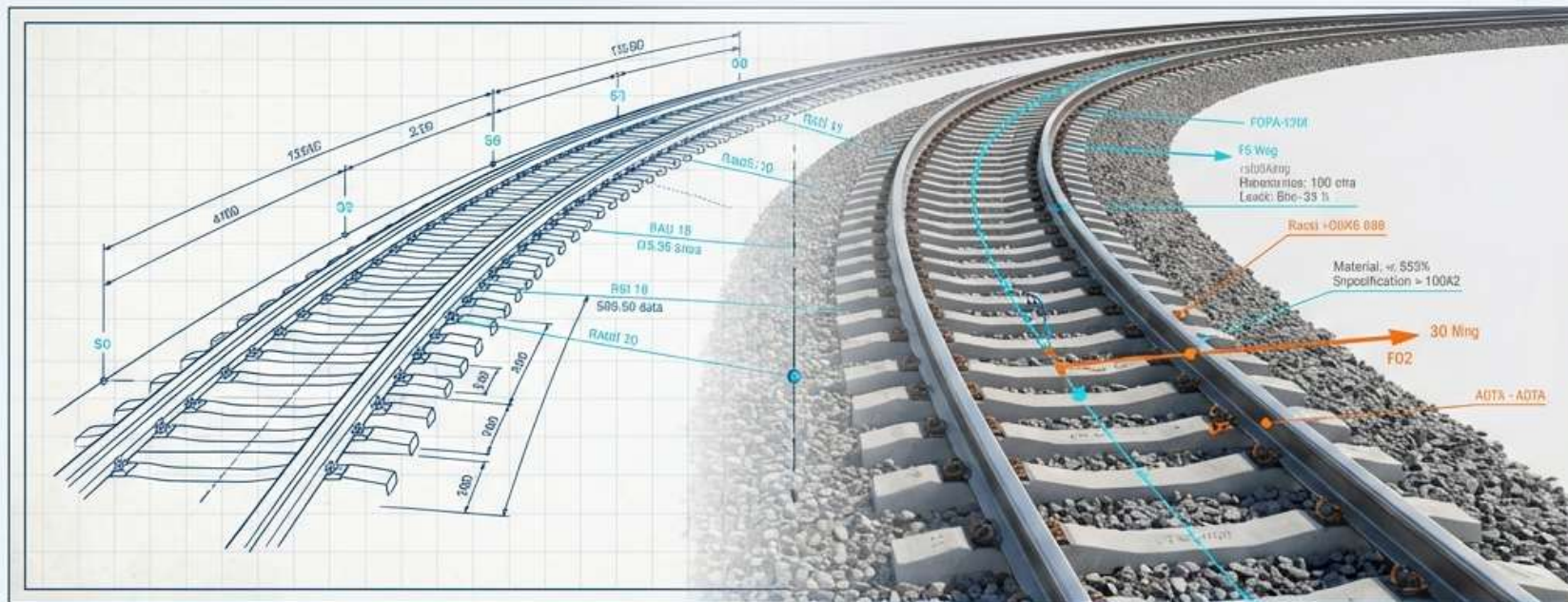


# 3.B-LA VÍA EN CURVA

# Diseño Geométrico de Vías: Del Trazado al Gemelo Digital

Cátedra de Ferrocarriles – UNCUYO | Ing. Mariano Méndez



Integración de la filosofía BIM en la ingeniería ferroviaria.

**HOJA DE RUTA – TEORÍA – CÁTEDRA FERROCARRILES**

Materiales educativos y didácticos	Guía de Lectura	Tratado de Ferrocarriles I (Olivero Rives – Lopez Pita – Megía Puente NTVO N°2: Perfiles Transversales – Tipo de Vías Principales NTVO N°3: Colocación de la vía – Peralte de las Curvas NTVO N°14: Sobreancho de Trocha
	Power Point	Presentación: 3B-La Vía en Curva
	Capítulos de libro	Cap. I – Tratado de Ferrocarriles I (Olivero Rives – Lopez Pita – Megía Puente.
Actividades de Aprendizaje	Guía de Ejercicios	TP N° I: Diseño Geométrico de Vía – Filosofía BIM
	Videos	
Actividades para la evaluación		
Consultas		
Plazos y Fechas		

## TRAZADO DE UNA LÍNEA FERROVIARIA

Existen algunas variables a definir en el diseño geométrico de vía

EN RELACIÓN CON EL TRAZADO				EN RELACIÓN CON LA CIRCULACIÓN DE VEHÍCULOS										
ALINEACIONES				DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS DE LA VÍA						PARÁMETROS QUE DEFINEN EL CAMINO DE RODADURA Y SU DEGRADACIÓN				
PLANTA		ALZADO		ALINEACIÓN EN PLANTA				ALINEACIÓN EN PERFIL						
RECTAS	CURVAS	RECTAS	CURVAS	PERALTE	TRANSICIÓN	ENTREVÍA	SOBREANCHO	RADIO	LÍMITE DE RAMPA	CURVAS DE ACUERDO	NIVELACIÓN		ANCHO	ALINEACIÓN
							VÍA	ENTREVÍA			LONGITUDINAL	TRANSVERSAL		

FUENTE: TRATADO DE FERROCARRILES- LA VÍA

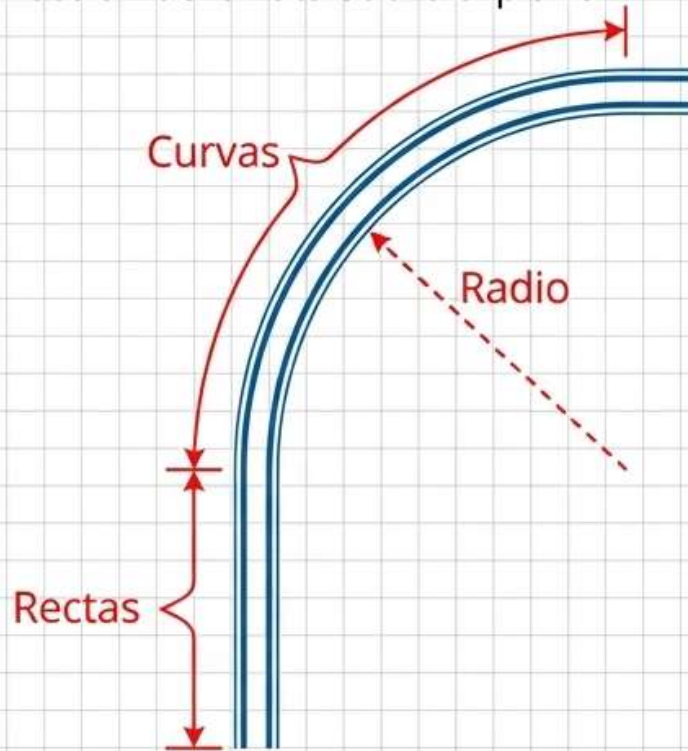
OLIVERO RIVES / LÓPEZ PITA / MEJÍA PUENTE

# Variables de Trazado: La Geometría Macro de la Vía

Definición de la trayectoria en el espacio tridimensional.

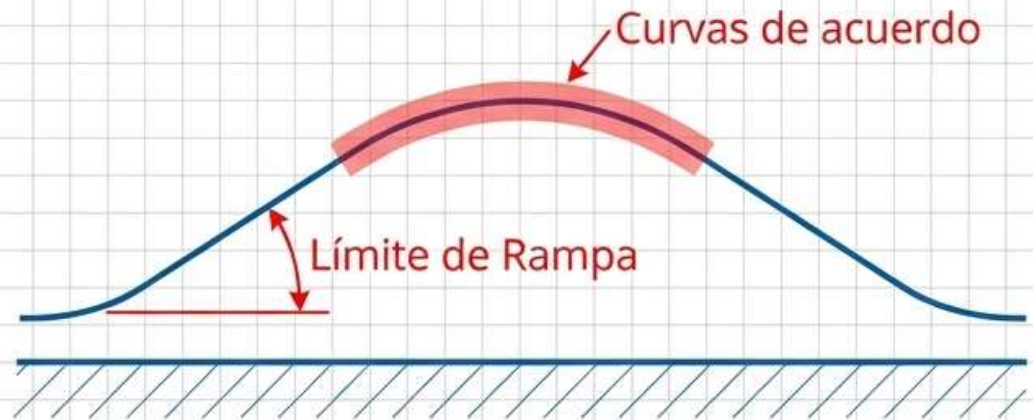
## Planta (Alineación Horizontal)

Define la dirección de la ruta sobre el plano terrestre.



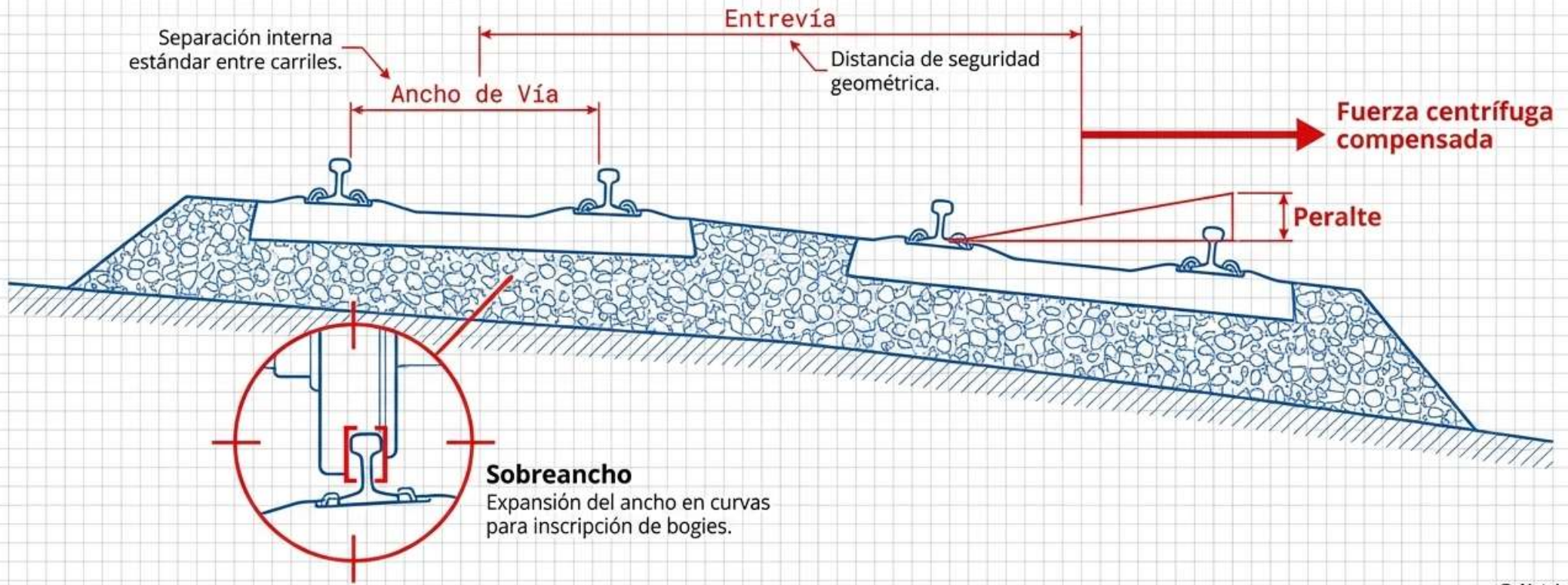
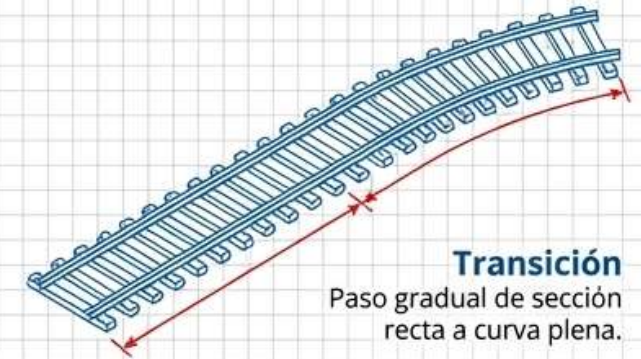
## Perfil (Alineación Vertical)

Define las pendientes y transiciones verticales para garantizar la adherencia y evitar quiebres bruscos.



# Disposiciones Constructivas y Circulación

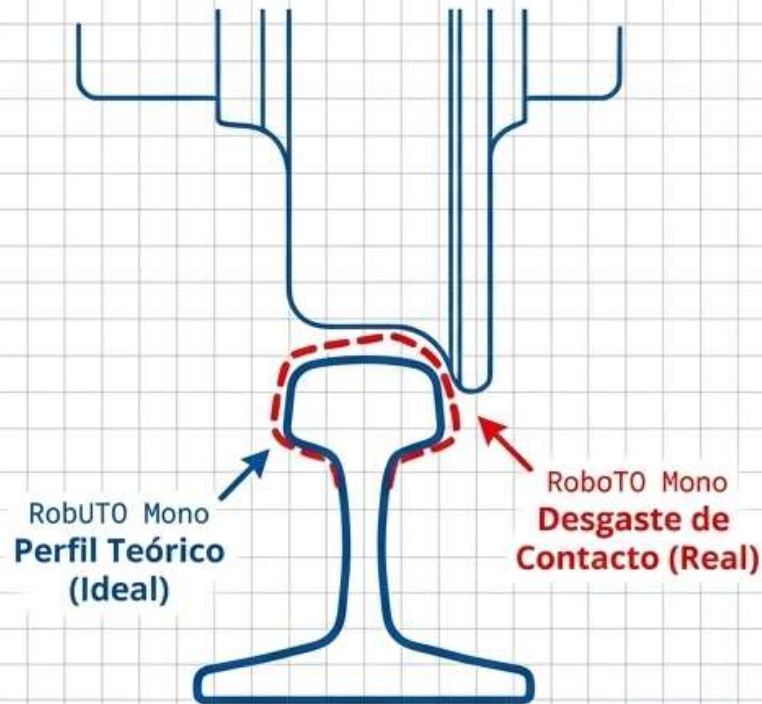
Adaptación de la geometría transversal para contrarrestar fuerzas dinámicas y asegurar el gálibo.



# Calidad de Vía: Camino de Rodadura y Degradación

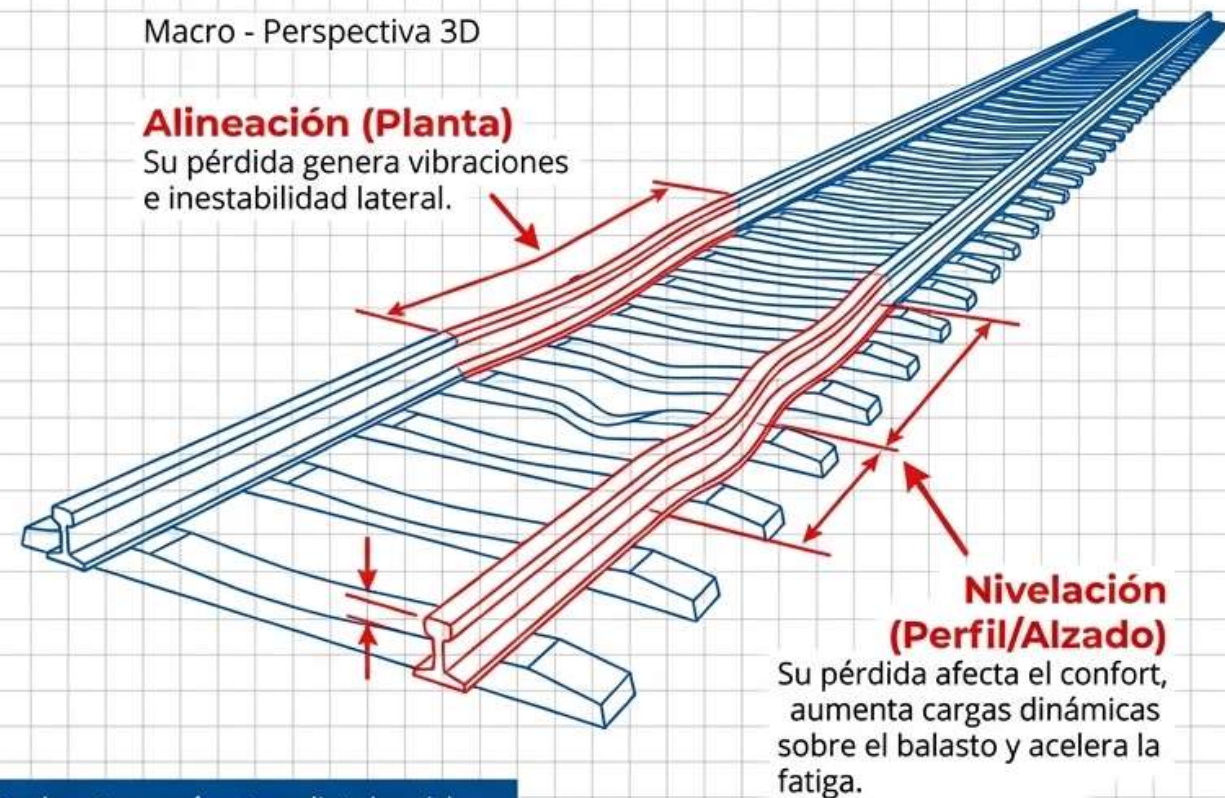
Tolerancias geométricas y su impacto en la seguridad e interacción rueda-riel.

Micro - Vista Frontal



Micro - Vista Frontal

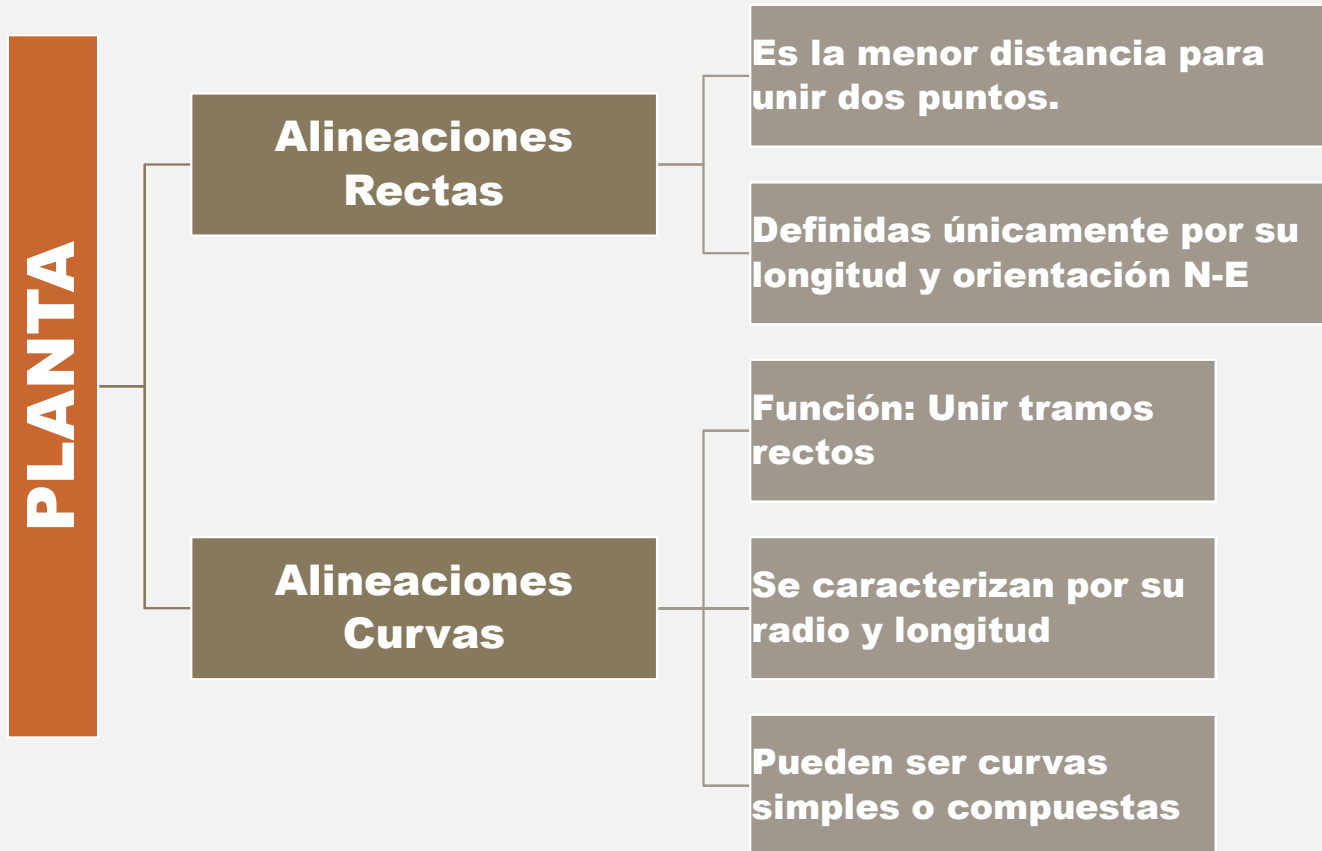
Macro - Perspectiva 3D



El control estricto de estos parámetros dicta los ciclos de mantenimiento (bateado y alineación) para restituir la geometría original de la superestructura.

## TRAZADO DE UNA LÍNEA FERROVIARIA

### VARIABLES EN RELACIÓN CON EL TRAZADO



# TRAZADO DE UNA LÍNEA FERROVIARIA

## VARIABLES EN RELACIÓN CON EL TRAZADO Y CIRCULACIÓN

### ALINEACIÓN EN PLANTA - CURVAS

#### Tipos de curvas

**Circulares:  
Radio  
Constante**

Clotoide: Curvatura es proporcional a la longitud de la curva

**Espirales –  
Transición:  
Radio /  
curvatura  
variable**

Radioide de abscisas (óvalos de Cassini): Curvatura proporcional a la abscisa de la curva

Radioide de cuerdas (lemniscata de Bernoulli): Curvatura proporcional al radio vector

Parábola cúbica: Las ordenadas son proporcionales al cubo de las abscisas.

$$\frac{1}{\rho} = k \times l$$

$$\frac{1}{\rho} = k \times x$$

$$\frac{1}{\rho} = k \times r$$

$$y = \frac{x^3}{6RL}$$

C: Cuerda

R: Radio

f: Flecha

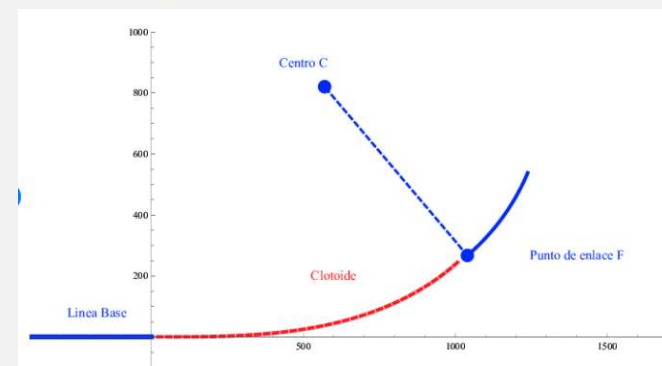
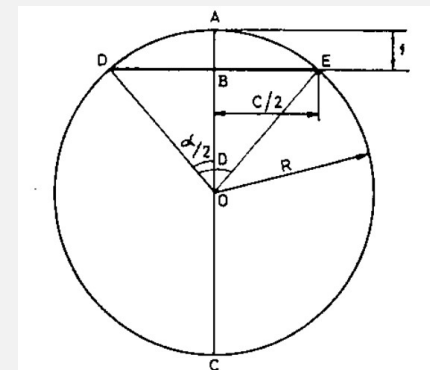
$1/\rho$ : Curvatura

l: longitud de curva

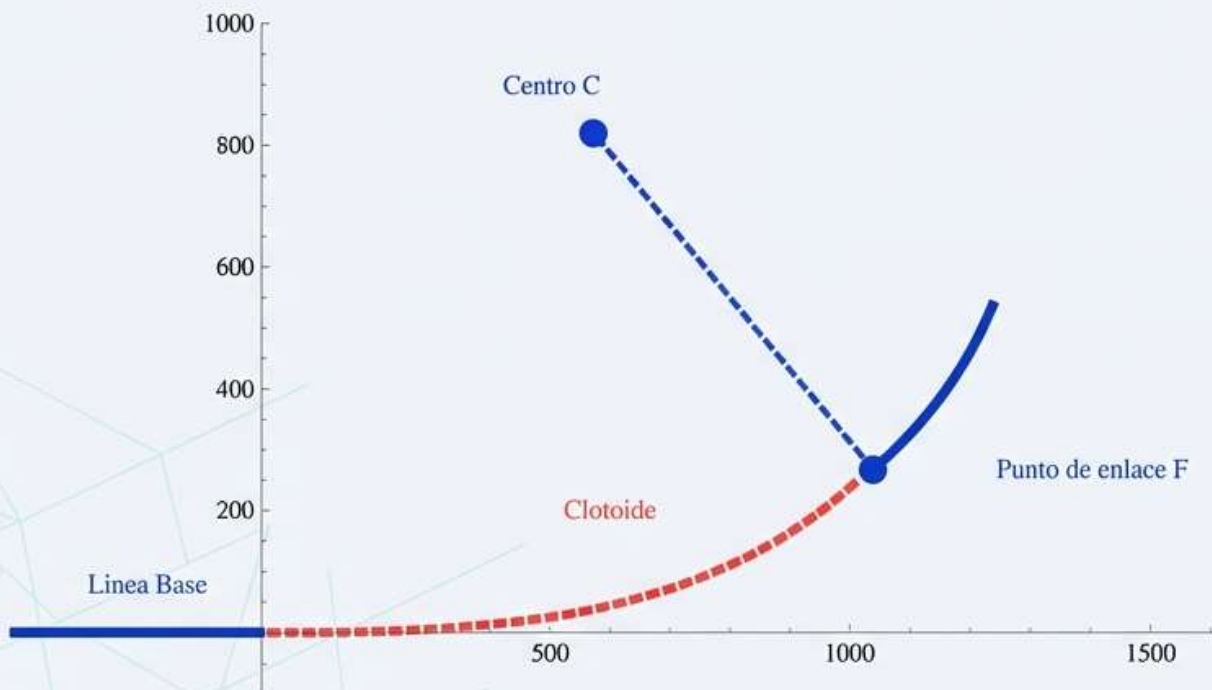
x: abscisa

r: radio vector

$$R \approx \frac{C^2}{8f}$$



# La Clotoide: El Estándar Ferroviario



- **Parábola Cúbica:** Solo válida para ángulos pequeños.
- **Lemniscata:** Curvatura proporcional al radio vector.
- **Clotoide (Espiral de Cornu):** La elegida por su linealidad.

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

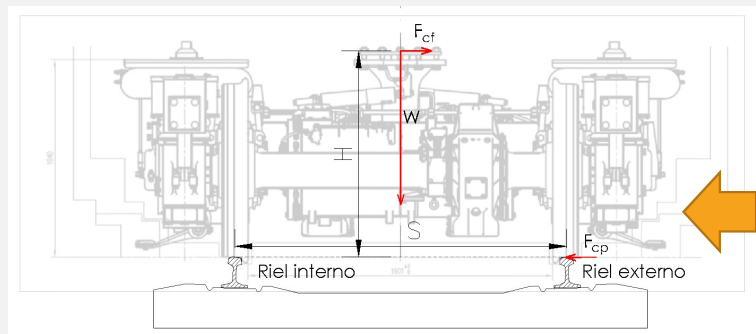
Su curvatura ( $1/R$ ) varía de manera **lineal** con la longitud, coincidiendo perfectamente con la rampa de peralte.

## TRAZADO DE UNA LÍNEA FERROVIARIA

VARIABLES EN RELACIÓN CON EL TRAZADO Y CIRCULACIÓN

### ALINEACIÓN EN PLANTA - CURVAS

#### Peralte Teórico



Curva sin peralte



Fuerza centrífuga /  
centrípeta

El producto de la acel. Centrífuga x la masa del  
vehículo = Fuerza centrífuga:

$$F_{cp} = F_{cf} = F = m \times \frac{v^2}{R} = \frac{W}{g} \times \frac{v^2}{R} (t)$$

Expresando el valor de V en km/h:

$$F = \frac{V^2}{3,6^2 \times 9,8 \times R} \cong \frac{W \times V^2}{127 \times R} (t)$$

$$W = (t)$$

$$g = 9,8 \left( \frac{m}{s^2} \right)$$

$$R = (m)$$

Efectos de Fcf

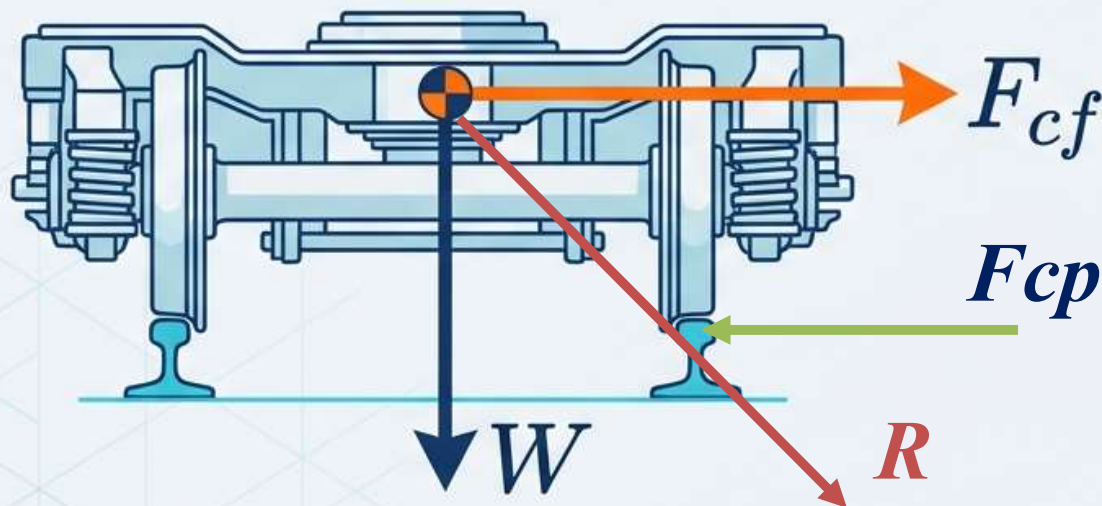
Ripado de riel exterior

Remonte de rueda  
exterior - descarrilo

Vuelco del MR hacia  
el exterior de la curva

## El Desafío Físico: Dinámica del Vehículo en Curva

- **Fuerza Centrífuga** ( $F_{cf}$ ): Proporcional al cuadrado de la velocidad e inversamente proporcional al radio.
- **Riesgos no mitigados:** Ripado del riel exterior, remonte de rueda (descarrilamiento) y vuelco del vehículo.

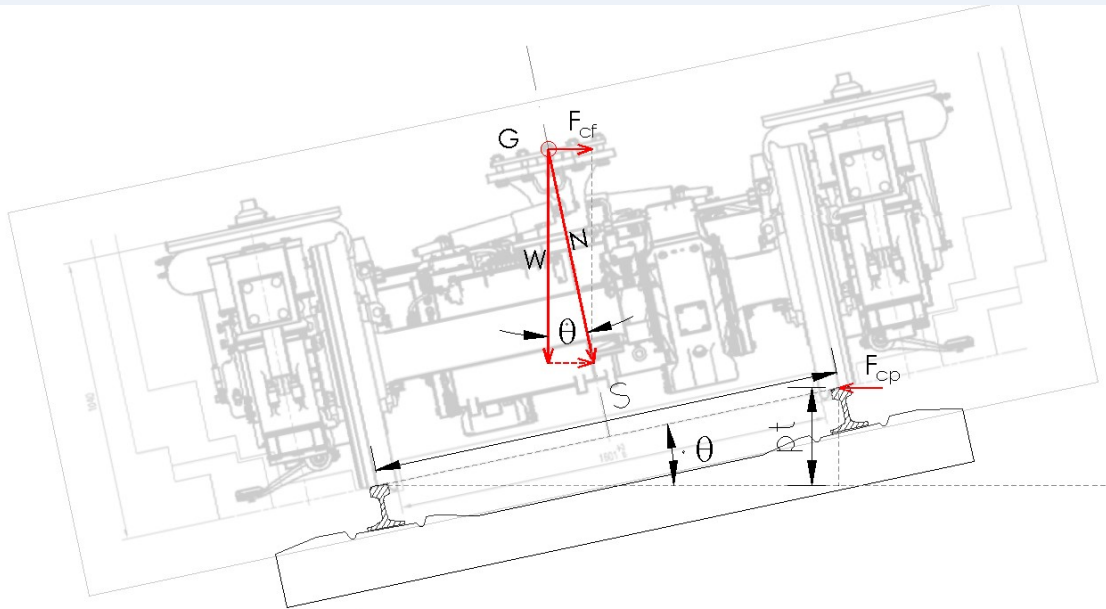


$$F_{cf} = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

$$F_{cp} = F_{cf}$$

# La Solución de Equilibrio: El Peralte (h)

**Peralte Teórico:** Diferencia de nivel entre riel externo y riel interno



$$h \approx \frac{S \cdot V^2}{127 \cdot R}$$

**Peralte Teórico ( $h_t$ ):** La inclinación exacta donde la resultante es perpendicular al plano de rodadura.

**Peralte Práctico:** Ajuste por confort y mantenimiento.

**Objetivo:** Transformar la fuerza lateral en carga normal, centrando la resultante.

$tg \theta = \frac{F}{W}$  Si el ángulo es pequeño:  $\Rightarrow tg \theta \cong sen \theta$

$\frac{F}{W} = \frac{p_t}{s} \Rightarrow p_t = s \times \frac{F}{W} = \frac{s \times V^2}{127 \times R} (m)$

# Diagramas de Curvatura y Flechas

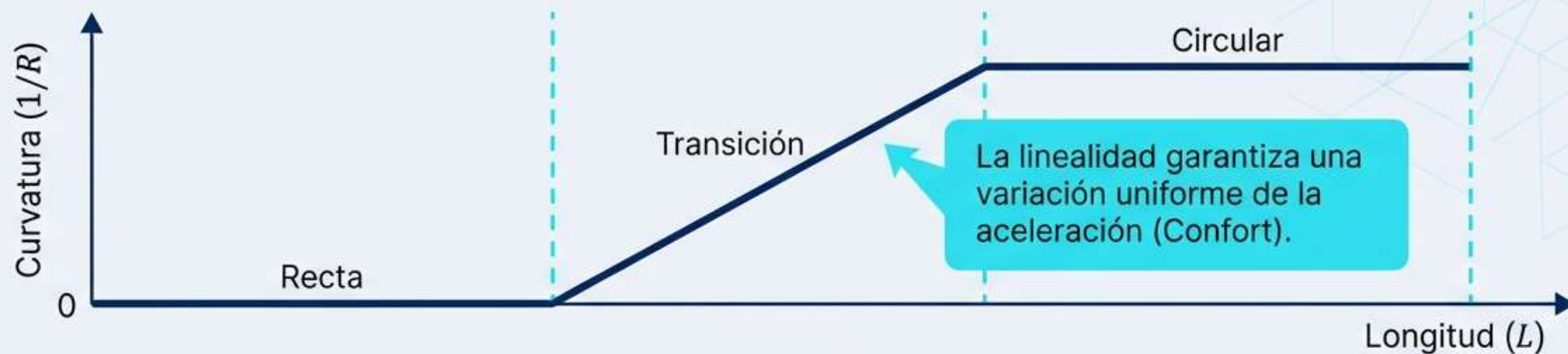


Fig 1.3. - Diagrama de curvaturas



Fig 1.4. - Diagrama de flechas

## CURVA HORIZONTAL - PERALTE

### PERALTE TEÓRICO

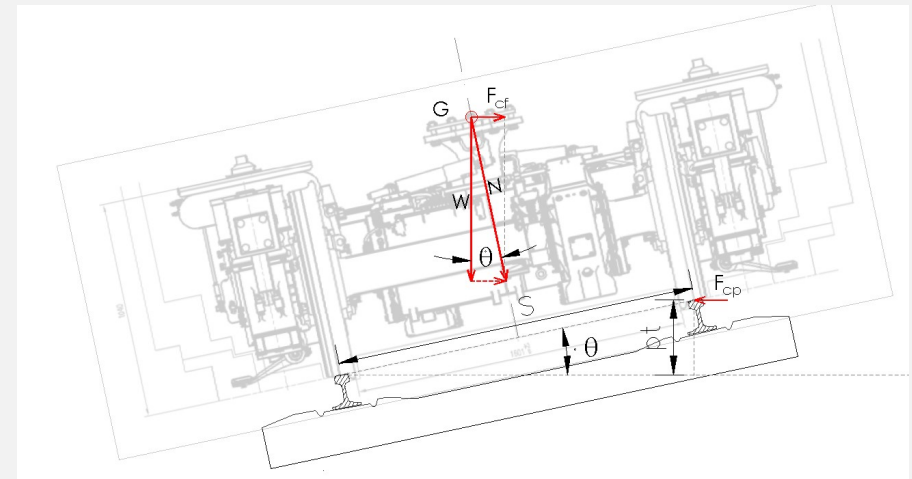
Por ejemplo en trocha angosta si se considera un ancho de carril de 55mm, entonces  $s=1055\text{mm}$ :

$$p_t = \frac{8.3 \times v^2}{R}$$

	TROCHA			V en km/h R en m $p_t$ en mm
	1676	1435	1000	
$p_t$	$\frac{13,8 V^2}{R}$	$\frac{11,8 V^2}{R}$	$\frac{8,3 V^2}{R}$	

NTVO N°3 adopta la ecuación anterior con las siguiente modificación:

$$p_t = \frac{8.3 \times v^2}{R} \times \frac{1000}{1000} \quad \longrightarrow \quad p_t = \frac{C_t}{R} \times 1000 \quad \longrightarrow \quad C_t = 0.0083 \times v^2$$



## CURVA HORIZONTAL - PERALTE

### PERALTE PRÁCTICO

Por la coexistencia de trenes rápidos y trenes lentos se debe adoptar un peralte práctico

La NTVO N°3 introduce un coeficiente de reducción de peralte teórico tal que:

$$p = C \times v^2$$

$Si v_{max} > 2v_{min_t}$ 

 $C = 0,5 \times C_t$

$Si v_{max} < 2v_{min_t}$ 

 $C = 0,6 \times C_t a 0,7 \times C_t$

Valor límite nominal del peralte:

TROCHAS			
	1676	1435	1000
p =	190 mm	160 mm	110 mm

# CURVA HORIZONTAL – VERIFICACIÓN DE PERALTE

## 1-INSUFICIENCIA DE PERALTE

Para los trenes de mayor velocidad el valor límite nominal de la insuficiencia de peralte se fija como:

$$I = p_{t pas.} - p$$

	TROCHAS		
	1676	1435	1000
I =	150 mm (x)	130 mm (x)	90 mm (x)

(x) El valor límite será reducido a 115 mm para trocha 1,676 m, 100 mm para trocha 1,435 m y 65 mm para trocha 1,000 m cuando el estado de conservación de la vía no es satisfactorio.

## 2-EXCESO DE PERALTE

Para los trenes de menor velocidad (carga) el valor límite nominal del exceso de peralte se fija como:

$$E = p - p_{t car.}$$

IMPORTANCIA DEL TRAFICO	E mm					
	Límite nominal			Límite excepcional		
	TROCHA			TROCHA		
	1676	1435	1000	1676	1435	1000
Tráfico carga muy importante (> 45.000 t/día)	80	70	50	120	105	75
Tráfico carga importante (25 a 45.000 t/día)	95	80	60	135	115	80
Tráfico carga media (10 a 25.000 t/día)	105	90	60	145	125	90
Tráfico carga débil (<10.000 t/día)	120	100	70	160	135	95

## CURVA HORIZONTAL – VERIFICACIÓN DE PERALTE

### 3-VARIACIÓN DE PERALTE EN CURVAS DE TRANSICIÓN

Valor límite nominal:  $\Delta p = \frac{180}{V}$  mm/m, sin sobrepasar 4mm/m

V: velocidad del tren más rápido (km/h)

### 4-VARIACIÓN DE INSUFICIENCIA DE PERALTE POR LOS TRENES MÁS RÁPIDOS EN CURVAS DE TRANSICIÓN

Los pasajeros son sensibles a la rapidez de variación de la insuficiencia de peralte, o sea:

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} \left( \frac{mm}{s} \right) = \frac{\Delta I(mm)}{\Delta L(m)} \times V \left( \frac{km}{h} \right) \times \frac{h}{3600 s} \times \frac{1000m}{km}$$

		TROCHA		
		1676	1435	1000
(1)	$\frac{\Delta p}{\Delta L}$	$\frac{180}{V}$ mm/m		
(2)	$\frac{\Delta I}{\Delta t}$	75 mm/s	65 mm/s	45 mm/s

**TRAZADO DE UNA LÍNEA FERROVIARIA**  
**VARIABLES EN RELACIÓN CON EL TRAZADO Y CIRCULACIÓN**

ALINEACIÓN EN PLANTA - CURVAS

Componentes de una curva compuesta

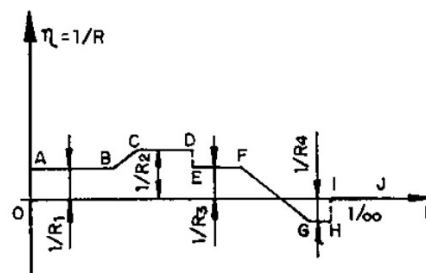
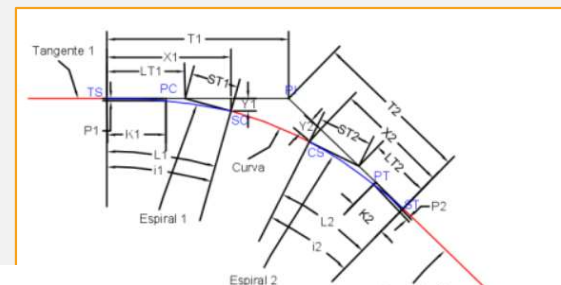
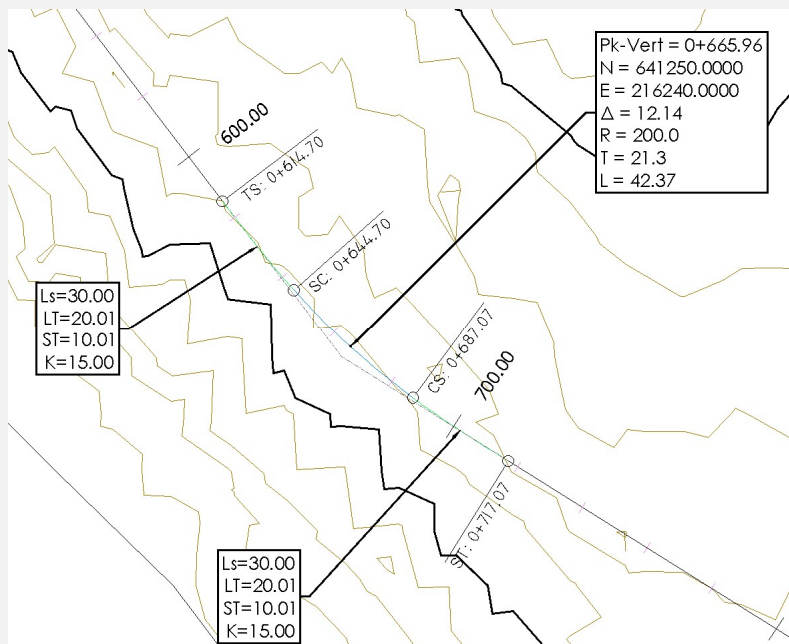


Fig. 1.3.—Diagrama de curvaturas.

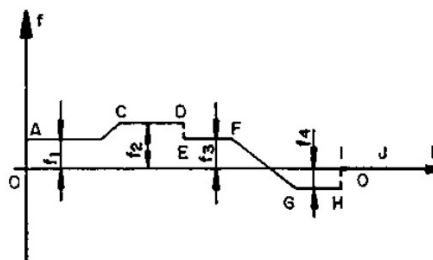
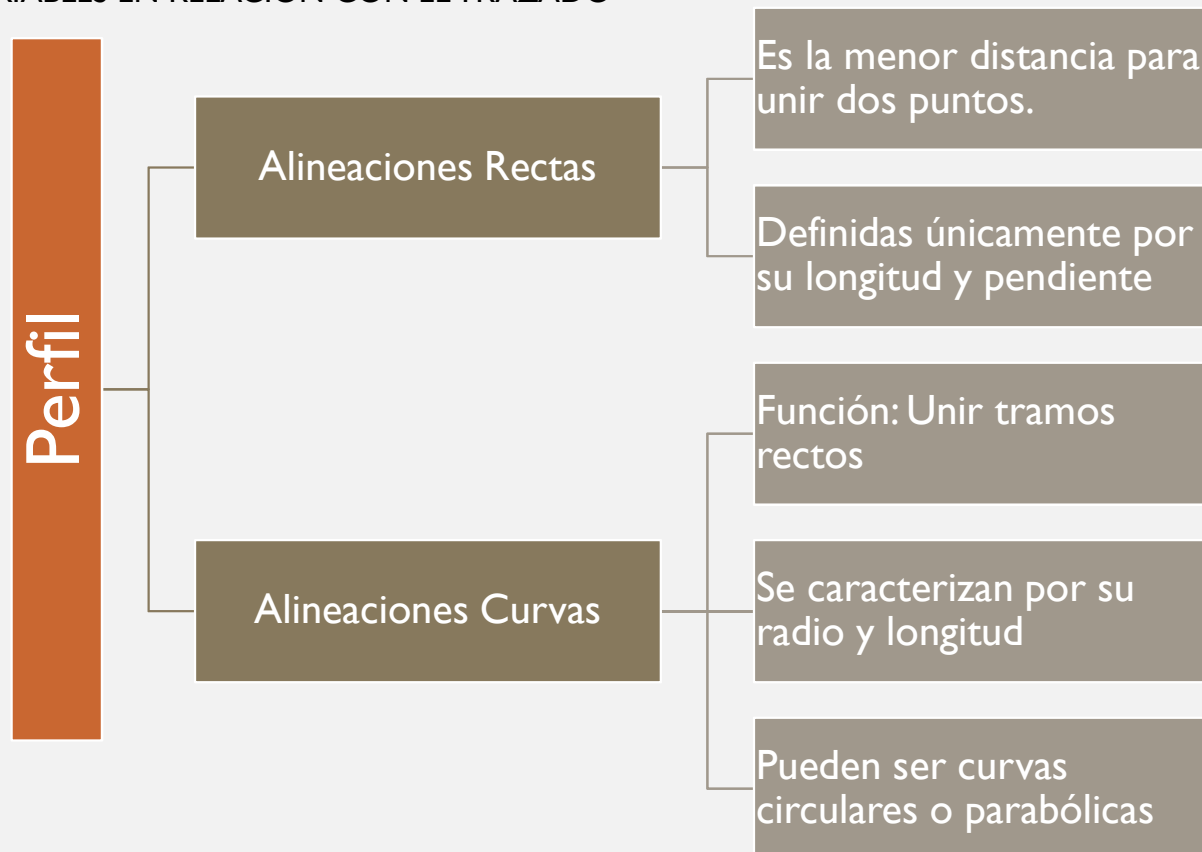


Fig. 1.4.—Diagrama de flechas.

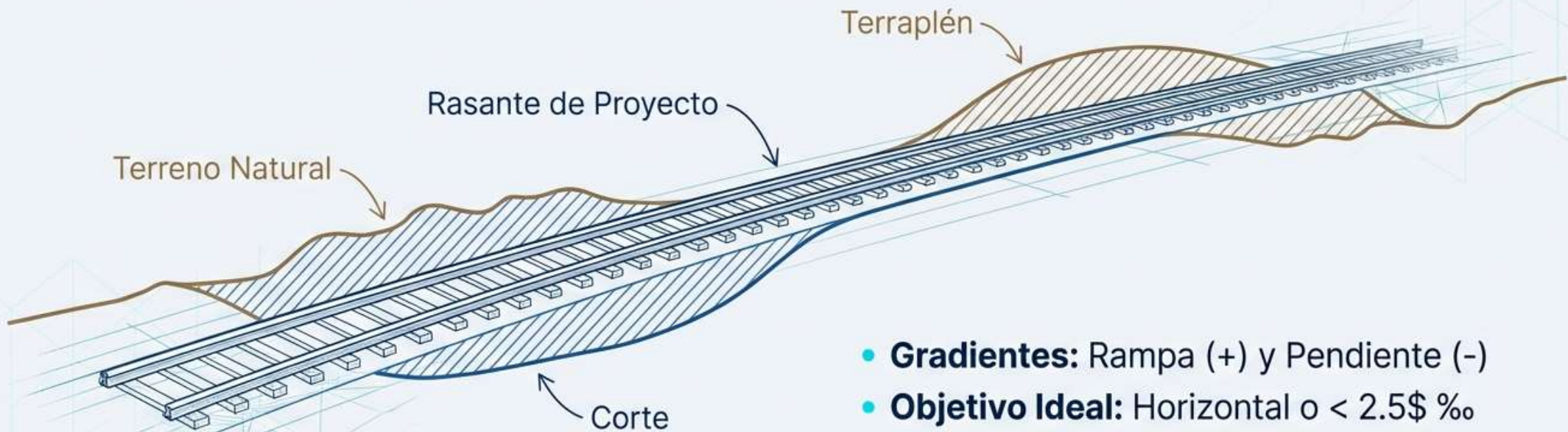
Parámetro de espiral	Descripción
i1	Ángulo central de una curva espiral L1, que es el ángulo de la espiral.
i2	Ángulo central de una curva espiral L2, que es el ángulo de la espiral.
T1	Distancia de tangente total de PI a TE.
T2	Distancia de tangente total de PI a TS.
X1	Distancia de tangente en EC desde TE.
X2	Distancia de tangente en TC desde ST.
Y1	Distancia de desfase de tangente en EC desde TE.
Y2	Distancia de desfase de tangente en TC desde ST.
P1	Desfase de la tangente inicial hacia el PC de la curva desplazada.
P2	Desfase de la tangente inicial hacia fuera del PT de la curva desplazada.
K1	Abscisa del PC desplazado referente a TE.
K2	Abscisa del PT desplazado referente a ST.
LT1	Espiral de entrada de tangente larga.
LT2	Espiral de salida de tangente larga.
ST1	Espiral de entrada de tangente corta.
ST2	Espiral de salida de tangente corta.
Otros parámetros de espiral	
A1	El valor A equivale a la raíz cuadrada de la longitud de la espiral multiplicada por el radio. Medida de la planicidad de la espiral.
A2	El valor A equivale a la raíz cuadrada de la longitud de la espiral multiplicada por el radio. Medida de la planicidad de la espiral.

## TRAZADO DE UNA LÍNEA FERROVIARIA

### VARIABLES EN RELACIÓN CON EL TRAZADO



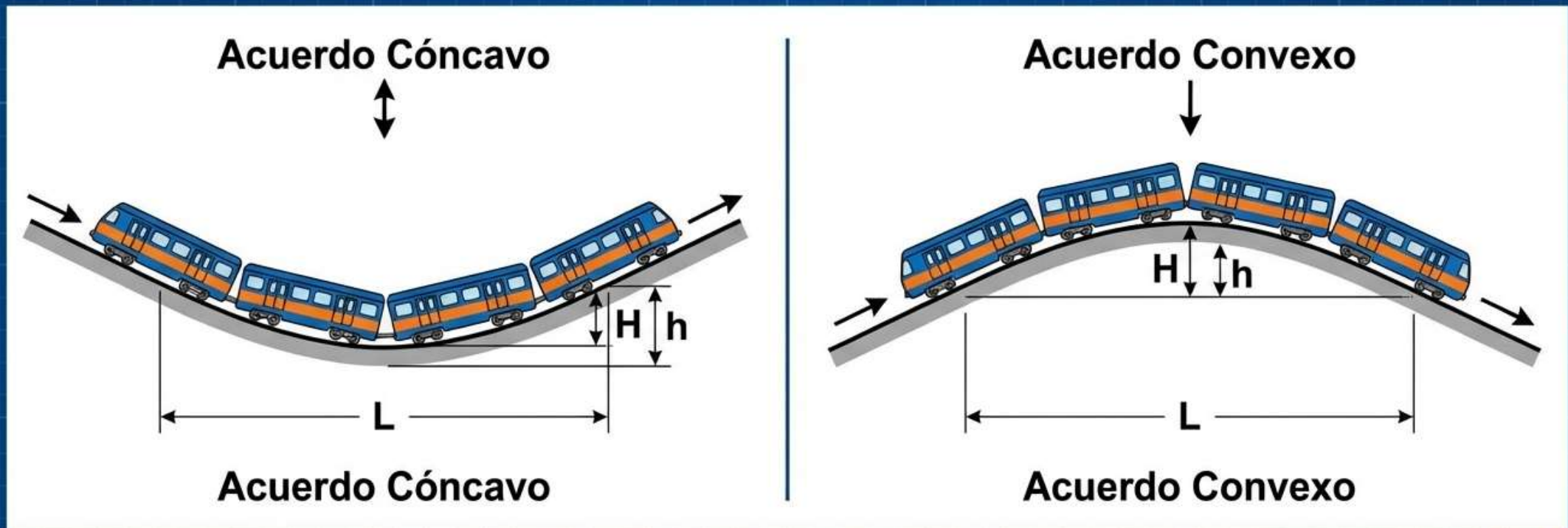
# Diseño en Alzado: El Perfil Longitudinal



- **Gradientes:** Rampa (+) y Pendiente (-)
- **Objetivo Ideal:** Horizontal o  $< 2.5\%$
- **Límites Operativos:** Pasajeros (Máx  $\sim 30\%$ ) | Cargas (Máx  $\sim 15\%$ )
- **Alerta:** A partir del  $5\%$  comienzan las anomalías operativas.

## Alineación Vertical II: Curvas de Acuerdo de Rasante

- Surgen de la necesidad dinámica de enlazar rasantes de pendientes diferentes sin provocar despegues de rueda ni sobrecargas en las suspensiones. Tipología: Curvas parabólicas o circulares de gran radio ( $R_v$ ).



# TRAZADO DE UNA LÍNEA FERROVIARIA VARIABLES EN RELACIÓN CON EL TRAZADO

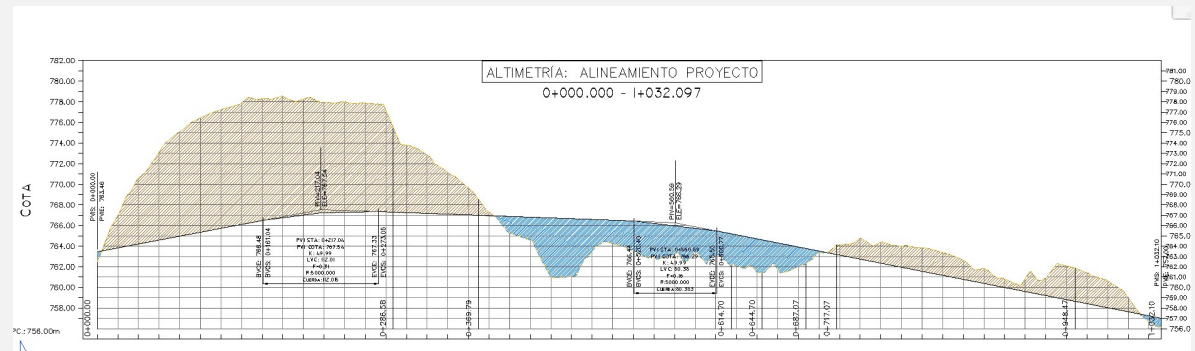
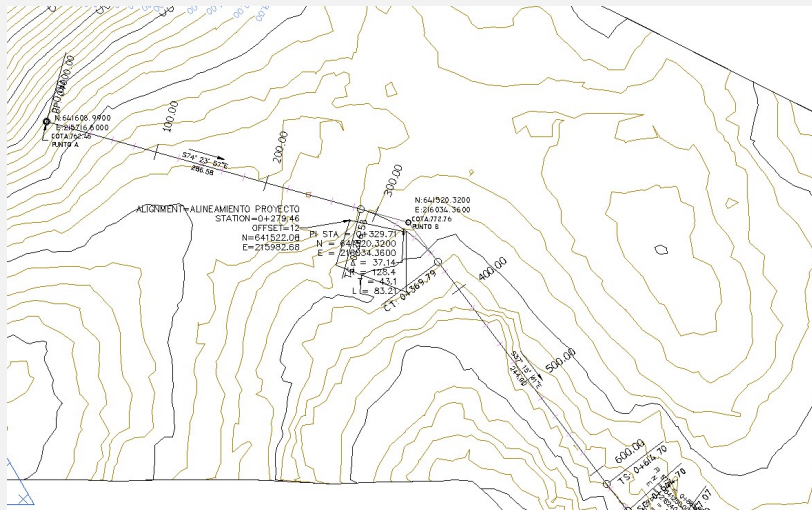
## PERFIL

El trazado de la línea debe adaptarse al terreno



En alzado los perfiles están constituidas por una sucesión de **rectas y curvas**

Para minimizar los efectos de variación de gradientes, debería seguir en lo posible **paralelo a las curvas de nivel**



# TRAZADO DE UNA LÍNEA FERROVIARIA VARIABLES EN RELACIÓN CON EL TRAZADO Y CIRCULACIÓN

## PERFIL - TRAMOS CURVOS

Surgen a partir de la necesidad de enlazar rasantes de pendientes diferentes

En Argentina es obligatorio la implantación de curvas verticales a partir de diferencias de gradiente del 4‰

Se pueden plantear curvas circulares o parabólicas

Se puede establecer una longitud mínima de acuerdo al siguiente criterio:

# TRAZADO DE UNA LÍNEA FERROVIARIA VARIABLES EN RELACIÓN CON EL TRAZADO Y CIRCULACIÓN

## PERFIL - TRAMOS CURVOS

### Norma Legal Argentina (NTVO N°3, art. 15)

- **Obligatorio** implantar curvas si  $\Delta i \geq 4 \text{ mm/m}$ .
- Si  $V > 100 \text{ km/h} \rightarrow R_{\text{vert}} \geq 10000 \text{ m}$ .
- Si  $V \leq 100 \text{ km/h} \rightarrow R_{\text{vert}} \geq 5000 \text{ m}$ .

Norma  
Brasileira

Determinación de la longitud ( $L$ ) basada en tolerancias de aceleración vertical para garantizar confort.

**Acuerdo Cóncavo**

$$L = \left( \frac{i_1 - i_2}{0.033} \right) \times 20m$$

**Acuerdo Convexo**

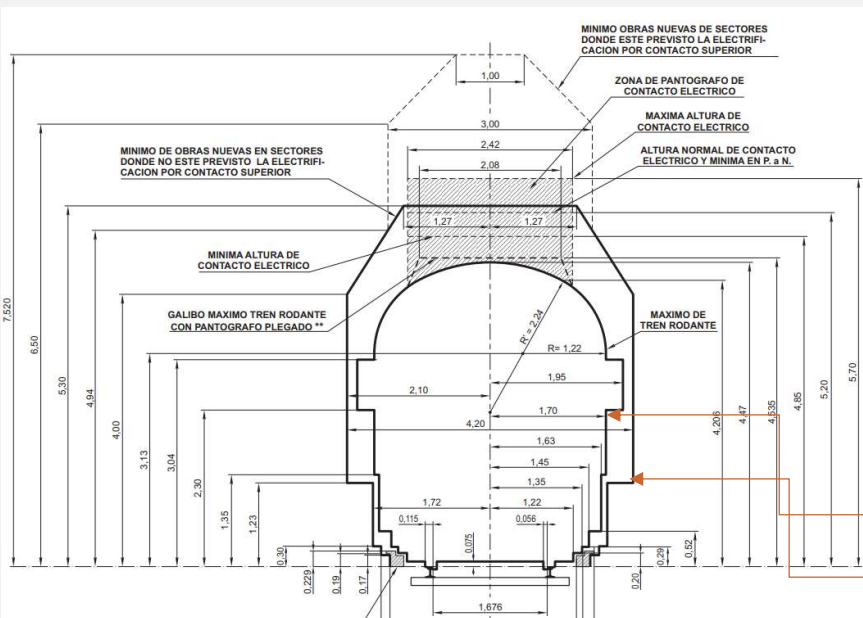
$$L = \left( \frac{i_1 - i_2}{0.066} \right) \times 20m$$

# TRAZADO DE UNA LÍNEA FERROVIARIA

## VARIABLES EN RELACIÓN CON LA CIRCULACIÓN

### GÁLIBO

Contorno de referencia (plano normal a la vía) al cual debe adecuarse tanto el material rodante como las instalaciones fijas para posibilitar la circulación sin interferencias.



Gálibo

Material Rodante

- Limita el tamaño de Locomotoras y vehículos autopropulsados
- Limita el tamaño de coches y vagones

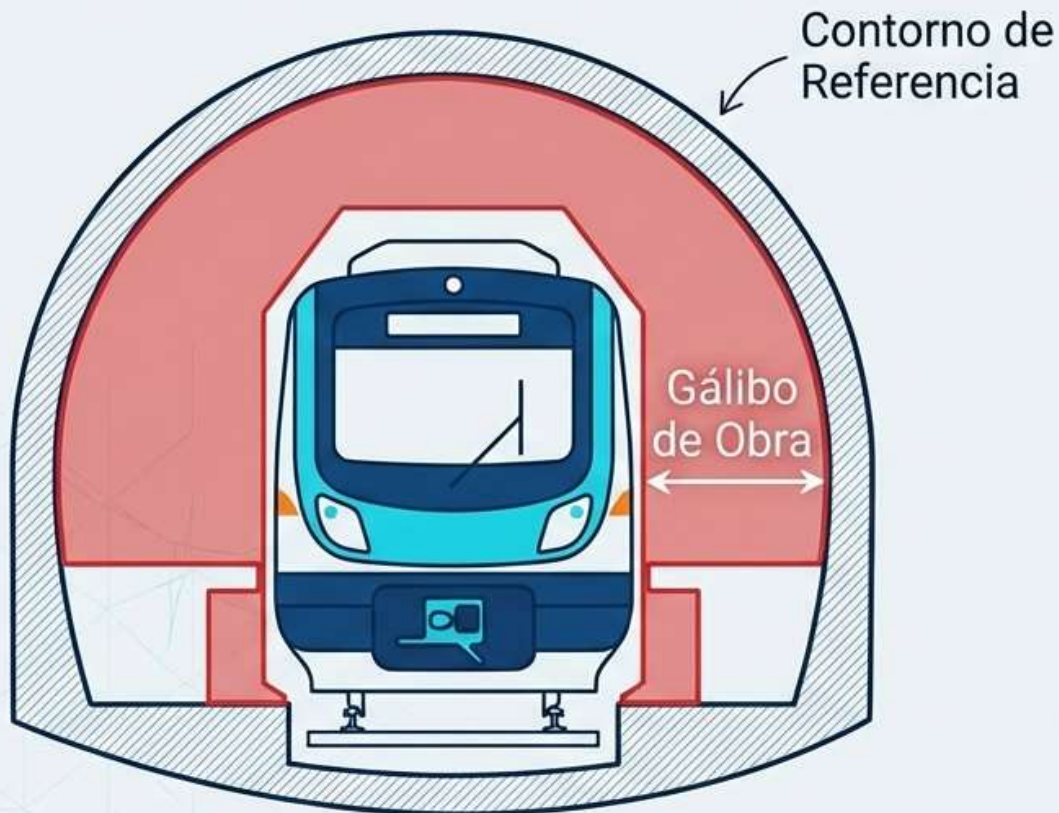
Instalaciones Fijas

- Vía Obra nueva y existente
- Vía electrificada: 3er Riel
- Vía electrificada: Catenaria
- Andenes, puentes, pasarelas, cobertizos

Gálibo – M.R.

Gálibo – I.F.

# Gálibo: El Túnel Invisible



- **Gálibo Estático:** Dimensiones del vehículo detenido.
- **Gálibo de Obra:** Espacio libre garantizado por la infraestructura.
- **Interferencias:** Andenes, señales, tercer riel, catenaria.

# Gálibo Dinámico: La Geometría del Movimiento

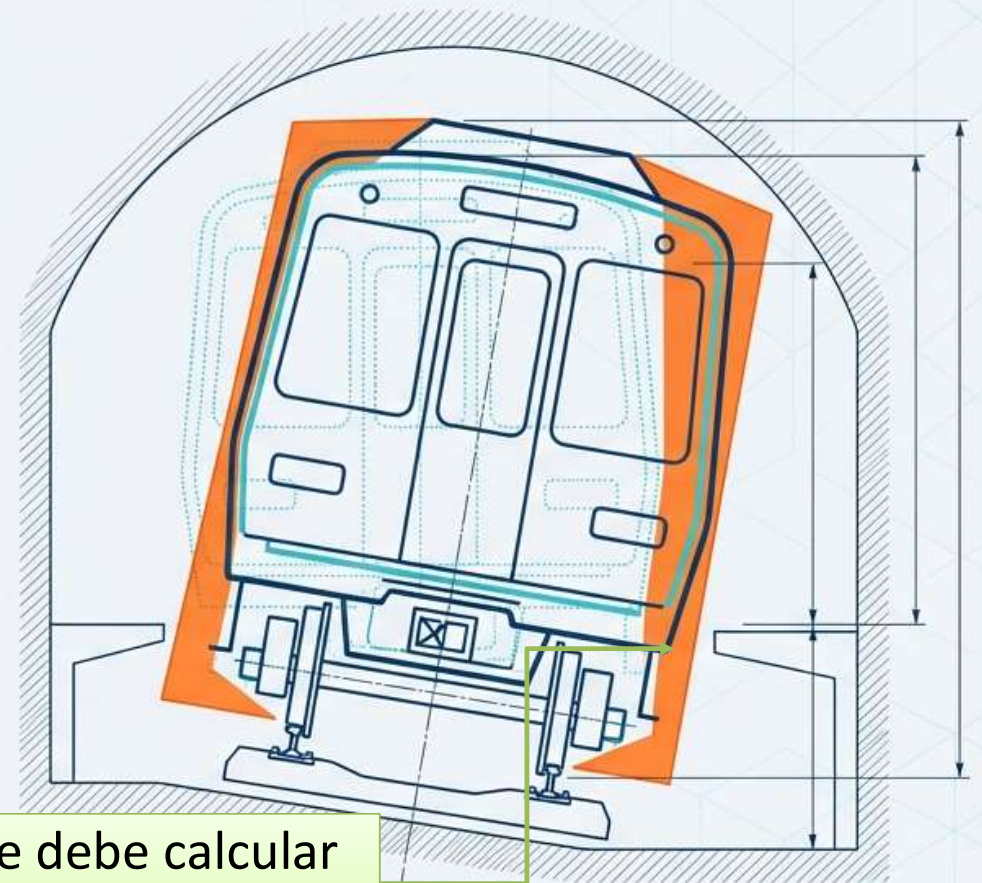
## Factores Clave:

- Efecto del peralte (inclinación).
- Juego de suspensiones y desgaste.
- Desplazamiento del centro geométrico.

**Regla:** El contorno de referencia debe adecuarse a los efectos dinámicos para evitar colisiones.

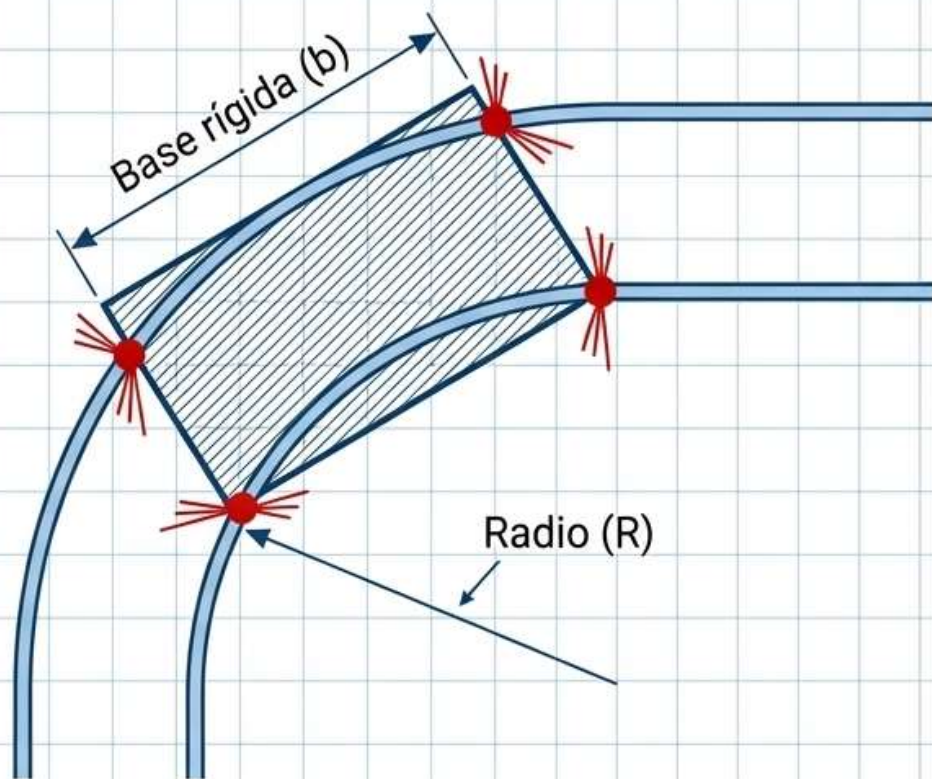
En recta se debe calcular el sobre ancho de entrevía en vías en uso, zona de andenes u otras IFs

En curva se debe calcular el sobre ancho de entrevía



# Disposiciones Constructivas: El Sobreancho de Trocha (S)

La base rígida de los bogies (b) requiere un ensanchamiento de la distancia geométrica entre rieles en curvas cerradas para evitar el atascamiento y reducir el desgaste.



BIM Parameter Matrix	
NTVO N°14 - Parámetros de Inserción:	
$R > 250 \text{ m}$	➔ $S = 0 \text{ mm}$
$250 \text{ m} \geq R > 150 \text{ m}$	➔ $S = 6 \text{ mm}$
$150 \text{ m} \geq R > 110 \text{ m}$	➔ $S = 12 \text{ mm}$
$110 \text{ m} \geq R$	➔ $S = 18 \text{ mm}$

# TRAZADO DE UNA LÍNEA FERROVIARIA REPRESENTACIÓN - PLANIMETRÍA

*Puntos característicos del  
alineamiento*

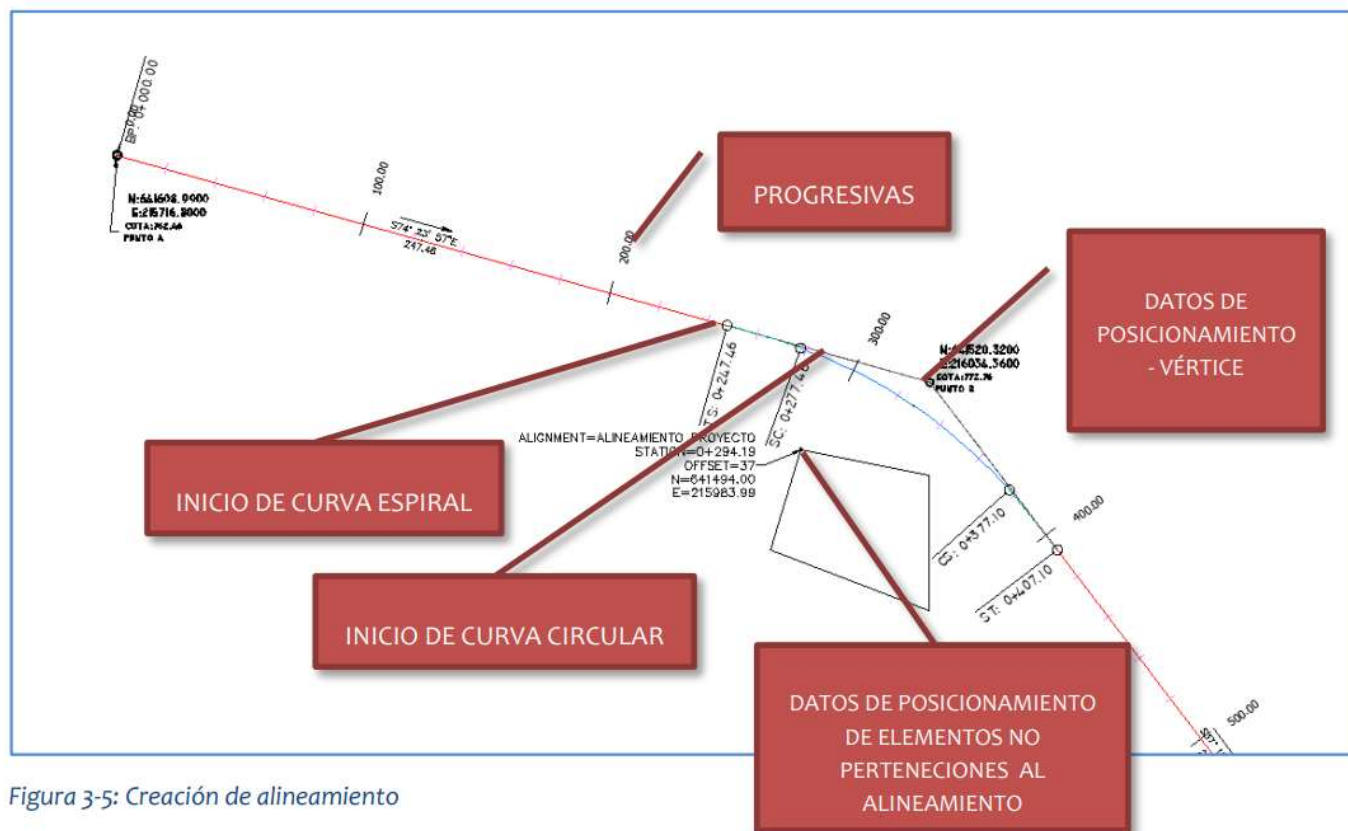


Figura 3-5: Creación de alineamiento

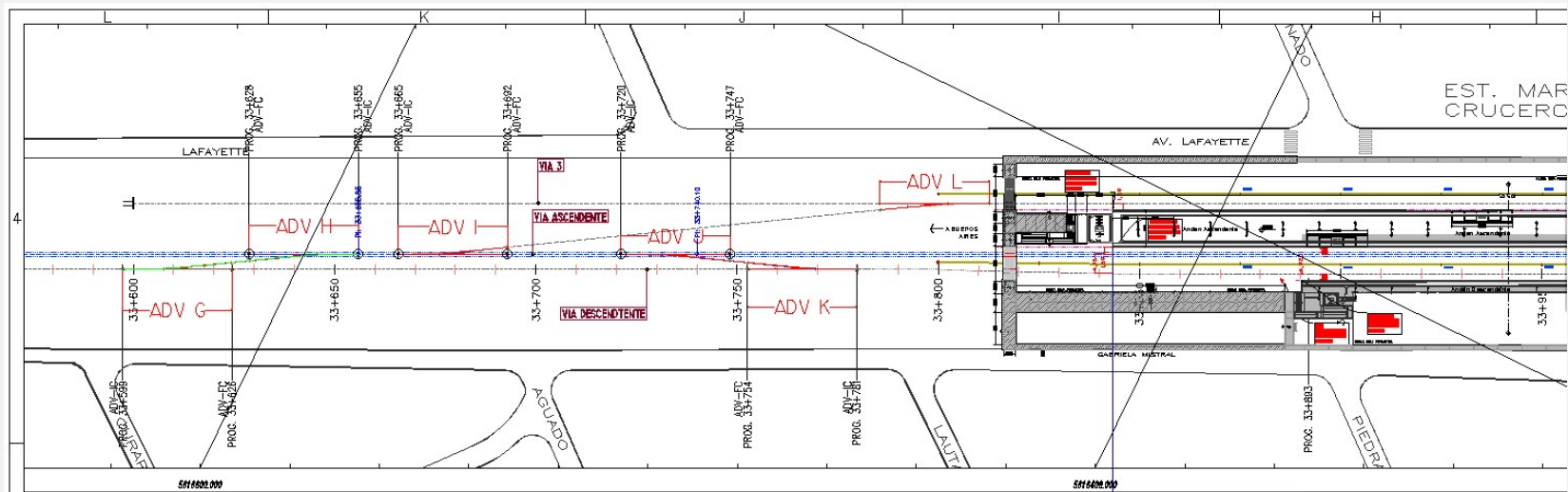
# TRAZADO DE UNA LÍNEA FERROVIARIA REPRESENTACIÓN - PLANIMETRÍA

*Datos complementarios al alineamiento:*

Grilla con coordenadas topográficas (sistema de proyección absoluta o relativa)

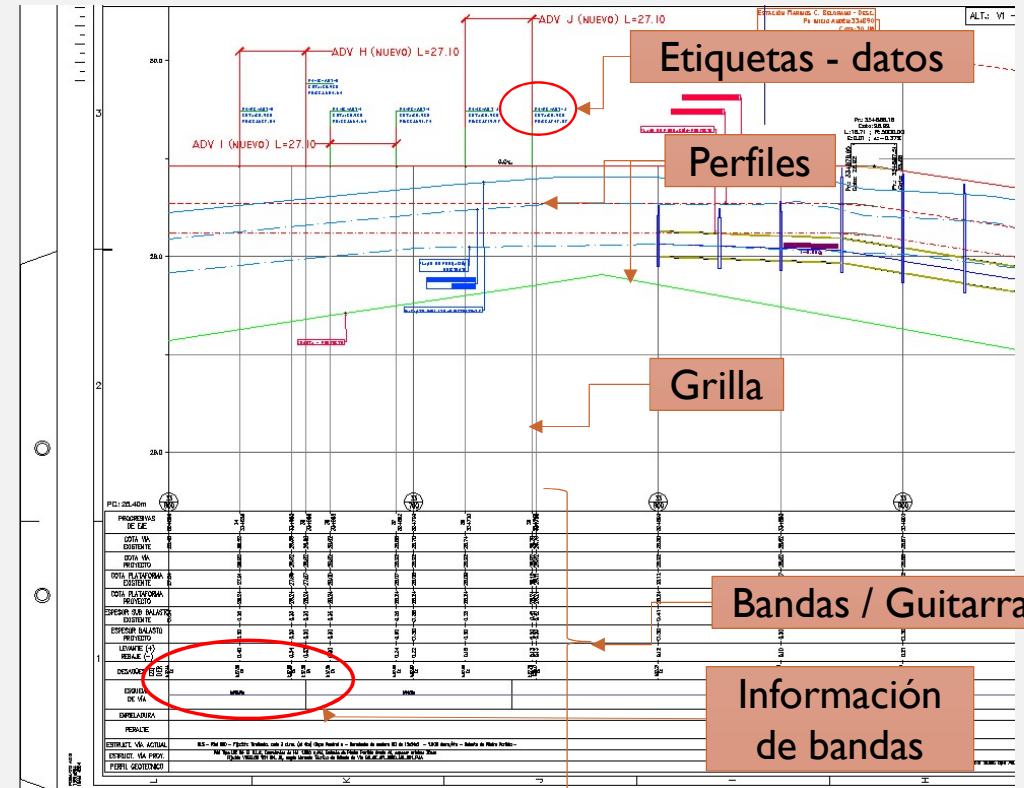
Puntos característicos de ADVs (Pk, longitud, coordenadas).

Puntos característicos de instalaciones fijas (Pk, coordenadas de inicio y fin de andén, locales técnicos, talleres, etc.)



# TRAZADO DE UNA LÍNEA FERROVIARIA REPRESENTACIÓN - ALTIMÉTRICA

PC.: 25.40m	31 600		31 700	
PROGRESIVAS DE EJE		34		37
COTA VÍA EXISTENTE	28.45	28.52	28.58	28.63
COTA VÍA PROYECTO				
COTA PLATAFORMA EXISTENTE	27.84			
COTA PLATAFORMA PROYECTO				
ESPESOR SUB BALASTO EXISTENTE	0.35			
ESPESOR BALASTO PROYECTO				
LEVANTE (+) REBAJE (-)	-0.40	-0.35	-0.35	-0.30
DESAGÜES IZQ DER TOD	1.27.25 0	1.27.33 0	1.27.38 0	1.27.60 0
ESQUEMA DE VÍA	L590.0m		L584.28m	
ENRIELADURA				
PERALTE				
ESTRUCT. VÍA ACTUAL	RLS - Riel U50 - Fijación: Tirafondo, cada 3 durm. (el 4to) Clape Pandrol e - Durmiente de madera QC de 12x24x2 - 1800 durm/km - Balasto de Piedra Partida -			
ESTRUCT. VÍA PROJ.	Riel Tipo UIC 54 El RLS, Durmientes de H11 L650 u/H16, Balasto de Piedra Partida Grado H1, espesor mínimo 30cm Tipología VGS3LH V21 S16 21, según Memoria Técnica de Cálculo de Vía BS_GE_OY_0003_MC_001_P.04.			
PERFIL GEOTECNICO				





ING. MARIANO MÉNDEZ  
FERROCARRILES - UNCUYO

MUCHAS GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN