

ALINEAMIENTO VERTICAL

YULIETH PEREZ HERNANDEZ

INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

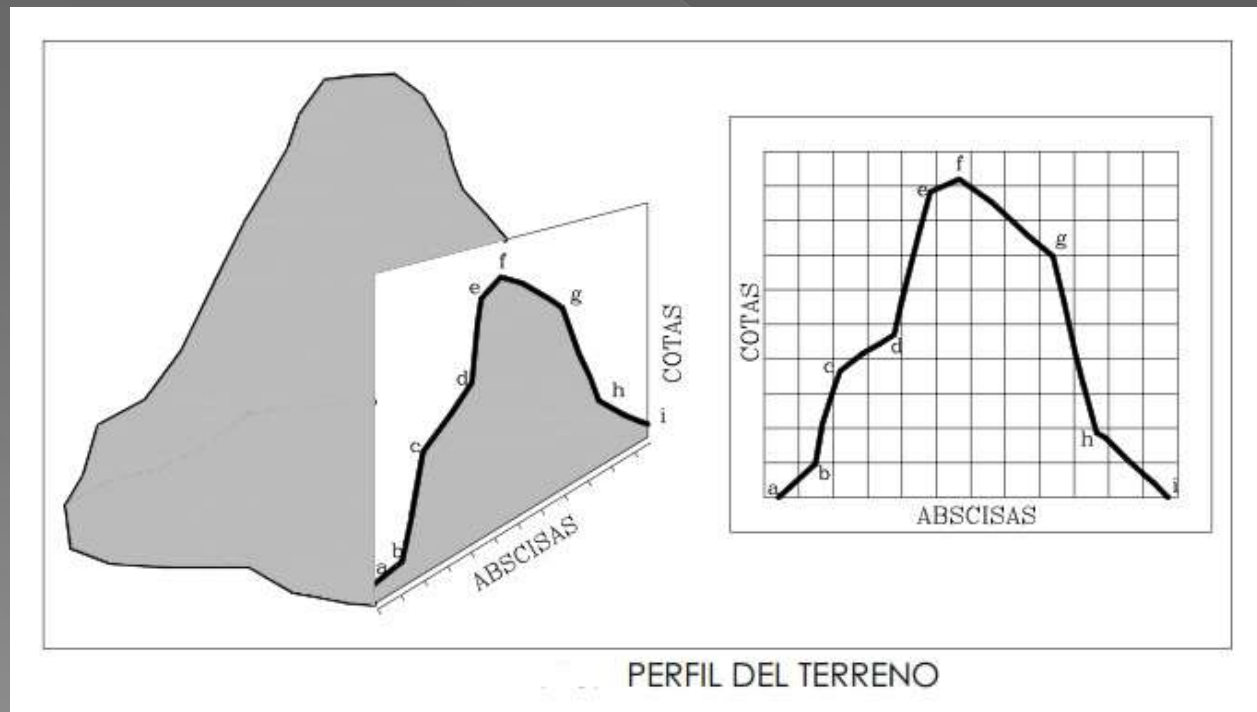
**ESPECIALISTA EN INGENIERIA DE VIAS
TERRESTRES**

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

ALINEAMIENTO VERTICAL

Es la proyección del eje real de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo, que muestra la longitud real de la vía a lo largo del eje.

Se llama Rasante o subrasante dependiendo del nivel que tenga en cuenta el diseño.



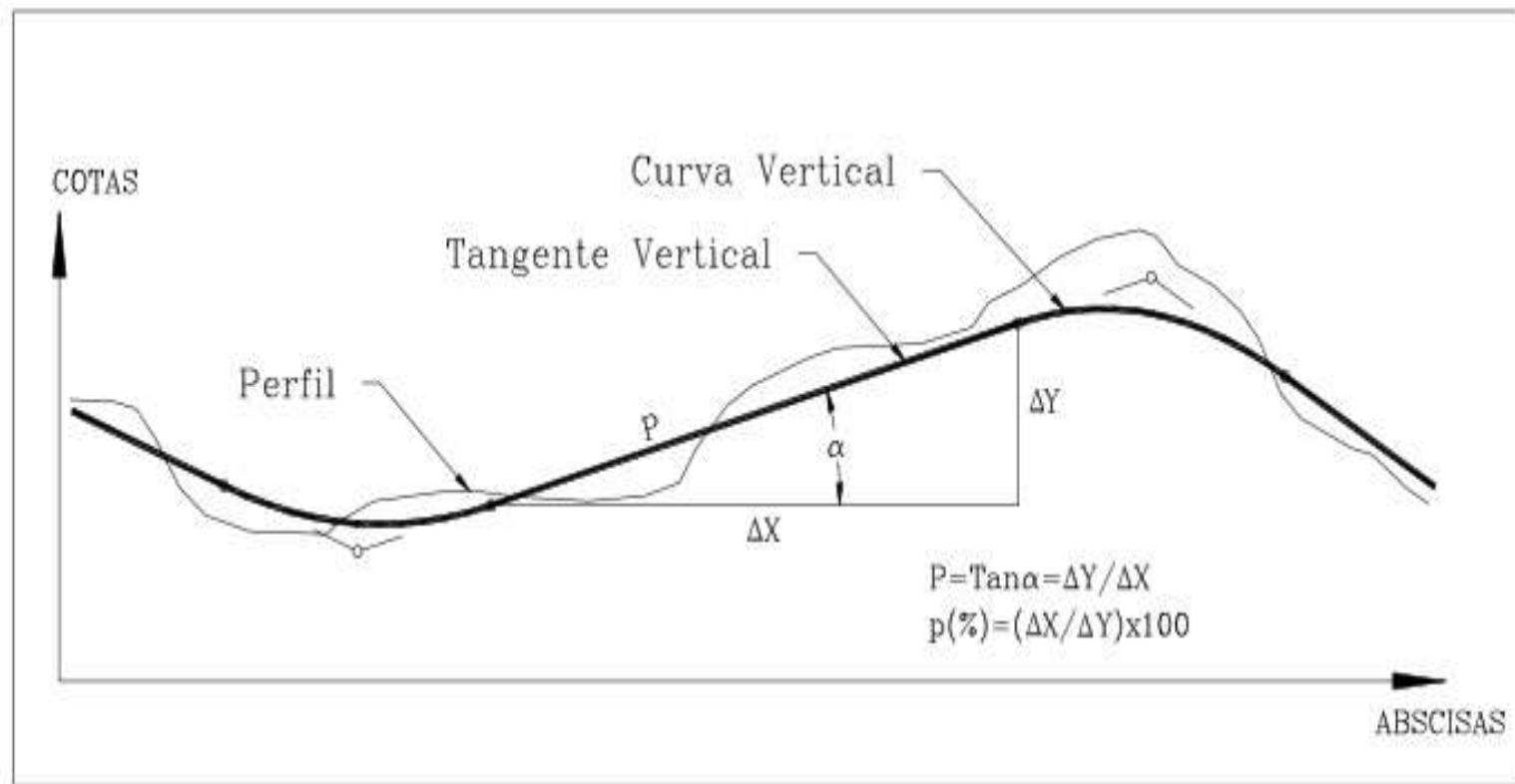
ALINEAMIENTO VERTICAL

Los parámetros de cada diseño (horizontal y vertical) deben corresponder y ser congruentes.

Los elementos del diseño vertical deben tener la misma V_e del sector en planta que coincide con el elemento vertical en estudio.

ELEMENTOS ALINEAMIENTO VERTICAL

El alineamiento vertical esta compuesto por tramos rectos denominados tangentes los cuales se encuentran enlazados entre si por curvas verticales.



ELEMENTOS ALINEAMIENTO VERTICAL

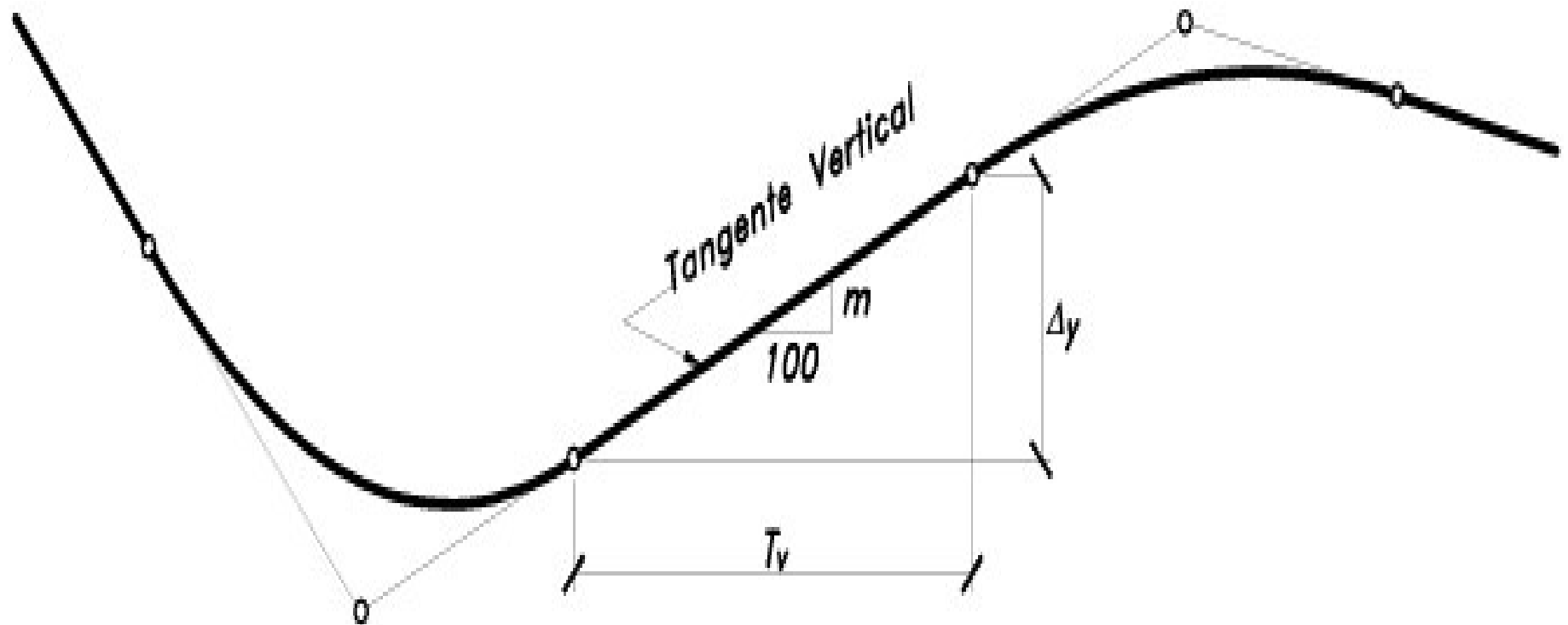
TANGENTES VERTICALES

Una tangente sobre el plano vertical se caracteriza por su longitud y su pendiente

Las tangentes están limitadas por curvas sucesivas.

$$\text{Pendiente: } m = \frac{\text{Desnivel}}{\text{Distancia horizontal}} = \frac{\Delta y}{T_v} * 100$$

TANGENTE VERTICAL



ELEMENTOS CURVA VERTICAL

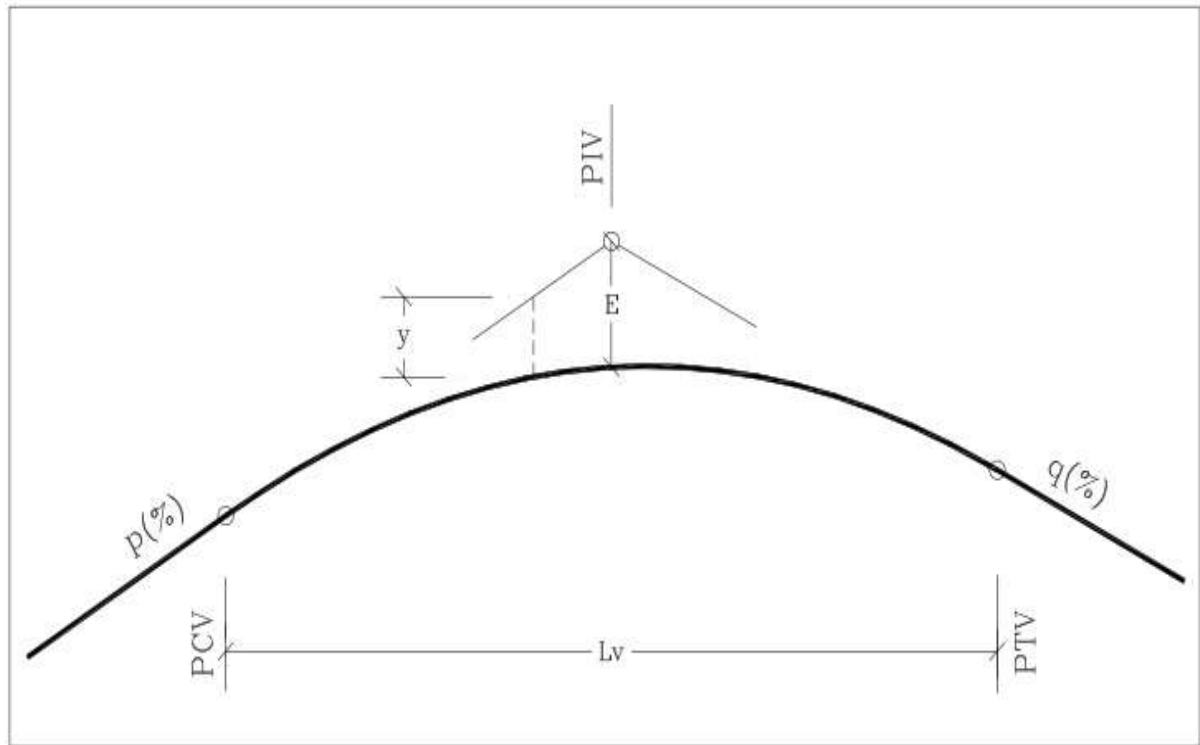


FIGURA 10.3 ELEMENTOS CURVA VERTICAL

PCV	=	Principio de curva vertical.
PIV	=	Punto de intersección vertical
PTV	=	Principio de tangente vertical. Final de la curva vertical
E	=	Externa. Distancia vertical entre el PIV y la curva.
L_v	=	Longitud de curva vertical
$p(\%)$	=	Pendiente inicial o de llegada expresada en porcentaje.
$q(\%)$	=	Pendiente final o de salida expresada en porcentaje.
y	=	Corrección vertical
A	=	Diferencia algebraica de pendientes = $q - p$

PENDIENTE MAXIMA DE LA CURVA VERTICAL

PENDIENTE MAXIMA DEL CORREDOR - FASE 1 DEL PROYECTO

Pendiente media máxima del corredor de ruta (%) en función de la velocidad de diseño del tramo homogéneo (V_{TR})

CATEGORÍA DE LA DE CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (Km/h)									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5
Primaria de una calzada	-	-	-	-	7	7	6	6	6	-
Secundaria	-	-	7	7	7	7	6	-	-	-
Terciaria	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Instituto Nacional de Vías. *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá. 2008.

PENDIENTE MAXIMA DE UNA TANGENTE VERTICAL EN PARTICULAR

Relación entre la pendiente máxima (%) en función de la velocidad específica de la tangente vertical (V_{TV})

CATEGORÍA DE LA DE CARRETERA	VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA TANGENTE VERTICAL V_{TV} (Km/h)											
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5	4	4
Primaria de una calzada	-	-	-	-	8	7	6	6	5	5	5	-
Secundaria	-	-	10	9	8	7	6	6	6	-	-	-
Terciaria	14	12	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Instituto Nacional de Vías. *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá. 2008.

LONGITUD CRÍTICA DE UNA PENDIENTE

Se define como la máxima longitud en subida sobre la cual un camión cargado puede operar sin ver reducida su velocidad por debajo de un valor establecido.

La longitud crítica es aquella que produce una reducción de 25Km/h en la Velocidad de operación de los vehículos pesados en pendientes superiores al 3% con respecto a la velocidad media de operación.

De manera practica la longitud crítica de una pendiente es la distancia horizontal medida desde el comienzo de la pendiente, necesaria para lograr una altura de 15 m respecto al origen

PENDIENTES MAXIMAS Y LONG MINIMA DE LAS TANGENTES VERTICALES

Las pendientes máximas deben emplearse cuando sean económicamente convenientes, en tramos cortos y que no se conviertan en longitudes críticas.

La longitud mínima de las Tv:

$V_e \leq 40\text{Km/h}$ $L_{\min} = 7 \text{ seg}$ a dicha velocidad, medida como proyección horizontal de PIV a PIV.

$V_e > 40\text{Km/h}$ $L_{\min} = 10 \text{ seg}$ a dicha velocidad, medida como proyección horizontal de PIV a PIV.

TANGENTE VERTICAL

Tabla 4.3 Longitud mínima de la tangente vertical

VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA TANGENTE VERTICAL V_{TV} (Km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
LONGITUD MÍNIMA DE LA TANGENTE VERTICAL (m)	40	60	80	140	170	195	225	250	280	305	335	360

Fuente: Instituto Nacional de Vías. *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá. 2008.

PENDIENTES MINIMA

Su valor se fija para facilitar el escurrimiento longitudinal de las aguas lluvias sobre la superficie de rodadura y en las cunetas, variando de acuerdo al tipo de terreno y al tipo de sección (terraplén o corte).

La pendiente mínima que garantiza el adecuado funcionamiento de las cunetas es de 0,5% como pendiente mínima deseable.

CURVAS VERTICALES

Elemento del diseño en perfil que permite el enlace de dos tangentes consecutivas tal que a lo largo de su longitud se efectúa el cambio gradual de la tangente de entrada a la pendiente de la tangente de salida, facilitando una operación vehicular segura y confortable, de apariencia agradable y que permita un drenaje adecuado.

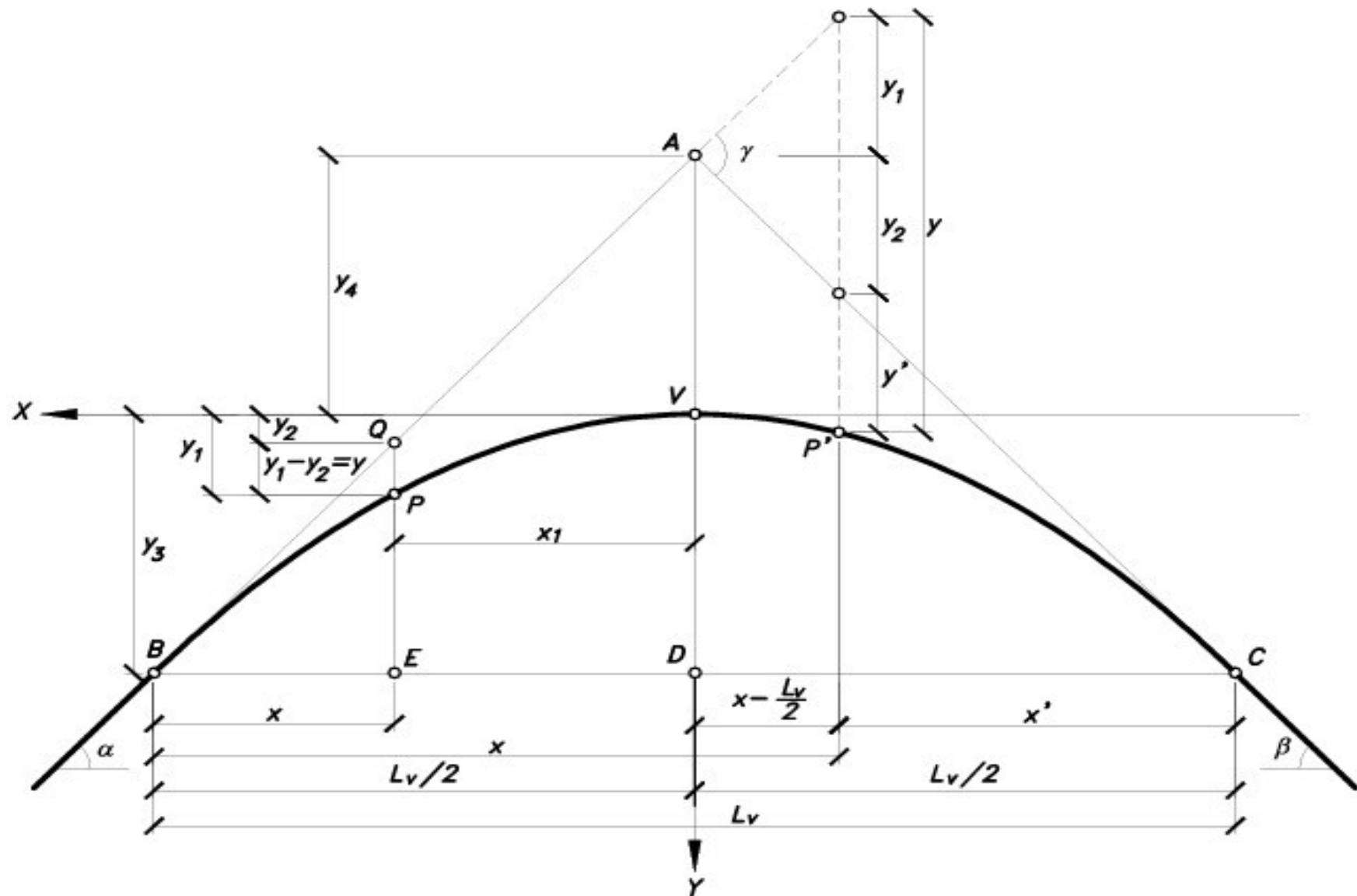
CURVA VERTICAL

La curva que permite enlazar dos tangentes consecutivas es la:

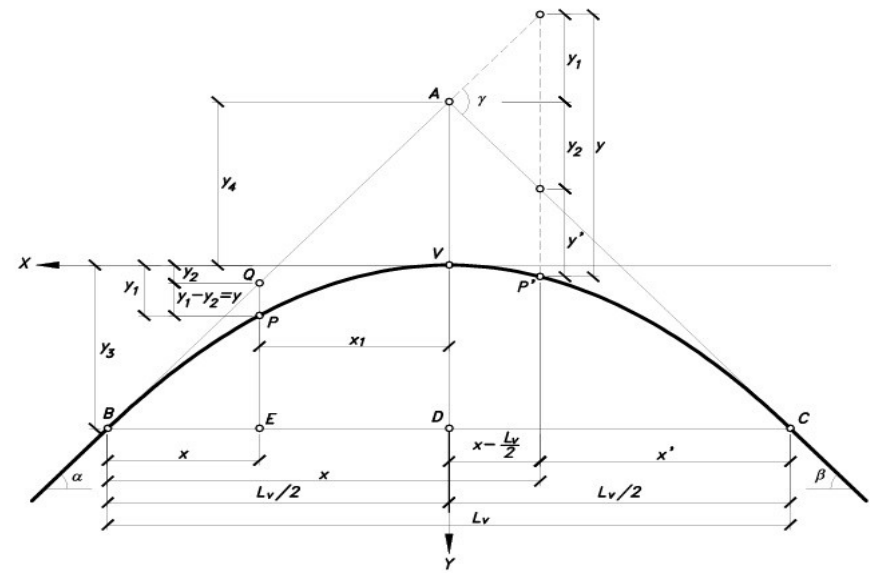
PARABOLA

- **Permite un cambio gradual.**
- **Facilita la operación vehicular.**
- **Brinda apariencia agradable.**
- **Permite adecuado drenaje.**

GEOMETRIA DE LAS CURVAS VERTICALES PARABOLICAS



GEOMETRIA DE LAS CURVAS VERTICALES PARABOLICAS



- $A = PIV$ = Punto de intersección vertical. Es el punto donde se interceptan las dos tangentes verticales.
- $B = PCV$ = Principio de curva vertical. Donde empieza la curva.
- $C = PTV$ = Principio de tangente vertical. Donde termina la curva.
- $BC = L_v$ = Longitud de la curva vertical, medida en proyección horizontal.
- $VA = E_v$ = Externa vertical. Es la distancia vertical del PIV a la curva.
- $VD = f$ = Flecha vertical.
- $P(x_1, y_1)$ = Punto sobre la curva de coordenadas (x_1, y_1) .
- $Q(x_1, y_2)$ = Punto sobre la tangente de coordenadas (x_1, y_2) , situado sobre la misma vertical de P .
- $QP = y$ = Corrección de pendiente. Desviación vertical respecto a la tangente de un punto de la curva P . Valor a calcular.
- $BE = x$ = Distancia horizontal entre el PCV y el punto P de la curva.
- α = Ángulo de pendiente de la tangente de entrada.
- β = Ángulo de pendiente de la tangente de salida.
- γ = Ángulo entre las dos tangentes. Ángulo de deflexión vertical.
- $m = \tan \alpha$ = Pendiente de la tangente de entrada.
- $n = \tan \beta$ = Pendiente de la tangente de salida.
- $i = \tan \gamma$ = Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y de salida.

CORRECCIÓN VERTICAL DE LA CURVA

$$y = E \left(\frac{x}{L_v/2} \right)^2$$

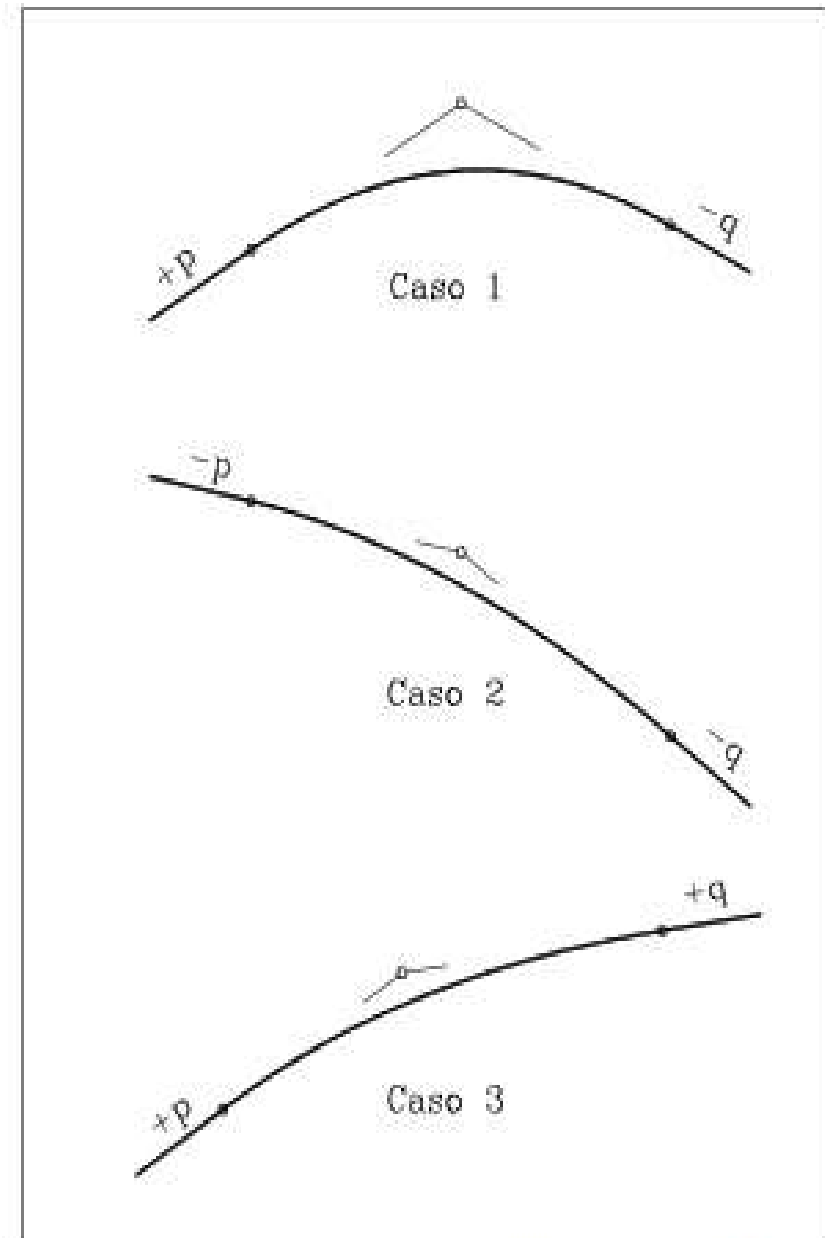
$$y = \left(\frac{i}{2L_v} \right) x^2$$

Ecuación con la cual se calcula la corrección vertical para la curva en función de la externa E y donde x corresponde a la distancia tomada desde el PCV.

TIPOS DE CURVAS VERTICALES

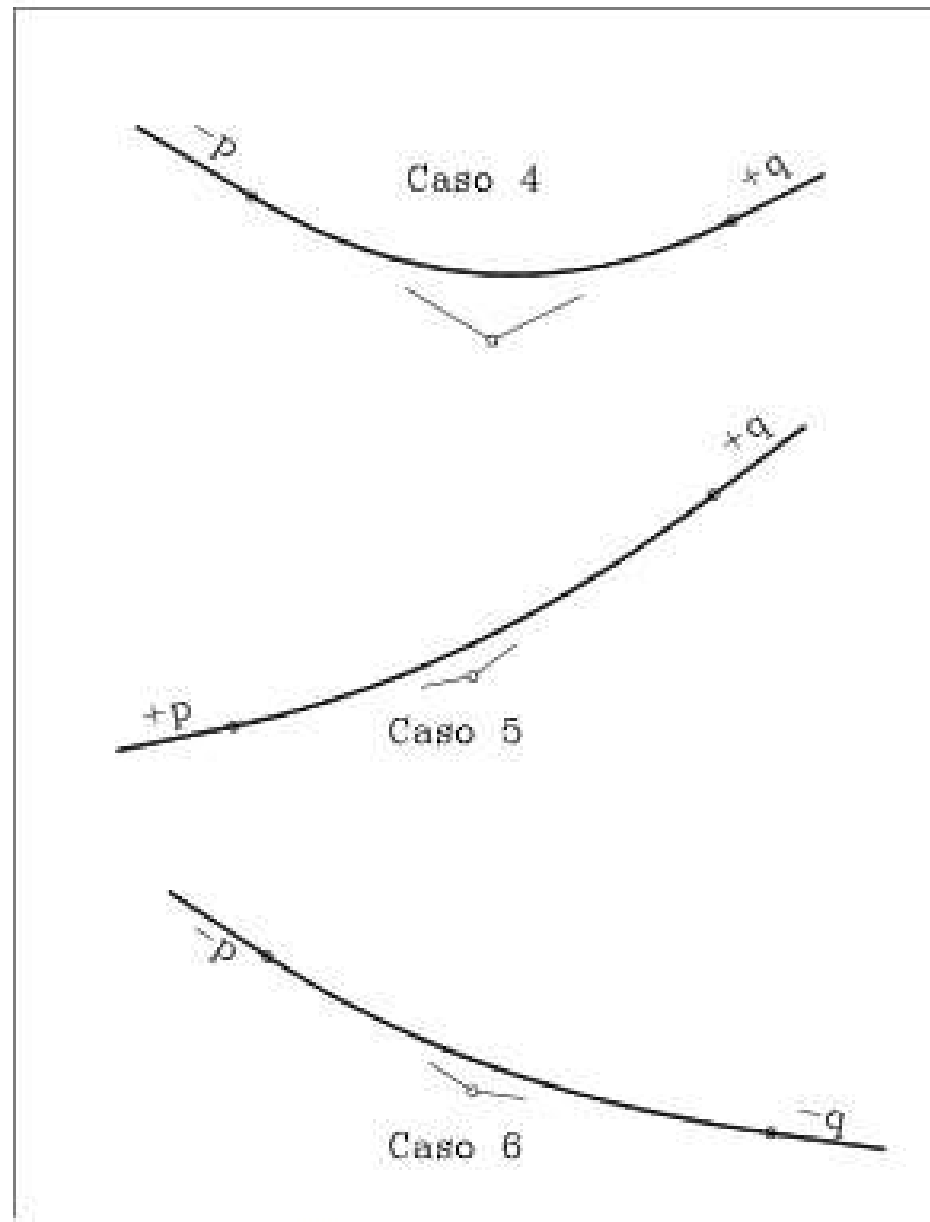
- SIMETRICAS
- ASIMETRICAS
- CONCAVAS
- CONVEXAS

CURVAS VERTICALES CONVEXAS



CURVA VERTICAL CONVEXA

CURVAS VERTICALES CONCAVA

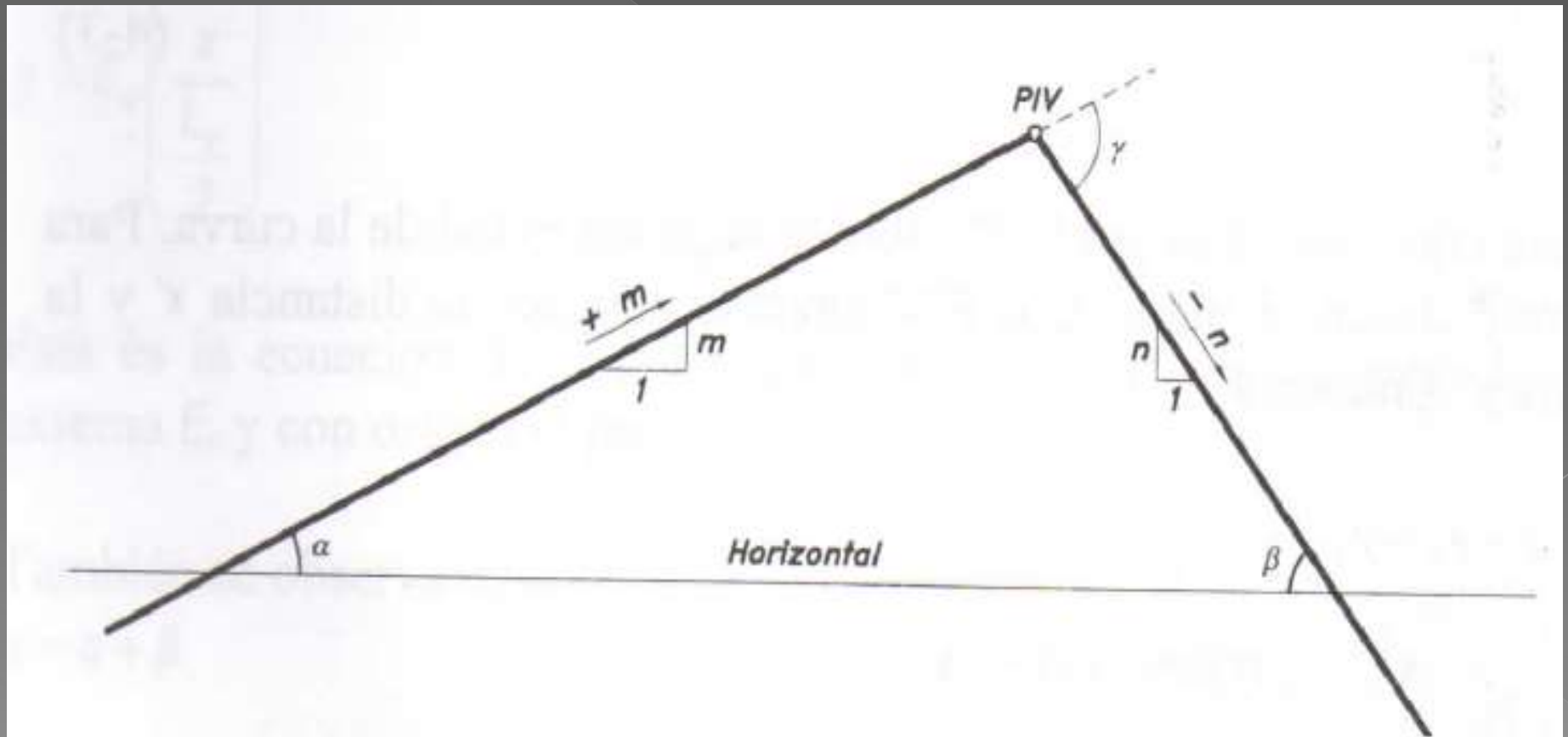


CURVA VERTICAL CÓNCAVA

DIFERENCIA ALGEBRAICA DE PENDIENTES

La diferencia algebraica entre las pendientes de entrada y de salida se denomina i

$$i = m - n$$



CURVAS VERTICALES SIMÉTRICAS

La diferencia algebraica entre las pendientes de entrada y de salida se denomina i



Caso 1

$$i = m - (-n) = m + n$$

$$i = + (m + n) > 0$$

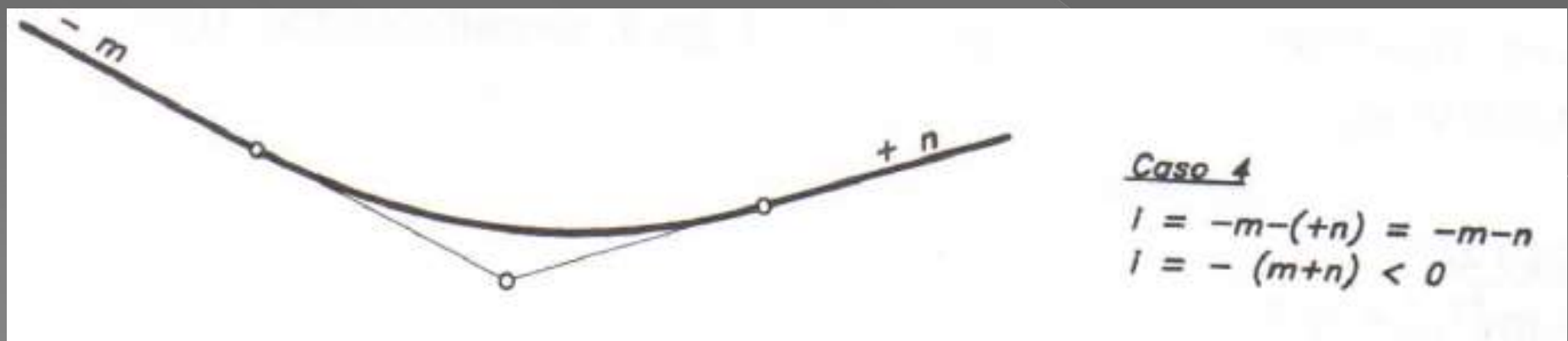


Caso 2

$$i = m - (+n) = m - n$$

$$i = + (m - n) > 0$$

CURVAS VERTICALES SIMÉTRICAS



CURVAS VERTICALES SIMÉTRICAS

La diferencia algebraica entre las pendientes de entrada y de salida se denomina i



Caso 5

$$i = -m - (-n) = -m + n$$

$$i = -(m - n) < 0$$

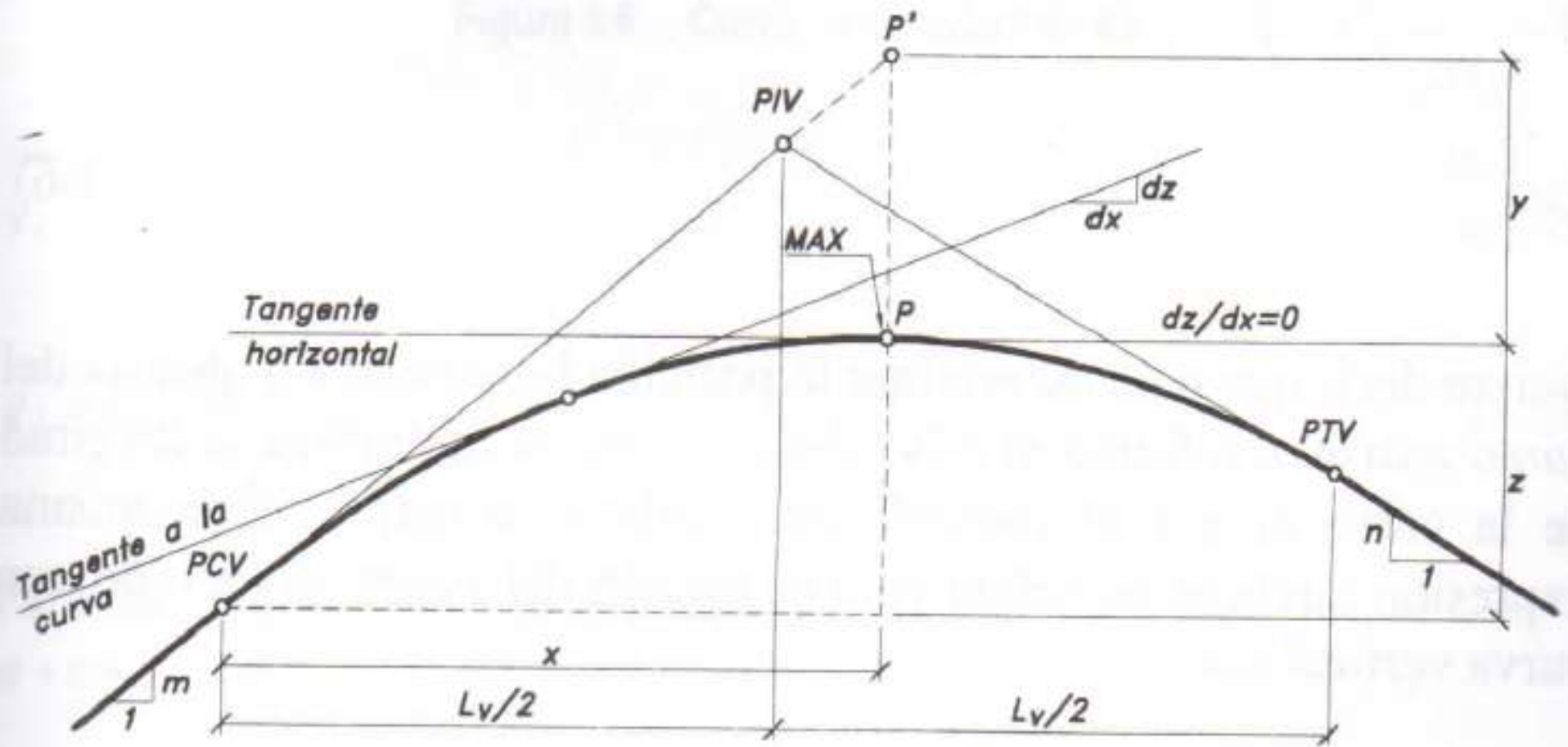


Caso 6

$$i = m - (+n) = m - n$$

$$i = -(n - m) < 0$$

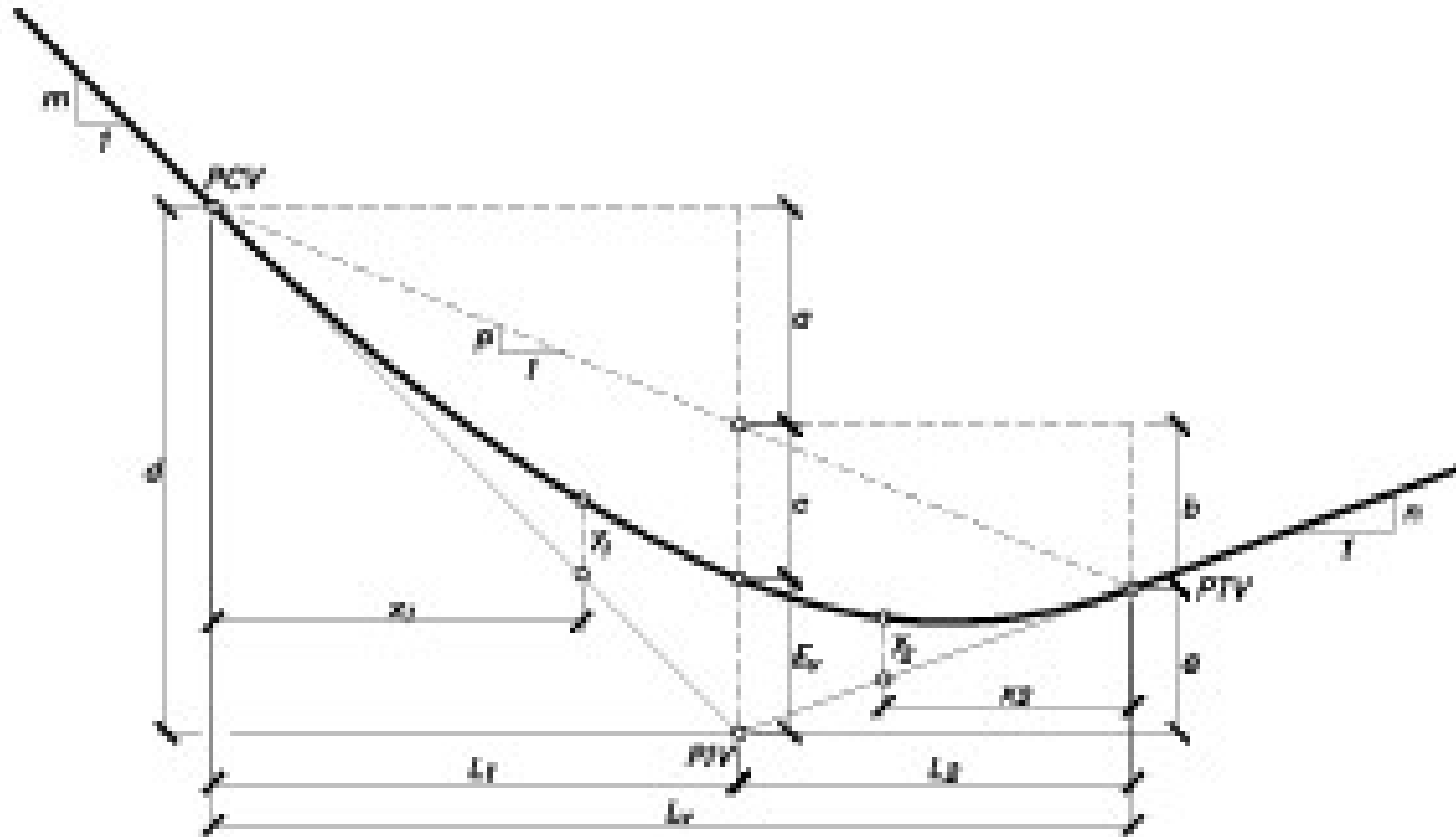
PUNTO MÁXIMO DE UNA CURVA VERTICAL SIMÉTRICA



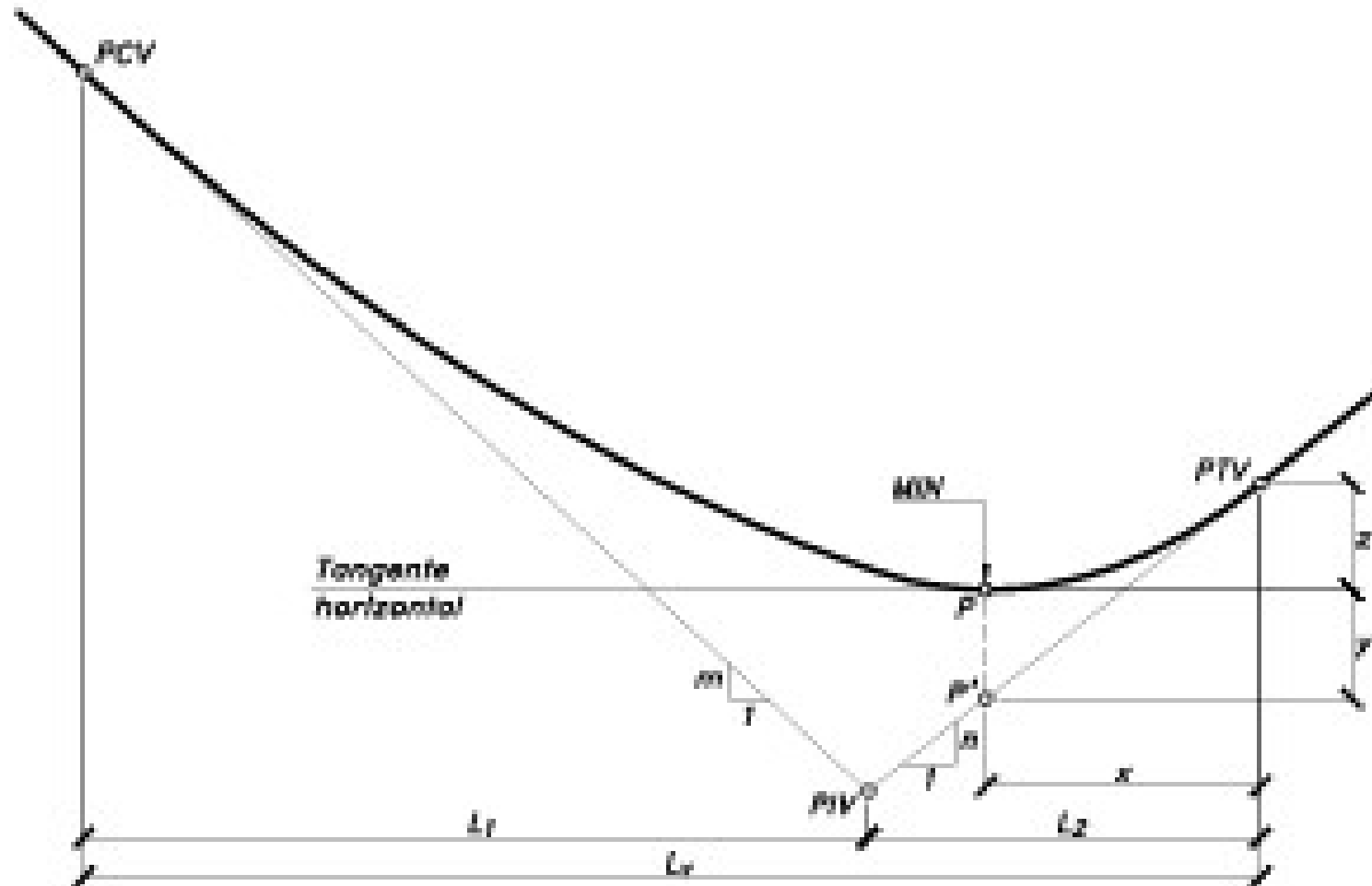
$$x = \left(\frac{m}{i} \right) L_v$$

$$\text{Cota } P = \text{Cota } PCV + mx - \left(\frac{i}{2L_v} \right) x^2$$

CURVAS VERTICALES ASIMÉTRICAS



CURVAS VERTICALES ASIMÉTRICAS



$$x = \frac{nL_2^2}{2E_v}$$

$$Cota P = Cota PTV - nx + E_v \left(\frac{x}{L_2} \right)^2$$

COEFICIENTE ANGULAR DE UNA CURVA VERTICAL

Kv: define la curvatura de la parábola como una variación de longitud por unidad de pendiente.

$$k_v = \frac{L_v}{i} \text{ (mts / \%)}$$

$$\text{Sí } i = 1\% \rightarrow k_v = L_v / 1\% \text{ (mts / \%)}$$

Entonces k_v es la distancia horizontal en metros, necesaria para que se efectúe un cambio del 1% en la pendiente de la tangente a lo largo de la curva.

VISIBILIDAD EN CARRETERAS



DISTANCIA DE VISIBILIDAD.

Longitud continua de carretera que es visible hacia adelante por el conductor de un vehículo que circula por ella.

Debe:

- Permitir a los conductores desarrollar la v_d .
- Controlar la velocidad de operación de los vehículos ante la realización de maniobras en carretera.

1. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

DISTANCIA DE VISIBILIDAD.

□ Distancia de visibilidad de parada. D_p

Distancia para que el conductor de un vehículo que circula aproximadamente a la v_d pueda detenerlo antes de llegar a un obstáculo fijo que aparezca en su trayectoria.

Es la suma de dos distancias:

- Tiempo de percepción reacción : d_{pr}
- Tiempo de frenado : d_f

DISTANCIA DE VISIBILIDAD D_p .

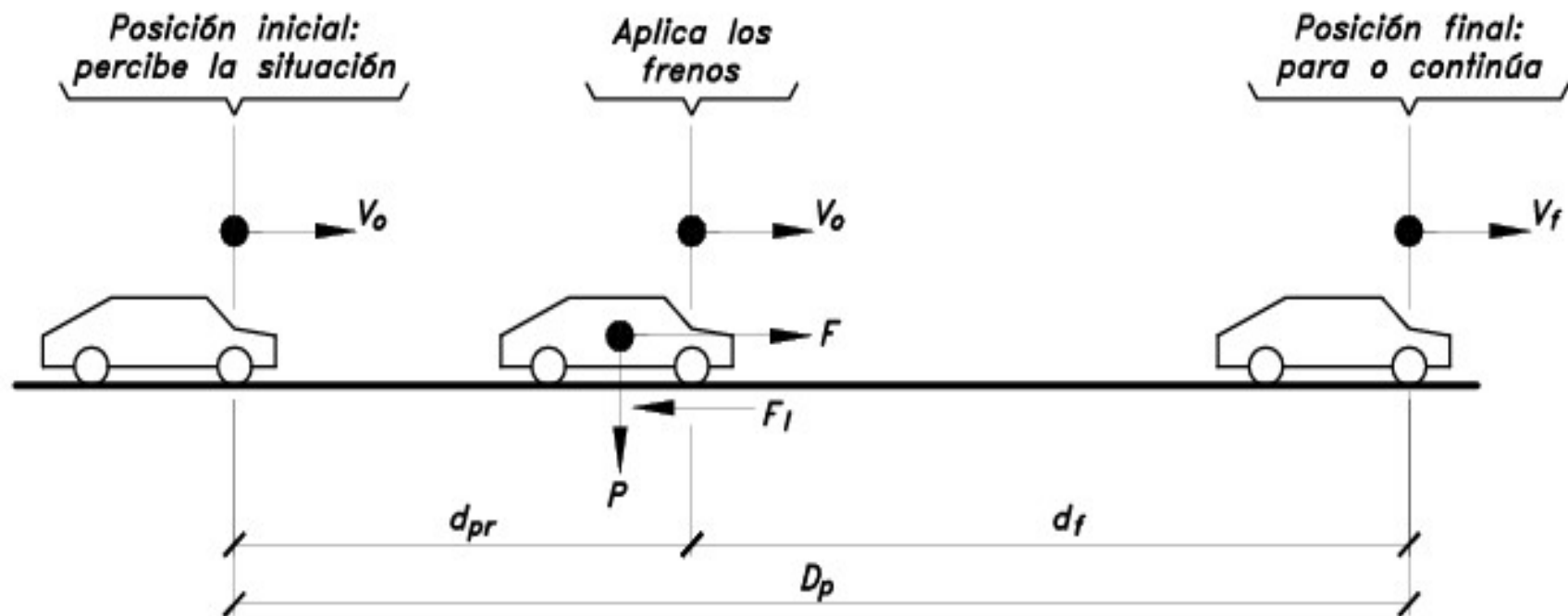
$$D_p = d_{pr} + d_f$$

d_{pr} = desde el momento que en que se hace visible el obstáculo hasta el instante en que se aplican los frenos.

d_f = desde el momento que se da la aplicación de los frenos hasta el momento en que el vehículo se detiene totalmente.

DISTANCIA DE VISIBILIDAD D_p .

$$D_p = d_{pr} + d_f$$



DISTANCIA DE VISIBILIDAD D_p .

Para d_{pr} :

- Tiempo de percepción reacción: t_{pr} :
0,5 - 4,0 seg = 2,5 seg
- $d_{pr} = V_o (t_{pr}) = V_o (2,5 \text{ seg})$

$$d_{pr} = 0,694V_o$$

para una d_{pr} en m, V_o en km/h

DISTANCIA DE VISIBILIDAD.

Para d_f :

- Tiempo de frenado: t_f
- $d_f = V_o (t_f) - (a t_f^2)/2$
- Al estar en un movimiento uniformemente desacelerado y al detenerse el vehiculo $V_f = 0$, y teniendo en cuenta la fricción longitudinal generada entre las llantas y el pavimento:
- $d_f = V_o^2/2a = V_o^2/2f_l g$
- d_f en m , V_o en km/h, $g=9,81$ m/seg²
- **$d_f = V_o^2/254f_l$**

DISTANCIA DE FRENADO

$$d_f = V_0^2 / 254 f_l$$

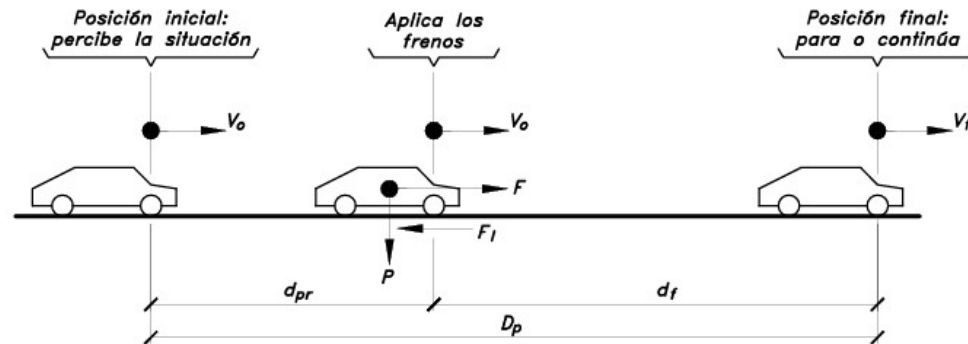
Cuando la vía sobre la cual ocurre el frenado se encuentra sobre una rasante de pendiente longitudinal p , la distancia de frenado d_f se expresa así:

$$d_f = V_0^2 / 254 (f_l \pm p)$$

p en tanto por uno, + para pendientes ascendentes, - para pendientes descendentes

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

$$D_p = d_{pr} + d_f$$



$$D_p = 0.694 V_d + \frac{V_d^2}{254(f_l \pm p)} = 0.694 V_e + \frac{V_e^2}{254(f_l \pm p)}$$

Tabla 4.6 Coeficientes de fricción longitudinal para pavimentos húmedos

VELOCIDAD ESPECÍFICA V_e (Km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
COEFICIENTE DE FRICCIÓN LONGITUDINAL f_l	0.440	0.400	0.370	0.350	0.330	0.320	0.315	0.310	0.305	0.300

Fuente: Instituto Nacional de Vías. *Manual de Diseño Geométrico para Carreteras*. Bogotá. 1998.

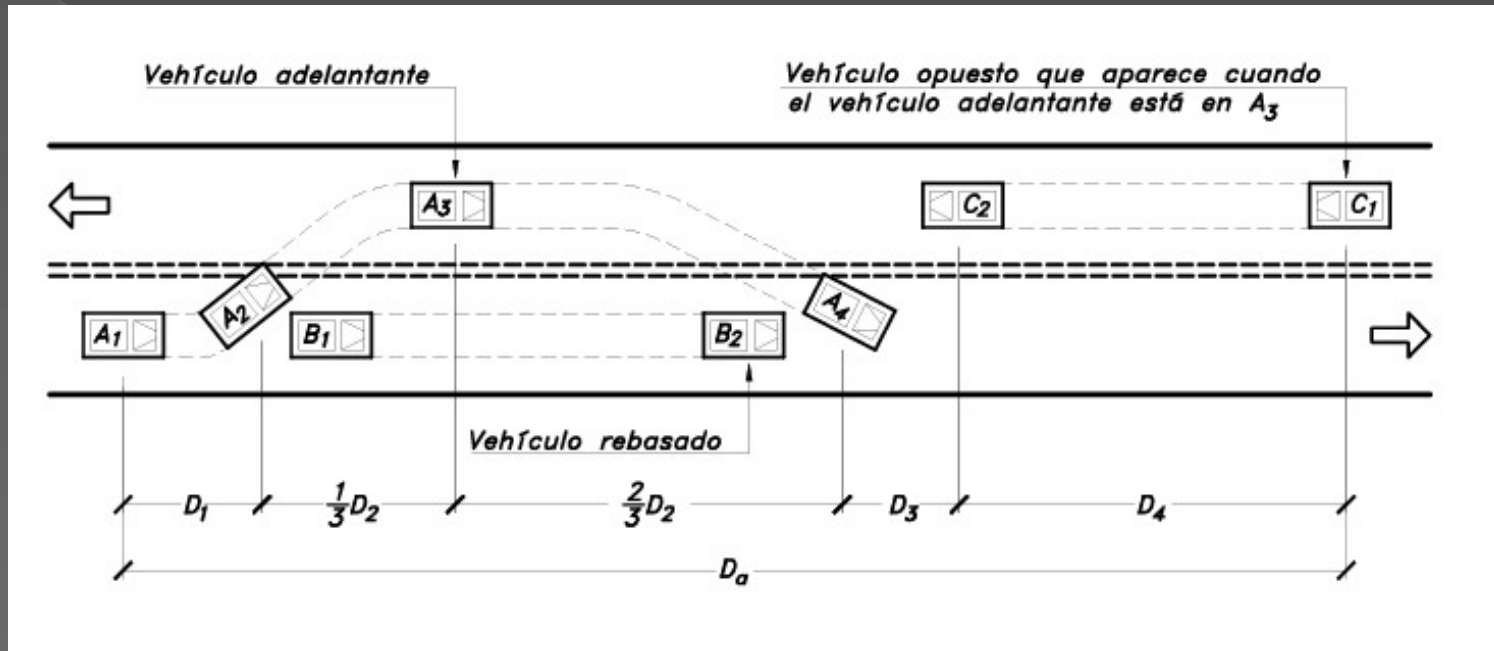
2. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

D_a

D_a es la distancia necesaria para que el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro vehículo que circula por el mismo carril y a una velocidad menor, sin interferir con otro vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible en el momento de iniciarse la maniobra de adelantamiento

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO



D_1 : Distancia recorrida durante el tiempo de percepción reacción del conductor que efectúa la maniobra.

D_2 : Distancia recorrida durante la invasión del carril contrario

D_3 : Distancia de seguridad

D_4 : Distancia recorrida por el vehículo que viene en sentido contrario (Se estima en $\frac{2}{3}$ de D_2)

$$D_a = D_1 + D_2 + D_3 + D_4$$

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

D_1

$$D_1 = 0.287t_1 \left(V - m + \frac{at_1}{2} \right)$$

Donde:

t_1 = Tiempo de la maniobra inicial, (*segundos*).

a = Promedio de aceleración que el vehículo necesita para iniciar el adelantamiento (*Km/h/s*).

V = Velocidad del vehículo que adelanta (*Km/h*).

m = Diferencia de velocidades entre el vehículo que adelanta y el que es adelantado, igual a *15 Km/h* en todos los casos.

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

D_2

$$D_2 = 0.287Vt_2$$

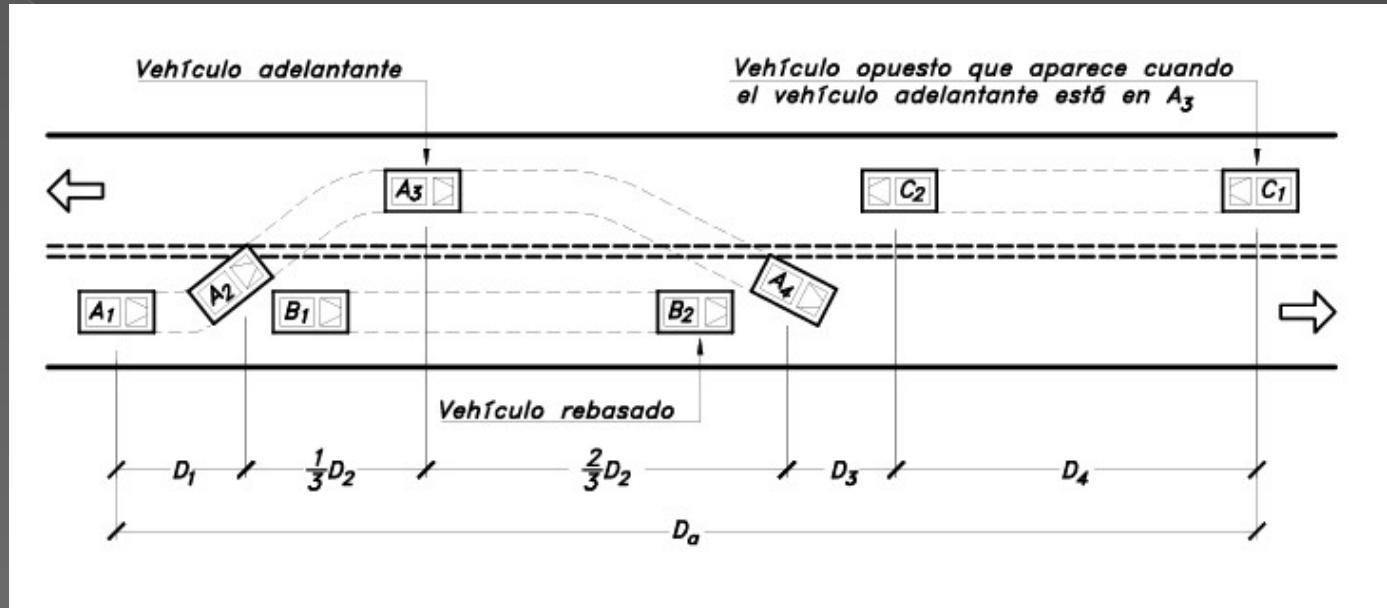
Donde:

t_2 = Tiempo empleado por el vehículo adelantante desde que invade el carril del sentido contrario hasta que regresa a su carril, (*segundos*).

Este tiempo varía entre 9.3 y 10.4 *segundos*.

V = Velocidad del vehículo que adelanta (*Km/h*).

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

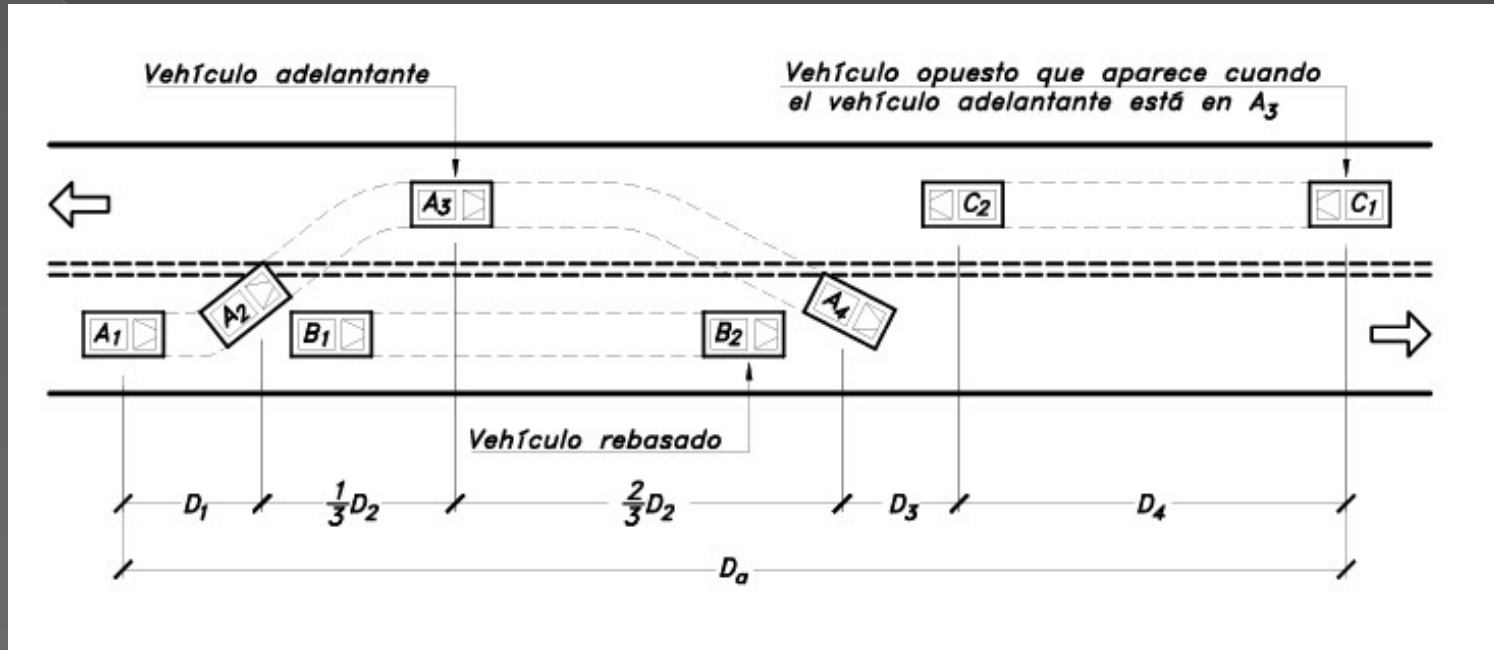


D₃

Distancia de seguridad entre el vehículo adelantante y el vehículo que viene en dirección opuesta, recorrida durante el tiempo de despeje.

Esta distancia varia entre 30 y 90 m

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO



$$D_4 = \frac{2}{3} D_2$$

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

Guía de valores manual AASHTO

Elementos que conforman la distancia de visibilidad de adelantamiento en carreteras de dos carriles dos sentidos

COMPONENTE DE LA MANIOBRA DE ADELANTAMIENTO	RANGO DE LA VELOCIDAD ESPECÍFICA DEL ELEMENTO EN EL QUE SE EFECTÚA LA MANIOBRA, V_e (Km/h)			
	50-65	66-80	81-95	96-110
	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO QUE ADELANTA, V (Km/h)			
	56.2	70.0	84.5	99.8
Maniobra inicial:				
a = Aceleración promedio (Km/h/s)	2.25	2.30	2.37	2.41
t_1 = Tiempo (s)	3.6	4.0	4.3	4.5
D_1 = Distancia recorrida (m)	45	66	89	113
Ocupación del carril contrario:				
t_2 = Tiempo (s)	9.3	10.0	10.7	11.3
D_2 = Distancia recorrida (m)	145	195	251	314
Distancia de seguridad:				
D_3 = Distancia recorrida (m)	30	55	75	90
Vehículo en sentido opuesto:				
D_4 = Distancia recorrida (m)	97	130	168	209
Distancia total:				
$D_a = D_1 + D_2 + D_3 + D_4$	317	446	583	726

Fuente: AASHTO. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington D.C. 2004.

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

Valores mínimos recomendados para D_a donde se asume que la velocidad del vehículo adelantado es la velocidad del volumen de tránsito cercano a la capacidad, menor en 15km/h a la velocidad del vehículo que adelanta

Mínimas distancias de visibilidad de adelantamiento en carreteras de dos carriles dos sentidos

VELOCIDAD ESPECÍFICA DEL ELEMENTO EN EL QUE SE EFECTÚA LA MANIOBRA, V_e (Km/h)	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO ADELANTADO (Km/h)	VELOCIDAD DEL VEHÍCULO QUE ADELANTA, V (Km/h)	MÍNIMA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO D_a (m)	
			CALCULADA	REDONDEADA
30	29	44	200	200
40	36	51	266	270
50	44	59	341	345
60	51	66	407	410
70	59	74	482	485
80	65	80	538	540
90	73	88	613	615
100	79	94	670	670
110	85	100	727	730
120	90	105	774	775
130	94	109	812	815

Fuente: AASHTO. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington D.C. 2004.

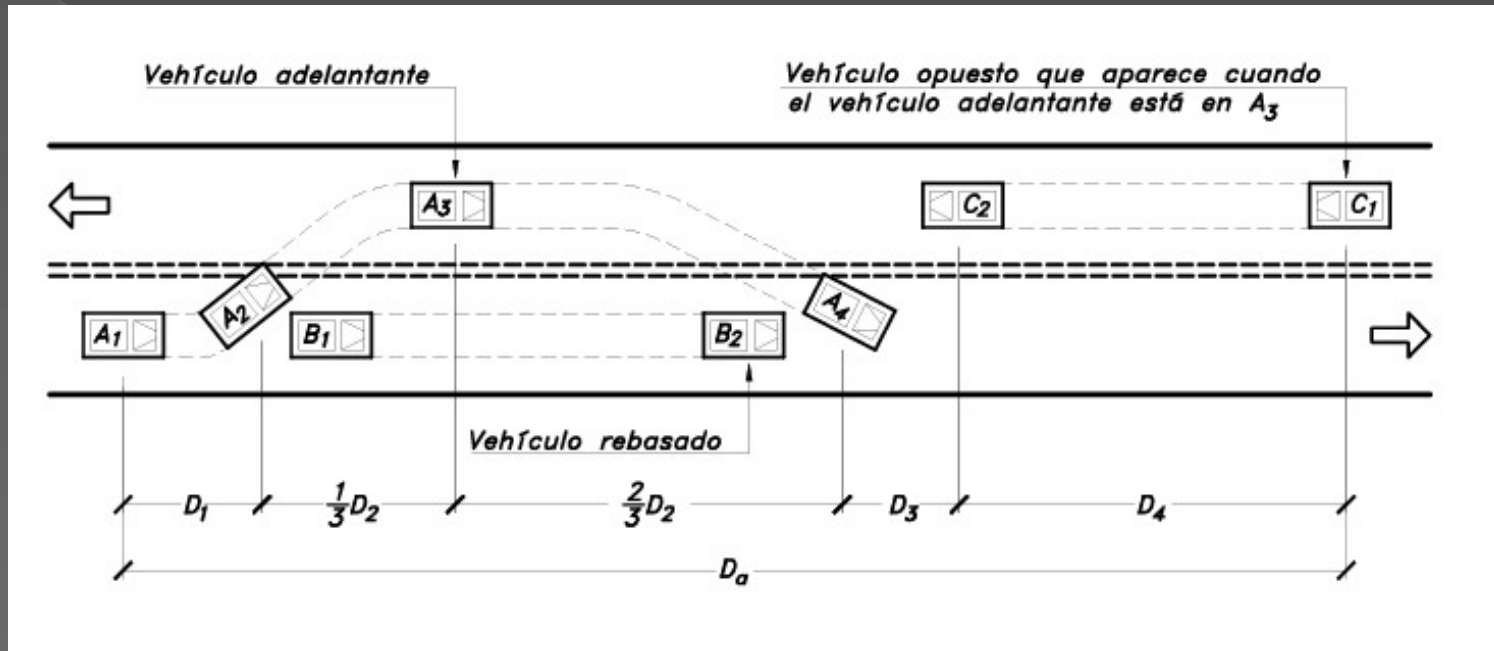
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

Oportunidades de adelantar por tramos de 5 kilómetros

VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (Km/h)	20-60	60-80	80-100
PORCENTAJE MÍNIMO DE LA LONGITUD CON DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO (%)	20%	30%	40%

Fuente: Instituto Nacional de Vías. *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá. 2008.

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO



Por seguridad se supone que las maniobras de adelantamiento se realizan a la velocidad de diseño V_d

$$D_a \approx 5 V_d$$

3. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ENCUENTRO

DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ENCUENTRO

En carreteras terciarias de una calzada De es longitud mínima disponible de carretera visible para los conductores que circulan en sentidos opuestos, y que se ven obligados a realizar maniobras para esquivarse.

Se determina con base a un tiempo de percepción reacción de 1 segundo, una desaceleración similar a la de frenado hasta esquivarse y cruzarse a una velocidad de 10 km / h.

$$D_e = 2(0.278 V_d) + \left[\frac{V_d^2 - 100}{254(f_1 + p)} \right] + \left[\frac{V_d^2 - 100}{254(f_1 - p)} \right]$$

**INVESTIGAR COMO SE REALIZA LA
EVALUACIÓN Y PRESENTACIÓN DE LA
DISTANCIAS DE VISIBILIDAD EN PLANTA
Y EN PERFIL, HACIENDO REFERENCIA A
UN PLANO REAL DE VIAS
(PLANOS DE UN DISEÑO)**

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LA LONGITUD DE CURVAS VERTICALES

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LAS LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES

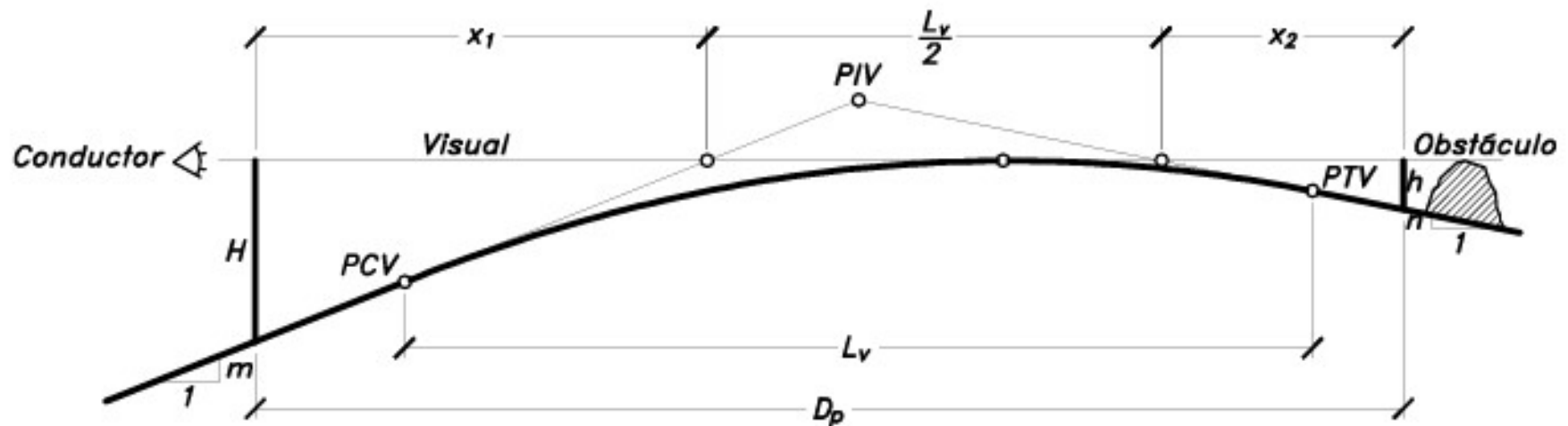
1. LONG MINIMA DE CURVAS VERTICALES CON VISIBILIDAD DE PARADA

Este requisito es conocido como el criterio de seguridad

Las longitudes mínimas deben ser suficientes para el cambio gradual de la pendiente desde su tangente de entrada hasta su tangente de salida, sin que se generen cambios bruscos en su curvatura.

CURVAS VERTICALES CONVEXAS

Caso 1: $D_p > L_v$



$$L_v = 2D_p - \frac{2(\sqrt{H} + \sqrt{h})^2}{i}$$

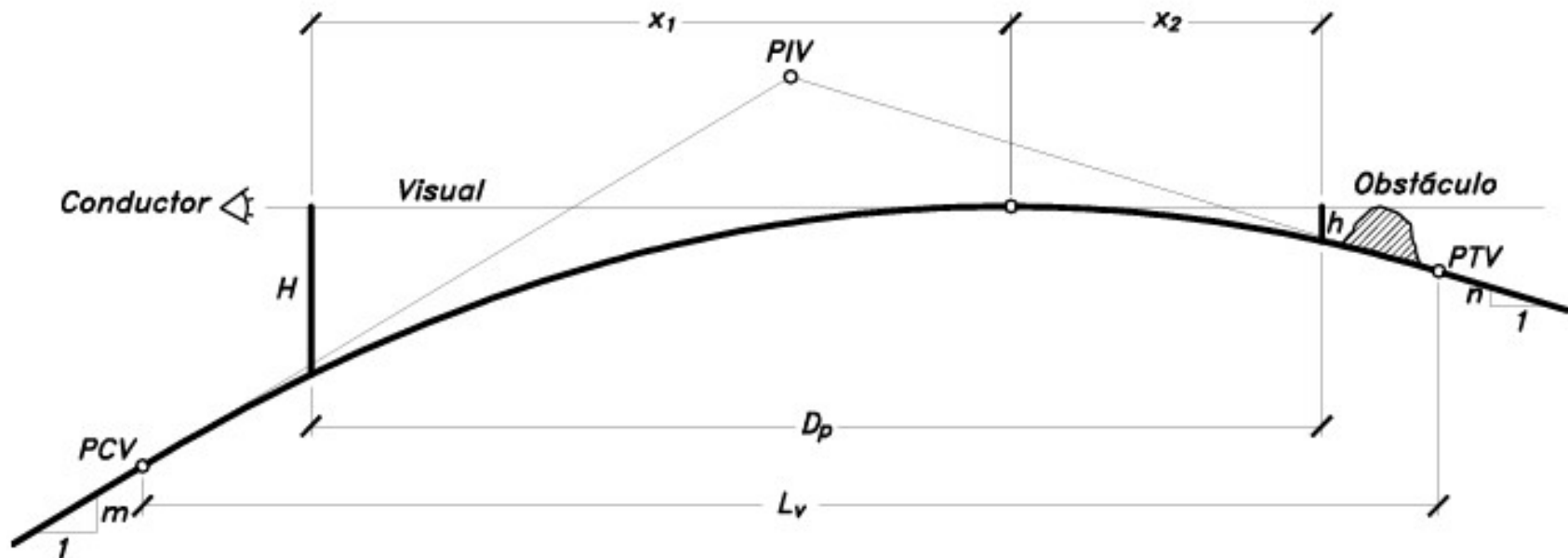
$$H=1.08m \text{ y } h=0.60m.$$

$$i = \%$$

$$L_v = 2D_p - \frac{658}{i}$$

CURVAS VERTICALES CONVEXAS

Caso 2: $D_p < L_v$



$$L_v = \frac{D_p^2 i}{658} = k_v i$$

$$k_v = \frac{D_p^2}{658}$$

$i = \%$, K_v : coeficiente angular

CURVAS VERTICALES CONCAVAS

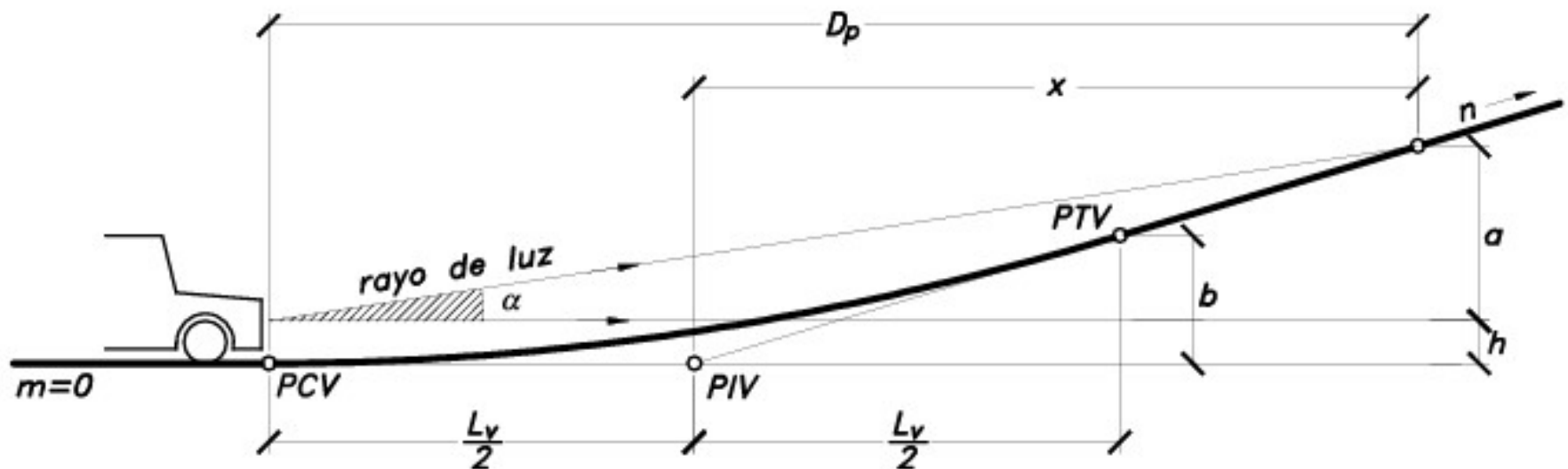
Por su forma son de visibilidad completa durante el día, mas no durante la noche.

La visibilidad nocturna depende de la altura de las luces delanteras sobre el pavimento, asumida como 0.6m y del ángulo de divergencia del rayo de luz hacia arriba o respecto al eje longitudinal del vehículo supuesto en 1°.

La longitud de carretera iluminada será al menos igual a la distancia de visibilidad de parada.

CURVAS VERTICALES CONCAVAS

Caso 1: $D_p > L_v$

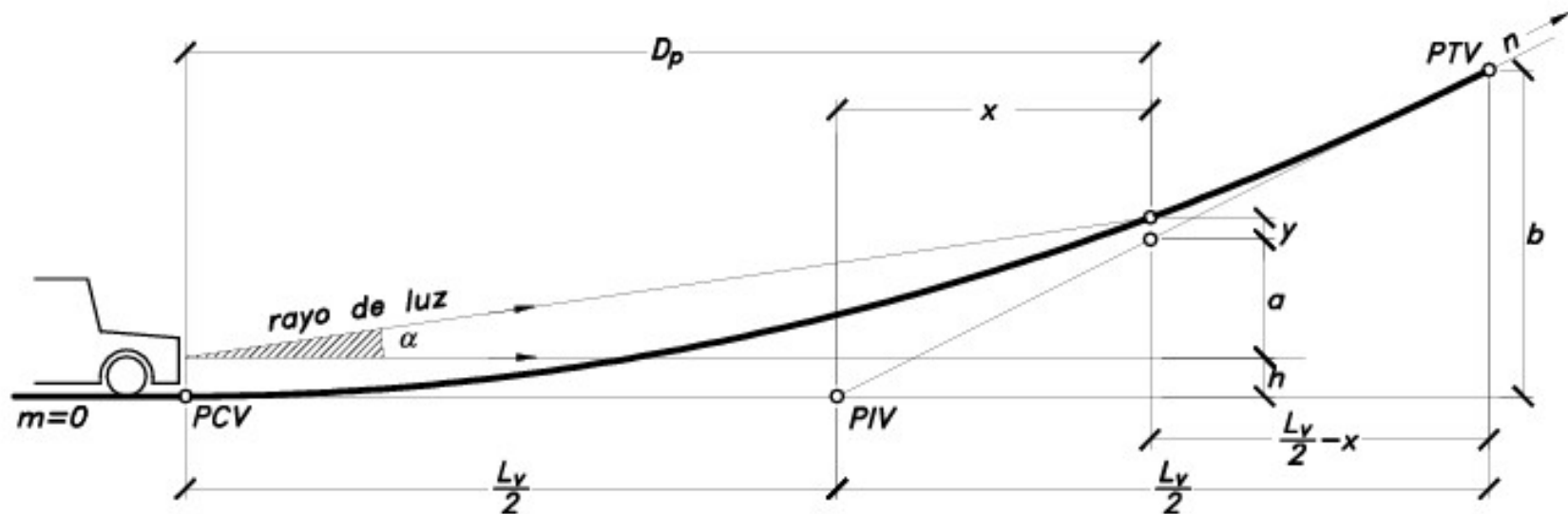


$$L_v = 2D_p - \frac{120 + 3.5 D_p}{i}$$

$i = \%$

CURVAS VERTICALES CONCAVAS

Caso 2: $D_p < L_v$



$$L_v = \frac{D_p^2 i}{120 + 3.5 D_p}$$

$i = \%$

$$k_v = \frac{D_p^2}{120 + 3.5 D_p}$$

VALORES DE K_v

Valores mínimos de k_v para curvas verticales convexas y cóncavas con visibilidad de parada (criterio de seguridad)

VELOCIDAD ESPECÍFICA CURVA VERTICAL V_{CV} (Km/h)	VISIBILIDAD DE PARADA D_p (m) (1)	COEFICIENTE ANGULAR k_v	
		CURVAS VERTICALES CONVEXAS (2)	CURVAS VERTICALES CÓNCAVAS (3)
20	20	1	3
30	35	2	6
40	50	4	9
50	65	7	13
60	85	11	18
70	105	17	23
80	130	26	30
90	160	39	38
100	185	52	45
110	220	74	55
120	250	95	63
130	285	124	73

(1): Obtenida en la Tabla 4.7.

(2): Calculado con la ecuación (4-42) y redondeado.

(3): Calculado con la ecuación (4-46) y redondeado.

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LAS LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES

2. LONG MINIMA DE CURVAS VERTICALES CON VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

En aquellos casos en que sea económicamente posible se pueden adoptar longitudes de curvas verticales amplias, incluso hasta obtener distancias de visibilidad de adelantamiento D_a .

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LAS LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES

2. LONG MINIMA DE CURVAS VERTICALES CON VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

CURVAS CONVEXAS

Caso 1: $D_a > L_v$

$$L_v = 2D_a - \frac{200(\sqrt{1.08} + \sqrt{1.35})^2}{i}$$

$$L_v = 2D_a - \frac{969}{i}$$

Caso 2: $D_a < L_v$

$$L_v = \frac{D_a^2 i}{969}$$

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LAS LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES

2. LONG MINIMA DE CURVAS VERTICALES CON VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

CURVAS CONCAVAS

Para la distancia de visibilidad nocturna de adelantamiento, no es indispensable calcular la longitud mínima de la curva vertical cóncava, porque se pueden ver las luces del vehículo que viene sentido contrario.

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LAS LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES

3. LONG MINIMA DE CURVAS VERTICALES CON COMODIDAD EN LA MARCHA

El efecto de incomodidad producido por los cambios de pendiente es mayor en curvas verticales cóncavas que en las convexas, ya que se genera una mayor fuerza centrífuga debido a que las fuerzas componentes de la gravedad y el peso actúan en el mismo sentido.

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LAS LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES

3. LONG MINIMA DE CURVAS VERTICALES CON COMODIDAD EN LA MARCHA

El confort depende entre otros factores de la suspensión del vehículo la presión de las llantas y la carga transportada.

$$L_v = \frac{V_{cv}^2 i}{395}$$

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LAS LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES

4. LONG MINIMA DE CURVAS VERTICALES CON APARIENCIA

Las curvas cóncavas por ser de completa visibilidad diurna deben presentar al conductor una buena apariencia o estética.

$$L_v = 30i$$

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LAS LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES

5. LONG MAXIMA DE CURVAS VERTICALES CON CONTROL DE DRENAJE

Las curvas verticales con pendientes de entrada y salida de signo contrario, que sean amplias presentan en su parte alta o baja tramos casi a nivel que podrían ocasionar dificultad en el drenaje de las aguas lluvias.

$$L_v = 50i$$

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LAS LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES

5. LONG MAXIMA DE CURVAS VERTICALES CON CONTROL DE DRENAJE

Partiendo que la seguridad es mas importante que el drenaje las curvas con valores de K_v mayores a 50, requerirán una atención especial para proporcionar condiciones adecuadas de drenaje cerca de su vértice, con un adecuado bombeo y pendientes longitudinales en cunetas mayores a la pendiente de la rasante.

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LAS LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES

LONG MINIMUM DE CURVAS VERTICALES

$$L_v = 0,6 V_{cv}$$

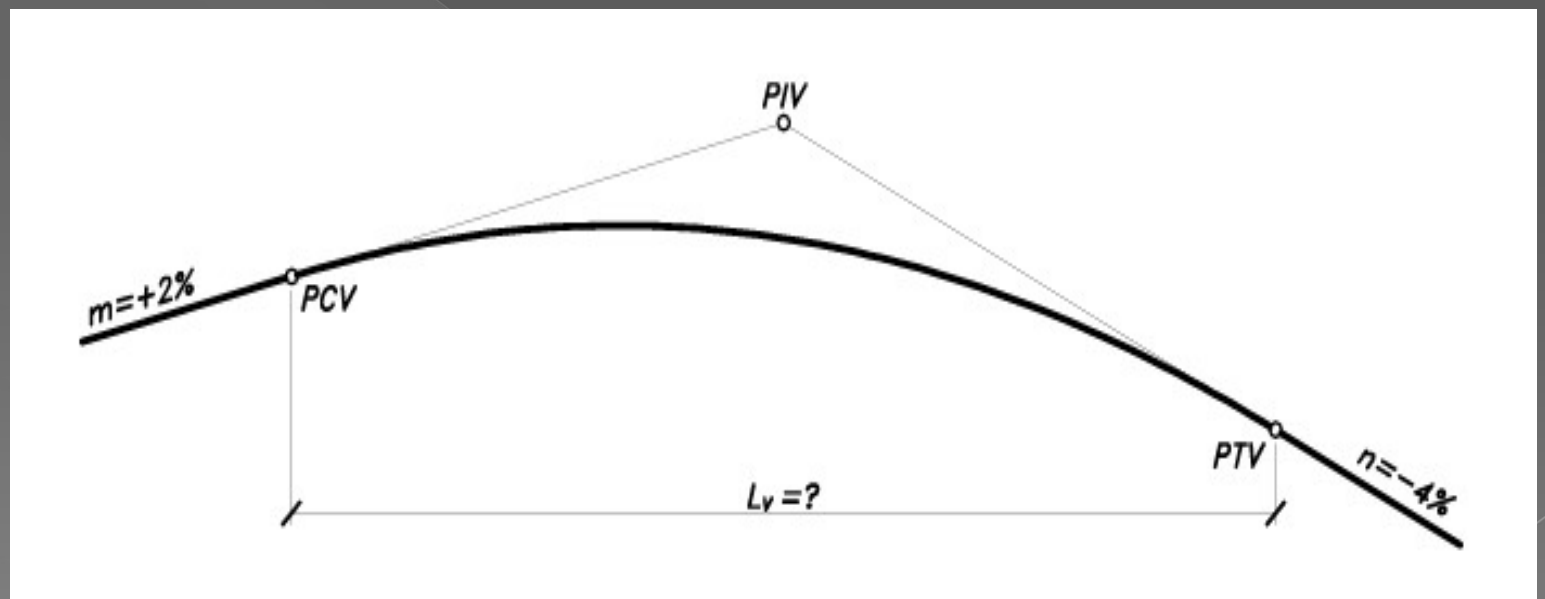
CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LAS LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES

EJERCICIO

$V_e = 80 \text{ km/h}$

$m = +2\%$

$n = -4\%$



Calcular longitud de la curva vertical de acuerdo a los criterios.

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LAS LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES

a. **CRITERIO SEGURIDAD:** Para un D_p mayor a L_v

$$V_e = 80 \text{ km/h}$$

$$f_l = 0,320$$

$$p = -4\%$$

$$D_p = 0.694 V_e + \frac{V_e^2}{254(f_l \pm p)} = 0.694 V_{CV} + \frac{V_{CV}^2}{254(f_l \pm p)}$$

$$D_p = 145,509\text{m}$$

$$i = m - n = 2 - (-4) = +6\%$$

Suponiendo el Caso 1, cuando $D_p > L_v$, la longitud mínima L_v de la curva, según la ecuación (4-40), es:

$$L_v = 2D_p - \frac{658}{i} = 2(145.509) - \frac{658}{6} = 181.351\text{m}$$

D_p es menor a L_v , por lo tanto el supuesto no es valido.

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LAS LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES

a. **CRITERIO SEGURIDAD** Para un D_p menor a L_v

$$L_v = \frac{D_p^2 i}{658} = \frac{(145.509)^2 6}{658} = 193.066m$$

$$D_p = 145,509m < L_v = 193,066m$$

Por lo tanto si se cumple la condición.

$$L_v = 193,066 \text{ m.}$$

b. **CRITERIO COMODIDAD**

Convexas - NA

c. **CRITERIO DE APARIENCIA**

Convexas - NA

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LAS LONGITUDES DE CURVAS VERTICALES

d. CRITERIO DRENAJE

$$L_v = 50 i = 50 \times 6 = 300\text{m}$$

E. CRITERIO DE OPERACIÓN

$$L_v = 0,6 V_{cv} = 0,6 \times 80 = 48\text{m}$$

Rango entre 193.066m – 300m
Recomendación: múltiplos de 10m.

Rango entre 200m – 300m

CURVAS VERTICALES

Para el calculo de una curva vertical simétrica se dispone de la siguiente información:

Abscisa del PIV : K2 + 640

Cota PIV : 500m

Pendiente tangente de entrada : +8%

Pendiente tangente de salida : -3%

Longitud de la curva vertical : 120 m

Calcular la curva vertical en abscisas de 10 m

CURVAS VERTICALES

1. Abscisa del PCV : $\text{Abs PIV} - L_v/2 =$
 $K2 + 640 - 60 = K2 + 580$
 - ⦿ Abscisa del PTV : $K2 + 700$
2. Cota del PCV : $\text{Cota PIV} - m(L_v/2) =$
 $500 - 0.08 \times 60 = 495.200\text{m}$
 - ⦿ Cota del PTV : 498.200m
3. Cotas de puntos intermedios
4. Correcciones de pendiente en puntos intermedios

CURVAS VERTICALES

3. Cotas puntos intermedios.

Cotas en la tangente en puntos intermedios:

Estas cotas se calculan a partir de la cota del *PIV*, así:

$$Cota\ de\ 1 = Cota\ PIV - m(50) = 500 - 0.08(50) = 496.000m$$

$$Cota\ de\ 2 = Cota\ PIV - m(40) = 500 - 0.08(40) = 496.800m$$

$$Cota\ de\ 3 = Cota\ PIV - m(30) = 500 - 0.08(30) = 497.600m$$

CURVAS VERTICALES

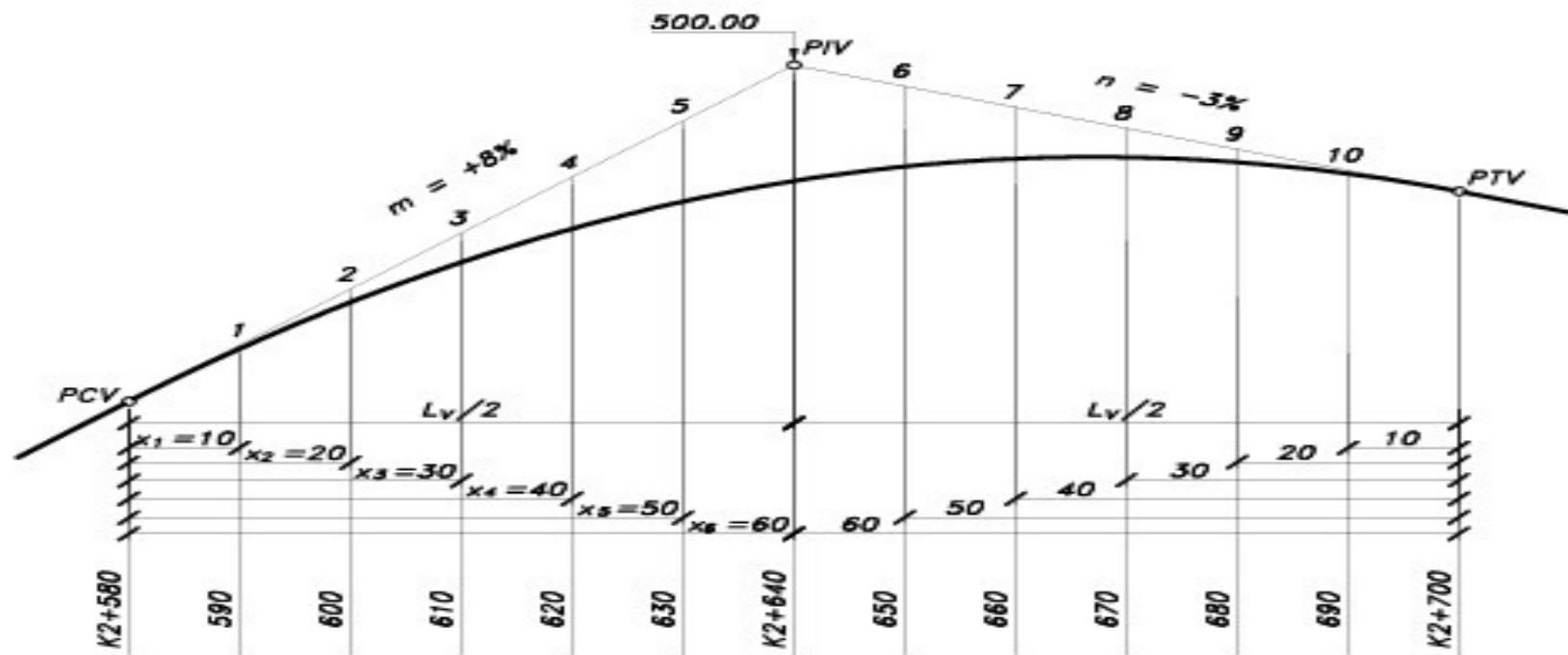
$$\text{Cota de 4} = \text{Cota PIV} - m(20) = 500 - 0.08(20) = 498.400m$$
$$Cota\ de\ 5 = Cota\ PIV - m(10) = 500 - 0.08(10) = 499.200m$$
$$\text{Cota de 6} = \text{Cota PIV-n}(10) = 500 - 0.03(10) = 499.700m$$
$$\text{Cota de 7} = \text{Cota PIV} - n(20) = 500 - 0.03(20) = 499.400m$$
$$\text{Cota de 8} = \text{Cota PIV} - n(30) = 500 - 0.03(30) = 499.100m$$
$$Cota\ de\ 9 = Cota\ PIV - n(40) = 500 - 0.03(40) = 498.800m$$
$$\text{Cota de 10} = \text{Cota PIV} - r(50) = 500 - 0.03(50) = 498.500m$$


Figura 4.9 Curva vertical convexa simétrica

CURVAS VERTICALES

4. Correcciones de pendiente en puntos intermedios.

$$i = m - n = 8\% - (-3\%) = 11\%$$

$$y = \left(\frac{i}{2L_v} \right) x^2 = \frac{0.11}{2(120)} x^2 = [4.58333(10)^{-4}] x^2$$

Punto 1: K2+590, $x_1 = 10m$, $y_1 = [4.58333(10)^{-4}](10)^2 = 0.046m$

Punto 2: K2+600, $x_2 = 20m$, $y_2 = [4.58333(10)^{-4}](20)^2 = 0.183m$

Punto 3: K2+610, $x_3 = 30m$, $y_3 = [4.58333(10)^{-4}](30)^2 = 0.412m$

Punto 4: K2+620, $x_4 = 40m$, $y_4 = [4.58333(10)^{-4}](40)^2 = 0.733m$

Punto 5: K2+630, $x_5 = 50m$, $y_5 = [4.58333(10)^{-4}](50)^2 = 1.146m$

PIV : K2+640, $x_6 = 60m$, $y_6 = [4.58333(10)^{-4}](60)^2 = 1.650m$

$$E_v = \frac{L_v i}{8} = \frac{120(0.11)}{8} = 1.650m$$

CURVAS VERTICALES

4. Correcciones de pendiente en puntos intermedios de la segunda rama.

Por ser una curva simétrica, las correcciones de los puntos 6, 7, 8, 9 y 10 son exactamente las mismas de los puntos 5, 4, 3, 2, 1, de la primera rama respectivamente

CURVAS VERTICALES

6. Cartera de diseño de rasante curva vertical convexa

PUNTOS	ABSCISAS	PENDIENTES	COTAS EN LA TANGENTE	CORRECCIÓN DE PENDIENTE	COTAS ROJAS
PCV	K2+580	⊙	495.200	0.000	495.200
1	590	↓	496.000	-0.046	495.954
2	600	↓	496.800	-0.183	496.617
3	610	+8%	497.600	-0.412	497.188
4	620	↓	498.400	-0.733	497.667
5	630	↓	499.200	-1.146	498.054
PIV	K2+640	⊙	500.000	-1.650	498.350
6	650	↓	499.700	-1.146	498.554
7	660	↓	499.400	-0.733	498.667
8	670	-3%	499.100	-0.412	498.688
9	680	↓	498.800	-0.183	498.617
10	690	↓	498.500	-0.046	498.454
PTV	K2+700	⊙	498.200	0.000	498.200