

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES

PRACTICA SUPERVISADA

**COMPARACIÓN DE DISEÑO GEOMETRICO DE LAS NORMAS
DE VN'67/80 Y SU ACTUALIZACION 2010 PROPUESTA POR
LA EICAM.**

AUTOR: MARIO A CEMINO

TUTOR: ING. ALEJANDRO G BARUZZI

SUPEVISOR EXTERNO: ING. WALTHER A VIVANCO

2/8/2016

Indice

| | |
|--|----|
| RESUMEN | 3 |
| CAPITULO I | 4 |
| INTRODUCCION | 4 |
| CAPITULO II | 6 |
| ANTECEDENTES | 6 |
| CAPITULO III | 9 |
| DISEÑO GEOMETRICO | 9 |
| 3.1 DISTANCIA DE VISIBILIDAD | 9 |
| 3.2 DISEÑO DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL | 23 |
| 3.3 ALINEAMIENTO ALTIMÉTRICO | 43 |
| 3.4 SECCIÓN TRANSVERSAL | 52 |
| 3.5 SECCIÓN TRANSVERSAL DE PUENTES | 58 |
| 3.6 COORDINACION PLANIALTIMETRICA | 58 |
| 3.7 COHERENCIA DE DISEÑO | 68 |

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo establecer una comparación entre la normativa VN'67/80 y la AVN'10 en cuanto al diseño geométrico de carreteras.

Inicialmente se estudian los antecedentes teóricos existentes y se detallan los cambios generales que introduce la AVN'10 respecto de la organización de los capítulos y correspondencia entre ambas normas.

El capítulo III contiene el estudio comparativo del correspondiente capítulo III de la VN'67, donde se estudian los aspectos del diseño geométrico, incluyendo las distancias de visibilidad, diseño del alineamiento horizontal y diseño altimétrico.

También se estudian los cambios en cuanto a sección transversal y puentes.

Adicionalmente se incluye el tema de coordinación planialtimétrica y coherencia de diseño que se introducen como enfoques nuevos en la AVN'10.

Finalmente se incluye un ejemplo de aplicación comparando las velocidades Directriz inferida y máxima segura crítica para ambas normas, en un camino existente de la Provincia de Córdoba.

CAPITULO I

INTRODUCCION

Las carreteras con calzadas bidireccionales representan el mayor porcentaje de kilómetros dentro de la red vial Argentina y en un gran porcentaje fueron diseñadas teniendo en cuenta las recomendaciones de las normas VN'67 y sus modificaciones. Con el paso del tiempo se han modificado las prestaciones de los vehículos, dando por resultado mayores velocidades acompañados de una mejor respuesta al frenado. Dada la respuesta estática de la oferta, ante los cambios de la demanda, es necesaria una actualización de las recomendaciones de diseño. Por este motivo se produce la Actualización 2010 propuesta por la EICAM y supervisada por la Subgerencia de Estudios y Proyectos de la Dirección Nacional de Vialidad.

Las velocidades directrices guían el diseño de los elementos geométricos tanto planimétricos como altimétricos 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 experiencias de campo que los investigadores realizan con actualizadas herramientas de medición de velocidad, desaceleraciones, distancias de frenado, fricciones neumáticos-calzada, peraltes etc.

Además de los factores humanos de expectativas, reflejos, tiempo 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 del camino tanto horizontales como verticales.

El diseño tradicional se basa en las capacidades del vehículo de diseño, las leyes del movimiento de Newton y la velocidad directriz seleccionada considerando que el diseño es seguro si éste se apega a las normas y recomendaciones establecidas.

Los nuevos enfoques de diseño ponen en tela de juicio dichos criterios considerando que los diseños bajo normas no son necesariamente seguros y que el enfoque debe estar además, en aspectos ligados en el comportamiento de los conductores, seguridad vial e impacto ambiental.

Los diseños proyectados con las normas de VN'67/80 no implica que sean inseguros, el propósito de la Actualización es proporcionar diseños más satisfactorios de las obras nuevas, y de las reconstrucciones importantes.

La Actualización 2010 es el resultado de una profunda lectura y revisión de publicaciones de organismos viales de países líderes en seguridad vial y de una selección de los más importantes hallazgos habidos en la especialidad durante los últimos cincuenta años.

El objetivo de este trabajo es comparar el capítulo 3 (Diseño Geométrico) entre las Normas de DNV' 67/80 y su actualización VN'10 propuesta por la EICAM de la Universidad Nacional de San Juan, estableciendo las similitudes y diferencias a través de cuadros y gráficos comparativos en una primera instancia.

Como segunda parte se analizará un camino ya existente, realizando un relevamiento planimétrico de campo en distintos tramos de la ruta, considerando curvas horizontales con radios que varían desde los 30m hasta 350m.

Realizado el relevamiento se plantea la comparación de las normas, utilizando como variables la Velocidad Directriz Inferida y Velocidad Máxima Segura Crítica.

Por último se comparan las fricciones transversales máximas que surgen a través de la Velocidad Máxima Segura Crítica de ambas normas.

CAPITULO II

ANTECEDENTES

Las fuentes tomadas por la DNV para la creación de sus normativas se basan principalmente en las publicaciones de la AASTHO que datan desde el año 1954.

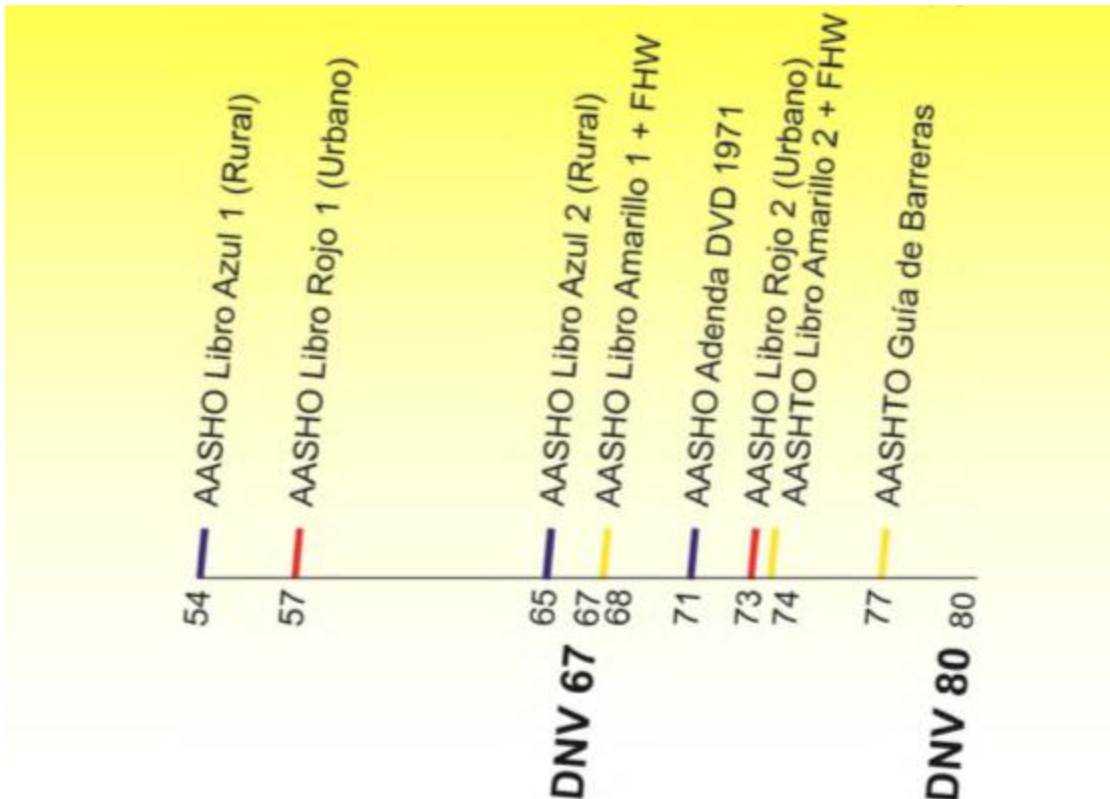


Ilustración 1: Antecedentes bibliográficos de 1954-1980

La primera norma Argentina fue la del 1967 del Ing. Ruhle que tenía por objetivo establecer los factores que influyen en el diseño, las características geométricas y criterios generales de diseño.

La primera actualización fue en 1980 donde se introdujeron fundamentos en cuanto a intersecciones a nivel, intercambiadores, elementos laterales, iluminación y obras de desagüe.

Desde 1980 a 2010 no se introdujeron cambios, si bien los criterios y normas de AASTHO sufrieron varias actualizaciones (1984-1990-1994-2001-2004).

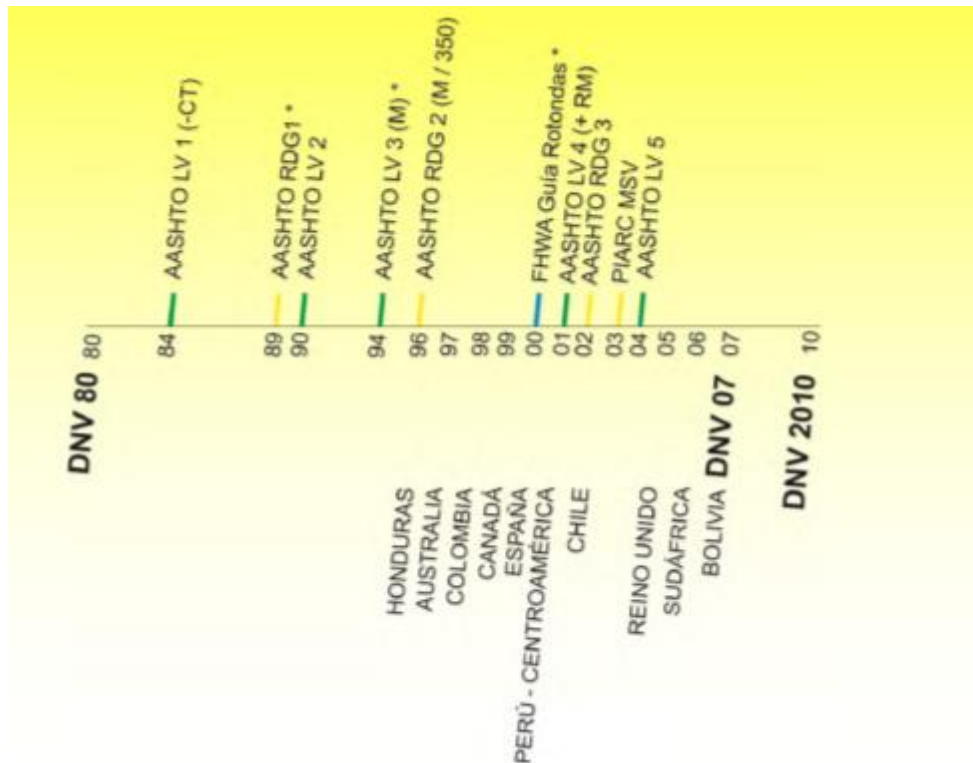


Ilustración 2: Antecedentes bibliográficos de 1980-2010

La norma de 2010 tiene por objetivo la actualización es que las modificaciones introducidas proporcionen diseños más satisfactorios de las obras nuevas, y de las reconstrucciones importantes de obras existentes.

Las premisas para su formulación fueron:

- Diseño de la plataforma: ajustar los coeficientes de los modelos matemáticos en uso, poner énfasis en la coordinación planialtimétrica y coherencia de diseño.
- Diseño de los costados del camino: incorporar los conceptos de zona despejada y justificación de los dispositivos de contención.
- Intersecciones a nivel y distribuidores: incluir las rotondas modernas y el distribuidor tipo diamante de punto único.
- Pasos urbanos: Evitarlos o excepcionalmente diseñarlos con aptos dispositivos de apaciguamiento-del-tránsito.
- Rentabilidad económica: tener en cuenta los beneficios económicos resultantes por la reducción de accidentes, beneficios medidos en menores costos de muertos, heridos y daños materiales.

- Enfoque conceptual (Ezra Hauer, 1999): Los caminos diseñados según las normas no son seguros, ni inseguros, ni apropiadamente seguros; sólo tienen un impremeditado nivel de seguridad. Sólo hay caminos más o menos seguros – Mito a desterrar: Sólo los conductores causan los accidentes, los caminos no. Con respecto a los capítulos, los cambios se resumen en la siguiente tabla.

| | DVN 2010 | NDGDNV 67/80 |
|-------------|--|--|
| CAPITULO 1 | Introducción | NUEVO |
| CAPITULO 2 | Controles de diseño | Cap. 1 Factores |
| CAPITULO 3 | Diseño geométrico | Cap 2 - 3 Geométricas, Criterios |
| CAPITULO 4 | Autopistas | NUEVO |
| CAPITULO 5 | Intersecciones | Cap. 4 Intersecciones |
| CAPITULO 6 | Distribuidores | Cap. 5 Distribuidores |
| CAPITULO 7 | Seguridad en la calzada y sus costados | Cap. 6 - 7 - 8 , dispositivos, iluminación desagüe |
| CAPITULO 8 | Diseños especiales | NUEVO |
| CAPITULO 9 | Trazado | NUEVO |
| CAPITULO 10 | Instrucciones Generales | NUEVO |

Tabla 1: Comparación de capítulos entre AVN'10 y DVN'67/80

CAPITULO III

DISEÑO GEOMETRICO

3.1 DISTANCIA DE VISIBILIDAD

Una de las características que más contribuye a la circulación segura, libre de sorpresas y de tensiones es contar con la debida visibilidad para poder anticipar cómodamente con las distintas maniobras a realizar.

Criterio fundamental en el diseño de caminos. Afecta a la operación de los vehículos y tiene un gran impacto en los costos de construcción.

Distancias mínimas visuales definidas en la AVN' 10:

- a) Distancia visual de detención (DVD)
- b) Distancia visual de adelantamiento (DVA)
- c) Distancia visual de decisión (DVDE)

3.1.1 DISTANCIA VISUAL DE DETENCION (DVD)

La ecuación que calcula la distancia visual de detención ha sido revisada. El primer término de la ecuación representa la distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción, mientras que la segunda, representa la distancia recorrida mientras se aplican los frenos hasta la detención total.

$$DVD = DPR + DF$$

$$DVD = \frac{V \times TPR}{3.6} + \frac{V^2}{254 \times (f_l \pm i)}$$

Donde: V es la velocidad directriz

f_l: coeficiente de fricción Longitudinal

i: valor absoluto de la pendiente

La AVN'10 adopta TPR de 2,5 seg según modelo de AASTHO.

La VN'67/80 adopta un TPR variable con la velocidad directriz.

| V (km/h) | TPR (s) |
|----------|---------|
| 30 | 2.9 |
| 40 | 2.8 |
| 50 | 2.7 |
| 60 | 2.6 |
| 70 | 2.5 |
| 80 | 2.4 |
| 90 | 2.3 |
| 100 | 2.2 |
| 110 | 2.1 |
| 120 | 2.0 |
| 130 | 2.0 |
| 140 | 2.0 |

Tabla 2: Tiempos de Percepción y Reacción AVN'10

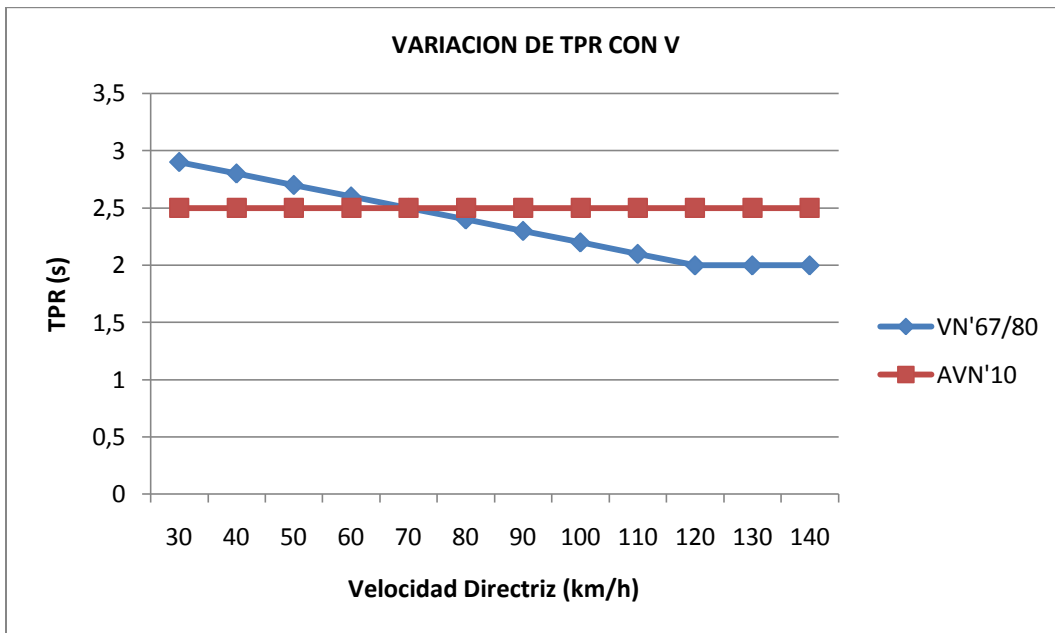


Gráfico 1: Comparación de TPR

Para el término de distancia de frenado el fl considera la fricción entre neumáticos y calzada, la resistencia del aire y la fricción por rodamientos e interna de motor y engranajes.

Hasta 1971 el criterio de AASTHO era considerar fricción longitudinal de pavimento húmedo y velocidad entre el 80 y 93% de la directriz. Se asumía que “no era realista suponer marchar a la velocidad directriz cuando los pavimentos estaban húmedos”.

La adenda de 1971 de AASTHO sobre la base de numerosos resultados de campo respecto de comportamientos de los conductores sobre calzada húmeda adopto el criterio de diseñar con el 100% de la velocidad directriz sobre pavimento húmedo.

De acuerdo al LV' 94, la AVN'10 adopta:

f_l = fricción húmeda, al 100 % de V.

La VN' 67/80 adopta:

f_l = Fricción longitudinal entre seca y húmeda, al 100 % de V.

En la tabla siguiente vemos los coeficientes en ambas normas.

| V (km/h) | VN'67/80 | | AVN'10 |
|----------|-----------------|----------------|-------------------|
| | f_l (seco) | f_l (húmedo) | f_l (húmedo) |
| 30 | 0.54 | 0.41 | 0.40 |
| 40 | 0.52 | 0.39 | 0.37 |
| 50 | 0.5 | 0.36 | 0.35 |
| 60 | 0.48 | 0.35 | 0.33 |
| 70 | 0.46 | 0.33 | 0.32 |
| 80 | 0.44 | 0.32 | 0.31 |
| 90 | 0.42 | 0.31 | 0.30 |
| 100 | 0.40 | 0.30 | 0.29 |
| 110 | 0.39 | 0.30 | 0.28 |
| 120 | 0.37 | 0.29 | 0.27 |
| 130 | 0.35 | 0.28 | 0.27 |
| 140 | 0.33 | 0.27 | 0.26 |

Tabla 3: Valores de fricción longitudinal f_l

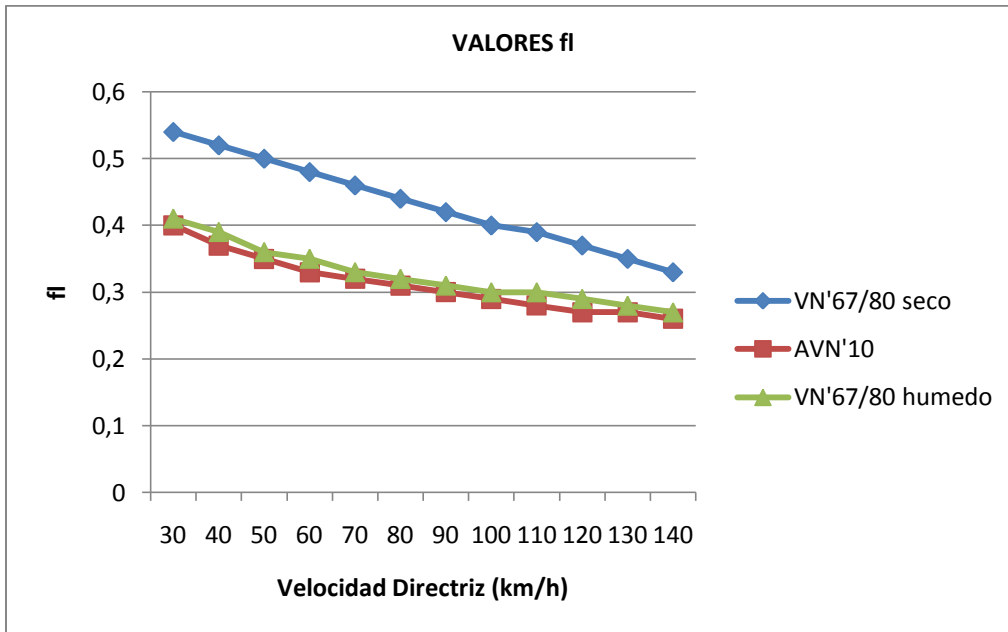


Gráfico 2: Comparación de coeficiente fricción longitudinal f_l

Se observa que los valores de f_l húmedo para la AVN'10 húmedo son menores que lo adoptados por la VN'67 húmedo, lo cual arrojaría resultado de DF mayores. Pero se debe considerar que el valor de TPR adopta por VN'67/80 para pavimentos húmedos, se reduce en 0.3 segundos ya que se asume que los conductores van más concentrados y atentos en clima desfavorable. Considerando pendiente cero, en la tabla siguiente se calculan los valores de DVD en ambas normas.

| VN'67/80 | | | | | |
|----------|--------------|-------------|---------|--------|---------|
| V (km/h) | TRP (humedo) | fl (humedo) | DPR (m) | DF (m) | DVD (m) |
| 30 | 2.6 | 0.41 | 21.67 | 8.64 | 30.31 |
| 40 | 2.5 | 0.39 | 27.78 | 16.15 | 43.93 |
| 50 | 2.4 | 0.36 | 33.33 | 27.34 | 60.67 |
| 60 | 2.3 | 0.35 | 38.33 | 40.49 | 78.83 |
| 70 | 2.2 | 0.33 | 42.78 | 58.46 | 101.24 |
| 80 | 2.1 | 0.32 | 46.67 | 78.74 | 125.41 |
| 90 | 2.0 | 0.31 | 50.00 | 102.87 | 152.87 |
| 100 | 1.9 | 0.30 | 52.78 | 131.23 | 184.01 |
| 110 | 1.9 | 0.30 | 58.06 | 158.79 | 216.85 |
| 120 | 1.7 | 0.29 | 56.67 | 195.49 | 252.16 |
| 130 | 1.7 | 0.28 | 61.39 | 237.63 | 299.02 |
| 140 | 1.7 | 0.27 | 66.11 | 285.80 | 351.91 |

Tabla 4: Valores de DVD para VN'67/80

| AVN'10 | | | | | |
|----------|-----|-------------|------------|-----------|------------|
| V (km/h) | TRP | fl (humedo) | DPR (km/h) | DF (km/h) | DVD (km/h) |
| 30 | 2.5 | 0.4 | 20.83 | 8.86 | 29.69 |
| 40 | 2.5 | 0.37 | 27.78 | 17.02 | 44.80 |
| 50 | 2.5 | 0.35 | 34.72 | 28.12 | 62.84 |
| 60 | 2.5 | 0.33 | 41.67 | 42.95 | 84.62 |
| 70 | 2.5 | 0.32 | 48.61 | 60.29 | 108.90 |
| 80 | 2.5 | 0.31 | 55.56 | 81.28 | 136.84 |
| 90 | 2.5 | 0.3 | 62.50 | 106.30 | 168.80 |
| 100 | 2.5 | 0.29 | 69.44 | 135.76 | 205.20 |
| 110 | 2.5 | 0.28 | 76.39 | 170.13 | 246.52 |
| 120 | 2.5 | 0.27 | 83.33 | 209.97 | 293.31 |
| 130 | 2.5 | 0.27 | 90.28 | 246.43 | 336.71 |
| 140 | 2.5 | 0.26 | 97.22 | 296.79 | 394.01 |

Tabla 5: Valores de DVD para AVN'10

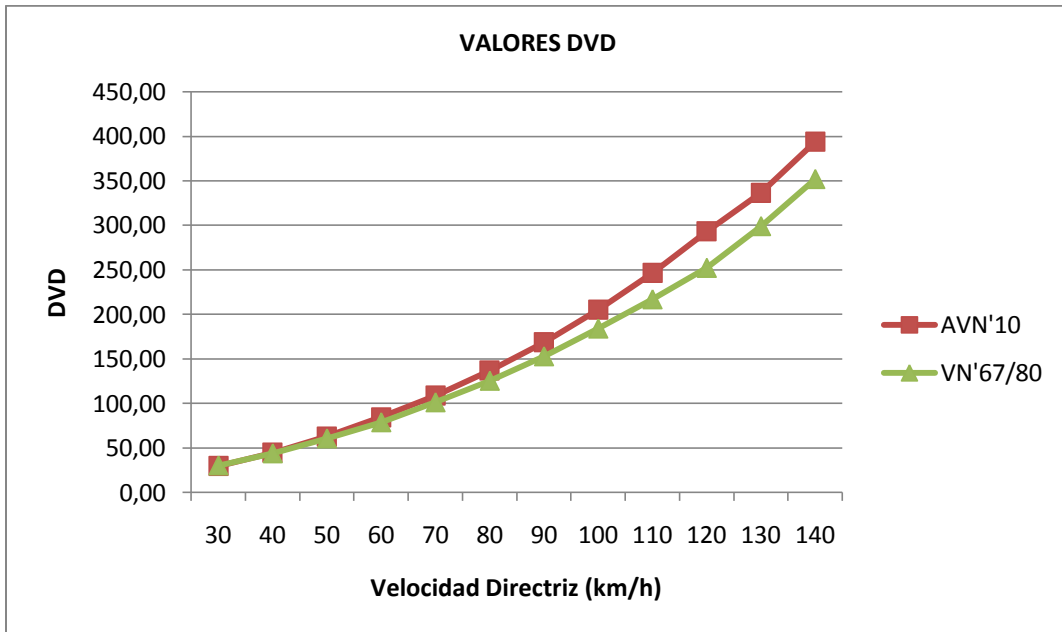


Gráfico 3: Comparación de valores de DVD

La AVN'10 da valores de DVD mayores, siendo para velocidad los valores prácticamente los mismos, y aumentando la diferencia con el aumento de velocidad directriz.

Si hacemos la relación entre DVD de ambas normas observamos que el porcentaje de variación responde a una curva de tendencia polinómica.

| V (km/h) | % de Variación |
|----------|----------------|
| 30 | 0.98 |
| 40 | 1.02 |
| 50 | 1.04 |
| 60 | 1.07 |
| 70 | 1.08 |
| 80 | 1.09 |
| 90 | 1.10 |
| 100 | 1.12 |
| 110 | 1.14 |
| 120 | 1.16 |
| 130 | 1.13 |
| 140 | 1.12 |

Tabla 6: Variación entre normas de DVD

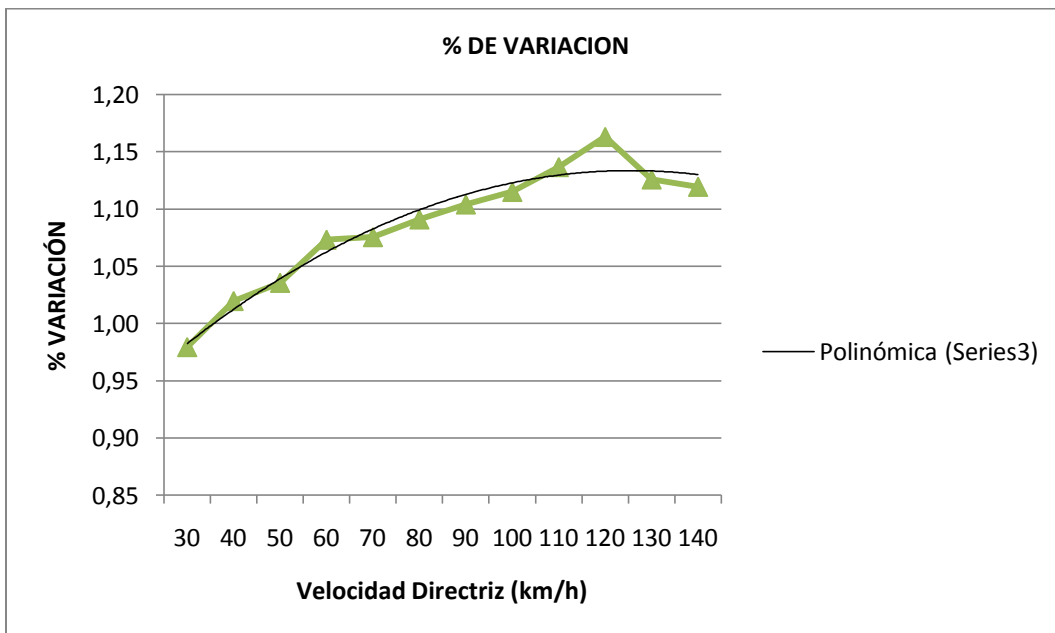


Gráfico 4: Gráfico de variación de DVD

En cuanto a la pendiente, en la tabla de la AVN'10 se indican las distintas DVD para distintas V y pendiente nula. Para pendientes positivas (subidas) la DVD de pendiente nula se multiplica por los coeficientes de la tabla.

| V (km/h) | COEFICIENTE AVN'10 | | | | | | | | | |
|----------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| i % | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 30 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 40 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.90 |
| 50 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.90 | 0.90 | 0.90 |
| 60 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 |
| 70 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 |
| 80 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.80 |
| 90 | 1.00 | 1.00 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.80 | 0.80 |
| 100 | 1.00 | 1.00 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.80 | 0.80 |
| 110 | 1.00 | 1.00 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| 120 | 1.00 | 1.00 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| 130 | 1.00 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| 140 | 1.00 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |

Tabla 7: Coeficientes para DVD según pendiente para AVN'10

Si calculamos los mismos coeficientes para la VN'67/80 obtenemos los siguientes resultados:

| V (km/h) | COEFICIENTE VN'67/80 | | | | | | | | | |
|----------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| i % | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 30 | 1.00 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.97 | 0.97 | 0.97 |
| 40 | 0.99 | 0.99 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.97 | 0.97 | 0.96 | 0.96 | 0.95 |
| 50 | 0.99 | 0.99 | 0.98 | 0.97 | 0.97 | 0.96 | 0.96 | 0.95 | 0.95 | 0.94 |
| 60 | 0.99 | 0.98 | 0.98 | 0.97 | 0.96 | 0.95 | 0.95 | 0.94 | 0.94 | 0.93 |
| 70 | 0.99 | 0.98 | 0.97 | 0.96 | 0.95 | 0.95 | 0.94 | 0.93 | 0.92 | 0.92 |
| 80 | 0.99 | 0.98 | 0.97 | 0.96 | 0.95 | 0.94 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.90 |
| 90 | 0.99 | 0.97 | 0.96 | 0.95 | 0.94 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.89 |
| 100 | 0.98 | 0.97 | 0.96 | 0.94 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.89 | 0.88 |
| 110 | 0.98 | 0.97 | 0.95 | 0.94 | 0.93 | 0.91 | 0.90 | 0.89 | 0.88 | 0.87 |
| 120 | 0.98 | 0.96 | 0.95 | 0.93 | 0.92 | 0.90 | 0.89 | 0.88 | 0.86 | 0.85 |
| 130 | 0.98 | 0.96 | 0.94 | 0.93 | 0.91 | 0.89 | 0.88 | 0.87 | 0.85 | 0.84 |
| 140 | 0.98 | 0.96 | 0.94 | 0.92 | 0.90 | 0.88 | 0.87 | 0.85 | 0.84 | 0.83 |

Tabla 8: Coeficientes para DVD según pendiente de VN'67/80

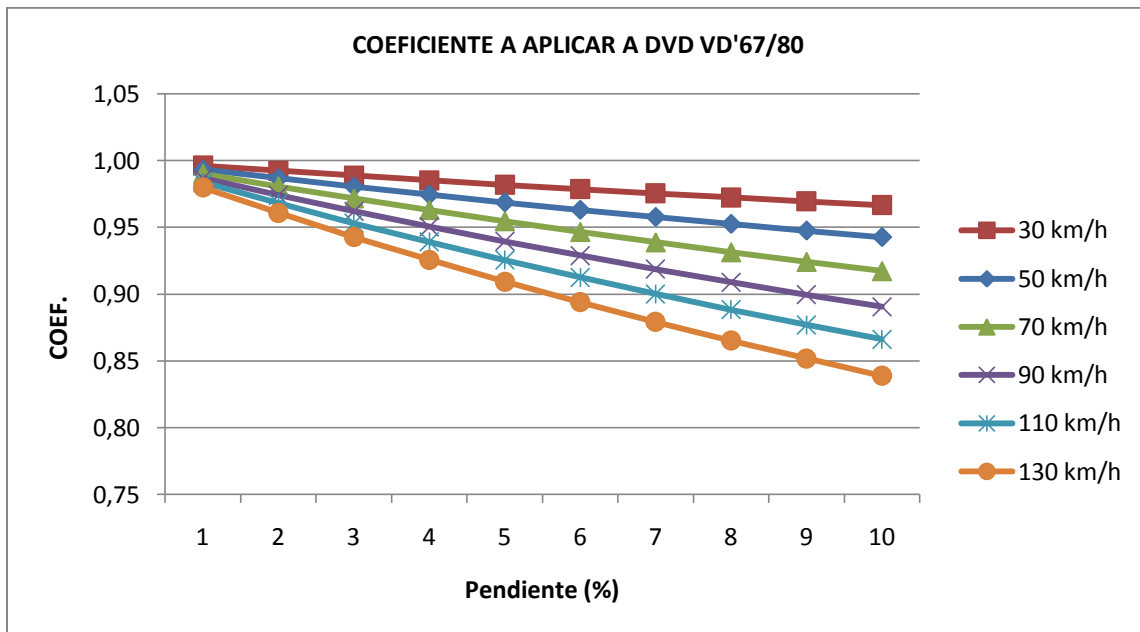


Gráfico 5: Coeficiente por Pendiente para DVD VD67/80

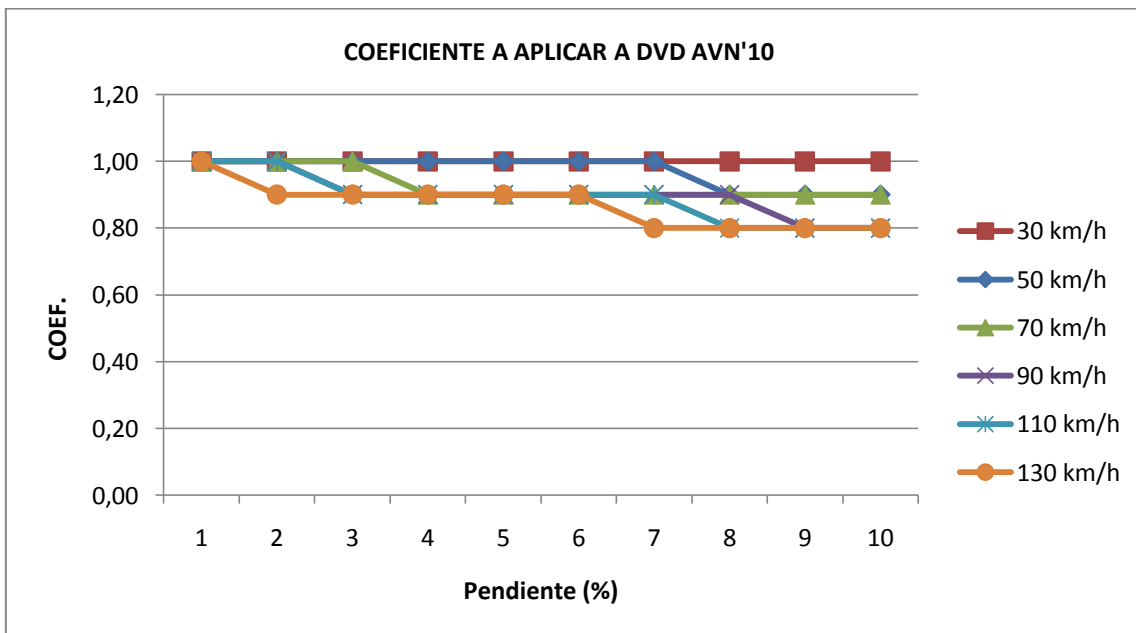


Gráfico 6: Coeficiente de pendiente para DV AVN'10

Como vemos el concepto de la VN'67/80 es aplicar una reducción a la DVD de manera lineal, tal que, a medida que aumenta la velocidad y la pendiente, la reducción es mayor. Diferente es en la AVN'10 donde para determinada velocidad, el coeficiente se reduce escalonadamente, de manera tal que para velocidades

menores del 60 km/h, la DVD se reduce solo cuando la pendiente es mayor al 6%. Esto tiende a no desestimar el efecto de la pendiente en la DVD. Para las bajada el concepto es similar.

Como conclusión podemos decir que la distancia visual de detención definidas en la AVN'10 son las mismas que están definidas en VN'67/80, siendo que la diferencia radica en el cálculo del TPR y fricción longitudinal.

La primera la AVN'10 adopta como valor constante 2.5 seg y justifica este valor ya que estadísticamente, la expectativa de vida aumenta y consecuentemente la población de conductores envejece, lo cual justifica nuevas pautas de diseño debido a las conocidas alteraciones en las áreas relacionadas con lo perceptivo, cognitivo y psicomotor lo cual presenta muchos desafíos a los proyectistas quienes deben garantizar la seguridad del sistema. En cuanto a la fricción longitudinal la actualización 2010 toma el valor de fricción húmeda, variable con la velocidad directriz, que como vimos estos valores son menores a los que se aplican en la norma anterior.

Esto nos da como resultado final a partir de los 40 Km/h DVD mayores que las DVD de VN'67/80.

| V (km/h) | DVD | |
|----------|----------|--------|
| | DV'67/80 | AVN'10 |
| 30 | 30.73 | 29.69 |
| 40 | 43.22 | 44.80 |
| 50 | 57.19 | 62.84 |
| 60 | 72.86 | 84.62 |
| 70 | 90.55 | 108.90 |
| 80 | 110.60 | 136.84 |
| 90 | 133.43 | 168.80 |
| 100 | 159.54 | 205.20 |
| 110 | 186.31 | 246.52 |
| 120 | 219.89 | 293.31 |
| 130 | 262.32 | 336.71 |
| 140 | 311.61 | 394.01 |

Tabla 9: Valores de DVD

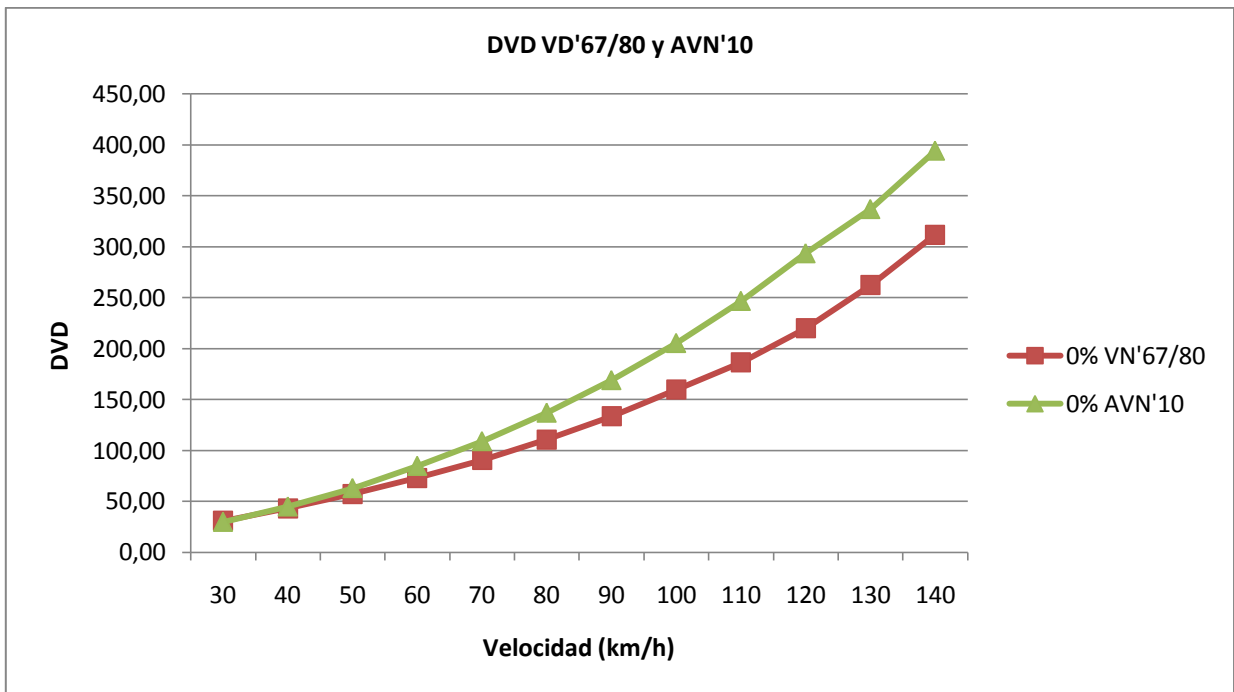


Gráfico 7: Comparación de DVD

Este resultado se verifica para todos los valores de pendiente.
El incremento en la DVD implicaría mayores movimientos de suelo.

3.1.2 DISTANCIA VISUAL DE ADELANTAMIENTO (DVA)

Se mantiene el modelo VN' 67/80.

$$DVA = d1 + d2 + d3$$

Donde

d1: es la distancia recorrida por el vehículo que desea adelantarse durante el TPDR y comienzo de sobrepaso de la maniobra, en metros.

d2: es la distancia recorrida por el vehículo que adelanta desde que se desplaza a la trocha izquierda hasta que retoma la derecha, en metros.

d3: distancia recorrida por el vehículo que circula en sentido contrario al que se adelanta en metros durante el lapso en efectuar la maniobra d2

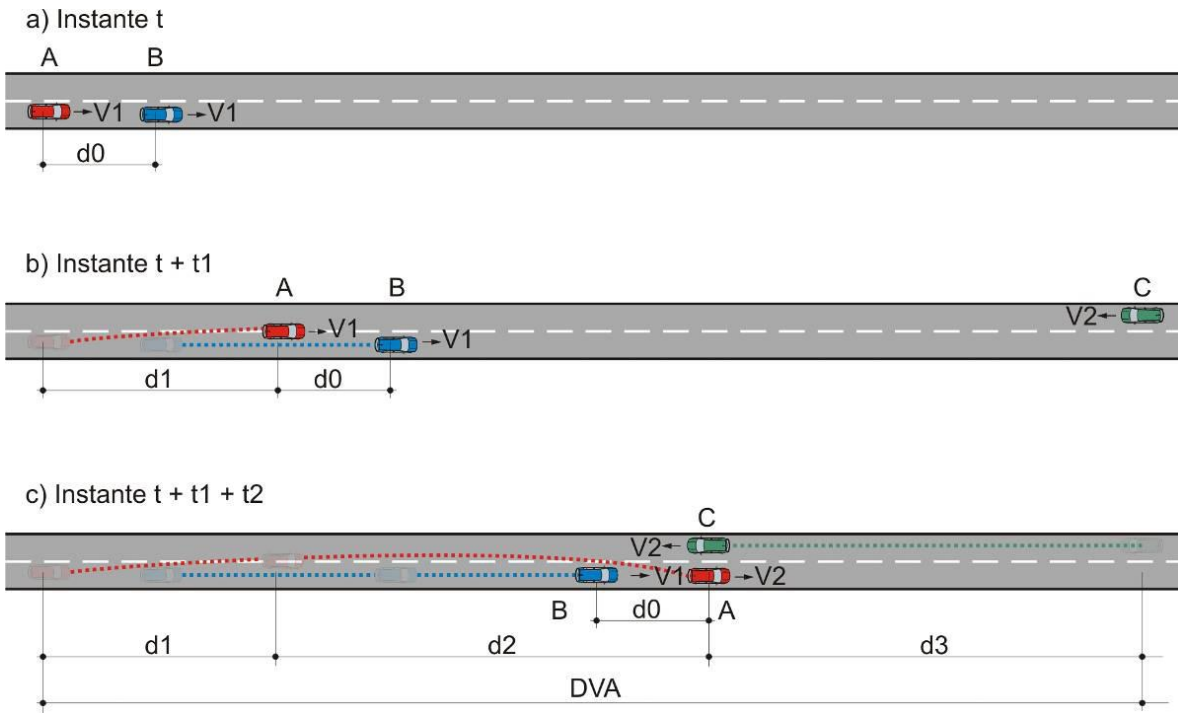


Figura 1: Modelo para DVA

- V1: velocidad del vehículo sobrepasado en km/h (VMM)
- V2: Velocidad del vehículo que adelanta en km/h (VMM+15 km/h)
- do: distancia mínima entre vehículos que circulan en la misma dirección
- t1: tiempo que tarda el vehículo que adelanta en recorrer d1, en s
- t2: tiempo que tarda el vehículo que adelanta en recorrer d2, en s

En ambas normas las expresiones de cálculo son las siguientes:

| | |
|-----------------------|---|
| V1 = VMM (km/h) | $t2 = \frac{2d0 \times 3,6}{V2 - V1}$ (s) |
| V2 = VMM + 15 (km/h) | $d1 = \frac{V1 \times t1}{3,6}$ (m) |
| $d0 = 0,2 V1 + 8$ (m) | $d2 = \frac{V2 \times t2}{3,6}$ (m) |
| t1 = 4 segundos (s) | $d3 = d2$ (m) |

Figura 2: Fórmulas para calcular DVA

Los resultados de DVA obtenidos son:

| V | Velocidad del vehículo adelantado (B) VMM km/h | Velocidad del vehículo que se adelanta (A) VMM + 15 km/h | DVA m |
|-----|--|--|----------|
| 25 | 24 | 39 | 160 |
| 30 | 29 | 44 | 190 |
| 40 | 37 | 52 | 260 |
| 50 | 46 | 61 | 330 |
| 60 | 53 | 68 | 400 |
| 70 | 60 | 75 | 470 |
| 80 | 67 | 82 | 540 |
| 90 | 73 | 88 | 610 |
| 100 | 79 | 94 | 680 |
| 110 | 84 | 99 | 740 |
| 120 | 88 | 103 | 800 |

Tabla 10: Resultados de DVA en ambas normas

3.1.3 DISTANCIA VISUAL DE DECISIÓN (DVDE)

Se incorpora este concepto en la AVN'10, inexistente en la VN'67/80, tomando el modelo de la AASTHO 1994.

La distancia es aquella requerida para que:

- El conductor detecte una fuente de información difícil de percibir o condición peligrosa y estime su potencial.
- Seleccione una nueva velocidad y trayectoria adecuadas e inicie y termine segura y eficientemente la maniobra requerida.

La DVD es insuficiente cuando

- Los conductores deben tomar decisiones complejas
- La información es difícil de percibir
- Se requieren inesperadas o inusuales maniobras; p.ej maniobras evasivas.

La DVDE se usa en:

- Aproximaciones a intersecciones y distribuidores.

- Cambios en la sección transversal.
- Variaciones de la velocidad directriz.
- Zonas de elevada “carga mental” para el conductor

En estos puntos, debe verificarse que $DVDE > DVD$

De la AASTHO 1994 se obtiene la siguiente tabla en función del tipo de maniobra:

| V (km/h) | DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE DECISIÓN PARA MANIOBRA DE ELUSION (m) | | | | |
|----------|---|-----|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D | E |
| 50 | 75 | 160 | 145 | 160 | 200 |
| 60 | 95 | 205 | 175 | 205 | 235 |
| 70 | 125 | 250 | 200 | 240 | 275 |
| 80 | 155 | 300 | 230 | 275 | 315 |
| 90 | 185 | 360 | 275 | 320 | 360 |
| 100 | 225 | 415 | 315 | 365 | 405 |
| 110 | 265 | 455 | 335 | 390 | 435 |
| 120 | 305 | 505 | 375 | 415 | 470 |

Tabla 11: Valores de DVDE

Donde cada maniobra es

A: parada en camino rural

B: parada en camino urbano

C: cambio de velocidad / trayectoria / dirección en camino rural

D: cambio de velocidad / trayectoria / dirección en camino suburbano

E: cambio de velocidad / trayectoria / dirección en camino urbano

Graficando cada caso y comparando con DVD para la pendiente de 0%, resulta que para los casos B, D y E, el valor de DVDE es mayor que DVD y por ende deben usarse esos valores para contemplar las situaciones especiales. En el caso de A, se deben usarse los valores de DVD ya que en este caso DVD está por encima de DVDE.

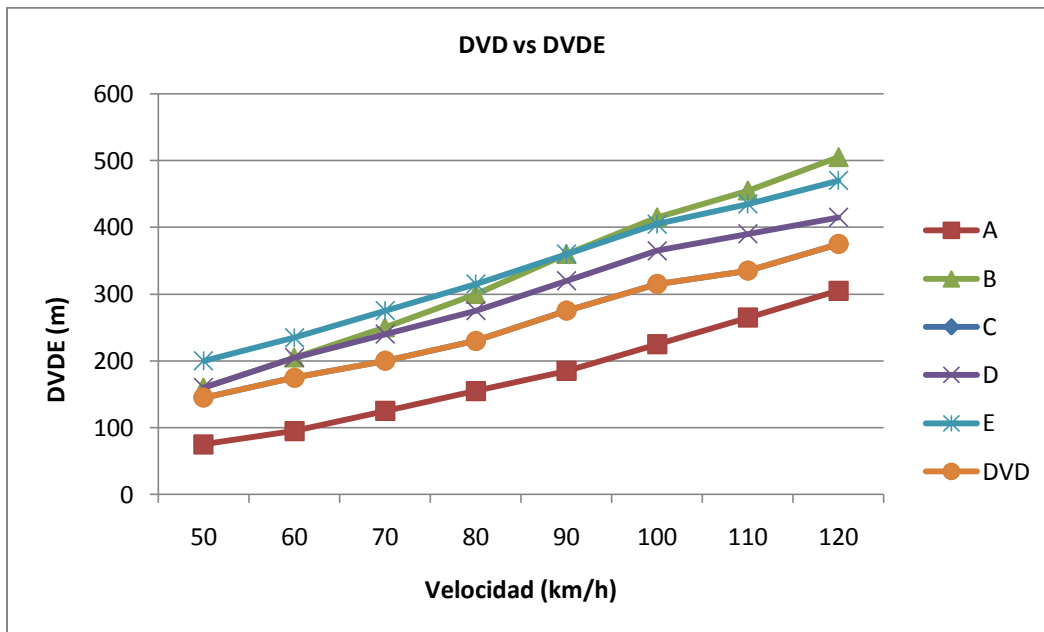


Gráfico 8: Comparación entre DVD y DVDE

3.2 DISEÑO DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL

3.2.1 RECTAS

En terreno plano se aceptan las rectas largas. Si para romper la monotonía se introducen curvas, deberían ser como para evitar la apariencia de quiebres. A menos que el cambio en el alineamiento sea notable, las luces de los faros en el tránsito opuesto permanecen siendo molestas. Por tal motivo se establece valores límites para las rectas.

Para la AVN'10 tenemos:

Longitudes máximas (Lr max)

Se recomienda proyectar longitudes en rectas menores que:

$$Lr \text{ max(m)} = 20x + V \left(\frac{\text{km}}{h} \right)$$

Diferente que en caminos de calzadas divididas, en los caminos de dos carriles y dos sentidos la conveniencia de proveer distancia visual de adelantamiento justifica utilizar rectas más largas.



Foto 1: Curva con apariencia de quiebre

Longitudes mínimas (Lrmin)

Entre curvas circulares próximas, sucesivas y del mismo sentido conviene dejar un tramo recto de longitud mínima calculada con la formula empírica:

$$Lr \text{ min(m)} \geq 5 x + V \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$$

para eliminar la insegura apariencia de espalda-quebrada y disipar la expectativa del conductor de prever curvas alternadamente a izquierda y derecha y, si es posible, proveer DVA.



Foto 2: Curva y contracurva

| AVN'10 | | |
|-------------|----------|----------|
| V (km/h) | Lmax (m) | Lmin (m) |
| 30 | 600 | 150 |
| 40 | 800 | 200 |
| 50 | 1000 | 250 |
| 60 | 1200 | 300 |
| 70 | 1400 | 350 |
| 80 | 1600 | 400 |
| 90 | 1800 | 450 |
| 100 | 2000 | 500 |
| 110 | 2200 | 550 |
| 120 | 2400 | 600 |
| 130 | 2600 | 650 |

Tabla 12: Longitudes límites entre curvas para AVN'10

Para la VN' 67/80 las distancias se definen como:

Longitudes máximas (Lmax)

Recomienda para evitar accidentes debido a la monotonía de conducción cuando las rectas son de gran longitud un tiempo máximo de recorrido de 72 seg a la velocidad de proyecto.

Longitudes mínimas (Lmin)

Recomienda que la alineación recta tenga una longitud mínima que permita al conductor adaptarse a los cambio de dirección. Esta longitud mínima varía con la velocidad de proyecto de forma que sean equivalentes a la distancia recorrida en unos 5 o 6 seg entre curvas en sentido contrario y 11 o 12 seg entre curvas del mismo sentido.

| VN'67/80 | | | |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|
| V (km/h) | Lmax (m) | Lmin (m) igual sentido | Lmin (m) distinto sentido |
| 30 | 600 | 100 | 50 |
| 40 | 800 | 133 | 67 |
| 50 | 1000 | 167 | 83 |
| 60 | 1200 | 200 | 100 |
| 70 | 1400 | 233 | 117 |
| 80 | 1600 | 267 | 133 |
| 90 | 1800 | 300 | 150 |
| 100 | 2000 | 333 | 167 |
| 110 | 2200 | 367 | 183 |
| 120 | 2400 | 400 | 200 |
| 130 | 2600 | 433 | 217 |

Tabla 13: Longitudes límites entre curvas para VN'67/80

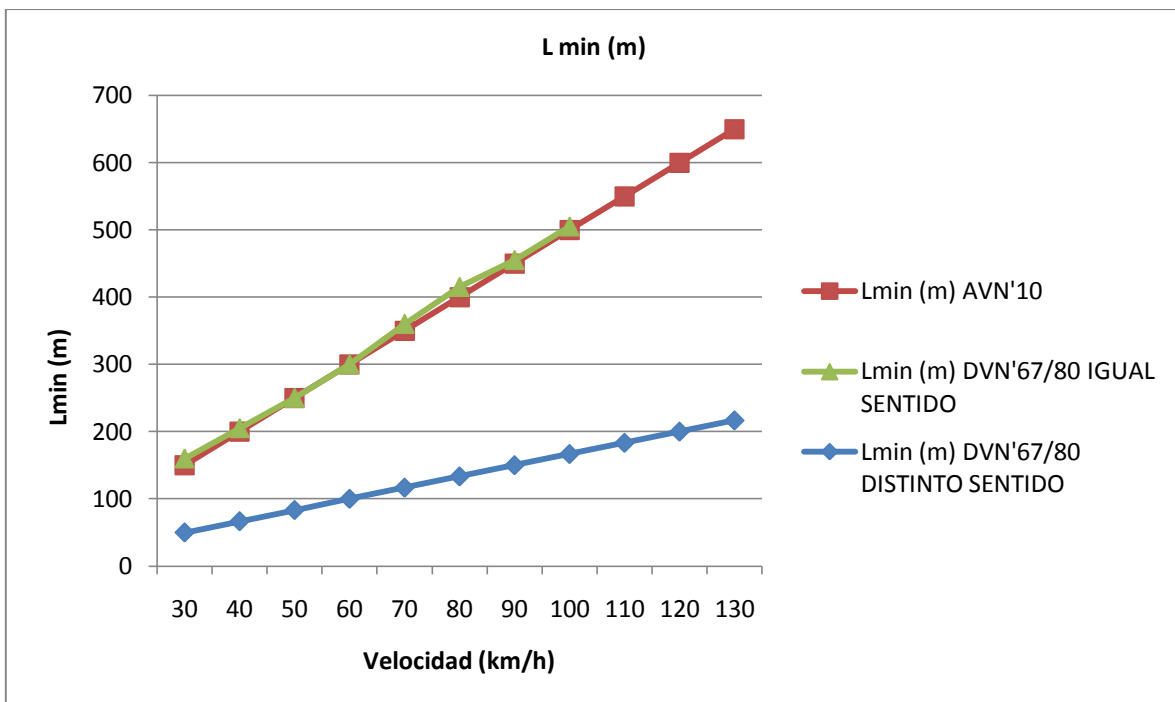


Gráfico 9: Comparación de L min entre normas

Conclusión: Las longitudes máximas propuestas por ambas normas son las mismas, la diferencia está en las longitudes mínimas. La AVN'10 propone una

formula empírica tanto para tramos entre curvas sucesivas del mismo sentido o curvas alternadas, mientras que la norma anterior propone una longitud mínima para tramos entre curvas sucesivas y otra para tramos entre curvas alternas. Si analizamos los valores en curvas de igual sentido, ambas normas dan el mismo valor, pero en el caso de distinto sentido encontramos que los valores son del orden de la mitad para la DVN'67/80.

3.2.2 CURVAS CIRCULARES.

Curva circular simple

Ambas normas utilizan el mismo modelo basado en un planteo dinámico del vehículo circulando en una curva, donde la fuerza centrífuga del vehículo es contrarrestada por el peralte de la curva y la fricción transversal húmeda entre el vehículo y el pavimento

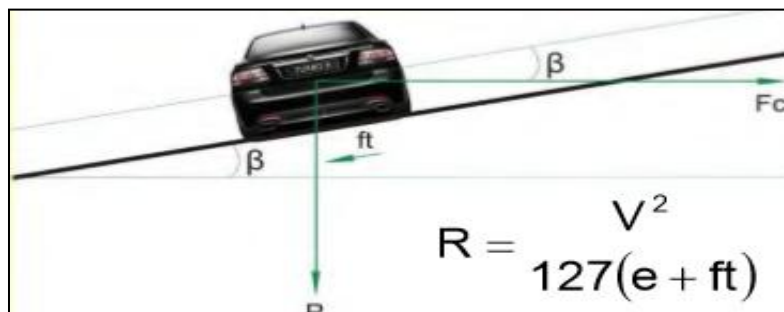


Figura 3: Modelo teórico para curva circular simple

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

De la fórmula se desprende que los parámetros a cotejar entre ambas normas son:

- ft: fricción transversal húmeda
- e: peralte
- (e+ft): distribución entre ft y e
- R: radio mínimo aceptable
- V: velocidad

Coefficiente de fricción transversal húmeda (ft)

El coeficiente de fricción transversal depende de una serie de factores: la velocidad del vehículo, el tipo, condición y peralte de la superficie del camino, y el tipo y estado de los neumáticos.

Para la AVN'10 el coeficiente el coeficiente de fricción transversal máximo húmedo (ftmax), es el desarrollado en condiciones de inminente deslizamiento lateral del vehículo, con un razonable margen de seguridad.

La expresión de ftmax en función de V es:

$$\begin{array}{l} \text{Para } V \leq 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad ; \quad \text{ftmáx} = 0,188 - \frac{3V}{5000} \\ \text{Para } V > 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad ; \quad \text{ftmáx} = 0,24 - \frac{V}{800} \end{array}$$

donde V es la Velocidad Directriz.

Para la VN'67/80 el coeficiente de fricción transversal que se adopta para el diseño es prácticamente el mismo que recomienda A.A.S.H.O (3), y es el máximo que ofrece un razonable margen de seguridad sin proporcionar molestias al conductor medio. La variación de este coeficiente con la velocidad directriz se ha considerado lineal adoptándose la siguiente relación empírica:

$$\text{ft} = 0196 - 0.0007 \times V$$

Los valores que se obtienen en cada norma son los siguientes:

| | AVN'10 | DVN'67/80 |
|----------|-----------|-----------|
| V (km/h) | ftmax (m) | ftmax (m) |
| 30 | 0.17 | 0.18 |
| 40 | 0.164 | 0.17 |
| 50 | 0.158 | 0.16 |
| 60 | 0.152 | 0.15 |
| 70 | 0.146 | 0.15 |
| 80 | 0.14 | 0.14 |
| 90 | 0.13 | 0.13 |
| 100 | 0.12 | 0.13 |
| 110 | 0.10 | 0.12 |
| 120 | 0.09 | 0.11 |
| 130 | 0.08 | 0.11 |

Tabla 14: Valores máximos de ft para ambas normas

Si graficamos ambos valores obtenemos

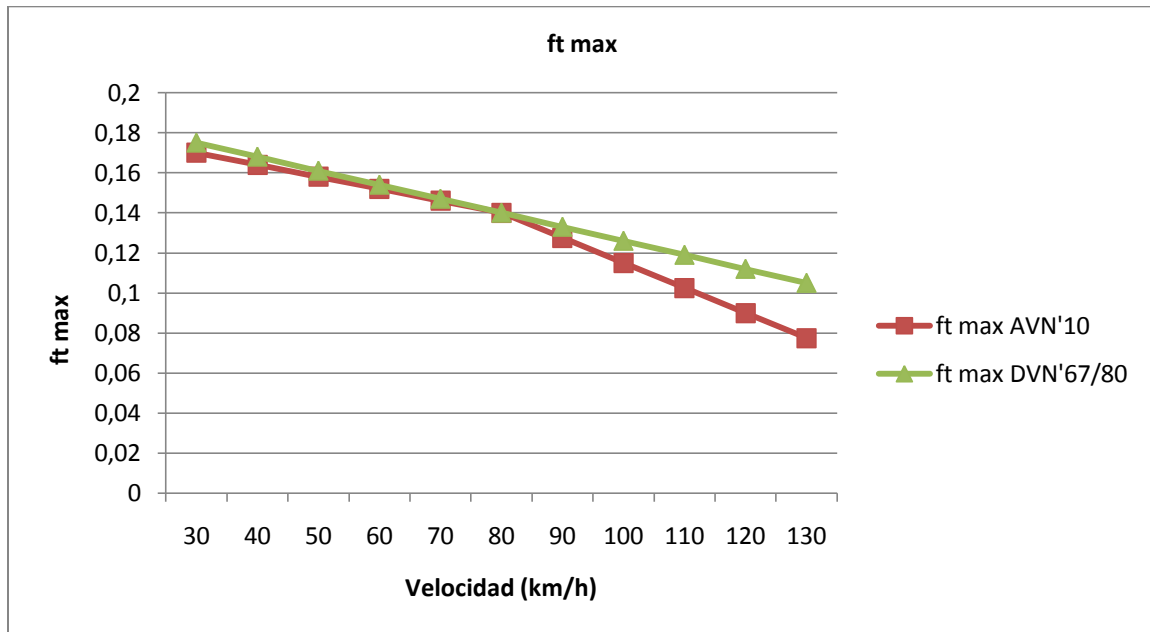


Gráfico 10: Comparación de ft max entre ambas normas

Conclusión: Podemos apreciar en el grafico anterior que los valores de f_{max} son prácticamente iguales hasta los 80 Km/h, a partir de allí hace un quiebre la curva que propone la nueva norma dándonos valores menores que la recta propuesta por VN'67/80.

Peralte (e)

Para colaborar con la condición de equilibrio dinámico, normalmente se inclina la calzada un determinado ángulo β , para disminuir la proyección de la fuerza centrífuga sobre la calzada.

$$e\% = (\tan \beta) \times 100$$

Para el valor de peralte máximo, se adoptan valores de peralte máximo en función de los siguientes factores:

- 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)

Sobre la base de la combinación de estos factores, se fijaron tres valores máximos del peralte (e_{max}).

| Peralte máximo | 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 frecuentes |
| 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 |

Conclusión: El peralte máximo según la AVN'10 es idéntico a VN'67/80.

3.2.3 RADIO (R)

Radio Mínimo Absoluto (RminAbs)

Para la AVN'10 se define el Rmin Abs como aquel radio que se obtiene considerando la velocidad directriz y el peralte máximo dados, junto con la fricción transversal húmeda máxima, lo cual corresponde a la condición límite de seguridad contra el deslizamiento transversal

$$R_{\min \text{ abs}} = \frac{V^2}{127 \times (e_{\max} + f_{t\max})}$$

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 como sea posible y práctico.

Para la VN'67/80 es la misma definición solo que la diferencia está en los distintos valores de ($f_{t\max}$).

| | AVN'10 | DVN'67/80 |
|----------|--------------|--------------|
| V (km/h) | Rmin abs (m) | Rmin abs (m) |
| 30 | 26 | 26 |
| 40 | 48 | 47 |
| 50 | 76 | 75 |
| 60 | 112 | 112 |
| 70 | 157 | 156 |
| 80 | 210 | 210 |
| 90 | 280 | 274 |
| 100 | 366 | 348 |
| 110 | 470 | 435 |
| 120 | 597 | 535 |
| 130 | 750 | 649 |

Tabla 15: Comparación de Rmin abs entre normas

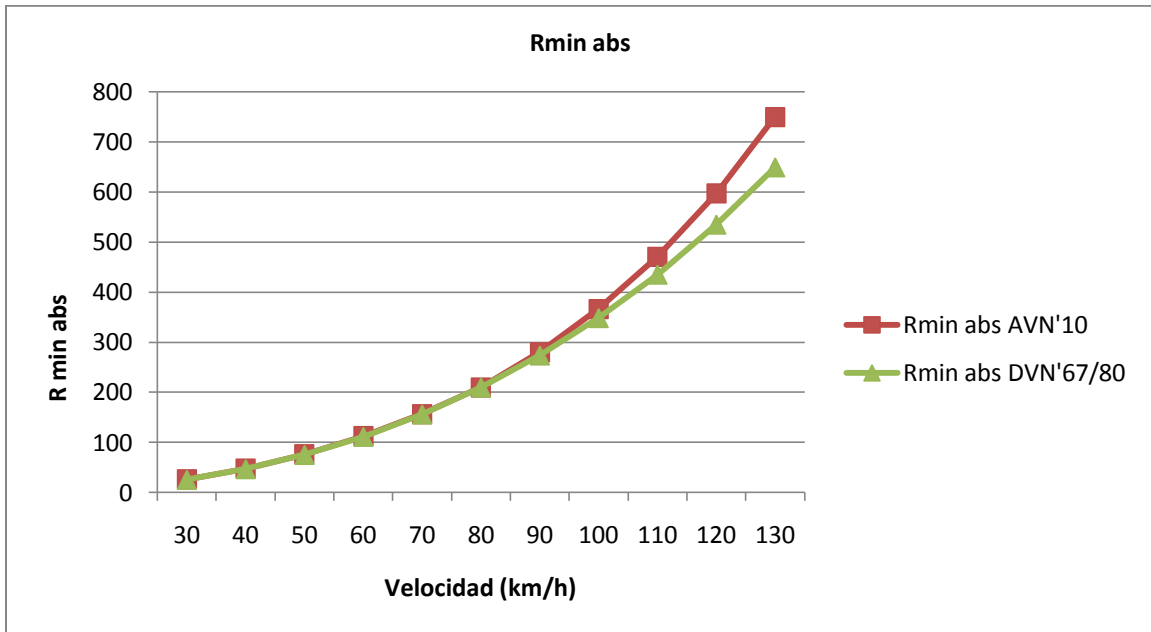


Gráfico 11: R min abs para e=10% en ambas normas

Como observamos en el gráfico anterior, los valores de Rmin abs se apartan más a partir de los 80 km/h que es cuando hay mayor variación en la determinación de ft max.

Radio Mínimo Deseable (RminDes)

Para la AVN'10 es valor obtenido cuando para la velocidad directriz y el peralte máximo dados, se usa en la formula la VMM en flujo libre correspondiente a la velocidad directriz y con el coeficiente de fricción transversal húmeda nulo.

Esto supone la condición en la cual el peralte toma toda la fuerza centrífuga, sin tener que recurrir al aporte de fricción transversal.

$$R_{min\ des} = \frac{VMM^2}{127 \times (e_{max} + 0)}$$

En la VN'67/80 se consideran como deseables los radios que cumplen simultaneamente las condiciones de dos criterios:

- Aquellos en los que la fricción utilizada para vehiculos marchando a la velocidad directriz corresponda a coeficientes menores que la mitad de los maximos ($f_t = f_{tmax}/2$)

- Radios que durante la noche permitan iluminar suficientemente a objetos colocados en el camino a una distancia igual a la de frenado correspondiente a una velocidad igual al 90 % de la directriz.

$$R_{\text{min des}} = \frac{V^2}{127 \times (e_{\text{max}} + f_{\text{tmax}}/2)}$$

Comparando para e=10%,

| | | AVN'10 | DVN'67/80 |
|----------|------------|--------------|--------------|
| V (km/h) | VMM (km/h) | Rmin des (m) | Rmin des (m) |
| 30 | 30 | 71 | 38 |
| 40 | 40 | 126 | 68 |
| 50 | 47 | 174 | 109 |
| 60 | 55 | 238 | 160 |
| 70 | 63 | 313 | 222 |
| 80 | 70 | 386 | 296 |
| 90 | 77 | 467 | 383 |
| 100 | 85 | 569 | 483 |
| 110 | 91 | 652 | 597 |
| 120 | 98 | 756 | 727 |
| 130 | 102 | 819 | 873 |

Tabla 16: Rmin des para e=10% entre ambas normas

La comparación sin criterio de faros da como resultado que los radio mínimos de la AVN'10 son mayores, produciendo diseños más seguros y más confortables para los usuarios.

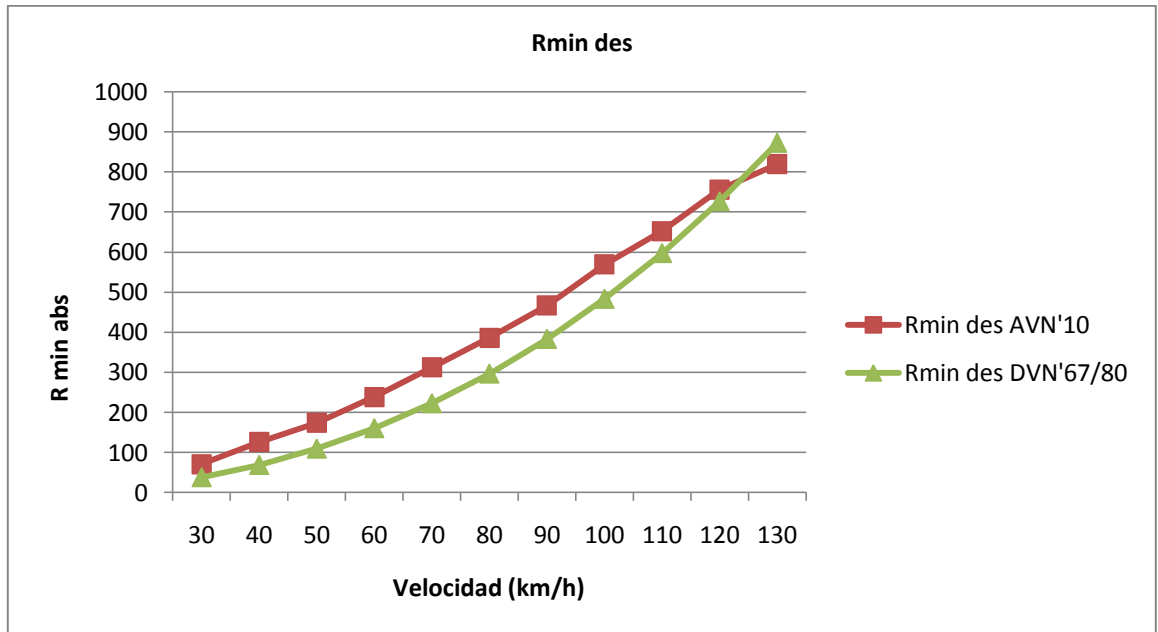


Gráfico 12: Rmin des para e=10% en ambas normas

3.2.4 DISTRIBUCION DE “e” y “ft” EN FUNCION DE “R”

La AVN'10 adopta el método N° 3 de VN'67/80, similar al método 4 del Libro Verde. El peralte contrarresta íntegramente la fuerza centrífuga de un vehículo que circule en flujo libre a la VMM correspondiente a la V, desde un radio RminDes en que el peralte es máximo. Para radios menores hasta RminAbs, se mantiene el peralte máximo.

| | | |
|---|--|---|
| 1 | $R_{minAbs} = \frac{v^2}{127(ft_{m\acute{a}x} + e_{m\acute{a}x})}$ | $G^{\circ}m\acute{a}xAbs = 728148 \frac{e_{m\acute{a}x} + ft_{m\acute{a}x}}{v^2}$ |
| 2 | $R_{minDes} = \frac{VMM^2}{127e_{m\acute{a}x}}$ | $G^{\circ}m\acute{i}nDes = 728148 \frac{e_{m\acute{a}x}}{VMM^2}$ |
| 3 | $R_{minBR} = \frac{VMM^2}{127 \times 0,02}$ | $G^{\circ}m\acute{i}nBR = 728148 \frac{0,02}{VMM^2}$ |
| 4 | $R_{minBN} = \frac{v^2}{127 \times 0,015}$ | $G^{\circ}m\acute{i}nBN = 728148 \frac{0,015}{v^2}$ |

| Entre | Velocidad | e | ft |
|---------------|-----------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 y 2 | V a VMM | emáx | Variable entre: ftmáx y 0 |
| 2 y 3 | VMM | Variable entre: emáx y + 2% | 0 |
| 3 y 4 | VMM | BR=+ 2% | 0 |
| más allá de 4 | V | BN=± 2% | ft = 0,035 |

Tabla 17: Fórmulas de distribución de "e" y "ft"

| V (km/h) | VMM (km/h) | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------|------------|-----|-----|------|------|
| 30 | 30 | 26 | 71 | 354 | 472 |
| 40 | 40 | 48 | 126 | 630 | 840 |
| 50 | 47 | 76 | 174 | 870 | 1160 |
| 60 | 55 | 112 | 238 | 1191 | 1588 |
| 70 | 63 | 157 | 313 | 1563 | 2083 |
| 80 | 70 | 210 | 386 | 1929 | 2572 |
| 90 | 77 | 280 | 467 | 2334 | 3112 |
| 100 | 85 | 366 | 569 | 2844 | 3793 |
| 110 | 91 | 470 | 652 | 3260 | 4347 |
| 120 | 98 | 597 | 756 | 3781 | 5041 |
| 130 | 102 | 750 | 819 | 4096 | 5461 |

Tabla 18: Valores de R según curvas de distribución de peralte

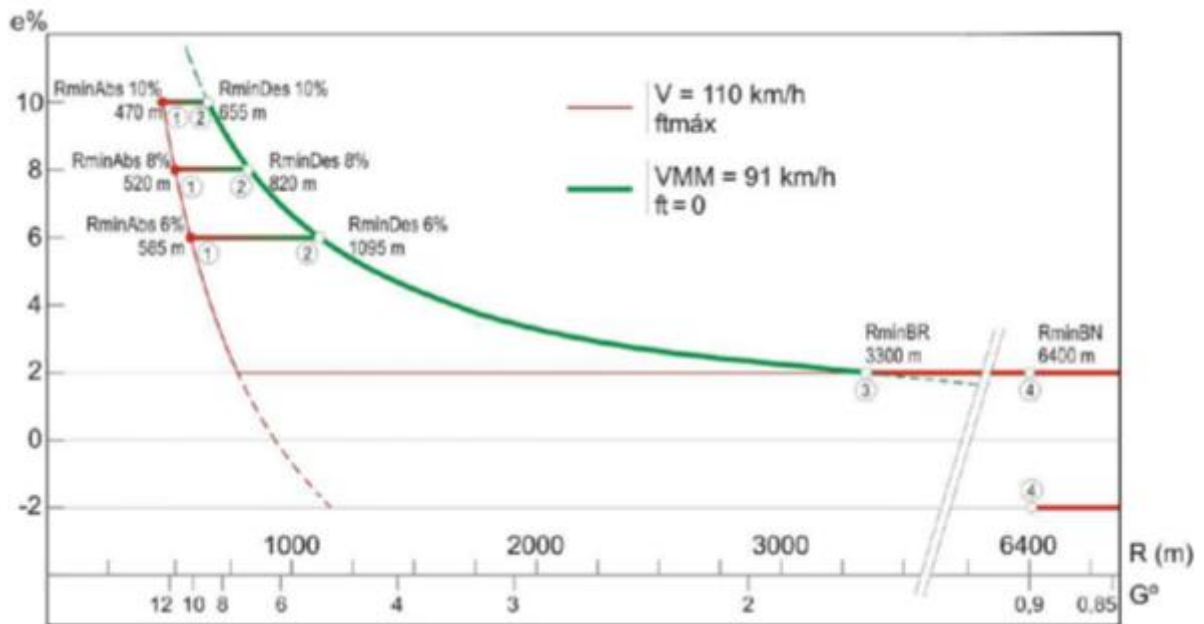


Gráfico 13: Ejemplo para $V=100\text{km/h}$

La VN'67/80 adopta el método N° 4 para la distribución de e y f_t en función de R . El peralte se ha fijado de manera de contrarrestar totalmente la fuerza centrífuga que actúa sobre el vehículo que circulan a la velocidad de marcha. A partir de un determinado radio y hasta el radio mínimo, el peralte va aumentando gradualmente de manera de hacerse máximo en correspondencia con dicho radio mínimo.

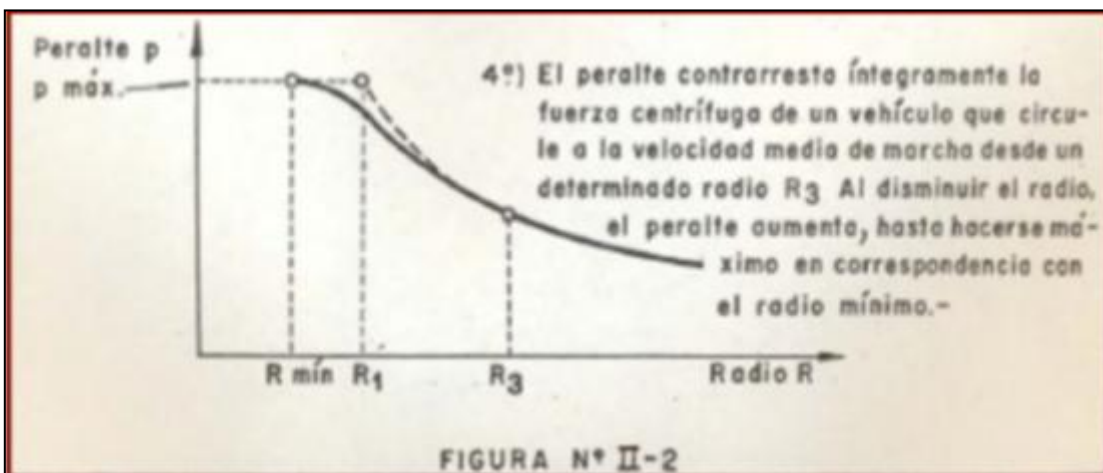


Gráfico 14: Distribución de e y f_t para VN'67/80

3.2.5 VELOCIDAD MAXIMA SEGURA (VMS).

Máxima velocidad que puede mantenerse a lo largo de una curva horizontal considerada aisladamente (R), en condiciones de seguridad cuando el pavimento esta húmedo y los neumáticos en buenas condiciones, el peralte es el diseñado (e), y la fricción transversal es la máxima (ftmax).

$$VMS = \sqrt{127R(e + ft_{max})}$$

Teniendo en cuenta lo que ya conocemos para ftmax en ambas normas, podemos calcular los valores de VMS en ambos casos, para diferentes radios y con un valor peralte propuesto.

| V (km/h) | VMS (km/h) | | | | | |
|----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | R=300 e=10% | | R=400 e=10% | | R=500 e=10% | |
| | AVN'10 | DVN'67/80 | AVN'10 | DVN'67/80 | AVN'10 | DVN'67/80 |
| 30 | 101 | 102 | 117 | 118 | 131 | 132 |
| 40 | 100 | 101 | 116 | 117 | 129 | 130 |
| 50 | 99 | 100 | 114 | 115 | 128 | 129 |
| 60 | 98 | 98 | 113 | 114 | 126 | 127 |
| 70 | 97 | 97 | 112 | 112 | 125 | 125 |
| 80 | 96 | 96 | 110 | 110 | 123 | 123 |
| 90 | 93 | 94 | 108 | 109 | 120 | 122 |
| 100 | 91 | 93 | 105 | 107 | 117 | 120 |
| 110 | 88 | 91 | 101 | 105 | 113 | 118 |
| 120 | 85 | 90 | 98 | 104 | 110 | 116 |
| 130 | 82 | 88 | 95 | 102 | 106 | 114 |

Tabla 19: Valores de VMS para distintos R

Vemos que los valores que se obtienen hasta los 80 km/h son similares pero para velocidades mayores, la AVN'10 da resultados de VMS un tanto menores y por ende la norma es más restrictiva.

Sin embargo, según la VN' 67780, las velocidades no se calculan de la fórmula anterior sino que tienen en cuenta las condiciones de pavimento húmedo como peor condición y establecen la reducción del tiempo de percepción y reacción en 0.3 s.

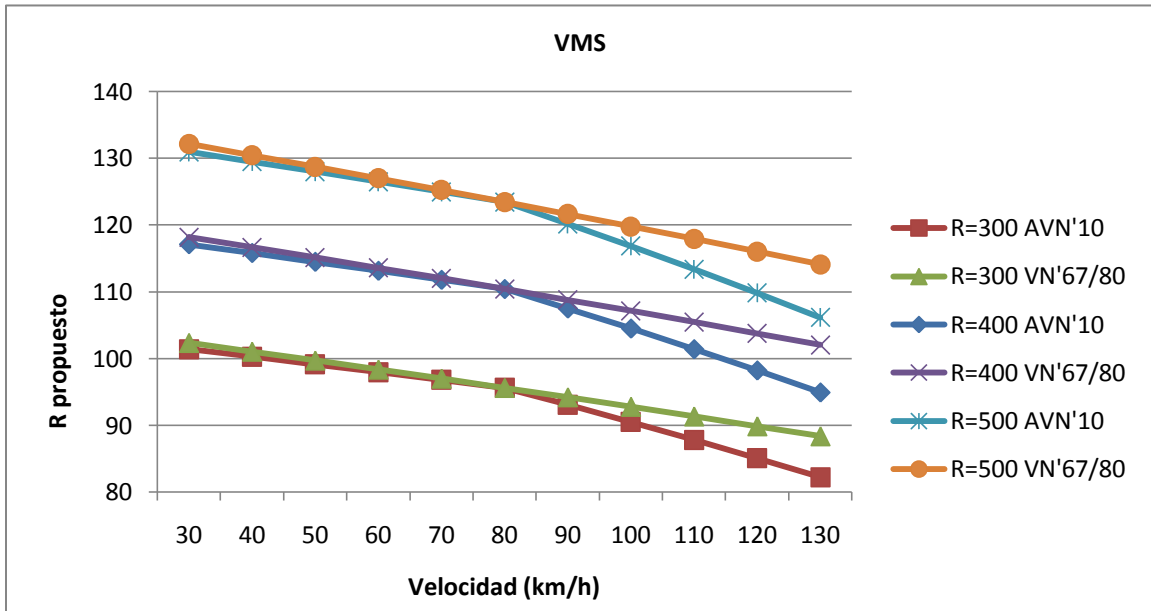


Gráfico 15: Comparación de VMS

Las VMS en este caso no son proporcionales al radio sino que se obtienen en función de las distancias mínimas de detención. Este criterio hace que se penalice el diseño de igual manera aún cuando los radios aumentan y se podría aumentar la VMS conservando el nivel de seguridad, tal lo hace la AVN'10. En la tabla siguiente, tenemos los valores finales de la VN' 67/80.

Como vemos, las mayores reducciones se dan a partir de los 80 km/h, con valores finales que superan los de AVN'10 vistos en el ejemplo anterior.

| V (km/h) | VMS (km/h) VN'67/80 |
|----------|---------------------------|
| 30 | 30 |
| 40 | 39 |
| 50 | 48 |
| 60 | 56 |
| 70 | 65 |
| 80 | 74 |
| 90 | 82 |
| 100 | 91 |
| 110 | 100 |
| 120 | 110 |
| 130 | 121 |

Tabla 20: Valores de VMS para VN'67/80

Radios de curvas consecutivas

El alineamiento horizontal es uno de los factores que más influye en las velocidades de los conductores. Las variaciones de V a lo largo de un camino influye en la frecuencia de los accidentes; cuanto mayor e inesperada sea la variación, mayor será la probabilidad de choque.

La AVN'10 adopta el diseño de relación, en donde sobre la base de de datos de curvatura, velocidad de operación y frecuencias de accidentes diseñaron gráficos prácticos para elegir los radios de curvas consecutivas que pudieran reducir los accidentes. Este es un mejoramiento importante sobre los métodos tradicionales de diseño, tal el adoptado por la VN' 67/80 que solo chequeaban el cumplimiento de los radios mínimos.

Del gráfico, ingresando con los dos radios, vemos en que zona estamos, pudiendo probar varias combinaciones para obtener resultados más seguros y que mejor se adapten al terreno.

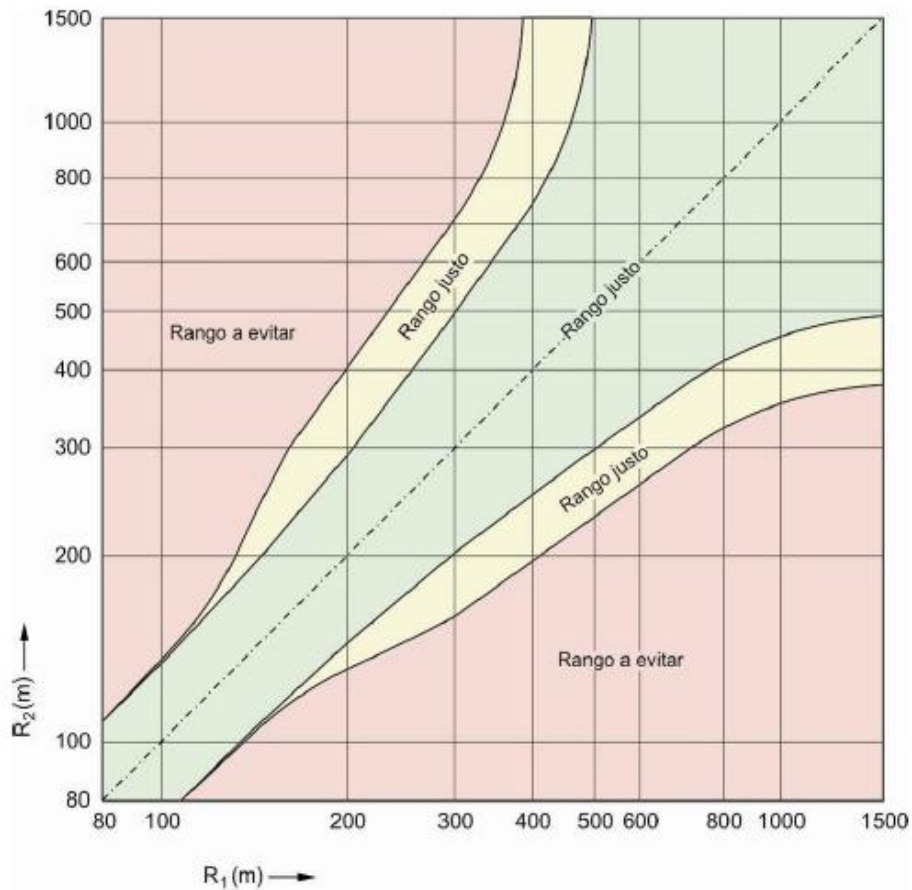


Gráfico 16: Gráfico para R de curvas consecutivas

3.2.6 TRANSICIONES

Clotoide

Para la longitud mínima de la clotoide se mantiene los criterios de la VN'67/80:

- Criterio de comodidad
- Criterio de apariencia general ($L_e \geq 30$)
- Criterio de apariencia de borde

La diferencia radica en la longitud máxima en donde se limita la longitud de las transiciones y no se recomiendan las transiciones largas, ya que las expectativas de los conductores no son satisfechas por las longitudes largas de transición, induciéndolos a maniobras zigzagueantes.

La longitud máxima está dada por:

$L_{e \max} = 1.25 L_{e \min}$

3.2.7 SOBREALANCHOS

Se mantiene el modelo VN'67/80 y el vehículo de diseño.

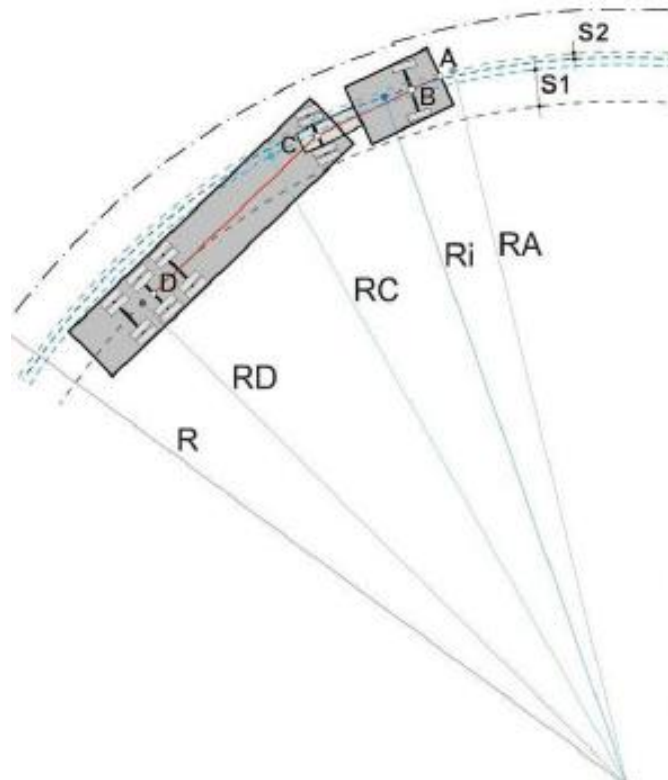


Figura 4: Vehículo tipo y modelo adoptado

La expresión de cálculo utilizada es la misma:

$$S(m) = 2 \left[R - \sqrt{R^2 - 105,9} \right] + \sqrt{R^2 + 13,4} - R + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

En la tabla a continuación se muestran los valores para ancho de calzada 6.7 y vehículo tipo, en función del radio y velocidad directriz.

| R m | Velocidad Directriz (km/h) | | | | | | | | | | | | |
|--------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |
| 20 | 6,6 | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 4,3 | 4,4 | | | | | | | | | | | |
| 40 | 3,3 | 3,3 | | | | | | | | | | | |
| 50 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | | | | | | | | | | |
| 60 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | | | | | | | | | | |
| 70 | 1,9 | 2 | 2,1 | | | | | | | | | | |
| 80 | 1,7 | 1,7 | 1,9 | 2 | | | | | | | | | |
| 90 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | | | | | | | | | |
| 100 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | | | | | | | | | |
| 110 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | | | | | | | | |
| 120 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | | | | | | | | |
| 130 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | | | | | | | | |
| 140 | 1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | | | | | | | | |
| 150 | 1 | 1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | | | | | | | | |
| 175 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 1 | 1,1 | 1,2 | | | | | | | |
| 200 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1 | 1,1 | | | | | | | |
| 250 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1 | | | | | | |
| 300 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | | | | | |
| 400 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | | | | |
| 500 | | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | | | |
| 600 | | | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | | |
| 700 | | | | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | | |
| 800 | | | | | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | |
| 900 | | | | | | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | |
| 1000 | | | | | | | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 |
| 1200 | | | | | | | | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 |
| 1300 | | | | | | | | | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 |
| 1400 | | | | | | | | | | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 |
| 1500 | | | | | | | | | | | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| 2000 | | | | | | | | | | | | | 0,4 |

Tabla 21: Sobrehanchos para vehículo tipo ac=6.70

3.3 ALINEAMIENTO ALTIMÉTRICO

CURVAS VERTICALES

El parámetro básico P (m), para cierta velocidad directriz, es el parámetro o radio del círculo osculador en el vértice de una parábola de eje vertical que proporciona como mínimo la distancia visual hasta pendiente media $\pm 2\%$, necesaria para esa velocidad, cualquiera que sea la diferencia algebraica de pendientes.

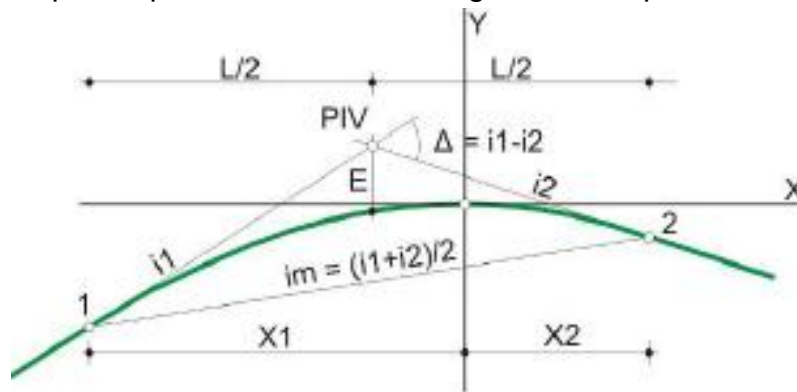


Figura 5: Esquema teórico de curvas verticales

El parámetro K se define como la distancia horizontal requerida para obtener una variación de pendiente del 1%. Numéricamente equivale a $P(m)/100$ y podemos expresar a la longitud horizontal de la curva vertical L como:

$$L(m) = K \left(\frac{m}{\%} \right) \times \Delta i (\%)$$

Criterios de longitudes mínimas:

- Seguridad de operación (DVD).
- Apariencia estética subjetiva de la rasante $L(m) \geq V(km/h)$; para que la CV parezca una curva y no un quiebre.
- Comodidad de los viajeros (aceleración centrífuga vertical)
- Drenaje superficial ($i > 0.35\%$ a 15 m del vértice)

Los criterios de comodidad de viajeros y drenaje superficial generan parámetros superiores a los dos primeros, por lo tanto se verifican solo los dos primeros criterios.

Curvas Verticales Convexas

Para la AVN'10:

- Seguridad de operación

Se adopta el modelo de la AASTHO

$$L_{min}(m) = K \left(\frac{m}{\%} \right) \times \Delta i(\%) F_{mi}$$

Donde F_{mi} es un factor de corrección que se obtiene de tablas para curvas convexas y cóncavas.

EL valor de K básico para DVD ($i_m \leq 2\%$) en operación diurna vale

$$K = \frac{DVD^2}{100 (\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$$

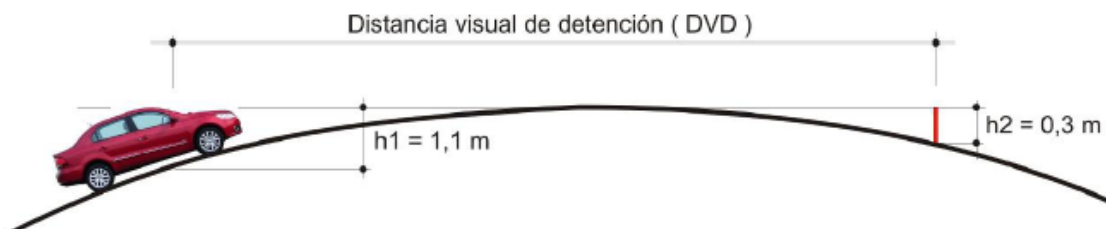


Figura 6: Esquema para curvas convexas

- Altura ojos ; $h_1 = 1.10 \text{ m}$
- Altura faros delanteros : $h_1 = 0.60 \text{ m}$
- Altura objeto:

Operación diurna: $h_2 = 0.3\text{m}$ (absoluto) / 0.15m (normal) / 0m (deseable)

Operación nocturna: $h_2 = 0.6\text{m}$ (altura de faros traseros)

- Altura vehículo: 1.30 m
- Angulo del haz luminoso sobre el eje longitudinal $\alpha = 1^\circ$
- Altura ojo del camionero; $h_1 = 2.2\text{m}$
- Altura mínima de la estructura $H = 4.5\text{m}$

En la operación nocturna cambian los valores de h1 y h2 pero los resultados obtenidos son similares a la operación diurna y por lo tanto se verifica esta únicamente.

Para VN'67/80

$$\rho = \frac{DVD^2}{2(\sqrt[2]{h1} + \sqrt[2]{h2})^2}$$

$$K = \frac{DVD^2}{200(\sqrt[2]{h1} + \sqrt[2]{h2})^2}$$

Los valores de las alturas.

- Altura ojos ; h1 = 1.10 m
- Altura faros delanteros : h1 = 0.65 m
- Altura objeto:

Operación diurna: h2= 0.20

Comparando las dos formulas obtenemos la tabla y gráficos siguientes

| V (km/h) | DVN'67/80 | | AVN'10 | |
|----------|-----------|-------|------------|-------|
| | DVD (m) | K | DVD (km/h) | K |
| 30 | 30.3 | 2.1 | 32.36 | 2.1 |
| 40 | 43.9 | 4.3 | 48.24 | 4.6 |
| 50 | 60.7 | 8.2 | 68.90 | 9.3 |
| 60 | 78.8 | 13.9 | 92.71 | 16.9 |
| 70 | 101.2 | 22.9 | 124.13 | 30.2 |
| 80 | 125.4 | 35.1 | 160.54 | 50.6 |
| 90 | 152.9 | 52.2 | 205.08 | 82.5 |
| 100 | 184.0 | 75.6 | 259.66 | 132.3 |
| 110 | 216.8 | 105.1 | 321.90 | 203.3 |
| 120 | 252.2 | 142.1 | 394.21 | 304.8 |
| 130 | 299.0 | 199.7 | 498.76 | 488.0 |
| 140 | 351.9 | 276.7 | 628.57 | 775.0 |

Tabla 22: Valores de k para ambas normas

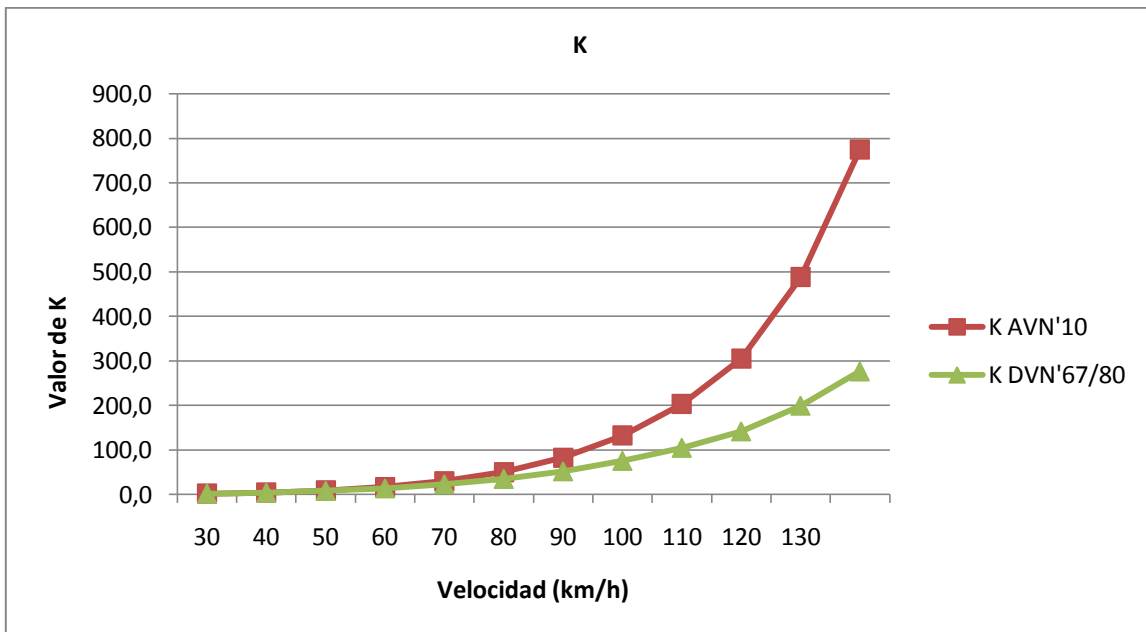


Gráfico 17: Comparación de valores de k

De la comparación de los valores de K concluimos que a partir de los 90 km/h la diferencias son más notorias, con valores para la AVN'10 mayores y por lo tanto curvas más tendidas, de longitudes mayores, con el consecuente aumento del movimiento de suelo. Además la AVN'10 agrega una mayoración con los valores de Fim que se obtienen de tablas en función de K, la velocidad y la pendiente media.

| V km/h | Kbásico (m%) | Pendiente media | | | |
|-----------|-----------------|-----------------|---------|---------|----------|
| | | 0 - 2% | 2 - 4 % | 4 - 7 % | 7 - 10 % |
| 25 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 30 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 40 | 4 | 1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 |
| 50 | 8 | 1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 |
| 60 | 15 | 1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 |
| 70 | 24 | 1 | 1,1 | 1,3 | 1,5 |
| 80 | 38 | 1 | 1,2 | 1,3 | 1,5 |
| 90 | 57 | 1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 |
| 100 | 84 | 1 | 1,2 | 1,4 | 1,7 |
| 110 | 119 | 1 | 1,2 | 1,4 | 1,7 |
| 120 | 165 | 1 | 1,2 | 1,4 | 1,8 |
| 130 | 226 | 1 | 1,2 | 1,5 | 1,9 |
| 140 | 300 | 1 | 1,3 | 1,5 | 1,9 |

$$L_{\min} (m) = K_{\text{básico}} \times \Delta i \times F_{\text{im}}$$

Tabla 23: Coeficientes de mayoración de k

- Apariencia estética de la rasante

AVN'10

$$L_{\min} \text{ (m)} = V \left(\frac{k}{h} \right)$$

Mientras que en la VN'67/80 se toma

$$L_{\min} \text{ (m)} = 0.70 V \left(\frac{k}{h} \right)$$

De esta manera se genera una longitud mínima mayor para la AVN'10, cuidando aun más el aspecto estético de la curva cóncava.

- Kminimo

Válido para ambas normas: $K \geq 4 \text{ m/\%}$, independiente de V

Tanto AVN'10 como VN'67/80 establecen:

Para $V \geq 80 \text{ Km/h}$: $\Delta i \text{ (\%)} \leq 40/V$

Para $V \leq 80 \text{ Km/h}$: $\Delta i \text{ (\%)} \leq 0.5$

Curvas Verticales Cóncavas

AVN'10

Valor Kbasico para DVD ($i_m \leq 2\%$)

La operación nocturna es más desfavorable que la operación diurna por ser la altura de los faros delanteros menor que la de los ojos.

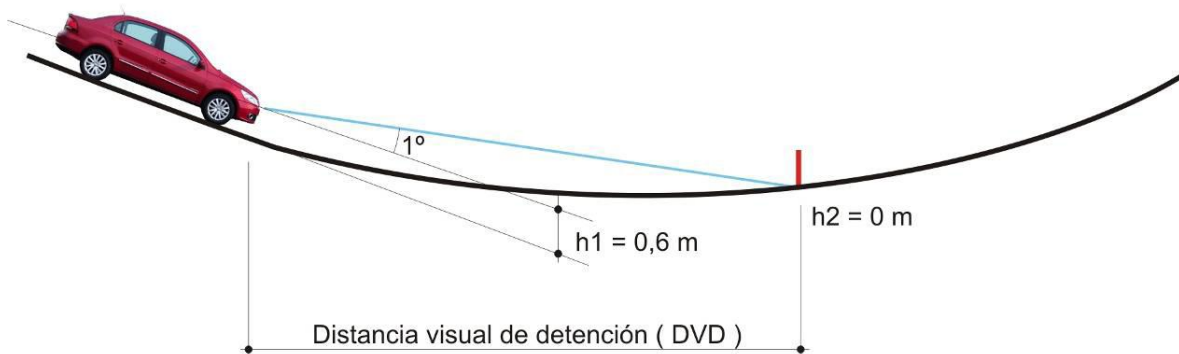


Figura 7: Esquema de curvas convexas

$$K = \frac{DVD^2}{200 \times (h1 + DVD \tan 1^\circ)}$$

Donde h1=0.60 m, es la altura de faros delanteros y resulta:

$$K = \frac{DVD^2}{120 + 3.5 \times DVD}$$

VN'67/80

$$p = \frac{DVD^2}{2 \times h1 + 0.035 \times DVD} =$$

con h1=0.65, y considerando que K=p/100

$$K = \frac{DVD^2}{130 + 3.5 \times DVD} =$$

Comparando ambas formulas tenemos:

| V (km/h) | DVN'67/80 | | AVN'10 | |
|----------|-----------|------|------------|-------|
| | DVD (m) | K | DVD (km/h) | K |
| 30 | 30.3 | 3.9 | 34.20 | 4.9 |
| 40 | 43.9 | 6.8 | 50.73 | 8.4 |
| 50 | 60.7 | 10.8 | 71.43 | 13.4 |
| 60 | 78.8 | 15.3 | 94.14 | 19.3 |
| 70 | 101.2 | 21.2 | 122.40 | 26.8 |
| 80 | 125.4 | 27.6 | 153.05 | 35.2 |
| 90 | 152.9 | 35.1 | 188.01 | 44.9 |
| 100 | 184.0 | 43.7 | 227.76 | 55.9 |
| 110 | 216.8 | 52.9 | 269.74 | 67.7 |
| 120 | 252.2 | 62.8 | 314.96 | 80.5 |
| 130 | 299.0 | 76.0 | 375.01 | 97.5 |
| 140 | 351.9 | 90.9 | 442.85 | 116.7 |

Tabla 24: Valores de k para ambas normas

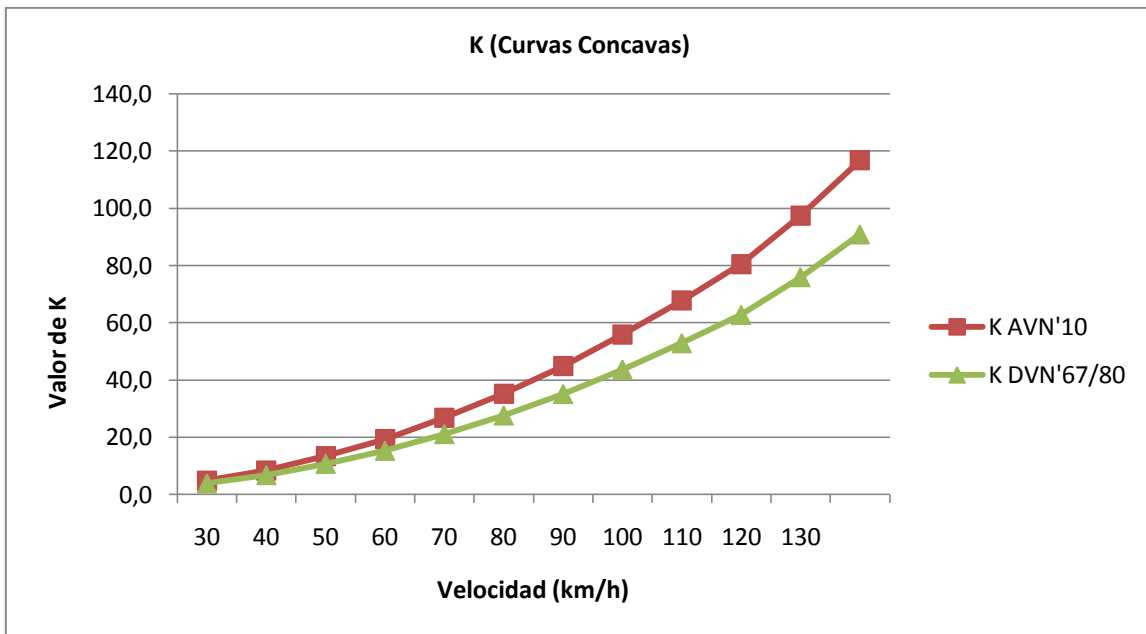


Gráfico 18: Comparación de valores de k

Valor Kbasico para DVD bajo estructura.

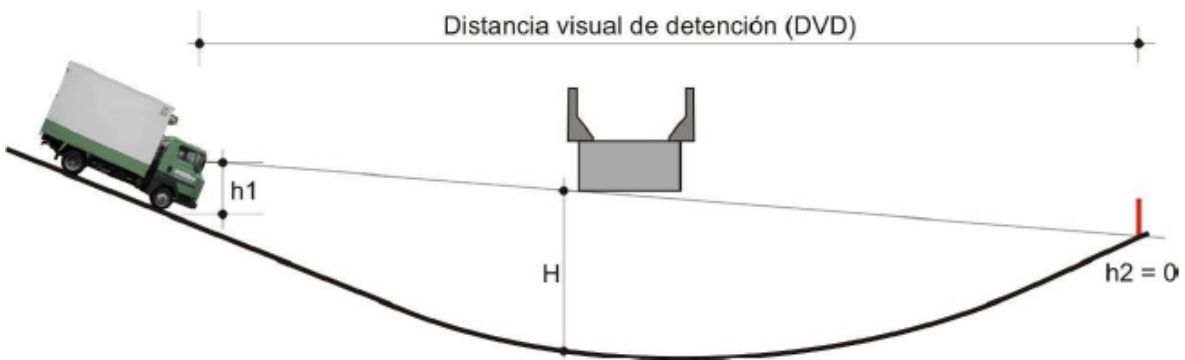


Figura 8: Esquema curva cóncava bajo estructura

Nuevamente la operación nocturna es más desfavorable que la operación diurna.

Ambas normas utilizan el mismo modelo pero varían las alturas:

$$K = \frac{DVD^2}{800 \left(H - \frac{h1+h2}{2} \right)}$$

Con AVN'10

- Altura mínima de $H=4.5$ m
- Altura del objeto $h_2=0.0$ m
- Altura del ojo del camionero $h_1=2.2$ m

$$K = \frac{DVD^2}{2720}$$

Para la VN'67/80 cambia $h_2=0.20$ m

$$K = \frac{DVD^2}{2640}$$

| V (km/h) | DVN'67/80 | | AVN'10 | |
|----------|-----------|------|------------|------|
| | DVD (m) | K | DVD (km/h) | K |
| 30 | 30.3 | 0.3 | 30.66 | 0.3 |
| 40 | 43.9 | 0.7 | 44.66 | 0.7 |
| 50 | 60.7 | 1.4 | 62.07 | 1.4 |
| 60 | 78.8 | 2.4 | 81.18 | 2.4 |
| 70 | 101.2 | 3.9 | 105.12 | 4.1 |
| 80 | 125.4 | 6.0 | 131.36 | 6.3 |
| 90 | 152.9 | 8.9 | 161.72 | 9.6 |
| 100 | 184.0 | 12.8 | 196.84 | 14.2 |
| 110 | 216.8 | 17.8 | 234.66 | 20.2 |
| 120 | 252.2 | 24.1 | 276.24 | 28.1 |
| 130 | 299.0 | 33.9 | 332.88 | 40.7 |
| 140 | 351.9 | 46.9 | 398.82 | 58.5 |

Tabla 25: Valores de k curva cóncava bajo estructura

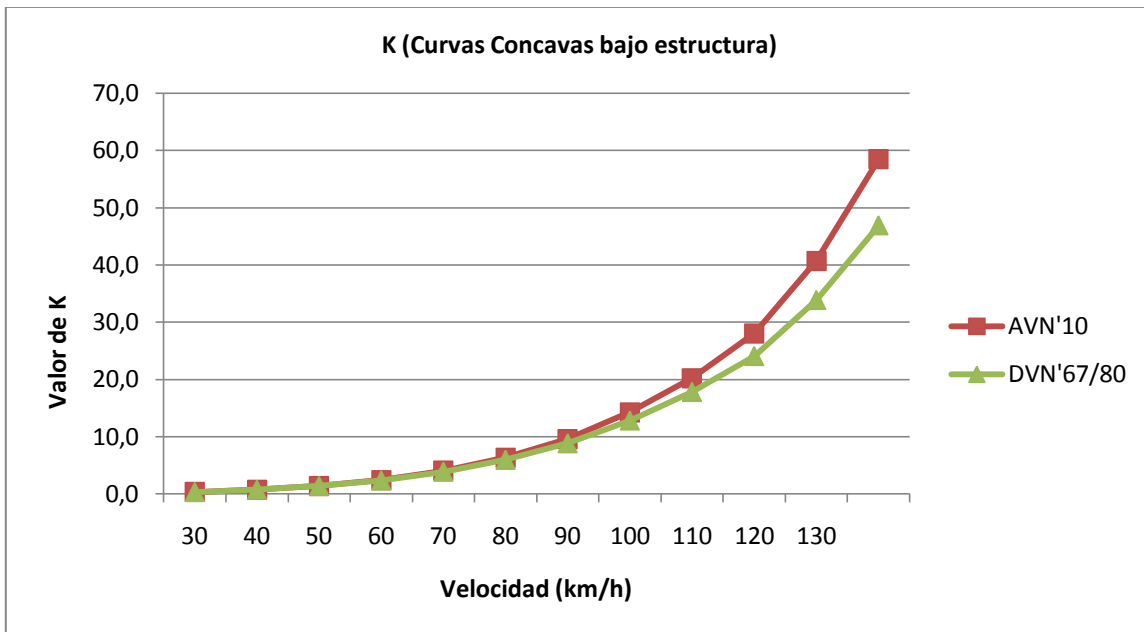


Gráfico 19: Comparación de k para curvas cóncavas bajo estructura

Ambos análisis de curvas cóncavas dan como resultado mayores K para AVN'10 originando curvas de aspecto más tendido y mayor longitud.

3.4 SECCIÓN TRANSVERSAL

Las características de una sección transversal pueden ser:

- Geométricas (visibles) o
- Estructurales (no visibles).

Las geométricas comprenden formas, posiciones y dimensiones de los elementos superficiales.

Normalmente se mantienen uniformes a lo largo de apreciables longitudes del camino y en caso de variar lo hacen gradualmente.

Las estructurales se refieren a las cualidades físicas de resistencia y estabilidad de los elementos superficiales e inferiores del pavimento, y a las de suavidad y fricción de los elementos superficiales del pavimento.

Las características estructurales que influyen sobre el diseño geométrico del camino tienen que ver con la facultad de la superficie del pavimento de mantener:

- forma y dimensiones.
- Fricción y rugosidad.
- Aptitud para drenar el agua de lluvia.

Carriles básicos

Ancho de carril según la AVN'10:

- Para $V \geq 80$ Km/h (alta velocidad) adopta 3.65m (LV 3.6m).
- Para $V \leq 80$ Km/h (baja velocidad) adopta 3.35m (LV 3.3m).

Para la AVN' 10 el índice de choques aumenta para anchos de carril superiores a 3.65m.

Ancho de carril según la VN' 67/80:

La VN' 67/80 propone cinco anchos diferentes de carriles: 3m; 3.35m; 3.50m; 3.65m; 3.75m. Su elección está en función del volumen de vehículos y categoría del camino.

| Velocidad directriz | | CATEGORIA DEL CAMINO | | | |
|---------------------|------|----------------------|------|------|------|
| km/hora | Esp. | I | II | III | IV |
| 30 | - | - | - | - | - |
| 40 | - | - | - | - | 6,00 |
| 50 | - | - | - | - | 6,00 |
| 60 | - | - | - | 6,70 | 6,00 |
| 70 | - | - | 6,70 | 6,70 | 6,70 |
| 80 | - | 7,00 | 6,70 | 6,70 | 6,70 |
| 90 | - | 7,00 | 6,70 | 6,70 | 6,70 |
| 100 | - | 7,50 | 7,30 | 6,70 | 6,70 |
| 110 | 7,50 | 7,50 | 7,30 | 7,30 | 6,70 |
| 120 | 7,50 | 7,50 | 7,30 | 7,30 | - |
| 130 | 7,50 | 7,50 | 7,30 | - | - |

Tabla 26: Anchos de calzada para VN'67/80

Forma del perfil de la calzada

La AVN'10 adopta como perfil mínimo para un adecuado drenaje superficial de la calzada y una operación estable del vehículo del 2%.

Las pendientes transversales de la calzada se establecen en función del tipo de pavimento que establece el siguiente cuadro:

| Tipo de pavimento | Pendientes transversales (%) |
|---|------------------------------|
| Hormigón | 2 |
| Concreto asfáltico | 2 |
| Carpeta bituminosa y macadam a penetración | 2,5 |
| Tratamientos bituminosos tipos doble y simple | 3 |
| Tratamiento bituminoso tipo triple | 3 |

Tabla 27: Pend. Transversal para AVN'10

A diferencia de la AVN'10 la VN' 67/80 propone el siguiente cuadro donde la pendiente transversal no solo se establece en función del tipo de pavimento sino también si la zona es seca o húmeda.

| TIPO DE PAVIMENTO | PENDIENTES TRANSVERSALES en % | |
|---|-------------------------------|-----------|
| | zona húmeda | zona seca |
| Hormigón | 1,00 | 1,00 |
| Concreto asfáltico | 1,25 | 1,25 |
| Carpeta bituminosa y macadam a penetración | 1,75 | 1,50 |
| Tratamientos bituminosos tipos doble y triple | 2,25 | 2,00 |
| Tratamiento bituminoso tipo simple | 2,50 | 2,25 |

Tabla 28: Pend. Transversal para VN67/80

Como se puede observar la AVN'10 no admite valores de bombeo menores al 2% resultando. Estas diferencias implican secciones transversales que originan mayor movimiento de suelo.

Banquina

Anchos de banquetas externas con pavimento o sin pavimentos adoptadas por la AVN'10.

| Tipos | Categoría | V km/h | Banquina | | |
|--------------|-----------|-----------|----------|-------|-------|
| | | | C/Pav | S/Pav | Total |
| | | | m | m | m |
| CARRETERA | II | 120 | 1 | 2 | 3 |
| | | 100 | 1 | 2 | 3 |
| | | 70 | 1 | 1 | 2 |
| | | 50 | 0,5 | 1,5 | 2 |
| COMÚN | III | 110 | 0,5 | 2,5 | 3 |
| | | 90 | 0,5 | 2,5 | 3 |
| | | 60 | 0,5 | 1,5 | 2 |
| | | 40 | 0,5 | 1 | 1,5 |
| BAJO VOLUMEN | IV | 100 | - | 3 | 3 |
| | | 70 | - | 3,3 | 3,3 |
| | | 50 | - | 2 | 2 |
| | | 30 | - | 1,5 | 1,5 |
| | V | 90 | - | 2 | 2 |
| | | 50 | - | 2 | 2 |
| | | 30 | - | 1,5 | 1,5 |
| | | 25 | - | 0,5 | 0,5 |

Tabla 29: Anchos de banquina para la AVN'10

La AVN'10 recomienda que en las curvas peraltadas de los caminos de categoría II y III se pavimentara toda la banquina externa con el peralte de la calzada.

VN'67/80 aplica el siguiente cuadro para determinar los anchos de banquetas:

| Topografía de la zona | Categoría del camino | | | | | |
|-----------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|
| | Esp. | I | II | III | IV | V |
| | Ancho de banquetas, en m | | | | | |
| Zona llana | 3,50 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,30 | 1,50 |
| Zona ondulada | 3,50 | 3,00 | 3,00 | 3,30 | 3,30 | 1,50 |
| Zona montañosa | - | 3,00 | 2,00 | 1,50 | 1,25 | 1,00 |

Tabla 30: Anchos de banquina para VN'67/80

La AVN'10 no exige banquetas de más de 3.30 m pero si requiere que en caminos de mayor categoría como la II y III, parte de la banquina sea pavimentada, de forma tal que la salida del carril a la banquina no sea brusca.

Taludes

Para los vehículos errantes los taludes laterales pueden ser traspasables o no.

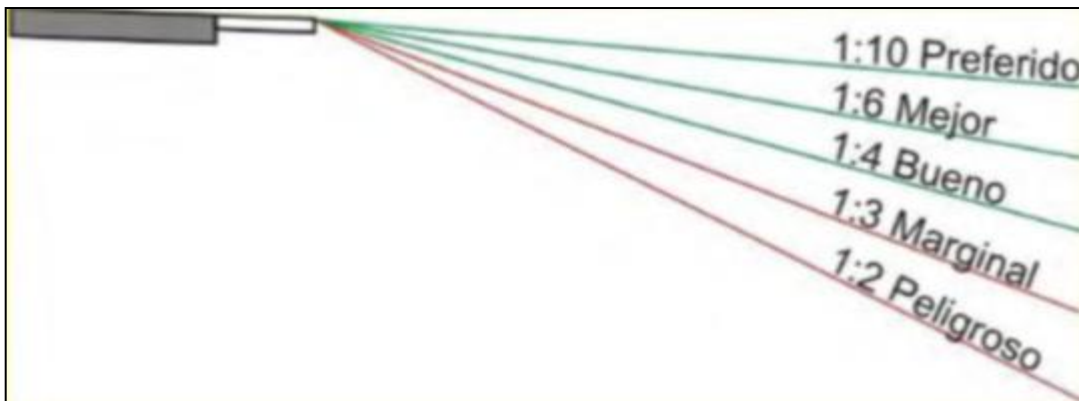


Figura 9: Taludes para AVN'10

- Mas empinado de 1:3 es peligroso (vuelco)
- Entre 1:3 y 1:4 traspasable pero no recuperable; los vehículos pueden transitar, pero el conductor no será capaz de volver a la calzada.
- 1:4 o mas plano, recuperable y traspasables.

La AVN'10 se adoptan taludes $\leq 1:4$ sin barreras para todas las categorías de caminos y topografías.

Además tender los taludes más planos tiene un efecto significativo sobre los accidentes:

- Tender de 1:2 a 1:3 pequeña reducción de accidentes
- Tender de 1:3 a 1:4 moderada reducción de accidentes
- Tender de 1:4 o más tendidos significativa reducción de accidentes.

VN' 67/80 aplica el siguiente cuadro:

| Categoría del camino | Topografía de la zona | Altura del terraplén, en metros | | | |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | sin baranda | | con baranda | |
| | | De 0 a 1,50 | De 1,50 a 3,00 | De 3,00 a 5,00 | Mayor que 5,00 |
| Especial | Llana | 1:6 | 1:4 | 1:3 | 1:2 |
| | Ondulada | 1:6 | 1:4 | 1:3 | 1:2 |
| I | Llana | 1:6 | 1:4 | 1:2 | 1:1,5 |
| | Ondulada | 1:6 | 1:4 | 1:2 | 1:1,5 |
| | Montañosa | 1:3 | (*) 1:1,5 | 1:1,5 | 1:1,5 |
| II | Llana | 1:4 | 1:4 | 1:2 | 1:1,5 |
| | Ondulada | 1:4 | 1:4 | 1:2 | 1:1,5 |
| | Montañosa | 1:2 | (*) 1:1,5 | 1:1,5 | 1:1,5 |
| III | Llana | 1:4 | 1:4 | 1:2 | 1:1,5 |
| | Ondulada | 1:3 | 1:3 | 1:2 | 1:1,5 |
| | Montañosa | 1:2 | (*) 1:1,5 | 1:1,5 | 1:1,5 |
| IV | Llana | 1:4 | 1:3 | 1:2 | 1:1,5 |
| | Ondulada | 1:2 | 1:2 | 1:1,5 | 1:1,5 |
| | Montañosa | 1:1,5 | (*) 1:1,5 | 1:1,5 | 1:1,5 |
| V | Llana | 1:2 | 1:2 | 1:1,5 | 1:1,5 |
| | Ondulada | 1:2 | 1:2 | 1:1,5 | 1:1,5 |
| | Montañosa | 1:1,5 | (*) 1:1,5 | 1:1,5 | 1:1,25 |

Nota: (*) En zonas de excavaciones de roca, para alturas de terraplenes mayores que 1,50 m se colocarán barandas.

Figura 10: Taludes VN'67/80

Ejemplo de sección transversal para ambas normas:

Camino: categoría III

Topografía: Montañosa

Carriles: 2 por mano (1+1), cuneta central de ancho 3 metros

Tramo recto de 200 m, V=90km/h

Tipo: pavimento de hormigón.

| | AVN'10 | DVN'67/80 |
|-----------------|-------------------|--------------------|
| Ancho de Carril | 3.65 | 3.35 |
| Bombeo | 2% | 1% |
| Banquina | 3.00 (0.5+2.5) | 3.3 |
| Talud | 1:4 | 1:2 sin baranda |

Tabla 31: Ejemplo

3.5 SECCIÓN TRANSVERSAL DE PUENTES

Se resuelven los problemas potenciales asociados con puentes angostos:

- Discontinuidad que afecta el comportamiento del conductor; algunos conductores reducen la velocidad aumentando el riesgo de choques traseros.
- Estructura del puente esta cerca del borde del pavimento; mayor riesgo de chocar un extremo del puente.
- Seguridad y características de puentes angostos son similares a las de banquetas angostas.

Debido a todos estos problemas potenciales la AVN'10 adopta que el ancho del puente debe ser igual al ancho del coronamiento de los accesos.

3.6 COORDINACION PLANIALTIMETRICA

Para realzar los aspectos de seguridad, funcionalidad, comodidad del conductor y apariencia estética de un camino se requiere resolver adecuadamente la coordinación de los elementos que componen la geometría horizontal y vertical del eje. El término genérico *coordinación planialtimétrica* trata sobre los conceptos considerar para que el ensamble espacial satisfaga las expectativas de los usuarios.

Aunque la mayoría de las recomendaciones de coordinación planialtimétrica tienen más de un objetivo (seguridad, estética, función), para los trazados en terrenos llanos o suavemente ondulados las recomendaciones sobre apariencia visual y estética tienen mayor aplicación, lo cual se explica porque en esas topografías el conductor tiene adelante una amplia visibilidad de la trayectoria por recorrer, y los cambios de curvatura de la calzada pueden apreciarse desde largas distancias; si la planta y la rasante no se diseñaron con amplitudes equivalentes, la vista de la calzada desde larga distancia contribuye a acentuar esas desigualdades.

En los terrenos montañosos son de mayor aplicación las recomendaciones relacionadas con la seguridad, las que procuran evitar engaños visuales, incertidumbres, pérdidas de trazado, o la aparición sin mayor aviso de curvaturas muy exigentes.

Las recomendaciones son las siguientes:

Para mejorar la seguridad de circulación

- a) Evitar que el comienzo de una curva horizontal quede escondido por curva vertical convexa: para evitar la pérdida de trazado en el conductor.



Figura 11: Coordinación planialtimétrica

- b) Evitar superponer una curva cóncava de parámetro reducido a una curva horizontal de escaso radio: se produce una distorsión visual tal que la curva se aprecia menos cerrada de lo que realmente es.
- c) Evitar el efecto de pérdida de trazado o zambullida por el exceso de curvas verticales sucesivas.

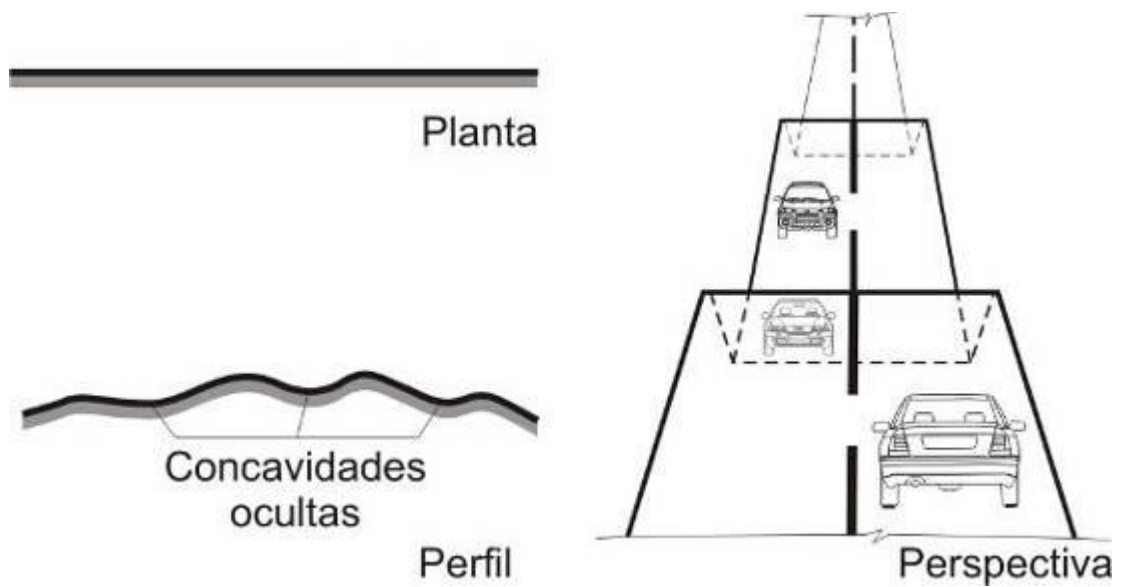


Figura 12: Efecto zambullida, mala coordinación

- d) Sobre trazados rectilíneos o suavemente curvos, hay que evitar rasantes con muchas curvas reducidas.

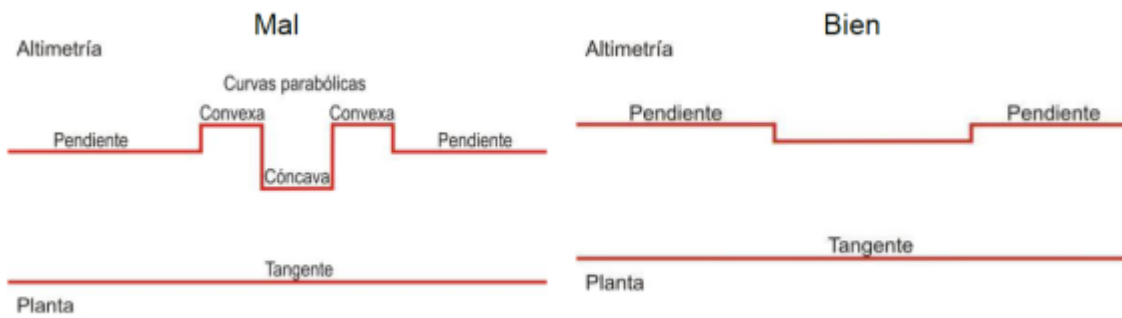


Figura 13: Exceso de curvas reducidas

- e) En las intersecciones a nivel, las curvas horizontal y vertical deben ser tan suaves como resulte posible



Foto 3: Pendientes en intersecciones

- f) Los puentes no deben presentarse sorpresivamente a la visión del conductor ni dificultar que se aprecie como continua el alineamiento mas allá de su emplazamiento.



Foto 4: Aproximación a puentes

Para mejorar la apariencia estética.

- a) la apariencia estética más agradable es la que se obtiene cuando las curvas horizontales y verticales están coordinadas y en fase unas con otras



Foto 5: Mal diseño

- b) Las longitudes de las curvas de los alineamientos horizontal y vertical deben ser similares superpuestas.

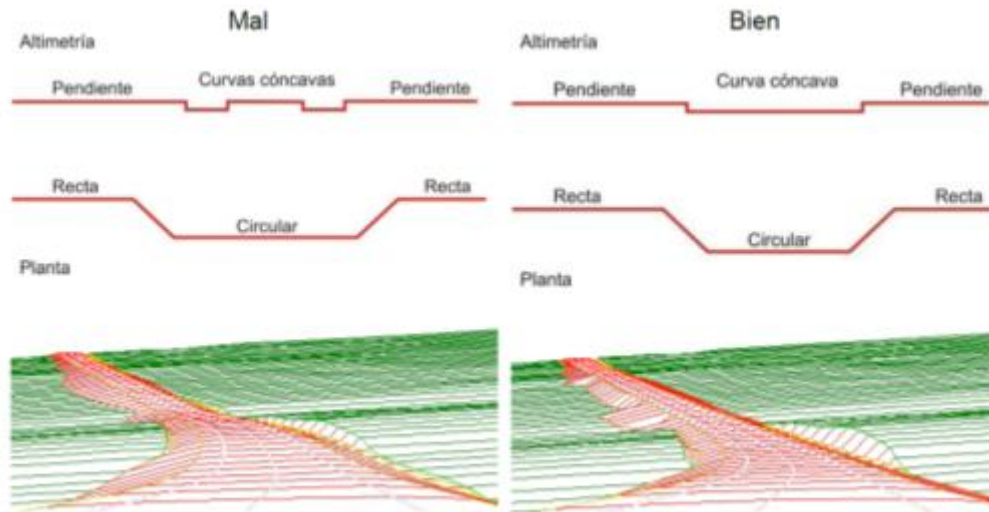


Figura 14: Coordinación planialtimétrica

- c) El tramo del camino que el conductor ve ante si en cada instante, debiera tener una longitud limitada, y no mostrar más de dos curvas horizontales y no más de tres quiebres en la rasante.

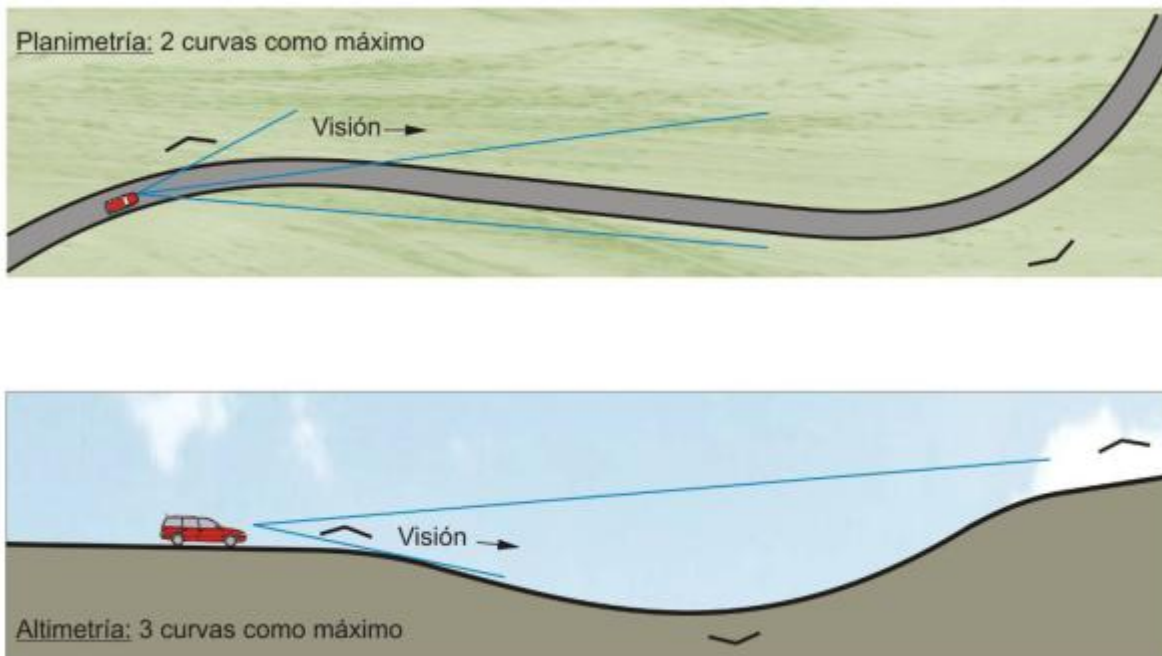




Foto 6: Buen diseño

- d) La apariencia visual agradable del camino se consigue con mayor facilidad cuando las curvas horizontales y verticales se diseñan con valores sensiblemente superiores a los mínimos requeridos por seguridad y dinámica

- e) Tramos rectos de corta longitud entre dos curvas circulares de un mismo sentido deben evitarse.

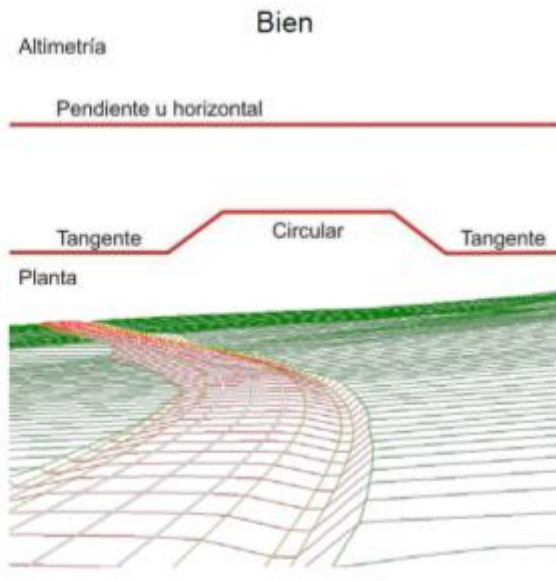
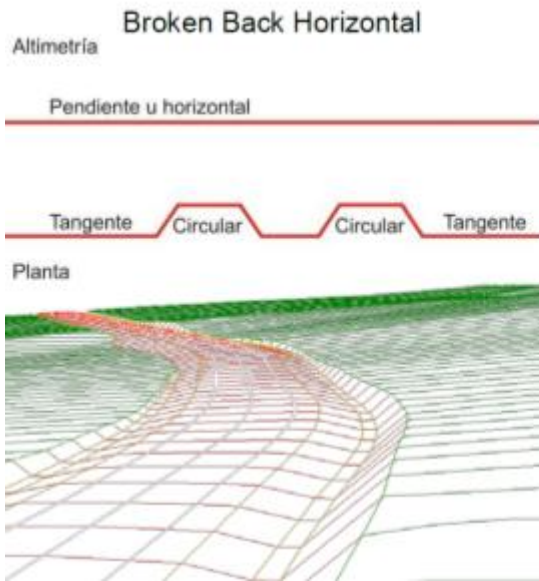


Foto 7: Broken back horizontal, mal diseño

- f) Tramos de rasante uniforme de corta longitud entre dos curvas verticales del mismo tipo, deben evitarse.

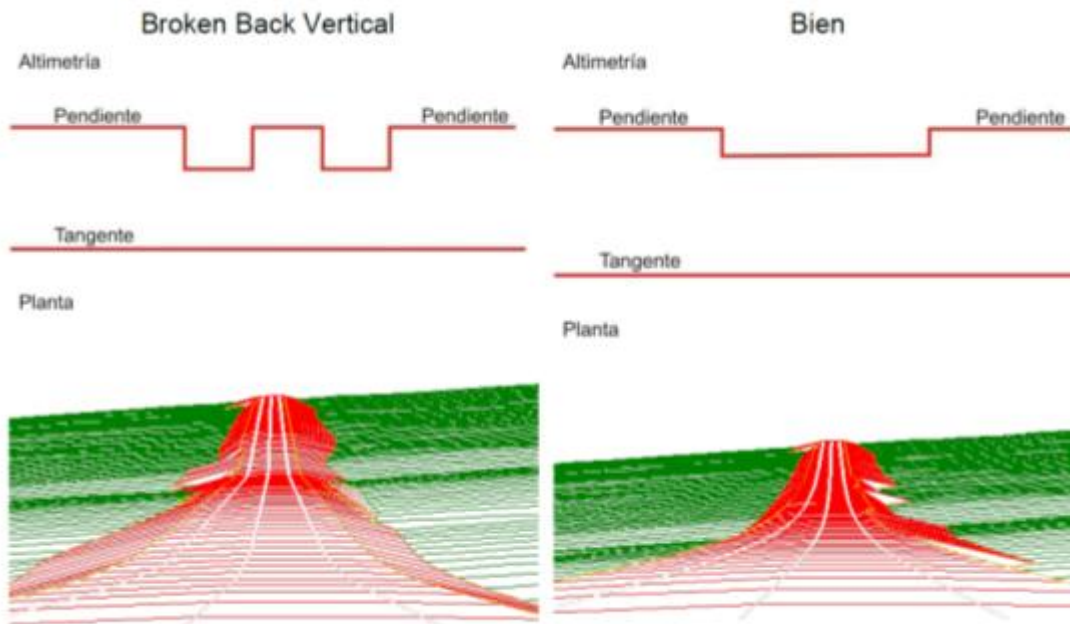


Foto 8: Buen diseño

3.7 COHERENCIA DE DISEÑO

Un camino coherente posee un diseño geométrico que les permite a los conductores circular a una velocidad cercana a la directriz sin que necesiten realizar cambios bruscos de velocidad o de trayectoria, forzados por la geometría del camino.

El concepto de coherencia de diseño surgió a partir de las frecuentes disparidades observadas entre la velocidad directriz, V , pretendidamente *uniforme* empleada en el proyecto, y la real velocidad de operación, VO , *variable* de los vehículos.

Las diferencias entre la velocidad de operación y la velocidad directriz generan discrepancias con lo que esperan los conductores, quien siente violadas sus expectativas. Estas discrepancias provocan situaciones peligrosas. Según AASHTO, la velocidad directriz “debería ser coherente con la velocidad que probablemente espera mantener un conductor” y “debería adecuarse a los deseos de viaje y hábitos de casi la totalidad de los conductores”.

Las expectativas del conductor sobre lo que le ha de deparar el camino influyen en su nivel de atención y forma de procesar la información.

La expectativa se define como “una inclinación, basada en las experiencias previas, para responder en una forma adecuada a la situación del camino o tránsito”. Esta representa las tendencias de los conductores para reaccionar a lo que ellos esperan en lugar de lo que ofrece la situación de camino o tránsito.

La *carga mental* es una medida del procesamiento de la información del conductor; se define como “la velocidad con que el conductor debe procesar una determinada cantidad de trabajo o tarea de conducción”. Los requerimientos de carga mental se incrementan a medida que la complejidad geométrica del camino aumenta. La carga mental también crece a medida que el tiempo disponible para procesar una determinada cantidad de información

Las investigaciones internacionales concentran el análisis de coherencia según cuatro enfoques principales:

- Homogeneidad Geométrica
- Lamm
- Polus
- Carga Mental

Estas corrientes intentan establecer mecanismos racionales para estimar las expectativas de los conductores y definir criterios de evaluación del diseño ante las expectativas modeladas.

El enfoque de Homogeneidad Geométrica se basa en el objetivo de lograr diseños visiblemente homogéneos, suponiendo que cambios bruscos de curvatura están asociados a cambios bruscos en la velocidad directriz y por tanto de la velocidad de operación y a un mayor riesgo de accidentes.

El enfoque de Lamm se basa en el estudio del comportamiento de 2 elementos geométricos: Curvas aisladas simples y curvas compuestas. Plantea que existe una correlación positiva entre la curvatura media (tasa de cambio de curvatura, según la denominación de Lamm), y la ocurrencia de accidentes. Sobre esa hipótesis, postula que los conductores seleccionan una velocidad de operación, en función de la *percepción* de las curvaturas, la cual no necesariamente corresponde a la construida según el diseño.

El enfoque de Polus intenta determinar indicadores de coherencia que involucran segmentos largos de trazado. Inicialmente desarrolló un método basado en el análisis espectral del trazado el cual correlaciona con calificaciones de coherencia de trazado basado en el juicio experto. Después propuso un enfoque de análisis de coherencia más amplio, en el cual supone que la incoherencia aumentará exponencialmente en el trazado, en la medida en que exista una mayor varianza punto a punto de la velocidad de operación respecto del valor medio ponderado, y en la medida que la diferencia total en un trazado entre ambas velocidades sea mayor.

El enfoque basado en la Carga Mental postula que el conductor está sometido a ni-veles de esfuerzo que dependen de las condiciones del ambiente de conducción. Como indicador se propone el estrés del conductor, expresado como la razón entre el tiempo requerido para ejecutar una serie de tareas de conducción a una velocidad promedio y el tiempo disponible para ejecutar dichas tareas.