

# 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**.

Es la máxima velocidad segura que puede mantenerse sobre una sección específica de camino cuando las condiciones son tan favorables que las características de diseño de la carretera gobiernan (AASHTO '94).

Una velocidad seleccionada, usada para determinar las varias características de diseño geométrico de la plataforma. (AASHTO '01)

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**.

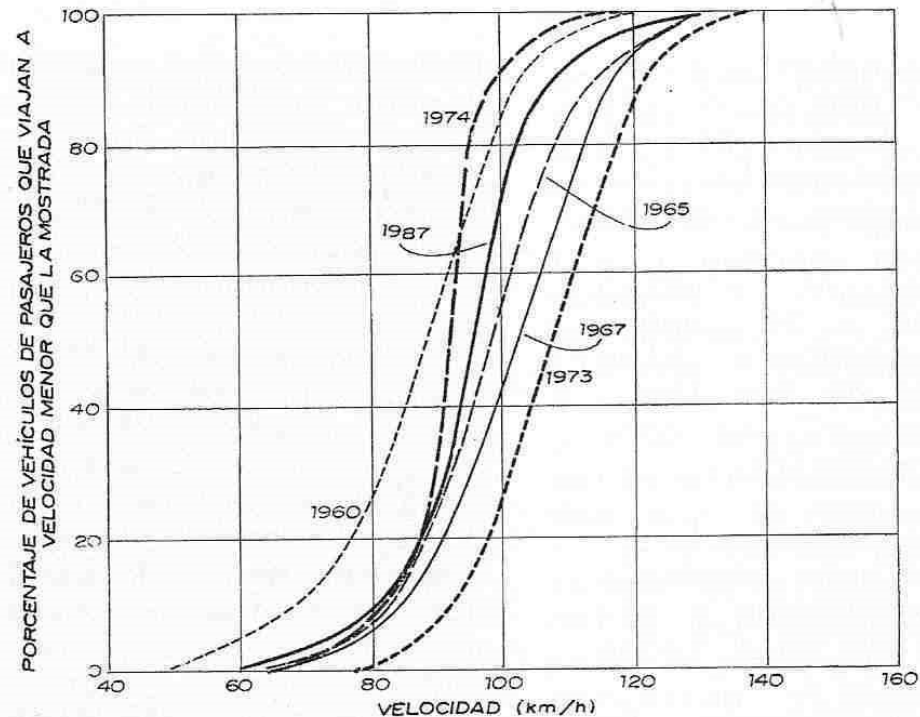
# Velocidad de diseño

## Velocidad 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.



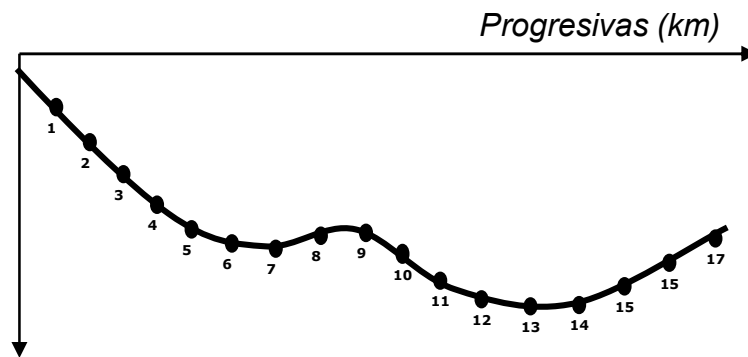
Distribución de velocidades representativas de los vehículos de pasajeros en carreteras interestatales rurales.

# Trazado de un camino

## Concepto General

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

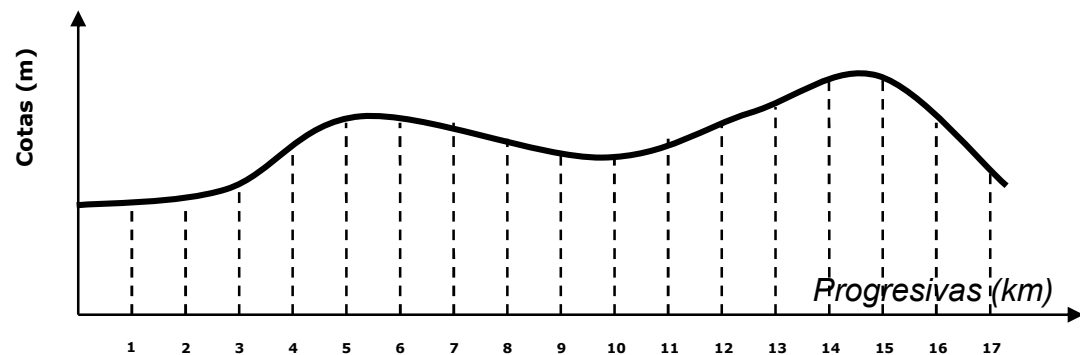
### PLANIMETRÍA



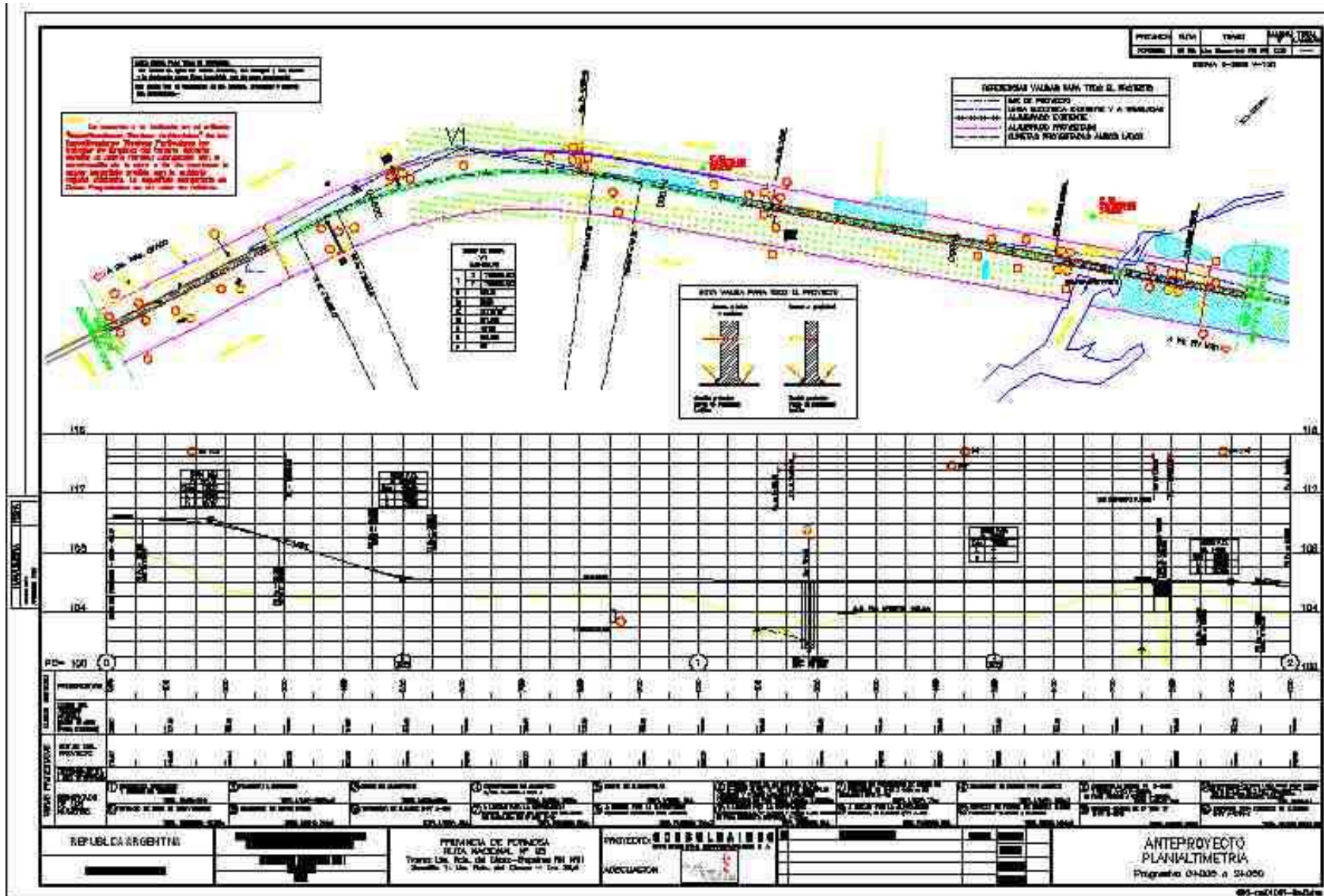
### ALTIMETRÍA (desarrollada)

$$E_H = 1:5000$$

$$E_V = 1:100$$



# Trazado de un camino Plano Tipo



# 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 geométrico

## Distancia de detención

**Distancia de detención:** es la distancia que recorre un conductor de habilidad media, circulando con la velocidad de diseño, desde que observa un obstáculo hasta que se detiene.

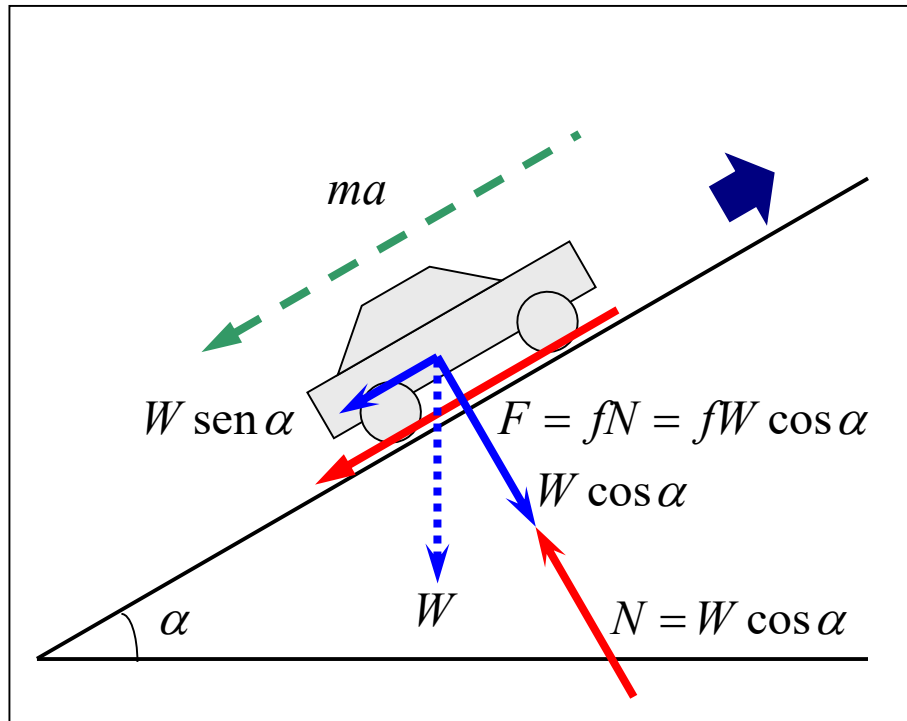
El tiempo de detención se divide en:

- **Tiempo de percepción y reacción ( $t_p$ ):** es el tiempo que transcurre desde que se observa el obstáculo hasta que se acciona el freno.
- **Tiempo de frenado ( $t_f$ ):** es el tiempo que transcurre desde que se accionan los frenos hasta que se detiene el vehículo.

# Diseño geométrico

## Distancia de detención

### FUERZAS ACTUANTES (rampa)



$$x - x_0 = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \quad [1]$$

### Condición de equilibrio estático

$$\left( \frac{W}{g} \right) a + fW \cos \alpha + W \sin \alpha = 0 \quad [2]$$

### Distancia de frenado

$$D_F = x \cos \alpha \quad [3]$$

Sustituyendo [3] en [1], resulta:

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2D_F} \cos \alpha$$

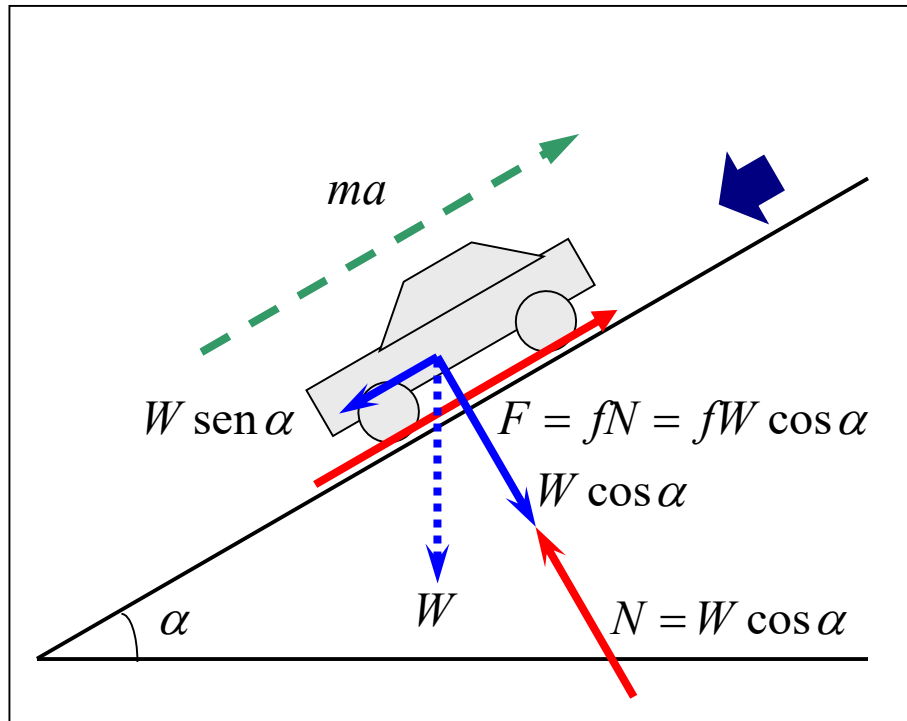
Y luego sustituyendo en [2], y dividiendo por  $W \cos \alpha$ :

$$D_F = \frac{v_0^2 - v^2}{2g(f + i)}$$

# Diseño geométrico

## Distancia de detención

### FUERZAS ACTUANTES (pendiente)



$$x - x_0 = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \quad [1]$$

### Condición de equilibrio estático

$$\left( \frac{W}{g} \right) a + fW \cos \alpha - W \sin \alpha = 0 \quad [2']$$

### Distancia de frenado

$$D_F = x \cos \alpha \quad [3]$$

Sustituyendo [3] en [1], resulta:

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2D_F} \cos \alpha$$

Y luego sustituyendo en [2'], y dividiendo por  $W \cos \alpha$ :

$$D_F = \frac{v_0^2 - v^2}{2g(f - i)}$$



# Diseño geométrico

## Distancia de detención

### Distancia de frenado:

$$D_F = \frac{V_D^2}{254(f_l - i)}$$

Donde:

$V_D$  Velocidad de diseño [km/h]

$f_L$  Coeficiente de fricción longitudinal

$i$  Pendiente ( $\tan \alpha$ )

$V_D$ (km/h)	$f_l$
60	0,35
80	0,32
100	0,29
120	0,27
140	0,26
160	0,25

### Distancia de percepción:

$$D_P = \frac{t_P \cdot V_D}{3,6}$$

Donde:

$t_p$  Tiempo de percepción [seg] = 2,5"

$V_D$  Velocidad de diseño [km/h]

### Distancia de detención:

$$D_D = D_P + D_F = \frac{V_D \cdot t_P}{3,6} + \frac{V_D^2}{254(f_l - i)}$$

# Diseño geométrico

## Distancia de detención (AASTHO 01)

### Distancia de frenado:

Donde:

$V_D$  Velocidad de diseño [km/h]

$a$  Desaceleración = 3,4m/s<sup>2</sup>

$i$  Pendiente (tan  $\alpha$ )

$$D_F = \frac{0,039V_D^2}{a}$$

$$D_F = \frac{V_D^2}{254 \left( \left( \frac{a}{9,81} \right) - i \right)}$$

### Distancia de percepción:

Donde:

$t_p$  Tiempo de percepción [seg] = 2,5"

$V_D$  Velocidad de diseño [km/h]

$$D_P = 0,278.t_p.V_D$$

### Distancia de detención:

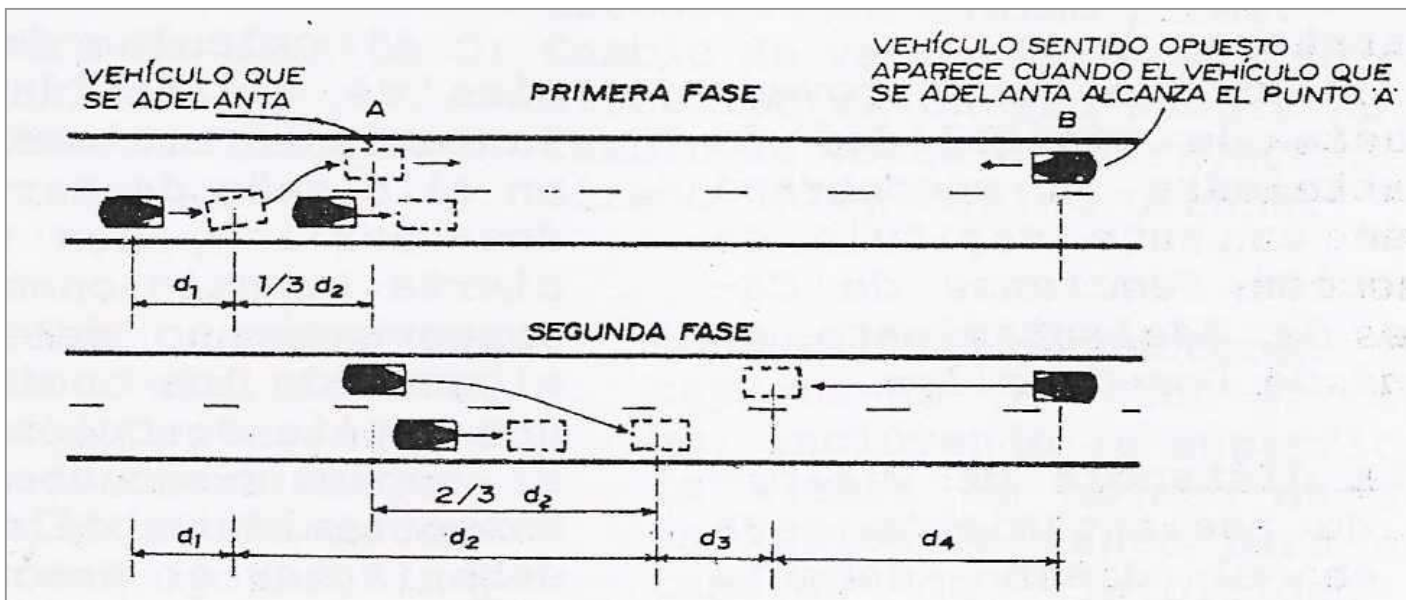
$$D_D = 0.278.V_D.t_p + \frac{V_D^2}{254 \left( \left( \frac{a}{9,81} \right) - i \right)}$$

# Diseño geométrico

## Distancia de sobrepaso

### Distancia de sobrepaso:

Distancia que necesita un vehículo para sobrepasar a otro que marcha en igual sentido en el mismo carril sin peligro de interferir con un tercer vehículo que se hace visible al iniciar la maniobra y que circula en sentido contrario por el carril que se utiliza para el sobrepaso.

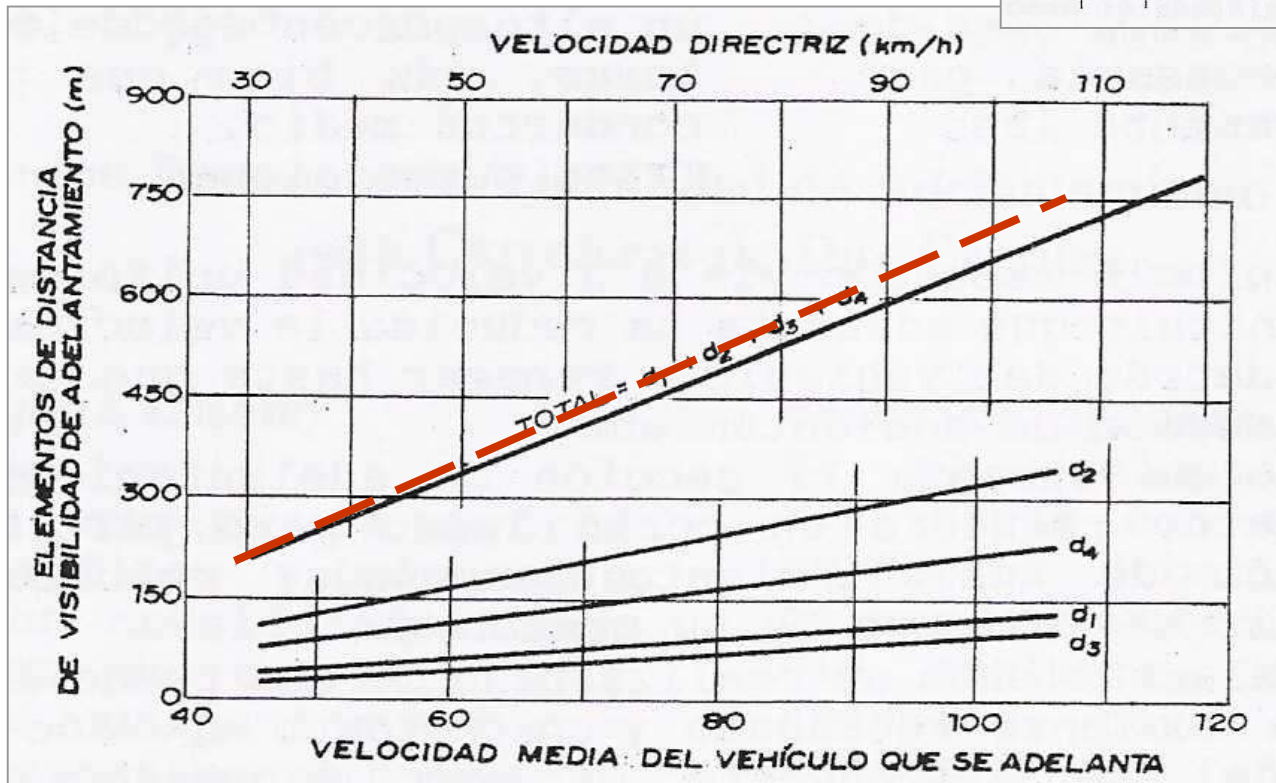
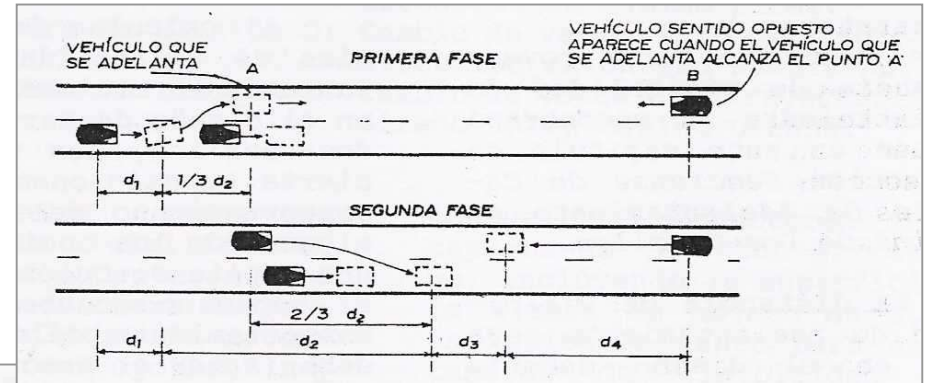


# Diseño geométrico

## Distancia de sobrepaso

Ejemplo:  $V_D = 120 \text{ km/h}$

$D_S = 840 \text{ m}$



$$D_S = 7 \cdot V_D$$

# Diseño geométrico

## Distancia de decisión

### **Distancia de visibilidad de decisión:**

**Distancia requerida por un conductor para detectar información inesperada o peligro, reconocer el peligro o la amenaza, seleccionar una velocidad y una trayectoria adecuadas, e iniciar y completar segura y eficientemente la maniobra requerida.**

**Ejemplo: VD = 120km/h**

- **A 305m** Parada en camino rural
- **B 505m** Parada en camino urbano
- **C 375m** Cambio Vel./Tray./Dir. camino rural
- **D 415m** Cambio Vel./Tray./Dir. camino suburbano
- **E 470m** Cambio Vel./Tray./Dir. camino urbano

# Diseño geométrico

## Distancias de detención, sobrepaso y decisión

Ejemplo para  $V_D = 120\text{km/h}$

- **Distancia de detención**

- Distancia reacción: 84 m
- Distancia frenado horizontal: 202 m
- Distancia visibilidad de detención: 286 m
- c/pendiente 6% en bajada
- Distancia visibilidad de detención: 341 m

- **Distancia de visibilidad de decisión:**

- A-Parada en camino rural 305 m
- B-Parada en camino urbano 505 m

- **Distancia de sobrepaso**

- Vel. supuesta veh. adelantado 91km/h
- Vel. supuesta veh. que se adelanta 106km/h
- Distancia visibilidad de adelantamiento mínima 792 m

# Diseño planimétrico

## Curvas horizontales

### **Objeto:**

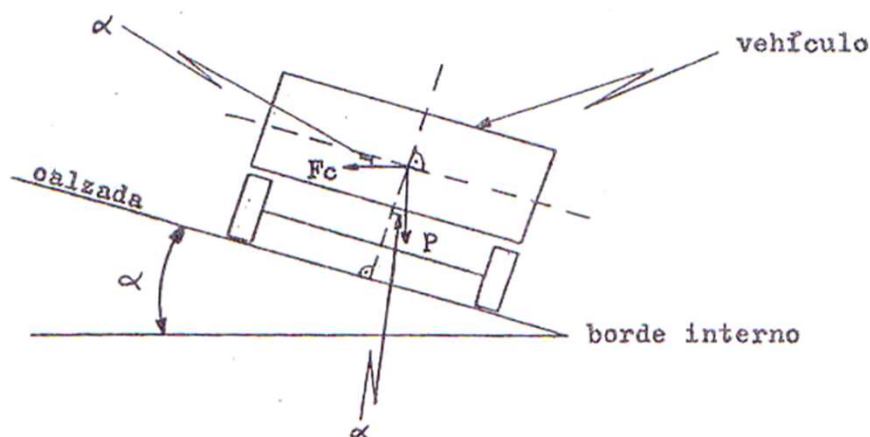
Vincular en planta dos alineamientos de rasantes que forman un cierto ángulo horizontal entre sí permitiendo desarrollar progresivamente las fuerzas centrífugas y desarrollar el peralte para compensarlas parcialmente.

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

# Diseño planimétrico

## Curvas horizontales: peralte

**Peralte:** Inclinação 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.



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

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

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

$V_D$  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: peralte

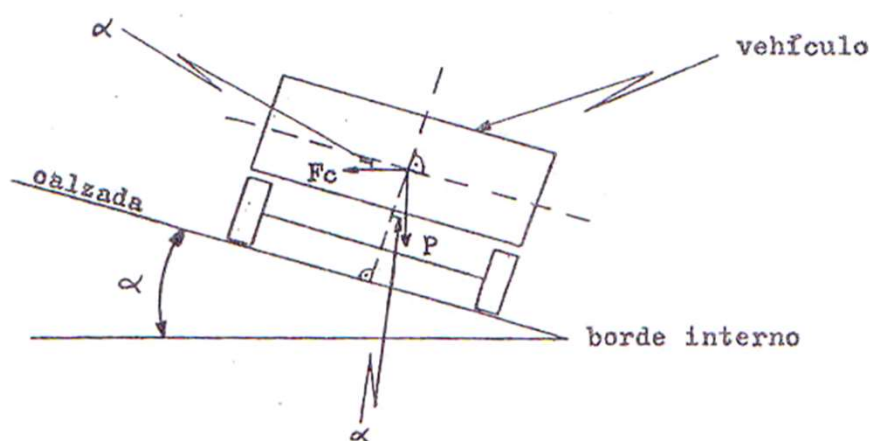
$$F_C = m.a_C = \frac{W}{g} \cdot \frac{v_D^2}{R}$$

$$(F_C \cdot \text{sen} \alpha + W \cdot \cos \alpha) f_T + W \text{sen} \alpha \geq F_C \cdot \cos \alpha$$

~~$$F_C \cdot \text{sen} \alpha \cdot f_T + W \cdot \cos \alpha \cdot f_T + W \text{sen} \alpha \geq F_C \cdot \cos \alpha$$~~

$$W \cdot \cos \alpha \cdot f_T + W \text{sen} \alpha \geq \frac{W}{g} \cdot \frac{v_D^2}{R} \cdot \cos \alpha$$

$$f_T + \tan \alpha \geq \frac{v_D^2}{g \cdot R}$$



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

$V_D$  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: peralte

### Radio mínimo de **curva circular** ( $R_c$ ):

- ❑ Caminos rurales primarios : entre 250 y 350 m (excepcionalmente en zonas montañosas se pueden encontrar radios de 175 m)
- ❑ Colectoras : 107 m
- ❑ Caminos residenciales: 34 m

### Criterios, para peralte dado:

- ❑ Desgaste mínimo ( $f_T=0$ )
- ❑ Radio mínimo

$V_D$ (km/h)	$f_T$
60	0,15
80	0,14
100	0,13
120	0,12
140	0,11

# Diseño planimétrico

## Curvas horizontales: transición

Curva de **transición**: Se diseña de tal manera que sea constante la variación de la aceleración centrífuga al pasar del tramo recto al curvo (evita el deslizamiento transversal o vuelco y la incomodidad de la variación brusca).

**Espiral:**  $\frac{R_C}{\rho} = \frac{s}{L_e}$        $s \cdot \rho = R_C \cdot L_e = k = A^2$

$$a_C = \frac{v_D^2}{\rho} = \frac{v_D^2}{A^2} \cdot s \quad \frac{\partial a_C}{\partial s} = \frac{v_D^2}{A^2} \quad \frac{\partial a_C}{\partial t} = \frac{\partial a_C}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial t} = \frac{v_D^2}{A^2} \cdot v_D = \frac{v_D^3}{A^2}$$

$$L_e = \frac{V_D^3}{28 * R_C}$$

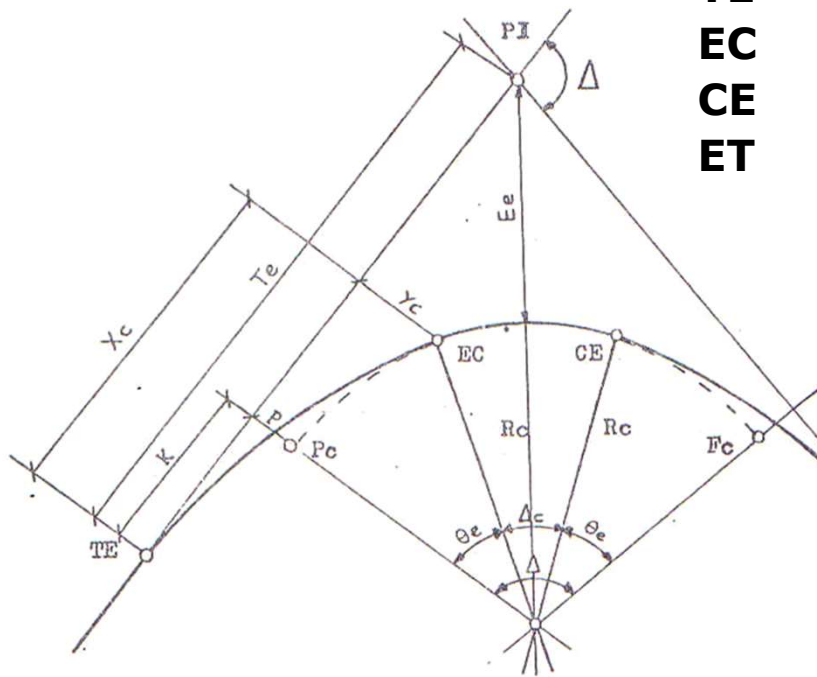
**Donde:**

$V_D$  = velocidad de diseño (km/h)

$R_C$  = radio de la curva circular (m)

# 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

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

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

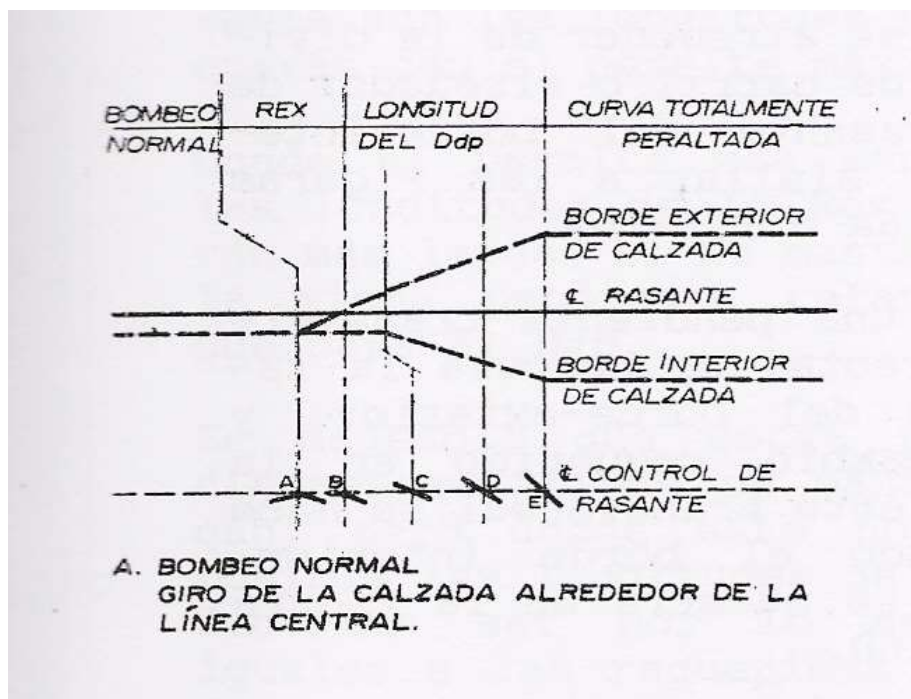
$$\Delta_c = \Delta - 2 * \theta_e$$

$$L_t = L_c + 2 * L_e$$

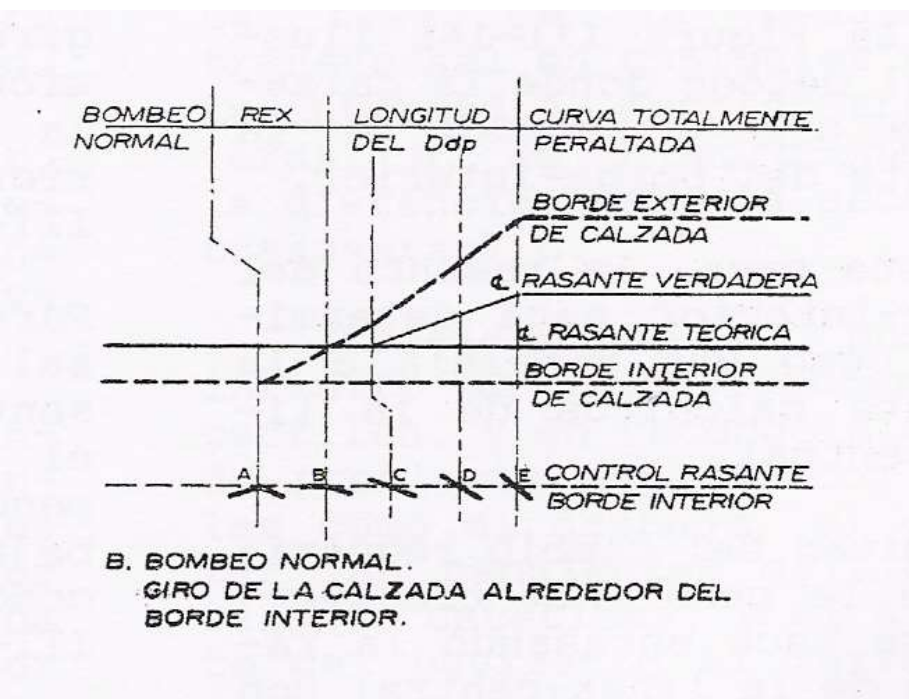
# Diseño planimétrico

## Curvas horizontales: transición del peralte

Forma de llegar a la curva circular con el máximo peralte.



Alrededor del eje del camino



Alrededor del borde interno

Máxima pendiente de la rampa al peralte (%) =  $40 / Vd$ , para una dada longitud de la curva de transición.

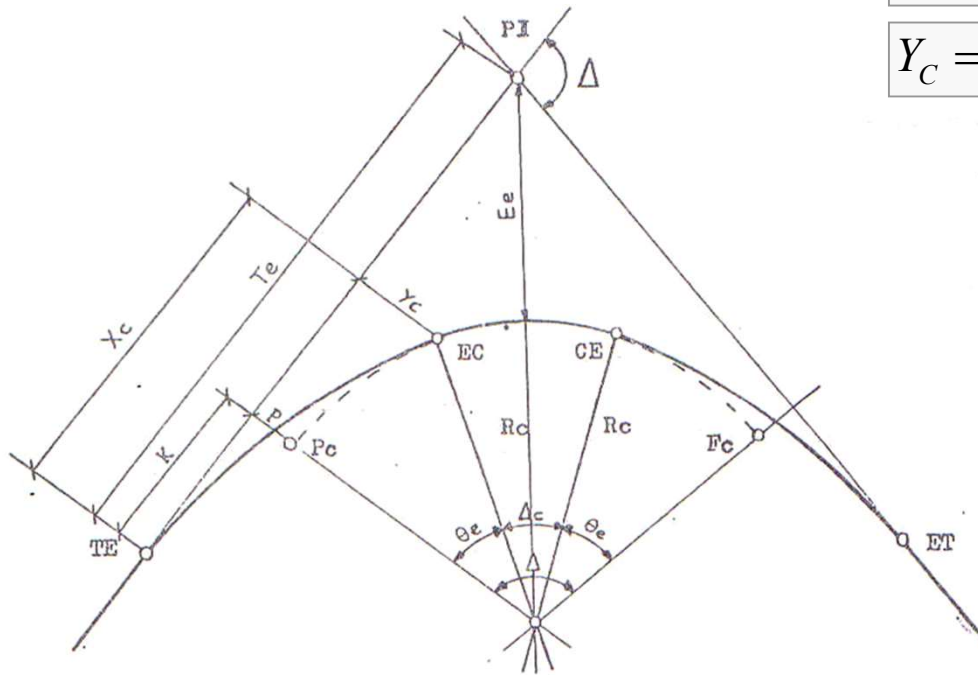
# Diseño planimétrico

## Síntesis de los pasos

- 1. Cálculo del radio de la curva horizontal, para:**
  - 1.1 Desgaste mínimo ( $f_T=0$ )
  - 1.2 Radio mínimo
- 2. Cálculo de la longitud espiral ( $L_e$ )**
- 3. Verificación de la condición de pendiente longitudinal máxima  $i_L < i_{MAX} = 40/V_D$**
- 4. Cálculo de los ángulos**
  - 4.1 De las tangentes extremas de la curva espiral
  - 4.2 De las tangentes extremas de la curva circular
- 5. Cálculo de las longitudes (espiral, circular, total)**
- 6. Replanteo de la curva horizontal**

# Diseño planimétrico

## Curvas horizontales: replanteo



$$X_C = L_e$$

$$P = L_e * \theta_e / 12$$

$$Y_C = L_e * \theta_e / 3$$

$$K = L_e / 2$$

**Segmento de tangente principal entre TE y PI**

$$T_e = (R + P) \tan \frac{\Delta}{2} + K$$

**Externa de la curva total**

$$E_e = (R + P) \sec \frac{\Delta}{2} - R$$

**Progresivas**

$$\text{Pr } TE = \text{Pr } PI - T_e$$

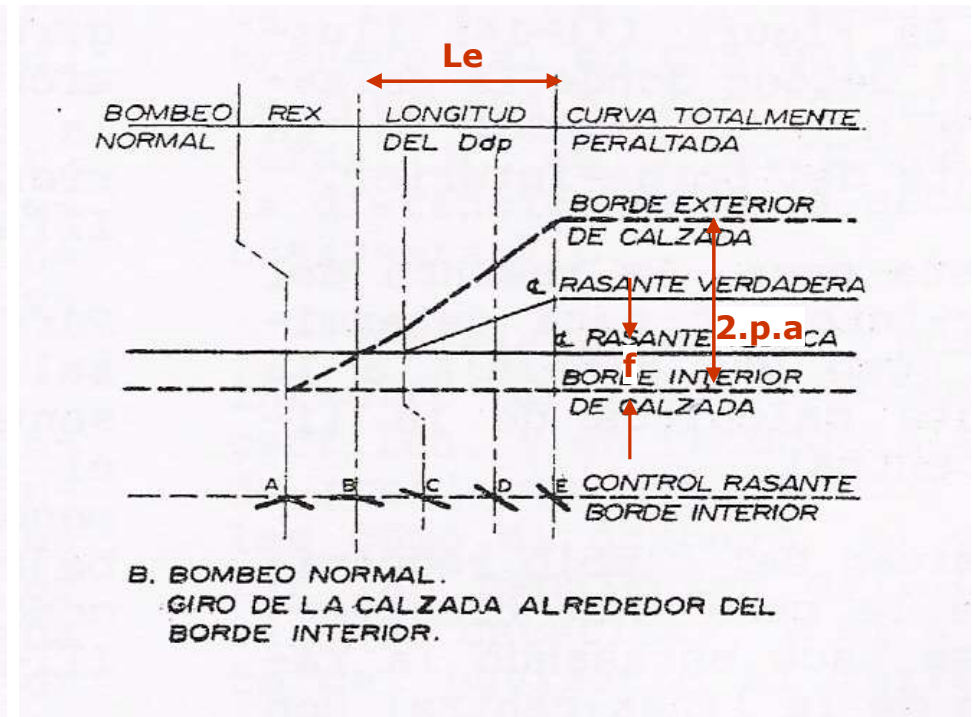
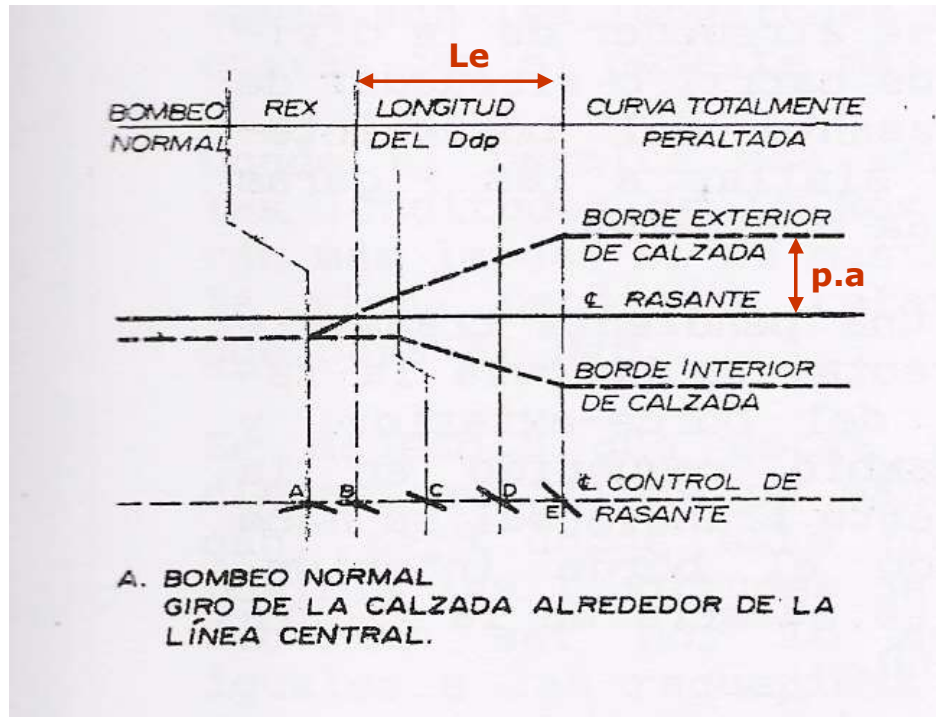
$$\text{Pr } EC = \text{Pr } TE + L_e$$

$$\text{Pr } CE = \text{Pr } ET - L_e$$

$$\text{Pr } ET = \text{Pr } TE + L_t$$

# Diseño planimétrico

## Curvas horizontales: verificación pendiente longitudinal



### Giro alrededor del eje

$$i_L = \frac{p.a}{L_e} \leq i_{L,MAX} = \frac{40}{V_D}$$

### Giro alrededor del borde interno

$$i_L = \frac{2.p.a - f}{L_e} \leq i_{L,MAX} = \frac{40}{V_D}$$

En ambos casos, si con la  $L_e$  calculada (s/ficha 72) no verifica, se debe adoptar una  $L_e$  mayor, y recalcularse  $\theta_e$ . También habrá que verificar que  $2\theta_e < \Delta$ .