

CAPÍTULO 5. TRAZADO EN ALZADO.

5.1 GENERALIDADES.

El trazado en alzado de una carretera o calzada se compondrá de la adecuada combinación de los siguientes elementos: rasante con inclinación uniforme (recta) y curva de acuerdo vertical (parábola).

La definición del trazado en alzado se referirá a un eje que fija un punto en cada sección transversal para cuya definición, en general y salvo justificación en contrario, se adoptará:

- Carreteras de calzadas separadas:
 - El borde interior del carril más próximo a la mediana para cada una de las calzadas.
 - El borde interior de la plataforma más próximo a la mediana para cada una de las plataformas.
 - El borde interior del carril más próximo a la mediana con la sección transversal ampliada cuando se prevea un aumento de carriles a costa de la mediana.
 - El borde interior de la plataforma más próximo a la mediana con la sección transversal ampliada cuando se prevea un aumento de carriles a costa de la mediana.
 - El borde interior de la calzada a proyectar en el caso de duplicaciones, teniendo en cuenta futuras ampliaciones.
 - El borde interior de la plataforma a proyectar en el caso de duplicaciones, teniendo en cuenta futuras ampliaciones.
- Carreteras de calzada única y doble sentido de circulación:
 - El centro de la calzada, sin tener en cuenta eventuales carriles adicionales (centro de la marca vial de separación de sentidos).
- Carreteras de calzada única y sentido único de circulación:
 - Cualquiera de los bordes de la calzada (con uno o más carriles).

5.2 INCLINACIÓN DE LAS RASANTES.

5.2.1 VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS.

Los valores máximos de inclinación de la rasante en rampas y pendientes de las carreteras, función de la velocidad de proyecto (V_p), serán los siguientes:

- Autopistas y autovías:

TABLA 5.1.

VELOCIDAD DE PROYECTO (V_p) (km/h)	RAMPA / PENDIENTE MÁXIMA (%)
140, 130, 120, 110 y 100	4
90 y 80	5

En casos suficientemente justificados y, previa realización de un estudio económico de los costes de explotación, los valores anteriores podrán incrementarse en un uno por ciento (1 %).

Por otra parte, en el caso de que las calzadas tengan trazado en alzado independiente, los valores de la inclinación de la calzada en pendiente podrán incrementarse también en un uno por ciento (1 %) adicional.

- Carreteras convencionales y carreteras multicarril:

TABLA 5.2.

VELOCIDAD DE PROYECTO (V_p) (km/h)	INCLINACIÓN MÁXIMA (%)	INCLINACIÓN EXCEPCIONAL (%)
100	4	5
90 y 80	5	7
70 y 60	6	8
50 y 40	7	10

El valor mínimo de la inclinación de la rasante no será menor que cinco décimas por ciento ($\neq 0,5$ %). Excepcionalmente, la rasante podrá alcanzar un valor menor, no inferior a dos décimas por ciento ($\neq 0,2$ %). La inclinación de la línea de máxima pendiente en cualquier punto de la plataforma no será menor que cinco décimas por ciento ($\neq 0,5$ %).

En los tramos de posible existencia de hielo en la calzada se procurará que la inclinación de la línea de máxima pendiente en cualquier punto de la plataforma no sea superior al diez por ciento ($\neq 10\%$).

No se dispondrán ni rampas ni pendientes, salvo justificación en contrario, con la inclinación máxima establecida para cada velocidad de proyecto (V_p) y clase de carretera, cuya longitud supere tres mil metros ($\neq 3\,000\text{ m}$). Esta limitación se considerará independientemente del estudio de carriles adicionales.

No se dispondrán ni rampas ni pendientes, salvo justificación en contrario, cuyo tiempo de recorrido, a la velocidad de proyecto (V_p), sea inferior a diez segundos ($\neq 10\text{ s}$) (la longitud correspondiente se medirá entre vértices consecutivos).

5.2.2 CARRILES ADICIONALES.

La inclinación de la rasante de los carriles adicionales en rampa o pendiente, que se establecerán según lo previsto en el apartado 8.5, será la misma que la correspondiente a la plataforma o calzada de la que formen parte.

5.2.3 TÚNELES.

La inclinación de la rasante de un túnel será tal que, en toda su longitud se consiga, salvo justificación en contrario, que:

- En autopistas y autovías con velocidad de proyecto (V_p) mayor o igual que cien kilómetros por hora ($\geq 100\text{ km/h}$), la velocidad de los vehículos pesados sea mayor o igual que sesenta kilómetros por hora ($\geq 60\text{ km/h}$).
- En autopistas y autovías con velocidad de proyecto (V_p) menor que cien kilómetros por hora ($< 100\text{ km/h}$) y en el resto de carreteras, la velocidad de los vehículos pesados sea mayor o igual que la mitad de la máxima señalizada en el túnel.

Se procurará que la combinación de inclinación y longitud de las rampas y/o pendientes en túneles sea tal que no obligue al diseño de carriles adicionales.

5.3 ACUERDOS VERTICALES.

5.3.1 GENERALIDADES.

Se adoptará en todos los casos como forma de la curva de acuerdo una parábola simétrica de eje vertical (Figura 5.1) de ecuación

$$y = \frac{x^2}{2 \cdot K_v}$$

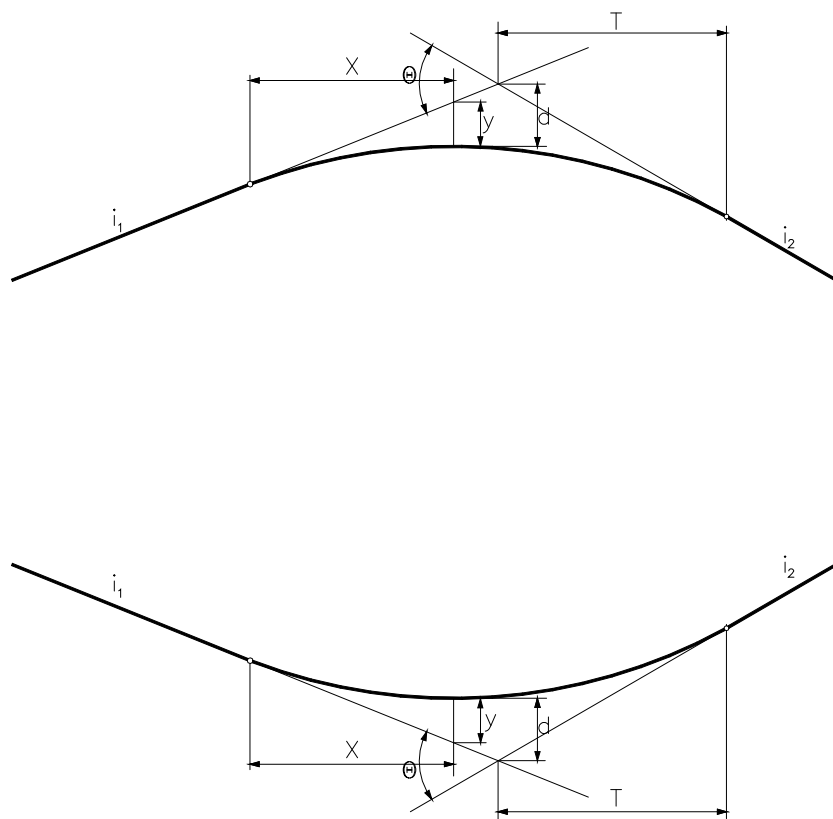
Siendo K_v el radio de la circunferencia osculatriz en el vértice de dicha parábola, denominado comúnmente "parámetro".

Definiendo $\theta = |i_2 - i_1|$ como el valor absoluto de la diferencia algebraica de las inclinaciones en los extremos del acuerdo en tanto por uno, se cumple que:

$$K_v = \frac{L}{\theta}$$

Siendo L la longitud de la curva de acuerdo ($L = 2 \cdot T$ Figura 5.1).

FIGURA 5.1.
ACUERDOS VERTICALES.



5.3.2 PARÁMETROS MÍNIMOS DE LAS CURVAS DE ACUERDO VERTICAL.

Para evitar que el trazado en alzado del tronco de una carretera, al ser recorrido por un vehículo, provoque a su conductor la sensación de circular por un tobogán no se proyectarán trazados con acuerdos verticales consecutivos de parámetros (K_v) reducidos.

La longitud de una curva de acuerdo y consecuentemente el parámetro (K_v) correspondiente serán los mayores que cumplan las limitaciones de los epígrafes 5.3.2.1 y 5.3.2.2.

5.3.2.1 CONSIDERACIONES DE VISIBILIDAD.

Será de aplicación lo especificado en el apartado 3.2.

Si la longitud de la curva de acuerdo vertical (L) es superior a la visibilidad requerida (D) ($L > D$), el valor del parámetro (K_v) vendrá dado por las expresiones siguientes:

- En acuerdos convexos:

$$L = \frac{|i_2 - i_1| \cdot D^2}{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2} \quad K_v = \frac{D^2}{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

- En acuerdos cóncavos:

$$L = \frac{|i_2 - i_1| \cdot D^2}{2 \cdot (h - h_2 + D \cdot \operatorname{tg}\alpha)} \quad K_v = \frac{D^2}{2 \cdot (h - h_2 + D \cdot \operatorname{tg}\alpha)}$$

Siendo:

K_v = Parámetro de la parábola (m).

h_1 = Altura del punto de vista del conductor sobre la calzada (m).

h_2 = Altura del objeto sobre la calzada (m).

h = Altura de los faros del vehículo (m).

α = Ángulo que el rayo de luz de mayor pendiente del cono de luz de los faros forma con el eje longitudinal del vehículo.

D = Visibilidad requerida (m).

$\theta = |i_2 - i_1|$ = Valor absoluto de la diferencia algebraica de las inclinaciones de las rasantes en tanto por uno.

Para comprobar la visibilidad de parada en los acuerdos cóncavos se considerará:

$$h_1 = 1,10 \text{ m}; \quad h_2 = 0,50 \text{ m}; \quad h = 0,75 \text{ m}; \quad \alpha = 1^\circ$$

Para comprobar la visibilidad de adelantamiento en los acuerdos convexos se considerará:

$$h_1 = h_2 = 1,10 \text{ m}$$

En la Tabla 5.3 se recogen, para diferentes velocidades de proyecto de la carretera y una altura del obstáculo de cincuenta centímetros ($h_2 = 0,50 \text{ m}$), los valores del parámetro con los que se dispone de visibilidad de parada, sin consideraciones de coordinación planta - alzado, en cualquier clase de carretera, y de visibilidad de adelantamiento en carreteras convencionales.

Por consideraciones de coordinación planta - alzado podrán reducirse los valores indicados en la Tabla 5.3 cuando se disponga de la visibilidad de parada exigible.

TABLA 5.3.

PARÁMETROS MÍNIMOS DE LOS ACUERDOS VERTICALES PARA DISPONER DE VISIBILIDAD DE PARADA DE CUALQUIER CLASE DE CARRETERA Y DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO EN CARRETERAS CONVENCIONALES.

GRUPO	VELOCIDAD DE PROYECTO (V_p) (km/h)	ACUERDOS CONVEXOS		ACUERDOS CÓNCAVOS	
		K_v (m) Parada	K_v (m) Adelantamiento	K_v (m) Parada	K_v (m) Adelantamiento
1	140	22 000	--	10 300	--
	130	16 000	--	8 600	--
2	120	11 000	--	7 100	--
	110	7 600	--	5 900	--
	100	5 200	7 100	4 800	7 800
	90	3 500	4 800	3 800	6 500
	80	2 300	3 100	3 000	5 400
3	90	3 500	4 800	3 800	6 500
	80	2 300	3 100	3 000	5 400
	70	1 400	2 000	2 300	4 400
	60	800	1 200	1 650	3 600
	50	450	650	1 160	3 000
	40	250	300	760	2 400

Nota 1: Los valores de K_v de esta Tabla se han obtenido para una altura del obstáculo $h_2 = 0,50$ m. Para alturas inferiores, deberán calcularse los correspondientes valores mínimos de K_v .

Nota 2: Los valores de K_v en acuerdos cóncavos se han obtenido para condiciones nocturnas y alcance ilimitado de los faros del vehículo, por lo que dado el limitado alcance real de los mismos, la adopción de dichos valores de K_v no garantizará la visibilidad en horas nocturnas.

Los valores mínimos de K_v de adelantamiento únicamente serán necesarios en las carreteras convencionales si se permite esa maniobra.

La utilización de los valores de la Tabla 5.3 no exime de la realización de los correspondientes cálculos de existencia de visibilidad de parada o adelantamiento dado que, en ciertos casos (como sucede en los acuerdos cóncavos en pendiente), será necesario aumentar los valores de los parámetros de dichos acuerdos.

Si se utilizan parámetros de acuerdos verticales K_v superiores a cinco mil metros (> 5 000 m) será necesario confirmar el correcto drenaje de la carretera en el tramo correspondiente.

Si la longitud de la curva de acuerdo vertical (L) es inferior a la visibilidad requerida D ($L < D$), caso especialmente frecuente en ramales de enlace, el valor del parámetro K_v vendrá dado por las expresiones siguientes:

- En acuerdos convexos:

$$L = 2D - \frac{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{|i_2 - i_1|} \quad K_v = \frac{2D}{|i_2 - i_1|} - \frac{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{|i_2 - i_1|^2}$$

- En acuerdos cóncavos:

$$L = 2D - \frac{2 \cdot (h - h_2 + D \cdot \operatorname{tg}\alpha)}{|i_2 - i_1|} \quad K_v = \frac{2D}{|i_2 - i_1|} - \frac{2 \cdot (h - h_2 + D \cdot \operatorname{tg}\alpha)}{|i_2 - i_1|^2}$$

5.3.2.2 CONSIDERACIONES DE PERCEPCIÓN VISUAL.

La longitud de la curva de acuerdo vertical cumplirá la condición:

$$L \geq V_p$$

Siendo:

L = Longitud de la curva de acuerdo (m).

V_p = Velocidad de proyecto (km/h).

Si la longitud de la curva de acuerdo vertical $L = K_v \cdot \theta$ obtenida para el valor del parámetro tomado de la Tabla 5.3, es inferior a V_p , se determinará el valor de K_v por la condición:

$$K_v \geq \frac{V_p}{\theta}$$

Siendo:

V_p = Velocidad de proyecto (km/h).

$\theta = |i_2 - i_1|$ = Valor absoluto de la diferencia algebraica de las inclinaciones de las rasantes en tanto por uno.

5.3.3 LONGITUDES DE LAS CURVAS DE ACUERDO VERTICAL.

El valor de parámetro K_v mínimo, en función de la longitud (L) de la curva de acuerdo vertical, viene dado por la expresión:

$$K_v = \frac{L}{\theta}$$

Siendo:

K_v = Parámetro de la parábola (m).

L = Longitud de la curva de acuerdo (m).

$\theta = |i_2 - i_1|$ = Valor absoluto de la diferencia algebraica de las inclinaciones de las rasantes en tanto por uno.

Las longitudes de las curvas de acuerdo vertical para diferentes velocidades de proyecto (V_p), derivadas de las expresiones indicadas en los epígrafes 5.3.2.1 y 5.3.2.2, se incluyen en las Figuras 5.2 y 5.3.

La utilización de los valores deducidos de las Figuras 5.2 y 5.3 no exime de la realización de los correspondientes cálculos de visibilidad siendo necesario, en el caso particular de que las inclinaciones de las rasantes sean del mismo signo, evaluar la longitud de las curvas de acuerdo vertical con una visibilidad requerida D correspondiente a la inclinación promedio.

FIGURA 5.2.

LONGITUDES DE LAS CURVAS DE ACUERDO VERTICAL CÓNCAVO.

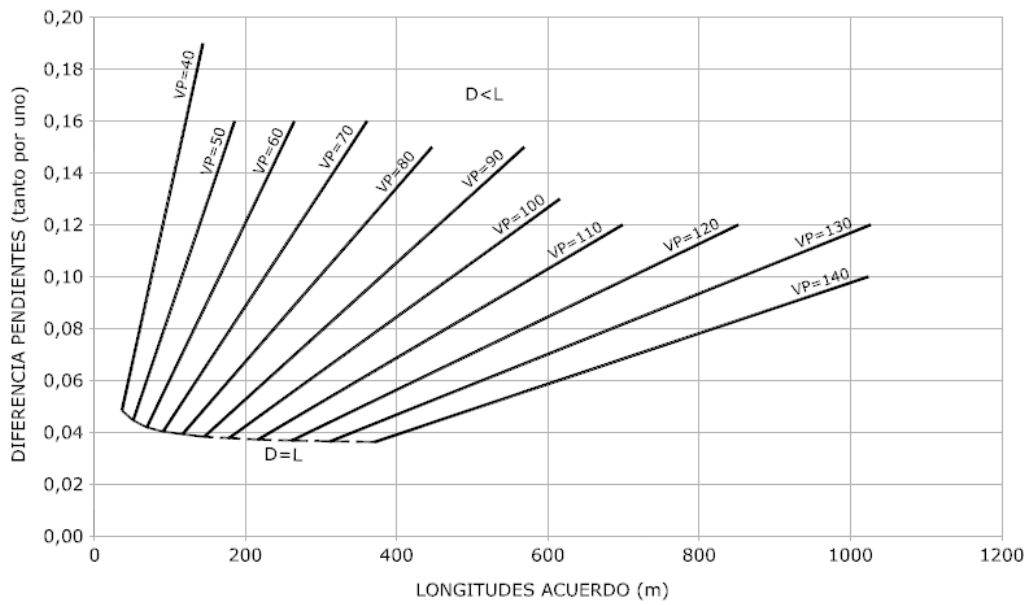
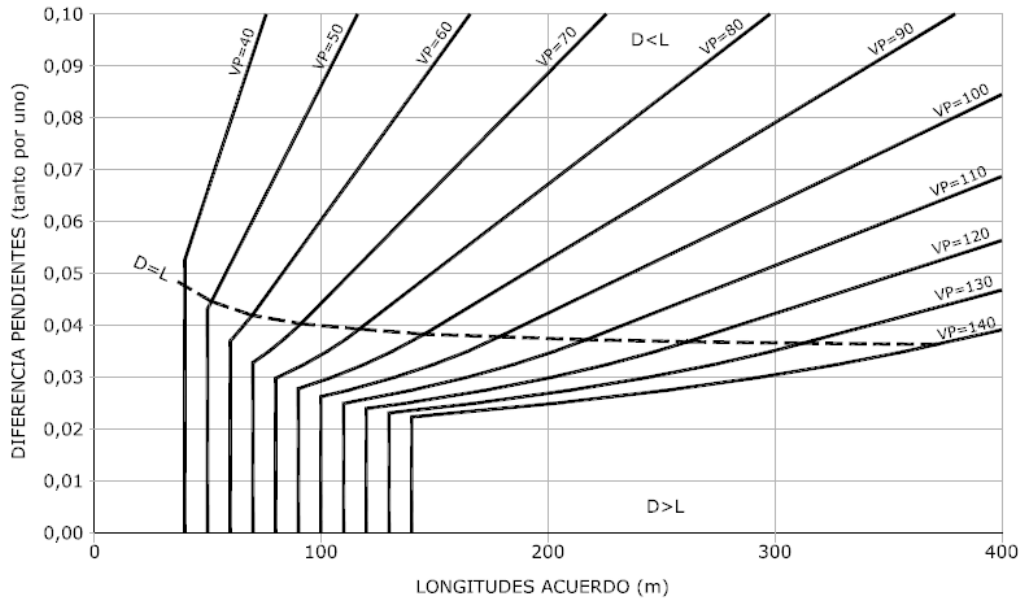


FIGURA 5.3.

LONGITUDES DE LAS CURVAS DE ACUERDO VERTICAL CONVEXO.

