

CAMINOS I

DISEÑO PLANIMÉTRICO

- CURVAS HORIZONTALES -

Ing. Federico A. Mainardi

Definiciones

Diseño geométrico: se refiere al dimensionamiento físico de la infraestructura, diferenciándose de otros aspectos del diseño, como el estructural.

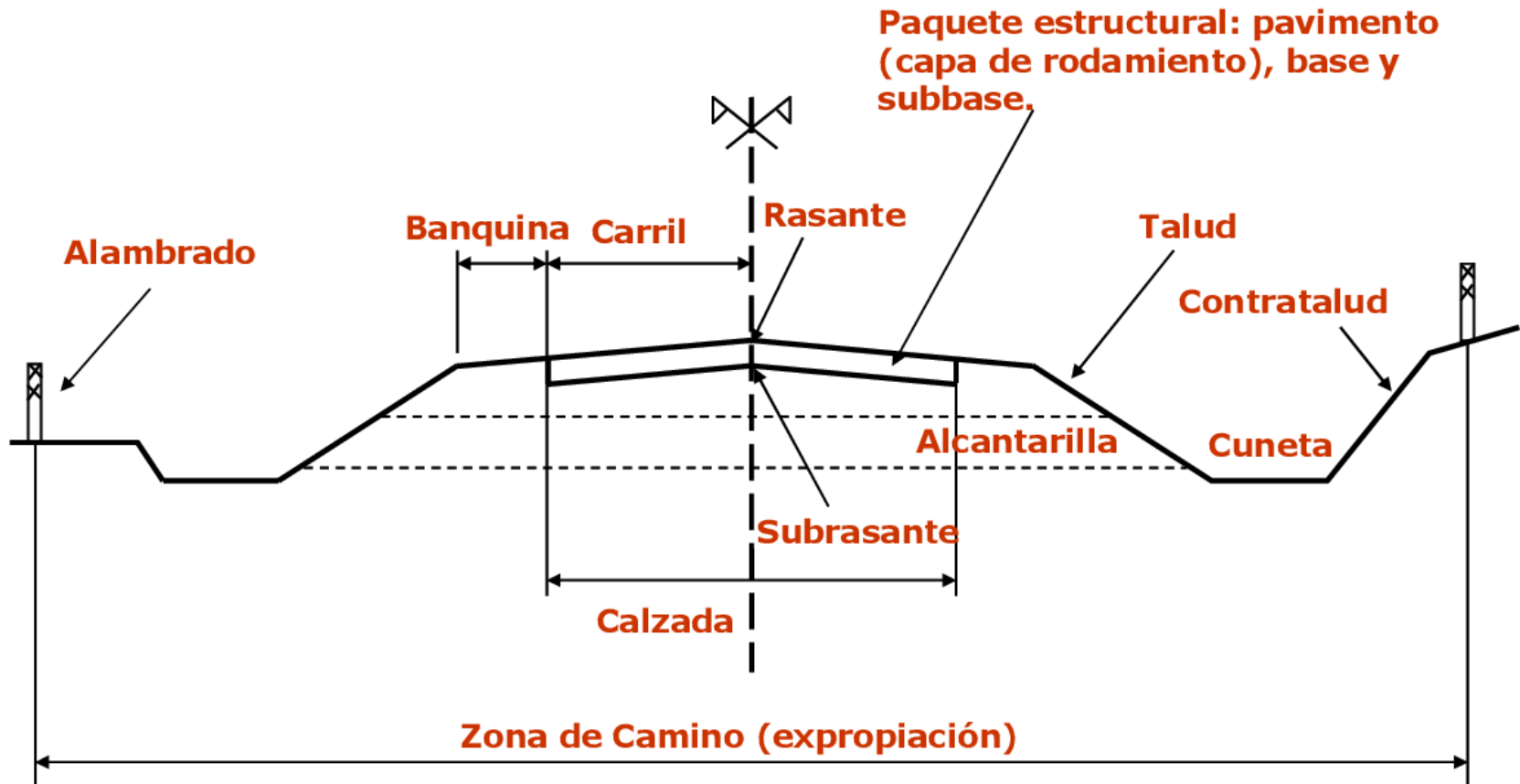
Comprende 5 aspectos básicos:

- ❑ sección transversal del camino;
- ❑ curvas horizontales (planimetría);
- ❑ curvas verticales (altimetría);
- ❑ peraltes; y
- ❑ desagües y drenajes.

Trazado: Definición - en planta y en elevación - de las coordenadas de la **rasante** del camino.

Rasante: Línea de eje del camino a la altura de la calzada.

Elementos de la sección transversal de una obra vial



Velocidad de diseño

Velocidad directriz (V_D)

Es la **máxima velocidad** a la cual un conductor de **habilidad media** manejando con **razonable atención** puede circular con **entera seguridad**.

También, es la máxima velocidad segura que puede mantenerse sobre una dada sección de carretera cuando las condiciones son tan favorables que gobiernan las características de diseño de la carretera (AASHTO).

Rige el diseño de todos los elementos del camino: una vez seleccionada, **todas las características** pertinentes de la carretera deberían relacionarse a la velocidad directriz para obtener un **diseño equilibrado**.

Velocidad de diseño

Velocidad de Operación y Velocidad de Marcha

Velocidad de operación: es la más alta velocidad general a la cual un conductor puede viajar sobre una carretera dada bajo condiciones de tiempo favorables y bajo condiciones prevalecientes de tránsito, sin superar en ningún momento la velocidad segura según está determinada por la velocidad directriz sobre una base de **sección-por-sección**.

Velocidad de marcha: es la velocidad de un vehículo sobre una sección de carretera; es la distancia recorrida dividida por el tiempo de marcha (el tiempo que el vehículo está en movimiento).

Velocidad de diseño

Velocidad directriz (V_D)

No debería suponerse una VD baja donde la topografía es tal que probablemente los conductores viajen a altas velocidades.

Los conductores no ajustan sus velocidades a la importancia de la carretera, sino a su **percepción de las limitaciones físicas**, y por consiguiente, el tránsito.

La VD seleccionada debería ajustarse a los deseos y hábitos de viaje de casi todos los conductores.

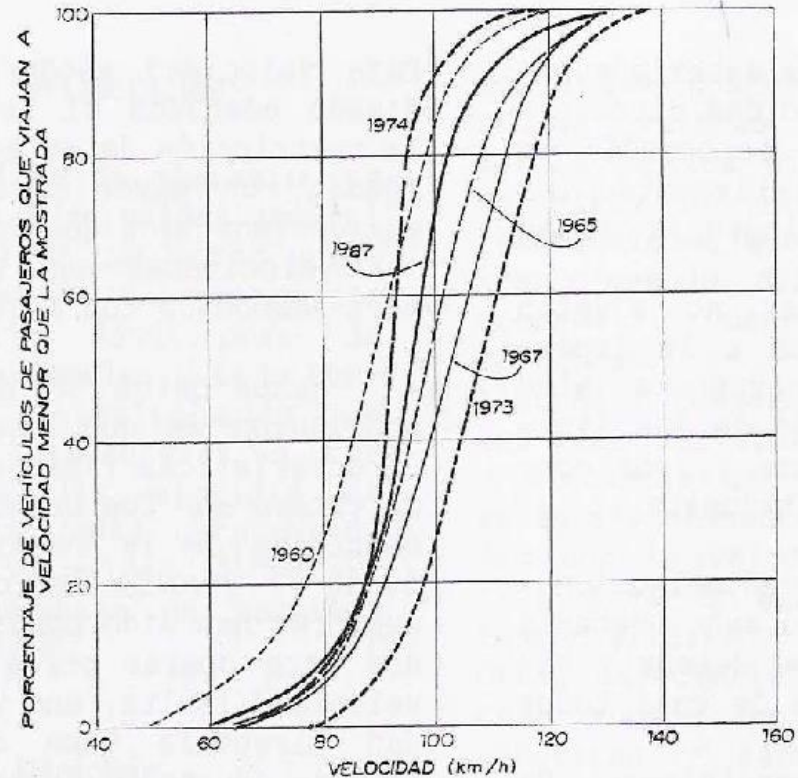


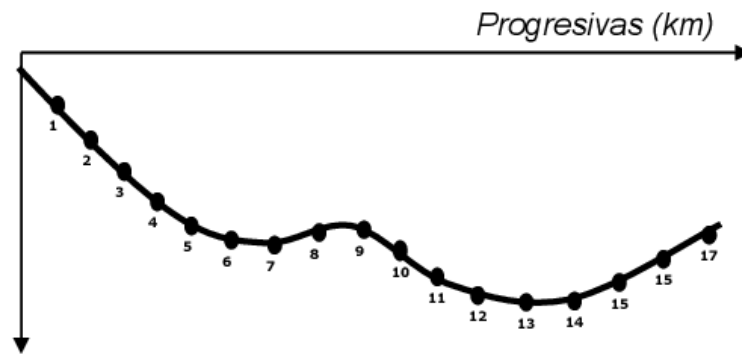
Figura II-21. Distribución de velocidades representativas los vehículos de pasajeros en carreteras interestatales rurales.

Trazado de un camino

Concepto General

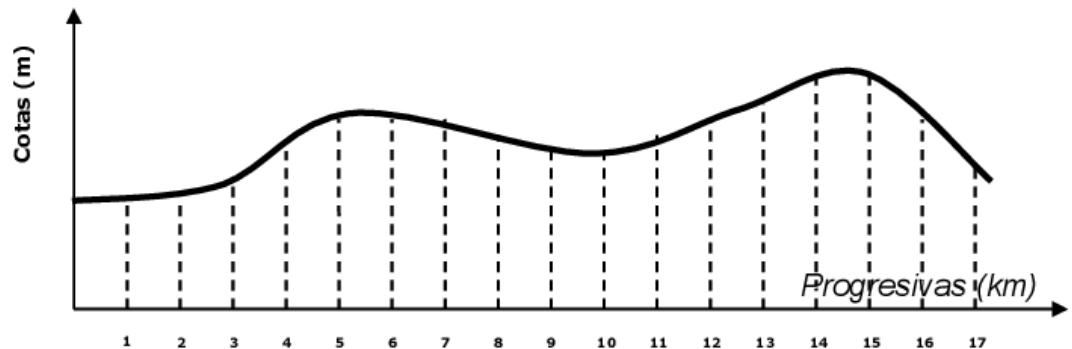
Trazado: Definición - en planta y en elevación - de las coordenadas de la **rasante** del camino.

PLANIMETRÍA



ALTIMETRÍA (desarrollada)

$$E_H = 1:5000$$
$$E_V = 1:100$$



Trazado planimétrico

Principios

- **Disponer la mayor cantidad posible de rectas.**
- **No disponer tramos rectos de más de 10 km de longitud, interponiendo curvas amplias (mantenimiento de la atención del conductor).**
- **Evitar trazados contiguos a vías férreas (accesibilidad + empalmes).**
- **Atravesar cursos de agua en puntos estables del cauce y preferentemente en forma normal a los mismos.**
- **Cruzar vías férreas preferentemente a distinto nivel o a nivel en forma normal (nunca inferior a los 60°).**
- **Distancia de visibilidad \geq distancia de detención en todo el camino.**
- **Zonas de sobrepaso permitido a no más de 2 minutos de distancia a la Vd.**

Diseño planimétrico

Curvas horizontales

Objeto:

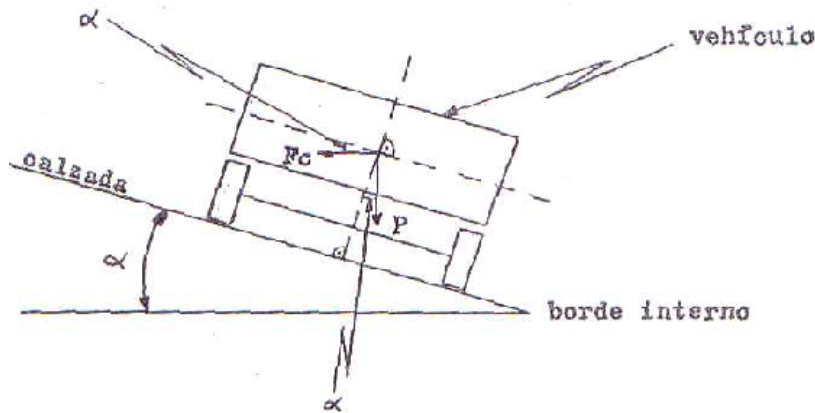
Vincular en planta dos alineamientos de rasantes que forman un cierto ángulo horizontal entre sí permitiendo desarrollar progresivamente las fuerzas centrífugas y desarrollar el peralte para compensarlas parcialmente.

Compuestas por una **curva circular** y dos **curvas de transición** (espirales) a la entrada y salida.

Diseño planimétrico

Curvas horizontales: peralte

Peralte: Inclinación de la calzada hacia el borde interno de la curva que sirve para atenuar o compensar parcialmente la acción de la fuerza centrífuga que tiende a producir el deslizamiento o vuelco del vehículo.



$$p + f_T = \frac{V_D^2}{127 * R}$$

Valores máximos del peralte $p = \text{tg } \alpha$

- **10% en zonas montañosas**
- **8% en zonas llanas**
- **6% en zonas próximas a áreas urbanas**

Vd en km/h

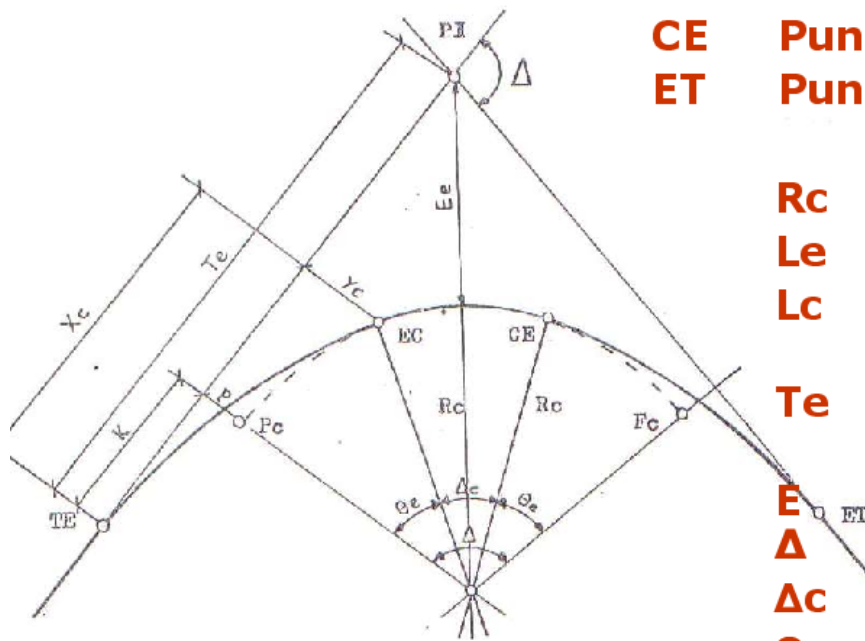
R en metros

f_T = coeficiente de fricción transversal

$f_T = f(V_D) \approx 0,13$ (100 km/h).

Diseño planimétrico

Curvas horizontales: elementos



PI Punto intersección tangentes principales
TE Punto común de la tangente y la espiral
EC Punto común de la espiral y la circular
CE Punto común de la circular y la espiral
ET Punto común de la espiral y la tangente

Rc Radio curva circular
Le Longitud de la curva espiral
Lc Longitud de la curva circular entre EC y CE
Te Segmento de tangente principal entre TE y PI
E Externa
Δ Ángulo entre tangentes principales
Δc Ángulo tangentes en EC y CE
θe Ángulo tangentes extremas espiral
K y P Coordenadas de Pc con respecto a TE

$$\theta_e = \frac{L_e}{2 * R_c}$$

$$L_c = 2 * \pi * R_c * \frac{\Delta_c}{360}$$

$$\Delta_c = \Delta - 2 * \theta_e$$

$$L_t = L_c + 2 * L_e$$



DISEÑO GEOMÉTRICO DE ALINEAMIENTOS HORIZONTALES

CAMINOS 1

DISEÑO GEOMÉTRICO

La Actualización 2010 de las normas DNV – 1967/80



3 Diseño geométrico

3.1	ASPECTOS GENERALES	1
3.2	DISTANCIAS VISUALES	2
3.3	ALINEAMIENTOS	11
3.4	ALINEAMIENTO HORIZONTAL	12
3.5	DISEÑO DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL	18
3.6	ALINEAMIENTO ALTIMÉTRICO	55
3.7	SECCIÓN TRANSVERSAL	70
3.8	CALZADA (C)	72
3.9	COSTADOS DE LA CALZADA (CDC) – ZONA DESPEJADA (ZD)	85
3.10	SECCIÓN TRANSVERSAL DE PUENTES	97
3.11	ZONA DE CAMINO	98
3.12	COORDINACIÓN PLANIALTIMÉTRICA	99
3.13	ESTÉTICA VIAL	116
3.14	CONFERENCIA DE DISEÑO	121
3.15	DESDE EL CAMINO COMÚN A LA AUTOPISTA	131
3.16	RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	132
3.17	BIBLIOGRAFÍA PARTICULAR DE CONSULTA	137
	3 ANEXO	143



Capítulo 3
Diseño geométrico

ALINEAMIENTO HORIZONTAL

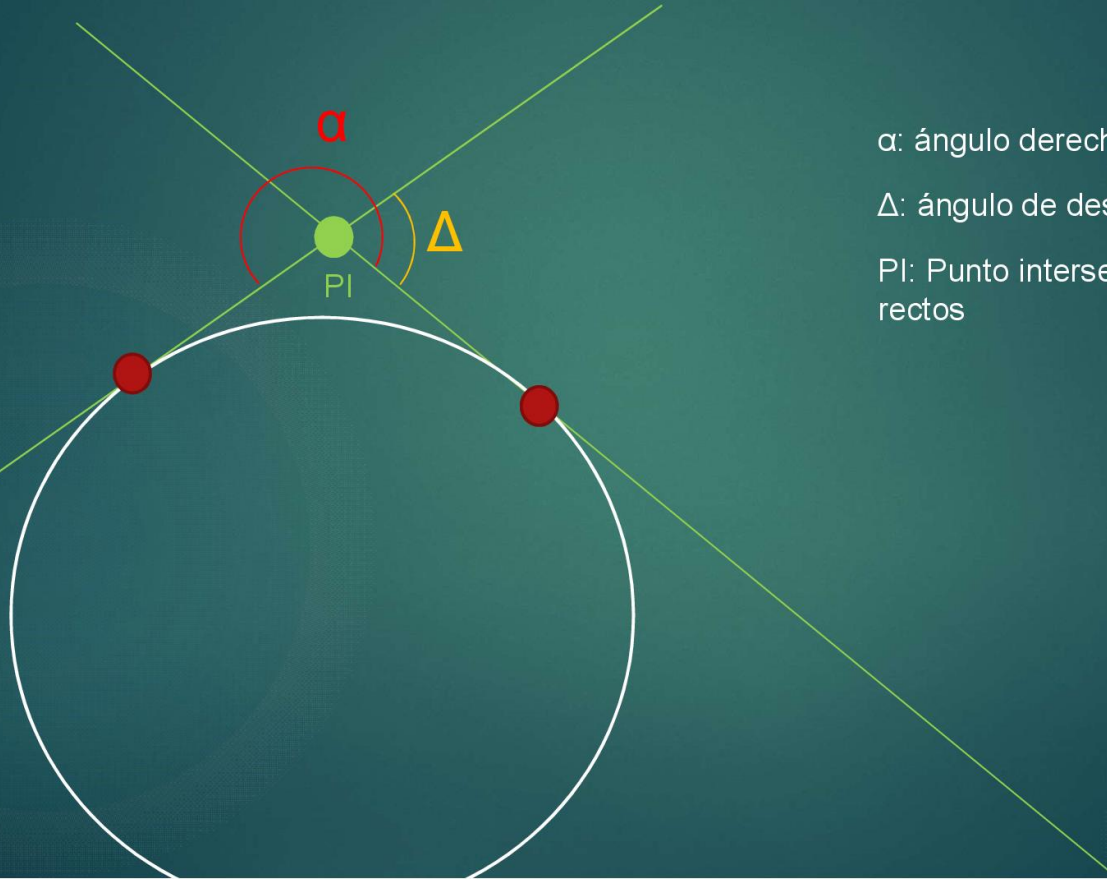
El alineamiento horizontal comprende tres elementos básicos:

▶ • Rectas (**R = infinito**)

▶ • Curvas circulares (**R = constante**)

▶ • Transiciones (**R = variable**)

CURVA HORIZONTAL

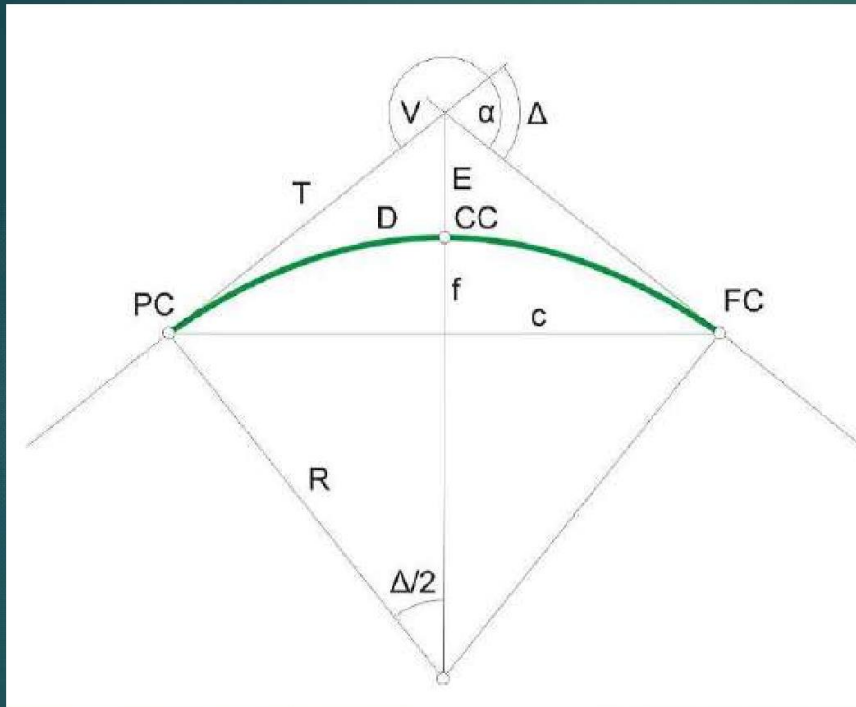


α : ángulo derecha, positivo

Δ : ángulo de desviación horizontal; $\Delta = \alpha - 180^\circ$

PI: Punto intersección entre alineamientos rectos

CURVA HORIZONTAL SIMPLE



V: Vértice (P1: punto de intersección)

α : ángulo derecha, positivo

Δ : ángulo de desviación horizontal; $\Delta = \alpha - 180^\circ$

R: Radio

T: Tangente

E: Externa

D o L: Desarrollo

c: Cuerda

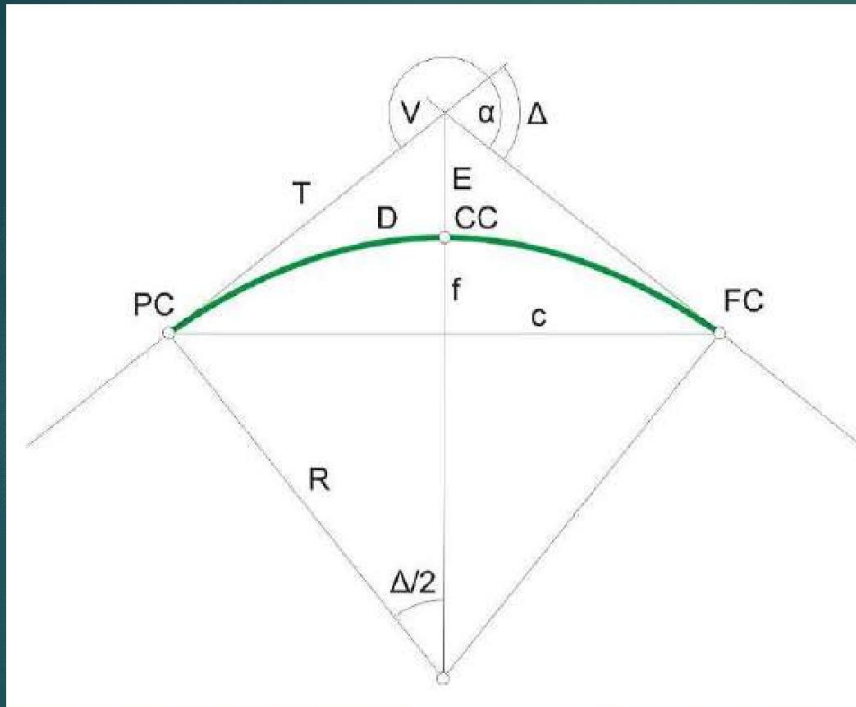
f: Flecha

PC: Principio de curva

CC: Centro de curva

FC: Centro de curva

CURVA HORIZONTAL



V: Vértice (P1: punto de intersección)

α : ángulo derecha, positivo

Δ : ángulo de desviación horizontal; $\Delta = \alpha - 180^\circ$

R: Radio de la curva circular

T: Tangente

E: Externa

D o L: Desarrollo

c: Cuerda

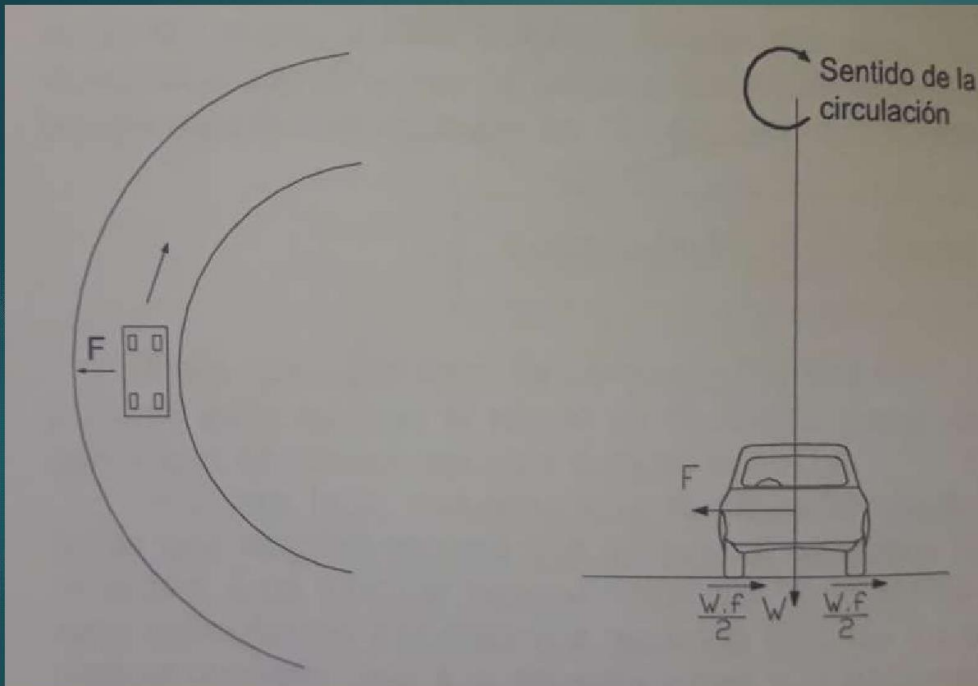
f: Flecha

PC: Principio de curva

CC: Centro de curva

FC: Centro de curva

CURVA CIRCULAR SIMPLE



CIRCULACIÓN DE UN VEHÍCULO EN CURVA

FUERZA CENTRÍFUGA PARA UNA VELOCIDAD CONSTANTE

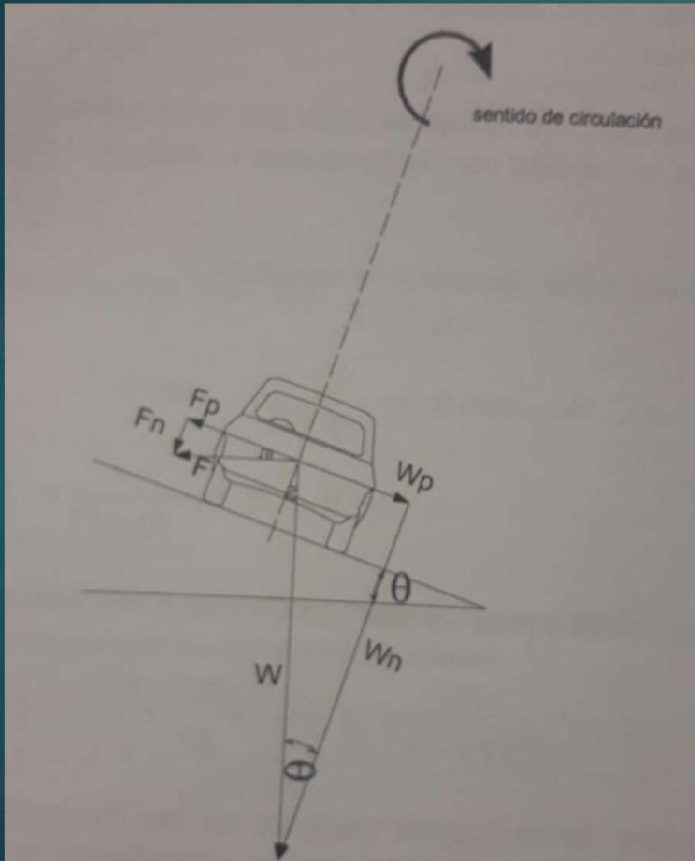
$$F_c = m \times \frac{V^2}{R} \quad F_c = \frac{k \times V^2}{g \times R}$$

Esta sollicitación transversal en la curva es proporcional a la aceleración radial

$$\frac{V^2}{R}$$

La única fuerza que se opone al deslizamiento lateral de vehículo es la fuerza de rozamiento entre el neumático y el pavimento.

CURVA CIRCULAR SIMPLE



PERALTE $e(\%)$

$$e(\%) = 100 \times \tan \theta$$

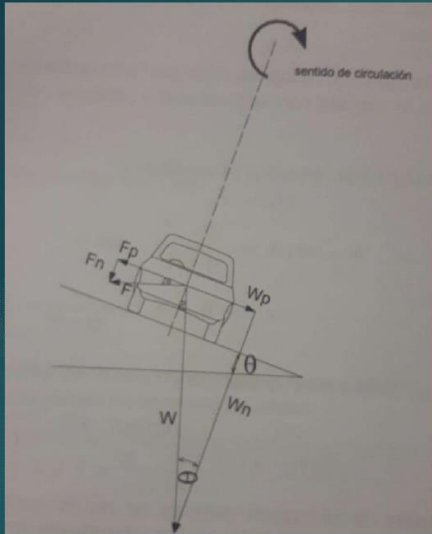
La magnitud de F_p = (velocidad; inclinación)

La magnitud de W_p = (inclinación)

$V = \text{CTE}$ y $\uparrow e$ $F_p \downarrow$; $W_p \uparrow$

$e = \text{CTE}$ y $\uparrow V$ $F_p \uparrow$; $W_p = \text{CTE}$

RADIO DE UNA CURVA CIRCULAR SIMPLE



$$F_p = W_p$$

Los ocupantes del vehículo no perciben la fuerza centrífuga

Velocidad de equilibrio (V_{eq})

$$F_p > W_p$$

Tendencia del vehículo a deslizarse hacia el exterior de la curva $V > V_{eq}$

$$F_p < W_p$$

Tendencia del vehículo a deslizarse hacia el interior de la curva $V < V_{eq}$

$$F_p - W_p = F_{\text{rozamiento}}$$

$$F_{\text{rozamiento}} = (F_n + W_n) \times f_t$$

f_t : coeficiente de fricción transversal húmeda neumático - calzada

Peralte máximo (em_{máx})

em_{máx} = f():

- Condiciones topográficas (llanura o montaña)
- Condiciones climáticas (zonas de heladas y nevadas)
- Condiciones de operación de vehículos (zonas de bajas velocidades, intersecciones frecuentes, zonas suburbanas o urbanas)

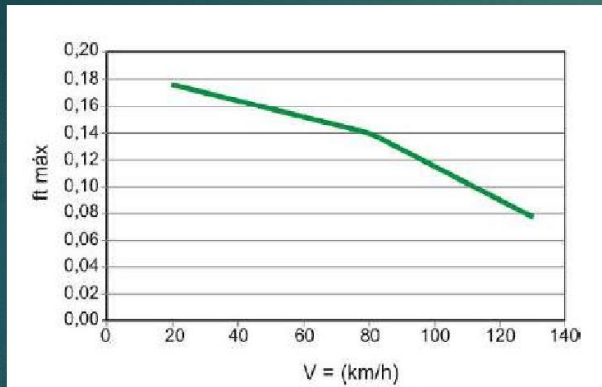
Peralte máximo	Condiciones en que se desarrolla la ruta
10%	En zonas rurales montañosas, con heladas o nevadas poco frecuentes
8%	En zonas rurales llanas, con heladas o nevadas poco frecuentes
6%	En zonas próximas a las urbanas, con vehículos que operan a bajas velocidades, o en zonas rurales, llanas o montañosas, sujetas a heladas o nevadas frecuentes

Tabla 3.6

Coeficiente de fricción transversal húmeda entre neumático y pavimento (f_t) .

$f_t = f$ (velocidad del vehículo; tipo y condición del camino; peralte; tipo y estado de los neumáticos)

Coeficiente de fricción transversal húmeda máxima ($f_{t\text{máx}}$)

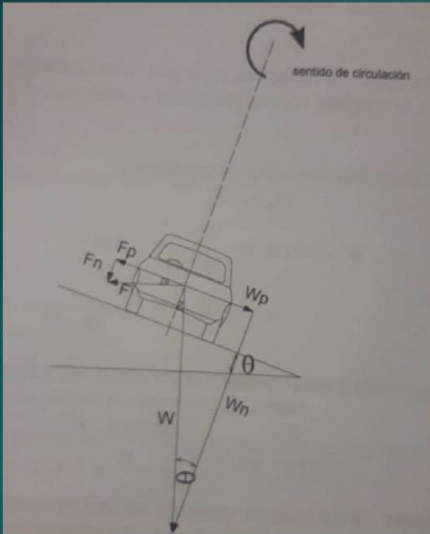


$$\text{Para } V \leq 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} ; \quad f_{t\text{máx}} = 0,188 - \frac{3V}{5000}$$
$$\text{Para } V > 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} ; \quad f_{t\text{máx}} = 0,24 - \frac{V}{800}$$

V km/h	$f_{t\text{máx}}$
25	0,17
30	0,17
40	0,16
50	0,16
60	0,15
70	0,15
80	0,14
90	0,13
100	0,12
110	0,10
120	0,09
130	0,08
140	0,07

Tabla 3.5

RADIO DE UNA CURVA CIRCULAR SIMPLE



Del equilibrio de fuerzas surge:

$$R = \frac{1}{3,6^2 \times 9,81} \times \frac{V^2}{(e+f)} = 0,007865 \times \frac{V^2}{(e+ft)} \cong \frac{V^2}{127 \times (e+ft)}$$

R: radio de la curva horizontal (m).

V: Velocidad Directriz (Km/h)

e: Peralte

f: Coeficiente de fricción transversal húmeda entre neumático y pavimento.

Radio mínimo absoluto (RmínAbs)

$$R_{\text{mínAbs}} = 0,007865 \times \frac{V^2}{(e_{\text{máx}} + f_{\text{t máx}})}$$

Condición límite de seguridad contra el deslizamiento lateral

Radio mínimo deseable (RmínDes)

$$R_{\text{mínDes}} = 0,007865 \times \frac{VM^2}{(e_{\text{máx}} + 0)}$$

VMM: Velocidad media de marcha en flujo libre correspondiente a la velocidad directriz.

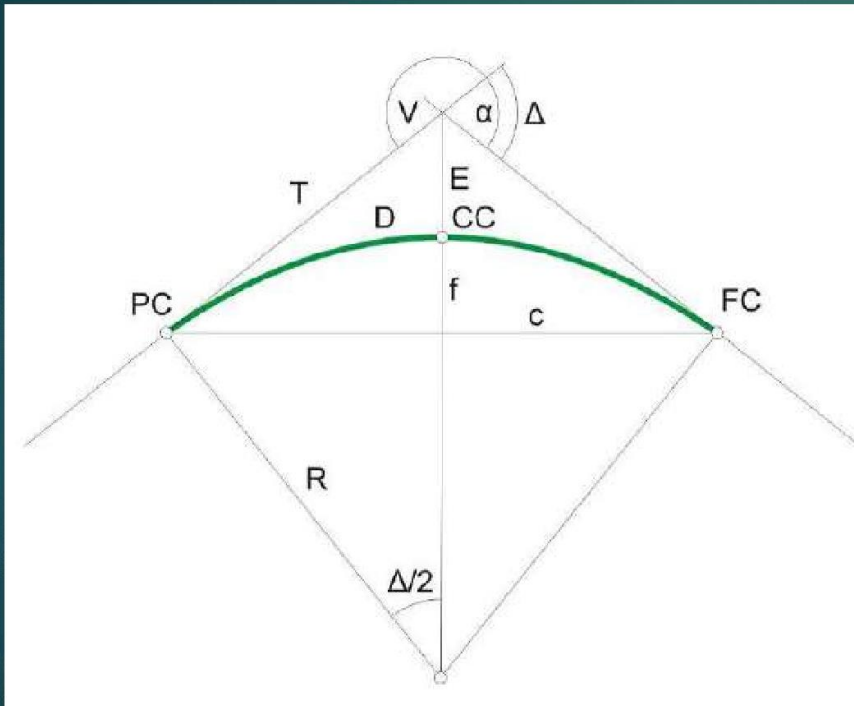
$$VMM = 1,782 V^{0.838}$$

VMM varía entre 0,85 a 0,75 V

Velocidad directriz	Peralte máximo 6%		Peralte máximo 8%		Peralte máximo 10%	
	Radios mínimos		Radios mínimos		Radios mínimos	
	Deseable	Absoluto	Deseable	Absoluto	Deseable	Absoluto
km/h	m	m	m	m	m	m
25	80	20	60	20	50	20
30	120	30	90	30	70	25
40	210	55	155	50	125	50
50	290	90	220	85	175	75
60	395	135	300	120	240	110
70	515	185	385	170	310	155
80	645	250	480	230	385	210
90	785	340	585	305	470	280
100	935	450	700	405	560	365
110	1095	585	820	520	655	470
120	1270	755	950	665	760	595
130	1450	970	1085	845	870	750
140	1640	1235	1230	1065	985	935

Tabla 3.9 Radios mínimos deseables y absolutos para peraltes máximos

ELEMENTOS DE UNA CURVA CIRCULAR SIMPLE



V: Vértice (P1: punto de intersección)

α : ángulo derecha, positivo

Δ : ángulo de desviación horizontal; $\Delta = \alpha - 180^\circ$

R: Radio

T: Tangente

E: Externa

D o L: Desarrollo

c: Cuerda

f: Flecha

PC: Principio de curva

CC: Centro de curva

FC: Centro de curva

ELEMENTOS DE UNA CURVA CIRCULAR SIMPLE

$$R = \frac{1}{3,6^2 \times 9,81} \times \frac{v^2}{(e+ft)} = 0,007865 \times \frac{v^2}{(e+ft)} \cong \frac{v^2}{127 \times (e+ft)}$$

TANGENTE

$$T = R \times \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$E = R \times \left(\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}} - 1 \right)$$

EXTERNA

CUERDA

$$C = 2 \times R \times \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$C/2 = R \times \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

SEMI CUERDA

FLECHA

$$f = R \times \left[1 - \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right) \right]$$

$$L = \frac{\pi \times \Delta}{180} \times R$$

LONGITUD - DESARROLLO

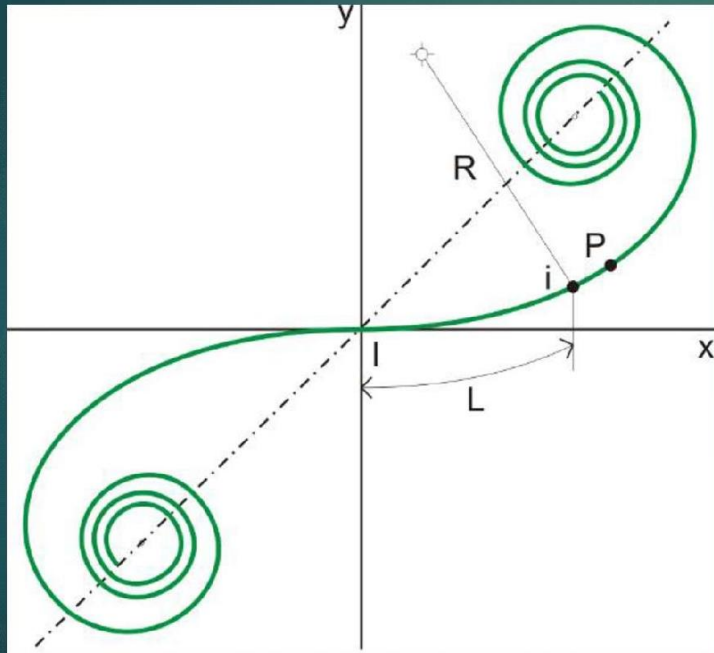
ALINEAMIENTO HORIZONTAL

El alineamiento horizontal comprende tres elementos básicos:

- ▶ • Rectas (**R = infinito**)
- ▶ • Curvas circulares (**R = constante**)
- ▶ • Transiciones (**R = variable**)

ESPIRAL DE EULER O CLOTOIDE:

Curva de transición tal que al recorrerla a velocidad constante origina un variación lineal de la aceleración centrífuga en función del tiempo y longitud.

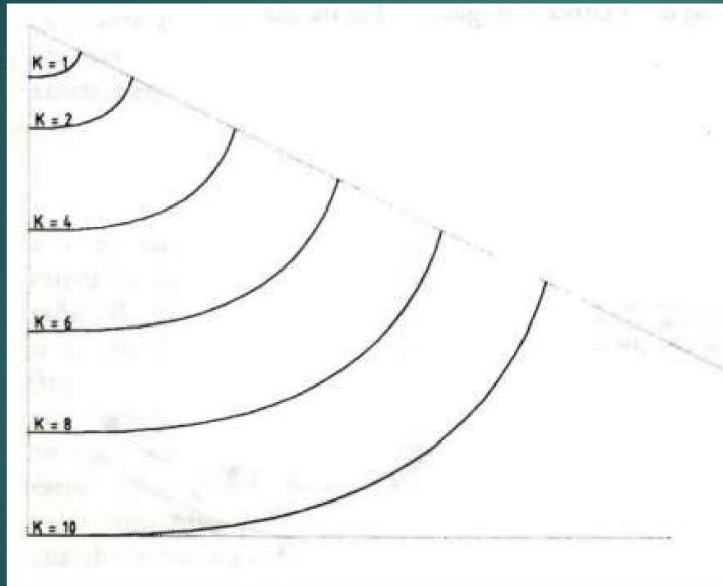


- Es una curva de dos ramas desde curvatura $-\infty$ hasta $+\infty$
- Longitud L desde $-\infty$ hasta $+\infty$
- El punto i donde $L=R$ se denomina *punto paramétrico*, y el valor de R o L en ese punto se denomina **parámetro A** , para el cual el ángulo de desviación desde i vale $0,5$ rad.

La expresión **$li \times Ri = \text{constante} = A^2$** es válida en todos los puntos P de la clotoide

ESPIRAL DE EULER O CLOTOIDE:

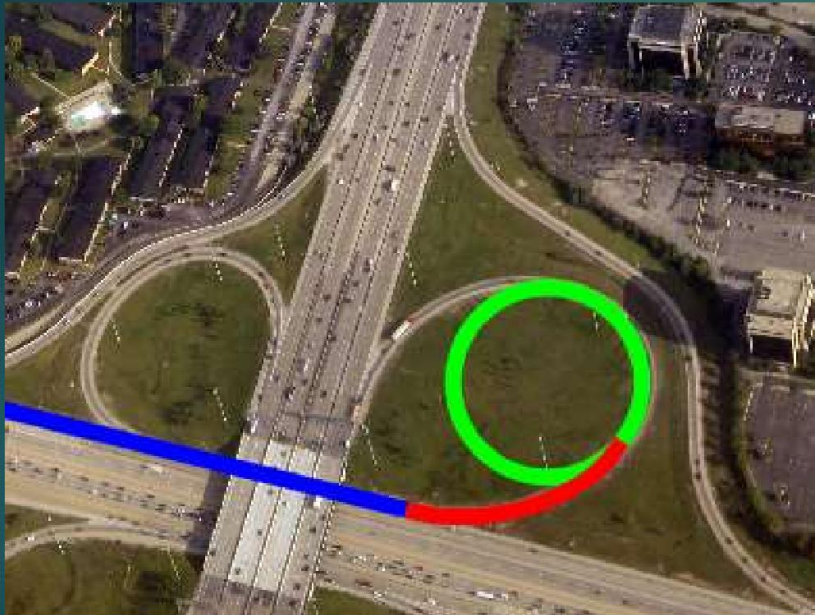
- El valor del **parámetro A o K** define el *tamaño* de la clotoide; así como el radio define el tamaño de la circunferencia.



$$li \times Ri = \text{constante} = A^2$$

Gráfico: Semejanza u homotecia de las clotoides

ESPIRAL DE EULER O CLOTOIDE:



http://arablogs.catedu.es/blog.php?id_blog=1535&id_articulo=182544

Sucesión de alineamientos rectos, curvas de transición y curvas circulares. Fuente: ICC. cat.

VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE LA CURVA ESPIRAL DE EULER O CLOTOIDE:

- Proporciona una trayectoria fácil de seguir para los conductores.

La fuerza lateral aumenta y disminuye gradualmente a medida que un vehículo entra y sale de una curva circular.

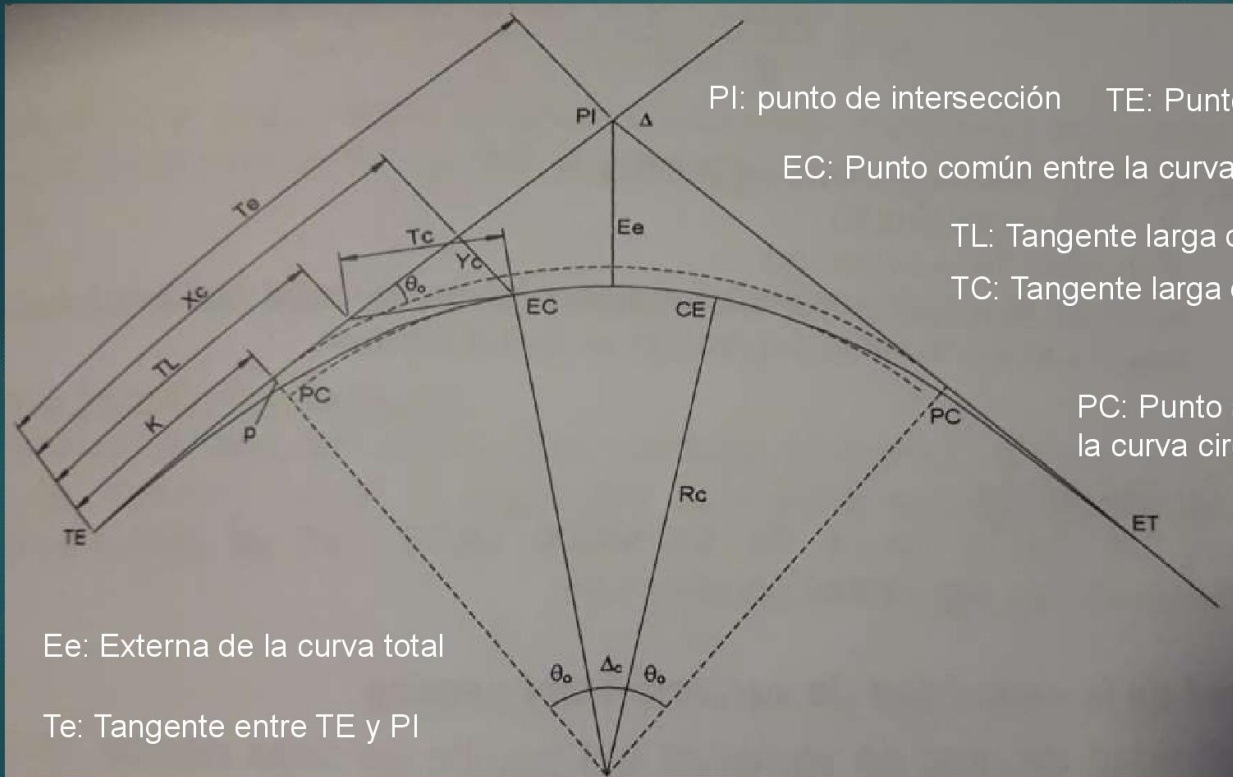
Minimizan la invasión en los carriles adyacentes y tienden a promover una velocidad uniforme.

- Proporciona un lugar adecuado para el desarrollo del peralte.
- Las clotoides de parámetro (A) grande aumentan lentamente su curvatura (apto para altas velocidades de circulación)

CUANDO UTILIZAR LA CURVA ESPIRAL DE EULER O CLOTOIDE:

- Preferiblemente todas las curvas con $V > 60 \text{ Km/h}$ deberían diseñarse con transiciones, excepto:
 - En terreno ondulado o montañoso donde no haya espacio.
 - Cuando R sea mayor o igual a 1800m (Sin embargo se puede utilizar transición hasta $R=6000\text{m}$)
 - Cuando el retranqueo p sea menor a $0,10\text{m}$.

ELEMENTOS DE LA ESPIRAL DE EULER O CLOTOIDE:



PI: punto de intersección TE: Punto común entre la tangente y la espiral

EC: Punto común entre la curva espiral y circular

TL: Tangente larga de la espiral

TC: Tangente larga de la espiral

PC: Punto a donde se desplaza el TE y TS de la curva circular.

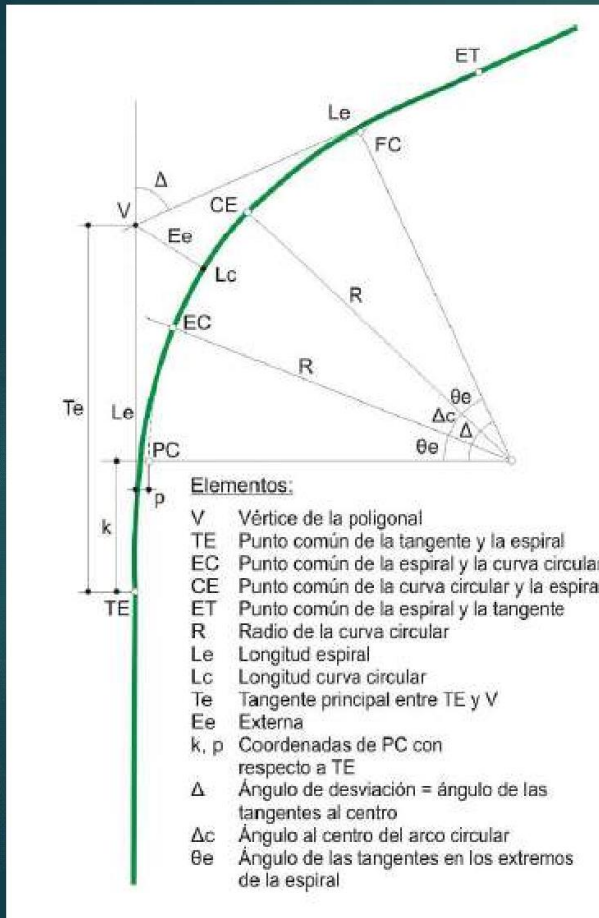
Ee: Externa de la curva total

Te: Tangente entre TE y PI

Δ : ángulo de deflexión entre las tangentes; $\Delta = \Delta_c + 2\theta_o$

Rc: Radio curva circular

ELEMENTOS DE LA ESPIRAL DE EULER O CLOTOIDE:



El radio de la de la curva circular R_c corresponde al radio que deberá tener el extremo de la espiral.

Otro dato conocido será la longitud de la espiral l_e (definida por requerimientos mínimos)

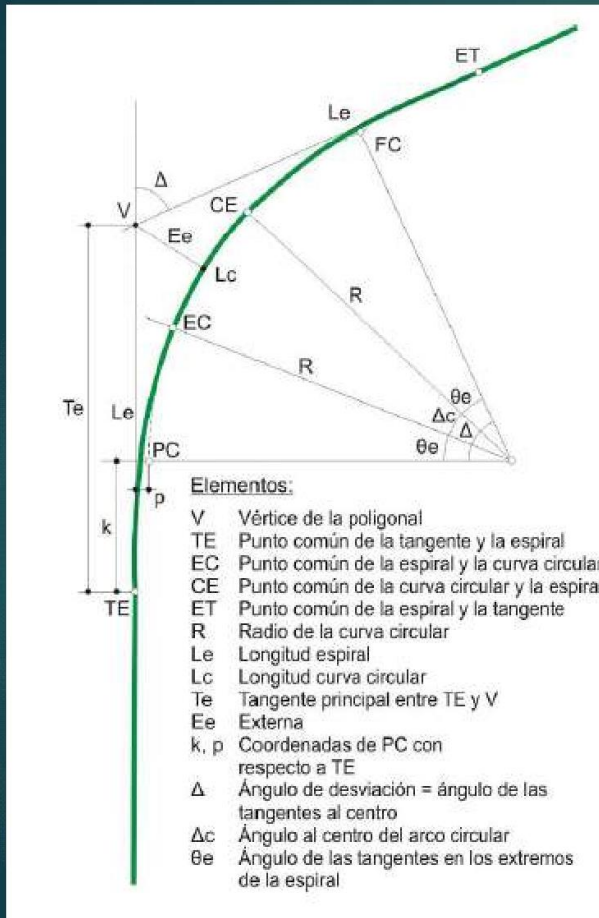
$$l_i \times R_i = \text{constante} = A^2$$

$$l_e \times R_c = l_i \times R_i = A^2$$

$$l_e \times R_c = l_i \times R_i$$

$$R_i = \frac{l_e \times R_c}{l_i}$$

ELEMENTOS DE LA ESPIRAL DE EULER O CLOTOIDE:



Siendo:

θ_i : ángulo de deflexión para un punto cualquiera (rad)

θ_e : ángulo de deflexión para el extremo de la espiral (rad)

$$\theta_i = \frac{l_i^2}{2 \times A^2}$$

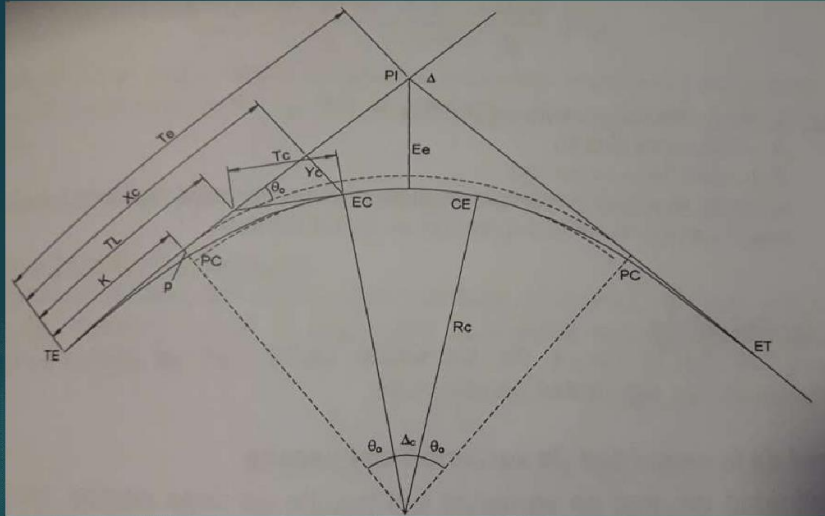
$$\theta_e = \frac{l_e^2}{2 \times (R_c \times l_e)}$$

$$\theta_i = \frac{l_i^2}{2 \times (R_c \times l_e)}$$

$$R_c = \frac{l_e^2}{2 \times (\theta_e \times l_e)} = \frac{l_i^2}{2 \times (\theta_i \times l_e)}$$

$$\theta_i = \left(\frac{l_i}{l_e} \right)^2 \times \theta_e$$

ELEMENTOS DE LA ESPIRAL DE EULER O CLOTOIDE:



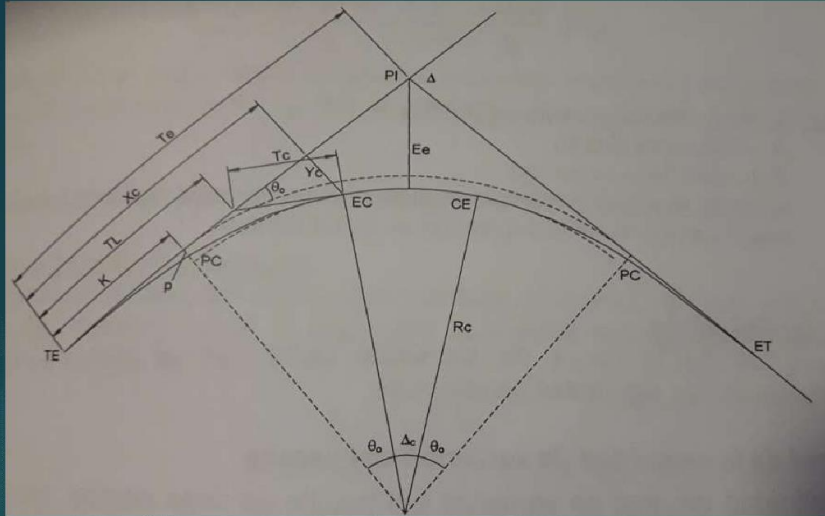
Para determinar el punto de inicio de la curva de transición sobre la tangente, es necesario determinar T_e , que se mide a partir de PI

$$T_e = (R + p) \times \tan \frac{\Delta}{2} + k$$

Valores de p y k

Al aplicar la espiral, para darle espacio entre la recta y la curva circular, ésta tiene que desplazarse hacia su centro. Así, la curva circular se ubica entre rectas tangentes paralelas a las originales, pero retranqueadas en una cantidad p . Con relación al origen de la transición, el centro de la curva circular retranqueada tiene las coordenadas k (abscisa) y $R+p$ (ordenada).

ELEMENTOS DE LA ESPIRAL DE EULER O CLOTOIDE:



Los valores de p y k resultan de sumar los infinitos términos n de las siguientes series convergentes:

$$p = \frac{L^2}{4R} \sum_0^n (-1)^n \frac{\left(\frac{L}{R}\right)^{2n}}{(4n+3)2^{2n}(2n+2)!}$$

$$k = \frac{L}{2} \sum_0^n (-1)^n \frac{\left(\frac{L}{R}\right)^{2n}}{(4n+1)2^{2n}(2n+1)!}$$

Siendo $l = l_e =$ longitud de la transición. Tomando sólo el primer término de cada para $n=0$, resultan:

$$p = \frac{L^2}{24R}$$

$$k = \frac{L}{2}$$

ESPIRAL DE EULER O CLOTOIDE:

LONGITUD MÍNIMA:

1- Criterio de comodidad de los ocupantes:

$$L_{emín} = \frac{0,0214 V^3}{R \times a}$$

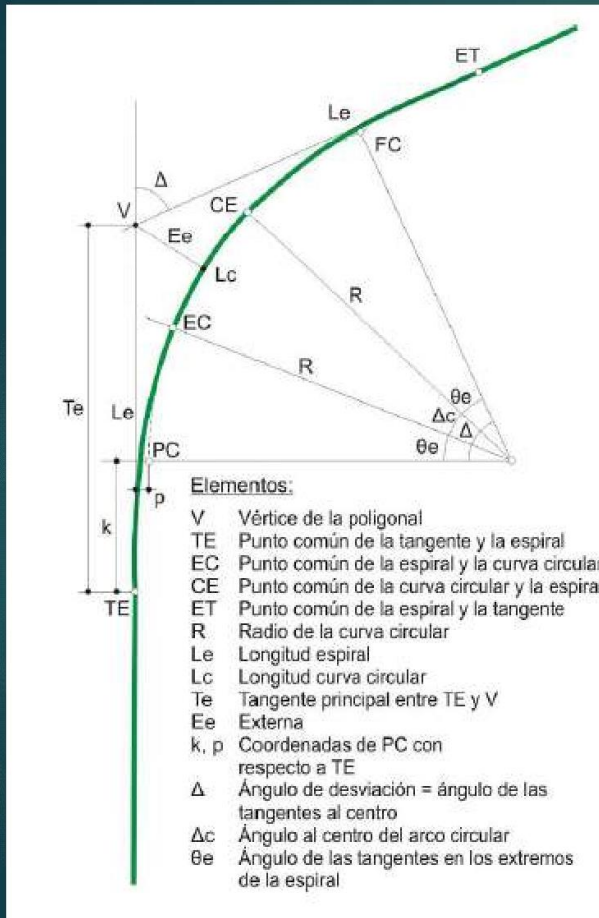
Donde:

V=velocidad directriz (km/h)

R= radio de la curva (m)

a= variación de la aceleración centrífuga; alrededor de 0,6 m/s³

$$L_{emín} = \frac{V^3}{28R}$$



ESPIRAL DE EULER O CLOTOIDE:

LONGITUD MÍNIMA:

2 - Criterio de apariencia general:

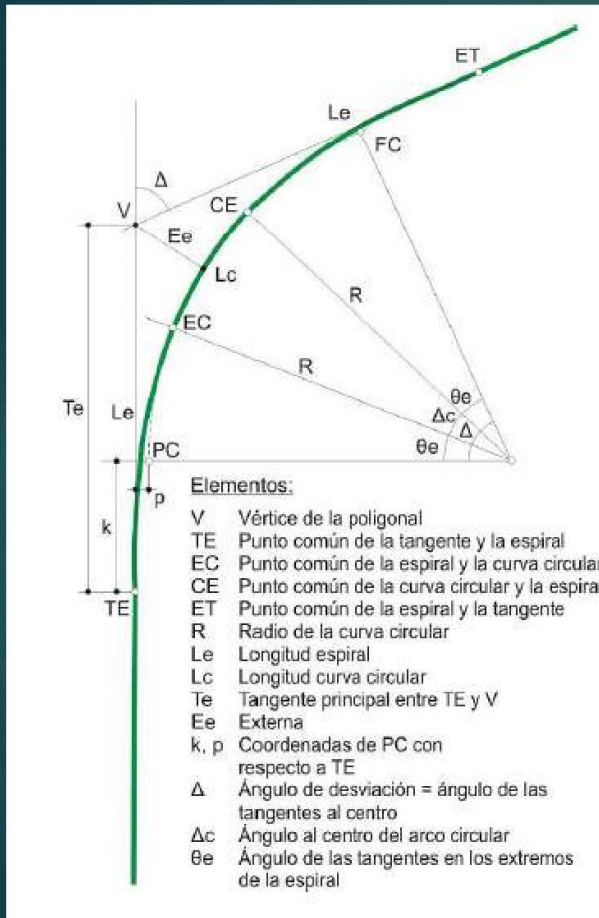
$$L_{\text{mín}} = \frac{V}{1,8} \geq 30$$

Donde:

V=velocidad directriz (km/h)

La transición debe tener una longitud mínima tal que un vehículo marchando a la velocidad directriz, tarde **2 segundos aproximadamente en recorrerla.**

La longitud mínima será de 30 m.



ESPIRAL DE EULER O CLOTOIDE:

LONGITUD MÍNIMA:

3 - Criterio de apariencia de borde:

Longitud de desarrollo del peralte (Des):

$$Des = \frac{c \times e}{ib}$$

$$ib(\%) = 0,85 - \frac{V}{253}$$

Donde:

Des= Longitud de desarrollo del peralte (m)

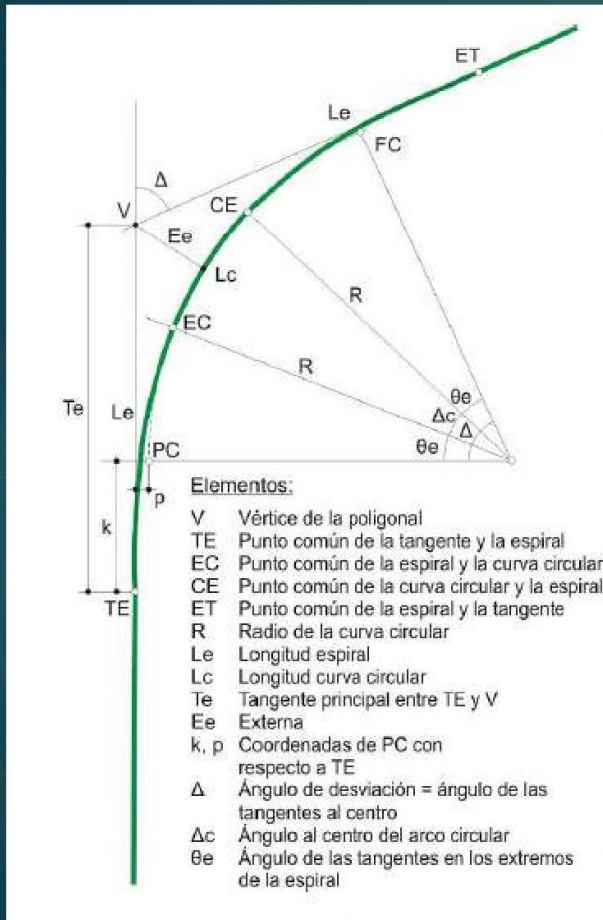
c = Ancho de carril (m)

e = Peralte (%)

ib = Pendiente relativa del borde respecto del eje de rotación,

La experiencia indica que las pendientes relativas máximas de 0,8 a 0,35% en función de la velocidad proveen desarrollos de peraltes con buena apariencia de borde para velocidades entre 20 y 130 km/h.

$$Lemín = Des$$

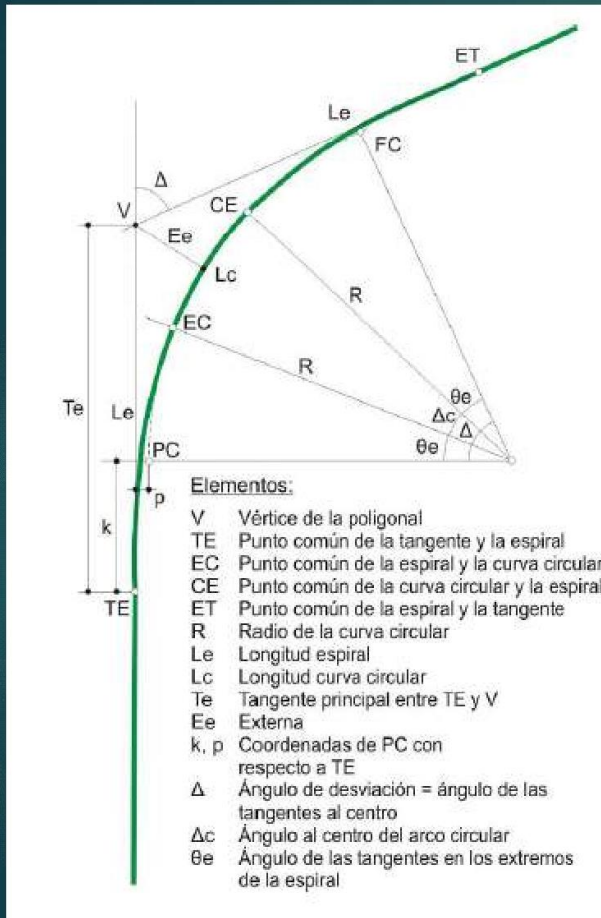


ESPIRAL DE EULER O CLOTOIDE:

LONGITUD MÁXIMA:

Longitudes largas de transición inducen maniobras zigzagueantes.

$$L_{\text{máx}} = 1,25 L_{\text{mín}}$$



DESARROLLO DEL PERALTE

A) GIRO DE CALZADA ALREDEDOR DEL EJE

T.Ext.

Gálibo Normal

T.E. o E.T.

E.C. o C.E.

Pendiente Maxima 1:400
Pendiente Maxima 1:200

Pendiente Maxima 1:200

Rasante

L1

L2

L3

De sección normal a
sección plana en la
mitad exterior

De sección normal a
sección plana inclinada e
la mitad exterior

Desarrollo del peralte

Borde Exterior del Firme

Peralte Total

P^*_{ext}

P^*_{int}

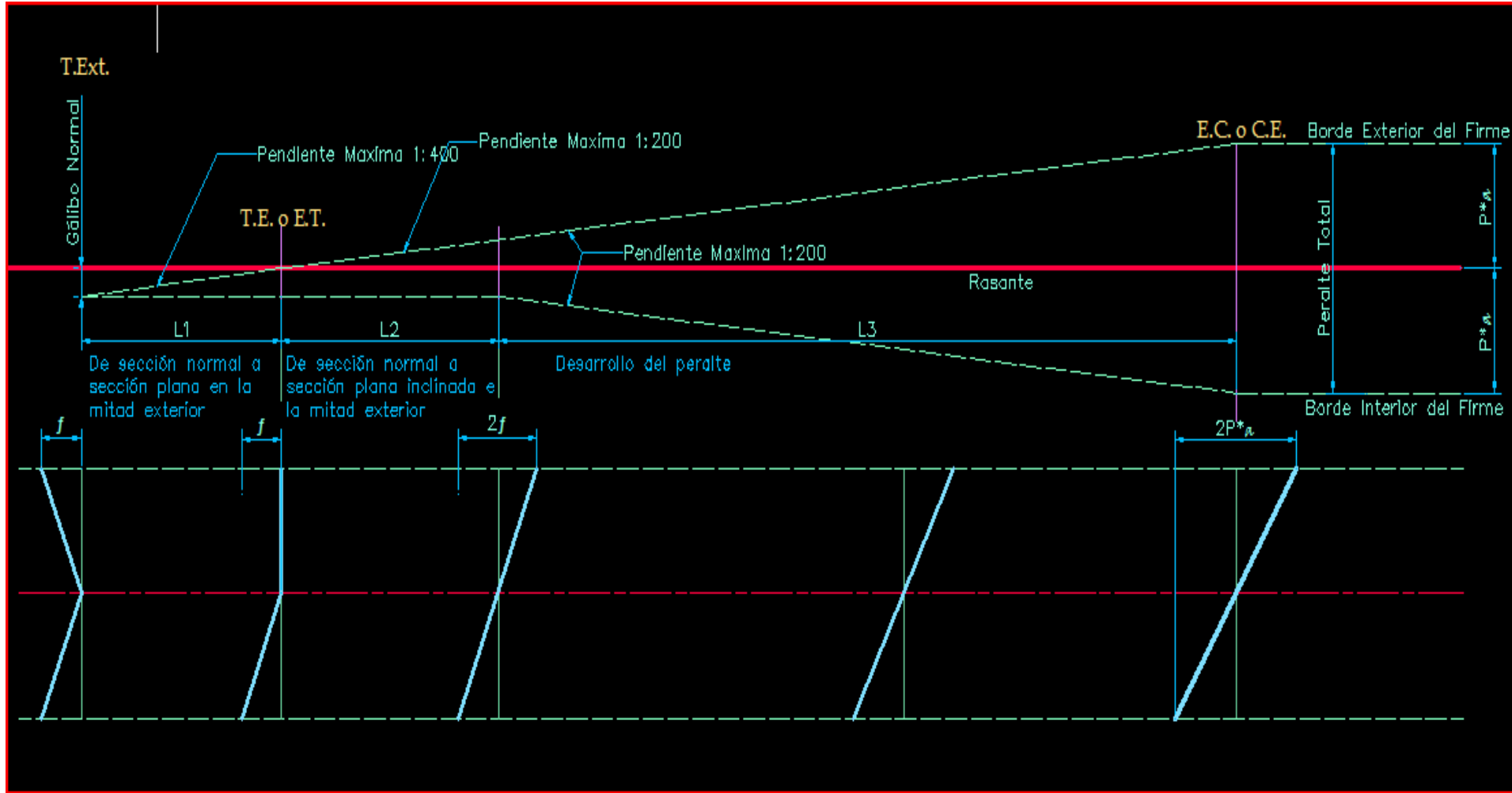
Borde Interior del Firme

f

f

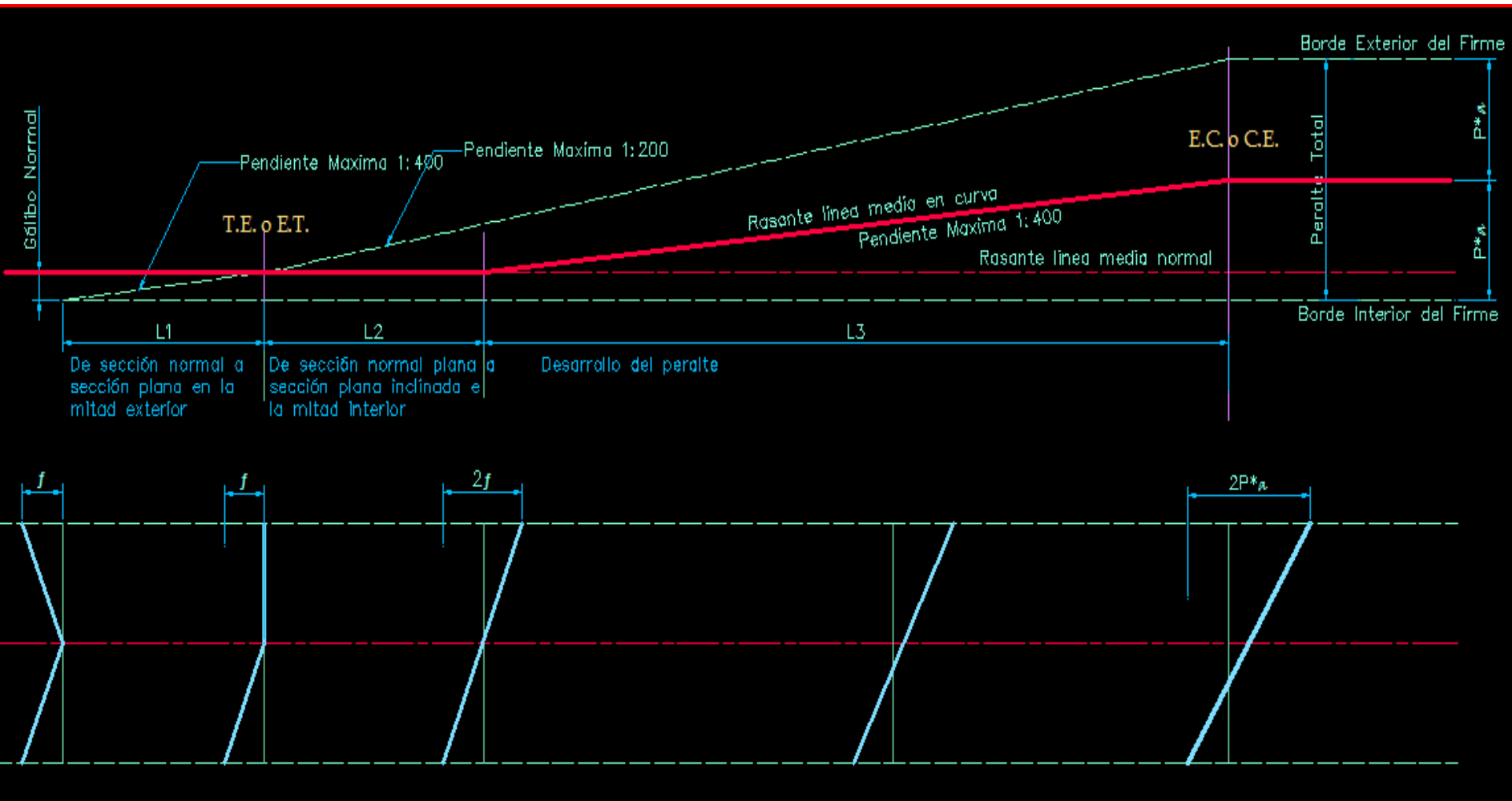
$2f$

$2P^*_{\text{ext}}$



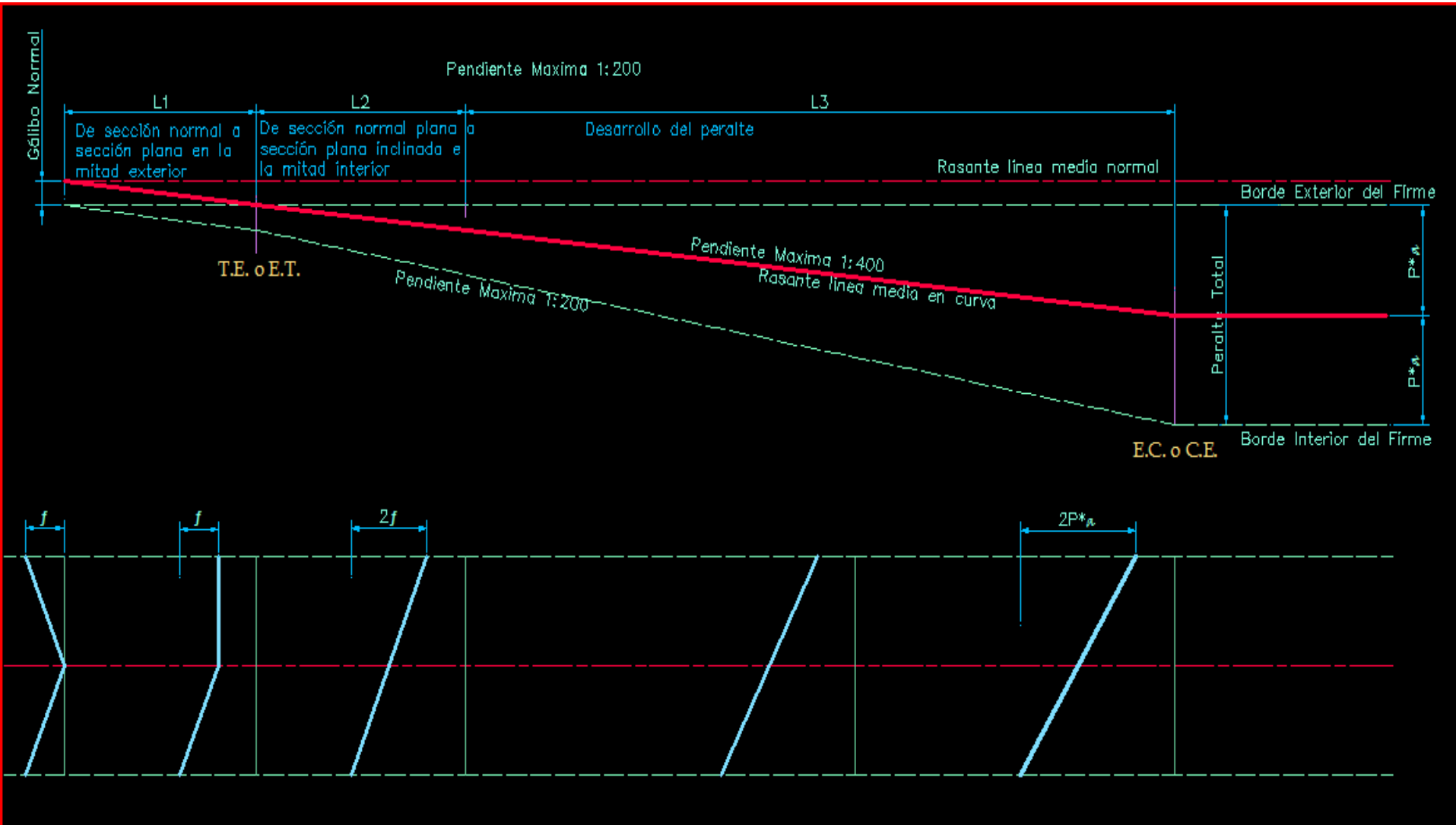
DESARROLLO DEL PERALTE

B) GIRO DE CALZADA ALREDEDOR DEL BORDE INTERNO



DESARROLLO DEL PERALTE

C) GIRO DE CALZADA ALREDEDOR DEL BORDE EXTERNO



Sobreanchos en curvas horizontales:

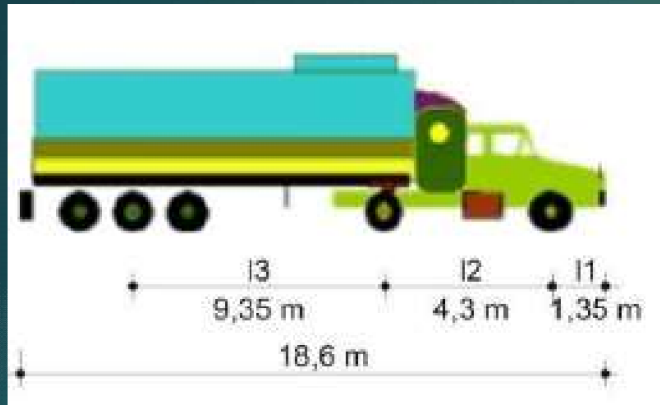
Por qué se utilizan?

- Cuando un vehículo circula en una curva horizontal, ocupa un ancho de calzada mayor que en una recta.
- La dificultad que experimentan los conductores para mantenerse en el centro de su carril por la menor facilidad para apreciar la posición relativa de sus vehículos en la curva.

Para su determinación se debe elegir un vehículo representativo del tránsito de la ruta.

DNV utiliza un camión semirremolque

DNV utiliza un camión semirremolque

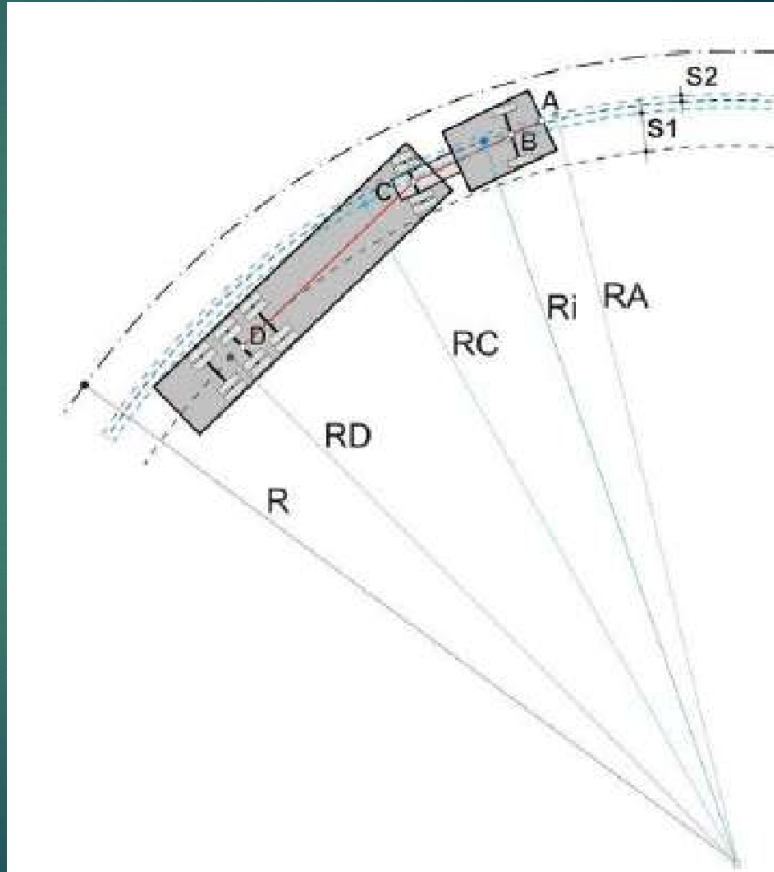


Para cálculo $R_i \approx R$

Para caminos de dos carriles y $ac = 6.7$
sobreecho total:

$$S = 2 S_1 + S_2 + SV$$

$$S = 2 [R \cdot \sqrt{R^2 - (I_2^2 + I_3^2)}] + [\sqrt{R^2 + I_1 (I_1 + 2 I_2)} - R] + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$



Sobranchos – Método de distribución

