

## 3.6 ALINEAMIENTO ALTIMÉTRICO

### 3.6.1 Rasante

Las proyecciones verticales de la línea de eje del camino generan una superficie reglada denominada cilindroide que desarrollada en un plano da lugar a la altimetría Figura 3.3 y Figura 3.4. La cota es la componente z.

La rasante de un camino es una línea que representa en un plano las cotas, elevaciones o niveles de los puntos de la línea de referencia de la calzada. Generalmente esta línea de referencia es el eje de la calzada o eje geométrico; en caminos de calzada divididas con mediana ancha es el borde interno de cada calzada, y en ramas es el borde elegido como eje de replanteo.

La rasante podría ser idealmente una línea continua trazada hábilmente a mano levantada o con la ayuda de una regla flexible, sin necesidad de responder a una expresión analítica conocida, mientras cumpla con los distintos requerimientos.

Por razones prácticas de proyecto cálculo replanteo y construcción la rasante está conformada normalmente por una serie de líneas rectas conectadas por curvas verticales de simple expresión analítica. En el proyecto de la rasante se puede distinguir a grandes rasgos dos características principales: forma y posición.

- La forma: comprende la combinación de pendientes y curvaturas, depende básicamente de la ponderación de los factores técnico-funcionales, de seguridad y estéticos.
- La posición: se refiere a la altura respecto al perfil del terreno natural depende básicamente de los factores técnicos, económicos y constructivos. La rasante puede sufrir pequeños ajustes, subiendo o bajando su posición, por razones económicas para modificar el movimiento de suelo.

### 3.6.2 Factores que influyen en el trazado de la rasante

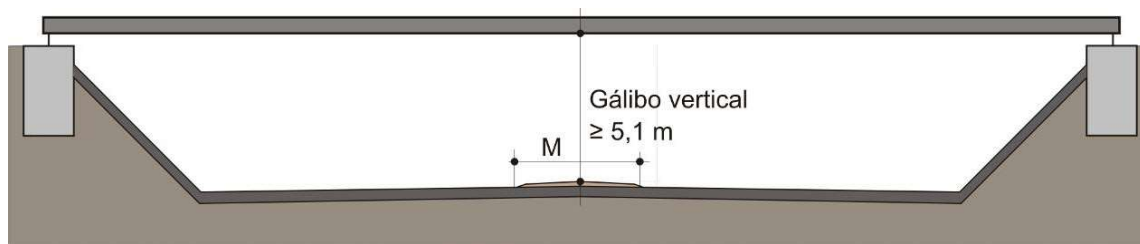
En términos generales puede decirse que a igualdad de topografía, la forma de la rasante será mas suave y tendida y su posición mas alta, cuanto mayor sea el volumen del tránsito y además su paquete estructural.

#### ***Técnico-funcionales y de seguridad***

- Tránsito-topografía:
  - Velocidad directriz
  - Distancias visuales
  - Pendientes y curvaturas
  - Comodidad
  - Coordinación planialtimétrica
- Agua:
  - Alturas mínimas sobre nivel máximo de aguas superficiales (temporaria o permanente) y subterránea [C10]
- Desagües:

- Altura mínima sobre fondo de cuneta
- Pendiente para desagüe de la calzada
- Pendiente para desagües longitudinales
- Puntos de control:
  - Intersecciones, distribuidores, separaciones de nivel, cruces viales, ferroviarios o fluviales.
  - Gálibos verticales:

Se adopta el valor de **5,1 m**, como gálibo vertical libre mínimo. El proyectista tendrá en cuenta posibles repavimentaciones que puedan disminuir el gálibo durante el periodo de servicio del camino.



- Estructuras existentes y proyectadas (puentes, viaductos, alcantarillas, túneles, viaductos, cobertizos)
- Tapada mínima y máximas de alcantarillas
- Cruces de servicios públicos aéreos y subterráneos
- Construcción
  - Espesor del pavimento
  - Espesor mínimo de las capas de suelo a compactar

Normalmente a mejores condiciones geométricas aumentan los costos de construcción y disminuyen los costos de operación, y de accidentes. El objetivo del proyectista será hallar el punto óptimo entre estas variables, basado en su experiencia y buen juicio.

### **Económicos**

En el trazado de la rasante, el proyectista demuestra su capacidad cuando reduce los costos de construcción sin detrimento de las características de la seguridad y funcionales. En pocas palabras, cuando lograda la forma general ajusta la posición en procura de los siguientes objetivos:

- Compensación transversal y longitudinal del movimiento de suelo en función de la seguridad vial (mejores taludes con mayores zonas de despeje y eliminación de barreras de seguridad especialmente en zonas de posibles accidentes: curvas horizontales con pendientes longitudinales)

- Optimización del transporte de suelos (posibles depósitos de suelo a los costados del camino en función de la seguridad vial)
- Reducción del movimiento de suelos
- Reducción de los desmontes en roca
- Reducción de la longitud de alcantarillas (jota)
- Reducción de la necesidad de barreras de seguridad
- Reducción de la altura de rasante innecesaria en procura de mejores taludes

### **Estéticos**

En consideración a los factores estéticos debe proyectarse la rasante teniendo en cuenta el alineamiento planimétrico para entender la realidad tridimensional a ser observada por el conductor: usuario del proyecto. Debe evitarse continuos quiebres del perfil altimétrico, ya sean reales o aparentes y las curvas verticales deben ser de longitudes visuales apreciables.

Son sumamente desagradables las desapariciones y apariciones del perfil, tipo montaña rusa. El ideal es que el camino vaya apareciendo en forma gradual y continua a la vista del conductor.

Un camino agradable a la vista, además de sus valores estéticos proporciona ventajas utilitarias al permitir un manejo distendido y una circulación previsible libre de sorpresas con beneficios sobre la seguridad y la capacidad del camino.

### **3.6.3 Pendientes**

En principio, un camino es simplemente un plano inclinado; uno de los inventos más elementales del hombre. La inclinación del plano del camino es un factor que influye en distintos aspectos: costos, operación, seguridad, estética. La influencia sobre la operación de los vehículos es general, pero se hace sentir más fuertemente sobre la velocidad de los camiones que sobre los vehículos livianos.

#### **Automóviles**

Generalmente, los automóviles pueden ascender fácilmente pendientes empinadas de cuatro o cinco por ciento sin pérdida apreciable de velocidad. Los estudios muestran que el funcionamiento en un tres por ciento de subida, respecto a una línea horizontal, sólo tiene un ligero efecto en las velocidades de los automóviles.

En pendientes más empinadas, se observa una disminución progresiva de la velocidad con un aumento de las pendientes. En bajadas, los autos adquieren velocidades por lo general ligeramente superiores a los tramos horizontales.

#### **Camiones**

El efecto de las pendientes en la velocidad de camiones es mucho más pronunciado que en los autos. El promedio de velocidad de camiones en tramos a nivel se aproxima a la velocidad media de los autos. Los camiones muestran hasta un cinco por ciento de aumento en la velocidad de bajadas y alrededor de un siete por ciento o más de disminución de velocidad en las subidas en comparación con la operación en zona llana.

En subidas, las velocidades máximas que pueden ser mantenidas por un camión dependen principalmente de la longitud, la pendiente y la relación peso/potencia, que es el peso bruto del vehículo, dividido por la potencia del motor; los vehículos con similar tasa peso/potencia poseen similares características de operación.

Una relación peso/potencia asegura un mínimo de velocidad de arrastre en determinada pendiente. También hay evidencias de que los coeficientes peso/energía de los camiones han mejorado en los últimos años; es decir el rendimiento de camiones mejora paulatinamente.

En [3 ANEXO], se adjuntan los gráficos de rendimiento de camiones con las siguientes relaciones de peso/potencia:

- Norma VN 80 (argentina): 180 kg/hp;150 kg/hp;90 kg/hp
- Norma Alberta (canadiense): 134 kg/hp;112 kg/hp ;90 kg/hp ;45 kg/hp

#### **3.6.4 Pendiente máxima. Longitud crítica**

Para diseñar rasantes en el Resumen de características de diseño geométrico se definen las pendientes máximas que se deben utilizar en cada categoría. El uso de las pendientes máximas deseables contribuye a establecer velocidades de operación uniformes en el nivel superior de los caminos con mayor variación de velocidad en los caminos de diseño inferior. Con todos los demás factores en pie de igualdad, esto se traduce en mayores niveles de servicio (NS) en los caminos de categorías superiores.

En sí misma, la pendiente no es un completo control de diseño, pues se requiere de su longitud para suponer la operación deseable de los vehículos. La expresión 'longitud crítica de pendiente' se usa para indicar la longitud máxima de una pendiente de subida definida sobre la cual un camión cargado puede operar sin una irrazonable reducción de la velocidad de operación.

Para una pendiente dada, las longitudes menores a las críticas resultan en una operación aceptable en el rango de las velocidades deseables. En pendientes cuyas longitudes sean más largas que las críticas, deberán hacerse modificaciones al trazado para reducir su pendiente o diseñar un carril auxiliar de ascenso.

El nivel de servicio (NS) puede ser considerablemente reducido por la elección de una pendiente máxima excedida del tres por ciento en una pendiente larga con un peso significativo en el tránsito de camiones, sobre todo cuando un carril de ascenso no está justificado en el período de vida útil de un camino de dos carriles.

Las pendientes empinadas en bajada también pueden tener un efecto adverso sobre la seguridad y capacidad de las vías con altos volúmenes de tránsito y numerosos vehículos pesados.

Los camiones que descienden por fuertes y largas pendientes con la caja de velocidades engranada a baja velocidad producen un efecto casi tan grande como en una subida equivalente.

Por lo tanto, en algunos casos, podría darse la necesidad de proyectar un carril auxiliar de bajada para el descenso de camiones.

La DNV indicará el camión de diseño con el valor máximo de reducción admisible de velocidad en cada proyecto.

#### *Influencia de la altura en las pendientes máximas*

Se ha establecido que a igualdad de otras condiciones, la pérdida de rendimiento de un motor al aumentar la altura sobre el nivel del mar, se debe al descenso de la presión barométrica. Esta falta de presión origina mezclas pobres en oxígeno, provocando una pérdida de potencia efectiva.

Desde el punto de vista del proyecto, esta pérdida de potencia puede preverse diseñando con pendientes menores a las máximas absolutas en la medida de las posibilidades técnicas-económicas.

### **3.6.5 Pendientes mínimas**

Un proyecto puede requerir pendientes longitudinales mínimas en los siguientes casos:

#### ***Caminos rurales***

La pendiente nula sobre caminos rurales sin cordones se considera aceptable siempre que la superficie de calzada tenga el bombeo adecuado para drenar lateralmente la superficie.

Un bombeo del 2% es el estándar para los caminos pavimentados y 3% para las superficies de grava. El drenaje superficial se genera por la composición vectorial del bombeo y la pendiente longitudinal.

En las cunetas y puentes siempre se requiere alguna pendiente longitudinal para asegurar un buen drenaje; se recomienda  $\geq 0,5\%$ .

En los casos de curvas peraltadas de calzadas divididas con angosto separador central con barrera tipo *New Jersey*, el agua de lluvia caída en la parte externa de la curva es interceptada por el zócalo de la barrera que a los efectos del desagüe se comporta como un cordón que requiere una pendiente mínima.

En caminos con calzada separada y mediana deprimida, el desagüe central puede requerir la inclinación de la rasante, si es insuficiente la pendiente lograda con la inclinación de los taludes interiores en la mediana.

#### ***Caminos urbanos***

En pavimentos con cordones donde el drenaje es adyacente a los carriles básicos, las pendientes longitudinales deben proyectarse para eliminar la acumulación de agua sobre el pavimento.

Una mínima pendiente para el caso habitual es de 0,5%, pero un mínimo absoluto del 0,4% puede utilizarse cuando el pavimento de superficie es ejecutado con precisión y buenas condiciones de soporte.

La Tabla 3.12 da el nivel mínimo de pendientes longitudinales de caminos y cunetas en todas las clases de caminos.

Tabla 3.12. Pendientes mínimas

Tipo de camino	Pendientes mínimas	
	Deseable %	Absoluta %
Caminos rurales Cunetas	Pendiente longitudinal para cunetas	
	0,5	0,2
Caminos urbanos (con cordón cuneta) Superficie de camino	Pendiente longitudinal de superficie de calzada	
	0,5	0,4

### 3.6.6 Curvatura vertical

Los elementos básicos del diseño vial en altimetría son la recta, y la parábola cuadrática de eje vertical. Entre dos pendientes de la rasante se intercalan curvas verticales que suavizan el quiebre mediante el cambio gradual de la pendiente.

Por simplicidad de cálculo, en la práctica vial es generalizado el uso de la parábola cuadrática, la cual se aproxima bastante a la curva circular en los rangos usuales.

La parábola cuadrática de eje vertical es el lugar geométrico de los puntos del plano que equidistan de un punto, foco F, y de una recta, directriz D. La distancia del foco F a la directriz D es el parámetro P, cuyo valor determina el tamaño de la parábola; cuanto mayor sea, más grande y extendida será la curva.

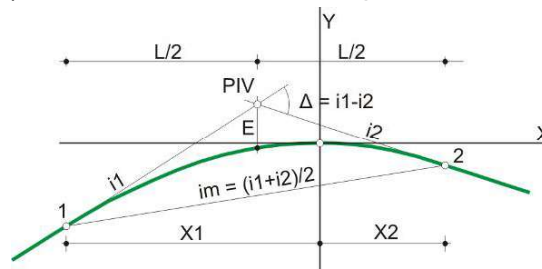
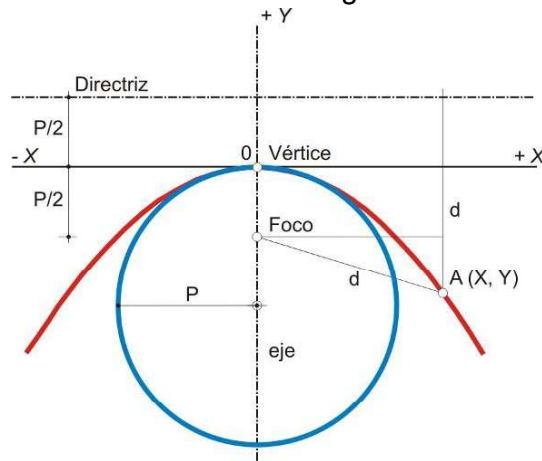
$$E(m) = \frac{L(m)(i_1 - i_2)}{800} ; i_m = \frac{(i_1 + i_2)}{2}$$

#### Elementos de la parábola cuadrática

Con centro de coordenadas en el vértice (punto donde la parábola corta el eje), la ecuación de la parábola es:

Por lo tanto:

$$y = \frac{x^2}{2P}$$



$$y' = i = \frac{x}{P}; i_1 = \frac{x_1}{P}; i_2 = \frac{x_2}{P}; \text{ y } L(m) = x_1(m) + x_2(m) = P(i_1 - i_2)$$

$$L(m) = P(m) \Delta i \left( \frac{m}{m} \right)$$

Para cualquier arco,  $\Delta i = i_1 - i_2$  y se denomina diferencia algebraica de pendientes; según sea positiva o negativa la curva es convexa o cóncava. Multiplicando y dividiendo por 100% resulta:

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

El valor  $K (m/\%)$  se define numéricamente como  $P (m)/100$ . P. ej., si  $P = 4500 m$ , el valor  $K$  es  $45 m/\%$

### **Propiedad de la parábola cuadrática**

Desde el punto de vista vial resulta muy práctica la propiedad: el punto de intersección PIV de las tangentes extremas de cualquier arco de curva equidista de las verticales trazadas por los puntos extremos del arco.

Como en el diseño de la rasante las líneas inclinadas se miden por su proyección horizontal, una vez establecido el PIV y elegida  $L$ , basta sumar y restar  $L/2$  a la progresiva del PIV para tener las progresivas de los extremos de  $L$ . El arco de circunferencia no cumple esta propiedad.

### **Curvatura de la parábola cuadrática**

El parámetro de la parábola cuadrática de eje vertical es el radio del círculo osculador en el vértice de la parábola, y su inversa es la curvatura en ese punto.

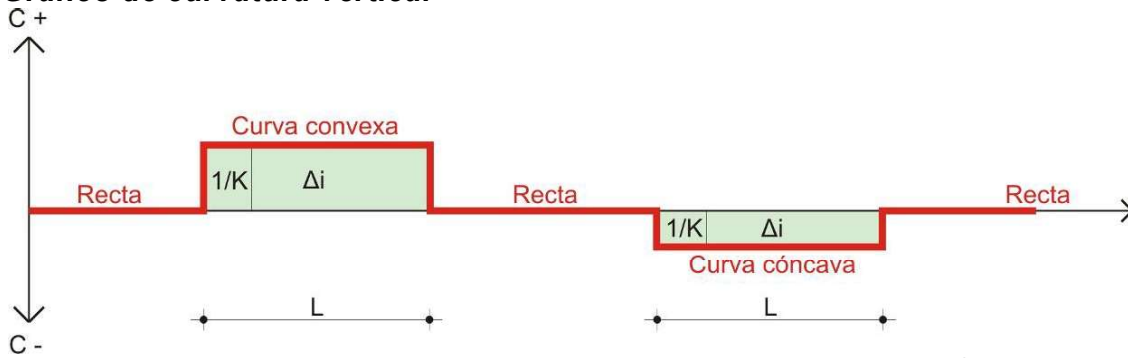
$$y'' = \frac{1}{P} = \text{constante} = C$$

Las curvas verticales empleadas en la práctica vial tienen radios de curvatura mucho más grandes que los radios correspondientes al diseño planimétrico, por lo que la curvatura, y la aceleración centrífuga vertical, son pequeñas. En el rango de la práctica vial no hay una variación importante entre los radios de curvatura correspondientes al vértice de la parábola y al punto más alejado del vértice. Si en la definición de curvatura media de un arco, en lugar de medir el ángulo de las tangentes extremas en radianes se lo mide como diferencia de las pendientes  $i_1$  e  $i_2$  en % y la longitud del arco se mide como su proyección sobre la horizontal, la curvatura media sería:

$$C_m = \frac{\Delta i (\%)}{L(m)} = \frac{1}{K \left( \frac{m}{\%} \right)} = \frac{1}{K} \left( \frac{\%}{m} \right)$$

Tal artificio muestra que, la curvatura de la parábola cuadrática es constante.

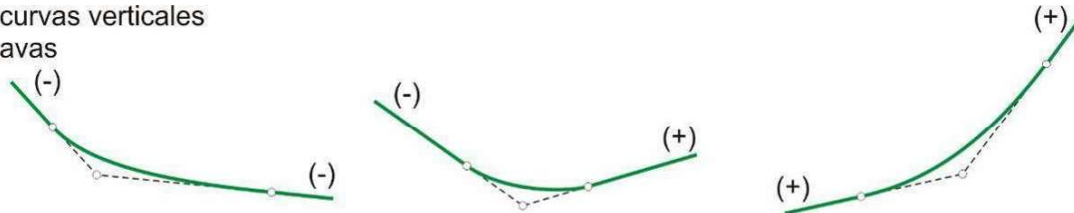
### Gráfico de curvatura vertical



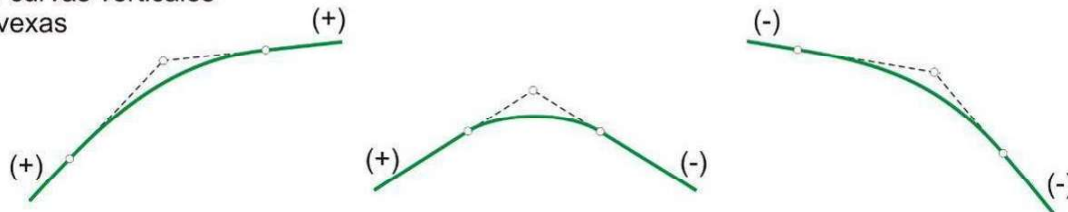
En coordenadas cartesianas ortogonales, se representa la curvatura  $C$  del eje altimétrico en ordenadas (+ o - según sean curvas convexas o cóncavas), en función de las progresivas en abscisas. En el gráfico de curvatura, el área encerrada por un segmento o poligonal de la línea de curvatura, las verticales extremas y el eje de las abscisas representa la diferencia algebraica de pendientes  $\Delta i$  de las rectas tangentes a la curva vertical expresada en tanto por ciento.

### 3.6.7 Curvas verticales

Con curvas verticales cóncavas



Con curvas verticales convexas



### Definición de parámetro básico

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

### Criterios de longitudes mínimas

Los criterios que afectan la curvatura de la rasante son:

- Seguridad de operación (DVD)
- Apariencia estética de la rasante ( $L \geq V$ )
- Comodidad de los viajeros (Aceleración centrífuga vertical)
- Drenaje superficial ( $i \geq 0,35\%$  a 15 m del vértice)



Los criterios de comodidad de los viajeros y drenaje superficial generan parámetros superiores a los parámetros de los otros dos criterios. Para cada velocidad directriz se determinan los  $K$  (m/%) mínimos que satisfagan los siguientes criterios:

- Seguridad de operación (DVD)
- Apariencia estética de la rasante ( $L \geq V$ )

### **Longitudes mínimas de curvas verticales convexas y cóncavas**

La mayor de las  $L_{mín}$  siguientes:

- **Seguridad de operación**  
Para cualquier  $\Delta i$  (%) e  $i_m$  (%):

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

$F_{im}$ : factor de corrección por  $i_m$ , Tabla 3.13 (convexas) y Tabla 3.14 (cóncavas).

- **Apariencia estética de la rasante**  
Para que la curva vertical parezca una curva y no un quiebre se adopta la ecuación empírica y subjetiva:

$$L_{mín} (m) = V (km/h)$$

- **$K$  mínimo**  
Independientemente de  $V$  se adopta  $K \geq 4$  m/% :

### **Diferencias algebraicas de pendientes que no requieren curvas verticales**

Los valores máximos de  $\Delta i$  (%) para los cuales no es necesario introducir curvas verticales en quiebres convexas o cóncavos son:

- Para  $V \geq 80$  km/h :  $\Delta i(\%) \leq \frac{40}{V}$
- Para  $V < 80$  km/h :  $\Delta i(\%) \leq 0,5$

### **Modelo AASTHO – Alturas DNV**

Para el cálculo, se adoptaron los siguientes valores:

- Altura ojos ;  $h_1 = 1,1$  m
- Altura faros delanteros:  $h_1 = 0,6$  m
- Altura objeto:
  - Operación diurna:  $h_2 = 0,3$  m (abs) /  $0,15$  m (normal) /  $0$  m (deseable)
  - Operación nocturna:  $h_2 = 0,6$  m (altura faros traseros)
- Altura vehículo =  $1,3$  m
- Ángulo del haz luminoso sobre el eje longitudinal  $\alpha = 1^\circ$

### 3.6.8 Curvas verticales convexas

#### Valor Kbásico para DVD ( $im \leq 2\%$ )

- **Operación diurna**

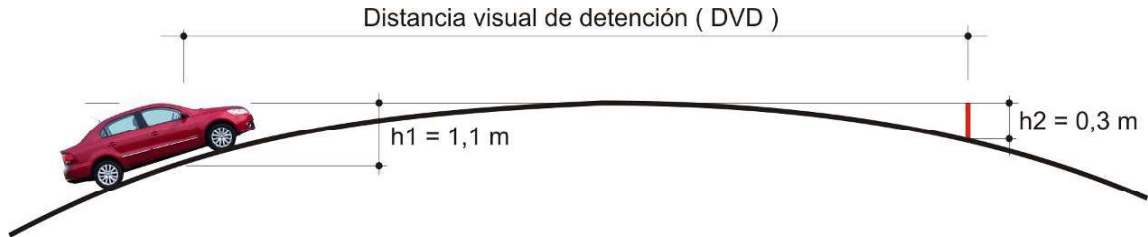


Figura 3.30

$$K = \frac{DVD^2}{100[\sqrt{2h1} + \sqrt{2h2}]^2} = CA \times DVD^2$$

$$CA: \text{Coeficiente de alturas de curvas convexas} = \frac{1}{100[\sqrt{2h1} + \sqrt{2h2}]^2}$$

h1	h2	CA <sup>-1</sup>	Visibilidad mínima
1,1	0,3	510	Absoluta
1,1	0,15	410	Normal
1,1	0	220	Deseable

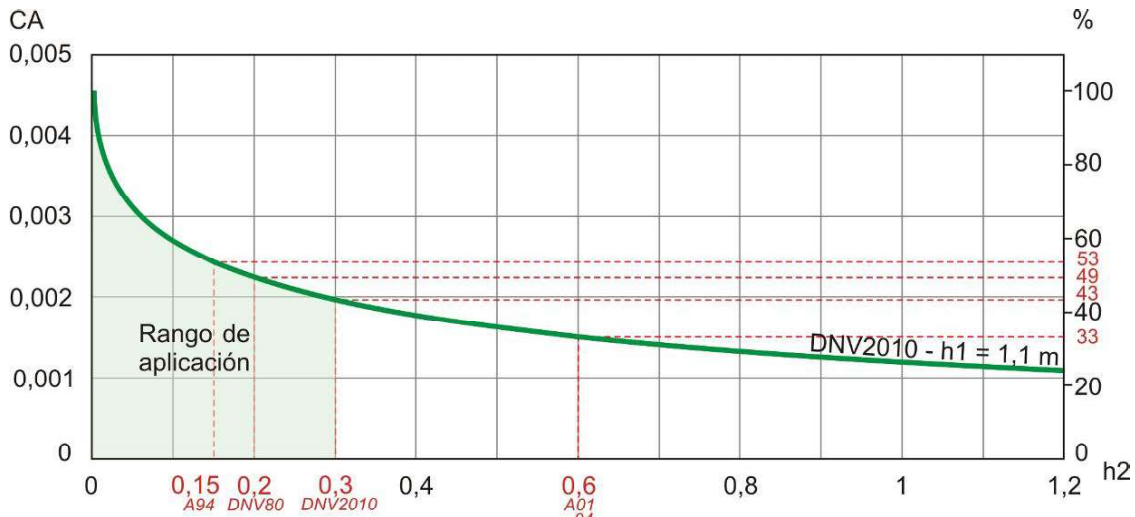
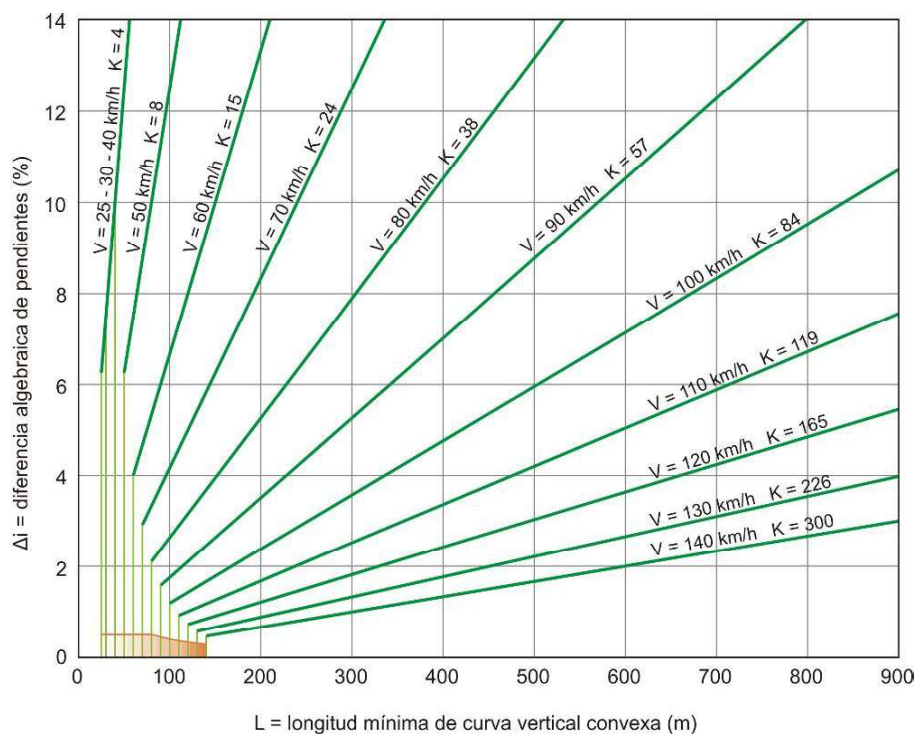


Figura 3.31 Coeficiente de alturas en función de la altura h2

- **Operación nocturna**

La visibilidad nocturna con  $h1 = 0,6$  m (altura de los faros delanteros) y  $h2 = 0,6$  m (altura de los faros traseros) es similar a la visibilidad diurna con  $h1 = 1,1$  m y  $h2 = 0,3$  m. Para el cálculo se adopta la *operación diurna*

**Gráfico de longitudes mínimas de curvas convexas**



- Seguridad de operación
- Apariencia estética de la rasante
- Diferencia algebraica de pendientes que no exigen curva vertical

Figura 3.32 Longitudes mínimas de curvas verticales convexas, para  $i_m \leq 2\%$

Tabla 3.13 Factores (Fim) para aplicar al Kbásico en función de la V e  $i_m$  en bajada

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

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

### Valor Kbásico para DVA

El Artículo 48 j) de la Ley Nacional de Tránsito y Seguridad Vial N° 24449 prohíbe el adelantamiento en zonas peligrosas (curvas horizontales y verticales, encrucijadas, puentes, etc.)

En esta norma se omite el cálculo de las DVA indicadas en las Tablas 10 y 13 de las NDG-DNV'80.

Por si en el futuro y al respecto se enmendara la Ley, en [3 Anexo] se incluye el cálculo del valor Kbásico para DVA.

### 3.6.9 Curvas verticales cóncavas

#### Valor Kbásico para DVD ( $im \leq 2\%$ )

- **Operación diurna**

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

- **Operación nocturna**

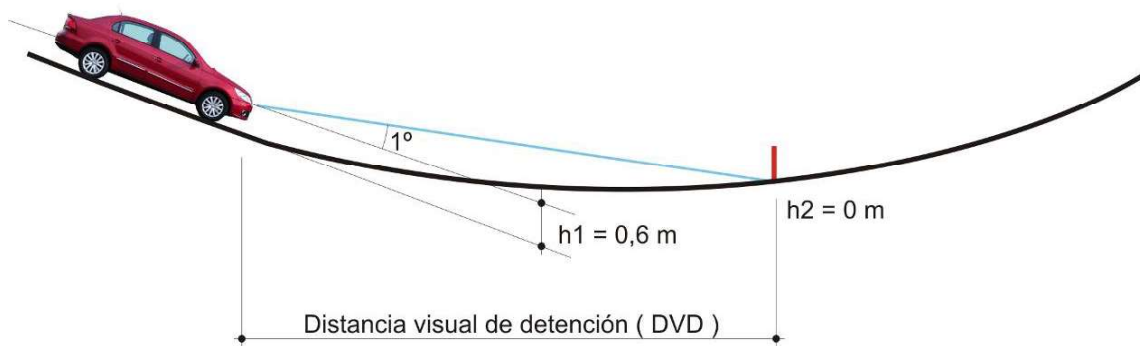


Figura 3.33

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

- $h1 = 0,6 \text{ m}$  (Altura faros delanteros)

$$K = \frac{DVD^2}{120 + 3,5DVD}$$

**Gráficos de longitudes mínimas para curvas cóncavas**

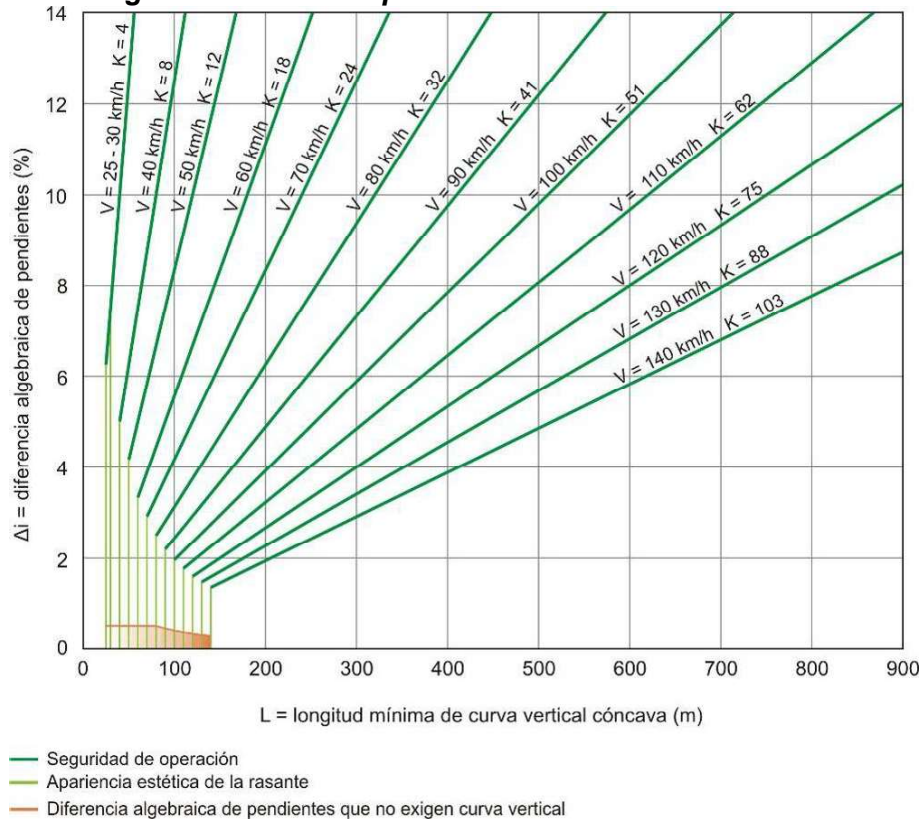


Figura 3.34 Longitudes mínimas de curvas verticales cóncavas para  $im \leq 2\%$

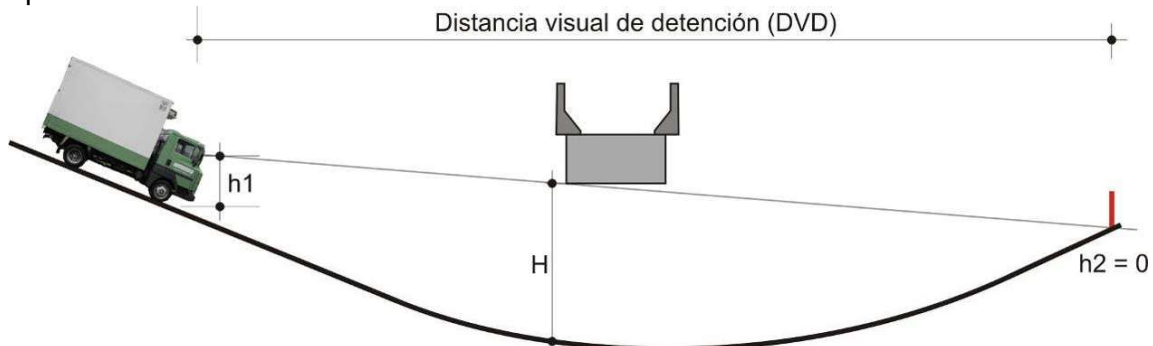
Tabla 3.14 Factores (Fim) para aplicar al  $L_{mín}$  en función de V y la im en bajada

V km/h	Kbásico (m/%)	Pendiente media			
		0 - 2%	2 - 4 %	4 - 7 %	7 - 10 %
25	4	1	1	1	1
30	4	1	1,1	1,1	1,2
40	8	1	1,1	1,1	1,2
50	12	1	1,1	1,1	1,2
60	18	1	1,1	1,1	1,2
70	24	1	1,1	1,2	1,3
80	32	1	1,1	1,2	1,3
90	41	1	1,1	1,2	1,3
100	51	1	1,1	1,2	1,4
110	62	1	1,1	1,2	1,4
120	75	1	1,1	1,2	1,4
130	88	1	1,2	1,3	1,4
140	103	1	1,2	1,3	1,4

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

### Valor Kbásico para DVD bajo estructura

La visibilidad bajo estructuras en operación nocturna es más desfavorable que en operación diurna:



$$K = \frac{DVD}{800 \left( H - \frac{h_1}{2} \right)}$$

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

- $h_1 = 2,2$  m (Altura del ojo del camionero)
- $h_2 = 0$  m (Altura de objeto)
- $H = 4,5$  m (Altura mínima de la estructura)

Comprobación: en operación diurna,  $H$  tendría que ser del orden de 1,1 m para obtener  $K$  similares.

### 3.6.10 Recomendaciones generales

Como regla general, la altimetría posee sus propias recomendaciones, independientemente de los controles referidos a distancias visuales, drenajes, peraltes, etcétera. Algunos de ellos, son:

- Una altimetría con suaves cambios de pendientes, en consonancia con el tipo de camino y terreno, se debe preferir en lugar de una línea con muchos quiebres y tramos cortos. Los valores de diseño son la pendiente máxima y la longitud crítica de pendiente, pero la forma en que se ajustarán en el terreno sobre una línea continua determina la apariencia de la obra
- La montaña rusa es un tipo de perfil que debe evitarse. Tales nefastos alineamientos en general se producen en el alineamiento horizontal relativamente recto que copia el perfil del terreno natural. Ejemplos de estos perfiles son evidentes en muchos caminos. Son estéticamente desagradables y difíciles de conducir. Los ocultamientos de la rasante contribuyen negativamente en la maniobra de adelantamiento con una alta tasa de muertos y heridos graves. El conductor al decidir la maniobra de adelantamiento es engañado por la visión del camino que más allá de la depresión oculta a los vehículos opuestos. Este tipo de perfil se evita mediante el uso de alineamientos menos quebrados
- Si bien a grandes rasgos la rasante deberá conformarse a la topografía del terreno, una adaptación excesivamente ceñida con una sucesión de curvas verticales de parámetros mínimos, que impida ver longitudes apreciables de calzada delante del vehículo, no es conveniente.

- La serie de líneas onduladas, con importantes longitudes de pendientes, deben ser evaluados por el proyectista. Estos perfiles no permiten que camiones pesados funcionen a velocidades altas en general, con los consiguientes conflictos con el resto del tránsito. En pendientes largas, puede ser preferible empinar la pendiente en la base inferior y aligerar las pendientes cerca de la cima de la ascensión. Otra opción es romper la sostenida pendiente por cortos intervalos menores en lugar de una pendiente uniforme sostenida con pendiente máxima
- Cuando se deba proyectar una intersección a nivel, en correspondencia con una rasante de pendiente apreciable, es conveniente reducirla a menos de 3 %.
- En general, para garantizar una buena altimetría, se utiliza un espaciamiento de puntos de intersección (PIV) de 300 metros, con una longitud mínima de curva vertical parabólica de 120 m. Curvas parabólicas asimétricas se pueden utilizar en casos especiales para ajustarse mejor al terreno, utilizando una diferente longitud para la segunda mitad de la curva
- Deberá evitarse proyectar una curva vertical convexa de parámetro mínimo a continuación de una rasante descendente de pendiente uniforme y gran longitud, especialmente si en planimetría el alineamiento es recto
- 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 para el caso de curvas cóncavas, donde la visibilidad más amplia permite apreciar mejor el pobre aspecto de esa combinación. Estas curvas *espaldas-quebradas*, deberán reemplazarse por una sola (o por una curva vertical compuesta). Se aplica para el caso de un puente ubicado en el fondo de un valle, entre dos rasantes descendentes, cuya calzada debe ser una curva cóncava

### 3.6.11 Tabla de curvas verticales

Tabla 3.15 Valores Kbásicos para curvas verticales convexas y cóncavas (DVD y DVA)

V km/h	Detención			Adelantamiento	
	DVD m	Valor Kbásico (m/%)		DVA m	K (m/%)
		Convexa	Cóncava		Convexa
25	24	4	4	188	37
30	30	4	4	220	51
40	45	4	8	284	85
50	63	8	12	348	127
60	85	15	18	412	178
70	110	24	24	476	237
80	138	38	32	540	305
90	170	57	41	604	381
100	206	84	51	668	466
110	246	119	62	732	560
120	290	165	75	796	662
130	339	226	88	-	-
140	391	300	103	-	-