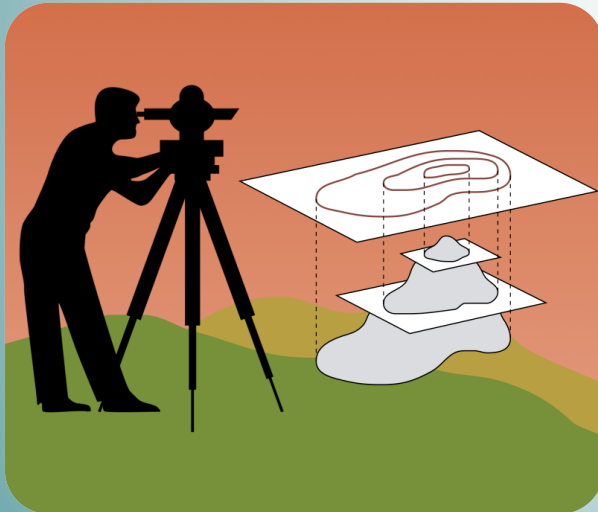


Topografía y Geodesia-G337

Bloque II. Tema 3. Trazado geométrico de obras lineales



Javier Sánchez Espeso

Raúl Pereda García

DPTO. DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA
Y TÉCNICAS DE EXPRESIÓN GRÁFICA

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



Introducción.

1.- TRAZADO EN PLANTA

- 1.1.- Alineación recta.
- 1.2.- Alineación circular.
- 1.3.- Curvas de transición.

2.- TRAZADO EN ALZADO.

- 2.1.- Alineaciones de pendiente constante.
- 2.2.- Acuerdos verticales.

3.- DEFINICIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

- 3.1.- Diagrama de curvaturas.
- 3.2.- Diagrama de peraltes.



1.- Trazado en planta.

La planta de cualquier obra lineal queda materializada por la definición del eje, constituido por la sucesión de una serie de **alineaciones**:

Alineación recta.

Alineación circular.

Curva de transición: Clotoide.

El conjunto de alineaciones dará lugar a la geometría en planta, caracterizándose por la continuidad de la tangente.



1.- Trazado en planta.

El **estudio de cada alineación** tiene por objeto poder determinar las coordenadas (planimétricas) de cualquier punto de ella.

En general será necesario conocer ciertos datos de partida:

- Coordenadas del punto inicial.
- **Acimut de salida**: Se define como el acimut con el que empieza una alineación (o conjunto de ellas). Acimut de la tangente al trazado en el punto inicial tomando la dirección de la tangente la de los puntos kilométricos crecientes.

Se deberá saber caracterizar cualquier punto intermedio de la alineación.

Para dar por concluido el cálculo de una alineación convendrá calcular:

- Coordenadas del punto final.
- Acimut final de la alineación (será el acimut de salida de la siguiente alineación).



1.- Trazado en planta.

1.1.- Alineación recta

Las alineaciones rectas quedan totalmente caracterizadas por las coordenadas de dos puntos. No obstante, a partir de las coordenadas de dos puntos conviene recordar:

$$D_A^B = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$
$$\theta_A^B = \arctan \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A}$$

Donde D_A^B es la distancia UTM, y θ_A^B es el acimut.

Las alineaciones rectas se caracterizan, por lo tanto, en mantener el acimut constante.

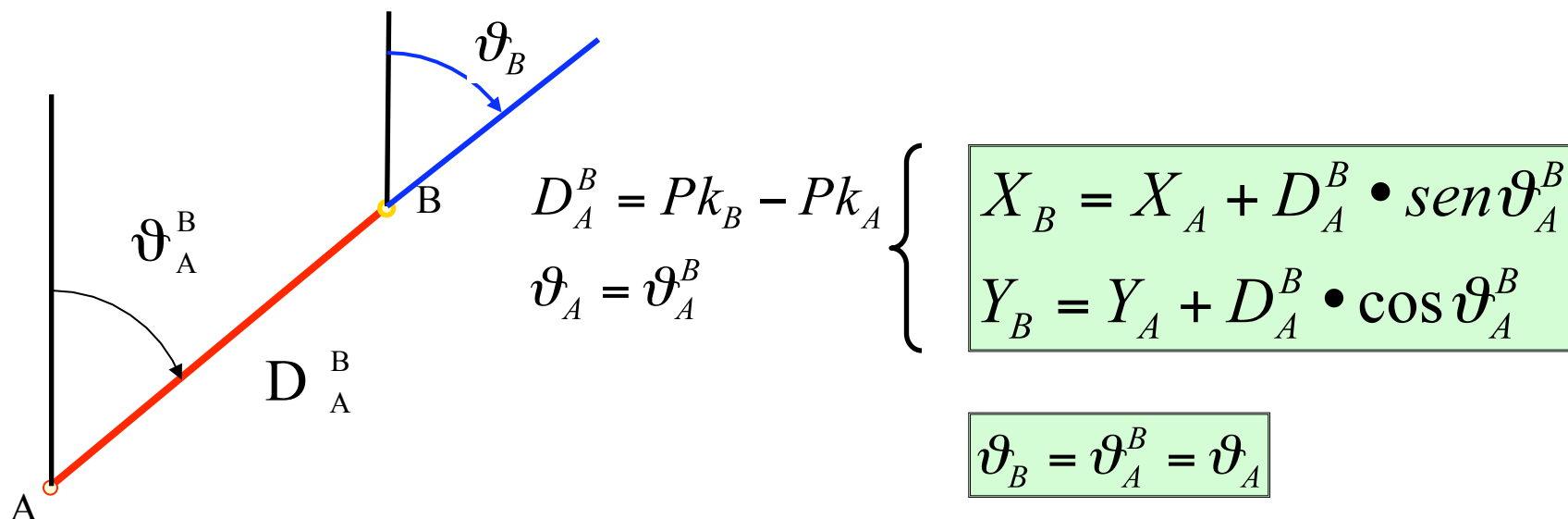
El acimut con el que termina una alineación recta será, por lo tanto, su acimut de salida.



1.- Trazado en planta.

1.1.- Alineación recta

Las alineaciones rectas se caracterizan por un acimut constante (no existen giros). La distancia entre puntos siempre es plana o en proyección UTM. Los puntos quedan definidos por el punto kilométrico PK.



1.- Trazado en planta.

1.1.- Alineación recta

En carreteras la Norma 3.1 I.C

- Define una longitud mínima:
 - *Acomodación y adaptación*
- Define una longitud máxima:
 - *Deslumbramientos, cansancio, exceso de velocidad*

$$\begin{aligned}L_{\min.s} &= 1,39 \cdot V_p \\L_{\min.o} &= 2,78 \cdot V_p \\L_{\max} &= 16,70 \cdot V_p\end{aligned}$$

Siendo: $L_{\min.s}$ = longitud mínima (m) para trazados en «S» (alineación recta entre alineaciones curvas con radios de curvatura de sentido contrario).

$L_{\min.o}$ = longitud mínima (m) para el resto de casos (alineación recta entre alineaciones curvas con radios de curvatura del mismo sentido).

$L_{\max}$ = longitud máxima (m).

V_p = velocidad de proyecto (km/h).

V_p (km/h)	$L_{\min.s}$ (m)	$L_{\min.o}$ (m)	$L_{\max}$ (m)
40	56	111	668
50	69	139	835
60	83	167	1002
70	97	194	1169
80	111	222	1336
90	125	250	1503
100	139	278	1670
110	153	306	1837
120	167	333	2004

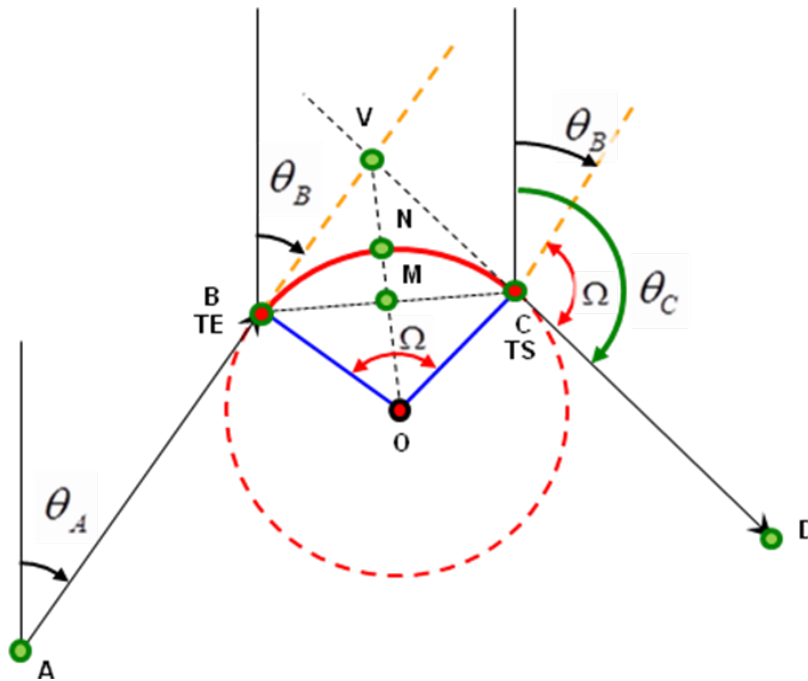


1.- Trazado en planta.

1.2.- Alineación circular

La alineación circular permite enlazar alineaciones con direcciones diferentes, modificándose a lo largo de su desarrollo el acimut de la alineación.

Sus componentes característicos son:



$$TANGENTE = \overline{BV} = R \cdot \tan \frac{\Omega}{2}$$

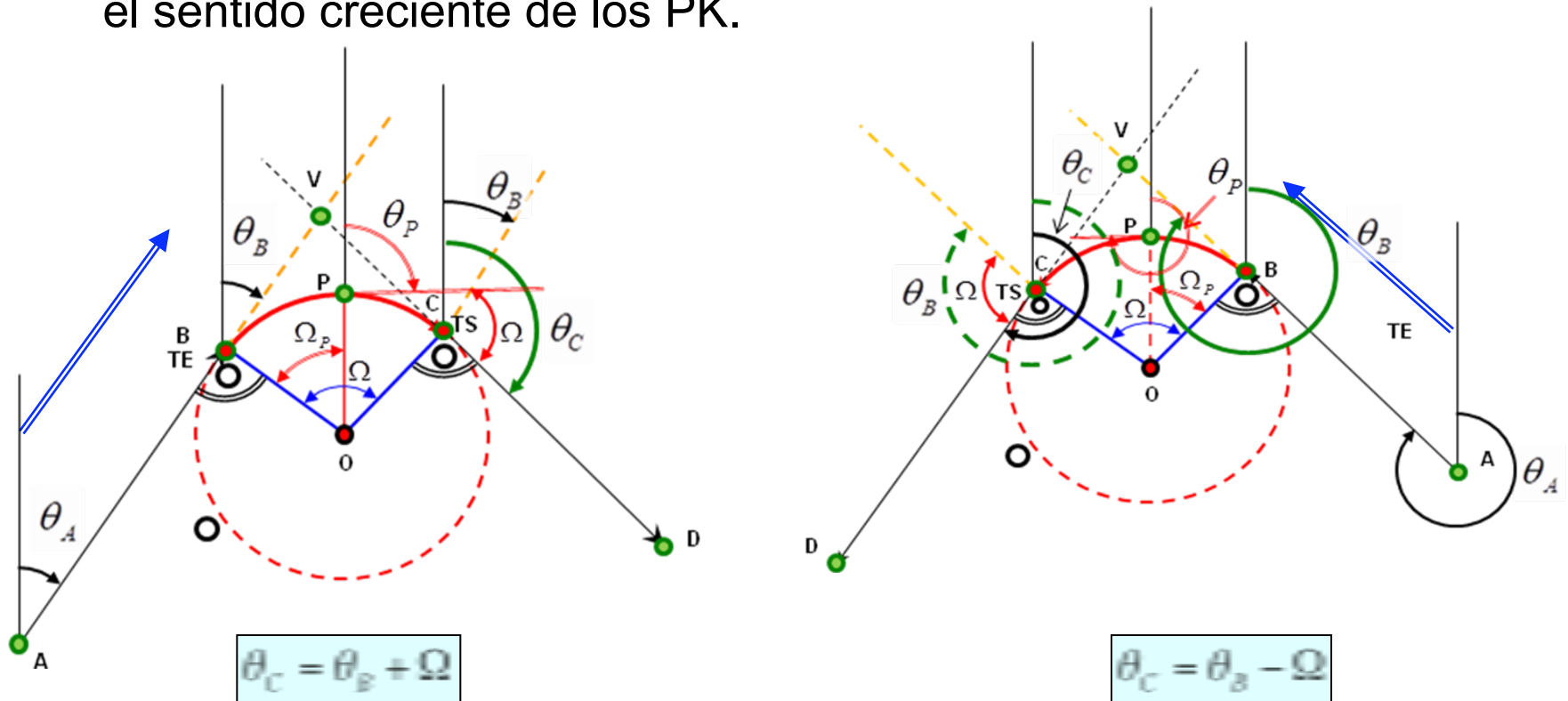
$$CUERDA = 2 \cdot \overline{BM} = 2 \cdot R \cdot \sin \frac{\Omega}{2}$$

$$DESARROLLO = \Omega \cdot R \cdot \frac{\pi}{200}$$

1.- Trazado en planta.

1.2.- Alineación circular

La variación de acimut puede ser creciente o decreciente en función del sentido de giro (a derechas o izquierdas) según el sentido creciente de los PK.



1.- Trazado en planta.

1.2.- Alineación circular.

En carreteras la Norma 3.1 I.C

- Radio mínimo función de:
 - *Peralte, rozamiento transversal, visibilidad de parada y coordinación planta alzado.*
- Establece un desarrollo mínimo:
 - *20 gonios, aceptable entre 20 y 9 gonios, menor excepcional.*

TABLA 4.3. RELACIÓN VELOCIDAD ESPECÍFICA - RADIO - PERALTE PARA AUTOPISTAS, AUTOVÍAS, VÍAS RÁPIDAS Y CARRETERAS C-100 (GRUPO 1)

VELOCIDAD ESPECÍFICA (km/h)	RADIO (m)	PERALTE (%)
80	250	8,00
85	300	8,00
90	350	8,00
95	400	8,00
100	450	8,00
105	500	8,00
110	550	8,00
115	600	8,00
120	700	8,00
125	800	7,51
130	900	6,97
135	1050	6,25
140	1250	5,49
145	1475	4,84
150	1725	4,29

TABLA 4.4. RELACIÓN VELOCIDAD ESPECÍFICA - RADIO - PERALTE PARA CARRETERAS C-80, C-60 Y C-40 (GRUPO 2)

VELOCIDAD ESPECÍFICA (km/h)	RADIO (m)	PERALTE (%)
40	50	7,00
45	65	7,00
50	85	7,00
55	105	7,00
60	130	7,00
65	155	7,00
70	190	7,00
75	225	7,00
80	265	7,00
85	305	7,00
90	350	7,00
95	410	6,50
100	485	5,85
105	570	5,24
110	670	4,67



1.- Trazado en planta.

1.3.- Curva de transición. Clotoide

Para mejorar la seguridad y la comodidad de la circulación, especialmente a altas velocidades, se definen curvas de transición entre las alineaciones recta y circular en planta.

Permiten evitar discontinuidades de curvatura y deben ofrecer las mismas condiciones de seguridad, comodidad y estética que el resto de alineaciones.

De todas ellas la más empleada en trazado de vías de comunicación es la **clotoide**, que se caracteriza por variar la curvatura de forma lineal con la longitud.

$$A^2 = \rho \cdot l = \text{constante}$$

La característica de cada clotoide queda definida por su parámetro:



1.- Trazado en planta.

1.3.- Curva de transición. Clotoide

Variación del acimut:

A partir de la constante de la clotoide:

$$A^2 = R \cdot L = \rho \cdot l$$

Para un elemento diferencial de arco, se cumple:

$$dl = \rho \cdot d\alpha$$

Sustituyendo el valor:

$$\rho = \frac{A^2}{l} = \frac{R \cdot L}{l}$$

Queda:

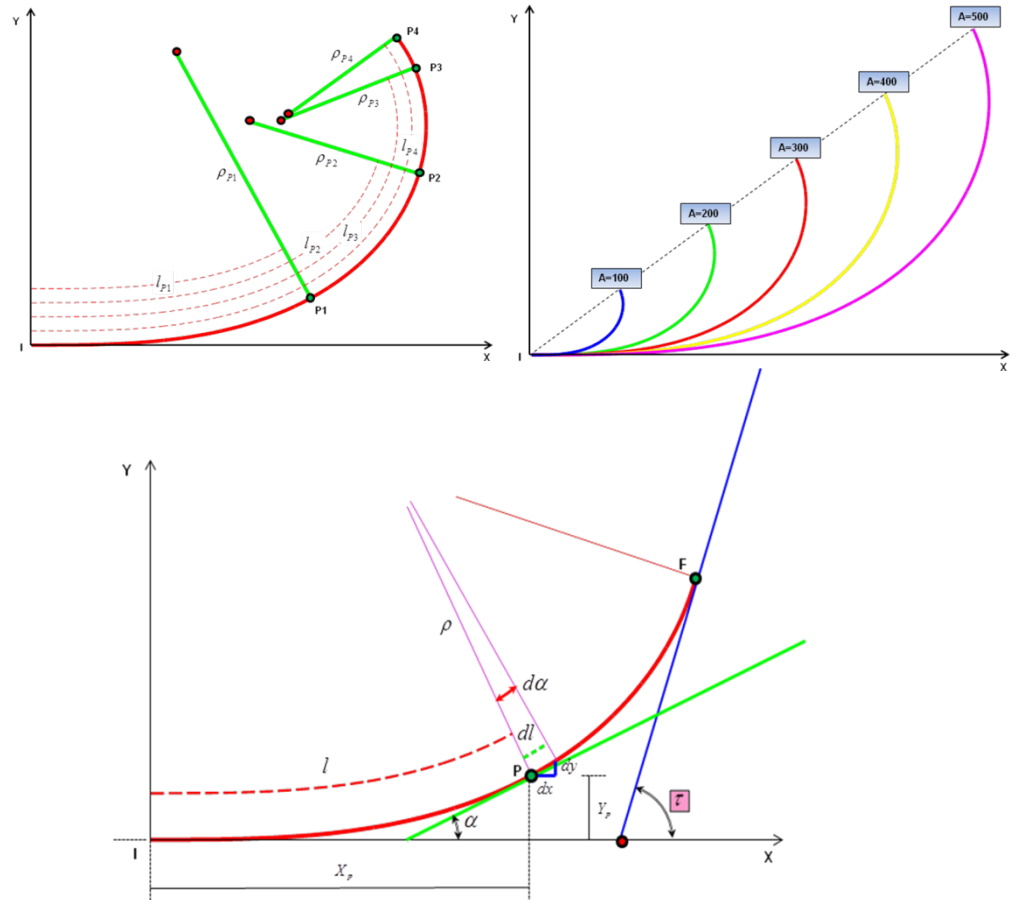
$$dl = \frac{R \cdot L}{l} \cdot d\alpha \Rightarrow d\alpha = \frac{l}{R \cdot L} \cdot dl$$

Integrando:

$$\alpha = \frac{l^2}{2 \cdot R \cdot L}$$

Para el punto final:

$$\tau = \frac{L}{2 \cdot R}$$



1.- Trazado en planta.

1.3.- Curva de transición. Clotoide

Cálculo según ejes particulares:

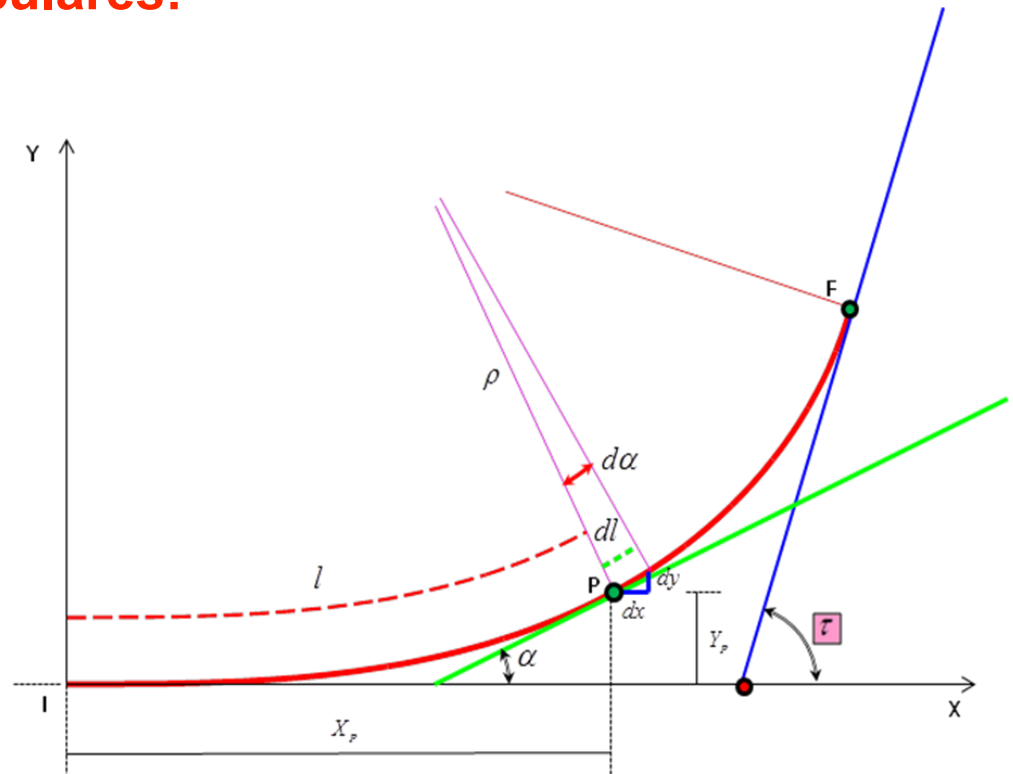
Para un punto genérico:

$$x = l - \frac{l^5}{40(RL)^2} + \frac{l^9}{3456(RL)^4} - \dots$$
$$y = \frac{l^3}{6RL} - \frac{l^7}{336(RL)^3} + \frac{l^{11}}{42240(RL)^5} - \dots$$

Para el punto final:

$$x = L - \frac{L^3}{40R^2} + \frac{L^5}{3456R^4} - \dots$$
$$y = \frac{L^2}{6R} - \frac{L^4}{336R^3} + \frac{L^6}{42240R^5} - \dots$$

SON LAS MISMAS EXPRESIONES *



1.- Trazado en planta.

1.3.- Curva de transición. Clotoide

Otros parámetros característicos:

Tangente corta:

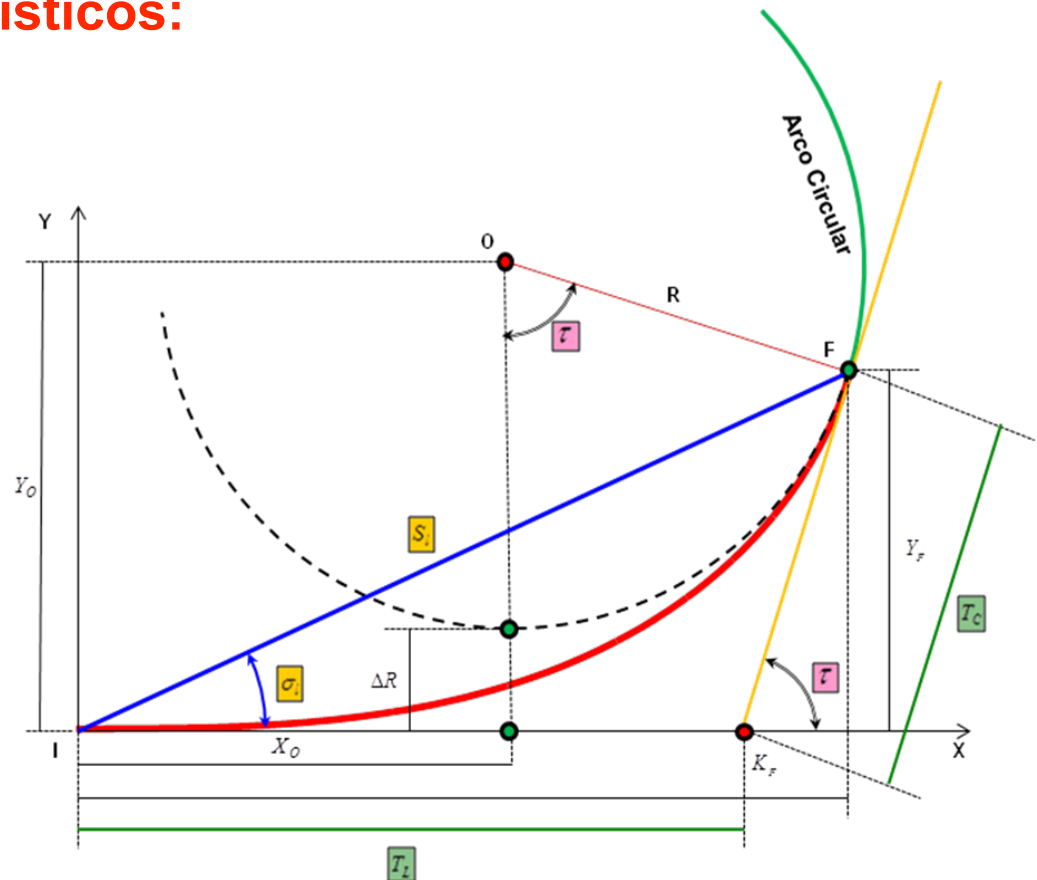
$$T_c = \frac{Y_F}{\text{sen}\tau}$$

Tangente larga:

$$T_L = X_F - \frac{Y_F}{\text{tg}\tau}$$

Retranqueo:

$$\Delta R = Y_F - R \cdot (1 - \cos\tau)$$



2.- Trazado en alzado.

El trazado en alzado complementa el eje en planta y define el eje tridimensional de la obra lineal de que se trate.

Define la ley de alturas y pendientes del eje, constituyendo la **rasante**.

El trazado en alzado, que complementa y se coordina con el trazado en planta, utiliza dos tipos de alineaciones:

- Alineación recta, de pendiente constante.
- Curva de transición en alzado.

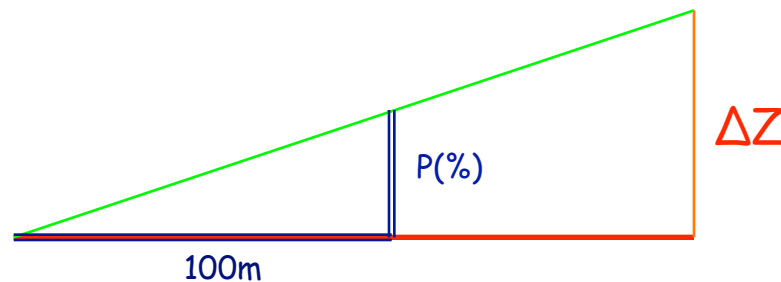


2.- Trazado en alzado.

2.1.- Alineación de pendiente constante.

La pendiente se define como la relación entre la distancia en proyección recorrida y la ganancia o pérdida de cota que se experimenta.

Habitualmente se expresa en tanto por cien, aunque en ocasiones se utilizan las milésimas o tanto por mil.



$$\begin{array}{l} p(\%) \text{ --- } \Delta Z \\ 100m \text{ --- } D \end{array}$$

$$p(\%) = \frac{\Delta Z}{D} \cdot 100$$

2.- Trazado en alzado.

2.1.- Alineación de pendiente constante.

La pendiente puede ser ascendente o descendente.

En este sentido, cuando se presenta una pendiente ascendente en la dirección creciente de los PK, se dice que la alineación es en rampa, ganándose cota según se avanza.

En caso contrario, se pierde cota según se aumenta el PK, encontrándonos en una pendiente.

La resolución de cualquier cota puede obtenerse a partir de la relación de proporcionalidad expuesta en la transparencia anterior.



2.- Trazado en alzado.

2.1.- Alineación de pendiente constante.

La norma 3.1 IC establece unos valores máximos en función del tipo de vía.

- Carreteras de calzadas separadas

V_p (km/h)	RAMPA (%)	PENDIENTE (%)
120	4	5
100	4	5
80	5	6

- Carreteras de calzada única
 - Vías rápidas

V_p (km/h)	INCLINACIÓN MÁXIMA (%)	INCLINACIÓN EXCEPCIONAL (%)
100	4	5
80	5	6

- Carreteras convencionales

V_p (km/h)	INCLINACIÓN MÁXIMA (%)	INCLINACIÓN EXCEPCIONAL (%)
100	4	5
80	5	7
60	6	8
40	7	10



2.- Trazado en alzado.

2.2.- Curva de transición en alzado.

Las alineaciones de pendiente constante no solucionan la continuidad en la tangente de la rasante, existiendo “picos” inaceptables en gran número de obras lineales.

Nace de esta manera una curva tangente a dos alineaciones con pendiente constante que las conecta y sirve de transición de una a otra.

Existe un gran número de tipos de curvas de transición en alzado. De todas ellas las más utilizadas son las parábolas, que en general, responden a la siguiente expresión:

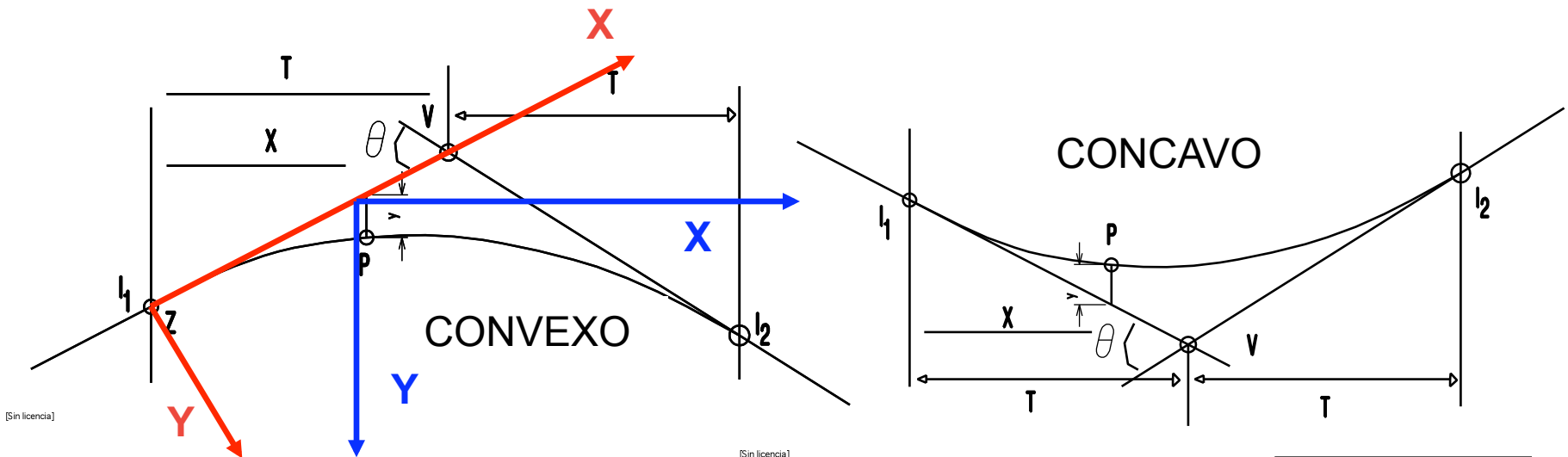
$$x^2 = 2 \cdot K_v \cdot y$$



2.- Trazado en alzado.

2.2.- Curva de transición en alzado.

Las parábolas, debido a su definición, ciertas características importantes que influyen decisivamente en su resolución:



$$x^2 = 2 \cdot K_v \cdot y \Rightarrow \frac{dy}{dx} = \frac{x}{K_v} \Rightarrow \frac{dy}{dx} = \theta = \frac{2T}{K_v} \Rightarrow T = \frac{K_v \cdot \theta}{2}$$

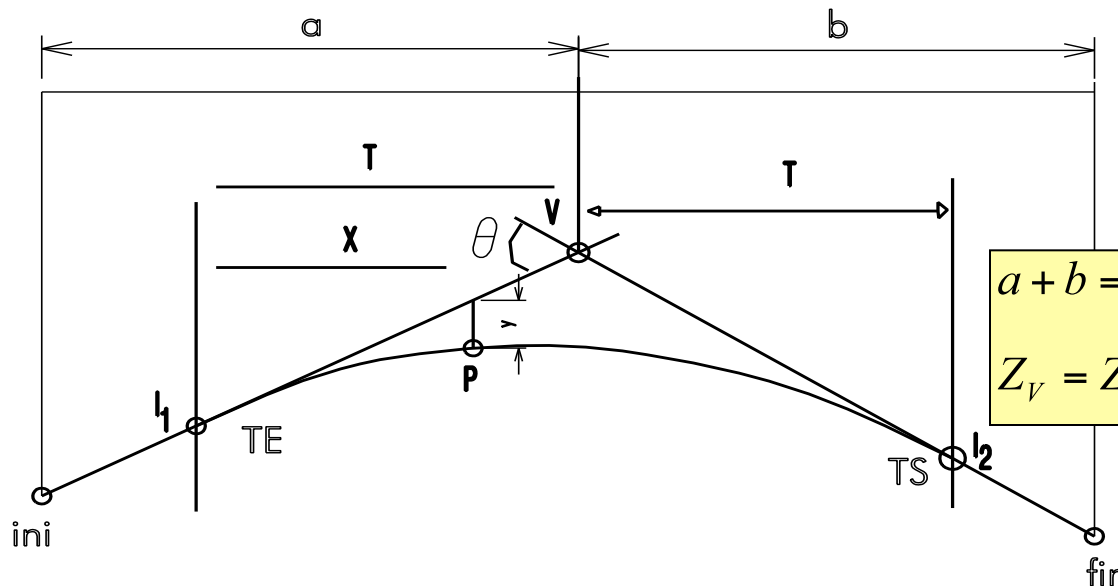
2.- Trazado en alzado.

2.2.- Curva de transición en alzado.

Claves para la resolución de una parábola:

- 1- Situar ésta, determinando los Pk de las puntos de tangencia.
- 2- Determinar la cota de un punto.

Para solucionar la primera condición habrá que situar el vértice de la parábola y calcular la semi-longitud de ésta.



$$PK_{TE} = a - T$$

$$PK_{TS} = a + T$$

$$a + b = \text{Longitud total}$$

$$Z_V = Z_{ini} + i_1(\%) / 100 \cdot a = Z_{fin} - i_2(\%) / 100 \cdot b$$

2.- Trazado en alzado.

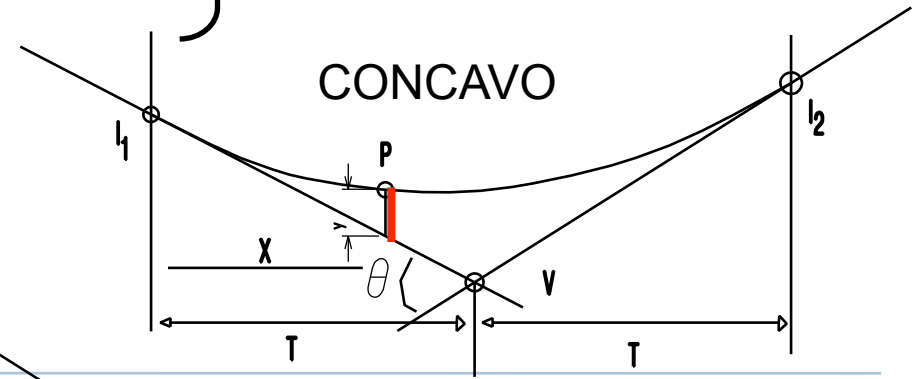
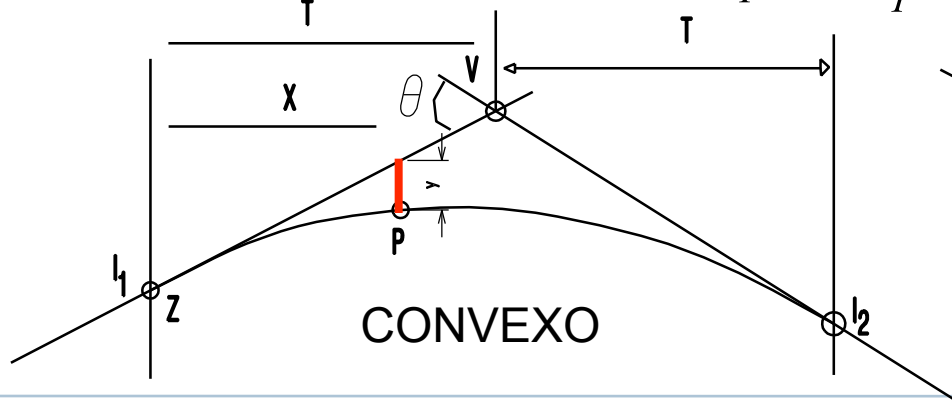
2.2.- Curva de transición en alzado.

El cálculo de la cota de cualquier punto de la parábola se realizará de forma similar: Se añade (o sustrae) la “y” de parábola a la cota de la alineación de pendiente constante para el PK estudiado.

Para acuerdos convexos: $Z_P = Z_{P^*} - y$

Para acuerdos cóncavos: $Z_P = Z_{P^*} + y$

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



2.- Trazado en alzado.

2.2.- Curva de transición en alzado.

La norma 3.1 IC establece unos parámetros mínimos en recta según condiciones de visibilidad. También tiene en cuenta consideraciones estéticas.

V_p (km/h)	MÍNIMO		DESEABLE	
	K_v CONVEXO (m)	K_v CÓNCAVO (m)	K_v CONVEXO (m)	K_v CÓNCAVO (m)
120	15276	6685	30780	9801
100	7125	4348	15276	6685
80	3050	2636	7125	4348
60	1085	1374	3050	2636
40	303	568	1085	1374

En curva???

COORDINACIÓN PLANTA Y ALZADO

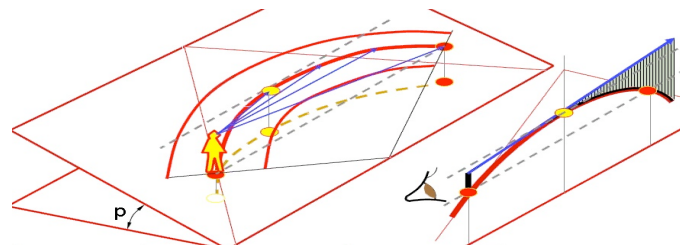


2.- Trazado en alzado.

2.2.- Curva de transición en alzado.

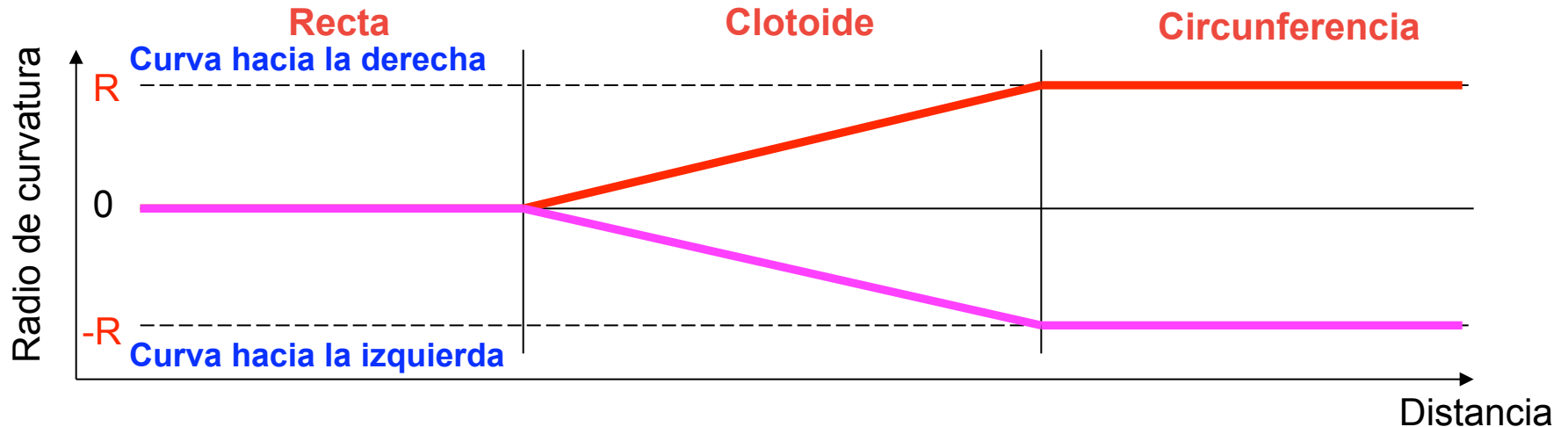
En curva:

- En acuerdos cóncavos se utilizará el parámetro propuesto por la norma. Evitar ocultación de faros.
- En acuerdos convexos:
 - ✓ El acuerdo nunca tapará las clotoides, buscando que su vértice coincida con la mitad de la alineación circular y cubra exclusivamente ésta.
 - ✓ Su parámetro estará comprendido entre 10 y 14 veces el radio de la alineación circular.
 - ✓ Su posición viene determinada por el terreno (adaptación al terreno) y es la planta la que debe adaptarse al alzado.



3.- Aspectos de la sección transversal.

3.1.- Diagrama de curvaturas.



Aspectos a destacar:

- El diagrama se refleja en la guitarra de los perfiles longitudinales
- Se representa a escala.



3.- Aspectos de la sección transversal.

3.1.- Diagrama de peraltes.

El peralte tiene como objetivo aumentar la seguridad en el tráfico mediante la elevación o depresión de parte o toda la sección transversal.

Mitiga el efecto de la fuerza centrífuga cuando se gira con un determinado radio de curvatura siendo, por lo tanto, proporcional a éste:

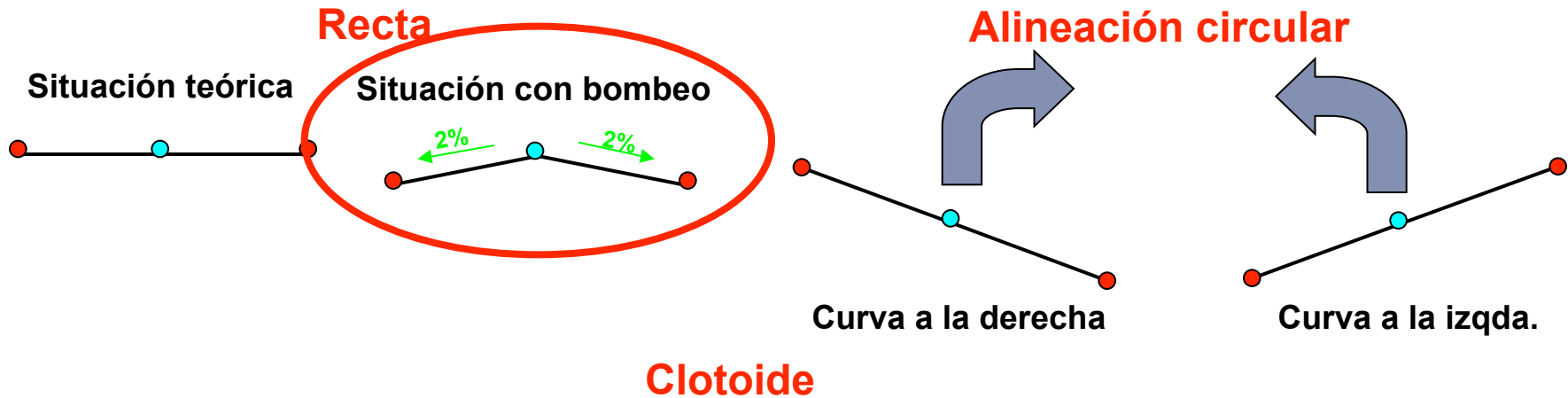
- Peralte nulo en las rectas (radio de curvatura nulo)
- Peralte definido por la Instrucción de Carreteras para arcos circulares.
- Peralte varía linealmente con la distancia a lo largo de las clotoides, al igual que lo hace el radio de curvatura.

Para asegurar el drenaje transversal en recta se define una inclinación de la sección transversal: bombeo. Habitualmente el 2%



3.- Aspectos de la sección transversal.

3.1.- Diagrama de peraltes.



En la clotoide se debe pasar de la situación en recta (con bombeo) a la situación en la alineación circular sin que exista contraperalte, y la transición se realizará de forma lineal

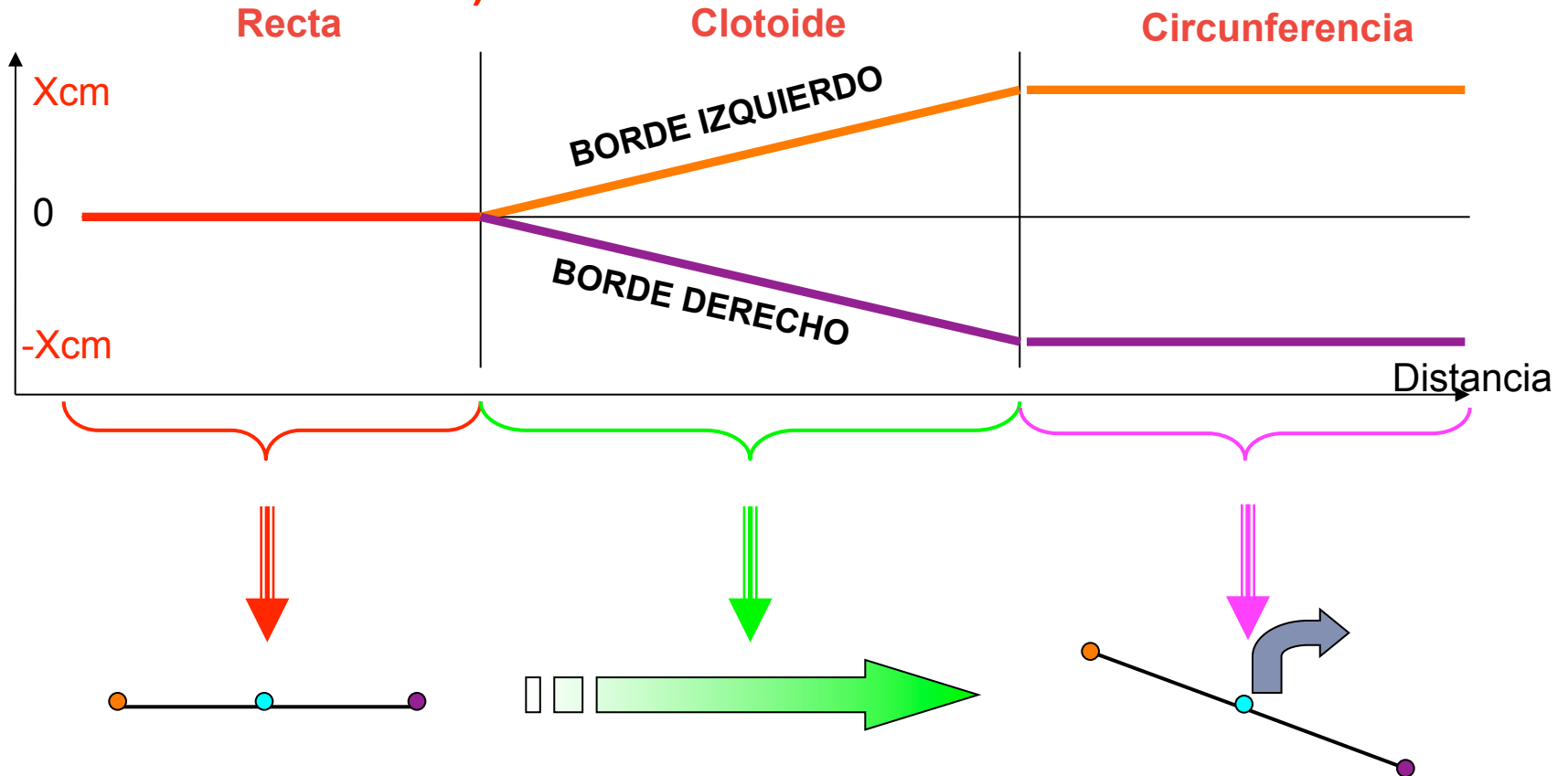
En el diagrama de peraltes se refleja la situación de los bordes de la calzada: lo que se eleva o baja.

3.- Aspectos de la sección transversal.

3.1.- Diagrama de peraltes.

Elevación de los bordes de calzada

A)- SITUACIÓN TEÓRICA

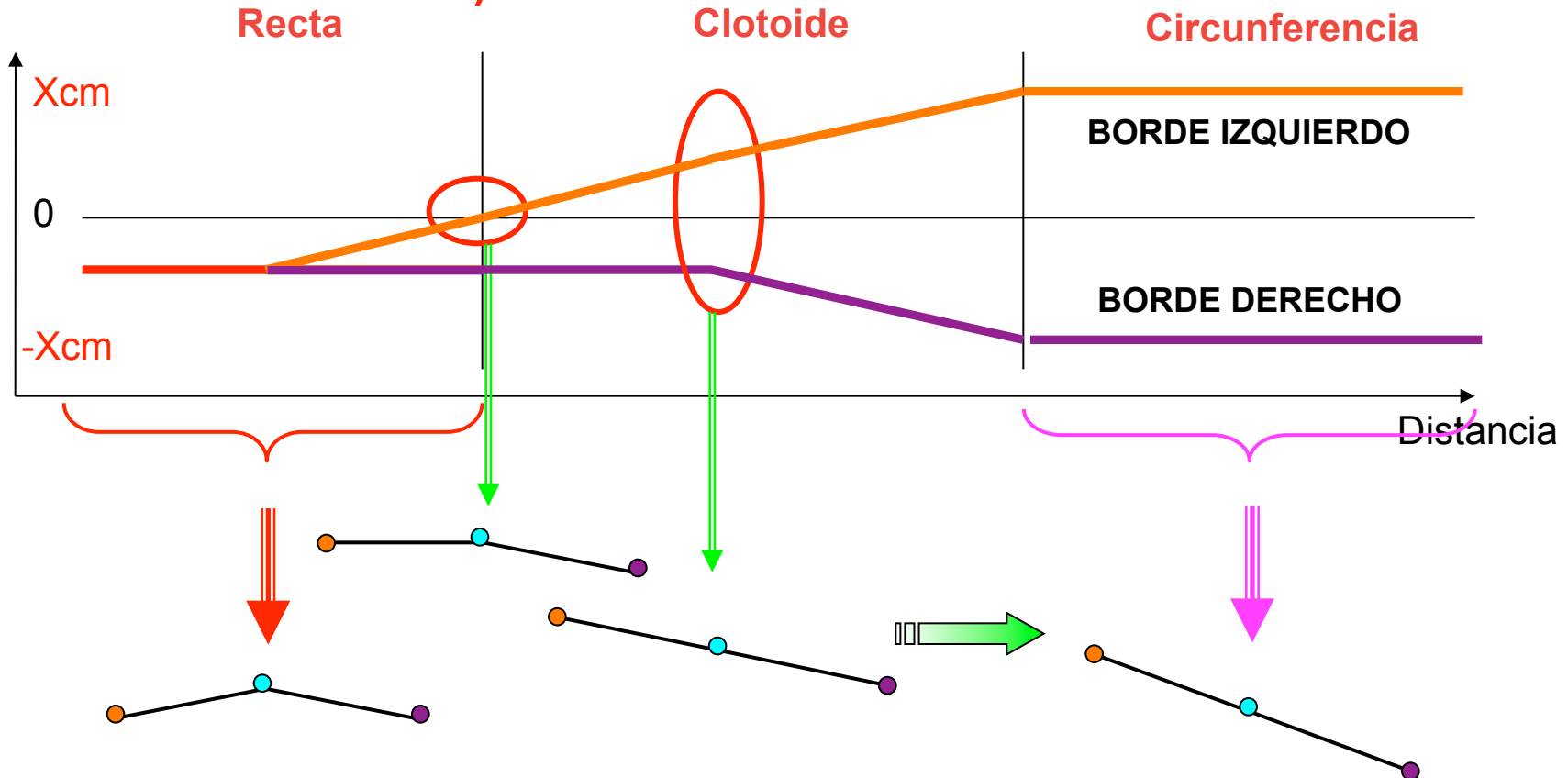


3.- Aspectos de la sección transversal.

3.1.- Diagrama de peraltes.

Elevación de los bordes de calzada

B)- SITUACIÓN REAL



NOTA: EN CASO DE CURVA HACIA LA IZQUIERDA SE REALIZARÍA DE FORMA SIMILAR: EL BORDE QUE SUBE ES EL DERECHO Y EL QUE BAJA EL IZQUIERDO

