

*CAMINOS*

*I*

*- CURVAS VERTICALES -*

Ing. Federico A. Mainardi

# CURVAS VERTICALES

## *DEFINICION:*

*Es el empalme de dos tramos rectos de camino con distinta pendiente longitudinal.*

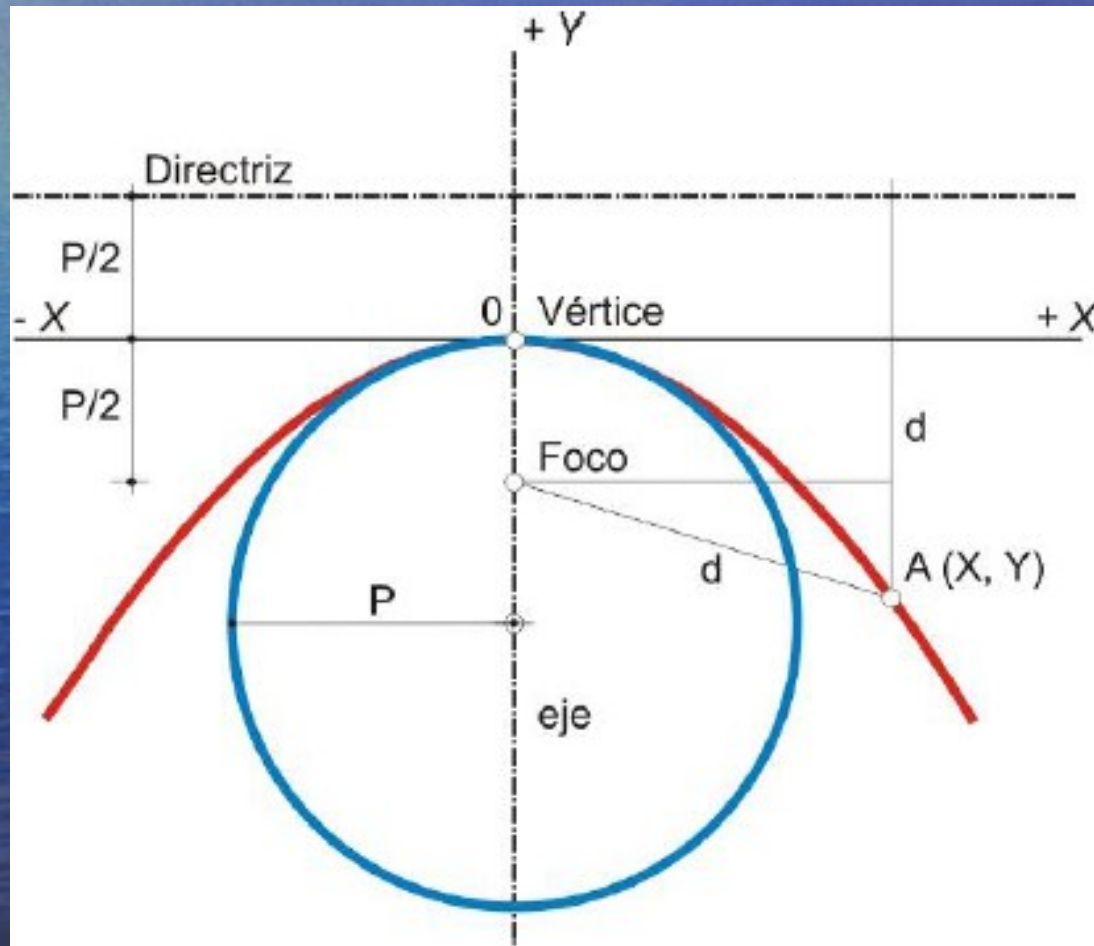
## *TIPO DE CURVA ADOPTADA:*

*PARÁBOLA*  $\rightarrow y = a x^2 + b x + c$

# CURVAS VERTICALES

## PARABOLA:

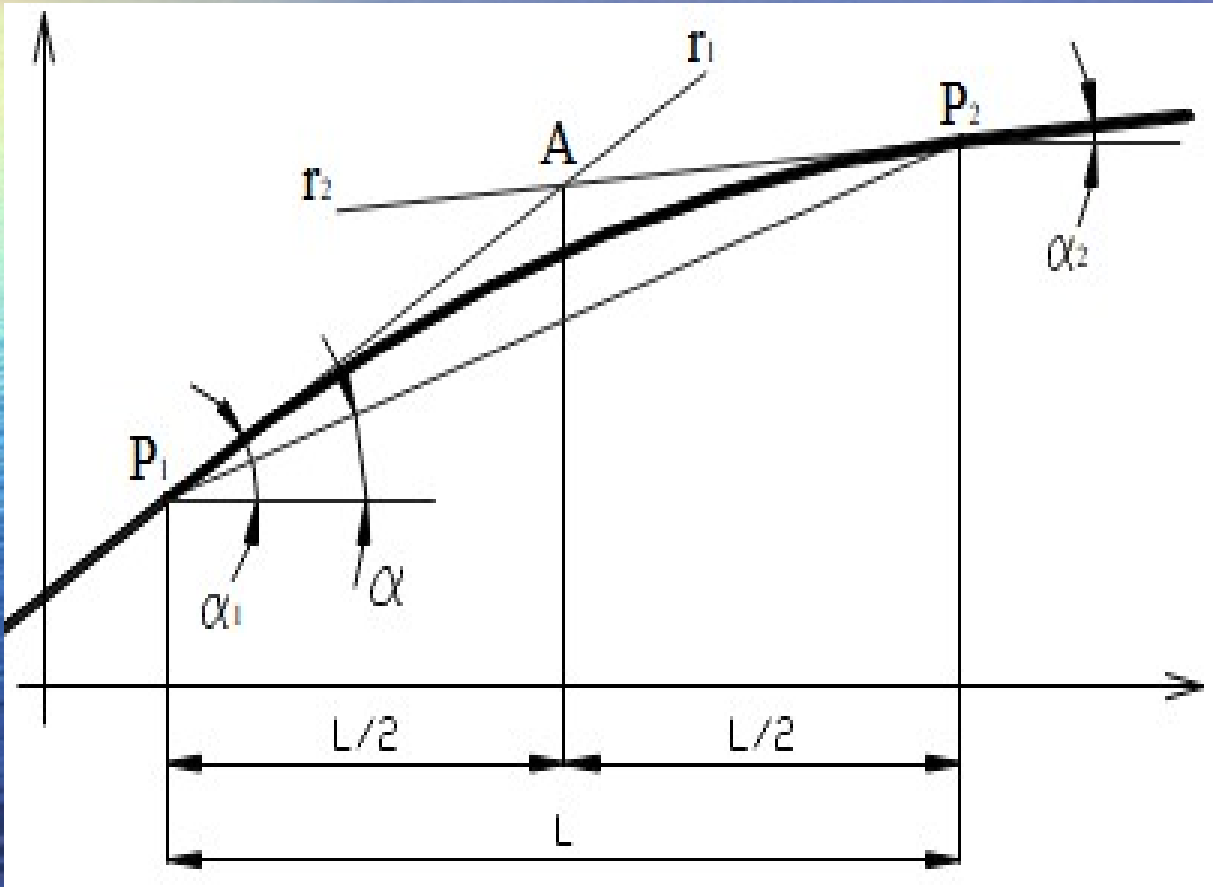
*Conjunto de puntos que equidistan de una recta "d" (directriz), y de un punto "f" (foco).-*



# CURVAS VERTICALES

*PARABOLA:*

*¿Qué significa cada término?*



$$y = ax^2 + bx + c$$

$$y = \frac{(i_2 - i_1)}{200 L} \cdot x^2 + \frac{i_1}{100} x$$

$$L = \frac{P}{100} \cdot (i_1 - i_2)$$

# CURVAS VERTICALES

## PROPIEDADES ÚTILES DE LAS PARÁBOLAS:

➤ *La variación de pendiente de la tangente a la curva es una constante.-*

$$\Delta\rho = y'' = 2a$$

➤ *En proyección horizontal, el punto de intersección de las tangentes está a media distancia entre las proyecciones de los puntos de tangencia.-*

➤ *El coeficiente angular de la recta que une dos puntos de la curva es el promedio de los coeficientes angulares de las tangentes a esos puntos.-*

# LONGITUD DE LA CURVA – CRITERIOS -

➤ SEGURIDAD (Visibilidad):

$$L = f \left( D_d ; |i_1 - i_2| \right)$$

*Distancia de Detención:*

$$D_d = V_d t_p + \frac{V_d^2}{254 (f \pm i)} \begin{cases} t_p = 2,5 \text{ seg.} \\ 0,27 \leq f \leq 0,40 \end{cases}$$

~~Criterio del Mínimo Absoluto: considera que la  $V_d$  nocturna es menor que la diurna (alrededor del 90 %).~~

Criterio del Mínimo Deseable: considera que la  $V_d$  nocturna es igual a la diurna .-

$(i_1 - i_2)_{\text{lim}} \rightarrow$  Diferencia de pendientes para la cual  $L=D_d$

$(i_1 - i_2)_{\text{min}} = \frac{(i_1 - i_2)_{\text{lim}}}{2} \rightarrow$  Diferencia de pendientes para la cual no es necesaria la curva por visibilidad.

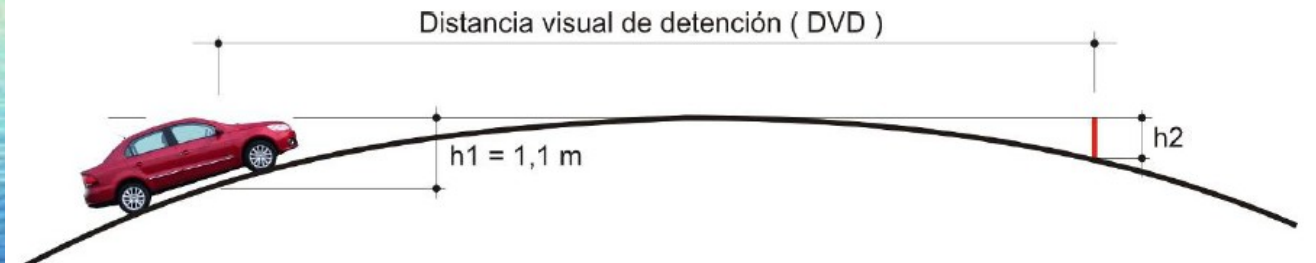
# LONGITUD DE LA CURVA – CRITERIOS -

## ➤ SEGURIDAD (Visibilidad): (Cont.)

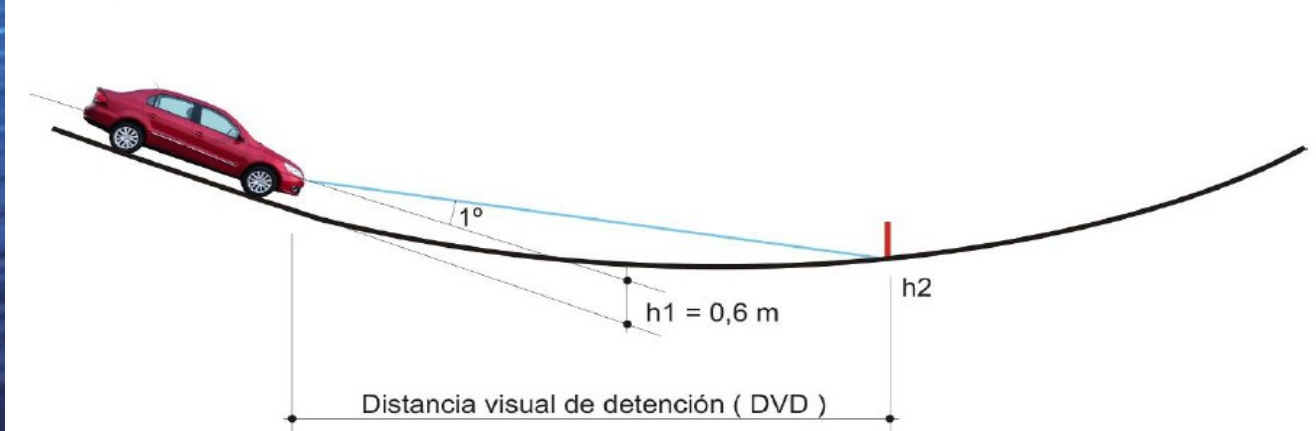
*Las condiciones de visibilidad serán distintas según:*

- *Conductor y obstáculo estén dentro de la curva parabólica o no;*
- *Si la curva es cóncava o convexa*

### • Operación diurna



### • Operación nocturna



# LONGITUD DE LA CURVA – CRITERIOS -

## ➤ SEGURIDAD (Visibilidad): (Cont.)

Las condiciones de visibilidad serán distintas según:

- Conductor y obstáculo estén dentro de la curva parabólica o no;
- Si la curva es cóncava o convexa

Curvas Convexas	Criterio de Mínimo Absoluto	Circ. diurna	$(i_1 - i_2)_{\text{lím.}} = \frac{447,6}{D_d} = 2(i_1 - i_2)_{\text{mín.}}$
		Circ. nocturna	$(i_1 - i_2)_{\text{lím.}} = \frac{314,22}{D_{dn}} = 2(i_1 - i_2)_{\text{mín.}}$
Curvas Cóncavas (Circ. nocturna)	Criterio de Mínimo Deseable	(Circ. nocturna)	$(i_1 - i_2)_{\text{lím.}} = \frac{314,22}{D_d} = 2(i_1 - i_2)_{\text{mín.}}$ <b>RECOMENDADO</b>
		Criterio de Mínimo Absoluto	$(i_2 - i_1)_{\text{lím.}} = 3,50 + \frac{130}{D_{dn}} = 2(i_2 - i_1)_{\text{mín.}}$
Curvas Cóncavas (Circ. nocturna)	Criterio de Mínimo Deseable	(Circ. nocturna)	$(i_2 - i_1)_{\text{lím.}} = 3,50 + \frac{130}{D_d} = 2(i_2 - i_1)_{\text{mín.}}$ <b>RECOMENDADO</b>

Curvas Convexas	Criterio de mínimo absoluto	Circulación diurna	$L > D_d \left\{ \begin{array}{l} P = 0,223 D_d^2 \\ L = 0,00223 D_d^2 (i_1 - i_2) \end{array} \right.$
		$V = V_d$ $h_1 = 1,10m$ $h_2 = 0,20m$	$L < D_d \left\{ \begin{array}{l} P = \frac{200 D_d}{i_1 - i_2} - \frac{447,60}{(i_1 - i_2)^2} \\ L = 2 D_d - \frac{447,6}{i_1 - i_2} \end{array} \right.$
Curvas Convexas	Criterio de mínimo deseable (Circulación nocturna)	Circulación nocturna	$L > D_d \left\{ \begin{array}{l} P = 0,32 D_{dn}^2 \\ L = 0,0032 D_{dn}^2 (i_1 - i_2) \end{array} \right.$
		$V = V_d < V_{dn}$ $h_1 = 0,65m$ $h_2 = 0,20m$	$L < D_d \left\{ \begin{array}{l} P = \frac{200 D_{dn}}{i_1 - i_2} - \frac{314,22}{(i_1 - i_2)^2} \\ L = 2 D_{dn} - \frac{314,22}{i_1 - i_2} \end{array} \right.$ <b>RECOMENDADO</b>

Curvas Cóncavas	Criterio de Mínimo Absoluto	$L < D_{dn} \left\{ \begin{array}{l} P = \left[ \frac{2 D_{dn}}{(i_2 - i_1)} - \frac{130 + 3,5 D_{dn}}{(i_2 - i_1)^2} \right] \cdot 100 \\ L = 2 D_{dn} - \frac{130 + 3,5 D_{dn}}{i_2 - i_1} \end{array} \right.$
		$V = V_d < V_{dn}$
Curvas Cóncavas (Circulación nocturna)	Criterio de Mínimo Deseable	$L < D_d \left\{ \begin{array}{l} P = \left[ \frac{2 D_d}{(i_2 - i_1)} - \frac{130 + 3,5 D_d}{(i_2 - i_1)^2} \right] \cdot 100 \\ L = 2 D_d - \frac{130 + 3,5 D_d}{i_2 - i_1} \end{array} \right.$
		$V = V_d$ $h_1 = 0,65m$

\* Formulas sacadas del apunte del Ing. Galmarini



# LONGITUD DE LA CURVA – CRITERIOS -

## ➤ COMODIDAD DE LOS OCUPANTES:

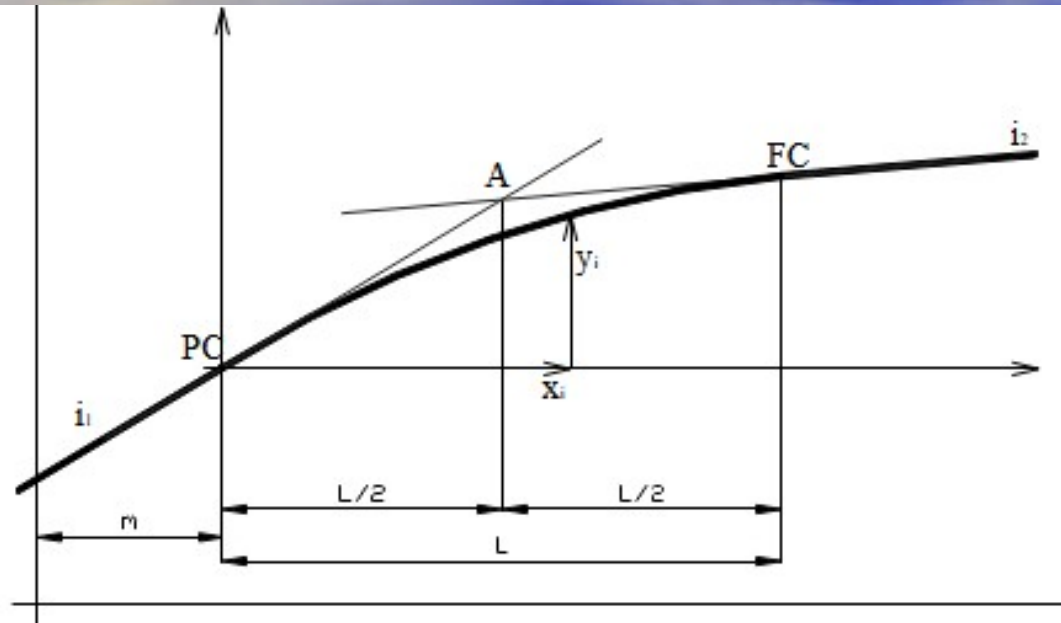
$$L_{\min} = 0,0025 \cdot V_d^2 \cdot |i_1 - i_2| \quad \rightarrow \quad a_c \simeq 0,30 \text{ m/seg}^2$$

## ➤ ÀPARIENCIA VISUAL DEL TRAZADO:

$$L_{\min} = V_d \cdot t = 0,7 \cdot V_d \quad \rightarrow \quad t \simeq 2,50 \text{ seg}$$

# REPLANTEO DE LA CURVA VERTICAL

➤ *Dados los alineamientos rectos de pendientes  $i_1$  e  $i_2$ , y conociendo la ubicación del punto de intersección de los mismos "A" (cota ; prog):*



$$\text{Prog. P.C.} = \text{Prog. A} - L/2$$

$$\text{Cota P.C.} = \text{Cota A} - i_1 \cdot L/2$$

$$\text{Prog. F.C.} = \text{Prog. A} + L/2$$

$$\text{Cota F.C.} = \text{Cota A} + i_2 \cdot L/2$$

*Tomando centro de coord.s en P.C.:*

$$y = \frac{(i_2 - i_1)}{200 L} \cdot x^2 + \frac{i_1}{100} x \quad \therefore 0 \leq x \leq L$$

<i>Sistema Coordenado con centro en P.C</i>		<i>Sistema Coordenado Global</i>	
<i>Progresiva (X)</i>	<i>Cota (Y)</i>	<i>Progresiva (X)</i>	<i>Cota (Y)</i>
$0 = \text{P.C.}$	$0$	$m$	$n$
$x_1$	$y_1$	$m + x_1$	$n + y_1$
.....	.....	.....	.....
$L/2$	$E$	$m + L/2$	$n + E$
.....	.....	.....	.....
$L$	$Y$	$m + L$	$n + Y$

## **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:

$$L_{mín} (m) = V (km/h)$$

## **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

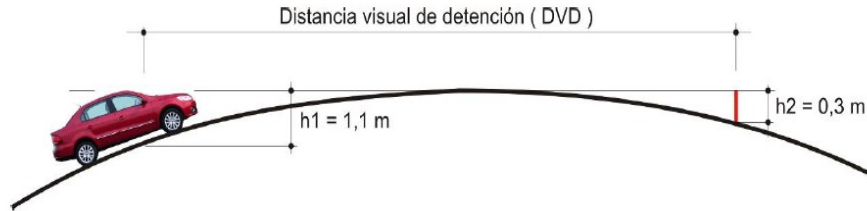


Figura 3.30

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

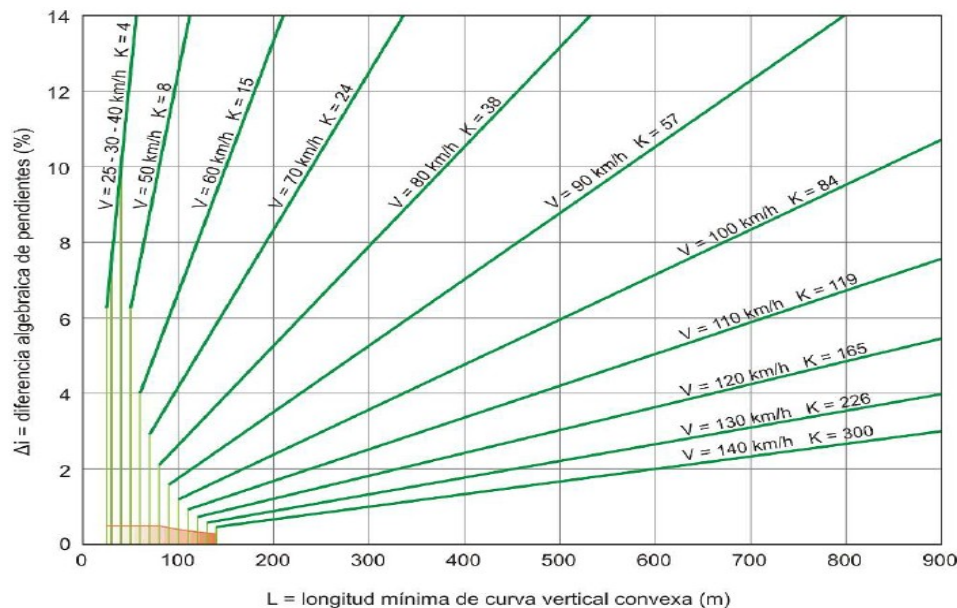
$$CA: \text{Coeficiente de alturas de curvas convexas} = \frac{1}{100[\sqrt{2h1} + \sqrt{2h2}]^2}$$

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

$$L_{mín} (m) = Kbásico \times \Delta i \times Fim$$

### Gráfico de longitudes mínimas de curvas convexas



## 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**

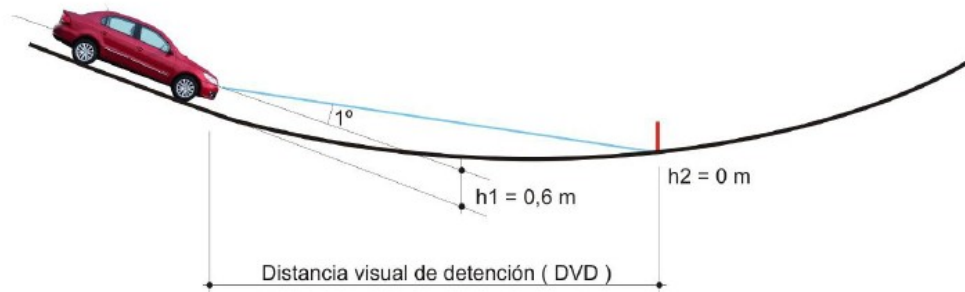


Figura 3.33

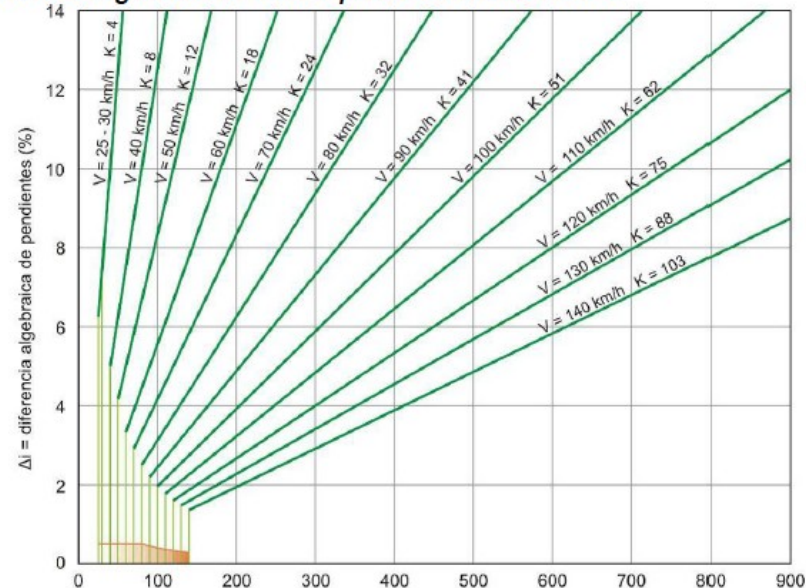
$$K = \frac{DVD^2}{200(h1 + DVD \tan 1^\circ)}$$

Tabla 3.14 Factores (Fim) para aplicar al Lmín 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

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

### Gráficos de longitudes mínimas para curvas cóncavas



L = longitud mínima de curva vertical cóncava (m)



*FIN*