



SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS

DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD

NORMAS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS

ADAPTACIÓN Y AMPLIACIÓN DE LAS
NORMAS DE DISEÑO DEL ING. F. G. O. RUHLE

TOMO I

CADIA - COARA - LEIDERMAN
Consultoras

1980

INDICE GENERAL

<u>Capítulo</u>	<u>Contenido</u>	Páginas	
		<u>Primera</u>	<u>Ultima</u>
I	Factores que influyen en el diseño	I-1	I-44
II	Características geométricas del diseño	II-1	II-124
III	Criterios generales para el diseño geométrico del proyecto	III-1	III-34
IV	Intersecciones a nivel en caminos rurales	IV-1	IV-72
V	Intercambiadores de tránsito	V-1	V-86
VI	Elementos laterales del camino: soportes, barreras y amortiguadores de impacto	VI-1	VI-74
VII	Iluminación	VII-1	VII-21
VIII	Estructuras para el desague	VIII-1	VIII-6

CAPITULO I

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO

Sección 1.1. CONFIGURACION DEL TERRENO

Sección 1.2. TRANSITO

1.2.1. Volumen de Tránsito

- . Tránsito medio diario anual
- . Tránsito medio diario mensual, semanal, etc.
- . Volumen horario

1.2.2. Distribución

1.2.3. Composición

1.2.4. Crecimiento

- . Tránsito inicial
- . Expansión del tránsito inicial

1.2.5. Velocidad

- . Velocidad directriz
- . Velocidad máxima ponderada segura
- . Velocidad media instantánea

- . Velocidad general de recorrido
- . Velocidad de operación
- . Velocidad de marcha o de circulación
- . Velocidad media de marcha

1.2.6. Capacidad

- . Capacidad
 - . Nivel de servicio
 - . Volumen de servicio
-

CAPITULO I

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO

El diseño geométrico de un camino, se encontrará preponderantemente influenciado por dos factores: primero por la configuración -- del terreno que debe atravesar, y segundo, por las modalidades y exigencias del tránsito que debe soportar.

Será un buen diseño el que, con un costo anual mínimo, tenga en -- cuenta, simultáneamente ambos factores, en la medida de su importancia.

En efecto, cuando el tránsito es reducido, el diseño del camino -- deberá estar más influenciado por el primer factor, es decir, tendrá que adaptarse dentro de lo posible a la configuración del terreno. En cambio, cuando el tránsito es intenso, las necesidades de los usuarios y las características del tránsito serán los factores que intervendrán preponderantemente en su diseño.

Sección 1.1. CONFIGURACION DEL TERRENO

La configuración del terreno a que se ha hecho referencia, no comprende solamente las características físicas y topográficas del terreno, sino también, el uso de las tierras y el desarrollo de la zona atravesada.

Si bien todos estos factores influyen en la elección de un trazado, preponderantemente, para un tránsito dado, la topografía del terreno es la que determina el nivel de las normas de diseño geométrico.

De acuerdo con su relieve, se ha clasificado al terreno en tres clases:

Zona llana

Zona ondulada

Zona montañosa

Las zonas llanas poseen pendientes del terreno tan reducidas, que el relieve en sí, no influye mayormente en el trazado o en el costo de un camino.

En cambio, en las zonas montañosas las pendientes del terreno influyen de manera decisiva en el trazado o en el costo del camino que las atraviesan.

Las zonas onduladas, poseen características intermedias entre las dos anteriores.

Esta clasificación no es rígida, ya que habrá caminos que deban desarrollarse en terrenos que no podrán encuadrarse estrictamente en algunos de la clasificación anterior.

En general, aunque se presentan excepciones, los caminos de montaña se desarrollan por lugares con suelos de características rocosas, lo que no ocurre comunmente -- con los de la zona llana.

La presencia de cursos de agua, de suelos de baja calidad, de zonas inundables, etc., también puede influir en el trazado de un camino.

Finalmente, la existencia de cultivos valiosos, yacimientos de minerales utilizables, construcciones de importancia, etc., son otros factores que incidirán en la elección de un trazado.

Sección 1.2. TRANSITO

Los volúmenes, composición, distribución, crecimiento y velocidad del tránsito, conjuntamente con la topografía, determinan diversas magnitudes del diseño geométrico de un camino, tales como radios y peraltes de curvas horizontales, parámetros de curvas verticales, pendientes, anchos de calzada, etc.

1.2.1. Volumen de Tránsito

Se denomina volumen de tránsito al número de vehículos que pasa por un tramo dado de una trocha o de una calzada durante un período de tiempo de una hora o más. Puede expresarse en términos de tránsito diario o anual, o sobre una base horaria.

. Tránsito medio diario anual

Es el volumen total anual dividido por el número de días del año, generalmente se abrevia TMDA.

. Tránsito medio diario mensual, semanal, etc.

Es el volumen de tránsito de un mes, semana, etc., dividido por el número de días de dicho lapso.

. Volumen horario

Si se ordenan por magnitudes decrecientes los volúmenes horarios de las 8760 horas de un año, se denomina volumen horario de la enésima hora, al que ocupa el rango enésimo de dicho ordenamiento. En otros términos es el volumen horario que durante el transcurso del año solo es superado (n-1) veces.

En la generalidad de los casos a los fines de diseño, se utiliza el volumen de la trigésima hora anual, excepto para caminos con volúmenes esta--cionales muy acentuados. En estos últimos sue--len utilizarse los volúmenes de la 50a. a la 80a. hora anual.

Para una determinada sección, la relación entre el volumen de la trigésima hora anual y el volu--men medio diario anual, varía muy lentamente de año a año.

En los E.E.U.U. se ha encontrado que en caminos rurales de dos trochas indivisas, en un lapso - del orden de los 20 años, dicha relación ha va--riado en promedio, del 15,3% (1) al 13,6% (2).- Este último valor corresponde al promedio de los años 1961 - 1962. Para estos mismos años, en zo--nas urbanas el promedio era del 10,6%.

En nuestro país, en el año 1963 (3) se han efec--tuado determinaciones de dicha relación, en de--terminados caminos rurales de la Provincia de --Buenos Aires, encontrándose que el volumen de la trigésima hora anual está comprendido entre el - 16 y el 18 % del volumen medio diario anual, sien--do su promedio el 16,6%.

Para un camino influenciado por el tránsito urba--no, se determinó que dicho porcentaje era del --- 10,1%.

Se estima que en nuestro país se irá produciendo, en el curso de los años, un decrecimiento del por--centaje correspondiente a caminos rurales, en for--ma similar al operado en los E.E.U.U.

1.2.2. Distribución

Si bien, en general, la distribución de los volúmenes de tránsito medio diario anual es la misma en ambas direcciones, durante las horas de "pico" una de las trochas lleva volúmenes mayores que la otra. Para esas condiciones se ha encontrado, que para caminos rurales, en uno de los sentidos del tránsito circulan del orden de las dos terceras - partes del volumen total.

1.2.3. Composición

El tránsito puede ser dividido en tres grupos principales a saber:

- a) Automóviles: se incluyen también en esta categoría a las "rurales", camionetas, y todo otro vehículo cuyas características de operación se asemeje a las de los automóviles.
- b) Omnibus: Incluye a los "colectivos", micro-ómnibus y similares.
- c) Camiones: Incluye a los camiones con y sin acoplado .semi-remolques, semi-remolques con acoplado y todo otro vehículo cuyas características de operación sean similares a las de los camiones.

De acuerdo a datos sobre el patentamiento de vehículos automotores, el porcentaje de vehículos de carga ha ido disminuyendo paulatinamente en los últimos años y según estudios sobre predicción del tránsito, esta tendencia de disminución del porcentaje de camiones proseguirá en el futuro.

Además, se ha observado que el porcentaje de camiones en el tránsito urbano, en general es menor que en el tránsito rural. Para este último, dicho porcentaje con relación al volumen medio diario, era del orden del 40% para el año 1964, aunque muy variable de un camino a otro.

En la red rural en jurisdicción de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires, se ha determinado un porcentaje promedio del 46%, obteniéndose en cambio el 21% de camiones en la red provincial de zonas semi-urbanas (3).

Para caminos rurales, en las horas de pico, la proporción de camiones con respecto al volumen total es menor, del orden de la mitad a los dos tercios del volumen diario (8), aunque datos de observaciones anteriores hacían variar dicha proporción entre el 67% y el 75% de este volumen (9).

En general, puede aceptarse que el porcentaje de camiones en la trigésima hora anual, es del orden de las dos terceras partes del correspondiente al volumen medio diario anual.

1.2.4. Crecimiento

Se denomina período de proyección de un camino al lapso comprendido entre la iniciación de su estudio, hasta el momento en que deja de prestar, con la eficiencia asignada, los servicios para el cual fuera proyectado. Este último momento suele designarse como año futuro de diseño.

El intervalo de tiempo comprendido desde la iniciación del estudio hasta la finalización de la obra y habilitación al tránsito, que comprende los lapsos necesarios para el estudio, proyecto, licitación y construcción del camino, se designa como período de realización.

La diferencia entre los períodos precedentemente citados, o sea el lapso durante el cual el camino prestará, en general, servicios con igual o mayor eficiencia que la asignada en el proyecto, es el período de servicio.

Para un adecuado diseño geométrico del camino es fundamental conocer el volumen y composición futura del tránsito que lo deba recorrer.

Para ello será necesario conocer previamente el volumen de tránsito inicial que tendrá el camino al cabo del período de realización y luego se determinará el crecimiento estimado de dicho volumen a través del tiempo, hasta el año futuro de diseño, o sea durante el período de servicio asignado.

Tránsito inicial

El volumen medio diario de tránsito inicial es la suma de dos componentes:

- a) Tránsito existente
- b) Tránsito atraído

La existencia de la primera componente, o sea el tránsito existente, solo tiene sentido cuando se trate de efectuar mejoras sobre un camino en uso y no cuando se trate de un trazado nuevo.

Su determinación se efectúa en general con censos de tránsito. Si solo se conocen por ejemplo, el tránsito medio diario de un mes determinado, el tránsito medio diario anual puede hallarse dividiendo el tránsito anterior por un coeficiente denominado de estacionalidad (10), que en general varía entre 0,8 y 1,2 aunque estos límites para caminos con tránsito estacional muy acentuado, pueden ser más amplios (3).

La segunda componente o sea el tránsito atraído -- corresponde al tránsito existente que usaba anteriormente otras rutas próximas, pero que debido a la construcción del nuevo camino, o al mejoramiento del existente circulará por éste, debido al mejor servicio que ofrece.

Este volumen puede ser obtenido por censos de --- tránsito de origen y destino (11), o estimado en base al conocimiento de factores locales, longi-- tud, pendientes, capacidad, etc. de la red de caminos existentes, y de las facilidades que el camino nuevo o mejorado ofrezca a la circulación -- (12).

Por otra parte, aunque los caminos existentes alu-- didos puedan tener un buen diseño geométrico, si los volúmenes que circulan por ellos se encuen--- tran próximos a su capacidad, es presumible que -- una parte importante de su tránsito se derivará -- al camino nuevo o mejorado.

Expansión del tránsito inicial

Determinado el tránsito inicial, se podrá estimar el tránsito para el año futuro de diseño.

Para ello, este último tránsito se considera integrado por cuatro componentes, a saber:

- a) Crecimiento vegetativo.
- b) Incremento originado por el tránsito inducido.
- c) Incremento originado por el mayor desarrollo del área de influencia con relación al normal, debido a la construcción del camino.
- d) Decremento debido a diversas causas.

a) Crecimiento vegetativo o normal

Es el incremento originado por el aumento general de la zona, del número y recorrido de los automotores.

En un estudio efectuado en 1964 (13) se predice - que para todo el país desde el año 1962 hasta el año 1990 habrá un aumento de volúmenes de tránsito del 487,93 %, lo que representa una tasa anual de crecimiento del 5,8 %. Este valor se encuentra -- próximo al crecimiento originado entre 1936 a 1962, del 518 % que representa una tasa anual de 6,5 %.

Otro trabajo de predicción de tránsito (5) plantea dos hipótesis para el período 1960 a 1975. Por la primera de ellas resulta una tasa anual media de crecimiento del 10,3 % y por la segunda el 7,1 %. Por otro estudio efectuado en la Ruta Nacional N° 19, en la provincia de Santa Fe (10), se obtuvo - que el valor del coeficiente medio instantáneo de crecimiento de los volúmenes de tránsito entre --

1952 y 1964 era de 0,0686, lo que representa una tasa anual del 7,1 %.

Finalmente en otra publicación (14), en base a los censos de tránsito de Vialidad Nacional, se ha estimado en un 8 %, el valor de la tasa anual de crecimiento hasta 1975.

Como dato ilustrativo se señala que el parque -- automotor, aumentó desde 749525 vehículos en 1958 a 1575571 vehículos en 1965 (15), lo que representa una tasa de crecimiento medio del 11,2 %.

No obstante se considera que este veloz crecimiento, originado por la rápida expansión de la industria automotriz de nuestro país, no podrá mantenerse (5).

Por otra parte, de los estudios citados se desprende que la tasa de crecimiento anual de camiones varía relativamente poco entre el Gran Buenos Aires y el resto del país, siendo en cambio más importantes las variaciones en la tasa de aumento anual de automóviles.

Se han establecido en consecuencia tres zonas con diferentes tasas de crecimiento anual de tránsito.

A) Zonas muy desarrolladas

Conjunto de zonas urbanas y suburbanas de grandes núcleos poblados, tales como el Gran Buenos Aires, Córdoba, Rosario. Incluye también otras grandes ciudades cuyo desarrollo sea muy rápido.

B) Zonas desarrolladas

En general comprende casi todo el litoral del país, excepto las zonas indicadas en A) y partes de la Patagonia, Cuyo y el Noroeste. Incluye también a zonas poco desarrolladas pero en vías de rápido desarrollo.

C) Zonas poco desarrolladas y en lento proceso de desarrollo

Comprende gran parte del noroeste, partes de Cuyo y de la Patagonia y zonas aisladas del litoral.

Las tasas de crecimiento anual son respectivamente las siguientes:

CUADRO N° I-1

TIPO DE VEHICULO	Tasa anual de crecimiento del tránsito en %.		
	<u>ZONA A</u>	<u>ZONA B</u>	<u>ZONA C</u>
Automóviles	8,5	7,0	6,0
Camiones	5,5	5,0	4,5

Si bien la zona A es de pequeña extensión, absorbe aproximadamente la mitad o más de los volúmenes de tránsito automotor del país, en cambio la zona C, que es muy extensa, absorbe, aproximadamente, sólo la décima parte del total.

Esta división por zonas, algo ambiguas, no es rígida ya que habrá caminos cuyas tasas de crecimiento serán diferentes a las indicadas.

Es de desear que censos de tránsito más frecuentes y mayor número de años de registro, permitan determinar valores más aproximados de dichas tasas.

En el cuadro N° I-1 no se han considerado las tasas de crecimiento de los ómnibus, debido al reducido porcentaje de estos vehículos en relación al volumen total de tránsito. No obstante para

calcular las tasas de crecimiento del tránsito total, se podrá, para simplificar, dividir el tránsito de ómnibus en mitades, asignando sendas partes, al de automóviles y camiones.

La tasa media de crecimiento del tránsito total, aplicando las tasas indicadas en el cuadro N° 1 es de aproximadamente de 7 % para un período de 25 años que comience en la actualidad.

Es de señalar que, según datos extraídos del Anuario 1979 de "ADEFA" (Asociación de Fabricantes de Automotores), la tasa media de crecimiento del parque de automóviles en todo el país en el período 1970/78 alcanzó al 9,17 %, mientras que para camiones fue del 5,03 %, manteniendo ambas tasas una tendencia decreciente y confirmando lo expresado en el párrafo anterior, sobre la base de las tasas indicadas en el Cuadro N° 1, de que en la actualidad la tasa media de crecimiento del tránsito total es de aproximadamente un 7 %.

b) Incrementos originados por el tránsito inducido.

Se denomina tránsito inducido o generado, a aquel que sólo se origina por las favorables condiciones de circulación que ofrece el camino y que no existiría de no habérselo ejecutado o mejorado.

Por ejemplo la construcción de un camino entre dos localidades no vinculadas anteriormente por dicho medio de comunicación, puede ser un factor que, sin restar tránsito a otras rutas, incida para que un determinado número de vehículos lo utilicen, originando un tránsito inducido. De igual manera puede haber un tránsito inducido importante, debido a la pavimentación de un camino de tierra, circunstancia que genera una serie de viajes antes inexistentes.

En general, podemos decir que el tránsito inducido está constituido por:

- a) Los viajes que no se efectuaban anteriormente.
- b) Los viajes que anteriormente se realizaban en transporte público.
- c) Los viajes que se efectuaban hacia otros destinos y que con las nuevas facilidades ofrecidas han sido atraídos hacia el camino en estudio.

En los E.E.U.U., hay estudios limitados sobre el -- tránsito inducido pero se ha llegado a la conclusión que se genera al primero o al segundo año de cons---truído o mejorado un camino, en porcentajes muy va--riables que pueden llegar al 30 o 60 % del tránsito inicial, pero que generalmente están comprendidos entre el 5 y 25 % (8). En nuestro país se ha verificado que algunos de estos incrementos por tránsito generado, debidos a sustanciales mejoras de un camino (por ejemplo pavimentación de un camino de tierra), eran de magnitud apreciable, llegando en algún caso al 80% del tránsito inicial.

- c) Incremento debido al mayor desarrollo de la zona de influencia del camino, con relación al que normalmen te hubiera tenido lugar, de no haberse ejecutado.

La componente del tránsito futuro del camino origina da por el desarrollo normal de la zona aledaña, se - encuentra considerada al aplicar la tasa correcta de crecimiento vegetativo.

No obstante, cuando debido a la ejecución o mejora-- miento sustancial de un camino, la zona adyacente sufre un proceso de desarrollo más acelerado que el -- normal, ya sea por subdivisión de la tierra y crea-- ción de nuevos núcleos de población, ya sea por la - radicación de industrias, etc., se produce un incre- mento adicional del tránsito. Esta componente se designa más simplemente como volumen originado por ma- yor desarrollo.

Este mayor desarrollo se produce en general a lo largo de un número relativamente grande de años, por cuya causa su influencia puede ser tenida en cuenta incrementando la tasa anual de crecimiento vegetativo.

Indudablemente, para poder evaluar este incremento debe poseerse una información detallada de las condiciones locales y de sus posibilidades de mayor desarrollo que se originarían por la ejecución del camino.

En casos favorables la tasa de incremento adicional a considerar puede llegar a ser del orden del 1%, siendo en general mayor para automóviles que para camiones y mayor también para zonas próximas a las urbanas que para las estrictamente rurales. En estas últimas en muchos casos este incremento de tránsito puede ser de escasa o nula significación.

Se utilizarán las siguiente denominaciones:

- n' : Período de realización, en años
- n'' : Período de establecimiento del tránsito generado, contado a partir de la iniciación del estudio.
- n''' : Lapso que transcurre desde la fecha de iniciación del estudio, hasta la fecha de producirse el decremento de tránsito, por causas circunstanciales, en años.
- n : Período de proyección, en años.
- T : Volumen medio diario de tránsito, en un mes dado a la fecha del estudio, en veh/día.
- m : Coeficiente de estacionalidad.

- T_a : Volumen medio diario anual de tránsito existente a la fecha del estudio, en veh/día.
- A : Tránsito atraído que circularía en la fecha del estudio, de habilitarse en dicho momento el camino proyectado, en veh/día.
- E : Tránsito total del estudio, suma de los dos anteriores, en veh/día.
- a : Coeficiente medio instantáneo de crecimiento de volúmenes de tránsito.
- r : Tasa de aumento del tránsito por crecimiento vegetativo.
- I : Volumen de tránsito inicial, al cabo del período de realización en veh/día.
- C : Componente del volumen de tránsito futuro - de diseño, originada por crecimiento vegetativo del tránsito inicial.
- g : Porcentaje de aumento del tránsito inicial por establecimiento del tránsito inducido o generado, en %.
- G : Componente del volumen de tránsito futuro de diseño originado por el crecimiento vegetativo del tránsito inducido en veh/día.
- d' : Tasa de aumento del tránsito a partir de la habilitación del camino por mayor desarrollo que el normal de la zona adyacente, originado por su ejecución.
- d : Tasa de aumento equivalente, de tránsito, a partir de la fecha de estudio, por mayor desarrollo que el normal de la zona adyacente al camino, originado por su ejecución.

- M : Componente del volumen de tránsito futuro de diseño originado por el mayor desarrollo que el normal de la zona adyacente al camino, en veh/día.
- D : Decremento del volumen diario anual de -- tránsito producido en un año determinado por alguna causa particular, en veh/día.
- D' : Componente negativa del tránsito futuro de diseño correspondiente a un decremento del tránsito originado en alguna causa particular, en veh/día.
- N : Tránsito futuro de diseño, en veh/día.
- f : Factor de expansión del tránsito.
- P_c : Porcentaje de camiones en la fecha del estudio, respecto al volumen medio diario anual correspondiente.
- P_c : Porcentaje de camiones respecto al volumen medio diario anual del tránsito, del año - futuro de diseño.

Las relaciones que se obtienen son las siguientes:

$$T_a = \frac{I}{m}$$

$$E = T_a + A$$

$$I = E e^{an'}$$

y haciendo:

$$a = \lg(1+r) \text{ se llega a:}$$

$$I = E(1+r)^{n'}$$

$$C = I(1+r)^{n-n''}$$

$$G = \frac{qI}{100} (1+r)^{n-n''}$$

Dadas las groseras apreciaciones de los datos, sin mayor error, se puede suponer que;

$$\begin{aligned}
 n'' &= n' \\
 C+G &= E \left(1 + \frac{g}{100}\right) (1+r)^n \\
 M &= E \left(1 + \frac{g}{100}\right) (1+r)^n [(1+d')^{n-n'} - 1] \\
 \text{haciendo } d &= \frac{n-n'}{n} d', \text{ se obtiene aproximadamente:} \\
 M &= E \left(1 + \frac{g}{100}\right) [(1+r+d)^n - (1+r)^n] \\
 C+G+M &= E \left(1 + \frac{g}{100}\right) (1+r+d)^n \\
 D' &= D (1+r+m)^{n-n''} \\
 N &= E \left(1 + \frac{g}{100}\right) (1+r+d)^n - D (1+r+d)^{n-n''} \\
 N &= \left(\frac{T}{m} + A\right) \left(1 + \frac{g}{100}\right) (1+r+d)^n - D (1+r+d)^{n-n''} \\
 f &= \left(1 + \frac{g}{100}\right) (1+r+d)^n - \frac{D}{E} (1+r+d)^{n-n''} \\
 N &= Ef
 \end{aligned}$$

Esta expresión se aplica cuando la tasa de crecimiento del tránsito de los diversos tipos de vehículos, es la misma.

En caso contrario, las expresiones halladas se aplicarán separadamente para cada uno de los volúmenes de los diferentes tipos de vehículos. Aplicando los subíndices "a y c" respectivamente, según se trate de automóviles y camiones, tendremos:

$$\begin{aligned}
 N &= N_a + N_c \\
 N &= E_a f_a + E_c f_c \\
 E &= E_a + E_c \\
 f &= \frac{E_a f_a + E_c f_c}{E_a + E_c} \\
 P_c &= \frac{E_c}{E_a + E_c} \\
 p_c &= \frac{N_c}{N_a + N_c}
 \end{aligned}$$

Considerando que razonablemente el período de servicio con una eficiencia igual o mayor que la asignada, tenga una duración de 20 años, y que el lapso de realización comprenda 5 años, tendremos que el período de proyección deberá ser de 25 años.

En la tabla N° 1 se han consignado los valores estimados del coeficiente de expansión del tránsito y el porcentaje de camiones que existirá en el año futuro de diseño, para diversas hipótesis. No obstante, cuando los casos particulares se aparten de las hipótesis formuladas deberá calcularse el tránsito del año futuro de diseño, considerando separadamente el tránsito de automóviles y camiones, con sus porcentajes y tasas de aumento correspondientes. Si el tránsito de ómnibus fuera sustancial, se lo deberá calcular por separado. En caso contrario, como hipótesis simplificativa se considerará dividido, por partes iguales, entre tránsito de automóviles y camiones.

1.2.5. Velocidad

Las denominaciones que se usarán más frecuentemente, serán las siguientes:

. Velocidad directriz

Referida a una sección de camino, es la máxima velocidad, a la que puede circular, con seguridad, en todos sus puntos, un conductor de habilidad media manejando un vehículo, en condiciones mecánicas aceptables, en una corriente de tránsito con volúmenes tan bajos que no influyan en la elección de su velocidad, cuando el estado del tiempo, de la calzada y de la visibilidad ambiente son favorables.

Tal como se desprende de la definición, un camino de una velocidad directriz dada, no podrá ser recorrido con seguridad a dicha velocidad, cuando, por ejemplo, soplen vientos huracanados, cuando la calzada se encuentre resbaladiza por formación de hielo, o cuando, de noche, no se encuentre convenientemente iluminado.

Las velocidades directrices elegidas, de acuerdo a los volúmenes de tránsito, varían entre los siguientes rangos:

Zona montañosa:	de	30	a	80	km/hora
Zona ondulada :	de	50	a	110	km/hora
Zona llana	:	de	90	a	130 km/hora

. Velocidad máxima ponderada segura

Referida a un determinado tramo de camino, es el promedio ponderado de las velocidades directrices de cada sección parcial de aquél.

Para caminos con velocidades directrices menores que 110 km/hora, la forma práctica de determinar la velocidad máxima ponderada segura es la siguiente:

- a) Se determina, de acuerdo a las tablas Nos. 2, 7, 8 y 11, la velocidad máxima segura que puede admitir cada una de las curvas horizontales y verticales.
- b) Para el conjunto de curvas de velocidad máxima segura inferior a 110 km/hora, se determina la longitud sobre la cual se puede suponer constante dicha velocidad.

Para ello, teniendo en cuenta las distancias necesarias para deceleración y aceleración, en el caso que la curva vincule alineamientos rectos de extensión apreciable, se suman las siguientes distancias aproximadas a la longitud propia de cada curva:

Para velocidad directriz de	30 km/hora:	250 m
Para velocidad directriz de	40 km/hora:	240 m
Para velocidad directriz de	50 km/hora:	220 m
Para velocidad directriz de	60 km/hora:	200 m
Para velocidad directriz de	70 km/hora:	170 m
Para velocidad directriz de	80 km/hora:	140 m
Para velocidad directriz de	90 km/hora:	100 m
Para velocidad directriz de	100 km/hora:	50 m

- c) Se multiplican las longitudes parciales L_i así halladas por sus velocidades máximas seguras correspondientes V_i , y la longitud restante -- del tramo L_r por $V_r = 110$ km/hora.

Siendo L la longitud total del tramo, el valor de L_r será:

$$L_r = L - L_i$$

- d) La suma de las cantidades precedentemente halladas, se divide por la longitud total del tramo en cuestión. Este cociente es la velocidad máxima ponderada segura V_{dm} , o sea:

$$V_{dm} = \frac{V_i L_i + V_r L_r}{L_i + L_r}$$

Para caminos de velocidad directriz superior a 110 km/hora, se adopta como velocidad máxima ponderada segura, directamente el valor de la velocidad directriz.

. Velocidad media instantánea

Es el promedio de las velocidades instantáneas de todos los vehículos que pasan por un determinado punto del camino.

. Velocidad general de recorrido

Es la relación entre la longitud de una determinada sección de camino y el tiempo que tarda el vehículo en recorrerla, incluyendo todas las demoras y detenciones originadas por el tránsito y las condiciones propias del camino.

. Velocidad de operación

Referida a una sección de camino, es la máxima velocidad general de recorrido a la que puede circular, con seguridad, en todos sus puntos, un conductor de habilidad media, manejando un vehículo en condiciones mecánicas aceptables, en una corriente de tránsito de determinado volumen, cuando el estado del tiempo, de la calzada y de la visibilidad ambiente son favorables.

De acuerdo a la definición, la velocidad de operación es igual a la máxima ponderada segura, únicamente cuando los volúmenes de la corriente de tránsito son tan bajos, que no influyan en la elección de la velocidad del conductor.

. Velocidad de marcha o de circulación

Es la relación entre la longitud de una determinada sección de camino, y el tiempo que tarda el vehículo en recorrerla, excluyendo los lapsos por demoras y detenciones originadas por causas ajenas al camino en sí.

. Velocidad media de marcha

Es el promedio de las velocidades de marcha de todo un conjunto de vehículos, que recorren una sección determinada de camino.

La velocidad media de marcha a la que circulan los vehículos en un camino es una medida de la calidad del servicio que el camino proporciona a los usuarios; por lo tanto, para fines de proyecto es necesario conocer las velocidades medias de marcha a las que se espera que circulen los vehículos para diferentes volúmenes de tránsito.

Cuando las secciones de camino son cortas y no existen demoras originadas por el tránsito, la velocidad media instantánea es aproximadamente igual a la velocidad media de marcha en dicha sección.

Para secciones más largas la velocidad media de marcha puede obtenerse promediando las velocidades medias instantáneas tomadas en sitios representativos de cada sección y teniendo en cuenta la longitud de cada una de ellas.

Se ha observado que en las curvas horizontales con bajas velocidades directrices los vehículos circulan con un promedio de velocidad instantánea cercano a la velocidad directriz. En cambio en las curvas con altas velocidades directrices estos promedios de velocidad instantánea están sustancialmente debajo de la velocidad directriz. Como las curvas horizontales son el principal factor relacionado con la velocidad directriz en los caminos rurales y, como además, la velocidad media instantánea

se aproxima al promedio de la velocidad de marcha o de circulación es posible establecer, para bajos volúmenes de tránsito, una relación útil entre ésta y la velocidad directriz.

En consecuencia, en condiciones ideales de camino esto es en recta y rasante horizontal, se ha determinado la velocidad media de marcha por la medición del promedio de velocidades instantáneas, con volúmenes bajos de tránsito, de manera que no haya demoras apreciable por la presencia de otros vehículos (condiciones de operación libre).

En estas condiciones, las velocidades medias de marcha para caminos rurales, determinadas en los E.E. U.U. (2) en diferentes años, discriminadas por tipo de vehículos, han sido las siguientes:

CUADRO N° I-2

Año	Velocidad media de marcha en Km/hora		
	Automóviles	Omnibus	Camiones
1948	78,6	80,5	69,4
1952	81,7	83,9	72,4
1956	83,7	84,1	74,4
1960	86,6	89,3	77,6
1964	91,6	92,2	81,9

En nuestro país se han hecho estudios similares (3) en algunos caminos de la provincia de Buenos Aires.

Para volúmenes bajos de tránsito, o sea prácticamente en condiciones de operación libre, en alineamientos rectos y sin interferencias por cruces, en el año 1963 se ha llegado al siguiente promedio de velocidades:

Automóviles	:	71,3 km/hora
Tránsito con 30% de camiones	:	65 km/hora
Tránsito con 40% de camiones	:	63 km/hora

Las diferencias entre estas velocidades y las correspondientes de los E.E.U.U. pueden explicarse por la mayor antigüedad de nuestro parque automotor, y por su gran proporción de coches medianos y pequeños.

Considerando que las condiciones en las que se efectuaron las observaciones de velocidades citadas (3) podrían corresponder a una velocidad de 120 km/hora; estimando que dentro de unos 25 años el porcentaje medio de camiones en caminos rurales sea del orden del 30% y que se opere un aumento de velocidades, similar al de los E.E.U.U., se tendrá que para dicha fecha la velocidad media de marcha será de unos --- 88 km/hora.

Dado que los caminos que se proyectan en el presente deberán servir al tránsito futuro, se considera razonable adoptar como velocidad media de marcha, 88 km/hora cuando la velocidad directriz sea de 120 km/hora. Las condiciones correspondientes a bajos volúmenes de tránsito son de gran importancia para el diseño. En efecto, un diseño que satisface los requerimientos correspondientes a una velocidad de circulación con bajos volúmenes de tránsito será adecuado también cuando los volúmenes sean mayores y, consecuentemente, las velocidades menores.

Con volúmenes de tránsito bajos, alrededor del 50% de los vehículos viajan a velocidades que están dentro

de los 8 km/h de la velocidad de circulación promedio. Cuando se trata de volúmenes intermedios, alrededor -- del 90% de los vehículos circulan a una velocidad igual o menor que la de marcha promedio correspondiente a los bajos volúmenes.

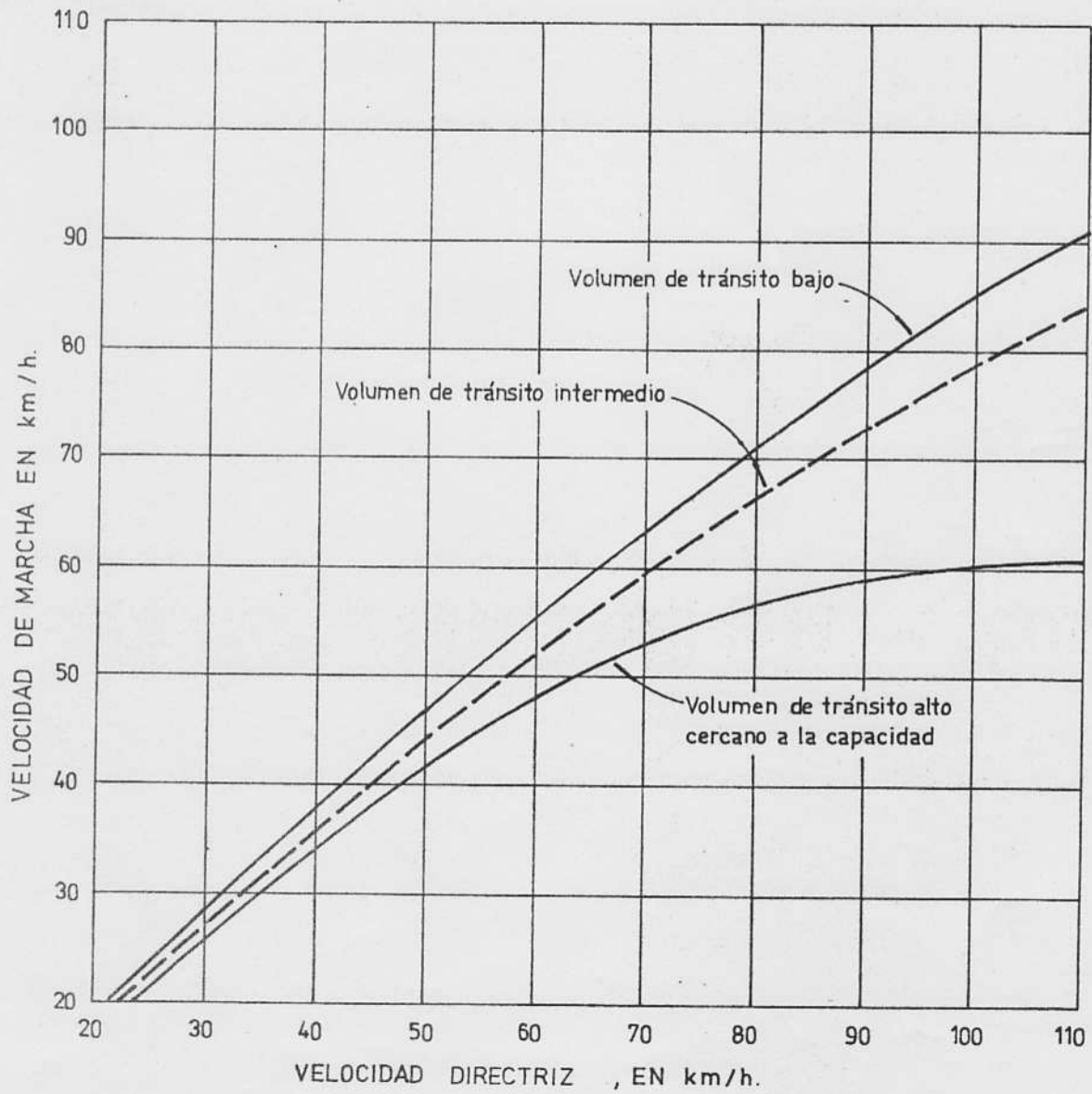
El Gráfico I-1 y el Cuadro N° I-3 muestran los valores redondeados de la velocidad media de marcha en relación con la velocidad directriz, para los tres casos de volumen de tránsito. El caso de bajo volumen de tránsito es, como hemos dicho, el más importante y los correspondientes valores constituyen el factor más significativo que gobierna ciertos elementos del proyecto, como el peralte, las curvas en intersecciones y las trochas de cambio de velocidad.

CUADRO N° I-3

V _D Km/h	Velocidad de marcha, en Km/h		
	Volúmenes bajos de tránsito	Volúmenes intermedios de tránsito	Volúmenes altos de tránsito
30	29	28	27
40	37	35	34
50	45	43	41
60	53	49	46
70	60	56	50
80	67	62	53
90	73	67	55
100	79	72	56
110	84	77	57
120	88	80	59
130	92	82	60
140	96	84	61

RELACIONES ENTRE VELOCIDADES DE MARCHA Y DE PROYECTO:

GRAFICO I-1



1.2.6. Capacidad

Una medida de la eficiencia con la cual una calle o camino presta servicio a la demanda de tránsito, se denomina "capacidad". Es, pues, una medida de su aptitud para dar cabida al tránsito. Esta aptitud dependerá, obviamente, de las características físicas del propio camino y, además, de otros factores vinculados con las variaciones de la demanda del tránsito y la interacción de los vehículos dentro de la corriente de tránsito. Es decir, la capacidad de un camino es una función de las características físicas del mismo y de las características operativas del tránsito que lo recorre.

En términos generales la demanda total sobre un camino se expresa en volumen de tránsito, en tanto que el nivel de servicio que el camino presta al usuario es una función de la comodidad y la conveniencia, la velocidad, el tiempo de viaje, la maniobrabilidad, la seguridad y el costo.

Siguiendo en general al manual "Capacidad de Caminos", versión castellana del "Highway Capacity Manual" de la Dirección Nacional de Vialidad, Buenos Aires, --- 1975, daremos la siguiente definición:

. Capacidad

Es el número máximo de vehículos que pueden pasar, en la unidad de tiempo, por un determinado punto de una trocha o calzada, en un sentido (o en ambos, para caminos de dos trochas indivisas) bajo las condiciones prevalecientes, tanto del propio camino como del tránsito.

En general la unidad de tiempo elegida es la hora.

Las condiciones prevalecientes pueden clasificarse en dos grupos generales: 1) las establecidas por las características físicas del camino (ancho de calzada, obstrucciones laterales, alineamientos, etc.), y 2) las que dependen de la naturaleza del tránsito que circula sobre la calzada. Las del primer grupo no pueden ser cambiadas a menos que se efectúen trabajos de reconstrucción o de mejoramiento. Las del segundo, por el contrario, cambian de hora en hora o durante lapsos diversos del día.

. Nivel de servicio

Es un término que en su significado más amplio alude a cualquiera de las infinitas combinaciones diferentes de condiciones de operación que pueden ocurrir en una trocha o en una calzada, cuando sirven a volúmenes diversos. Sirve así, como medida del grado de congestión de la trocha o calzada.

El nivel de servicio es una medida cualitativa del efecto de muchos factores que incluyen la velocidad y el tiempo de viaje, las interrupciones del tránsito, la libertad de maniobra, la seguridad, la comodidad y conveniencia del conductor y los costos de operación.

Los estudios teóricos y experimentales de los últimos años se han concentrado alrededor del denominado "Diagrama Fundamental" (Figura I-1).

ESQUEMA DE RELACION FLUJO-DENSIDAD

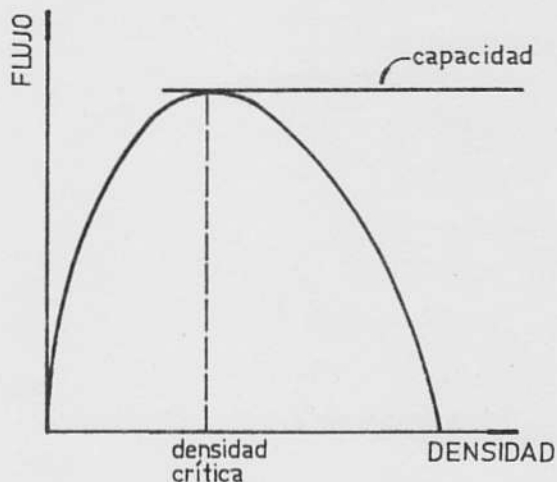


FIGURA I-1

Este diagrama representa la relación existente entre flujo, densidad y velocidad correspondiente a la ecuación:

$$\text{flujo } \left(\frac{\text{veh}}{\text{hora}} \right) = \text{densidad } \left(\frac{\text{veh}}{\text{km}} \right) \times \text{velocidad } \left(\frac{\text{km}}{\text{hora}} \right)$$

donde:

- flujo : es el número de vehículos que pasan por un punto en la unidad de tiempo.
- densidad : es el número de vehículos que se encuentra en el tramo considerado en determinado momento.
- velocidad : es la magnitud del desplazamiento de los vehículos en la unidad de tiempo.

La ecuación citada representa un régimen de flujo en el instante considerado, aunque se lo exprese como un volumen (veh/hora). Estas relaciones entre la velocidad, el flujo y la densidad son indicadores importantes de las condiciones de operación y es necesario tomarlas en cuenta al formular criterios relativos a la capacidad.

La relación fundamental velocidad-flujo (volumen) referida a un conjunto dado de conductores puede expresarse así: a medida que aumenta el flujo del tránsito disminuye la velocidad media. Esta relación se cumple para toda la gama comprendida entre flujo libre y congestión inminente, hasta el punto de densidad crítica o densidad correspondiente al flujo máximo. Más allá de este punto ya no es aplicable: tanto los regímenes de flujo como la velocidad media -- disminuyen con el aumento de la densidad. Esta relación tiene más validez si se la aplica a un tramo de camino que a un punto. Aunque los estudios de tramos muy cortos pueden dar resultados irregulares, lo normal es que los tramos más extensos revelen relaciones más estables y mensurables.

En lugar del diagrama de la Figura I-1, es usado generalmente, el que muestra la Figura I-2, que nos da la relación típica entre la velocidad de operación y el volumen según la descripción anterior.

ESQUEMA DE RELACION VOLUMEN-VELOCIDAD

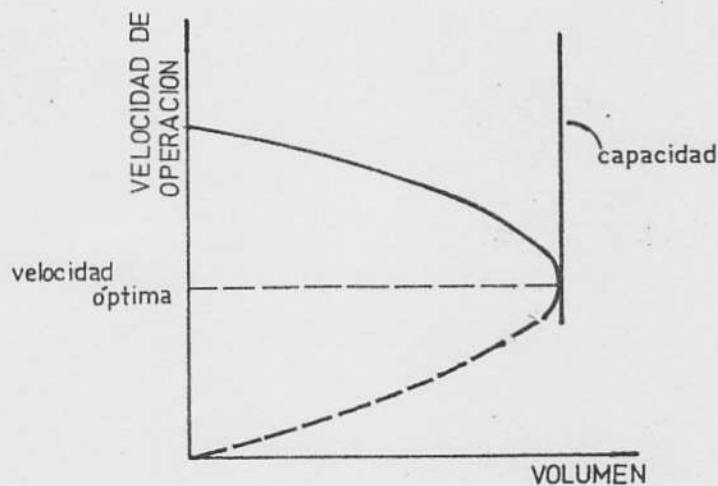


FIGURA I-2

Los estudios llevados a cabo han permitido delimitar algunas áreas del diagrama velocidad-volumen, en las cuales las características de flujo son fácilmente identificables. Así, se pueden reconocer zonas de flujo libre, flujo estable, flujo inestable y flujo forzado (Figura I-3).

ESQUEMA DE LA CALIDAD DE FLUJO:

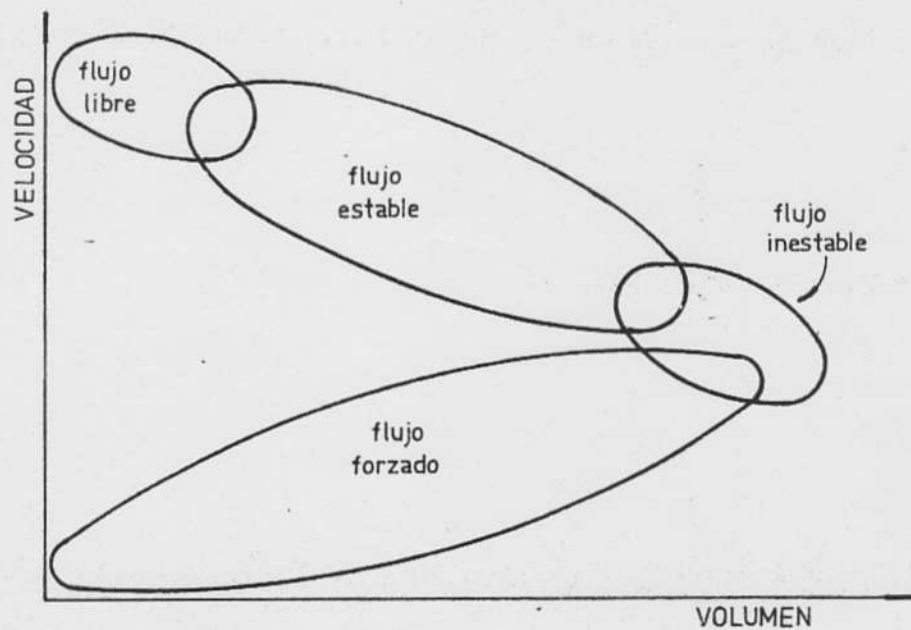


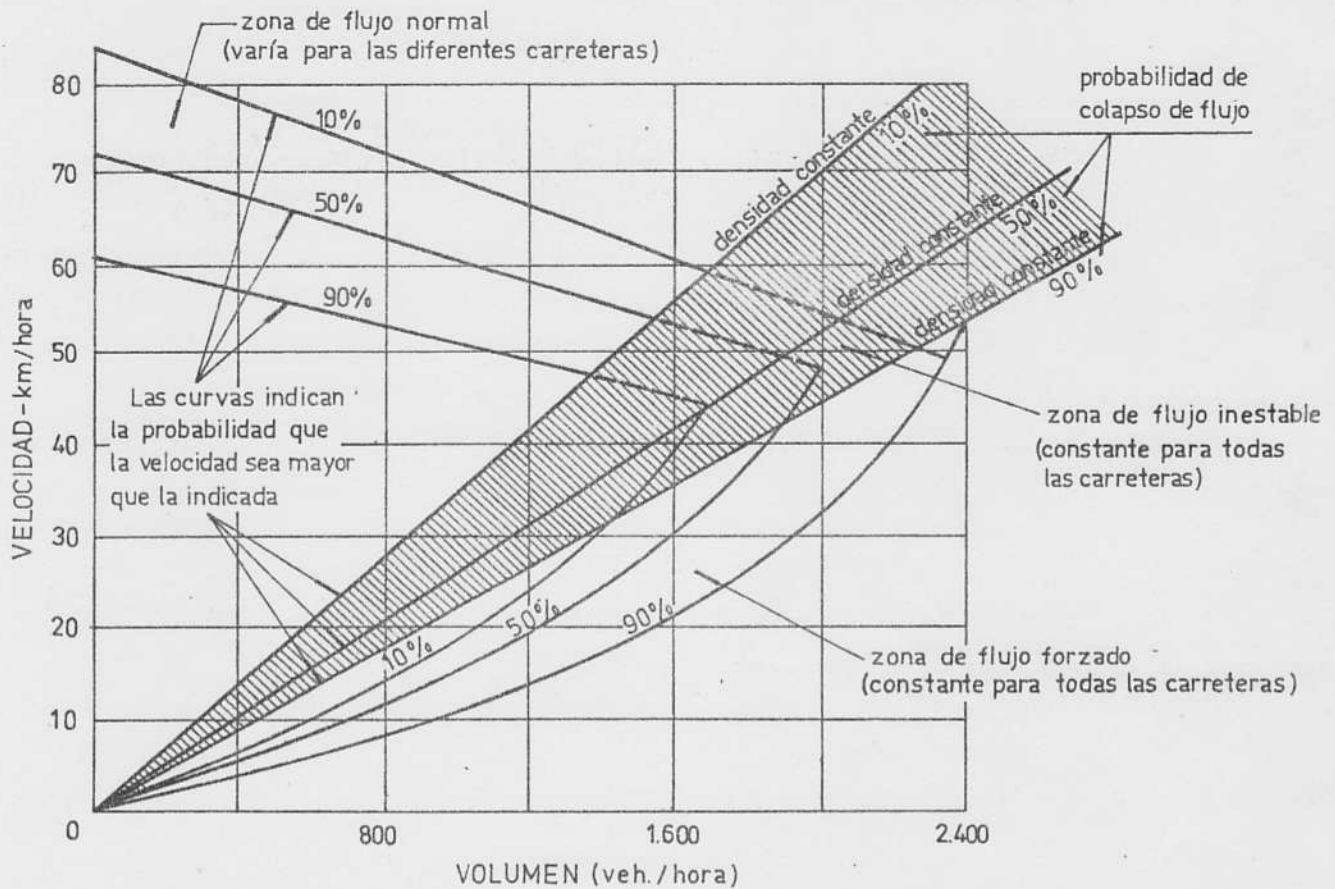
FIGURA I-3

El análisis teórico ha permitido definir cada una de estas zonas en términos de probabilidades como lo muestra la Figura I-4.

..//

DIAGRAMA GENERAL VELOCIDAD-VOLUMEN:

FIGURA I-4

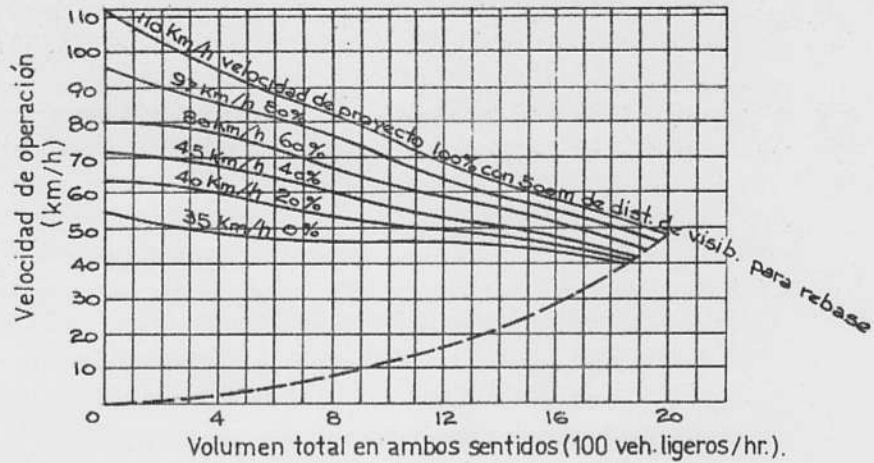


Para la identificación de los niveles de servicio se tomó, como factor de mayor importancia, la velocidad de operación y, como segundo factor la relación volumen/capacidad. La Figura I-5 muestra la relación característica entre la velocidad de operación y el volumen bajo condiciones de circulación continua en caminos de dos trochas, en caminos de trochas múltiples y en autopistas. La parte superior de cada curva muestra la relación velocidad-volumen hasta el punto de densidad crítica. Más allá de este punto, un pequeño incremento en el volumen causa una rápida disminución de la velocidad. La zona sombreada en el extremo derecho de los diagramas, representa condiciones de operación altamente inestables.

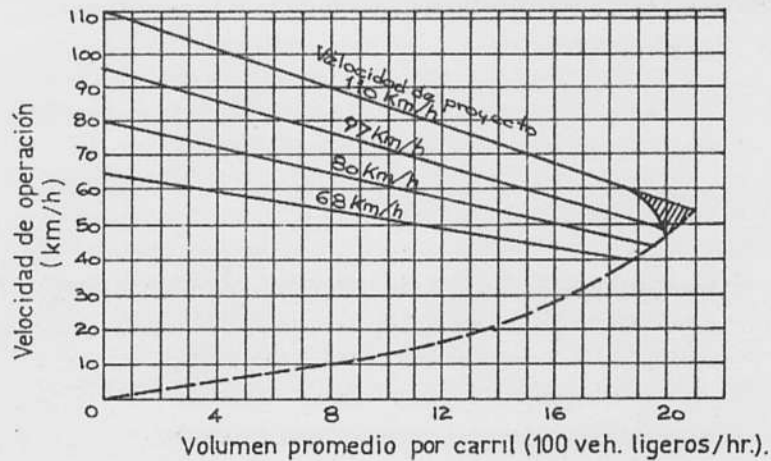
RELACIONES ENTRE EL VOLUMEN Y LA VELOCIDAD DE OPERACION, BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA, EN CAMINOS RURALES

FIGURA I-5

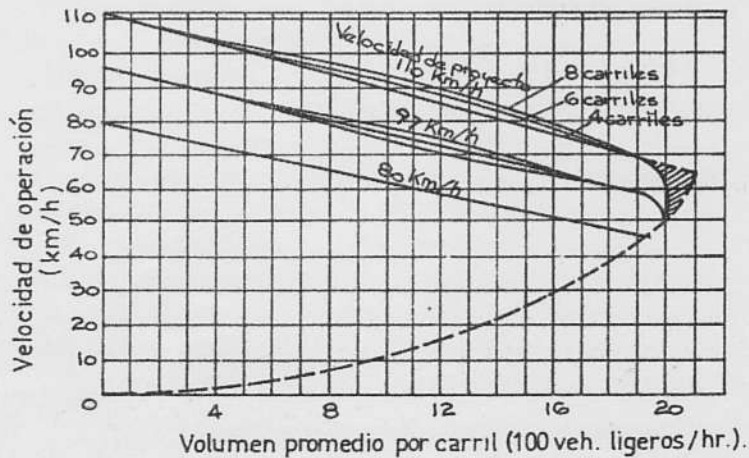
A) CAMINOS DE DOS TROCHAS:



B) CAMINOS DE TROCHAS MÚLTIPLES:



C) AUTOPISTAS:



Sobre la base de esta interrelación entre la velocidad de operación y el cociente volumen/capacidad, se definen los siguientes niveles de servicio:

Nivel A : Tránsito en condiciones de operación prácticamente libre, con altas velocidades de operación.

Hay poca o ninguna restricción a la maniobrabilidad de los vehículos (sobrepaso, cambio de trocha, etc) por la presencia de otros vehículos y los conductores pueden circular a la velocidad que deseen dentro de las limitaciones del diseño geométrico del camino. Tránsito no congestionado.

Nivel B : Tránsito con condiciones de operación estable, y con velocidades de operación y libertad de maniobra ligeramente restringidas. Hay alguna restricción en la maniobrabilidad de los vehículos y los conductores tienen razonable libertad para elegir su velocidad de circulación. Tránsito sin apreciable congestión.

Nivel C : Tránsito en condiciones de operación estable, pero con velocidades de operación y libertad de maniobra más restringidas que en el caso anterior. Gran parte de los conductores ven restringida su libertad para elegir su velocidad de circulación. Ligera congestión de tránsito.

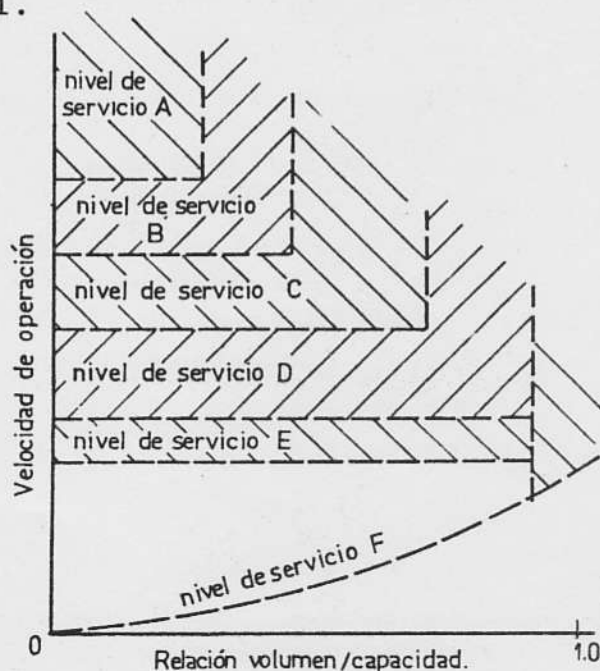
Nivel D : Las condiciones de operación del tránsito se aproximan a la inestabilidad. Las velocidades de operación son más bajas que en el caso anterior y pueden reducirse apreciablemente por cambios en el volumen, o restricciones en la corriente de tránsito. La libertad de maniobra es reducida. Tránsito medianamente congestionado.

Nivel E : Tránsito en condiciones de operación inestable, con volúmenes próximos, o que alcanzan a la capacidad del camino. Las velocidades de operación son bajas oscilando en general entre los 40 y los 60 km/hora. Tránsito fuertemente congestionado.

Nivel F : Tránsito en condiciones de operación forzada, con volúmenes inferiores a la capacidad del camino. Las velocidades son reducidas y en el caso extremo, cuando se produzcan detenciones de la corriente, tanto la velocidad como el volumen de tránsito se anulan. La congestión es total.

CONCEPTO GENERAL DE LOS NIVELES DE SERVICIO:

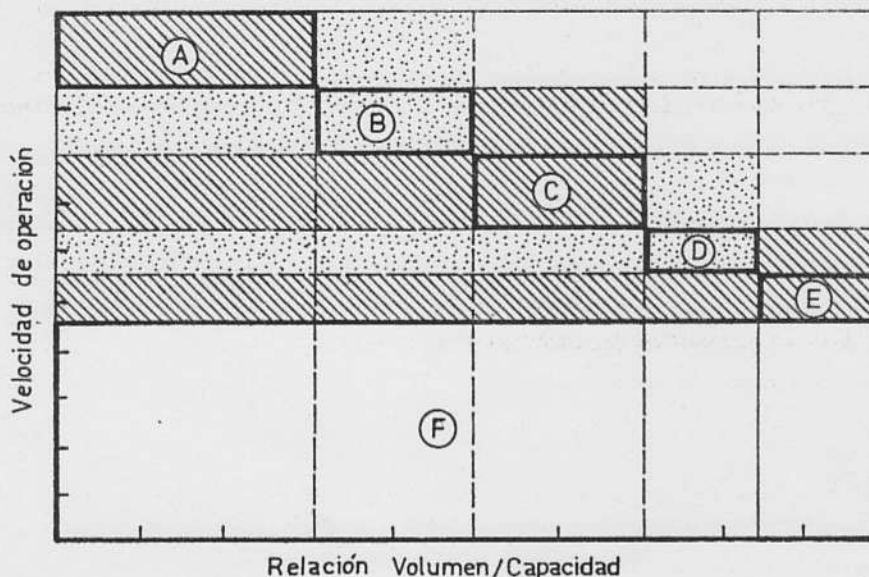
FIGURA I-6



La Figura I-6 ilustra gráficamente estos niveles de servicio y la Figura I-7 proporciona un esquema general de los límites de los niveles de servicio.

ESQUEMA GENERAL DE LIMITES DE LOS NIVELES DE SERVICIO:

FIGURA I-7



• Volumen de servicio

Es el máximo número de vehículos que pueden pasar en la unidad de tiempo, con un determinado nivel de servicio, por un punto de una trocha o calzada, en un sentido (o en ambos para caminos de dos y tres trochas indivisas).

Para caminos rurales de importancia, se ha elegido en condiciones medias, para zona llana, el nivel de servicio "B", como el que proporciona un grado aceptable de restricción a la velocidad de circulación y a la libertad de maniobra, en la trigésima hora anual.

En cambio, para zonas onduladas y montañosas dada la configuración del terreno, se ha tenido en cuenta, que los conductores aceptarán en general una mayor restricción a su velocidad de circulación y a su libertad de

maniobra, que en el caso de las zonas llanas. Por dicha razón se han elegido respectivamente, niveles generales de servicio "C" y "D" respectivamente.

Es importante determinar los volúmenes de servicio que podrán admitir, en condiciones medias, con dichos niveles generales de servicio, los caminos rurales de dos trochas.

De acuerdo con el Manual de Capacidad de Caminos (2) se llega a la siguiente expresión:

$$N = \frac{2000(v/c) W}{K[1 + 0,01 P_c q (E_c - 1)]}$$

Siendo:

- N : Volumen de tránsito medio diario anual, en veh/hora.
- (v/c): Relación entre volumen de servicio y capacidad, para el nivel de servicio dado.
- W : Coeficiente de ajuste por ancho de trocha y distancia lateral a obstrucciones, para el nivel de servicio dado.
- K : Relación entre el volumen medio diario anual y el volumen horario de la trigésima hora -- anual.
- P_c : Porcentaje de camiones en el volumen medio diario anual.
- q : Relación entre el porcentaje de camiones en la hora pico y el porcentaje de camiones en el volumen medio diario anual.
- E_c : Equivalente en automóviles de un camión medio.

Para caminos en zona llana, con velocidad directriz de 120 km/hora, porcentaje de visibilidad de sobrepaso mayor que el 80% de la longitud del camino, ancho de calzada 7,30 m y sin restricciones por obstáculos laterales, admitiendo que:

$$K=0,136 ; q=2/3 ; E_c=2,5(\text{nivel B}) \text{ y } v/c=0,45 (\text{nivel B})$$

se llega a la siguiente expresión:

$$N = \frac{6,620}{1 + 0,01 P_c}$$

Para caminos de dos calzadas (cuatro trochas), en zona llana con velocidad directriz igual o mayor que 120 -- km/hora control parcial o total de accesos, sin restricciones por obstáculos y ancho de calzada y admitiendo -- que $K = 0,141$ (en una dirección), $q = 2/3$; $E_c = 2,00$ y -- $v/c = 0,50$ (nivel B), se llega a la expresión siguien--

$$\text{te : } N = \frac{28.400}{1 + 0,0067 P_c}$$

Los valores de estos volúmenes para diversos porcentajes de camiones, se han consignado en el cuadro N° I-4.

CUADRO N° I-4

Porcentaje de camiones	Volúmenes medios diarios anuales de servi- cio caminos rurales en zona llana (nivel de servicio "B")	
	Camino de dos trochas indivisas V=120 km/ho ra a.c. = 7,30 m	Camino de dos calza das (4 trochas) V = 120 km/hora a.c. = 7,30 m
%	veh/día	veh/día
10	6000	27.000
15	5700	26.000
20	5500	25.000
25	5300	24.000
30	5100	24.000
35	4900	23.000
40	4700	22.000
50	4400	21.000

En el cuadro que antecede no se incluyeron los volúmenes correspondientes a caminos en zona ondulada y montañosa, pues dependen, no solamente del porcentaje de camiones, sino del gradiente y longitud de las pendientes.

REFERENCIAS:

- 1) Capacidad de Caminos - Traducción del Highway Capacity Manual del Bureau of Public Roads por el Ing. José D. Luxardo. 1955.
- 2) Highway Capacity Manual - H.R.B. 1965
- 3) Estudio sobre volumen de tránsito en caminos de la Red Vial de la Provincia de Buenos Aires - 6° Concurso de Trabajos Viales. Agrs. Juan A. Bilbao y Emilio Bandel. Public. n° 45 de la D.V.B.A. 1964.
- 4) Boletines de Estadística - Dirección Nacional de Estadística y Censos.
- 5) Predicción del tránsito vial en la República Argentina. 3er. Concurso de trabajos viales. Ing° Ernesto F. Weber y Agr. Juan A. Bilbao. Public. n° 17 de la D.V.B.A. 1961.
- 6) Tránsito futuro del Gran Buenos Aires. Ing. Lauro O. Laura. D.N.V. 1964.
- 7) Código de tramos de la Red Nacional de Caminos y Obras Anexas - Sección IX - 1965.
- 8) A.A.S.H.O. - A Policy on Geometric design of Rural Highway. EE.UU. 1965.
- 9) A.A.S.H.O. - A Policy on Geometric design of Rural Highway. EE.UU. 1954.
- 10) Estudio descriptivo del tránsito. Ing. Raúl A. Huerta. 5° Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Tomo II. 1964.
- 11) Vialidad urbana - Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires. Ing. José D. Luxardo. 1966.
- 12) Karl Moskowitz - California Method of Assigning Diverted Traffic to Proposed Freeways - Bull 130. HRB. 1956.
- 13) Evaluación del tránsito automotor del país y análisis de las posibilidades de realización de la obra vial de acuerdo a esas necesidades. Ing. Lauro O. Laura. DNV. 1964.

..//

REFERENCIAS (Continuación)

14) Autopistas: Una impostergable necesidad argentina -
Ing. Marcelo J. Alvarez. Revista Carreteras. N° 41.
1967.

15) Datos provisorios para 1965 de la Dirección Nacional
de Estadística y Censos.

CAPITULO II

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL DISEÑO

Sección 2.1. DISTANCIAS DE VISIBILIDAD

2.1.1. Distancia de detención

2.1.2. Distancia de sobrepaso

Sección 2.2. TRAZADO PLANIMETRICO

2.2.1. Curvas horizontales

- . Coeficiente de fricción lateral.
- . Valores máximos de peralte.
- . Radio mínimo de curvatura.
- . Determinación del peralte en función del radio de la curva y de la velocidad directriz.
- . Radios mínimos que no exigen peralte.
- . Radios mínimos deseables.
- . Curvas de transición. Longitud mínima.
- . Longitudes de transición a adoptar.
- . Longitudes deseables.
- . Transición del peralte.

- . Radios a partir de los cuales no es indispensable introducir curvas de transición.
- . Longitudes de transición para curvas circulares compuestas.
- . Sobreanchos.

2.2.2. Visibilidad en curvas horizontales

- . Visibilidad para detención
- . Visibilidad para sobrepaso

Sección 2.3. TRAZADO ALTIMETRICO - DISEÑO GEOMETRICO DE LA RASANTE

2.3.1. Curvas verticales

- . Generalidades
- . Forma de las curvas verticales
- . Curvas verticales convexas
- . Curvas verticales cóncavas
- . Diferencias algebraicas de pendientes que no requieren la introducción de curvas verticales.

2.3.2. Pendientes

- . Pendientes máximas
- . Pendientes nocivas
- . Longitudes de las pendientes
- . Longitudes máximas
- . Influencia de la altitud sobre las pendientes.
- . Reducción de pendientes en curvas horizontales.

Sección 2.4. DISEÑO GEOMETRICO DE LA SECCION TRANSVERSAL

2.4.1. Calzada

- . Diseño Geométrico
- . Trocha adicional ascendente
- . Secciones con cuatro trochas

2.4.2. Banquinas

2.4.3. Cantero Central

2.4.4. Taludes y contrataludes

2.4.5. Cunetas y cunetas préstamos

2.4.6. Caminos o calles colectoras

2.4.7. Zona de camino

Sección 2.1. DISTANCIAS DE VISIBILIDAD

2.1.1. Distancia de detención

Se ha denominado así la distancia que recorre, sobre una calzada en condiciones favorables, un conductor de habilidad media, manejando, a la velocidad directriz, un vehículo en condiciones mecánicas aceptables, desde el instante en que observa un obstáculo imprevisto en el camino, hasta el momento en que por aplicación de los frenos, se detiene.

El tiempo de detención se compone de dos partes:

- a) El tiempo de percepción y reacción, o sea el lapso que transcurre desde que el conductor observa el obstáculo hasta que acciona el pedal del freno.
- b) El tiempo de frenado, o sea el tiempo que transcurre desde que el conductor acciona el pedal del freno, hasta que el vehículo se detiene.

Cuando el camino se encuentra en pendiente, la expresión que determina la distancia de detención es la siguiente:

$$D_1 = \frac{V t}{3,6} + \frac{V^2}{254 (f \pm i)}$$

Los significados de los términos que intervienen en esta expresión son los siguientes:

- D_1 : Distancia de detención, en m
 V : Velocidad directriz, en km/hora
 t : Tiempo de percepción y reacción
 f : Coeficiente de fricción longitudinal
 i : Valor absoluto de la pendiente

El signo positivo de la fórmula se utiliza para las subidas, y el negativo para las bajadas.

Estrictamente, el factor "f" de la fórmula, engloba además, por unidad de peso, la resistencia que el aire opone al avance del vehículo, la resistencia al rodamiento, y la resistencia interna -- del motor y engranajes (1) (siempre que el conductor no desembrague). Estas resistencias son pequeñas comparadas con la originada por la fricción en sí.

Los valores de t y f aceptados (2) y las distancias de detención resultantes son las que figuran en el Cuadro N° II-1.

CUADRO N° II-1

Distancias de detención en función de la velocidad directriz:

V_D : velocidad directriz	<u>t</u> : tiempo de percepción y reacción	<u>f</u> = coeficiente de fricción	D_1 : distancia de detención
Km/hora	seg.	-	m
30	2,9	0,54	30,72
40	2,8	0,52	43,22
50	2,7	0,50	57,18
60	2,6	0,48	72,87
70	2,5	0,46	90,54
80	2,4	0,44	110,59
90	2,3	0,42	133,43
100	2,2	0,40	159,55
110	2,1	0,39	186,30
120	2,0	0,37	219,88
130	2,0	0,35	262,32
140	2,0	0,33	311,16

Estos valores de "f", son inferiores a los valores límites consignados por la A.A.S.H.O. para pavimentos en estado seco. Los coeficientes medios de seguridad, varían entre el 20% para velocidades bajas y el 50% para las altas.

Con el pavimento húmedo, los valores del coeficiente de fricción son inferiores a los consignados en el Cuadro N° II-1.

Asimismo, el valor "f" varía con la velocidad, disminuyendo cuando ella aumenta. Esta variación, para el caso de pavimentos húmedos, se indica en la curva del Gráfico II-1.

Teniendo en cuenta, por otra parte, que bajo las condiciones correspondientes a pavimento húmedo, la atención del conductor es más concentrada, se ha disminuído el lapso de percepción y reacción en 0,3 seg. Además, adoptando los coeficientes de fricción determinados por la A.A.S.H.O. para pavimentos húmedos y las distancias de detención obtenidas precedentemente para cada velocidad directriz, las velocidades máximas seguras " V_s " que se obtienen, son las consignadas en el Cuadro N° II-2.

CUADRO N° II-2

Velocidades máximas seguras para pavimentos húmedos:

V_D : velocidad directriz	D_1 : distancia de detención	f: coeficiente de fricción para pavimentos húmedos	V_s : velocidad máxima segura
Km/hora	m	-	Km/hora
30	30,72	0,41	30
40	43,22	0,39	39
50	57,18	0,36	48
60	72,87	0,35	56
70	90,54	0,33	65
80	110,59	0,32	74
90	133,43	0,31	82
100	159,55	0,30	91
110	186,30	0,30	100
120	219,88	0,29	110
130	262,32	0,28	121
140	311,16	0,27	132

Como puede observarse, para pavimentos húmedos, las velocidades máximas seguras son algo superiores al 90% de la velocidad directriz y superiores también a las velocidades medias de marcha.

Influencia de las pendientes

Al calcular las distancias de visibilidad de parada indicadas en los Cuadros II-1 y II-2 no se ha tenido en cuenta el efecto de las pendientes; esto introduce un error que, para pendientes fuertes y altas velocidades puede ser relativamente grande.

En caminos sin división de trochas, las pendientes son recorridas por los vehículos en ambas direcciones. La distancia de visibilidad es diferente en cada dirección, particularmente en terreno ondulado. Por lo general, todas las tangentes en pendiente tienen mayor distancia de visibilidad en el sentido descendente que en el ascendente, por lo cual, la corrección de la distancia de visibilidad de parada por efecto de la pendiente, se efectúa más o menos automáticamente. Esto explica por qué es práctica generalizada utilizar en el proyecto la distancia de visibilidad de parada calculada para terreno llano y aplicarla, sin corrección, para terrenos ondulados o montañosos.

La excepción al criterio mencionado se presenta en el caso de caminos con calzadas divididas donde se deberán tener en cuenta las distancias de visibilidad de parada correspondientes a cada mano del tránsito, las que resultarán menores para las pendientes positivas (subidas) que para las negativas (bajadas). En el cuadro N° II-3 que se consigna a continuación, se dan los valores de las distancias de detención en función de la velocidad directriz y la pendiente:

..//

CUADRO II-3

Velocidad directriz km/h	Distancias de detención en pendientes (en metros)						
	Pendientes en %						
	Horizontal	- 3%	- 6%	- 9%	+ 3%	+ 6%	+ 9%
30	31	31	32	32	30	30	30
40	43	44	45	46	43	42	41
50	57	58	60	62	56	55	54
60	73	75	77	80	71	70	68
70	91	94	97	101	88	86	84
80	111	115	120	125	107	104	101
90	133	139	146	-	128	124	-
100	160	167	177	-	153	147	-
110	186	196	209	-	178	170	-
120	220	233	-	-	208	-	-
130	262	280	-	-	247	-	-
140	313	335	-	-	292	-	-

Distancia de detención para camiones

La distancia mínima de visibilidad de parada calculada directamente de la operación de los automóviles o de los vehículos livianos, puede ciertamente ser cuestionada en el caso de los camiones. Estos en general, especialmente los más grandes y pesados, requieren, para la misma velocidad de circulación, una distancia de detención mayor que los automóviles y vehículos livianos. Sin em--

bargo, existen dos factores que tienden a balancear el exceso de longitud de frenado de los camiones, para una determinada velocidad directriz, con la correspondiente a los automóviles. En primer lugar en el caso de una obstrucción vertical el conductor -- del camión puede ver sustancialmente más lejos que el conductor de un automóvil debido a su posición mucho más elevada dentro -- del vehículo. Asimismo, en la casi totalidad de los casos los -- camiones circulan más despacio que los automóviles o vehículos -- livianos.

Por lo expuesto, es usual no considerar las distancias de visibilidad de detención correspondientes a los camiones en la formulación de las normas de diseño de caminos.

Existe, sin embargo, una situación que merece especial atención. Es el caso de una restricción de visibilidad horizontal al final de una larga pendiente descendente. En estas circunstancias la velocidad de un camión puede igualar a la de los automóviles y -- la mayor altura de visión de su conductor resulta de poca o ninguna utilidad. Aunque el promedio de los conductores de camiones es, en general, más hábil que el promedio de conductores de automóviles y tiene un mayor conocimiento de la circulación en ruta, siendo más rápido para reconocer los peligros, es recomendable que, de presentarse una situación como la expuesta, se adopte una distancia de visibilidad de detención mayor que la expresada en el Cuadro II-3.

2.1.2. Distancia de sobrepaso

Se dice que un tramo de un camino de dos trochas tiene distancia de visibilidad de sobrepaso suficiente para que esta maniobra -- pueda ejecutarse con toda seguridad, cuando la distancia de visibilidad existente en ese tramo permite que el conductor de un -- vehículo pueda adelantar a otro que circula por su misma trocha, sin peligro de interferir con la trayectoria de un tercer vehícu lo que avance en dirección contraria por la trocha opuesta y se haga visible al iniciarse la maniobra.

No es posible establecer criterios rígidos para determinar la -- frecuencia y longitud de los tramos de sobrepaso que debe tener un camino de dos trochas, ya que depende de variables tales como el volumen de tránsito, la configuración topográfica, la velocidad directriz y el nivel de servicio deseado; sin embargo, es aconsejable proporcionar tantos tramos de sobrepaso como sea económicamente posible.

Las hipótesis que se formulan para determinar la longitud que de be ser abarcada por la visual del conductor para efectuar una ma niobra de sobrepaso segura, o sea la distancia de sobrepaso, son las siguientes:

- a) El vehículo que va a ser sobrepasado circula a velocidad uniforme, de magnitud semejante a la velocidad media de marcha.
- b) El tiempo de percepción, evaluación de las posibilidades de - sobrepaso, reacción y comienzo de la aceleración del vehículo que sobrepasa se estima en $t_1 = 4$ segundos.
- c) Durante este período se acepta que, además de circular ambos vehículos a la velocidad del que va a ser sobrepasado, lo ha cen separados por una distancia d_0 que, expresada en metros, vale: $0,2 V_1 + 8$.

- d) Aunque el sobrepaso se realiza acelerando durante toda la maniobra, se considera que el promedio de velocidad del vehículo que sobrepasa, desde que inicia su desplazamiento hacia la trocha izquierda, hasta que retoma la derecha, supera en 15 km/hora la velocidad del vehículo sobrepasado.
- e) La trocha izquierda debe quedar libre en una longitud adicional d_3 (ver figura II-1) tal, de manera de permitir que un tercer vehículo que se aproxima en sentido contrario a igual velocidad V_2 que el vehículo que sobrepasa, la recorra en el mismo tiempo que tarda este último en desplazarse a la trocha izquierda, sobrepasar al vehículo más lento y retomar la derecha.

Si bien los conductores, individualmente, actúan con ligeras variantes respecto al esquema simplificado cuyas hipótesis se han dado, las distancias obtenidas permiten el sobrepaso en la gran mayoría de los casos, de acuerdo a las experiencias de la A.A.S. H.O. (3).

Por otra parte, estas hipótesis implican admitir que para velocidades directrices reducidas, el vehículo que se adelanta podrá circular a velocidades algo superiores a aquéllas lo que es aceptable, ya que, en general, las secciones con sobrepaso deberán estar dotadas de características geométricas, tanto en planimetría como en altimetría que permitan dicha mayor velocidad.

De cualquier manera, para esos casos las distancias así obtenidas, son superiores a las que resultarían de calcularlas con velocidades de sobrepaso igual a la directriz.

Denominaremos las magnitudes que intervienen, de la siguiente manera:

- V : Velocidad directriz, en Km/hora.
 V_1 : Velocidad del vehículo sobrepasado, en Km/hora.
 V_2 : Velocidad del vehículo que sobrepasa, en Km/hora.
 d_1 : Distancia recorrida por el vehículo que desea adelantarse durante el tiempo de percepción, decisión, reacción y comienzo de la maniobra de sobrepaso, - en metros.
 t_1 : Tiempo que tarda el vehículo que desea adelantarse en recorrer la distancia anterior, en segundos.
 d_2 : Distancia recorrida por el vehículo que se adelanta desde que se desplaza a la trocha izquierda hasta que retoma la derecha, en metros.
 t_2 : Tiempo que tarda en efectuar la maniobra anterior, en segundos.
 d_0 : Distancia mínima entre vehículos que marchan en la misma dirección, en metros.
 d_3 : Distancia recorrida por un vehículo que circula en sentido contrario al que se adelanta, en metros, - durante el lapso t_2 .
 D_2 : Distancia de sobrepaso en metros.

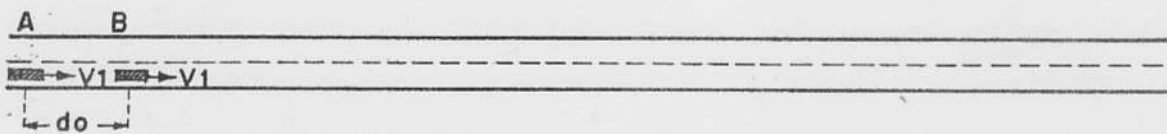
Se llega a las siguientes expresiones:

..//

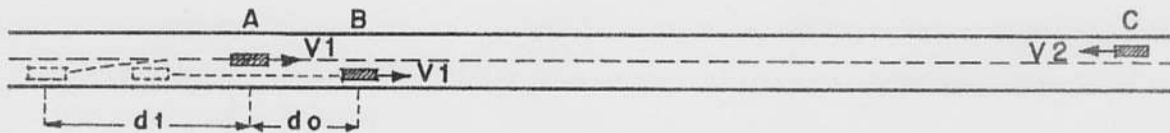
DISTANCIA DE VISIBILIDAD PARA SOBREPASO

- A : vehículo que se adelanta
- B : vehículo que es sobrepasado
- C : vehículo que circula en sentido contrario
- V : velocidades
- : trayectoria de los vehículos

a) Instante t



b) Instante $t+t_1$



c) Instante $t+t_1+t_2$

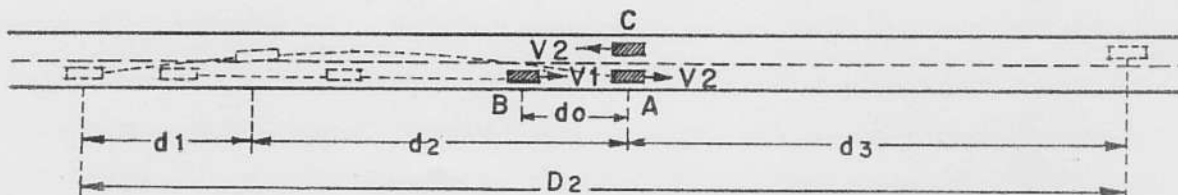


FIGURA N° II-1

$$t_1 = 4 \text{ seg}$$

$$t_2 = \frac{2 d_0}{v_2 - v_1}$$

$$d_1 = \frac{v_1 t_1}{3,6}$$

$$d_2 = \frac{v_2 t_2}{3,6}$$

$$d_3 = d_2$$

$$D_2 = d_1 + d_2 + d_3$$

Las distancias de sobrepaso obtenidas en función de la velocidad directriz se han consignado en el Cuadro N° II-4. .

..//

C U A D R O N° II-4

Distancias de sobrepaso para caminos rurales de dos trochas indivisas.

Velocidades			Tiempos parciales		Distancias parciales			Distancia de sobrepaso	
V	V ₁	V ₂	t ₁	t ₂	d ₀	d ₁	d ₂	Calculada	Adoptada
km/h	km/h	km/h	seg	seg	m	m	m	m	m
30	28,8	43,8	4,00	6,60	13,76	32,00	80,28	192,56	190
40	37,4	52,4	4,00	7,43	15,48	41,55	108,10	257,75	260
50	45,5	60,5	4,00	8,20	17,10	50,55	137,75	326,05	330
60	53,1	68,1	4,00	8,93	18,62	59,00	168,88	396,76	400
70	60,2	75,2	4,00	9,61	20,04	66,88	200,70	468,28	470
80	66,8	81,8	4,00	10,25	21,36	74,81	232,88	539,97	540
90	72,8	87,9	4,00	10,83	22,58	81,00	264,40	609,80	610
100	78,5	93,5	4,00	11,37	23,70	87,21	295,27	677,75	680
110	83,6	98,6	4,00	11,86	24,72	92,88	324,78	742,44	740
120	88,2	103,2	4,00	12,30	25,64	98,00	352,53	803,06	800
130	92,3	107,3	4,00	12,70	26,46	102,55	378,44	859,43	860
140	95,9	110,9	4,00	13,04	27,18	106,55	401,67	909,88	910

La distancia de visibilidad de sobrepaso mínima es suficiente para sobrepasar un solo vehículo, por lo cual se considera -- deseable contar con distancias de visibilidad sustancialmente mayores que las determinadas, con el fin de permitir el sobrepaso simultáneo de dos o más vehículos.

Si bien no es posible establecer criterios rígidos respecto a la frecuencia con que deben diseñarse los tramos que permitan el sobrepaso, debe tenerse especialmente en cuenta que si bien en gran parte de los proyectos, los tramos de sobrepaso se incluyen de manera natural en el desarrollo del diseño y como consecuencia lógica de la topografía de la zona, esos tramos resultan suficientes únicamente cuando el volumen de tránsito es bajo o muy bajo. Conforme aumenta el volumen de tránsito, es esencial proyectar tramos de sobrepaso más largos y más frecuentes, para evitar las demoras y las filas de vehículos detrás de los vehículos lentos.

Las pendientes apreciables incrementan la distancia de visibilidad requerida para un sobrepaso seguro. En pendientes ascendentes fuertes, la distancia de visibilidad de sobrepaso es mayor que en terreno llano, debido a la reducción en el poder de aceleración del vehículo que sobrepasa y a la mayor velocidad de los que avanzan en sentido opuesto; esto queda compensado - en parte por la baja velocidad del vehículo que se quiere sobrepasar. Inversamente, el sobrepaso en una pendiente descendente se ve facilitado porque el vehículo que sobrepasa puede acelerar más rápidamente y el que avanza en sentido contrario lo hace más lentamente, pero en cambio, el que es sobrepasado puede también acelerar con facilidad, lo cual puede crear una situación peligrosa. Por ello, si se quiere que la maniobra

se efectúe con la misma seguridad que en terreno llano, la distancia de visibilidad deberá ser mayor en un tramo en pendiente. Si bien no hay un criterio establecido para calcular ese aumento, se deberá tener en cuenta lo expresado precedentemente para incrementar ligeramente las distancias mínimas del Cuadro N° II-4.

Sección 2.2. TRAZADO PLANIMETRICO

2.2.1. Curvas horizontales

Para obtener un diseño equilibrado de las curvas horizontales deberán determinarse los radios de éstas que para la velocidad directriz dada, utilicen valores de la fricción inferiores a los máximos establecidos como seguros.

La relación que liga el coeficiente de fricción lateral "f" - de un vehículo que en una curva de radio "R" en metros y peralte "p" se mueve a una velocidad "V" (km/hora), es la siguiente:

$$f = 0,007865 \frac{V^2}{R} - p$$

. Coeficiente de fricción lateral

El coeficiente de fricción lateral 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: $f = 0,196 - 0,0007 V$, en la cual "V" es la velocidad directriz expresada en km/hora. - Gráfico II-2.

Los valores que se obtienen son los siguientes:

..//

CUADRO N° II-5

Velocidad directriz km/hora	Coeficiente de fricción lateral	
	Calculado	Redondeado
30	0,175	0,18
40	0,168	0,17
50	0,161	0,16
60	0,154	0,15
70	0,147	0,15
80	0,140	0,14
90	0,133	0,13
100	0,126	0,13
110	0,119	0,12
120	0,112	0,11
130	0,105	0,10
140	0,098	0,10

..//

. Valores máximos de peralte

Se han fijado estos valores máximos de acuerdo a los siguientes factores:

- a) Condiciones topográficas (llanura o montaña)
- b) Condiciones climáticas (zonas de heladas y nevadas frecuentes o no).
- c) Condiciones de operación de los vehículos (zonas de bajas velocidades, por frecuente presencia de intersecciones, o zonas sub-urbanas o urbanas).

Se han fijado en base a la combinación de dichas características tres valores máximos del peralte a saber:

<u>Peralte</u>	<u>Condiciones en que se desarrolla la ruta</u>
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.

. Radios mínimos de curvatura

De acuerdo a los coeficientes de fricción lateral adoptados se han determinado los radios mínimos de las curvas circulares, para cada valor del peralte, de acuerdo a la expresión siguiente:

$$R = 0,007865 \frac{v^2}{p + f}$$

Estos valores se han tabulado en la tabla N° 2.

. Determinación del peralte en función del radio de la curva y la velocidad directriz

Para una velocidad directriz dada, hay diversas maneras de fijar el peralte en función del radio, de las que destacaremos las siguientes. Ver figura II-2.:

- 1° El valor del peralte se hace inversamente proporcional al radio de curvatura, correspondiendo a R mínimo el valor de p máximo.
- 2° El valor del peralte se determina de manera tal, que contrarreste la fuerza centrífuga que actúe sobre un vehículo que se desplace a la velocidad directriz desde un radio que corresponda a p máx. Para curvas de radios menores se mantiene dicho valor p máx.
- 3° Este método es similar al N° 2, excepto que se basa sobre el promedio de la velocidad de marcha.
- 4° Para radios grandes, el peralte se ha fijado de manera de contrarrestar totalmente la fuerza centrífuga que actúa sobre vehículos que circulan a la velocidad de marcha, definida anteriormente. 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.

Se ha adoptado, para la fijación del peralte, este último criterio. Los valores del peralte, en función del radio y la velocidad directriz están dados en las tablas Nos. 3, 4 y 5.

. Radio s mínimos que no exigen peralte

El perfil transversal de la calzada, en alineamientos rectos, o sea el perfil normal, está constituido por dos segmentos de recta, simétricos respecto del eje, cuya pendiente transversal varía entre el 1% y el 2,5 %.

PROCEDIMIENTOS PARA PERALTAR LAS CURVAS

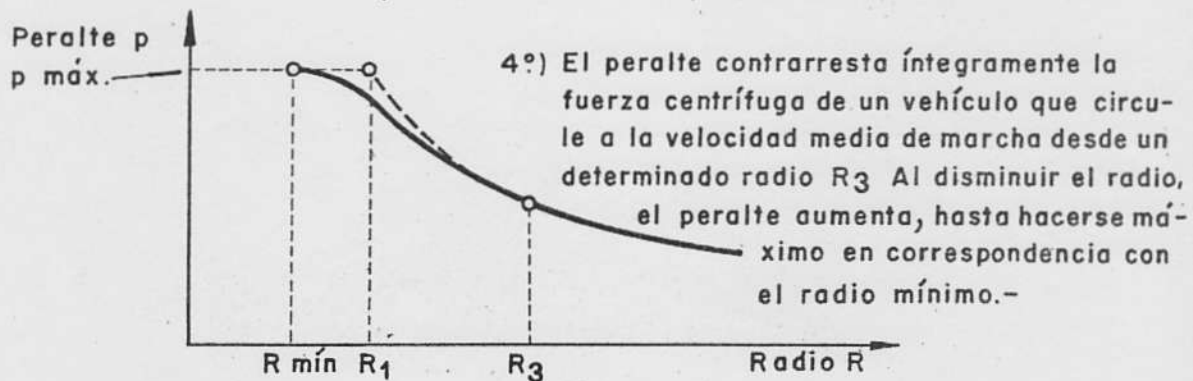
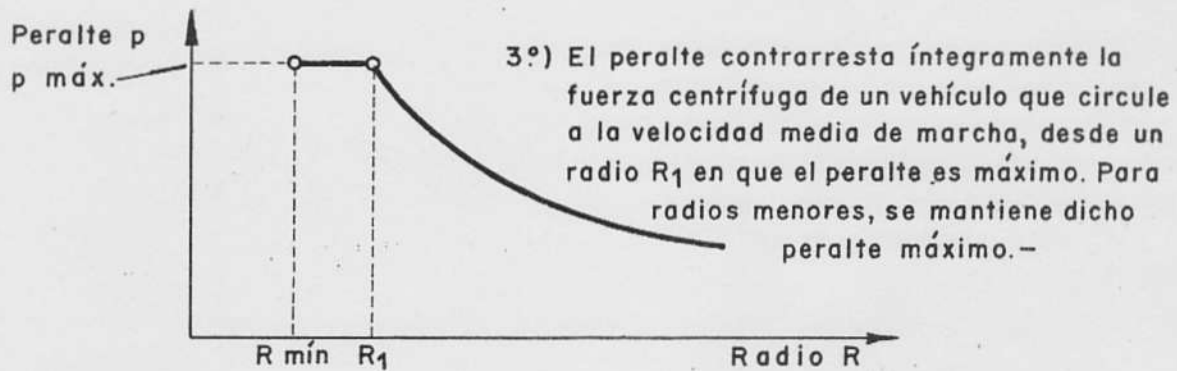
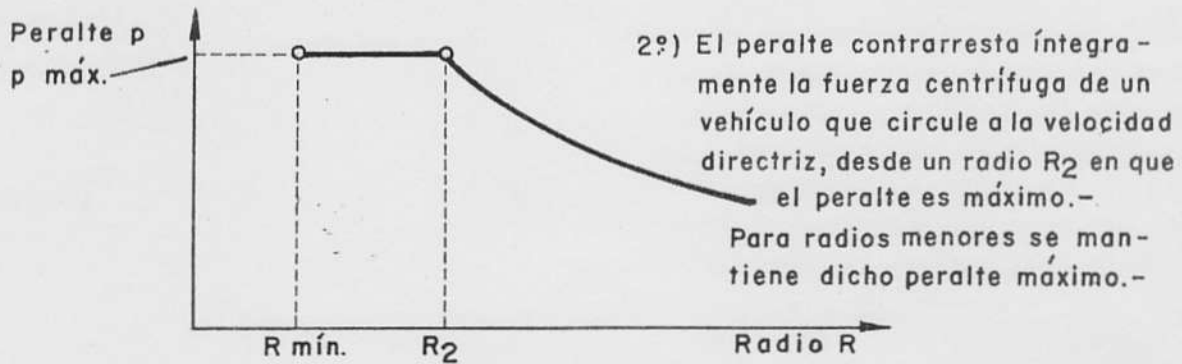
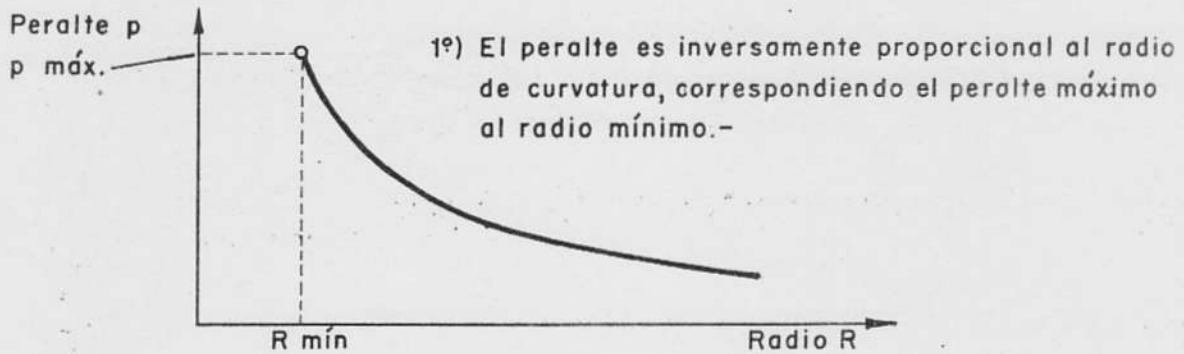


FIGURA Nº II-2

Para curvas con radios de gran magnitud se ha admitido man tener este perfil normal, siempre que el coeficiente cen-- trífugo: $0,007865 \frac{V^2}{R}$ no supere el valor de 0,015, para - vehículos que circulen a la velocidad directriz.

Esto significa que en dicho caso el coeficiente de fricción de los vehículos que transiten por la trocha externa estará comprendido entre 0,025 y 0,040, debido a que la pendiente transversal de dicha trocha, es negativa. Gráficos II-3 y II-4.

En consecuencia los radios para los cuales no es necesario peraltar las curvas son los siguientes:

CUADRO N° II-6

Velocidad directriz km/hora	Radios mínimos que no necesitan peralte m
30	500
40	900
50	1.500
60	2.000
70	2.500
80	3.500
90	4.500
100	6.000
110	7.000
120	8.000
130	9.000
140	10.000

Para radios menores que los anteriores, si los valores de los peraltes obtenidos en las tablas Nos. 3 a 5, fueran inferiores a la pendiente transversal del pavimento, se adoptará la magnitud de esta pendiente transversal como peralte en todo el ancho de la calzada.

. Radio s mínimos deseables

Con los radios mínimos determinados precedentemente, y para vehículos marchando a la velocidad directriz, la fricción que se utiliza, corresponde a los valores máximos adoptados.

A partir de ese radio mínimo absoluto, para una determinada velocidad directriz, a medida que los radios aumentan, los coeficientes de fricción disminuyen.

Convencionalmente, un primer criterio para fijar radios deseables, sería el de encuadrar en tal denominación, a aquéllos en los que la fricción, utilizada para vehículos marchando a la velocidad directriz, corresponda a coeficientes menores que la mitad de los máximos.

Por otra parte, un segundo criterio sería el de considerar como deseables, los radios que durante la noche permitan iluminar suficientemente a objetos colocados en el camino, a una distancia igual a la de frenado.

Si se adoptara la distancia de frenado correspondiente a la velocidad directriz, los radios mínimos que cumplieran las condiciones del párrafo anterior serían excesivamente grandes para velocidades directrices elevadas, (5) a saber:

..//

CUADRO N° II-7

Velocidad directriz km/hora	Radio mínimo m
100	400
110	700
120	1500
130	3500

No obstante como por lo general la velocidad de los vehículos es menor durante la noche, se considera suficiente adoptar la distancia de frenado correspondiente a una velocidad igual al 90% de la directriz. De esta manera los radios mínimos serían los siguientes:

CUADRO N° II-8

Velocidad Directriz km/hora	Radio mínimo m
100	250
110	400
120	600
130	1200

En definitiva, se han considerado como deseables los radios que cumplen simultáneamente las condiciones de los dos criterios enunciados precedentemente.

Por otra parte, deben considerarse los casos de quiebres de alineamientos rectos con ángulos de tangentes muy pequeñas.

En general es preferible evitar dichos quiebres si el ángulo de las tangentes es inferior a los 2° .

Los radios mínimos de las curvas que evitan el aspecto desagradable producido por el quiebre de alineaciones, se consiguan en la tabla N° 6.

Finalmente también es deseable evitar longitudes excesivas de curvas horizontales.

Si bien no pueden darse normas rígidas, para caminos de velocidades altas, esta longitud máxima deseable es de unos -- 3.500 metros.

El cuadro que sigue proporciona los radios máximos para cada ángulo de las tangentes que cumplen esta condición.

CUADRO N° II-9

Angulo de las tangentes en grados.	Radios máximos deseables. m.
10°	20.000
20°	10.000
30°	7.000
40°	5.000
50°	4.000
60°	3.500
70°	3.000
80°	2.500
90°	2.500
100°	2.000

Curvas de transición - longitud mínima

1er. criterio - Comodidad

Adoptando como transición la espiral de Euler o clotoide y en el caso en que, en cada uno de sus puntos, el peralte sea proporcional al desarrollo de la curva, se llega a que la longitud necesaria está dada por la siguiente fórmula (6):

$$L_e = 2,72 \frac{V}{A} \left(0,007865 \frac{V^2}{R} - p \right)$$

R : Radio de la curva circular en m

p : Peralte de la curva circular

V : Velocidad directriz en km/hora

A : Aceleración de la aceleración centrífuga en m/seg^3

Según los diversos autores (6) el valor de "A" que no proporciona ninguna sensación de incomodidad a los ocupantes de los vehículos, está comprendido entre $0,30 \frac{\text{m}}{\text{seg}^3}$ y $0,60 \frac{\text{m}}{\text{seg}^3}$. Se ha adoptado el valor de A: $0,45 \frac{\text{m}}{\text{seg}^3}$, promedio de los dos anteriores.

2do. criterio - Apariencia general

Se considera que la transición debe tener una longitud mínima tal que un vehículo marchando a la velocidad directriz, no -- tarde menos de dos segundos en recorrerla.

En consecuencia la longitud mínima en metros está dada por la siguiente expresión, en la cual V es la velocidad directriz en km/hora:

$$L_e = \frac{V}{1,8}$$

En ningún caso se introducirá una longitud de transición inferior a 30 metros.

3er. criterio - Apariencia del borde

Normalmente, el desarrollo del peralte debe efectuarse a lo -- largo de la espiral. En consecuencia, bajo este aspecto, la longitud mínima surge de la pendiente relativa máxima a dar al borde exterior de la curva de transición con respecto al eje -- de la calzada.

Para suavizar el quiebre de pendientes en los bordes de la curva en los puntos T.E. y C.E., se han adoptado los siguientes valores máximos de la pendiente relativa de los bordes de la calzada respecto al eje:

$$i = \frac{40}{V}$$

Siendo "i" la pendiente relativa mencionada en %, V la velocidad directriz en km/hora, se verifica que a mayor velocidad directriz, menor resulta el quiebre de pendientes admisible. Además, siendo "a" y S el ancho y sobreancho, en m, de la calzada, y "p" el peralte, la longitud mínima de la transición deberá ser la siguiente:

$$L_e = 1,25 (a+S)p V$$

Para simplificar, se han considerado los siguientes anchos máximos de calzada:

Para V entre 30 y 40 km/hora	ac = 6,00 m
Para V entre 50 y 70 km/hora	ac = 6,70 m
Para V entre 80 y 90 km/hora	ac = 7,00 m
Para V 100 km/hora	ac = 7,30 m
Para V entre 110 y 140 km/hora	ac = 7,50 m

• Longitudes de transición a adoptar

Las tablas Nos. 3, 4 y 5 indican los valores de las longitudes mínimas de transición, redondeadas en múltiplos de 10 metros, que cumplen simultáneamente las cuatro condiciones fijadas precedentemente. Ver gráfico N° II-5.

Para caminos de cuatro trochas indivisas, se considera conveniente aumentar las longitudes mínimas de las transiciones - dadas anteriormente en un 20% y 50% respectivamente.

Las características geométricas de las curvas de transición pueden obtenerse de las tablas especiales en uso (7) (8).

. Longitudes deseables

Se recalca que las longitudes dadas en las tablas citadas son las mínimas. Desde el punto de vista estético, cuando no hay inconvenientes de otra índole, es aconsejable aumentarlas en el orden del 50% al 100% sobre todo para curvas de radios am plios y velocidades directrices elevadas.

Además para que el aspecto agradable de la curva de transi- ción pueda ser apreciado por los usuarios, su longitud no de berá ser inferior a la décima parte del radio.

No obstante, se exceptúan de lo anterior los casos en que la espiral se encuentre desarrollada en una rasante horizontal o de pendiente muy pequeña (del orden del 0,3%) ya que se au mentaría la zona de la calzada con poca pendiente transversal y de difícil drenaje superficial.

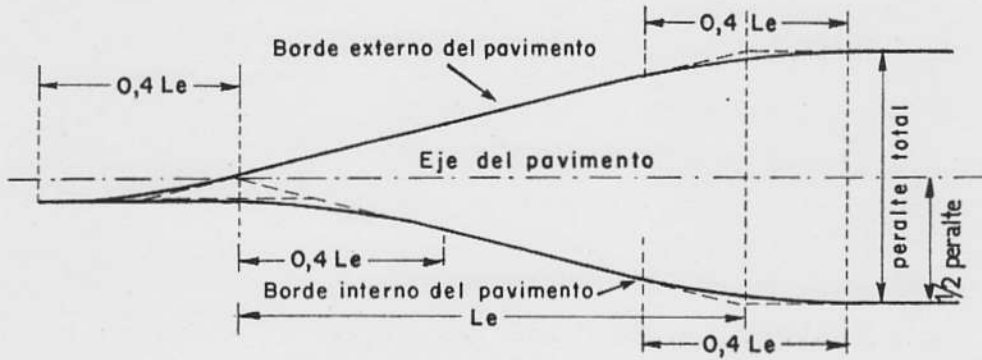
. Transición del peralte

Para obtener el perfil peraltado, es necesario hacer rotar el perfil de la calzada a lo largo de la transición alrededor de una de las líneas siguientes (figura II-3):

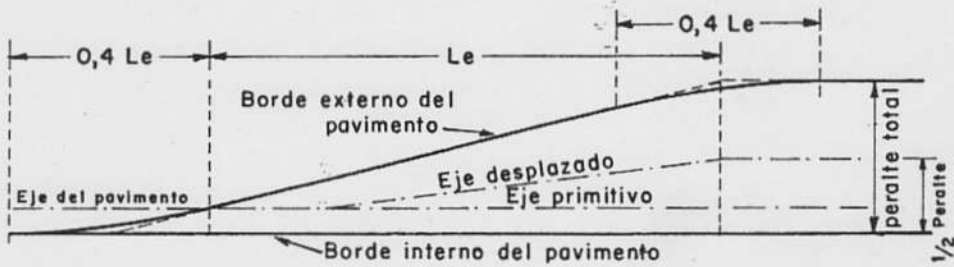
- 1°) Eje longitudinal
- 2°) Borde interno de la calzada
- 3°) Borde exterior de la calzada

GIRO DEL PERALTE

1º) GIRO ALREDEDOR DEL EJE



2º) GIRO ALREDEDOR DEL BORDE INTERNO



3º) GIRO ALREDEDOR DEL BORDE EXTERNO

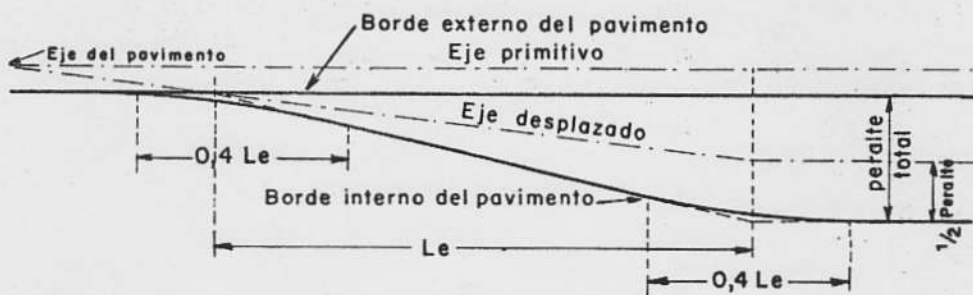


FIGURA Nº II-3

Se empleará en general el método del punto 1°) ya que la deformación general del perfil se reparte uniformemente entre ambos bordes, y no se modifica el eje.

El segundo método se utilizará 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 co-- rrespondencia con obras de arte con tapada mínima.

El tercer método podrá utilizarse como excepción también, - cuando por razones estéticas no sea conveniente deformar el perfil externo, que es el más notado por los conductores, o cuando el perfil resultante se adapte a la configuración del terreno.

El quiebre que se produce en los bordes de la calzada en los puntos de empalme de la espiral con la tangente o la curva - circular, se eliminará mediante curvas verticales cuya longi tud sea $L = 0,4 L_e$, siendo L_e la longitud de la curva de tran sición. (figura II-3).

• Radio a partir de los cuales no es indispensable introducir curvas de transición.

Se considera que cuando el desplazamiento "p" entre la curva circular y la tangente es menor que 0,10 m es innecesario in roducir una curva de transición entre ambas, ya que el vehícu lo describirá de por sí una transición sin apartarse más de - 0,10 m del eje de su trocha.

La expresión que da aproximadamente este desplazamiento es la siguiente:

$$P = \frac{L_e^2}{24 R}$$

Teniendo en cuenta la condición de comodidad, la longitud mínima a considerar será la siguiente:

$$L_e = \frac{2,72 V}{A} \left(\frac{0,007865 V^2}{R} - p \right)$$

Despreciando en esta última expresión el término "p" que representa el peralte, reemplazando en la expresión anterior y despejando el valor de R, obtenemos:

$$R = 0,098 V^2$$

En este caso R es el radio mínimo que no requeriría transición y V la velocidad directriz fijada.

En el cuadro que sigue se indican para cada velocidad directriz, los radios mínimos a partir de los cuales no es imprescindible introducir transiciones:

CUADRO N° II-10

Velocidad directriz en km/hora	Radios a partir de los cuales no es imprescindible introducir transiciones, en metros
30	90
40	160
50	250
60	400
70	500
80	700
90	800
100	1.000
110	1.200
120	1.500
130	1.800
140	2.000

Además de ser una manera elegante de desarrollar el peralte, desde el punto de vista estético es deseable también introducir transiciones para radios mayores que los anteriores, siempre que sea dable apreciarlas visualmente. Para ello tal como se ha expresado anteriormente, será necesario aumentar -- las longitudes de transición del orden de 1,5 a 2 veces las fijadas en las tablas Nos. 3, 4 y 5, con un mínimo igual a la décima parte del radio.

Para velocidades directrices bajas y caminos de categoría inferior, en muchos casos es suficiente introducir transiciones simples, es decir crearlas de hecho, al ubicar todo el sobreancho en el interior de la curva circular.

Cuando no se empleen transiciones espirales, el desarrollo -- del peralte se efectuará sobre las longitudes mínimas dadas -- para L_e en las tablas citadas. En este caso la mitad del desarrollo del peralte se efectuará sobre la tangente y la otra mitad sobre la curva circular.

• Longitudes mínimas de transición para curvas circulares compuestas.

Se utilizan las curvas circulares compuestas cuando la configuración del terreno no permite una sola curva circular.

Los elementos de estas curvas son los siguientes:

	<u>Curva de mayor radio</u>	<u>Curva de menor radio</u>
Radio (en m)	R_1	R_2
Peralte	P_1	P_2
Sobreancho (en m)	S_1	S_2

Elementos comunes a ambas curvas

Velocidad directriz (en km/hora)	V
Longitud de transición (en m)	L _e
Radio de una circunferencia cuya curvatura es la diferencia entre las de ambas curvas (en m)	R _a
Desplazamiento de los ejes de las curvas circulares en correspondencia del radio común (en m)	P _a

Se pueden presentar los siguientes casos:

- 1°) Cuando el radio de la curva mayor no supere al doble de la curva menor ($\frac{R_1}{R_2} \leq 2$), o la velocidad directriz sea inferior a 40 km/hora.

En este caso puede omitirse introducir una transición espiral, ya que llevando las diferencias de sobrecargas de ambas curvas en el interior de la de menor radio se crea una transición simple adecuada. Las longitudes, que en este caso, resultan suficientes para desarrollar las diferencias de peralte y sobrecarga son las siguientes:

CUADRO N° II-11

Velocidad directriz comprendida entre :	Longitud de transición
30 y 50 km/hora	30 m
60 y 90 km/hora	40 m
100 y 120 km/hora	50 m
130 y 140 km/hora	60 m

2°) Cuando la relación de radios entre ambas curvas circulares supere a dos, $\frac{R_1}{R_2} > 2$ y la velocidad directriz sea de 40 km/hora o mayor.

Para ello se procede así:

a) Se calcula R_a :

$$R_a = \frac{R_1 R_2}{R_1 - R_2}$$

b) Se calcula la longitud mínima de la espiral que proporciona una aceleración centrífuga menor que el valor adoptado:

$$L_e = 6,05 V \left(\frac{0,007865 V^2}{R_a} + p_1 - p_2 \right)$$

c) Se calcula la longitud mínima de la espiral que proporciona una adecuada pendiente relativa del borde:

$$L_e = 1,25 (a + S_2 - S_1) (p_2 - p_1) V$$

d) De los dos valores anteriores se elige el L_e que resulte mayor.

e) Se calcula el desplazamiento de los ejes centrados en las calzadas respectivas de ambas curvas, teniendo en cuenta que la diferencia de sobreanchos se lleva hacia el interior de la curva de menor radio:

$$p_a = \frac{L_e^2}{24 R} + S_1 - S_2$$

f) Si dicho desplazamiento es inferior a 0,10 m no es necesario introducir una transición espiral. En este caso se adopta una transición simple cuya longitud (redondeada) sea el valor L_e elegido.

g) Si el desplazamiento p_a es superior a 0,10 m se introduce una transición espiral cuya longitud mínima también sea el valor L_e elegido (redondeado).

. Sobreanchos

Para que las curvas horizontales presenten las mismas condiciones de seguridad que las rectas cuando en ellas se cruzan dos vehículos que marchan en dirección contraria, es necesario introducir sobreanchos, por las siguientes razones:

- a) El vehículo al describir la curva, ocupa un mayor ancho, ya que normalmente sus ruedas traseras recorren una trayectoria ubicada en el interior de la descrita por las ruedas delanteras. Además, el extremo lateral delantero externo del vehículo, describe una trayectoria que resulta exterior a la de las ruedas delanteras.
- b) La dificultad que experimentan los conductores para mantenerse en el centro de su trocha debido a la menor facilidad para apreciar la posición relativa de sus vehículos dentro de la curva. Esta dificultad aumenta con la velocidad pero disminuye a medida que los radios de las curvas son mayores.

Para el caso a) si el vehículo describiera la curva marchando a muy baja velocidad, el sobreancho se podría calcular geométricamente, ya que su eje posterior es radial. Lo mismo ocurriría cuando describiera una curva peraltada a una velocidad tal que la fuerza centrífuga quedara totalmente contrarrestada por la acción del peralte. En cambio, si la velocidad fuera menor o mayor que la indicada, las ruedas traseras se moverían a lo largo de una trayectoria más cerrada o más abierta, respectivamente.

Para el cálculo práctico del sobreancho no se ha tenido en cuenta esta circunstancia, muy variable según las características de los vehículos y la velocidad que desarrollan.

Para determinar la magnitud del sobreancho no se ha tenido en cuenta esta circunstancia, muy variable según las características de los vehículos y la velocidad que desarrollan.

Para determinar la magnitud del sobreancho, debe elegirse un vehículo representativo del tránsito de la ruta. Dada la gran proporción de camiones que circula por los caminos, actualmente del orden del 40 % del tránsito total, se ha tomado como vehículo representativo un camión semiremolque de las siguientes dimensiones:

Distancia entre la parte frontal y eje delantero (L_1)	...	1,20 m
Distancia entre el eje delantero y el eje trasero de la unidad tractora (L_2)	...	4,30 m
Distancia entre el eje trasero de la unidad tractora y el eje del semiremolque (L_3)	...	6,40 m

Si bien hay vehículos de mayores dimensiones aún, su influencia en el cálculo solo se haría notar para radios muy reducidos correspondientes a caminos de velocidades directrices bajas.

Por otra parte, para una velocidad de 30 km/hora, que en zonas rurales se adopta solamente para caminos de montaña, en los que las fuertes pendientes prácticamente no permiten el tránsito de camiones con acoplado, de las dimensiones indicadas precedentemente, el vehículo representativo que se ha adoptado es el camión sin remolque ($L_3 = 0$), con las siguientes medidas:

$$L_1 = 1,20 \text{ m}$$

$$L_2 = 6,80 \text{ m}$$

Siendo R el radio de la curva en metros y V la velocidad directriz en km/hora, la expresión que da el sobreancho S, en metros, de un camino de 2 trochas es la siguiente (ver figura II-4):

$$s = 2 \left[R - \sqrt{R^2 - (L_2^2 + L_3^2)} \right] + \left[\sqrt{R^2 + L_1 (2 L_2 + L_1)} - R \right] + \frac{V}{10VR}$$

En curvas con transiciones espirales, el sobreancho se deberá repartir, en general, por parte iguales entre el borde interno y el borde externo del pavimento, aunque en ciertos casos podrá ser ubicado en el borde interno únicamente. El sobreancho deberá distribuirse a lo largo de la longitud de la espiral, de manera que se obtenga el valor total del mismo en el punto E.C.

En el caso de curvas simples, sin transiciones, el sobreancho se ubicará siempre en el borde interior de la curva circular y su desarrollo se hará progresivamente a lo largo de la longitud del desarrollo del peralte.

Por razones prácticas no se proporciona sobreancho a las curvas, cuando su cálculo arroje un valor inferior a 0,50 m.

Ver gráficos II-6 y II-7.

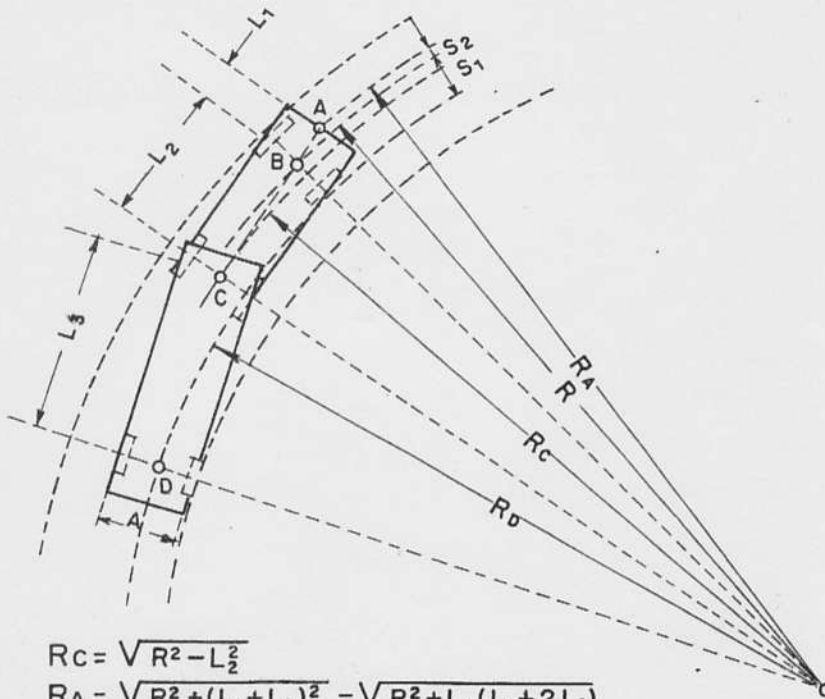
SOBREANCHO EN LAS CURVAS

Dimensiones del semiremolque
adoptado para el diseño.

$$L_1 = 1,20 \text{ m.}$$

$$L_2 = 4,30 \text{ m.}$$

$$L_3 = 6,40 \text{ m.}$$



$$R_C = \sqrt{R^2 - L_2^2}$$

$$R_A = \sqrt{R_C^2 + (L_1 + L_2)^2} = \sqrt{R^2 + L_1(L_1 + 2L_2)}$$

$$R_D = \sqrt{R_C^2 - L_3^2} = \sqrt{R^2 - (L_2^2 + L_3^2)}$$

Sobreelevamientos:

$$S_1 = R - R_D = R - \sqrt{R^2 - (L_2^2 + L_3^2)}$$

$$S_2 = R_A - R = \sqrt{R^2 + L_1(L_1 + 2L_2)} - R$$

$$S_V = \frac{V}{10\sqrt{R}} \text{ (por dificultad de maniobrar en las curvas)}$$

Para camino de 2 trochas

Sobreelevamiento total:

$$S = 2 S_1 + S_2 + S_V$$

$$S = 2 \left[R - \sqrt{R^2 - (L_2^2 + L_3^2)} \right] + \left[\sqrt{R^2 + L_1(L_1 + 2L_2)} - R \right] + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

FIGURA N°II4

2.2.2. Visibilidad en curvas horizontales

. Visibilidad para detención

Es necesario que en cualquier punto del camino exista la distancia mínima de visibilidad para detención correspondiente a la velocidad directriz del proyecto.

En el caso de curvas horizontales, la visual del conductor dirigida a un punto de la curva, ubicado a la distancia de detención con respecto al vehículo, pasa por el interior de la curva.

La presencia de obstrucciones a dicha visual, tales como taludes de desmonte, cercas o construcciones, pueden constituir, en consecuencia, un peligro para el tránsito ya que - en estas circunstancias la altura del objeto no es un factor determinante en la distancia de visibilidad de detención. - Cuando existe un obstáculo lateral, si el paramento del -- obstáculo es vertical, todos los objetos de cualquier altura sobre la superficie del camino se pueden ver a la misma distancia.

La tabla n° 7 suministra, para el camino de dos trochas con rasante de pendiente uniforme y longitud de la curva horizontal mayor que la distancia de frenado, las distancias mínimas, medidas desde el centro de la calzada en curva, en - dirección al radio, a las que deben encontrarse las obstrucciones laterales, cuya altura sobre la rasante sea superior al valor indicado en la misma tabla. (ver figura en tabla - N° 7 y Gráfico II-8).

Dichas distancias mínimas varían con la pendiente longitudinal de la curva horizontal. A tal efecto se han considerado como pendientes negativas las bajadas con giro a la derecha (o subidas con giro a la izquierda) y positivas las de giro contrario.

Los valores de las alturas de las obstrucciones laterales que figuran en la tabla aludida, se han determinado considerando que las alturas del ojo del conductor y del obstáculo en el camino son de 1,10 m y 0,20 m respectivamente, y que ambos se encuentran del borde de la calzada a una distancia igual a la cuarta parte de su ancho normal en recta.

En el caso de que la curva horizontal esté superpuesta con otra vertical, cóncava o convexa, la altura máxima de las obstrucciones laterales ubicadas a una distancia máxima -- del eje, igual a la dada en la tabla N° 7, será la siguiente:

$$h_0 = h + 1/2 (C_1 + C_2) - C_0$$

En esta expresión, "h" es la altura dada en la tabla N° 7, "C₀" es la cota en el centro de la calzada en curva, y "C₁" y "C₂" son respectivamente las cotas de la rasante en puntos equidistantes del anterior, cuya distancia entre sí sea igual a la de frenado.

Los valores de la tabla consideran que tanto el conductor como el objeto se encuentran sobre la curva. Si una parte de la distancia de frenado se desarrolla sobre la tangente, la distancia a los obstáculos puede ser menor.

En este caso las distancias laterales mínimas a obstrucciones laterales de altura indefinida se obtendrán del gráfico II-9 construido de acuerdo a un estudio inédito (9). En este gráfico también figuran las alturas máximas de obstrucciones laterales cuyas distancias al eje son menores que -- las anteriores.

Visibilidad para sobrepaso

Si bien es preferible tener visibilidad de sobrepaso en el mayor porcentaje posible de longitud de camino, gran parte de las curvas horizontales no permiten visuales de la longitud necesaria para efectuar dicha maniobra.

Por otra parte, en las curvas de radios reducidos que utilizan al máximo la fricción lateral, no pueden efectuarse con seguridad dichas maniobras, ya que, para sobrepasar, los vehículos deberán marchar, en gran proporción de casos, a velocidades algo superiores a la directriz y realizar maniobras de cambios de trocha que supondrán excederse de dicha fricción máxima segura.

Además, en las curvas con giro a la derecha, el vehículo que debe ser sobrepasado obstruye en cierta medida la visual del conductor que desea adelantarse.

No obstante, de acuerdo a un estudio realizado (10) para cada velocidad directriz, a partir de cierto radio, con distancias de visibilidad adecuadas, la maniobra de sobrepaso puede efectuarse en condiciones seguras.

Por otra parte, el "Reglamento General de Tránsito para los Caminos y Calles de la República Argentina", que actualmente no permite dicha maniobra, se encuentra en revisión, y existen razones para suponer que en el nuevo reglamento se permitiría, en forma restringida, la maniobra de sobrepaso en curvas.

La tabla N° 7-a suministra para caminos de dos trochas y longitud de curva horizontal mayor que la distancia de visibilidad de sobrepaso, las distancias mínimas medidas desde el centro de la calzada en curva, en dirección al radio a las que deben encontrarse los obstáculos laterales, cuya altura sobre la rasante sea superior a 1,10 m (altura del ojo del conductor).

En caso de que la curva horizontal esté superpuesta con otra vertical, cóncava o convexa, la altura máxima de los obstáculos laterales ubicados a una distancia lateral menor que la dada en la tabla N° 7-a, será la siguiente:

$$h_o = 1,10 \text{ m} + 1/2 (C_1 + C_2) - C_o$$

En esta expresión C_o es la cota en el centro de la calzada - en curva y C_1 y C_2 son, respectivamente, las cotas de la rasante en puntos equidistantes del anterior, cuya distancia entre sí sea igual a la de visibilidad de paso.

Si la longitud de la curva fuera menor que la longitud de sobrepaso las distancias laterales mínimas a obstrucciones laterales se obtendrán del Gráfico N° 9-a.

Sección 2.3. TRAZADO ALTIMETRICO -
DISEÑO GEOMETRICO DE LA RASANTE

2.3.1. Curvas verticales

. Generalidades

Para obtener un cambio gradual entre dos rasantes rectilíneas contiguas de diferente pendiente, es necesario introducir entre ellas una curva vertical.

El diseño geométrico de las curvas verticales, deberá permitir que se cumplan las siguientes condiciones:

- 1°) Seguridad en el tránsito
- 2°) Comodidad para los ocupantes de los vehículos
- 3°) Apariencia estética de la rasante
- 4°) Drenaje superficial adecuado

Forma de las curvas verticales

En la práctica vial se utilizan las curvas verticales circulares, parábolas cuadráticas y parábolas cúbicas. Estas últimas o la introducción de curvas de transición entre -- las rasantes rectilíneas y las curvas circulares vertica-- les han sido sugeridas por algunos autores (11) (12) (13) para evitar la aplicación brusca de una aceleración radial, al entrar el vehículo en la curva vertical.

Por su simplicidad, nuestra práctica vial ha adoptado como curvas verticales las parábolas cuadráticas, que difieren muy poco de las curvas circulares, dentro de los rangos de los parámetros y pendientes usuales. Más adelante se analiza la hipotética necesidad de introducir transiciones en las curvas verticales.

Para la individualización de estas curvas parabólicas se utiliza su parámetro, o sea el radio de curvatura en el vértice: $p = x^2/2y$, continuando la práctica vigente en nuestro medio desde 1949 (2) y que se ha ido generalizando en diversos países.

. Curvas verticales convexas

Se trata de determinar los parámetros de este tipo de curvas que permitan cumplir simultáneamente las cuatro condiciones impuestas precedentemente, que se repiten a continuación:

1°) Seguridad para el tránsito

Para satisfacer esta condición, es indispensable contar con distancias de visibilidad, desde el ojo del conductor hasta el posible obstáculo, iguales a las de detención. Se consideran los casos de operación diurna y nocturna, a saber:

- a) Para operación diurna, las distancias de detención elegidas, son las correspondientes a la velocidad directriz.
- b) Para la operación nocturna, teniendo en cuenta que en general los conductores no imprimen a sus vehículos - las velocidades máximas a las que circularían de día, se han adoptado distancias de detención correspondientes a una velocidad igual al 90% de la directriz.
No obstante, se han considerado como deseables los parámetros que permiten una velocidad nocturna segura, - igual a la directriz.

Se ha adoptado como altura del ojo del conductor sobre el pavimento, el valor de 1,10 m en lugar de 1,30 m que se utilizaba hasta ahora.

De acuerdo con las estadísticas parciales llevadas a cabo en los EE.UU. (14) (15) (16), la altura media del ojo del conductor, que en el año 1949 era de 1,32 m, - disminuyó a 1,20 m en el año 1959.

Se estima que dicha altura continuará decreciendo, aun que a un ritmo menor.

En nuestro país la altura media de todos los modelos -- de coches nacionales fabricados en 1967 (17), es de -- 1,43 m, por lo que se estima que la altura del ojo del conductor se encuentra del pavimento a 0,25 m menos, o sea a 1,18 m.

En consecuencia se considera que una altura del ojo -- del conductor de 1,10 m, correspondiente a una altura del vehículo de 1,35 m, podrá utilizarse como valor de diseño para un lapso razonablemente prolongado.

La altura del objeto que pueda ser considerada como un obstáculo peligroso, se ha mantenido en 0,20 m.

La altura de los faros de los automóviles y el ángulo de divergencia del haz luminoso, adoptada hasta hace poco en los EE.UU., fue respectivamente de 0,76 m sobre el pavimento y 1° con relación al eje de dicho -- haz.

No obstante, de acuerdo a estadísticas realizadas en coches de modelos europeos y norteamericanos (16) la altura de los faros para la gran mayoría de dichos -- vehículos, se encontraba entre 0,63 m y 0,73 m.

En consecuencia, a los fines de diseño, se considera razonable adoptar, como altura de los faros sobre el pavimento, el valor de 0,65 m, manteniendo el valor del ángulo de divergencia del haz luminoso en 1° .

Se señala que para una iluminación nítida, el alcance actual de los faros es, en general, para velocidades directrices elevadas, menor que las distancias de de-- tención correspondientes. No obstante, se estima con

veniente calcular los parámetros de las curvas verticales haciendo abstracción de esta circunstancia, considerando una probable mejora, en el futuro, en la eficiencia de la iluminación de los faros.

Los términos anteriores se han denominado de la siguiente manera:

- p : Parámetro mínimo absoluto para operación diurna.
- p' : Parámetro mínimo absoluto para operación nocturna.
- p'' : Parámetro mínimo deseable.
- D₁ : Distancia de detención correspondiente a la velocidad directriz.
- D' : Distancia de detención correspondiente al 90% de la velocidad directriz.
- h : Altura del ojo del conductor (1,10 m)
- h' : Altura del objeto (0,20 m)
- h'' : Altura de los faros (0,65 m)
- h''' : Altura del vehículo (1,35 m)
- i : Diferencia algebraica de pendientes
- L : Longitud de la curva vertical

Las expresiones que vinculan entre si estos términos son las siguientes:

..//

a) Parámetros mínimos absolutos para operación diurna:

$$p = \frac{2 D_1}{i} - \frac{2(\sqrt{h} + \sqrt{h'})^2}{i^2} \quad \text{Válida para } L < D_1$$

$$p = \frac{D_1^2}{2(\sqrt{h} + \sqrt{h'})^2} \quad \text{Válida para } L > D_1$$

b) Parámetros mínimos absolutos para operación nocturna:

$$p' = \frac{2 D'}{i} - \frac{2(\sqrt{h''} + \sqrt{h'})^2}{i^2} \quad \text{Válida para } L < D'$$

$$p' = \frac{D'^2}{2(\sqrt{h''} + \sqrt{h'})^2} \quad \text{Válida para } L > D'$$

c) Parámetros mínimos deseables:

$$p'' = \frac{2 D_1}{i} - \frac{2(\sqrt{h''} + \sqrt{h'})^2}{i^2} \quad \text{Válida para } L < D_1$$

$$p'' = \frac{D_1^2}{2(\sqrt{h''} + \sqrt{h'})^2} \quad \text{Válida para } L > D_1$$

Los valores de los parámetros que cumplen simultáneamente con las condiciones mínimas absolutas impuestas para las operaciones diurna y nocturna, figuran en las columnas de la derecha de la tabla N° 8, en la que se ha tenido en cuenta, para caminos de trochas indivisas, la variación de la distancia de frenado en función de la pendiente media de la curva vertical. La tabla N° 9 permite obtener los parámetros mínimos deseables.

2°) Comodidad de los ocupantes de los vehículos.

a) Aceleración radial máxima.

Al circular un vehículo por una curva vertical, sus ocupantes están sujetos a una aceleración radial determinada por la velocidad de aquél y el radio de curvatura. Respecto del valor máximo admisible de dicha aceleración, que no ocasione sensación de incomodidad, no existe un criterio uniforme entre los diversos autores, (3) (11) variando entre 1,20 m/seg² a 0,15 m/seg² (este último valor, aplicable a autopistas).

Se considera que en general un valor de 0,30 m/seg² responde con amplitud a las exigencias de la comodidad, tanto para curvas verticales cóncavas como convexas.

Teniendo en cuenta que el parámetro de las parábolas cuadráticas es igual al radio de curvatura en su vértice y que éstas son sensiblemente equivalentes a -- curvas circulares de radio igual a dicho parámetro, se tiene: $p = \frac{v^2}{a}$

Siendo:

- a: Aceleración radial en m/seg²
- v: Velocidad directriz, en m/seg
- p: Parámetro, en m

Expresando la velocidad en km/hora y reemplazando "a" por su valor adoptado (0,30 m/seg²) se tiene:

$$p = 0,25 v^2$$

Los parámetros mínimos en función de la velocidad directriz son, en consecuencia, los que figuran en la cuadro N° II-12:

CUADRO N° II-12

Velocidad directriz km/hora	Parámetro mínimo (m)
30	225
40	400
50	625
60	900
70	1225
80	1600
90	2025
100	2500
110	3025
120	3600
130	4225
140	4900

b) Variación máxima de la aceleración radial.

Algunos autores han considerado la conveniencia de evitar la brusca aplicación de una aceleración radial, utilizando como curvas verticales, espirales o parábolas cúbicas. Se ha estimado que una variación de aceleración inferior a $b = 0,25 \text{ m/seg}^3$ ($0,8 \text{ pié/seg}^3$) ya cae por debajo de los límites de percepción humana (11). Con las notaciones conocidas la longitud mínima en metros, de la transición espiral vertical será:

$$L_e = \frac{v^3}{46,66 b p}$$

reemplazando "b" por su valor se llega a:

$$L_e = \frac{v^3}{11,66 p}$$

El desplazamiento "d", en metros que sufre la curva vertical, por la introducción de la espiral (equivalente al valor "p" en curvas horizontales) será el siguiente:

$$d = \frac{v^6}{52240 p^3 b^2}$$

reemplazando "b" por su valor y despejando "p", llegamos a:

$$p = \frac{0,068}{\sqrt[3]{d}} v^2$$

Consideramos que dentro de las técnicas constructivas previsibles en un futuro próximo, pueda haber una tolerancia en la rasante de 0,02 m, con respecto a la prevista.

Un criterio respecto de la necesidad de introducir curvas verticales de transición sería el de no aplicarlas cuando "d" sea inferior a 0,02 m y que dicho desplazamiento se produjera recién después de recorrer el vehículo la longitud de transición en un tiempo "t" proporcional a "d", y en este caso, no inferior a un segundo ($t = 50 d$, expresándose "t" en seg. y "d" en m).

Es decir, el valor del parámetro mínimo y la longitud mínima de transición, que cumplen el criterio anterior, se obtendrán reemplazando el valor: $d = 0,02$ m, en las siguientes expresiones:

$$P_{min} = \frac{0,068}{\sqrt[3]{d}} v^2$$

o sea:

$$L_{e min} = 14 d v$$

$$P_{min} = 0,25 v^2$$

$$L_{e min} = 0,28 v$$

Los parámetros mínimos que satisfacen el criterio de aceleración máxima, $a = 0,30 \text{ m/seg}^2$, también cumplen con las condiciones precedentemente enunciadas, ya que sus valores están dados por la misma fórmula: $p = 0,25 \text{ V}^2$.

Las longitudes de transición correspondientes a un desplazamiento: $d = 0,02 \text{ m}$, resultarían de reemplazar el valor del parámetro mínimo obtenido en la expresión correspondiente, a saber:

$$L_e = \frac{V^3}{11,66 \times 0,25 \text{ V}^2} \quad \text{o sea}$$

$$L_e = 0,34 \text{ V}$$

Es decir también se cumpliría la segunda condición respecto a la longitud mínima de transición ($L_{emin} = 0,28 \text{ V}$).

En síntesis, adoptando como mínimo parámetros dados por la fórmula $p = 0,25 \text{ V}^2$, no sería necesario introducir transiciones para las curvas verticales, absorbiéndose la brusca aplicación de las fuerzas originadas por la aceleración radial, por el sistema de amortiguación del vehículo.

3°) Apariencia estética de la rasante

Desde el punto de vista estético, para evitar que la rasante presente un aspecto no satisfactorio, se ha fijado para las curvas verticales convexas, una longitud mínima dependiente de la velocidad directriz.

Siendo L_{min} la longitud mínima en metros y V la velocidad directriz en km/hora , la expresión adoptada es la siguiente:

$$L_{min} = 0,7 \text{ V} \quad \text{o sea}$$

$$P_{min} = \frac{0,7 \text{ V}}{1}$$

En esta última expresión p_{\min} es el parámetro, e "i" la diferencia algebraica de pendientes.

Por otra parte, independientemente de la velocidad directriz, se ha elegido, como límite inferior de los parámetros, el valor de 400 m o sea:

$$P_{\min} = 400 \quad (\text{en metros})$$

Finalmente, se ha considerado que la combinación de estas condiciones con las de seguridad y comodidad, proporcionan una adecuada apariencia estética a la rasante.

4°) Drenaje superficial adecuado.

El problema del drenaje solo se presenta en las curvas - verticales con pavimentos provistos de cordones, en el punto en que la tangente a la rasante es horizontal. - Las normas A.A.S.H.O. de diseño geométrico de caminos rurales consideran que en estos casos el drenaje es adecuado, cuando a una distancia de 15,20 m de dicho punto, la pendiente longitudinal es igual o mayor que 0,35 %. Esto implica que el parámetro no supere los 4.350 m, o sea -- que para velocidades superiores a 90 km/hora, esta condición estaría en general en contraposición con las del criterio de seguridad.

No obstante es poco frecuente, en caminos rurales, el uso de cordones, y de presentarse esta situación deberán utilizarse los parámetros que cumplan el criterio de seguridad teniendo en cuenta que exista, no obstante, un drenaje adecuado en aquellos puntos críticos (por ejemplo, interrumpiendo o eliminando los cordones).

Además de los parámetros mínimos que cumplan los criterios anteriores, deberán tomarse en consideración los parámetros de las curvas convexas que permiten el sobrepaso de vehículos.

Para el caso de la operación diurna en que a lo largo de la distancia de sobrepaso (D_2) correspondiente a la velocidad directriz, haya un solo alineamiento recto y que asimétricamente, haya solamente dos rasantes unidas por una curva vertical convexa, los parámetros mínimos que permiten la maniobra de sobrepaso están dados por las siguientes expresiones:

$$p = \frac{2 D_2}{1} + \frac{2 (\sqrt{h} + \sqrt{h'' - 0,05})^2}{4^2} \quad \text{Válida para } L < D_2$$

$$p = \frac{D_2^2}{2 (\sqrt{h} + \sqrt{h'' - 0,05})^2} \quad \text{Válida para } L > D_2$$

Se señala que dadas las relativamente largas distancias de sobrepaso y la consiguiente dificultad en percibir los vehículos que se aproximan, la visual que se ha considerado, es la trazada desde el ojo del conductor, hasta 0,05 m. por debajo del techo del vehículo que circula en sentido contrario.

Para cada velocidad, los valores de los parámetros mínimos que permiten el sobrepaso, están dados en la tabla N° 10.

Debido a la baja altura de los faros de los coches, en curvas convexas, de noche, un conductor recién puede ver directamente un vehículo que se acerca en sentido contrario, a una distancia menor que en el caso de operación diurna.

No obstante, debido a la iluminación indirecta de elementos próximos al camino, tales como árboles, taludes, etc., o aun el propio resplandor de los faros en la atmósfera, puede apreciarse la aproximación de un vehículo en sentido contrario, antes de percibir directamente la luz de sus faros.

Este hecho, unido a la circunstancia de ser, en general menores las velocidades nocturnas, permite prescindir de verificar en estas condiciones, los parámetros de las curvas convexas determinadas para el caso de operación diurna.

De superponerse curvas horizontales y verticales o de existir más de una curva vertical a lo largo de una distancia igual a la de sobrepaso, deberá verificarse que no existan obstáculos por encima de la visual de dicha longitud, tendida de ojo del conductor a vehículo, a alturas sobre la calzada de 1,10 m y 1,30 m respectivamente.

Los valores de los parámetros que resultan de la Tabla N° 10 demuestran que las curvas verticales convexas diseñadas para proveer distancia de visibilidad de sobrepaso resultan de gran longitud.

Esta longitud es del orden de 6 a 10 veces mayor que la necesaria para la distancia de detención. Esto hace que normalmente resulte impracticable el diseño de curvas convexas -- que permitan el sobrepaso en condiciones de seguridad, debido no solamente al alto costo de los desmontes necesarios sino también a la dificultad de conjugar la longitud requerida con la forma del terreno, particularmente para altas velocidades de diseño. Es así que la distancia de visibilidad para sobrepaso en curvas verticales convexas sólo resulta factible de obtener cuando se presentan combinaciones inusuales de baja velocidad de diseño y pendientes suaves, o altas velocidades con pendientes de muy pequeña diferencia algebraica. Por ello, normalmente, la distancia de visibilidad de sobrepaso -- se provee solamente en aquellos lugares donde la combinación del alineamiento horizontal y el perfil longitudinal no requiere el uso de curvas verticales convexas.

Los Gráficos II-11 y II-12 determinan, para $L > D_v$ y $L < D_v$ respectivamente, la relación entre la longitud de la curva, la distancia visual y la diferencia algebraica de pendientes. Dicha relación se encuentra también en el ábaco del Gráfico II-13.

Para verificar, sobre rasantes proyectadas, las distancias de visibilidad para sobrepaso y marcar las zonas sin sobrepaso, es de utilidad un escalímetro especial (18) ejecutado en material transparente que esencialmente consta de una línea horizontal superior y de líneas paralelas en la parte inferior: la primera a 1,10 m y la segunda a 1,30 m respectivamente, de la mencionada en primer término, medidas, ambas distancias, en la escala vertical del plano.

Horizontalmente, el escalímetro mencionado está dividido en metros (medidos también en la escala del plano desde un origen dado) y en correspondencia con las distancias de sobrepaso están consignados los valores de la velocidad directriz respectiva.

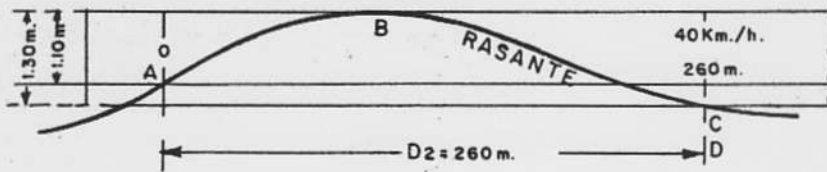
Se opera sobre el plano de la rasante cuyas escalas horizontales y verticales coincidan con las del escalímetro.

Haciendo coincidir la intersección de la primera paralela, y la vertical del origen con el punto de la rasante cuya distancia de visibilidad se desea verificar (punto A, figura II-5) y girando el escalímetro hasta que la paralela superior sea tangente a la rasante, (punto B), en la intersección de la paralela inferior con la rasante (punto C) se podrá leer en el escalímetro, sobre la escala horizontal correspondiente, la distancia de visibilidad y velocidad directriz respectiva.

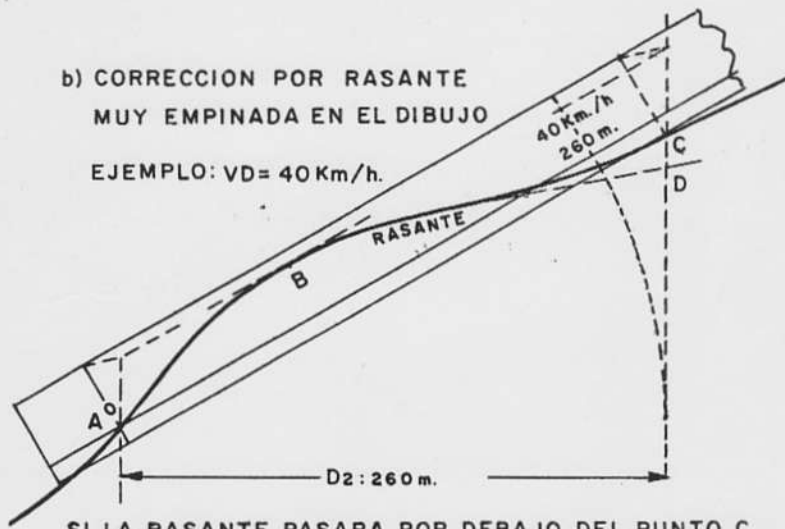
Si estas distancias (o velocidad) superan a la distancia de sobrepaso del proyecto (o velocidad directriz del proyecto) el conductor que se encuentre en el punto A, tendrá visibilidad de sobrepaso mayor que la necesaria. Este procedimiento es válido para rasantes de pequeña pendiente. En la misma figura II-5 se detallan las correcciones a introducir para pendientes empinadas.

VERIFICACION DE LA DISTANCIA DE SOBREPASO

a) RASANTE PRACTICAMENTE HORIZONTAL EN EL DIBUJO
EJEMPLO: $VD = 40 \text{ Km./h.}$



b) CORRECCION POR RASANTE
MUY EMPINADA EN EL DIBUJO
EJEMPLO: $VD = 40 \text{ Km./h.}$



SI LA RASANTE PASARA POR DEBAJO DEL PUNTO C
(PUNTO D POR EJEMPLO) NO HABRIA SOBREPASO PARA
LOS VEHICULOS QUE PASARAN POR A HACIA B
($D_2 =$ DISTANCIA DE SOBREPASO)

c) SOBREPASO BAJO UNA ESTRUCTURA
EJEMPLO: $VD = 40 \text{ Km./h.}$

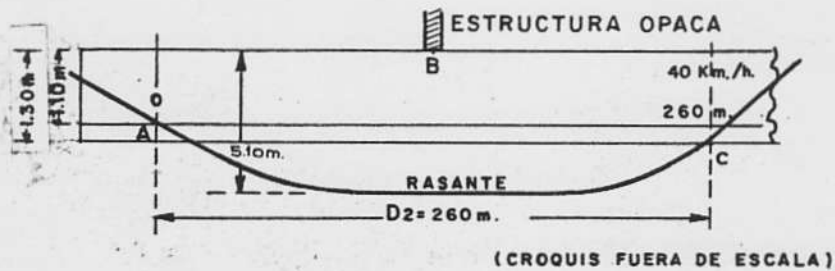


FIGURA Nº II-5

Una vez verificados todos los puntos, en el plano del perfil longitudinal podrá marcarse con una línea horizontal continua, la zona en la cual no existe sobrepaso, lo que facilitará un posible ajuste de la rasante para lograr mayor visibilidad.

Curvas Verticales Cóncavas

Las condiciones que debe cumplir el diseño geométrico de estas curvas son las ya mencionadas anteriormente, a saber:

1° Seguridad en el tránsito

En este caso prevalecen las condiciones de operación nocturna, ya que dada la configuración de la curva, no hay problemas de visibilidad en horas diurnas.

Se han adoptado como mínimos absolutos, los parámetros que permiten una suficiente iluminación nocturna a una distancia igual a la de frenado, correspondiente a una velocidad del vehículo equivalente al 90% de la velocidad directriz.

Para ello se ha considerado que el haz luminoso de los faros del vehículo forma un ángulo de 1°, por encima de su eje longitudinal paralelo a la tangente de la rasante sobre la que circula, y que la altura de los faros es de 0,65 m. Como parámetros mínimos deseables se han considerado aquellos que permiten una iluminación suficiente a la distancia de frenado correspondiente a la velocidad directriz.

Usando las notaciones dadas para las curvas convexas tendremos:

a) Parámetros mínimos absolutos (operación nocturna)

$$p' = \frac{2 D'}{1} - \frac{2h'' + 0,035 D'}{12} \quad \text{Válida para } L < D'$$

$$p' = \frac{D'^2}{2h'' + 0,035 D'} \quad \text{Válida para } L > D'$$

b) Parámetros mínimos deseables (operación nocturna)

$$p'' = \frac{2 D_1}{i} - \frac{2h'' + 0,035 D_1}{i^2} \quad \text{Válida para } L < D_1$$

$$p'' = \frac{D_1^2}{2h'' + 0,035 D_1} \quad \text{Válida para } L > D_1$$

Los valores de los parámetros mínimos absolutos y deseables así obtenidos figuran en las columnas de la derecha de las tablas Nos. 11 y 12 respectivamente, donde se ha tenido en cuenta, para caminos de trochas indivisas, la variación de la distancia de frenado en función de la pendiente media de la curva vertical.

2° Comodidad de los ocupantes de los vehículos.

De acuerdo a las mismas consideraciones efectuadas para las curvas convexas, se consideran que satisfacen esta condición los parámetros que superan a los de la expresión siguiente:

$$p = 0,25 v^2$$

3° Apariencia estética de la rasante.

Se adopta el mismo criterio que el utilizado para curvas verticales convexas o sea:

$$p_{\min} = \frac{0,7 V}{i}$$

$$p_{\min} = 400 \text{ m}$$

4° Drenaje superficial adecuado.

Únicamente esta condición adquiere importancia, en el caso poco frecuente, en caminos rurales, de pavimentos con cordón, situados en los puntos en que la tangente a la rasante es horizontal. En este caso el parámetro máximo, sería de 4.350 m. De ser necesarios parámetros mayores, deberá asegurarse un drenaje adecuado en dichos puntos críticos, ya sea eliminando o interrumpiendo los cordones o construyendo sumideros.

Fuera de los casos citados, hay que tener en cuenta cuando la curva vertical cóncava, en una intersección, corresponde a una calzada de dos trochas indivisas que pasa bajo nivel, quedando obstruída la visual del conductor, por la estructura superior.

Dadas las alturas cada vez mayores de los vehículos de carga y de transporte público de pasajeros, resulta conveniente -- adoptar una luz libre entre la estructura superior y la rasante proyectada de $H = 5,10$ m., lo que permitirá futuras repavimentaciones.

En este caso, con los parámetros mínimos determinados precedentemente, la visual del conductor siempre tendrá una longitud mayor que la distancia de detención. En cambio, para efectuar una maniobra de sobrepaso se necesitarán en general parámetros mayores que los mínimos citados.

Teniendo en cuenta que la condición más desfavorable se produce cuando el vértice de la curva cóncava se encuentra aproximadamente en correspondencia con la estructura superior, con suficiente exactitud, los parámetros mínimos de las curvas verticales están dados por las siguientes expresiones (19):

$$p = \frac{2D_2}{i} - \frac{8}{i^2} \left(D - \frac{h_1 + h'}{2} \right) \quad \text{Válida para } L < D_2$$

$$p = \frac{D_2^2}{8 \left(H - \frac{h_1 + h'}{2} \right)} \quad \text{Válida para } L > D_2$$

Los términos tienen los siguientes significados:

H : Altura de la estructura sobre el pavimento de la curva vertical, en metros.

h_1 : Altura del ojo del conductor sobre el pavimento. El caso más desfavorable corresponde a un conductor de ómnibus con $h_1 = 2,20$ m.

h' : Altura del objeto. Se adopta el valor de 0,20 m.

Los demás términos tienen los significados dados anteriormente. Los valores de estos parámetros mínimos se encuentran consignados en la tabla N° 13.

Cabe señalar que adoptar el conjunto de valores: $h_1 = 2,20$ m y $h' = 0,20$ m es prácticamente equivalente a admitir el par de valores $h = 1,10$ m (altura del ojo del conductor del vehículo) y $h'' = 1,35$ m (altura del vehículo). Esta circunstancia nos permite verificar las condiciones de sobrepaso, en rasantes bajo nivel, con el mismo escalímetro para curvas verticales indicado anteriormente, cuando dentro de la longitud de sobrepaso, hay más de una curva vertical. (figura N° II-5).

Diferencias algebraicas de pendientes que no requieren la introducción de curvas verticales.

ler. Criterio: Comodidad de los ocupantes de los vehículos. Supongamos que entre dos rasantes rectilíneas se introduzca una curva de transición total que cumpla con las condiciones de comodidad fijadas:

$$\text{Aceleración radial: } a < 0,30 \text{ m/seg}^2$$

$$\text{Variación de la aceleración radial: } b < 0,25 \text{ m/seg}^3$$

Es decir el parámetro en el vértice deberá ser:

$$p \geq 0,25 v^2$$

En concordancia con el criterio ya anteriormente expuesto consideraremos que no será necesario introducir dicha curva vertical, cuando la máxima diferencia "e" de cotas entre ésta y las tangentes, sea en el vértice, menor que 0,02 m, y que la longitud de la transición - sea recorrida por el vehículo en un tiempo "t" proporcional a "e", (igual a un segundo para $e = 0,02$ m), o sea: $t \text{ (seg)} = 50 e \text{ (m)}$.

Es decir:

$$L_e = 14 e V$$

Además en curvas de transición total se verifica muy aproximadamente que $e = 4 d$, por lo que:

$$p = \frac{0,068}{\sqrt[3]{\frac{e}{4}}} v^2 \quad \text{o sea}$$

$$p = \frac{0,108}{\sqrt[3]{e}} v^2$$

Reemplazando este valor en la expresión dada anteriormente, $L_e = \frac{v^3}{11,66 p}$ llegamos a la siguiente:

$$L_e = 0,8 \sqrt[3]{e} v$$

Igualando esta expresión con:

$$L_e = 14 e V, \text{ despejando el valor de "e"}$$

$$e = 0,0136 m.$$

Reemplazando a su vez este valor en la anterior,

$$P = \frac{0,108}{\sqrt[3]{e}} v^2 \quad \text{obtenemos:}$$

$$p = 0,45 v^2$$

Es decir, cumpliéndose la condición impuesta $L_e = 14 eV$, se satisfacen las demás condiciones:

$$e < 0,02 m \quad \text{y}$$

$$p \cong 0,25 v^2$$

Recordando que en curvas de transición total se verifica muy aproximadamente que: $p_i = L_e$, obtenemos el valor de la diferencia algebraica de pendientes "i" por debajo del cual no es necesario introducir curvas verticales:

$$i = \frac{L_e}{p}$$

$$i = \frac{14 \times 0,0136 V}{0,45 V^2}$$

$$i = \frac{0,4}{V}$$

o sea, expresando i en %

$$i \text{ (\%)} = \frac{40}{V}$$

2do. Criterio: Apariencia estética de la rasante.

Se considera que con una diferencia algebraica "i" debajo del 0,5 %, la sensación de quiebre de dos rasantes rectilíneas no es percibida por la gran mayoría de los usuarios del camino.

En consecuencia el valor máximo de la diferencia i, para la cual no es necesario introducir curvas verticales es:

$$i = 0,5 \%$$

En consecuencia, del conjunto de ambos criterios expuestos precedentemente para cada velocidad directriz, los máximos valores de "i" para los cuales no es necesario introducir curvas verticales son:

CUADRO N° II-13

Velocidad directriz km/hora	Diferencia algebraica de pendientes %
30	0,50
40	0,50
50	0,50
60	0,50
70	0,50
80	0,50
90	0,44
100	0,40
110	0,36
120	0,33
130	0,31
140	0,29

2.3.2. Pendientes

En general la influencia de las pendientes, con relación a la circulación de vehículos aislados, se hace sentir mucho más fuertemente sobre la velocidad de camiones que sobre la de automóviles, por cuya causa, en los proyectos, la magnitud de aquellas, deberá fijarse en función de las características y proporción de camiones dentro de la corriente vehicular, y teniendo en cuenta los siguientes conceptos:

- a) En pendientes de hasta 3% los automóviles no resultan afectados sino en un grado muy pequeño y la operación de camiones lo es solamente en largas pendientes.
- b) En pendientes del 5% los automóviles no tienen dificultad en operar eficientemente, pero los camiones pueden tener considerable dificultad sobre todo si se trata de una zona de mucha altura sobre el nivel del mar y fría conformación de hielo en la calzada.
- c) Los costos operativos y de mantenimiento aumentan con el valor de la pendiente.
- d) Se deberá tratar siempre de utilizar valores de pendientes que se encuentren por debajo de los máximos.

Pendientes máximas

Las pendientes máximas que pueden subir, a velocidad uniforme, camiones con remolque, y el coeficiente de fricción desarrollado, están relacionados por la siguiente expresión, en la cual se ha despreciado por ser pequeña, la resistencia del aire (velocidades reducidas):

$$P_a f = (P_c + P_r) (r + i_m)$$

Los términos tienen el siguiente significado:

- p_c : Peso del camión
 p_a : Peso adherente
 p_r : Peso del remolque
 r : Resistencia a la tracción en recta y en horizontal por unidad de peso. (Coeficiente de resistencia al rodamiento).
 f : Coeficiente de fricción
 i_m : Pendiente máxima

Despejando i_m se obtiene:

$$i_m = \frac{P_a f}{P_c + P_r} - r$$

En general se tiene que aproximadamente (20):

$$P_a = \frac{2}{3} P_c ; P_r = \frac{3}{4} P_c \text{ y } r = 0,015 \text{ (Pavimento poco rugoso)}$$

$$i_m = 0,38 f - 0,015$$

Considerando como caso más desfavorable al de pavimentos poco rugosos y húmedos, tendríamos $f = 0,30$, o sea

$$i_m = 10 \%$$

En cambio para camiones sin remolque y automóviles, en el caso más desfavorable mencionado, la pendiente máxima sería -- del orden del 18%.

Por otra parte, si el camino se encuentra en zonas por cuyo clima se prevé la formación de hielo en la calzada, el valor de f es del orden de 0,10 y en consecuencia las pendientes máximas que dichos vehículos podrían subir serían del siguiente orden:

$i_m = 2\%$ (camiones con remolque)

$i_m = 5\%$ (camiones sin remolque y automóviles)

En caminos con apreciable proporción de camiones con acoplado, la pendiente máxima que se ha adoptado es del 8 %, aunque se considera deseable no pasar del 6 % o 7 %, para evitar encontrarse en condiciones próximas a los límites respecto a la fricción.

En cambio, en las zonas donde fuera frecuente la formación de hielo en la calzada y en caminos con proporción apreciable de camiones con acoplado, sería deseable no su perar pendientes del 2%. No obstante, si por razones de topografía no pudiera cumplirse lo anterior, sería conveniente que las pendientes máximas no excedan del 4 % o 5 %, para no obstaculizar mayormente el tránsito de automóviles y camiones sin acoplado mientras persistan dichas condicio nes climáticas adversas.

En síntesis tanto las pendientes deseables como las máxi-- mas hasta alturas de 500 metros sobre el nivel del mar, se han fijado en función de la categoría del camino y de la - topografía de la zona que atraviesa, de acuerdo al cuadro N° II-14 que sigue:

..//

CUADRO N° II-14

Valores de las pendientes

Categoría del Camino	Topografía de la zona	Velocidad directriz	Pendientes	
			Deseable	Máxima
		km/hora	%	%
Especial	Llana	130	2	3
	Ondulada	110	3	4
I	Llana	130	3	3
	Ondulada	110	3	5
	Montañosa	80	4	6
II	Llana	120	3	3
	Ondulada	100	3	5
	Montañosa	70	5	7
III	Llana	110	3	5
	Ondulada	90	4	6
	Montañosa	60	5	7
IV	Llana	100	4	6
	Ondulada	70	5	7
	Montañosa	40	6	8
V	Llana	90	5	6
	Ondulada	50	6	8
	Montañosa	30	7	10

Los valores de este cuadro se han volcado en la planilla N° 1, que resume las características de diseño geométrico que deben reunir los caminos rurales según su categoría.

En casos excepcionales, podrán aumentarse las pendientes máximas en un 1% siempre que las longitudes de estas pendientes no excedan los valores máximos que se indican más adelante. En -- cambio será conveniente reducirlas, cuando se prevea frecuente formación de hielo sobre la calzada.

Por otra parte, deberán reducirse también los valores de aquellas pendientes máximas, cuando sus longitudes sean superiores a las determinadas por el procedimiento indicado más adelante. En los casos poco frecuentes de pavimentos con cordones, es -- conveniente proyectar una pendiente mínima comprendida entre - 0,35 % y 0,5 % con el objeto de asegurar el desague, evitando la acumulación de agua que puede crear zonas peligrosas.

. Pendientes nocivas

La pendiente por la cual un vehículo, que baja con una velocidad uniforme, no utiliza la fuerza de tracción del motor, se -- considera una pendiente de equilibrio

Si dicha velocidad uniforme se hace igual a la velocidad directriz, que es la máxima que puede desarrollar con seguridad un -- vehículo, obtendremos que las pendientes de equilibrio están da das por la siguiente expresión (4):

$$i_e = r + \frac{\gamma c}{2g} \frac{S}{P} v^2 \quad \cdot \text{ en la cual:}$$

i_e : pendiente de equilibrio

r : Resistencia a la tracción en recta y en horizontal., por unidad de peso (coches $r = 0,01$; camiones $r = 0,015$; pavimento poco rugoso).

γ : peso específico del aire en condiciones medias (aproxim. $1,22 \text{ kg/m}^3$, a 15° C y 760 mm de presión)

c : coeficiente sin dimensión (automóviles standard $c = 0,5$; camiones $c = 0,9$) (4).

- g : aceleración de la gravedad (9,8 m/seg²).
 S : superficie de la sección transversal máx del vehículo
 (coches promedio: 2 m²; camiones de 18.000 kg, promedio:
 8 m².
 p : peso del vehículo, en kg (coches: 1000 kg; camio
 nes 18.000 kg).
 v : velocidad directriz en m/seg.

Reemplazando los valores correspondientes a coches y camio-
 nes llegamos a las siguientes expresiones (V: velocidad di-
 rectriz en km/hora).

$$i_e = 0,01 + 0,000005 v^2$$

$$i_e = 0,015 + 0,000002 v^2$$

Estos valores figuran en el cuadro N° II-15 que sigue:

CUADRO N° II-15

Velocidad directriz km/hora	Pendientes de equilibrio	
	automóviles %	camiones %
30	1,5	1,7
40	1,8	1,8
50	2,2	2,0
60	2,8	2,2
70	3,4	2,5
80	4,2	2,8
90	5,0	3,1
100	6,0	3,5
110	7,0	3,9
120	8,2	-
130	9,4	-
140	10,8	-

Las pendientes de gran longitud mayores que las de equilibrio, son nocivas ya que los vehículos, al bajar, deben disipar parte de su energía en frenar, exigiendo en consecuencia, un consumo adicional de ésta.

Esta circunstancia influye notablemente en los costos de operación de vehículos en los caminos con altos volúmenes de tránsito, por cuya causa, es deseable no proyectar pendientes superiores al 3% o 4%, cuando tengan longitudes apreciables y circule por ellos un tránsito con alto porcentaje de camiones.

. Longitudes de las pendientes

La influencia de la magnitud de las pendientes sobre la velocidad de los vehículos, es mucho más pronunciada para el caso de los camiones que para los automóviles (ver gráfico n° II-10).

Por esta causa se ha considerado como longitud crítica a la máxima deseable de un camino de dos trochas con una rasante de pendiente dada, que origina una reducción en la velocidad media de marcha de los vehículos comerciales (camión de 180 kg de peso bruto por HP) de aproximadamente 25 km/hora.

Esta reducción representa para caminos de velocidad directriz superior a 50 km/hora una velocidad que se considera aceptable para los camiones, del orden de la mitad de la directriz.

Este es el criterio adoptado por la A.A.S.H.O. (13) y para cada velocidad directriz ha hallado las relaciones entre la magnitud de la pendiente y su longitud. Como dichas relaciones son prácticamente las mismas para diversas velocidades directrices, se ha determinado una única relación que vincula ambas variables, independientemente de la velocidad directriz.

Dicha relación puede expresarse, aproximadamente, en la siguiente forma:

$$L_c (i - 0,014) = H_c$$

i : pendiente máxima deseable, en m/m.

L_c : longitud crítica de la pendiente, en metros

H_c : constante, en metros

Para una diferencia de velocidades de 25 km/hora se tiene que $H_c = 9,00$ m.

Esta expresión es válida siempre que el tramo anterior al de la pendiente ascendente considerada tenga una longitud suficiente, prácticamente en horizontal.

Si en cambio, dicha pendiente está precedida por una pendiente descendente de longitud apreciable y si el diseño geométrico del camino lo permite, podrá admitirse que el camión - tipo considerado, inicie la subida por la pendiente ascendente con velocidades de 5, 10 o aún 15 km/hora, mayores que las previstas en el caso anterior.

Es decir, puede admitirse que la disminución de velocidad en la pendiente ascendente, sea de unos 30, 35 o 40 km/hora, en lugar de los 25 km/hora considerados anteriormente.

Por otra parte si la pendiente del tramo inmediatamente anterior es también ascendente y de una magnitud apreciable, la disminución de velocidad a considerar tendría que ser inferior a los 25 km/hora citados.

La fórmula general aproximada que liga el gradiente deseable de la pendiente con su longitud crítica, es la siguiente:

$$L_c (i - 0,014) = H_c'$$

y $H_c' = 0,36 \Delta V$

en la cual:

L_c : longitud crítica de la pendiente en m.

i : pendiente máxima deseable en m/m.

H_c' : constante, en m.

ΔV : disminución admisible de la velocidad, en km/hora.

El procedimiento gráfico para determinar las longitudes críticas de diversas rasantes en pendiente está determinado en los ejemplos del gráfico II-14.

Longitudes máximas

Las longitudes críticas de pendientes halladas precedentemente producen una disminución en la velocidad de un camión tipo que puede ser considerada para dicho vehículo, como aceptable.

Si bien es deseable no excederse de dichas longitudes, muchas veces no es posible hacerlo, especialmente en caminos de montaña.

No obstante, para longitudes de pendientes de magnitud apreciable, se ha fijado como límite máximo aquel que produce para la corriente de tránsito en la hora de pico, un grado de congestión que se encuentra en el extremo de lo tolerable.

Si bien los volúmenes generales de servicio son los que figuran en el cuadro N° I-4, para el caso de pendientes o conjunto de pendientes aisladas, de longitud no superior a cuatro kilómetros, se ha aceptado como nivel de servicio tolerable un valor comprendido entre los volúmenes anteriores y la capacidad del camino.

El camión tipo que se ha adoptado para determinar dicho grado de congestión, para caminos de dos trochas indivisas, tiene un peso bruto de 150 kg/HP. En cambio, para caminos de dos calzadas divididas, se ha adoptado como vehículo representativo, el camión de 90 kg/HP, de acuerdo a los resultados de observaciones efectuadas en los EE.UU. (20). Las velocidades de este tipo de vehículos, en función de la pendiente, son las que figuran en el gráfico II-10.

Para caminos de montaña de categoría I, con dos calzadas divididas de 7,00 m de ancho cada una, banquetas de 3,00 m y velocidad media ponderada segura de 80 km/hora, se ha considerado el gradiente de las pendientes aisladas, y sus longitudes correspondientes, no superiores a 4000 metros, de tal manera que los volúmenes de la hora "pico" del tránsito futuro de diseño que soporte, lleguen aproximadamente al 70% de la capacidad del camino.

Aproximadamente, para el tipo de camino indicado precedentemente, este volumen es un promedio entre el correspondiente al nivel de servicio "D" y la capacidad del camino.

De acuerdo al Manual de Capacidad de Caminos (22), tendremos:

$$N = \frac{4000n (v/c) W}{K_1 \left[1 + \frac{pcq}{100} (E_c - 1) \right]}$$

$$W = 0,985$$

$$n = 2$$

$$K_1 = 0,141 \quad (\text{zona rural})$$

$$K_1 = 0,114 \quad (\text{zona urbana})$$

$$q = 2/3$$

Elegimos $(v/c) W = 0,70$ con lo cual queda:

$$N = \frac{39700}{1 + 0,0067 p_c (E_c - 1)} \quad (\text{zona rural})$$

$$N = \frac{49100}{1 + 0,0067 p_c (E_c - 1)} \quad (\text{zona urbana})$$

En estas expresiones y en las que siguen, los términos tienen los siguientes significados:

- N : Volumen de tránsito medio diario anual en veh/hora.
- v/c : Relación entre volumen de servicio y capacidad para el nivel de servicio dado.
- W : Coeficiente de ajuste por ancho de trocha y distancia lateral a obstrucciones, para el nivel de servicio dado.
- W_c : Coeficiente de ajuste por ancho de trocha y distancia lateral a obstrucciones, para volúmenes de tránsito iguales a la capacidad del camino.
- n : Número de trochas por calzada
- K : Relación entre el volumen medio diario anual y el volumen horario de la trigésima hora anual, para ambas direcciones de tránsito.
- K_1 : Relación entre el volumen medio diario anual y el volumen horario de la trigésima hora anual, para una sola dirección de tránsito.
- P_c : Porcentaje de camiones en el volumen medio diario anual, en %.
- q : Relación entre el porcentaje de camiones en la hora pico y el porcentaje de camiones en el volumen medio diario anual.
- E_c : Equivalente en automóviles de un camión medio que asciende una cuesta.
- E_{cd} : Equivalente en automóviles de un camión medio que desciende una cuesta.

- E_{cm} : Equivalente medio ponderado, en automóviles de un camión medio para el conjunto de tránsito ascendente y descendente.
- VS : Volumen horario de tránsito para un nivel de servicio dado en veh/hora.
- C : Volumen horario de tránsito, correspondiente a la capacidad del camino en veh/hora.
- T : Factor de ajuste a aplicar al volumen de tránsito, de acuerdo al porcentaje de camiones, para el nivel de servicio dado.
- T_c : Factor de ajuste a aplicar al volumen de tránsito, de acuerdo al porcentaje de camiones, para volúmenes iguales a la capacidad del camino.

En consecuencia, para determinado porcentaje de camiones, y un dado valor de K_1 , para cada valor de N hay un determinado valor de E_c . A su vez, para cada valor de E_c existen, de acuerdo a la tabla 9.4 del Manual citado (22) diversas combinaciones de pendientes y longitudes correspondientes.

En el gráfico II-15 figuran dichas relaciones, y con él, pueden determinarse, dados los volúmenes y composición del tránsito, las longitudes tolerables de las pendientes. Este gráfico puede utilizarse también para caminos de la misma categoría, en zonas ondulada y llana.

En pendientes aisladas de longitud no mayor de 4000 m, de caminos de montaña de categoría II, con velocidad directriz: 70 km/hora; ancho de calzada: 6,70 m; ancho de banquetas: 2,00 m; distancia de visibilidad de sobrepaso de 460 m en un 30% de longitud, y volúmenes de servicio en la trigésima hora anual iguales al promedio entre los correspondientes al nivel de servicio "D" y la capacidad de la calzada, tendremos:

$$VS = \frac{2000}{K} (v/c) WT$$

$$C = \frac{2000}{K} W_c T_c$$

Para las condiciones impuestas

$$N_a = \frac{1}{2} (VS + C)$$

$$N_a = \frac{2000}{K} \left(\frac{v}{c} \frac{WT}{2} + \frac{W_c T_c}{2} \right)$$

Teniendo en cuenta que $T = T_c$, ya que se considera que el porcentaje de camiones durante las horas de congestión es de --- aproximadamente los dos tercios del porcentaje medio diario, llegamos a lo siguiente:

$$N = \frac{2000}{K} \left(v/c \frac{W}{2} + \frac{W_c}{2} \right) T$$

Se estima que durante la hora de congestión tolerable, el volumen de la trocha ascendente corresponde a las dos terceras partes del total, y el de la trocha descendente al tercio restante.

Aunque todavía no se ha determinado con certeza el efecto adverso de las pendientes descendentes sobre el tránsito de camiones, se considera que está próximo al de las pendientes ascendentes (24).

En base a lo anterior, si aceptamos que $E_{cd} = 0,7 E_c$, obtendremos el siguiente promedio ponderado para el conjunto del tránsito:

$$E_{cm} = \frac{1}{3} E_{cd} + \frac{2}{3} E_c$$

$$E_{cm} = 0,9 E_c$$

En consecuencia, el valor de T será el siguiente:

$$T = \frac{1}{1 - \frac{pcq}{100} (E_{cm} - 1)}$$

$$T = \frac{1}{1 - pcq (0,9 E_c - 1)}$$

En consecuencia tendremos:

$$N = \frac{1000(v/c W + W_c)}{K [1 - 0,01 pcq (0,9 E_c - 1)]}$$

A su vez el valor de E_c es función de la combinación de la pendiente y longitud del tramo ascendente del camino, de acuerdo a la tabla N° 10.10 del Manual mencionado (24).

Una vez hallado, por interpolación el valor v/c en la tabla N° 10.7 y los valores de W y W_c en la tabla N° 10.8 del Manual citado, para el caso que nos ocupa obtendremos:

$$N = \frac{1000 (0,45 \cdot 0,873 + 0,88)}{0,36 [1 + 0,0067 pc (0,9 E_c - 1)]}$$

$$N = \frac{9350}{1 + 0,0067 pc (0,9 E_c - 1)}$$

De igual modo, para caminos de montaña, de categoría III, velocidad directriz 60 km/hora, ancho de calzada y banquetas de 6,70 m y 1,50 m respectivamente, eligiendo $v/c = 0,48$, llegamos a la misma expresión anterior:

$$N = \frac{9350}{1 + \frac{0,67}{100} pc (0,9 E_c - 1)}$$

Esta expresión puede aplicarse también para pendientes aisladas de caminos de zonas onduladas y llanas, de longitud no superior a los 4000 m. En el gráfico II-16 se ha representado gráficamente la relación hallada, entre las pendientes, sus longitudes, los volúmenes de tránsito y su composición.

Para pendientes aisladas mayores del 2,5 % se ha determinado -- que la relación aproximada que liga la pendiente de un camino -- con su longitud, de manera de no producir un grado de conges---

ción mayor que el tolerable, tiene la siguiente forma:

$$L (1 - i_0) = H_m$$

En esta expresión i y L son la pendiente y su longitud; H_m un valor que depende de la altura sobre el nivel del mar, e i_0 - una magnitud que depende también a la altura sobre el nivel del mar y del volumen y composición del tránsito. En el gráfico II-16 figura la manera de hallar los valores de i_0 y H_m y en el II-17 se encuentra indicado el procedimiento para determinar, en diversos casos, si un conjunto de pendientes y sus longitudes ocasionan un grado tolerable de congestión.

En el cuadro N° II-16 se indican los valores de H_m e i_0 para diversos volúmenes y composición del tránsito medio diario anual correspondiente a un camino de dos trochas a una altura media - de 500 metros sobre el nivel del mar.

CUADRO N° II-16

VOLUMENES DE TRANSITO MEDIO DIARIO			VALORES DE LAS CONSTANTES	
Proporción de camiones (%)			H_m (m)	i_0
20	30	40		
590	400	300	16,40	0,0770
730	500	380	16,40	0,0650
870	600	460	16,40	0,0555
1150	800	610	16,40	0,0435
1400	1000	840	16,40	0,0360
1700	1200	930	16,40	0,0310
2100	1500	1170	16,40	0,0255
2700	2000	1600	16,40	0,0200
3300	2500	2000	16,40	0,0165
3900	3000	2400	16,40	0,0140
4900	4000	3400	16,40	0,0110
5900	5000	4300	16,40	0,0090

Los valores de los gráficos Nos. 5 y 6 son aplicables a pendientes aisladas de no más de 4 kilómetros de longitud, ya que los volúmenes de tránsito superan en algo, a los del nivel general de servicio que corresponde al camino proyectado. En cambio para pendientes medias generales (relación entre el desnivel total y longitud de una sección) que se desarrollen en más de 10 kilómetros de longitud de camino, se consideran aceptables aquellos valores que no originen un nivel de servicio más bajo que el consignado en el Cuadro N° I-4 para las respectivas categorías de caminos.

Las tablas Nos. 14 y 15 determinan los valores de estas pendientes medias generales, para caminos en zona llana, ondulada o montañosa.

En general, para caminos de montaña con más de unos 2000 ó 3000 vehículos por día, es frecuente que no puedan cumplirse las condiciones referentes a longitud de pendientes que no ocasionan un grado de congestión mayor que el tolerable.

En ese caso, si los volúmenes de tránsito medio diario anual de diseño se encuentran próximos a los 5000 vehículos por día, en las secciones que tengan longitudes de pendientes mayores que las tolerables, se proyectarán dos calzadas separadas.

En cambio, si los volúmenes de tránsito están muy por debajo del límite mencionado, convendrá proyectar en general una trocha ascendente adicional, por la cual deberán circular los vehículos lentos evitándose así un grado no tolerable de congestión en el tránsito, o de lo contrario deberá buscarse un trazado con pendientes menos pronunciadas.

La solución más conveniente estará determinada por el proyecto de camino con mínimo costo anual de transporte.

El cálculo de la longitud de las trochas adicionales así como las características de las mismas, se trata en el siguiente punto de este Capítulo: 2.4 "Diseño Geométrico de la Sección Transversal".

De cualquier manera, en lo posible no deberá proyectarse un camino con las longitudes límites de las pendientes dadas en los gráficos II-15 y II-16 y Tabla Nos.14 y 15, con lo cual - su vida útil podrá prolongarse, en muchos casos, en una apreciable cantidad de años.

Por último, se debe aclarar que en los cálculos de pendientes máximas, pendientes nocivas, etc., se ha admitido que los valores de los coeficientes de fricción y resistencia al rodamiento, corresponden a calzadas pavimentadas, ya que, aun cuando por su escaso tránsito o por otras razones, no se prevea su pavimentación en forma inmediata, debe suponerse que ésta se ejecute en un futuro más o menos próximo.

Este mismo criterio se ha aplicado al efectuar los cálculos de reducciones de pendiente por altitud y por curvatura, tal como se verá en lo que sigue.

Influencia de la altitud sobre las pendientes

De acuerdo a estudios realizados (23) se ha establecido que a igualdad de otras condiciones, la variación de la potencia de un motor al aumentar la altura sobre el nivel del mar, se debe al descenso de la temperatura ambiente y al descenso de la presión barométrica.

La potencia efectiva de un motor de cuatro tiempos (24) puede expresarse así:

$$N_e = \eta_m \eta_D \frac{P_m \cdot S \cdot l \cdot n \cdot N^\circ}{2 \times 60 \times 75}$$

en la cual:

- N_e : Potencia efectiva, a la altura de h sobre el nivel del mar en HP.
 η_m : Rendimiento mecánico
 η_D : Coeficiente de calidad del ciclo
 P_m : Presión media del ciclo en kg/m^2
 S : Sección de un cilindro, en m.
 l : Carrera en m.
 n : Número de revoluciones por minuto
 N° : Número de cilindros

A su vez, la presión media es igual a la relación del trabajo realizado por kilogramo, y por ciclo y la diferencia entre los volúmenes específicos del aire aspirado y del comprimido al final de la carrera del pistón.

Siendo:

- h y h' : Alturas sobre el nivel del mar, en m.
 L : Trabajo indicado ideal realizado por ciclo y por kilogramo, en kgm/kg .
 v_1 : Volumen específico del aire aspirado, a la altura h , en m^3/kg .
 v_2 : Volumen específico del aire al final de la carrera del pistón.
 τ : Relación de compresión
 γ : Peso específico del aire aspirado a la altura h , en kg/m^3 .
 γ' : Peso específico del aire a la altura h' sobre el nivel del mar en HP.
 p : Presión a la altura h .

- p' : Presión a la altura h' .
 T : Temperatura absoluta a la altura h .
 T' : Temperatura absoluta a la altura h' .
 t : Temperatura centígrada a la altura h .
 t' : Temperatura centígrada a la altura h' .

Se tiene:

$$P_m = \frac{L}{v_1 - v_2}$$

$$v_2 = \frac{v_1}{C}$$

$$P_m = \frac{L}{v_1 \left(1 - \frac{1}{C}\right)}$$

$$P_m = \frac{L}{1 - \frac{1}{C}}$$

Aceptando que los valores: ρ , η , D , S , l , n , N° , y L sean independientes de la altura, se llega a la siguiente expresión:

$$\frac{N'_e}{N_e} = \frac{\gamma'}{\gamma}$$

Por otra parte, a una altura h sobre el nivel del mar para subir una cierta pendiente i a una velocidad constante v , la potencia del motor deberá ser la siguiente:

$$N_e = \frac{Fv}{3,6 \cdot 75 \eta}$$

$$N_e = \frac{v}{270 \eta} \left(p_r + p_i + \frac{\gamma c}{25,92 g} sv^2 \right)$$

En estas expresiones el significado de los términos es el siguiente:

- F : Fuerza de tracción del vehículo que se ejerce entre la calzada y las ruedas motrices en kg.
 η : Rendimiento de las transmisiones, entre el motor y la rueda.

- V : Velocidad del vehículo km/hora
- p : Peso del vehículo.
- r : Resistencia a la tracción en recta y en horizontal por unidad de peso (coeficiente de resistencia al rodamiento).
- i : Pendiente de la calzada
- γ : Peso específico del aire en kg/m³
- g : Aceleración de la gravedad
- c : Coeficiente adimensional que tiene en cuenta la fineza de las formas del automotor.
- S : Area de la sección transversal del vehículo, en m²

Si para una altura h' sobre el nivel del mar, se desea mantener la misma velocidad, la pendiente correspondiente deberá ser menor.

Siendo i' la pendiente a la altura h' que permita mantener la misma velocidad V, que a otra altura h, se tiene:

$$\frac{N_e'}{N_e} = \frac{r + i' + \frac{\gamma' c S V^2}{25,92 g}}{r + i + \frac{\gamma c S V^2}{25,92 g}}$$

Igualando con la relación obtenida anteriormente obtendremos:

$$\frac{\gamma'}{\gamma} = \frac{r + i' + \frac{\gamma' c S V^2}{2g}}{r + i + \frac{\gamma c S V^2}{2g}}$$

$$r + i' = \frac{\gamma'}{\gamma} (r + i)$$

$$i' = \frac{\gamma'}{\gamma} (r + i) - r$$

Por otra parte, de acuerdo a las leyes de Boyle - Mariotte y Gay Lussac, se tiene:

$$\frac{\delta'}{\delta} = \frac{p'}{p} \cdot \frac{T}{T'}$$

$$i' = \frac{p' T}{p T'} (r+i) - r$$

$$i' = \frac{p'}{p} \frac{273+t}{273+t'} (r+i) - r$$

En nuestro país, la variación de la temperatura con la altura tiene diversos valores según las zonas y la época del año. No obstante, si consideramos la zona central del país, (Mendoza, San Juan, Córdoba) podemos admitir una temperatura media anual de 17°C a 500 metros sobre el nivel del mar, y un gradiente medio de 4,8°C por cada 1000 metros de altura (25).

Respecto a la variación de presión con la altura, para nuestro país se adapta la siguiente expresión (26), válida para latitudes medias:

$$h' - h = (18.400 + 67 \frac{t+t'}{2}) \log \frac{p}{p'}$$

Como se trata de determinar las pendientes máximas a los fines de la capacidad de la calzada, debemos comparar, las presiones y temperaturas con las que sirvieron de base para fijar los valores correspondientes en el Manual de Capacidad de Caminos -- (22). Dicho manual está basado en las experiencias realizadas en las regiones montañosas de Virginia Occidental (21).

Se ha supuesto que aproximadamente dichas condiciones son equivalentes a las del centro de nuestro país, con alturas de 500 metros sobre el nivel del mar.

Teniendo en cuenta que para camiones, en pavimentos poco rugosos el coeficiente de resistencia al rodamiento r , es de 0,015 en promedio, llegamos a las siguientes expresiones:

$$t' = 19,4 - 0,0048 h \quad (\text{en } ^\circ\text{C})$$

$$t = 17^\circ\text{C}$$

$$p' = 760,0,1 \frac{h}{19700 - 0,16h} \quad (\text{en mm})$$

$$p = 717 \text{ mm}$$

$$i' = 1,052 \frac{(1 + 0,015) 0,1 h / (19700 - 0,16h)}{1 - 0,0000164 h} - 0,015$$

Esta reducción de pendientes por la altura ha sido tomada en cuenta en los gráficos II-15 y II-16.

Reducción de pendientes en curvas horizontales

En el caso de que una curva horizontal se encuentre total o parcialmente en correspondencia con una rasante de determinada pendiente, el efecto combinado de dicha superposición equivale, en el caso más desfavorable, al de una rasante planimétricamente recta, cuya pendiente fuera mayor que la de la sección aludida.

La influencia de la curvatura sobre la pendiente ha sido tenida en cuenta en normas de diseño geométrico de diversos países por medio de fórmulas empíricas. Recientemente en nuestro país (27), basándose en experiencias efectuadas en los EE.UU. (28), se dieron fundamentos racionales para determinar dicha influencia, en la suposición de que los vehículos considerados circularan a la velocidad directriz.

Partiendo de las experiencias citadas precedentemente, se ha calculado la reducción de pendientes modificando algunas de las hipótesis del trabajo citado (27), entre ellas las referentes a la velocidad de los vehículos que circulan por las rampas.

Las causas que se han considerado son las siguientes:

- a) El mayor esfuerzo de tracción que requiere el vehículo para desplazarse en la curva, cuando utiliza la fricción lateral para absorber la fracción de la fuerza centrífuga no compensada por el peralte.
- b) La mayor pendiente, con relación a la del eje del camino, que debido a su menor desarrollo, tiene la trocha interior de la curva con giro a la derecha, que recorre el vehículo que sube.

No se ha considerado el aumento de pendiente en la curva de transición por la introducción del peralte, ya que si bien existe ese incremento de pendiente en una de las ramas de la transición, en la otra hay una disminución equi

valente. Por otra parte la influencia de esas variaciones de pendientes es pequeña, debido a la corta longitud de las transiciones.

El caso más desfavorable se produce en las curvas con giro a la derecha, con respecto a los vehículos que suben, donde se suman los efectos mencionados en los apartados a) y b). En cambio, en las de giro contrario, el efecto citado en el apartado b) es equivalente al de una disminución de pendiente por cuya causa se opone al mencionado - en el apartado a).

Se analizan a continuación cada una de las causas señaladas precedentemente.

- a) Efecto del mayor esfuerzo de tracción originado por la -- fuerza centrífuga no compensada por el peralte.

Se ha determinado que en una curva, cuando un vehículo -- utiliza un valor de la fricción lateral de $f = 0,15$, se -- genera una resistencia al rodamiento equivalente a una -- pendiente del 1% (28). Teniendo en cuenta la proporcionalidad existente entre la fricción lateral y la resistencia al rodamiento, se llega a la siguiente expresión:

$$\Delta i_1 = \frac{1}{15} (0,007865 \frac{V_c^2}{R} - p)$$

En esta fórmula los términos tienen los siguientes significados:

Δi_1 : Aumento virtual de pendiente por efectos del mayor esfuerzo de tracción originado por la fuerza centrífuga no compensada por el peralte.

V_c : Velocidad de circulación del vehículo tipo considerado (camión de 150 kg/HP), en km/hora.

R : Radio de la curva, en metros.

p : Peralte de la curva

Se señala que se ha considerado como vehículo representativo, el camión de 150 kg/HP, debido a la circunstancia de que las pendientes tienen una influencia preponderante sobre su velocidad de circulación V_c .

Respecto de esta velocidad V_c se han considerado los siguientes casos:

1°) Cuando la curva horizontal se encuentra en correspondencia con el pie de la rampa de pendiente dada, se considera que la velocidad V_c del tipo de camión adoptado es igual a la velocidad media de marcha definida en el Capítulo I (Cuadro I-3).

2°) Cuando el camión que sube la cuesta, adquiere su velocidad constante de régimen al cabo de un recorrido L, se considera que la velocidad V_c es igual a aquella, siempre que no supere la velocidad media de marcha indicada en el punto anterior.

Para cada pendiente, estas velocidades pueden obtenerse del gráfico II-10a).

b) Efecto de la diferencia de desarrollo de las trayectorias de los vehículos con relación al eje de la curva.

Considerando que deben salvarse las mismas diferencias de nivel, tanto para el vehículo que recorra la trocha exterior como la interior, se llega a las expresiones que siguen:

Subiendo, curvas con giro a la derecha:

$$\Delta l_{2d} = \frac{a/4 + s/2}{R} i$$

Subiendo, curvas con giro a la izquierda:

$$\Delta l_{2i} = \frac{a/4 + s/2}{R} i$$

En estas expresiones los términos tienen los siguientes significados:

- i_{2d} : Aumento de pendiente con respecto al eje del camino correspondiente a la trocha ascendente de curvas con giro a la derecha.
- i_{2i} : Disminución de pendiente con respecto al eje del camino correspondiente a la trocha ascendente de curvas con giro a la izquierda.
- a : Ancho de calzada, en metros.
- s : Sobreancho, en metros.
- i : Pendiente longitudinal del eje de la curva.

El efecto de la diferencia de desarrollo de las curvas, sólo se hace sentir en las de radio pequeño, siendo despreciable en las de gran radio.

El efecto conjunto de las causas enumeradas precedentemente puede expresarse de la siguiente manera:

Subiendo, curvas con giro a la derecha:

$$\Delta i_d = \frac{1}{15} \left(0,007865 \frac{Vc^2}{R} - p \right) \left(1 - \frac{a/4+s/2}{R} \right) + \frac{a/4+s/2}{R} i$$

Subiendo, curvas con giro a la izquierda:

$$\Delta i_i = \frac{1}{15} \left(0,007865 \frac{Vc^2}{R} - p \right) \left(1 + \frac{a/4+s/2}{R} \right) - \frac{a/4+s/2}{R} i$$

En estas expresiones el significado de los términos es el siguiente:

Δi_d : Aumento virtual de pendiente por efecto combinado de las causas a) y b) en las curvas ascendentes con giro a la derecha.

Δi_i : Aumento virtual de pendiente por efecto combinado de las causas a) y b) en las curvas ascendentes con giro a la izquierda.

Cabe aclarar que excepto el caso de secciones en las que las curvas se encuentren en correspondencia con las pendientes máximas o cercanas a las máximas, no es necesario aplicar -- las mencionadas disminuciones de pendiente. A su vez, la -- pendiente máxima a aplicar depende de la categoría del camino y de la topografía del terreno. Como la velocidad directriz depende también de estos factores, resulta que para cada velocidad directriz hay una sola pendiente máxima, tal como surge de la planilla N° 1 "Características de diseño geométrico de Caminos Rurales", y cuadro N° II-14.

En consecuencia, se ha reemplazado el valor de i en las fórmulas anteriores por i_{max} , o sea la pendiente máxima correspondiente a cada velocidad directriz. El valor de estas pendientes máximas es el siguiente:

Para V = 30 km/hora	:	10 %
Para V = 40 km/hora	:	8 %
Para V = 50 km/hora	:	8 %
Para V = 60 km/hora	:	7 %
Para V = 70 km/hora	:	7 %
Para V = 80 km/hora	:	6 %

En la tabla N° 16, se han consignado, en lugar de las reducciones de pendiente, directamente las pendientes máximas reducidas para el caso de calzadas ascendentes con giro a la derecha,

no tomándose en consideración valores de reducción inferiores a 0,007, o sea el 0,7 %, debido a su pequeñez, ya que se encuentran dentro del orden de variación de la resistencia al rodamiento.

Tampoco figuran los valores de las pendientes reducidas para el caso de calzadas ascendentes con giro a la izquierda, por ser las reducciones en el gradiente, inferiores, en todos los casos, a 0,007.

La reducción de pendientes se deberá aplicar en toda la longitud de la curva circular, o en el caso de curvas con transición, en la longitud $L_c + L_e$, suma de las longitudes del arco circular y de las dos mitades de la transición espiral, más próximas a éste.

En el caso de haber, simultáneamente, reducciones de pendiente por superposición con curvas horizontales y por altitud, las reducciones por pendiente se efectuarán en el orden precitado.

Sección 2.4. DISEÑO GEOMETRICO

DE LA SECCION TRANSVERSAL

2.4.1. Calzada

. Diseño Geométrico

Lo que sigue se referirá exclusivamente a las características geométricas de la calzada, con exclusión de su diseño estructural.

Los anchos de calzada se han fijado en función de los volúmenes de tránsito futuro previstos, o sea de la categoría asignada al camino, y de la velocidad directriz.

Es decir el criterio ha sido proyectar la calzada con anchos mayores, cuanto más grandes -- sean los volúmenes de tránsito y las velocidades directrices, tal como figura en el Cuadro N° II - 17 que sigue. Estos valores también se consignan en la planilla N° 1 "Características de diseño geométrico de caminos rurales".

..//

CUADRO N° II-17

Anchos de calzada, en metros

Velocidad directriz	CATEGORIA DEL CAMINO						
	Km/hora	Esp.	I	II	III	IV	V
30	-	-	-	-	-	-	6,00
40	-	-	-	-	-	6,00	6,00
50	-	-	-	-	-	6,00	6,00
60	-	-	-	-	6,70	6,00	6,00
70	-	-	-	6,70	6,70	6,70	6,00
80	-	7,00	6,70	6,70	6,70	6,70	6,00
90	-	7,00	6,70	6,70	6,70	6,70	6,00
100	-	7,50	7,30	6,70	6,70	6,70	6,00
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	-	-	-	-

Siguiendo la práctica corriente en nuestro medio, en alineamientos rectos, se ha adoptado como perfil -- transversal del pavimento, una sección compuesta por dos segmentos de recta que se cortan en el eje.

Estas rectas deberán tener una pendiente transversal suficiente para evitar la formación de una lámina de agua sobre la calzada que pueda dar origen al fenómeno de "hidroplaneo". En los pavimentos de tipo superior, la superficie lisa ofrece poca resistencia de fricción para el escurrimiento de las aguas, permitiendo pendientes transversales mínimas. Por el contrario, los pavimentos con superficie de granulometría abierta deben tener una pendiente transversal más pronunciada que facilite dicho escurrimiento.

El valor máximo de esta pendiente se ve limitado, sin embargo, por factores tales como la apariencia que -- presenta la calzada, la mayor longitud de transición que se requiere para el peralte e, inclusive, por la inseguridad en la conducción, resultante de la tendencia de los vehículos de desviarse hacia el borde del pavimento cuando circulan por una superficie demasiado inclinada.

Por todo lo expuesto, es que la práctica vial corriente adopta, para la pendiente transversal de la calzada, valores variables con el tipo de pavimento y también con las características pluviométricas de la zona.

El Cuadro II-18 consigna estas pendientes transversales.

Para el caso de un camino de dos calzadas separadas -- por un cantero central sin drenaje longitudinal propio, los perfiles transversales de éstas tendrán una pendiente uniforme hacia afuera, para permitir el escurrimiento de las aguas superficiales en dirección a las cunetas laterales exteriores (figura II-6-A). En el caso contrario, cuando se proyecte un drenaje longitudinal ubicado en el cantero central, aquéllas tendrán su perfil transversal normal (figura II-6-B).

-//-

CUADRO N° II-18

Pendientes transversales de la calzada

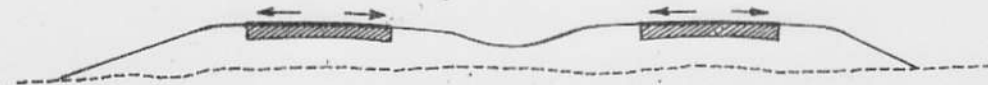
TIPO DE PAVIMENTO	PENDIENTES TRANSVERSALES en %	
	Zona húmeda	Zona seca
Hormigón	2,00	1,50
Concreto asfáltico	2,00	2,00
Carpeta bituminosa y macadam a penetración	2,50	2,00
Tratamientos bituminosos tipos doble y triple	2,75	2,50
Tratamiento bituminoso tipo simple	3,00	3,00

En el caso de que ambas calzadas se encuentren en curva, podrá ser más económico, y aún más agradable desde el punto de vista estético, que en lugar de dar a todo el ancho de coronamiento de obra básica un peralte uniforme, se proporcione a cada calzada su perfil longitudinal propio e independiente del de la otra. Estos casos se ilustran en la figura II-6 C).

PERFILES TRANSVERSALES DE LA OBRA BASICA
CALZADAS DIVIDIDAS



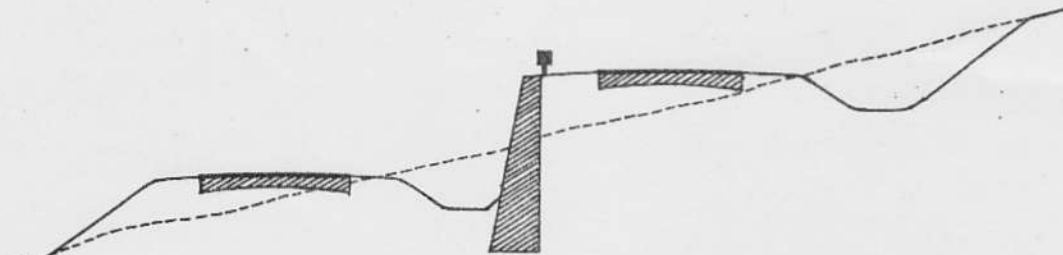
A) CANTERO CENTRAL DE ANCHO REDUCIDO SIN DRENAJE LONGITUDINAL PROPIO. CALZADAS CON PENDIENTE TRANSVERSAL UNICA.-



B) CANTERO CENTRAL CON ANCHO QUE PERMITE SU DRENAJE LONGITUDINAL. CALZADAS CON PENDIENTE TRANSVERSAL HACIA AMBOS BORDES.-



C) CANTERO CENTRAL EN CURVAS HORIZONTALES CON DRENAJE LONGITUDINAL. CALZADAS CON PERFIL LONGITUDINAL INDEPENDIENTE.



D) CANTERO CENTRAL CON MURO DE CONTENCION Y BARRERA DE SEGURIDAD. CALZADAS CON PERFIL LONGITUDINAL INDEPENDIENTE.-

FIGURA N° II-6

. Trocha adicional ascendente

En algunos casos, en general cuando el tránsito tenga un porcentaje apreciable de camiones, no es posible evitar que en alguna sección, la rasante tenga longitudes de pendiente superiores a las máximas establecidas para que se produzca un grado de congestión mayor que el tolerable (gráficos Nos. II-15 y II-16).

En estos casos, cuando el proyecto del camino incluya sola una calzada de dos trochas indivisas y el volumen previsible de tránsito se encuentra próximo al límite superior de la categoría II, será conveniente, en general, proyectar en dicha sección dos calzadas independientes, una para cada sentido de circulación. En cambio, para volúmenes de tránsito no tan altos, será suficiente agregar una trocha adicional, destinada al tránsito ascendente de camiones.

En general, se aconseja como deseable, desviar el tránsito pesado por dicha trocha adicional ascendente --- cuando la pérdida de velocidad del camión tipo considerado, respecto de la velocidad media de marcha, sea -- del orden de los 25 km/hora. (Ver sección 2+3.2. de este capítulo).

De igual manera, sería deseable que dicha trocha adicional, llegara a un punto en el cual el camión considerado, recuperara la velocidad media de marcha, disminuída en esos 25 kilómetros por hora.

Es decir, para determinar los puntos deseables de iniciación y fin de la trocha adicional citada, puede utilizarse el procedimiento esquematizado en la figura II-7. Los puntos M y N indicados en los perfiles de la rasante de dicha figura, señala aproximadamente - los lugares de la rasante en los cuales el camión tipo

considerado reduce su velocidad de marcha en 25 km/hora (punto M) y vuelve a incrementarla por encima de este último valor (punto N).

No obstante, en diversos casos, las trochas adicionales tendrían de esta manera, longitudes excesivas. En este supuesto, pueden reducirse dichas longitudes deseables, a un valor mínimo que se obtendrá aproximadamente de la manera que se indica a continuación:

- a) De acuerdo con las indicaciones del gráfico N° 6 se obtienen los valores de i_o y H_m .
- b) De acuerdo con el gráfico II-17 (caso B: conjunto de longitudes de las pendientes mayores que las máximas. Grado de congestión mayor que el tolerable) se determinan los puntos M' y N' entre los cuales debe proyectarse la trocha adicional ascendente de longitud mínima. Cuando el valor de i_o sea menor que el 2%, en general será conveniente proyectar directamente dos calzadas separadas, en lugar de la trocha adicional.

Cabe señalar que aun cuando no se proporcione a la trocha adicional la longitud deseable, deberá tratarse de que tenga una longitud algo mayor que la estrictamente mínima.

Además, dicha trocha debe estar precedida por una zona de identificación de longitud mínima de unos 40 o 50 metros. Por otra parte en lo posible, la trocha adicional deberá prolongarse hasta un punto en el cual exista visibilidad de sobrepaso para los vehículos que tienen el mismo sentido de circulación que aquélla, o mejor aún, hasta unos 50 o 60 metros más allá, para permitir el reingreso de los vehículos lentos, sin peligro de accidentes.

Desde este último punto debe efectuarse la identificación con el ancho de calzada normal, en una longitud del orden de los 60 metros.

El ancho de esta trocha adicional será igual al semi-ancho de la calzada. En recta, su perfil transversal será prolongación de la pendiente transversal de la calzada. En curvas, se le proporcionará un peralte menor que el de la calzada normal, acorde con la velocidad de circulación de los vehículos pesados que la transiten, con el objeto de hacer más atractiva su utilización (figura II-7). No obstante, para los casos de vehículos que incidentalmente pasen de la calzada normal a la trocha adicional y viceversa, la diferencia de pendientes transversales entre aquellas no deberá ser superior al 5%.

La inclusión en el proyecto de una trocha adicional ascendente, no significará en general aumentar excesivamente el movimiento de suelos. En efecto, al agregar dicha trocha, no será necesario que el ancho de banquina, del lado derecho, se encuentre determinado por las necesidades de estacionamiento, ya que salvo el caso de una emergencia, no es usual que los conductores estacionen en una zona de pendiente pronunciada.

En consecuencia, el ancho de la banquina puede reducirse a 1,00 m ó 1,50 m, con lo que el ancho de coronamiento aumenta del orden del metro y medio en relación al correspondiente al de la calzada normal de dos trochas indivisas.

Es fundamental prever una adecuada señalización que incluya letreros que indiquen el destino de la trocha adicional. También debe demarcarse convenientemente, además de ésta, el centro de la calzada que separa los sentidos de circulación, para evitar que se confunda -

TROCHA ADICIONAL ASCENDENTE PARA VEHICULOS PESADOS

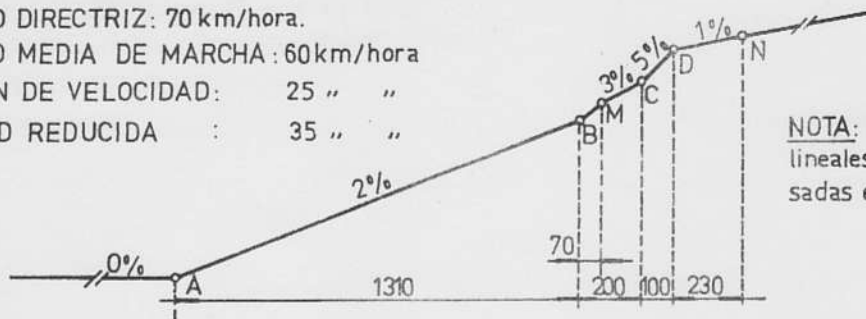
EJEMPLO: CAMION DE 180 kg/hp.

VELOCIDAD DIRECTRIZ: 70 km/hora.

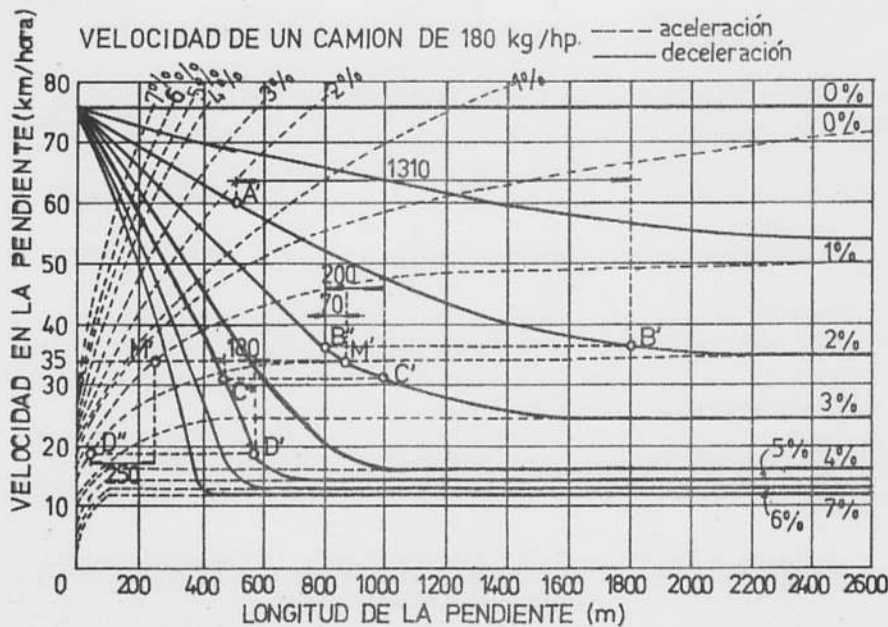
VELOCIDAD MEDIA DE MARCHA : 60 km/hora

REDUCCION DE VELOCIDAD: 25 " "

VELOCIDAD REDUCIDA : 35 " "



NOTA: Las medidas lineales están expresadas en metros.



NOTA: Las diferencias de abscisas A'B'; B'C'; C'D'; etc., representan respectivamente las distancias A B; BC; CD; etc.,. Las ordenadas de A', B, C, D, etc., representan respectivamente las velocidades del camión tipo en los puntos A, B, C, D, etc., de la rasante. Entre los puntos M y N, la velocidad del camión tipo considerado es inferior a 35 km/h, es decir es menor que la velocidad de marcha (60 km/hora.) disminuida en 25 km/hora.

PERFIL TIPO DE LA CALZADA EN CURVA CON TROCHA ADICIONAL ASCENDENTE

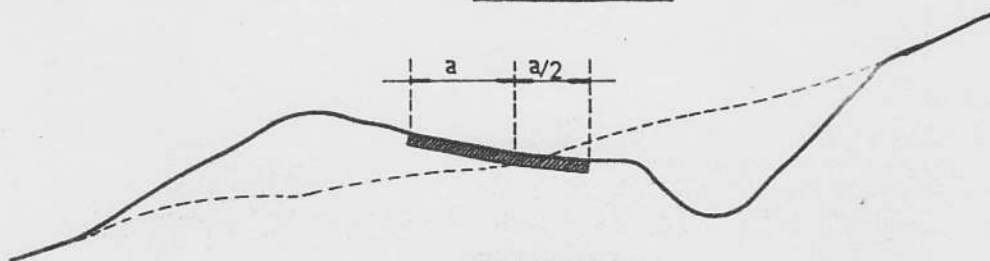


FIGURA N° II-7

esa sección de camino, con una calzada de tres trochas, en la cual la trocha central se utilice indistintamente, en ambas direcciones, para el sobrepaso.

. Secciones con cuatro trochas

En determinados casos, para altos volúmenes de tránsito, cuando existen longitudes apreciables de camino -- sin sobrepaso, o con reducidas secciones que lo permitan, la capacidad práctica de la calzada puede reducirse a la tercera parte de la que tendría en condiciones ideales de visibilidad.

Si el proyecto no permite proporcionar sobrepaso con intervalos frecuentes, puede ser conveniente proyectar esa sección con cuatro trochas, dos para cada mano, indivisas o con cantero central. En el caso de que deba reducirse el costo inicial, en dicha sección además de preverse trochas indivisas, puede disminuirse el ancho de banquetas ya que la congestión del tránsito que produciría un vehículo que eventualmente se estacionara en una de las trochas, sería mucho menor que en el caso de una sola calzada con dos trochas indivisas.

2.4.2. Banquetas

El ancho de las banquetas se ha determinado en función de la categoría del camino y de la topografía de la zona que atraviesa. Por ejemplo, en zonas montañosas, debido a la gran incidencia que generalmente tiene el costo de movimiento de suelos en el importe de la obra, se ha reducido el ancho de las banquetas en relación al adoptado en zonas llanas u onduladas.

por otra parte en caminos de categoría III y IV ubicados en zonas llanas u onduladas el ancho de las banquetas se ha llevado a valores que permitan en el futuro posibles ensanches del pavimento, sin necesidad de ampliar el ancho de la obra básica.

En el Cuadro N° II-19 que sigue, se consignan los anchos de banquetas adoptados.

CUADRO N° II-19

Ancho 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

Respecto de la pendiente transversal de las banquetas, la práctica usual es adoptar el 4%. No obstante, pueden utilizarse también los valores recomendados por la A.A.S.H.O. (3) para pavimentos sin cordones, de acuerdo al tipo de recubrimiento previsto, a saber:

- Banquetas con tratamiento bituminoso ... del 3% al 5%
- Banquetas con grava o piedra partida ... del 4% al 6%
- Banquetas recubiertas de pasto ... 8%

Estos valores no son rígidos y la A.A.S.H.O. recomienda que al adoptarlos se tenga en cuenta la pendiente transversal de la calzada, para evitar, entre ambas, diferencias algebraicas de pendiente muy pronunciadas.

Cuando la calzada se encuentre en correspondencia con una curva horizontal y el peralte sea mayor que la pendiente transversal recomendada para la banquina, se adoptará para ésta el mismo valor del peralte.

Para caminos de categorías I a IV las banquetas se redondearán en correspondencia con las aristas de los taludes, por medio de curvas de identificación de longitudes del orden del metro.

Para caminos de categoría especial, esas curvas de identificación tendrán una longitud de unos 2 metros.

El ancho de la banquina en correspondencia con una obra de arte debe mantenerse igual al de los tramos adyacentes. -- Las reducciones parciales o totales de ese ancho sólo podrán justificarse mediante una evaluación económica comparativa entre los costos de construcción y los criterios mínimos de seguridad.

La banquina debe ser continua que las ventajas de la misma sólo son tales cuando un vehículo puede estacionar en ella en cualquier lugar a lo largo del camino. Con secciones de banquina intermitentes los conductores tenderán a estacionar en el pavimento con el consiguiente problema de seguridad.

Un importante elemento de seguridad lo constituye una franja adicional pavimentada colocada al borde de la calzada y que constituye una excelente área de transición entre el pavimento y la banquina, sobre todo cuando ésta no es pavimentada. Básicamente esta franja no tiene como misión servir de banquina sino que constituye un elemento muy útil para prevenir la erosión y el deterioro de los bordes del pavimento y permite también que un vehículo que se ha deslizado algo hacia la banquina pueda retornar sin dificultad a su trocha. Para evitar el uso de estas franjas como calzada de rodamiento, su ancho debe estar comprendido entre -

0,15 m y 1,20 m. dependiendo el valor a adoptar del volumen del tránsito o categoría del camino y de la topografía de la zona. Este tratamiento de borde o franja lateral se hace necesario cuando los anchos de trocha son de 3 m., resulta conveniente cuando estos alcanzan a 3,30 m. pero su utilización no es tan necesaria cuando el ancho de trocha es de 3,65 m. El color y textura de la franja deberían contrastar con los de la calzada.

En los lugares en que se coloquen defensas o postes o cualquier otro elemento vertical, la banquina debe ensancharse de manera que dichos elementos queden a 0,60 m del borde de la parte utilizable de la banquina cuando en ella estaciona un vehículo.

Los caminos con calzadas divididas y las autopistas deben tener banquetas pavimentadas, al menos con un tratamiento bituminoso. Conviene, tal como se ha dicho para la franja lateral, que las superficies de las banquetas contrasten en color y textura con las trochas de circulación. Su superficie debe ser más bien rugosa como para no alentar a los conductores a circular por ella. Cuando no se pavimente la banquina, ésta deberá estabilizarse mediante una subrasante bien compactada preferiblemente de material granular. La capa granular debe ser cubierta por un elemento que asegure el buen desagüe del agua superficial. Este elemento puede ser céspeped, constituyendo una banquina que presenta buenas condiciones para su uso, aún en tiempo húmedo. Las banquetas no estabilizadas son, en general, peligrosas por la diferencia de altura que se forma en el borde del pavimento. Esta es también la causa de la pérdida de la ventaja operacional que deriva de la circulación de los vehículos lo más próxima posible al borde del pavimento, ya que sus conductores se alejan del mismo al observar el desnivel mencionado. Todos los tipos

de banquetas debe construirse y mantenerse perfectamente a nivel con la superficie pavimentada.

Las banquetas construídas con grava, ripio o piedra partida son razonablemente adecuadas pero tienen el inconveniente, particularmente en regiones secas, de perder el material fino por el viento y por la erosión producida -- por los vehículos que acceden a ellas.

En aquellos casos especiales donde no pueda construirse una banquina con su ancho reglamentario debieran proveerse dársenas de detención a cada costado del camino a intervalos de no más de 400 m. Cuando se construyen estas dársenas habrá que dotarlas de secciones de transición de longitud adecuada para facilitar su uso y permitir la entrada a la velocidad normal de marcha.

Es aconsejable también el uso de una señal o línea de borde de pavimento con el objeto de que se destaque netamente, tanto de día como de noche, el límite de la calzada y el comienzo de la banquina. Este señalamiento resulta de suma importancia en aquellos casos en que no existe un marcado contraste en la apariencia superficial de ambas o durante la circulación nocturna. Dicha demarcación debiera consistir en una línea continua de pintura blanca reflectante de 0,10 m de espesor.

Cuando se trata de autopistas o caminos de categoría I con calzadas separadas por un cantero central provisto de cordones o barreras de seguridad, estos elementos deberán mantener siempre una separación mínima del borde interno de las calzadas. Además, en calzadas de tres o cuatro trochas por sentido de circulación y en momentos de intenso tránsito resulta difícil para un vehículo que, circulando por las trochas internas sufra una emergencia y deba maniobrar hasta la banquina externa. Estas dos razones hacen aconsejable, entonces, la existencia de una banquina interna de ancho suficiente.

El Cuadro N° II-20 da los anchos mínimos aconsejables para la banquina interna, la cual será en todos los casos pavimentada con un tratamiento bituminoso doble, por lo menos y, además, llevará la correspondiente señal de pintura blanca reflectante indicadora del borde del pavimento.

Los anchos se expresan en función del número de trochas y de la topografía del terreno.

CUADRO N° II-20

Ancho de banquetas internas, en m.

Número de trochas	TOPOGRAFIA DEL TERRENO		
	Llana	Ondulada	Montañosa
2	1,20	1,00	0,60
3	2,50	2,00	2,00
4 ó más	3,00	2,50	2,50

Las banquetas internas resultan también convenientes en aquellos casos en que se prevé la ejecución del ancho de calzada por etapas. En efecto, su existencia permitirá estudiar la conveniencia de que dicho ensanche se haga hacia afuera o hacia adentro de la calzada existente mediante la previa realización de un estudio económico que tenga en cuenta los mayores costos de operación durante la ejecución de las obras, el costo de las defensas y las obras de desague longitudinales.

2.4.3. Cantero Central

El cantero central se utiliza como elemento separador de calzada de distinta mano.

Desde ese punto de vista, es conveniente que dentro de lo razonable tenga el mayor ancho posible, ya que así se evita de noche el encandilamiento y se contribuye a la seguridad del camino permitiendo su uso para una maniobra de emergencia, sin necesidad de que un vehículo fuera de control invada la calzada de mano contraria. Además, permitirá agregar a expensas de su ancho y generalmente sin mayores problemas, nuevas trochas adicionales, cuando las necesidades del tránsito lo exijan.

Excepto para el caso de caminos de montaña, en los cuales se ha previsto como caso de excepción, el ancho mínimo de un metro (preferiblemente con barrera de seguridad en el centro), en caminos de categoría I ubicados en zonas llanas u onduladas no deberá tener anchos inferiores a 4,00 m. Si no fuera posible obtenerlos, es recomendable colocar también en este caso, una barrera de seguridad en su línea media.

No obstante para caminos de categoría I es aconsejable que el cantero central tenga como mínimo 11 o 12 metros de ancho, para permitir una futura ampliación en el número de trochas.

Para caminos de categoría especial, el ancho del cantero no deberá ser en ningún caso inferior a los 11 o 12 metros. El ancho deseable será, en general, del orden del doble del ancho del conjunto de las calzadas proyectadas. No obstante, en definitiva, su ancho estará regulado por razones de orden económico.

En caso de proyectarse las dos calzadas a distinto nivel, - la separación entre los bordes más próximos de éstas o sea el ancho del cantero central, será el que permita proyectar una sección transversal con el ancho necesario de banquetas, cuneta y talud. Estos anchos, en función de la diferencia de altura H entre las dos calzadas y de la pendiente $1:x$ -- que se proyecte para el cantero (figura II-6-E) están dados - en el Cuadro N° II-21.

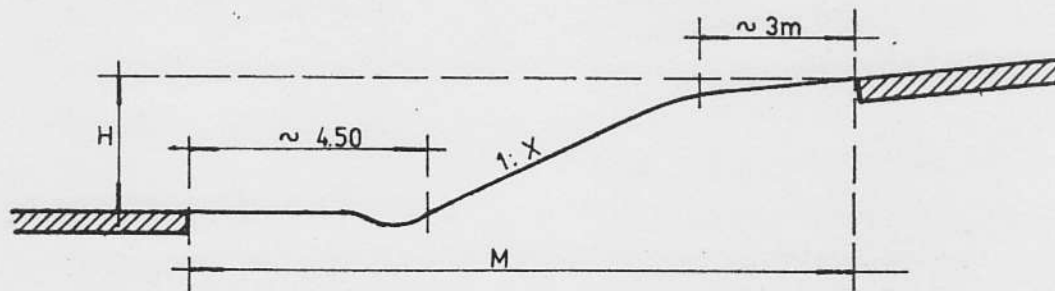


FIGURA: II-6-E

CUADRO N° II-21

Ancho del cantero M metros	Diferencia H de elevación de las calzadas, en metros, para pendientes 1: x			
	1:6	1:4	1:3 *	1:2 *
12	0,90	1,20	1,50	2,10
15	1,20	1,80	2,40	3,60
18	1,80	2,70	3,60	5,10
21	2,10	3,30	4,50	6,60
24	2,70	4,20	5,40	8,10
30	3,60	5,70	7,50	-

* Pendientes mayores que 1:4 no son recomendables

En casos excepcionales, se podrá reducir estos anchos, previéndose entre la calzada superior y la inferior, la construcción de un muro de sostenimiento (fig.II-6-D). De cualquier manera, será -- deseable tener anchos mayores que los mínimos, para poder, en el futuro, agregar trochas adicionales a las calzadas proyectadas.

En general, para anchos del orden de los cuatro metros será necesario que el escurrimiento superficial de las aguas pluviales que caigan en el cantero central, se realice sobre las calzadas, que deberán tener en estos casos, una pendiente transversal uniforme hacia afuera.

En cambio, será conveniente en general, que los canteros centrales con anchos mayores de 11 o 12 metros, drenen por medio de -- una cuneta longitudinal ubicada dentro de aquéllos (figura II-6-B)

En estos casos, sin embargo, para que la cuneta no se constituya en un peligro su profundidad no debe ser mayor que la requerida por un apropiado desague y las pendientes de sus taludes --

no más pronunciadas que 1:4 y preferiblemente 1:6. El fondo de la cuneta debe ser redondeado evitándose el uso de la cuneta triangular.

Los canteros con anchos menores de 2 metros deberán ser elevados, es decir, con cordones de 0,15 m de altura o del tipo semi-montable con altura de 0,125 m o montable, además de estar totalmente pavimentados. La barrera de seguridad en su línea media se colocará en aquellos casos que la velocidad - directriz y el volumen de tránsito, lo justifiquen.

Los canteros pavimentados y los cordones deben ser coloreados o al menos presentar un buen contraste con el pavimento de -- las trochas de circulación. Su mantenimiento es menos oneroso que si fueran de césped y la realización del mismo no presenta un serio peligro como en el caso del césped.

Los canteros con cordones pero cubiertos de césped requieren anchos mayores que 2 metros para que el pasto pueda desarrollarse sin problemas y pueda ser manrenido sin inconvenientes.

Cuando los canteros tengan más de 4,00 m de ancho es común la parquización de los mismos y su construcción puede realizarse sin cordones. La parquización del cantero sirve fundamentalmente para evitar el encandilamiento y también como elemento paisajista.

En ciertos casos extremos (viaductos, puentes, túneles o trechos con serias restricciones en la zona camño) el cantero - podrá reducirse a una barrera o defensa con una faja de seguridad o banquina a cada lado. En el caso de defensas flexibles, su ubicación debe ser tal que la deflexión dinámica de la misma no haga que invada la calzada opuesta. Cuando se utilizan separadores rígidos, generalmente son de hormigón con una geometría adecuada: ancho en la base de 0,60 m a 0,80 m, con cordones de 0,15 m y una altura de 0,80 m.

La necesidad o no de utilización de barreras de seguridad en el cantero central, es una función del ancho del mismo y de los volúmenes de tránsito. Cuanto más altos sean éstos mayores son las probabilidades del cruce de aquél por un vehículo accidentado. Sin embargo, habrá que tener siempre en cuenta que el empleo de la barrera en el cantero central sólo se justifica cuando el impacto de un vehículo contra la misma tenga consecuencias menos graves que el accidente que su ausencia ocasionaría. La colocación de barreras origina altos costos iniciales y permanentes costos de mantenimiento, ocasionando además ellas mismas daños materiales y personales. Por ello a lo que hay que atender es a eliminar, siempre que sea posible, la causa de la necesidad de la defensa. El costo adicional de tomar medidas en este sentido puede ser menor que el de la propia defensa como, por ejemplo, suavizar el talud de un terraplén, eliminar obstáculos fijos o ensanchar el cantero central.

La Figura II - 8, que resume las conclusiones del trabajo "Guardrail Performance and Design" de J.D, Michie, L.R.Calcote y M. E. Bronstad, NCHRP Rept. 115, 1972, puede utilizarse como guía para determinar cuando una barrera es necesaria en el cantero central en función del ancho de éste y del volumen de tránsito previsto.

Cuando se trate de intersecciones a nivel, el ancho mínimo normal que deberá tener el cantero central para proteger a los vehículos que realizan un giro a la izquierda o en U, es de 6 m. y el mínimo absoluto, en casos especiales, de 5 m. Cuando se trate de proteger a los vehículos que crucen las calzadas divididas el ancho mínimo será de 9 m y el deseable de 12 m.

No necesariamente el ancho del cantero central debe ser constante, sino que por el contrario, el alineamiento de cada calzada debe hacerse independientemente y los angostamientos y ensanchamientos deben aparecer como formando parte de su desarrollo natural. En este sentido es recomendable que las variaciones de ancho se hagan aprovechando las curvas horizontales del trazado. Cuanto más

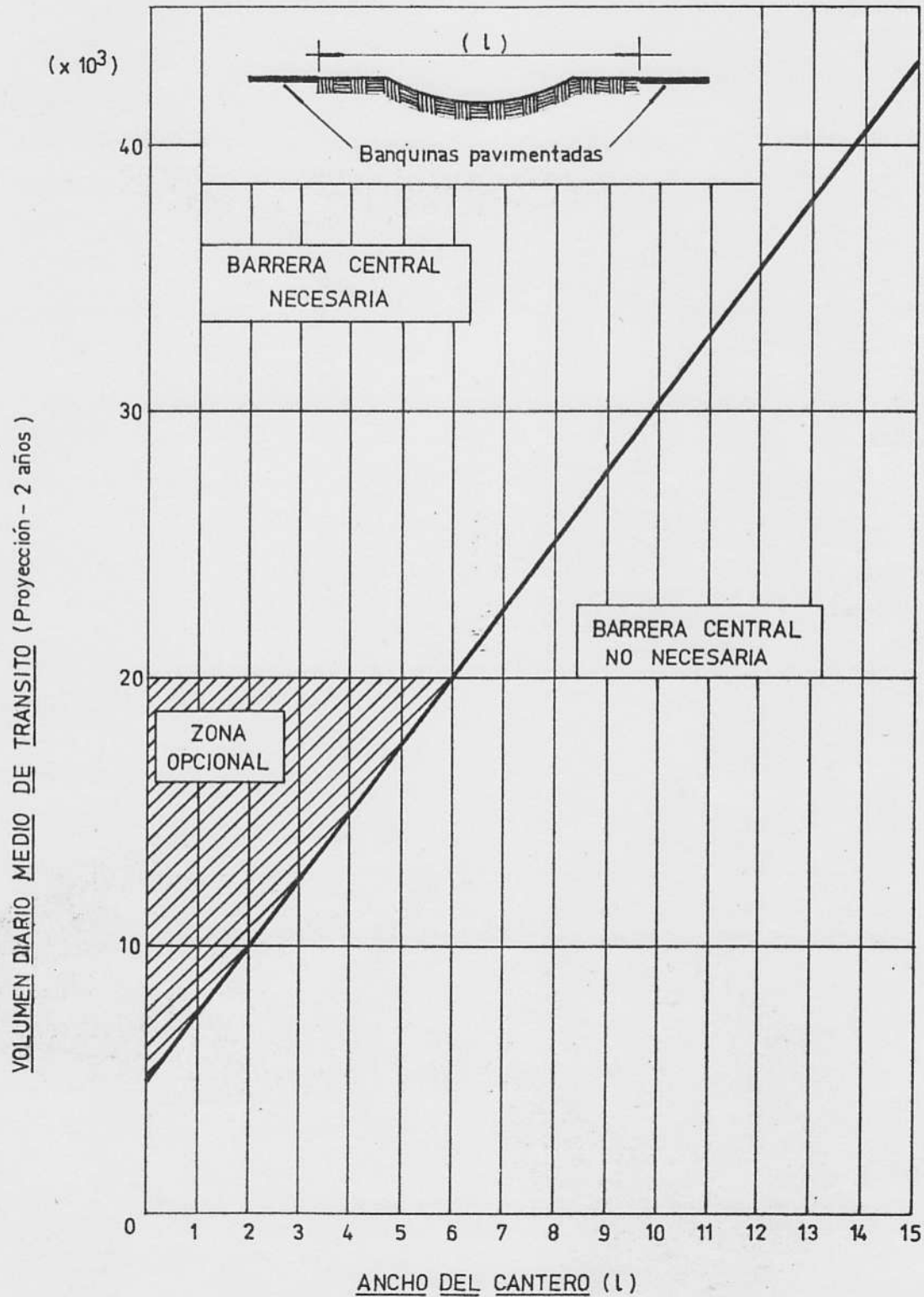


FIGURA II-6

aguda sea la curvatura más fácil resulta efectuar los cambios de ancho. En los tramos rectos, en cambio, la variación del ancho del cantero sólo puede efectuarse con curvas y contra-curvas en una o ambas calzadas.

Los cordones o separadores con cordones altos deben utilizarse preferentemente en avenidas principales y caminos en zonas urbanas con altos volúmenes de tránsito, como también en puentes de gran longitud o viaductos donde normalmente el cantero es de ancho mínimo. En tales casos, este tipo de cordón presenta la desventaja de no permitir o dificultar el cruce del cantero por vehículos de emergencia, como ambulancias, autobombas, -- grúas de remolque, etc.

Los cordones montables en canteros angostos pueden resultar -- preferibles en aquellos lugares donde no hay razón para que -- los conductores hagan giros en U y su gran ventaja reside en que el cantero puede servir para controlar un vehículo que sufra una falla repentina o que haya escapado al dominio del -- conductor por una brusca maniobra realizada para evitar un accidente. También para estacionar en caso de emergencia por -- algún desperfecto mecánico.

Los cordones altos son ventajosos, en cambio, cuando las columnas de alumbrado se hallan en el cantero central angosto o -- cuando las dos calzadas se encuentran a diferente nivel y con -- una pendiente importante entre ellas.

2.4.4. Taludes y contrataludes

En la fijación de las pendientes de los taludes de los terra plenes, deberá tenerse en cuenta los siguientes criterios: seguridad técnica y psicológica, estabilidad, facilidad para su mantenimiento, estética y economía.

De acuerdo con experiencias efectuadas en los EE.UU. (3) los vehículos que por una emergencia se desplacen por taludes de pendientes 1:4 o menor, tienen muy pequeñas probabilidades de volcar, es decir, proporcionan un alto grado de seguridad "técnica" al tránsito.

No obstante, en caminos de importancia dada la altura previsible del ojo del conductor, ancho y pendiente de banquetas, es conveniente reducir aún más la pendiente de los taludes, y llevarla, por ejemplo, al valor 1:6, para proporcionar seguridad "psicológica" al conductor: permitirle "ver" el talud del terraplén. En caso contrario con taludes más empinados, el conductor apreciaría un "precipicio aparente" en el borde de la banquina, lo que le originaría una sensación de inseguridad.

La estabilidad de un determinado talud depende mucho de las características de los suelos que forman el terraplén.

Para suelos consistentes, la pendiente de los taludes no debe, en general, ser más empinada que 1:1,5. Si los suelos son arcillosos, no conviene proyectar taludes de pendientes mayores que 1:2. En cambio, en algunos casos de pedraplenes, puede llegarse a taludes con pendiente de 1:1.

En general estas pendientes límites podrán usarse en caminos de categoría inferior.

Las pendientes de taludes suaves son más estables que las pendientes pronunciadas. La erosión y los deslizamientos prevalecen en estas últimas. Además, las pendientes suaves favorecen el sembrado y crecimiento del césped y, consecuen-

temente, su mantenimiento. Con pendientes de 1: 1,5 o mayores se hace dificultoso el crecimiento de césped, aún en clima húmedo.

Para facilitar el mantenimiento de los taludes con equipo mecánico, es conveniente que en general no sobrepasen una pendiente de 1:3. Asimismo en condiciones climáticas favorables, el empastado de taludes puede lograrse con pendiente de 1:2, con lo que se impide la erosión y se favorece el mantenimiento (3).

Desde el punto de vista estético para lograr una apariencia más natural e integrada en el paisaje, en el caso de terraplenes de altura variable, es preferible que los taludes, en las distintas secciones, no tengan la misma pendiente transversal, sino que aproximadamente tengan la misma proyección horizontal, es decir, pendientes inversamente proporcionales a su altura. Es decir, este criterio es opuesto al de cierta práctica de "uniformar" las pendientes de los taludes.

Por otra parte, la pendiente de los taludes debe estar en armonía con la topografía del terreno circundante. Si este fuera llano, los taludes deberían ser lo más tendidos posible; en cambio si fuera muy accidentado podrían admitirse taludes más empinados. El redondeo de los bordes y pie de taludes también mejora, desde el punto de vista estético, la apariencia del camino y reduce la erosión producida por el agua superficial y por el viento.

Finalmente desde el punto de vista económico, para terraplenes de poca altura, no tiene mayor incidencia en el costo de la obra, un talud tendido. En cambio, para alturas considerables, debe pesarse el mayor costo inicial del movimiento de suelos originado por la construcción de taludes suaves, con el menor costo de mantenimiento que estos originan.

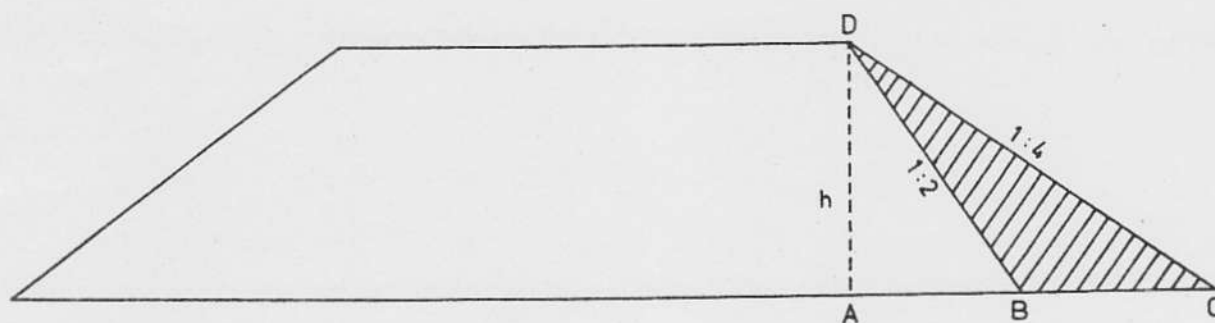
En condiciones medias, desde el punto de vista económico y de la seguridad, es conveniente colocar, en caminos importantes, barandas o barreras de seguridad para alturas de terraplén mayores de 3 metros y reducir el movimiento de suelos adoptando taludes más empinados.

En el cuadro que sigue, N° II-22, se indican los taludes de terraplén sugeridos para suelos de consistencia media. Para zonas montañosas se ha previsto la colocación de barandas o barreras de seguridad para alturas mayores que 1,50 m, en el supuesto de que las excavaciones debieran realizarse en roca. De no ser así, recién se justificaría la baranda para alturas del orden de los tres metros.

La altura del terraplén para la colocación de la barrera de seguridad debe ser analizada también desde el punto de vista económico, ya que donde el ancho de la zona camino lo permite puede resultar más barato la disminución de la pendiente del talud a valores de 1:4 o menores. Antes de decidir sobre la colocación de la barrera, es siempre conveniente comparar el costo actualizado de un metro de la misma colocada y el costo de la cuña de suelo que constituye el terraplén a agregar por la disminución de la pendiente de su talud a valores que no originen riesgos significativos.

En lo que sigue se muestra lo expresado con un ejemplo que modifica la pendiente del talud de 1:2 a 1:4.

- // _



$$\overline{A C} = 4 h$$

$$\overline{A B} = 2 h$$

$$\therefore \overline{B C} = 2 h$$

$$\text{Sup. } \triangle B.C.D. = \frac{\overline{BC} \times h}{2} = \frac{2 h \times h}{2} = h^2$$

El volumen de la cuña de suelo a lo largo de 1 m de terraplén será: $1 \text{ m.} \times h^2 \text{ (m}^2\text{)} = h^2 \text{ (m}^3\text{)}$.

Al costo de la baranda por metro lineal hay que agregarle el volumen correspondiente al mayor ancho de 0,50 m. que se le da al coronamiento; es decir, para 1 m. de longitud de terraplén será:

$$0,50 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times h \text{ (m)} = \frac{h}{2} \text{ (m}^3\text{)}$$

Deberá elegirse la solución más económica entre:

- a) Costo de transporte del suelo y de construcción de un terraplén de $h^2 \text{ (m}^3\text{)}$, o
- b) Costo de 1 m. lineal de baranda colocada más el costo de un terraplén $\frac{h}{2} \text{ (m}^3\text{)}$.

La Figura II-9 puede también usarse como guía para determinar el empleo de defensas o barreras de seguridad, en función de la altura y el talud del terraplén.

NECESIDAD DE LA DEFENSA LONGITUDINAL EN TERRAPLENES

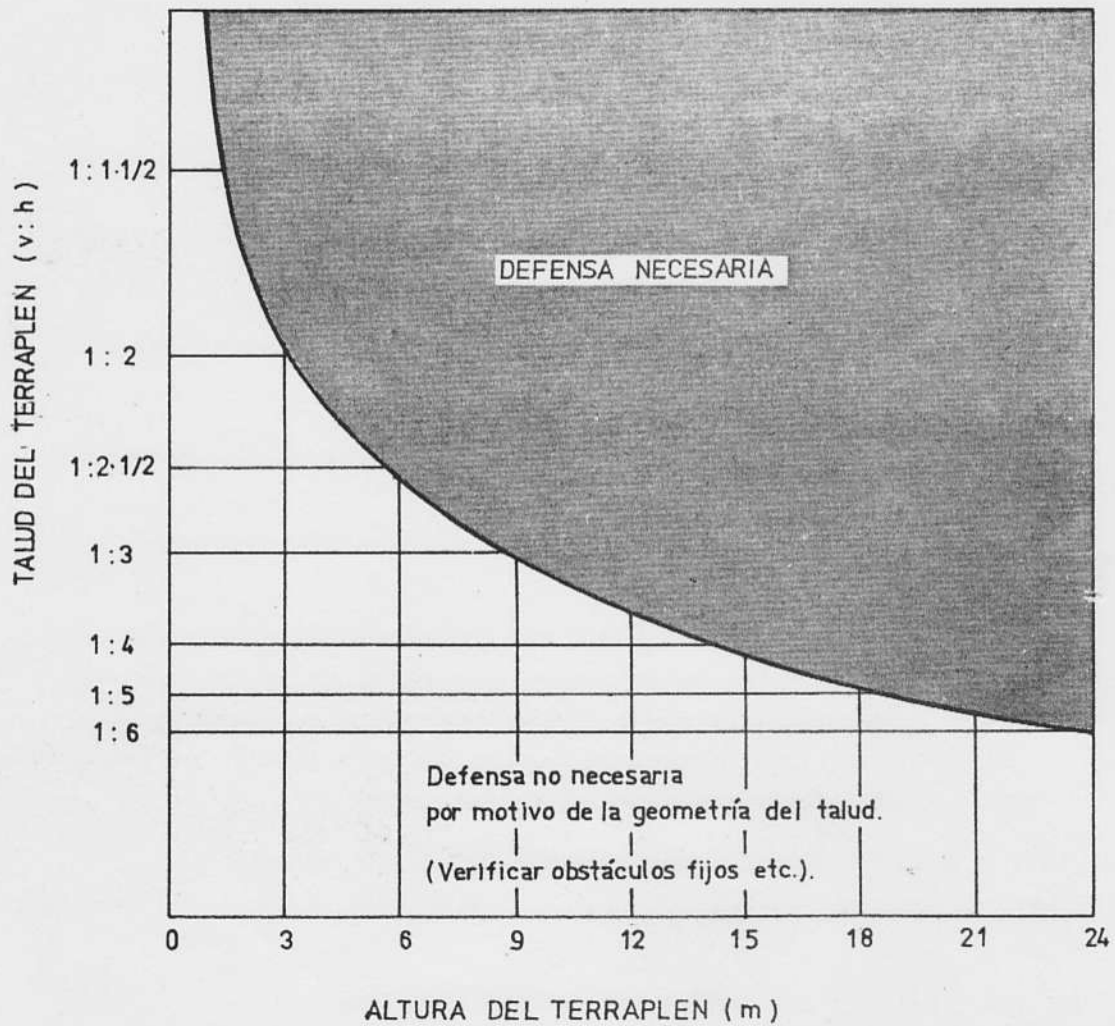


FIGURA II-9

CUADRO N° II-22

Pendientes de taludes, en terraplén

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 rocas, para alturas de terraplénes mayores que 1,50 m se colocarán barandas

Respecto de los contrataludes, en general, los suelos en su posición original pueden admitir taludes con pendientes algo mayores que en el caso de rellenos (terraplenes).

Si bien no pueden darse valores fijos a estas pendientes, en general y a título indicativo, serán del orden de una vez y media las de los taludes de terraplén correspondientes.

Es decir para alturas de 2 metros por ejemplo, si un terraplén tiene un talud de 1:3 el contratalud podría ser de 1:2.

Esta regla no es rígida, ya que estos contrataludes pueden ser más tendidos, como por ejemplo en los casos de necesitarse suelos para compensación longitudinal del movimiento de tierras, de dar visibilidad en curvas horizontales, etc., o más empinados, cuando el factor económico sea preponderante y la naturaleza de los suelos lo permita, como en el caso de excavación en roca.

Desde el punto de vista estético a los contrataludes son aplicables las mismas recomendaciones dadas para el caso de los taludes de terraplenes.

2.4.5. Cunetas y cunetas préstamos

No pueden darse normas de carácter general, pero para caminos importantes independientemente de las consideraciones de carácter hidráulico, es conveniente que el fondo de cuneta tenga un ancho mínimo de 2,00 metros y preferiblemente 3,50 m o más para facilitar su excavación con equipos modernos.

En caminos de poca importancia y con altos costos de excavación, pueden admitirse cunetas en V.

Cuando los suelos son erosionables, en el caso de cunetas anchas, es preferible que su solera tenga una pequeña pendiente transversal que aleje las aguas del camino y evite erosiones en el pie del talud.

Donde el terreno lo permite es recomendable que las pendientes de los costados de las cunetas no sobrepasen el valor 1:4. Las intersecciones de estos costados con la solera deberán ser siempre redondeadas mediante curvas verticales de identificación del orden de 1 m de longitud.

Estéticamente es conveniente que la pendiente longitudinal de la cuneta coincida con la de la rasante, pero ello no es indispensable, sobre todo en terrenos llanos.

En suelos erosionables o donde la velocidad alcanzada por el agua debido a la pendiente longitudinal sobrepase o sea muy próxima a la velocidad límite de erosión del suelo, es aconsejable proyectar "sangrías" o "retardadores" que eviten la erosión del fondo de la cuneta. En autopistas o caminos importantes, con altos volúmenes de tránsito, será preferible, en cambio, si resulta económicamente justificable, construir cunetas revestidas. El tipo de revestimiento a usar dependerá de la velocidad del agua, del tipo de suelo y de la pendiente y forma de la cuneta. El más usual de los re--

vestimientos es el césped o pasto natural y cuando éste no puede utilizarse, por no brindar la protección requerida, es común el uso de piedras u hormigón.

En el caso de cunetas ubicadas en el medio de canteros centrales de caminos con calzadas divididas o autopistas, será menester, generalmente, colocar sumideros a determinados intervalos que posibiliten la caída del agua a conductos subterráneos que la lleven, por debajo de las calzadas, lejos del camino.

Desde el punto de vista de la seguridad habrá que tener en cuenta que el diseño de las cunetas debe ser tal que las mismas no aumenten la severidad de un accidente en el caso de un vehículo que se salga de la calzada y atraviese una cuneta. Por ello las pendientes de sus costados deben ser tales que permitan el cruce sin peligro de vuelco y sin -- que el conductor pierda el dominio del vehículo. Por ello resultan recomendables las cunetas con forma de U, las secciones parabólicas o las trapezoidales con bordes redondeados.

2.4.6. Caminos o calles colectoras

Cuando se prevea que en un futuro cercano, del orden de los 25 años, sea necesario contar con dos calzadas de distinta mano, en zonas previsiblemente urbanas, suburbanas o que -- puedan ser muy subdivididas, será conveniente dejar el espacio necesario para ejecutar en su oportunidad, caminos o calles colectoras destinados a recibir el tránsito local y -- conducirlo a los cruces o intersecciones fijados.

Estos caminos o calles colectoras tendrán distintas características (con cordones, veredas, banquetas, etc.) según la zona que sirvan (urbana, suburbana, etc.). Sus anchos estarán de acuerdo con las necesidades locales (mano única, dos manos, estacionamiento, etc.).

2.4.7. Zona de camino

El ancho de la zona de camino dependerá de las posibilidades de aumento del número de calzadas, calles colectoras, etc.

Como la zona de camino, para un trazado bien proyectado - debe tener una vida útil de 40 ó 50 años, debe preverse un ancho suficiente para la posterior ejecución de las calzadas adicionales que se requieran.

Asimismo habrá que prever si también será necesario el control de accesos. La existencia o no del control de accesos es uno de los factores que más influyen en el ancho de la zona de camino. Con la previsión del control de accesos se asegura el mantenimiento de la capacidad inicial y la zona de camino no necesita ser más ancha que la prevista en el proyecto inicial.

Sin que puedan darse reglas rígidas sobre estos anchos, que dependerán también de otros factores, como el económico, la topografía del terreno, etc., se consignan en el cuadro --- II-23, a título indicativo, los anchos mínimos de la zona de camino según la categoría del camino.

Conviene que el ancho de la zona de camino sea uniforme, pero nada obsta para que, en ciertos casos, como, por ejemplo, donde hay intersecciones con control de accesos, no pueda variarse aquél dándole uno mayor.

Por ejemplo una ruta en terreno llano, cuyo tránsito medio diario actual sea de 2000 vehículos/día, con un factor de expansión de tránsito de 6, estará clasificado como de categoría I y por lo tanto el ancho mínimo sugerido de la zona de camino, será de 120 metros en zona rural y 150 metros en zonas que en el futuro sean urbanas, suburbanas o muy subdivididas.

CUADRO N° II-23

Anchos mínimos sugeridos para zonas de camino

Categoría del camino	Anchos mínimos de zona de camino, en metros	
	Zonas pre <u>visi</u> blemente rurales	Zonas pre <u>visi</u> blemente <u>ur</u> banas, suburbanas o muy - subdivididas (**)
Especial	150	180
I	120	150
II	100	130
III	70	100
IV	70	100
V	50 (*)	70 (*)

Nota: (*) Ancho a utilizar en casos excepcionales.
 (**) Incluye zona para calles colectoras.

REFERENCIAS:

- 1) Apuntes de Vías de Comunicación - Ing. P.Palazzo-Bs.As. 1942.
- 2) Curvas verticales tabuladas - Ing. F.Javier Viguria. 2da. Edición. 1960.
- 3) A.A.S.H.O. - A Policy on Geometric Design of Rural Highways. 1965.
- 4) Routes - R.Coquand - Paris - 1956.
- 5) Highways Engineering Handbook - K. Woods - N.Y. 1960.
- 6) Analytical Method of Determining the Length of Transition Spiral - M.V. Smirnoff - Proc. A.S.C.E. - 1949 - 1950.
- 7) Curvas con transiciones para caminos - J.Barnett - Traduc. por San Miguel - E.F.Tagle y A.J.L. Bolognesi. 3ra. Edic. 1954.
- 8) Replanteo de Curvas con transición. D.P.V. de San Luis. 1966.
- 9) Visibilidad en curvas planimétricas. Ing.J.D.Luxardo. 1962.
- 10) Sobrepaso en curvas horizontales. Ing.F.G.O.Ruhle. 1967.
- 11) Human Sensitivity to Motion as a Design Criterion for Highway Curves - W.A.Mc Conell - Bull N° 149. HRB - 1957.
- 12) Automotive Test Track Design. K.A.Stonex. Bull.N° 149 - HRB. 1957.
- 13) Proyecto geométrico de carreteras modernas. J.H.Jones - Londres. 1963.
- 14) Review of Vehicle Dimensions and Performance Characteristics. K.A.Stonex. Proc. HRB. - Vol.39 - 1960.
- 15) Driver Eye Height and Related Highway Design Features - C.E. Lee-Proc. - HRB - Vol39 - 1960.
- 16) Design for Today's Vehicles - F.Lilien y G.A.Bonforte - IV Reunión Mundial de la I.R.F. - Madrid - 1962.
- 17) Los Autos Argentinos. Revista Parabrisas N° 76. Bs.As. - 1967.
- 18) Escalímetro para curvas verticales convexas. Ing.J.A.Cravello. Primer Congreso Vial Regional del Norte Argentino. Tomo II - Tucumán. 1949.

..//

REFERENCIAS: (Continuación)

- 19) Der Neuzeitliche Strassenbau - E.Neumann - Berlín. 1951.
 - 20) Caminos - Ing.J.L.Escario - 2da.Edic. Madrid - 1949.
 - 21) New Method of Capacity Determination for Rural Roads in Mountainous Terrain - H.C.Schwenden, O.K.Normann y J.O. Granum - Bull 167 - HRB - 1957.
 - 22) Highway Capacity Manual - Special Report 87. HRB. 1965.
 - 23) Influencia de la altitud en la elección de pendientes - Ing. Jorge Navia C. Rev: Anales de la Ingeniería - Sociedad Colombiana de Ingenieros. N° 560 - 1941.
 - 24) Termodinámica Técnica - Ing. Alejandro de Estrada. 1955.
 - 25) La Argentina. Suma de Geografía. Tomo II. Ed.Peuser. 1958.
 - 26) Manual del Ingeniero - Hutte - Tomo I - 1957
 - 27) Reducción de pendientes en curvas para distintas velocidades y elementos geométricos de diseño. Agr.Alfonso de la Torre. Doc.102 - Quinto Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Embalse Río III - 1964.
 - 28) Skidding Characteristics of Automobile Tires on Roadway Surfaces and their Relation to Highway Safety. R.A.Moyer. Iowa State College. EE.UU.
-

CAPITULO III

CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO GEOMETRICO DEL PROYECTO

Sección 3.1. ESTETICA DEL CAMINO

3.1.1. Criterio paisajista

. Fundamentos

3.1.2. Guiado visual

Sección 3.2. CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO GEOMETRICO

3.2.1. Cambios en la velocidad directriz del proyecto

3.2.2. Recomendaciones relativas a las condi- ciones planimétricas del proyecto

3.2.3. Recomendaciones relstivas a las con- diciones altimétricas del proyecto

3.2.4. Recomendaciones relativas a las condi- ciones que debe reunir la sección trans versal.

3.2.5. Coordinación planialtimétrica y de la sección transversal del proyecto

..//

- 3.2.6. Procedimiento general de coordinación plani-
altimétrica
 - 3.2.7. Recomendaciones referentes al proyecto con re
lación al uso del suelo.
 - 3.2.8. Recomendaciones sobre la construcción de áreas
de descanso
 - 3.2.9. Recomendaciones sobre estructuras de puentes
 - 3.2.10. Mantenimiento de las obras
-

Sección 3.1. ESTETICA DEL CAMINO

3.1.1. Criterio paisajista

. Fundamentos

El proyecto de un camino se encuentra condicionado, generalmente en forma determinante, por las condiciones de carácter técnico, las normas de diseño geométrico; y las de carácter económico, la obtención del mínimo costo anual de transporte.

Si bien estos requisitos son necesarios para que el camino ofrezca las condiciones mínimas de seguridad al tránsito con el máximo de economía para la comunidad, hoy en día no bastan.

La vida tensa y agitada de nuestra actual civilización hace necesario que el hombre regrese, periódicamente, a la naturaleza, donde podrá relajar su tensión nerviosa y retener en sus pupilas los variados panoramas que aquélla le ofrece.

Las carreteras, aun las de tráfico predominantemente comercial, dan al hombre de nuestros días esta oportunidad. Para aprovecharla, las rutas no deben destruir, ni en lo posible mutilar la naturaleza; deben, en cambio, integrar en el paisaje.

En otras palabras, desde el punto de vista estético no puede diseñarse un camino haciendo abstracción del paisaje aledaño; en cambio su trazado planialtimétrico debe armonizar con el medio natural que lo rodea, subrayando, por decirlo -- así, las líneas principales del paisaje, a grandes rasgos, a los contornos naturales del terreno.

No obstante, armonizar el camino con el paisaje no significa tratar de disimularlo dentro de éste; al contrario aquél debe mantener su propia individualidad. Debe facilitar también a los ocupantes de los vehículos, una perspectiva continua, con grandes distancias de visibilidad de la calzada que se extiende delante de éstos.

De esta manera, conociendo el conductor en que forma se desarrolla la trayectoria que debe recorrer su vehículo, a lo largo de distancias muy superiores a las longitudes mínimas de detención, su tensión nerviosa disminuye, aumentando la seguridad en la conducción y reduciéndose en consecuencia el peligro de accidentes. (1) a (15).

3.1.2. Guiado visual

Como muchas veces la superficie de la calzada queda oculta dentale del vehículo a distancias relativamente próximas, ya sea por la presencia de curvas verticales, ya sea por obstáculos laterales en curvas horizontales que obstruyen el campo visual del conductor, se ha tratado que otros elementos, tales como árboles o grupos de árboles, taludes de desmontes, etc., le permitan visualizar la trayectoria del camino, a distancias mayores que las mencionadas precedentemente.

Como dichos elementos están fuera de la superficie de la calzada, se ha creado el concepto de "guiado visual", ya no sobre la calzada, geoméricamente - bidimensional, sino a través de un espacio de tres dimensiones, delimitado inferiormente por la calzada, lateralmente por los elementos de guiado visual citados y que longitudinalmente se entiende a lo largo del camino. (1) (3) (5).

Este guiado, es conveniente que se desarrollo delante del vehículo que circula, en longitudes de varios centenares de metros, preferiblemente del orden de magnitud de la distancia de sobrepaso.

A pesar que desde el punto de vista estético los grupos de árboles o arbustos u otros elementos naturales de guiado visual suelen estar más en consonancia con el paisaje circundante, también se han utilizado, para ese fin, sobre todo en los EE.UU., elementos artificiales tales como postes, mojones, barreras, etc. No obstante, no es aconsejable el uso continuó de un mismo tipo de elemento artificial de guiado, a lo largo de grandes distancias,

pues, además de constituir una solución costosa, puede ejercer una influencia hipnótica sobre la atención del conductor. (1) (5).

De lo expuesto anteriormente, puede inferirse que el punto de vista estético está íntimamente ligado al de la seguridad y comodidad de la conducción de vehículos automotores, (11) por cuya causa, los criterios generales que deban gobernar el proyecto y que a continuación se exponen, están basados en esos tres conceptos: seguridad, estética y comodidad.

Sección 3.2. CRITERIOS GENERALES

PARA EL DISEÑO GEOMETRICO

3.2.1. Cambios en la velocidad directriz del proyecto

En el caso de desarrollarse el trazado de un camino por una zona de características topográficas -- aproximadamente uniformes, deberá elegirse una única velocidad directriz, de acuerdo con dichas características y con la categoría del camino proyectado.

En cambio, si se pasa por una determinada zona, a otra de topografía diferente, por ejemplo de una región llana a otra ondulada, se justifica un cambio en la velocidad directriz, siempre que la longitud de la ruta en la zona de distintas características, sea de una magnitud apreciable, y que la propia configuración del terreno predisponga el ánimo del conductor a aceptar la variación de velocidad. (16).

En este caso es recomendable no pasar bruscamente de una velocidad directriz a otra muy diferente, - sino variarla en magnitudes de 10 en 10 kilómetros por hora, a medida que la topografía del terreno - cambie.

Por otra parte, una pequeña zona de distinta configuración topográfica, no justifica una alteración en la velocidad directriz del camino que la atraviese.

De igual manera cuando se prevea que el volumen de tránsito de un camino cambie sustancialmente de un tramo a otro, puede resultar económicamente ventajoso adoptar velocidades directrices diferentes en ambos tramos.

Además, de no preverse aumentos apreciables de costos, es recomendable proyectar un camino para una velocidad directriz superior a la de su categoría, con lo que se prolonga, en general - su vida útil.

3.2.2. Recomendaciones relativas a las condiciones planimétricas del proyecto.

- a) Entre los puntos más o menos obligados por los que debe pasar el trazado, el alineamiento debe ser el más directo posible, dentro de las condiciones topográficas del terreno. (16).

No obstante, en general es preferible, desde el punto de vista estético y económico, un trazado que a grandes rasgos se adapte a los contornos naturales del terreno, que otro con largas rectas que lo corten de cualquier modo. (1) (3) - (16).

- b) El uso de los valores mínimos absolutos de los diversos elementos del diseño geométrico, tales como radios de curva, distancias de visibilidad, etc., debe restringirse a los casos de estricta necesidad, debiendo en lo posible adoptarse sus valores deseables. (12) (16). Esto es aplicable especialmente a las curvas horizontales "ciegas".

- c) En lo posible deberá utilizarse curvas de gran desarrollo y amplios radios, con ángulos al centro tan pequeños como la topografía del terreno lo permita (1).

- d) Las curvas circulares se enlazarán con los alineamientos rectos mediante transiciones de longitud suficiente como para que sean visualmente apreciables. Desde este punto de vista, y sin perjuicio de las consideraciones de orden dinámico, deberán tener como mínimo una longitud -- del orden de la décima parte del radio. No obstante, para suavizar visualmente el enlace de un

arco circular con un alineamiento recto de gran longitud, es aconsejable que la transición tenga una longitud mayor aún que la recomendada precedentemente. (1) (7) (8). Es aconsejable introducir transiciones en todas las curvas peraltadas.

- e) En lo posible no deberán proyectarse rectas excesivamente largas, (3) ya que además de cansar la atención del conductor, producirle somnolencia, y hacer disminuir la rapidez de sus reflejos, son causa concurrente, de noche, a su encandilamiento por la luz de los faros de los vehículos que circulan en sentido contrario. Además si el camino se desarrollara en terreno ondulado, desde el punto de vista estético, la sucesión de curvas verticales a lo largo del alineamiento recto, ofrecería un pobre aspecto visual.

Si bien no pueden darse reglas de carácter general para fijar las longitudes máximas de dichos alineamientos, podrían ser del orden de 10 kilómetros en llanura, y substancialmente menores en zonas onduladas y montañosas. (8) (9) (10).

- f) Para la velocidad directriz adoptada, los caminos de una calzada de dos manos, además de ofrecer en todos sus puntos las distancias de visibilidad de detención, deberán permitir el sobrepaso de los vehículos en el mayor porcentaje posible de su longitud. Si las condiciones particulares del trazado, no ofrecieran sobrepaso en forma ininterrumpida, deberá preverse para rutas de una calzada y altos volúmenes de tránsito, que en secciones de 3 km de longitud, haya en lo posible los siguientes porcentajes de distancias de visibilidad para sobrepaso:

Zona llana	:	80 %
Zona ondulada	:	50 %
Zona montañosa	:	30 %

Esta condición exige, en general, que en caminos de una sola calzada de dos trochas haya alineamientos rectos - de longitud, del orden de un kilómetro en llanura (4) y del medio kilómetro en zonas montañosas. No obstante, aun en el caso de contar con alineamientos rectos de reducida longitud, en general, en zonas llanas podría obtenerse sobrepaso en forma prácticamente continúa, proyectando curvas horizontales de radios del orden de los 5000 metros o más.

Estas curvas de gran radio no deberían ser introducidas en forma arbitraria, sino de manera de obtener, a la -- vez, un trazado más agradable y más económico, salvando zonas bajas, evitando afectar mejoras, etc.

En estos casos, podría llegarse a lo que preconizan diversos autores, la desaparición de la línea recta en el trazado, que estará compuesto, en cambio por arcos de - círculo de pequeños ángulos al centro y grandes radios, enlazados entre sí por transiciones de gran longitud.

(1) (5) (7) (13) (15).

- g) En lo posible debe evitarse introducir una curva de radio mínimo a continuación de una alineación recta de -- gran longitud, o de otra curva de gran radio. (1) (12) (16). Las curvaturas de curvas sucesivas no deben ser muy diferentes entre sí.

- h) En correspondencia con un terraplén largo y alto, no deberá introducirse una curva de radio mínimo, ya que en general la ausencia de elementos de guiado visual natural, tales como árboles, taludes de desmontes, etc., -- constituirá un peligro para el tránsito, al impedir al conductor darse cuenta cabal de su curvatura y ajustar, consecuentemente sus maniobras. Para evitar esto, además de adoptar curvas de amplios radios, deberá preverse la colocación de barandas o barreras de seguridad, -- que, además del factor de seguridad que introducen, --- constituyen una guía visual para el conductor. (16).
- i) Desde el punto de vista estético, es preferible no usar curvas de transición total para evitar el aspecto de -- quiebre que presentarían sus bordes, en el punto de --- unión de las transiciones espirales, sobre todo cuando éstas tienen longitudes mínimas.
- j) Preferiblemente, debe dejarse entre fin de curva y principio de contracurva circulares, una distancia suficiente, como para poder desarrollar longitudes de transición sustancialmente superiores a la mínima. (16). En estos casos, no sería necesario dejar entre fin de una transición y comienzo de otra ningún alineamiento recto. (3). Desde el punto de vista dinámico, el conductor pasaría de una transición a otra sin cambiar el sentido de rotación del volante. Desde el punto de vista estético tampoco cabrían objeciones ya que los bordes de ambas --- transiciones no presentarían quiebres en el punto de -- unión.

- k) No deben introducirse alineamientos rectos de reducida longitud entre dos curvas horizontales de la misma dirección. Además del pobre aspecto estético que ofrece tal trazado, suele ser fuente de desorientación para los conductores, que en general no esperan una sucesión de curvas en el mismo sentido, lo que origina un peligro para el tránsito. En estos casos es preferible el uso de curvas circulares compuestas. (1) (3) (8) (9) - (10) (16).

No obstante, no habría objeciones de carácter técnico o estético, si el tramo recto entre las curvas de la misma dirección fuera lo suficientemente largo, y si no pudieran apreciarse visualmente ambas curvas en conjunto.

- l) Cuando las características topográficas de una zona hagan necesario el empleo de curvas circulares compuestas, es preferible que el radio de la mayor, no supere al doble de la menor, evitándose de esta manera el uso de transiciones entre ellas. (3). De superar el radio de la curva mayor al doble de la menor, en general será -- conveniente usar una transición entre ambas, en lo posible de longitud mayor que la mínima.
- m) Desde el punto de vista estético deberá evitarse en lo posible cortar un bosque con un trazado recto. En cambio ofrece un aspecto agradable y natural entrar en él con una curva horizontal.
- n) Para caminos de importancia, la ubicación u orientación de los puentes estará subordinada, en general al trazado, pudiendo darse el caso de ser necesario proyectarlos en curva. (1) (5) (7).

3.2.3. Recomendaciones relativas a las condiciones alimétricas del proyecto

- a) Es preferible una rasante con tramos de longitud apreciable de pendientes suaves y con diferencias de gradiente poco pronunciadas, que otra que acuse numerosos quiebres de reducida longitud y grandes diferencias de pendiente. (1) (12) (16).
- b) Si bien a grandes rasgos la rasante deberá conformarse a la topografía del terreno, una adaptación excesivamente ceñida a éste con una sucesión de curvas verticales de parámetros mínimos, que impida la visualización de longitudes apreciables de calzada delante -- del vehículo, no es conveniente. Además de ser antiestéticas, en calzadas de doble mano constituyen un peligro para los vehículos -- que tratan de sobrepasar, sobre todo si se encuentran en coincidencia con alineamientos planimétricos rectos. (16).
- c) En lo posible, por razones de seguridad y estética, deberán utilizarse curvas verticales amplias, de grandes parámetros en lugar de -- circunscribirse a los valores mínimos absolutos, los que sólo deberán aplicarse en los ca sos indispensables. (7).
- d) En caminos de una calzada de dos manos para -- la velocidad directriz adoptada, la rasante, además de ofrecer en todos sus puntos las dis tancias de visibilidad de detención, deberá -- permitir el sobrepaso de los vehículos en el

mayor porcentaje posible de su longitud, de acuerdo con lo ya visto en el punto -----
3.2.2-f).

En zonas llanas pueden lograrse muchas veces longitudes ininterrumpidas de sobrepaso, utilizando curvas verticales con parámetros de gran magnitud.

- e) En general deberá evitarse introducir una -- curva vertical convexa de parámetro mínimo, a continuación de una rasante descendente de pendiente uniforme y longitud apreciable, especialmente si en planimetría el alineamiento es recto.
- f) Para evitar el cambio brusco de la acelera-- ción vertical al pasar de una curva vertical cóncava a otra convexa, cuando ambas son de parámetros mínimos, deberá introducirse en-- tre ambas una sección de rasante con pendiente uniforme, de longitud, en metros, dada -- por la expresión $0,3 V$, en la cual V es la - velocidad directriz expresada en km/hora.

Cuando los parámetros de ambas curvas verticales sean mayores que el doble de los mínimos, no será necesaria la intercalación de la citada sección de rasante con pendiente uniforme.

- g) Desde el punto de vista estético, en lo posible deberá evitarse proyectar dos curvas verticales con curvaturas del mismo sentido (cóncavas o convexas), separadas por una sección de pendiente uniforme de longitud reducida, especialmente

pecialmente para el caso de curvas cóncavas, donde la visibilidad más amplia permite apreciar mejor el pobre aspecto de esa combinación, (16). En lo posible, ambas curvas verticales deberán reemplazarse por una sola (o por una curva vertical compuesta) de gran longitud.

Esto se aplica también para el caso de un puente ubicado en el fondo de un valle, entre dos rasantes descendentes, cuya calzada deberá seguir, en general, la curva cóncava que se proyecta para unirlos. (1) (7).

- h) Para caminos de velocidades directrices bajas, es preferible, que en lugar de grandes longitudes dependientes sostenidas (o sea de gradiente uniforme) cercanas a las máximas, se proyecten pendientes de longitud menor, con gradientes que no superen el máximo, entre las que se encuentren intercaladas secciones con pendientes más suaves. (16).
- i) Cuando se deba proyectar una intersección a nivel, en correspondencia con una rasante de pendiente apreciable, es conveniente reducir ésta en la zona de intersección. (16).

Desde el punto de vista de la visibilidad y por ende de la seguridad, es preferible que la intersección a nivel se efectúe en correspondencia con un valle, y no en correspondencia con una cresta. (5).

j) Desde el punto de vista estético y económico, en general es conveniente que en zonas onduladas o montañosas las rasantes de las dos calzadas separadas de un camino de cuatro trochas, se proyecten independientemente con distintos niveles. (5).

3.2.4. Recomendaciones relativas a las condiciones que debe reunir la sección transversal

- a) En zonas llanas, en alineamientos rectos de caminos de dos calzadas separadas, es preferible que el cantero central tenga un ancho uniforme, con un mínimo suficiente como para permitir ampliaciones de las calzadas. - En cambio este ancho puede ser variable en correspondencia con curvas horizontales. -- (16).
- b) Desde el punto de vista estético es conveniente redondear los bordes de los taludes y contrataludes.
- c) Desde el punto de vista estético, es preferible que en diversos perfiles a lo largo de - desmontes profundos, el contratalud, en lugar de tener pendiente uniforme tenga aproximadamente la misma proyección horizontal.

3.2.5. Coordinación planialtimétrica y de la sección transversal del proyecto

En general no deben realizarse independientemente los diseños geométricos del trazado y la rasante. (1) (2).

Cuando se realizan en forma no coordinada, pueden reducirse las bondades de un trazado y agravarse sus deficiencias.

Por otra parte, también desde el punto de vista estético es importante coordinar planialtimétricamente el diseño del camino, para lograr una apariencia agradable. (14).

Un buen diseño, con una adecuada coordinación del trazado y rasante, aumenta la seguridad y comodidad de los usuarios y la capacidad y apariencia estética del camino, incrementando su vida útil.

Deberán tomarse en consideración los siguientes puntos.

- a) Es preferible evitar la obtención de largos alineamientos rectos o curvas muy amplias a expensas de pendientes de gran longitud con pronunciado gradiente. (16).
- b) Debe evitarse, de igual modo, obtener pendientes muy suaves, a expensas de introducir curvas horizontales muy cerradas de reducidos radios. (16).

- c) En lo posible no deberá introducirse una curva horizontal de radio mínimo o cercano al mínimo, muy próxima al pie de una pendiente fuerte, de longitud apreciable, especialmente cuando el tránsito esté compuesto por una alta proporción de camiones, ya que se originaría un sensible aumento virtual de aquella pendiente.
- d) En un alineamiento recto, preferiblemente debe evitarse la combinación de curva vertical convexa entre dos pendientes descendentes de distinto gradiente, para evitar el aspecto de quiebre de la rasante que se origina. Para el conductor que desciende, dicha curva vertical le produce la sensación visual de un "precipicio aparente", lo que crea un factor de inseguridad en el manejo del vehículo. (3) (7).
- e) En un alineamiento recto, una curva vertical cóncava de pequeño parámetro que enlace dos rasantes de pendiente uniforme y longitud apreciable, produce el efecto de un quiebre, por cuya causa es preferible evitar esta combinación. (13).
- f) En un alineamiento recto, la sucesión de curvas verticales cóncavas y convexas debe evitarse, ya que ofrece un pobre aspecto visual.

- g) Desde el punto de vista estético, en lo posible debe evitarse la superposición de una sola curva horizontal con más de una curva vertical.
- h) Desde el punto de vista estético ofrece una apariencia muy agradable la superposición de curvas horizontales con verticales convexas o cóncavas; en cambio, un gran desfase entre ambas, proporciona al camino un aspecto distorsionado y poco atractivo. (1) (3) (9) - (10) (16).

Además para caminos de una calzada de dos manos es muy importante lograr esa superposición, sobre todo para el caso de curvas horizontales y verticales que no ofrezcan sobrepaso, ya que un alineamiento recto entre curvas sucesivas en horizontal, que permita dicha maniobra, coincidirá con una rasante de pendiente uniforme que no ofrecerá tampoco obstáculos visuales para efectuarla.

En cambio, si un trazado incluye un alineamiento recto de longitud suficiente como para permitir el sobrepaso, dicha ventaja se pierde si en correspondencia con aquél, en altimetría, existe por ejemplo, una curva convexa que no permita realizar la citada maniobra.

Viceversa, una rasante de pendiente uniforme de longitud mayor que la distancia de sobrepaso pierde esta ventaja si correspondientemente en planimetría, una curva horizontal no ofrece la visibilidad necesaria para ejecutar aquella maniobra.

De lo precedentemente expuesto. surge la gran ventaja de lograr dicha superposición. ventaja que subsiste aún en el caso de que tanto - las curvas horizontales como las verticales, permitan el sobrepaso.

- i) Cuando una curva horizontal de radio reducido se encuentre superpuesta con una curva vertical convexa de pequeño parámetro. es conveniente que la curva horizontal supere en algo a la longitud de la curva vertical, con el objeto - de que el conductor pueda apreciar el cambio - de dirección desde una distancia razonable, -- sin que quede oculto por la curva vertical.

Esta precaución no es necesaria cuando la curva horizontal esté indicada por elementos de guiado visual tales como taludes de desmonte, grupos de árboles, etc., o cuando el radio de la curva horizontal exceda apreciablemente el mínimo correspondiente a la velocidad del proyecto. (16).

En estos casos es conveniente que la curva vertical comience y finalice aproximadamente en - el punto medio de las trasiciones.

- j) Deberá evitarse también proyectar una curva horizontal de radio mínimo, en correspondencia o

próxima al punto más bajo de una curva vertical cóncava que enlace rasantes de pronunciadas -- pendientes descendentes, debido a que el declive invita a los conductores a excederse de la velocidad máxima segura, creándose situaciones de -- peligro. (8).

- k) Cuando la curva vertical cóncava que enlace dos rasantes de pendientes de magnitud apreciable, se encuentre en correspondencia con una curva horizontal de un ángulo al centro mayor que --- unos 25° , desde el punto de vista estético se -- podrá apreciar, dada la amplia visibilidad que generalmente ofrece el conjunto de ambas, una cierta distorsión en la curva alabeada resultante, a menos que ésta se encuentre en un plano. (3) (8).

Para lograr este propósito se tratará primeramente de que las dos rectas que coincidan con las rasantes de pendiente uniforme que une la curva vertical, se encuentren en el espacio, -- en un punto cuya proyección ortogonal sobre un plano horizontal corresponda al vértice de la curva horizontal.

En segundo lugar se tratará de que la curva espacial, originada en la combinación de las curvas vertical y horizontal, se encuentre en el plano formado por las rectas mencionadas precedentemente. (Figura III-1).

De esta manera, la curva espacial resultante, será una elipse, la cual, desde cualquier punto en que se la observe no presentará ninguna inflexión, o sea ninguna distorsión. (3).

- l) También puede proyectarse una rasante de pendiente uniforme, en correspondencia con una curva horizontal, ya que esta combinación, no ofrece ninguna objeción de carácter técnico o estético. (8).
- m) De no ser posible proyectar las intersecciones a nivel en alineamientos rectos de rasante horizontal, se tratará que correspondan a curvas horizontales de muy grandes radios y reducidas pendientes longitudinales. (16).
- n) En el caso de proyectarse un camino de calzadas divididas por un cantero central, con rasantes de diferentes niveles, se tratará de que en lo posible, tanto los cambios de ancho de este cantero, como las variaciones relativas de nivel entre ambas calzadas se produzcan en correspondencia con una curva horizontal coordinada con una vertical. En cambio, en los alineamientos rectos, es preferible que se mantenga constante el ancho del cantero central y la diferencia de niveles entre ambas calzadas.

3.2.6. Procedimiento general de coordinación planialtimétrica

Para caminos importantes, la coordinación planialtimétrica del proyecto debe tenerse presente, aun en las etapas previas de determinación de trazado.

El trazado preliminar se fijará con el criterio de que además de ceñirse a las normas de diseño geométrico, pueda permitir una adecuada coordinación con la rasante. En esta etapa tendrá que intervenir el ojo experimentado del proyectista, cuya imaginación deberá visualizar sobre el terreno el camino a proyectar, con lo cual se reducirán los ajustes posteriores.

Efectuada la nivelación longitudinal y relevados perfiles transversales importantes con eclímetro, se dibujarán las planimetrías y altimetrías preferiblemente en escalas 1:2500 y 1:200 respectivamente en un rollo de papel milimetrado que permita estudiar secciones de camino de gran longitud.

Efectuado el estudio conjunto de ambos relevamientos y dibujados el trazado y la rasante a mano levantada (verificando las curvas horizontales y verticales con plantillas de celuloide), podrán hacerse los ajustes en uno y otro, o en ambos a la vez, para obtener la coordinación deseada.

En esta fase de su labor el proyectista no deberá efectuar los cálculos de curvas, rasantes, etc. que requiera el proyecto, sino verificar gráficamente su adecuación a las normas de diseño geométrico y su conveniente coordinación planialtimétrica, utilizando plantillas de curvas

horizontales y verticales, reglas, escalímetros para verificación de sobrepaso, etc.

Las labores de relevamiento podrán abreviarse grandemenete contando con planos en escala --- 1:10000 o mayor, con curvas de nivel cuya equidistancia sea igual o menor que 5 metros.

En esta caso los sucesivos ajustes podrán realizarse directamente, dibujando cada uno de los perfiles longitudinales sobre la base de las -- curvas de nivel y efectuando los corrimientos -- horizontales del trazado, que sean necesarios y los correspondientes desplazamientos verticales de la rasante.

En algunos casos, podrá justificarse dibujar en perspectiva (3), (por ejemplo, utilizando el método de Von Ranke) (13) (14), las secciones de camino donde el resultado de la coordinación -- planialtimétrica no resulte muy claro. (1).

Efectuados los ajustes que sean necesarios y verificados todos los requisitos que debe reunir el proyecto, podrá encararse el estudio definitivo, el cual requerirá, en general, solamente ajustes finales mínimos.

De esta manera, la adecuada coordinación planialtimétrica y la "fluidez" del trazado que se obtenga, se traducirá en general, después de la -- construcción del camino, en un mayor confort para los usuarios, menor tasa de accidentes y mayor vida útil de las obras básicas.

3.2.7. Recomendaciones referentes al proyecto con relación al uso del suelo

Los elementos artificiales construídos por el -- hombre pueden influir en el proyecto de un camino tanto como lo hace la topografía. Los -- distintos usos de la tierra, entre los que podemos mencionar las áreas agrícolas, industriales, comerciales, residenciales o de recreación, influyen de manera preponderante en el diseño. -- Las carreteras principales en áreas rurales se proyectan generalmente para altas velocidades -- directrices, lo que lleva a alineamientos, horizontal y vertical, de rangos superiores, más -- largas distancias de visibilidad y mayores anchos de zonas laterales de recuperación libres de obstáculos, que aquellos que corresponden a caminos similares pero ubicados cerca de centros poblados que atraviesan, por lo tanto, áreas con uso de la tierra muy distinto al de las zonas rurales. En efecto, cuando el desarrollo de un área persigue propósitos de carácter residencial, comercial o industrial, el diseño del camino deberá tender a proveer, entre otras consideraciones, intersecciones frecuentes, mayores oportunidades de efectuar giros -- en diversas direcciones, menor velocidad directriz, etc.

3.2.8. Recomendaciones sobre la construcción de áreas de descanso

Es aconsejable la construcción de áreas de des canso, convenientemente ubicadas a lo largo -- del camino, ya que brindan al conductor la opor tunidad de interrumpir momentáneamente un lar- go viaje y al mismo tiempo sirven para reducir el número de paradas que se efectúan sobre las banquetas, ayudando a eliminar uno de los peli- gros que crean los obstáculos laterales, repre- sentado en este caso por los vehículos estacio- nados junto al borde de la calzada. Estas á- reas de descanso pueden también, eventualmente, utilizarse como centros de información que com plementen los necesariamente breves mensajes - contenidos en las señales comunes. Las ramas de entrada y salida de estas áreas de descanso deben ajustarse al diseño normal de cualquier tipo de entrada o salida del camino incluyendo, desde luego, el no hacer ambos movimientos por la izquierda.

3.2.9. Recomendaciones sobre estructuras de puentes

Desde el punto de vista de la seguridad, resulta de suma importancia que los espacios abiertos existentes entre puentes paralelos correspondientes a caminos de calzadas divididas en cruces o intersecciones a distinto nivel, sean bloqueados o cerrados de alguna manera cuando la abertura entre ambos puentes es menor de 9 metros. En aquellos casos donde no sea posible hacer lo indicado, es esencial la colocación de barreras de seguridad, amortiguadores de impacto o cualquier otro dispositivo que evite la caída de un vehículo fuera de control.

Las barandas y parapetos de los puentes deben ser estéticamente diseñados pero también deberán ser estructuralmente adecuados y causar el menor daño posible a los vehículos y sus pasajeros que, eventualmente, choquen contra los mismos. Un vehículo que golpee contra la baranda o parapeto debe ser reencauzado en su dirección de marcha, en forma paralela a la baranda o parapeto.

En aquellos casos donde el porcentaje de camiones pesados sea importante con respecto al tránsito total deberá considerarse seriamente el incremento de la resistencia estructural de estas barandas o parapetos. En este sentido cabe señalar que, en un programa de seguridad del tránsito, debiera darse una alta prioridad al reemplazo de las barandas inadecuadas ya existentes, cuando se den las condiciones mencionadas.

Cuando una defensa longitudinal finalice en el comienzo de un puente es necesario proveer una sección de transición entre ella y la baranda del puente. Esta transición deberá ser estructuralmente adecuada a las resistencias de las dos diferentes defensas que une y deberá proveer continuidad de protección.

Las veredas de seguridad y los cordones no resultan aconsejables a lo largo de los parapetos o barandas de puentes. Ellos pueden provocar que un vehículo quede fuera de control y - aún que "salte" por sobre el parapeto. En los puentes donde no hay tránsito peatonal, las veredas deben ser eliminadas y en aquellos casos en que exista o se prevea que existirá en el futuro, habrá que diseñar una vereda de ancho adecuado y una defensa cuidadosamente estudiada.

Los pilares y apoyos de los puentes correspondientes a cruces a distinto nivel deben ubicarse tan lejos como sea posible de la calzada. - Las estructuras de dos luces con apoyos en el medio del cantero central y sin pilares cerca del borde de la calzada o de la banquina, resultan a menudo tan económicas como otros diseños que presentan mayor peligrosidad.

En los caminos que poseen un cantero central angosto pueden resultar preferibles las estructuras de una sola luz, siempre que los pilares o apoyos del puente dejen entre ellos y el borde

de la calzada una zona libre de recuperación de 9 m. como mínimo. Donde esto no sea posible, será esencial el proyectar adecuadas defensas o barreras de seguridad para protec--ción de tales pilares. o apoyos.

3.2.10. Mantenimiento de las obras

Un camino bien proyectado y construído brindará al usuario altos dividendos en lo que hace a comodidad de conducción y seguridad. Todos estos beneficios se perderán, sin embargo, si no se planifica y ejecuta un adecuado programa de mantenimiento.

Los diversos elementos que configuran el proyecto de un camino no constituyen elementos aislados e independientes sino que, por el contrario, forman, todos juntos, un sistema: el camino. -- Cuando una parte no funciona, el sistema entero resulta deficiente.

Las señalizaciones vertical y horizontal deben, por ejemplo, ser permanentemente vigiladas para mantenerlas en condiciones legibles si se quiere que ellas cumplan eficazmente con su misión. El pavimento, las banquetas, el sistema de iluminación, los desagües y todos los otros elementos que se combinan para constituir un camino, deben tener perfectamente programado un calendario de atención y mantenimiento de rutina y, cuando resulte necesario, un mantenimiento extraordinario.

El "costo" de cualquiera de los elementos mencionados incluye necesariamente el mantenimiento del mismo. Un intenso plan de mantenimiento, con métodos e intervalos contenidos en un "Manual de Mantenimiento", es esencial para la conservación de los caminos. La falta de mantenimiento atenta seriamente contra la seguridad y es, a menudo, causa de graves accidentes.

REFERENCIAS:

- 1) Association Internationale Permanente des Congrès de la Route - XIe. Congrès-Río de Janeiro 1959-1re. Question-B-Questions générales - 3. Emplacement et conception moderne des routes-Rapport par Dr. W.Becker H.Buchhoz - H.Lorenz, etc. (Rep.Federal Alemana).
- 2) Id.id. Aménagement esthétique des routes-Rapport par S. Mehew (Gran Bretaña).
- 3) Id.id. Aménagement esthétique des routes-Rapport par Dr.Dipl. Ing. Boldizar Vaserhelyi (Hungría).
- 4) Id.id. Exigences du confort optique des routes-Rapport par M. le Cosquino de Bussy (Holanda).
- 5) Association Internationale Permanente des Congrès de la Route XII Congrès Mondial-Rome 1964-2eme section-10eme question-Problemes d'esthétique routiere-1. Adaptation de la route au paysage-2. Confort optique Rapport par H.Landgrebe - H. Lorenz etc. (Rep. Federal Alemana).
- 6) Id.id. Rapport par A. del Campo - V. Olmo, etc. - 1964 - (España).
- 7) Id.id. Rapport par A.Jouvent - P. Gaud, etc. - 1964 - (Francia)
- 8) It.id. Rapport par A. Berg - Bela Kiss, etc. - 1964 - (Hungría)
- 9) Id.id. Rapport par F. Fiorentini - 1964 - (Italia).
- 10) Id.id. Rapport par H.B.Bakker - J.F.Springer, etc. 1964 - (Holanda).
- 11) Id.id. Rapport par G. Bachmann - Ingº Dipl. 1964 (Suiza)
- 12) "Proyecto Geométrico de Carreteras modernas" - J.H.Jones - Londres - 1961.
- 13) "El Camino en tres dimensiones" - Ingº P.B. Pérez Barrios - Madrid - 1955.
- 14) Der Neuzeitliche Strassenbau - E.Neumann - Berlín - Gottiengen-Heidelberg - 1951.
- 15) Esthetic Criteria in Freeway Design - B. Pushkarew Proc. H.R.B. - EE.UU. - 1964.
- 16) A Policy on Geometric Design of Rural Higways. A.A.S.H.O. - EE.UU. - 1965.