 408, y en los km 324.5, 360, 361, 363, 365.5, 367 (2), 375, 379, 382 (2), 384, 385, 386, 388, 397, 409, 420, 434, 441, 463, 469, 486, 628, 689, por otros colegas zonales...<http://goo.gl/PSaZtO>, <https://goo.gl/n2chT6>, <http://goo.gl/2sNWFe>

Cañada de Gómez RN9 Rosario-Córdoba km 355-359



RN9 Rosario-Córdoba km 397



RN9 Rosario-Córdoba km 689



RN9 Rosario-Córdoba km 666



RN9 Rosario-Córdoba km 540

Los siguientes ejemplos corresponden a la RN14 km 101 y Puntos Negros de la RN9 Chicana del km 65 y Chicana Paso por Campana km 75.

Obsérvese el nulo/pobre drenaje superficial de la calzada por el reflejo de los charcos



RN9 Rosario – Córdoba km 408 – Punto negro



RN9 Córdoba Jesús María km 740



RN14 Rotatoria km 101 – 5 muertos + 17 heridos



RN9 km 75 Campana – Punto Negro



RN9 La Chicana del km 65.5 Sentido BA – Punto Negro



RN9 La Chicana del km 65.5 Sentido BA – Punto Negro

RN9 km 233 San Nicolás – Hidroplaneo – Banquina tierra – Taludes > 1:4





RN9 km 73.5 Campana



RN9 km 75 Campana – Punto Negro



RN9 km 80 Campana



RN9 km 68 Campana



RN12 Santa Ana Misiones



RN18 km 51 Entre Ríos

6347 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/VmklTS>
<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/flZELi>
- 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/oc7Iez>
- 17 Universidad Trieste**
Límites longitud curva de transición
<https://goo.gl/iSjtCm>
- 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

