



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Índice

**Bloque 1.
Sección transversal ferroviaria.**

**Bloque 2.
Geometría de la vía. Trazado**

**Bloque 3
Comportamiento mecánico de la vía**

**Bloque 4.
Calidad y mantenimiento**

**Bloque 5.
Instalaciones**



Índice

- 1. Introducción**
- 2. Trazado en planta**
 - 2.1. Curvas circulares**
 - 2.2. Curvas de transición**
 - 2.3. Rectas**
- 3. Trazado en alzado**
 - 3.1. Rampas y pendientes**
 - 3.2. Acuerdos verticales**
- 4. Rectificación de alineaciones**



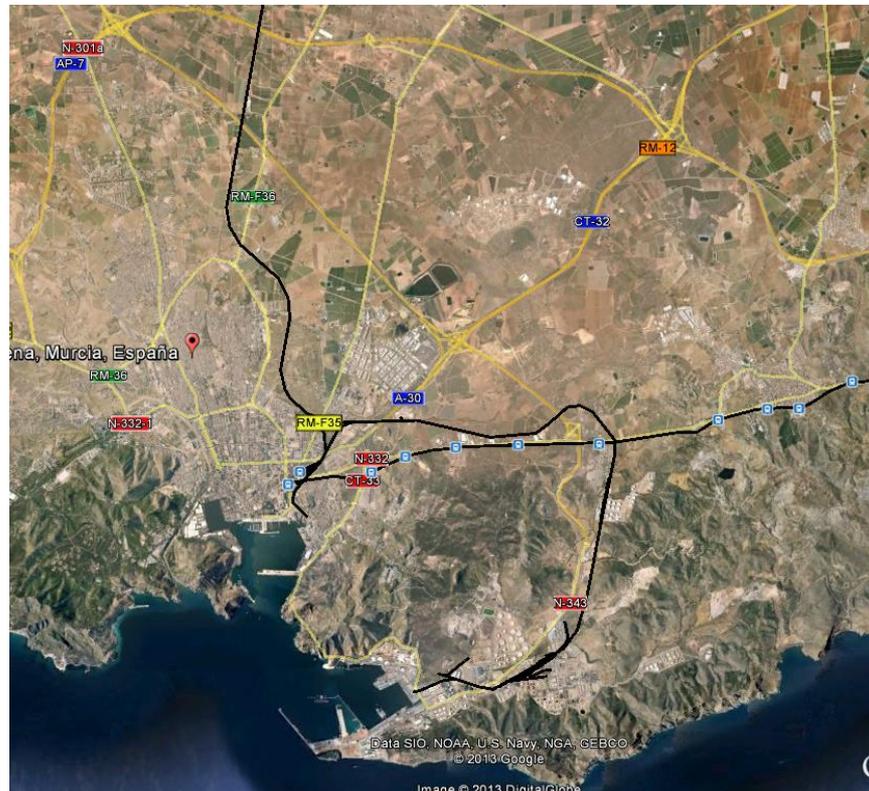
1. Introducción

Trazado de las líneas férreas: sucesión de alineaciones rectas y curvas en planta y alzado

ALINEACIÓN EN PLANTA

RECTAS → Longitud

CURVAS → Radio o grado de curva y su desarrollo (“longitud”)





1. Introducción

Trazado de las líneas férreas: sucesión de alineaciones rectas y curvas en planta y alzado

ALINEACIÓN EN PLANTA

RECTAS → Longitud

CURVAS → Radio o grado de curva y su desarrollo



Fuente: Google Earth

El eje de planta se sitúa en la línea equidistante entre los dos carriles en vía sencilla o en la línea equidistante entre las dos vías en doble vía



1. Introducción

Trazado de las líneas férreas: sucesión de alineaciones rectas y curvas en planta y alzado

ALINEACIÓN EN PLANTA

RECTAS → Longitud

CURVAS → Radio o grado de curva y su desarrollo



Fuente: Google Earth

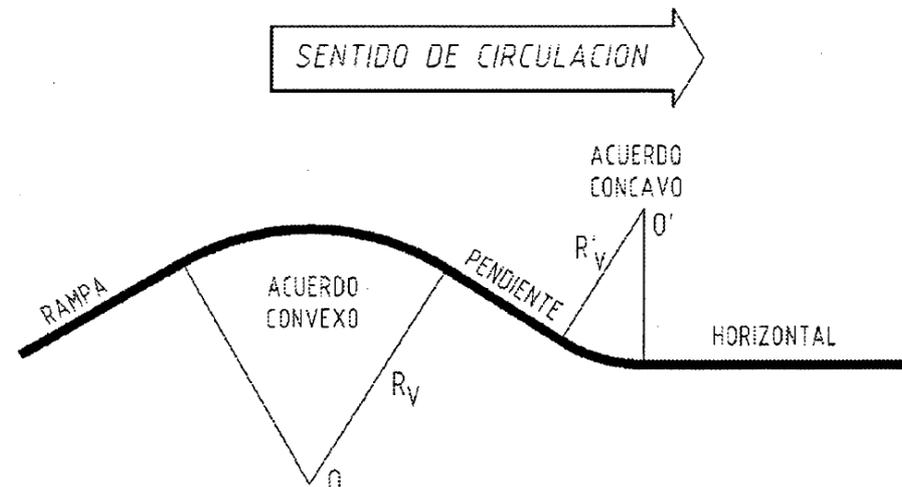
El eje de planta se sitúa en la línea equidistante entre los dos carriles en vía sencilla o en la línea equidistante entre las dos vías en doble vía

ALINEACIÓN EN ALZADO

RECTAS → Longitud e inclinación: rampas y pendientes

CURVAS → Radio

El eje de alzado corresponde a la cota del carril más bajo





2. Trazado en planta

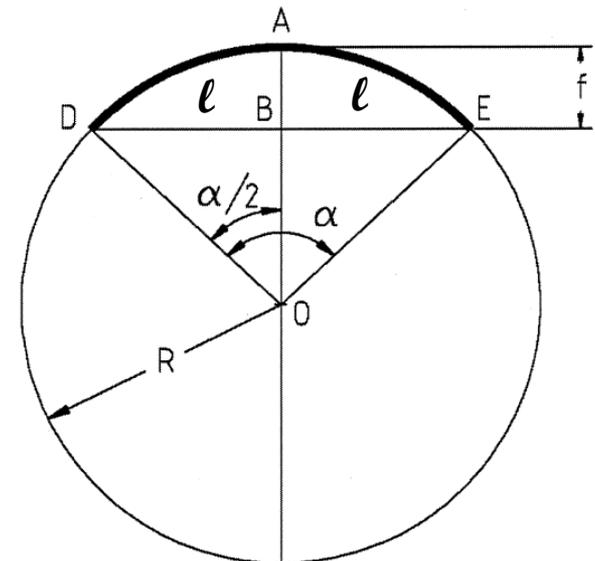
2.1. Curvas circulares

- Caracterización de las curvas
 - Radio
 - Grado de curva (anglosajones)

$$G = \frac{360}{2\pi R} 30,5 \approx \frac{1746}{R}$$

- Relación entre el radio y la flecha de un arco de circunferencia

$$R = \frac{l^2}{2f}$$

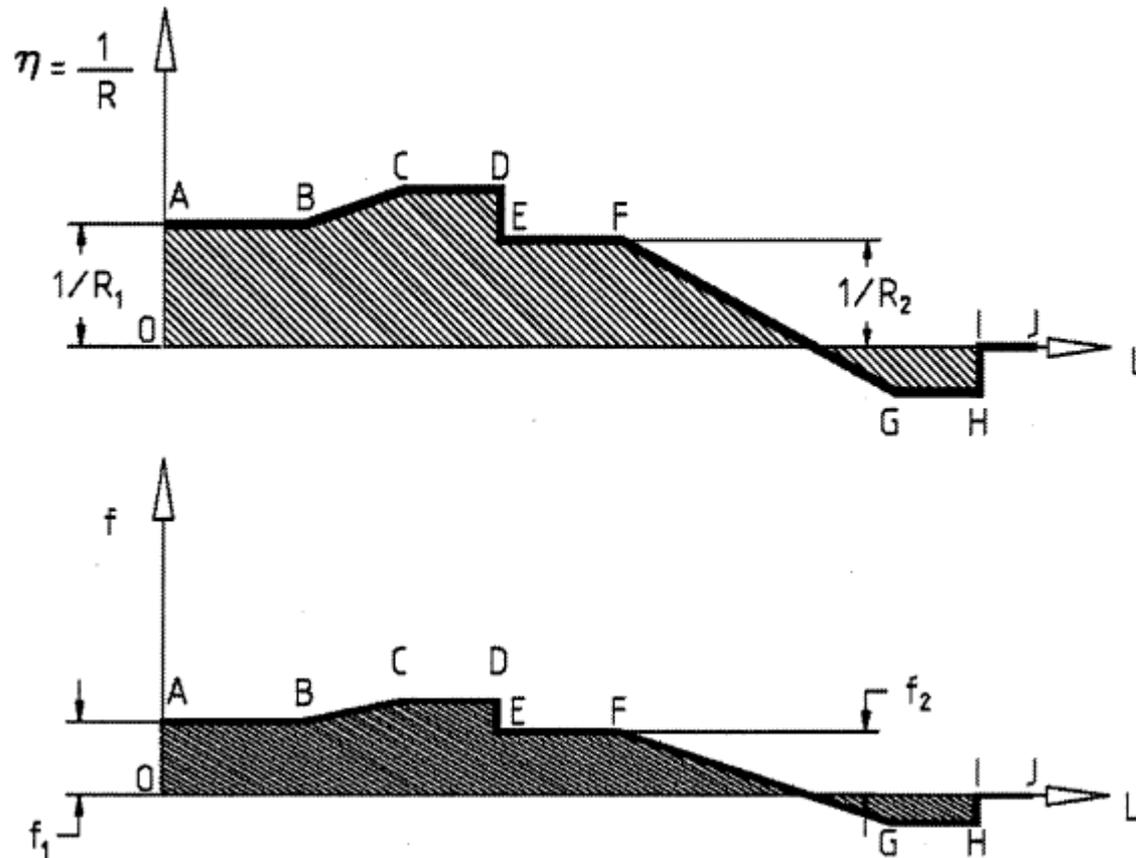




2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Diagrama de curvatura y flechas



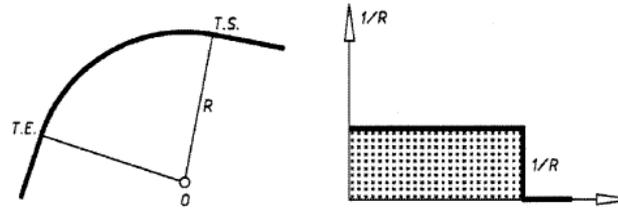


2. Trazado en planta

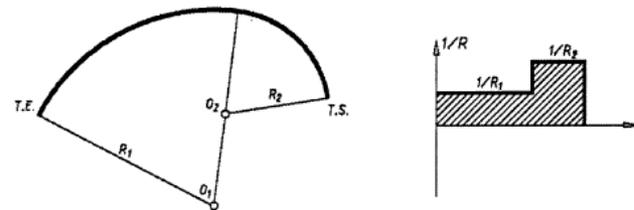
2.1. Curvas circulares

- Tipos de curvas circulares

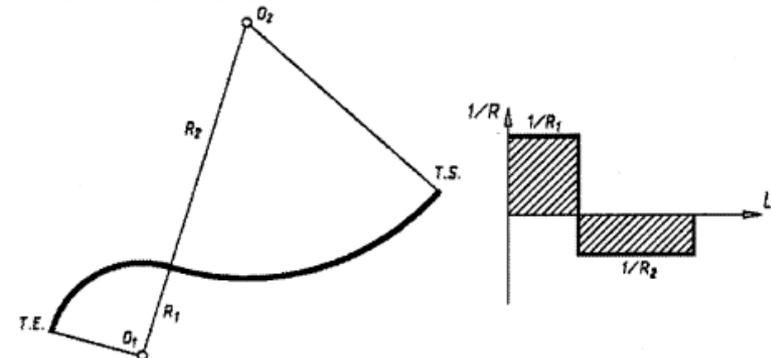
- Curva sencilla



- Curva compuesta en el mismo sentido



- Curva compuesta de sentidos contrarios





2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
 - ✓ Peralte (D) [mm]

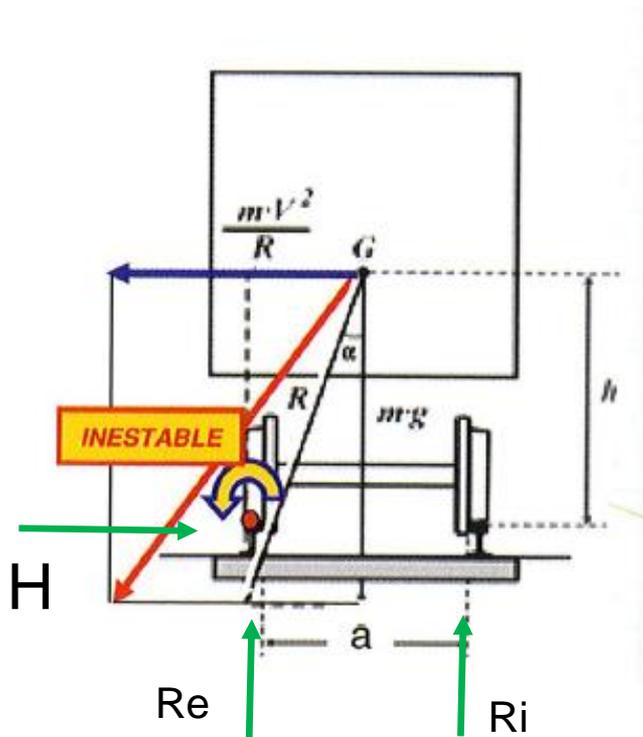
- FUNCIONES
 - ✓ Compensar total ó parcialmente la fuerza centrífuga, limitando así los esfuerzos transversales con la consiguiente reducción de sus consecuencias (descarrilo, vuelco, ripado...)
 - ✓ Producir una mejor distribución de cargas en ambos carriles, reduciendo así el desgaste de los mismos o lograr desgastes similares en ambos.
 - ✓ Proporcionar confort y seguridad a los viajeros.



2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
 - ✓ Peralte (D) [mm]



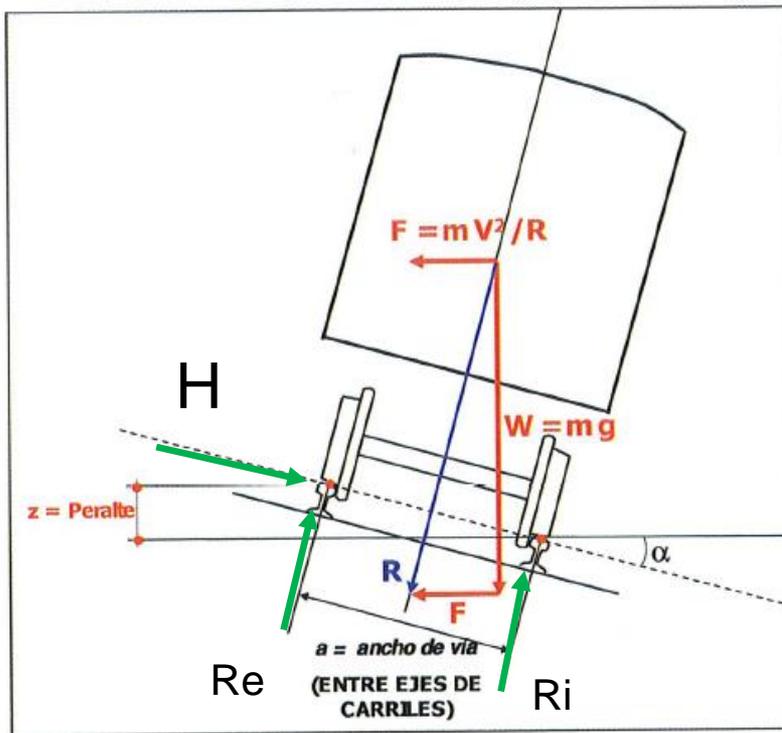
- Curva en plano horizontal
- Trabajo excesivo de la pestaña exterior sobre el hilo exterior a la curva
- H elevada: riesgo de vuelco, descarrilo, ripado de la vía, desgaste carriles y el viajero sufriría falta de confort



2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
 - ✓ Peralte (D) [mm]



Peralte:

desnivel entre carriles medio en una sección normal al eje de vía, que aparece por la inclinación transversal que se le da a la vía hacia el interior de la curva para compensar la F_c .



2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Cálculo del peralte práctico (de diseño):
 1. 2/3 del peralte teórico correspondiente a los trenes más rápidos
 2. Peralte teórico correspondiente a la media cuadrática de las velocidades máxima y mínima
 3. Peralte teórico correspondiente a la media cuadrática PONDERADA de la distribución de velocidades
 4. El preconizado por la UIC

$$D_{pr\acute{a}ctico} = a \frac{V_{\max}^2}{R}$$

[V]=km/h; [R]=m y [D]=mm

Para líneas de tráfico mixto $6,5 < a < 8$

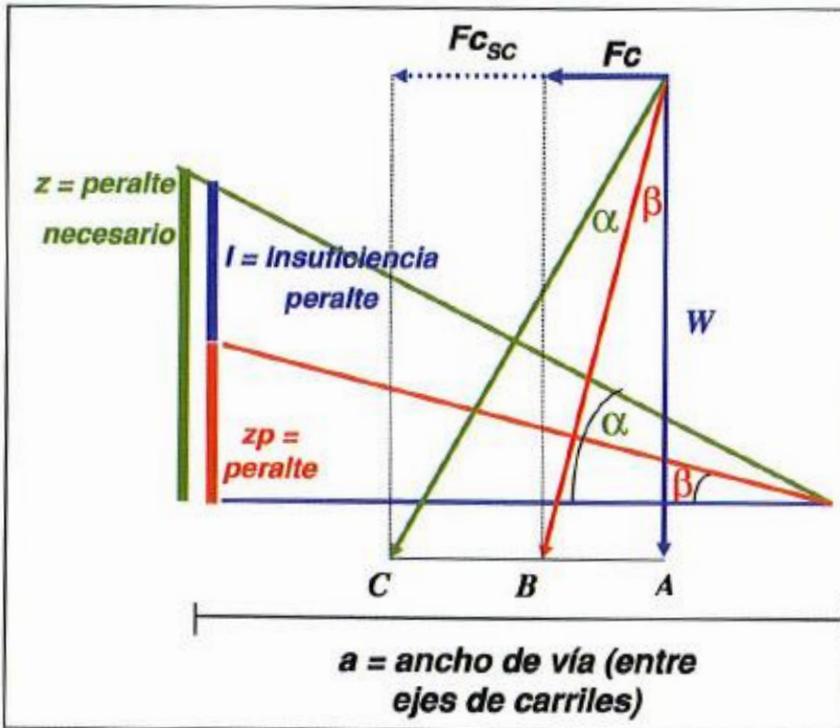
Para líneas exclusivas de viajeros $8 < a < 10$



2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
 - ✓ Insuficiencia de peralte (I) [mm] ($V_{\text{circulación}} \gg V_t$)



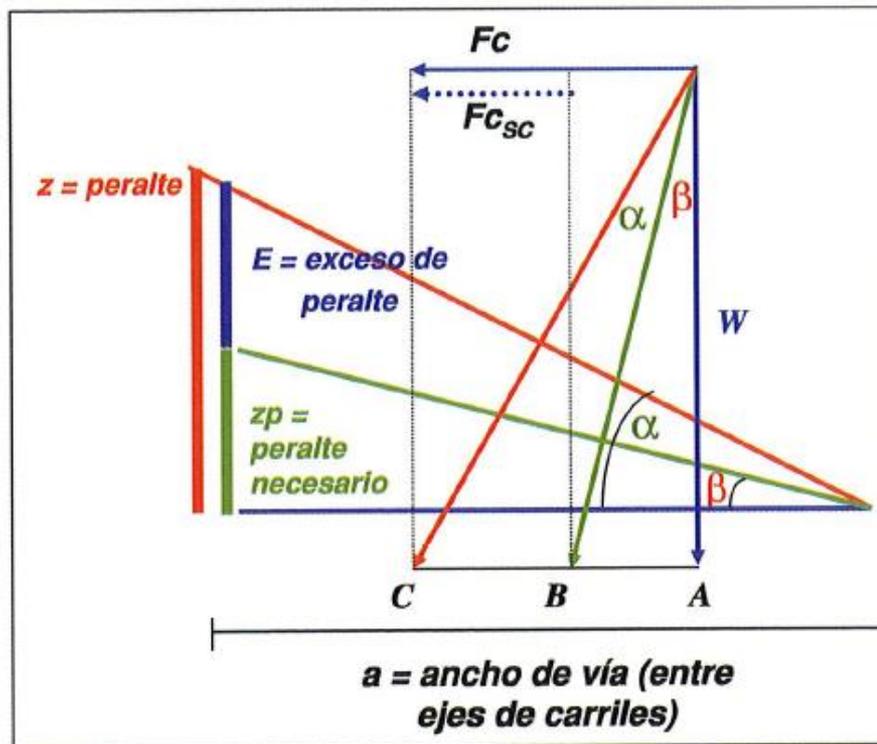
$$I_p = \frac{V^2}{gR} a_c - D$$



2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
 - ✓ Exceso de peralte (l) [mm] ($V_{\text{circulación}} \ll V_t$)



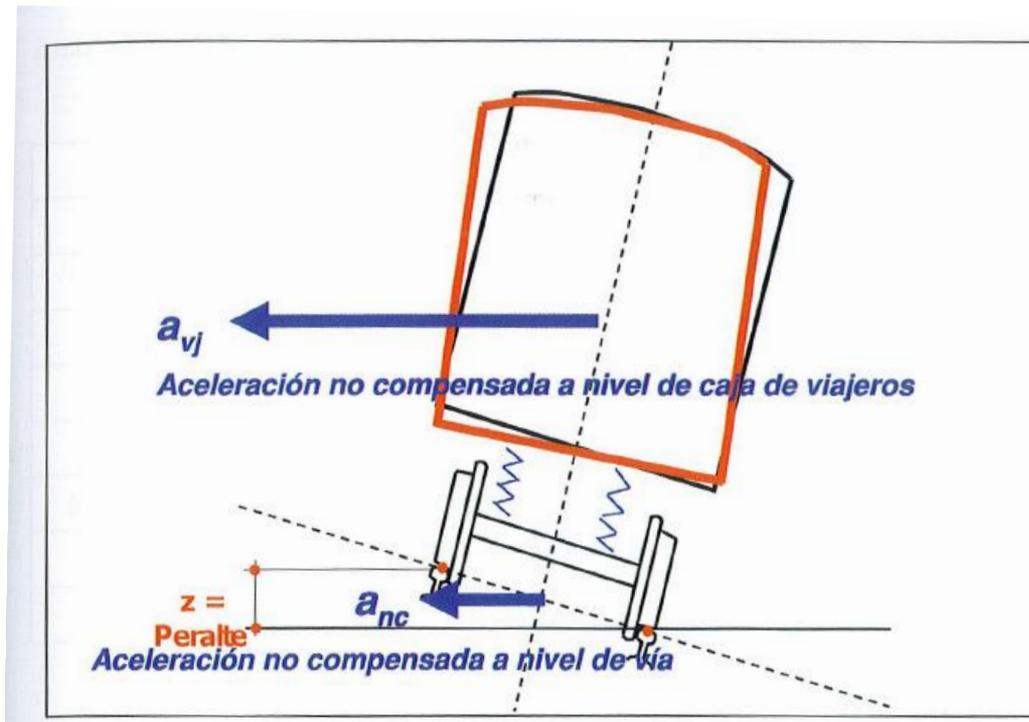
$$E_p = D - \frac{V^2}{gR} a_c$$



2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
 - ✓ Aceleración nc del viajero (a_{viaj}) [m/s^2]



$$a_{viaj} = a_q(1 + s)$$

S: coeficiente de flexibilidad o de souplesse del coche

ADIF : $a_{viaj} < 1 \text{ m/s}^2$

Coches antiguos: $s=0,6$

Coches modernos: $s=0,2$



2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
 - ✓ Peralte (D) [mm]
 - ✓ Insuficiencia de peralte (I) [mm]
 - ✓ Exceso de peralte (E) [mm]
 - ✓ Aceleración no compensada (a_q) [m/s^2]
 - ✓ Aceleración nc del viajero (a_{viaj}) [m/s^2]



2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño

- ✓ Peralte (D) [mm]

- ✓ *Peralte teórico*

$$D_t = \frac{a_c V^2}{g R}$$

- ✓ *Peralte de diseño*

1. 2/3 del peralte teórico correspondiente a los trenes más rápidos
2. Peralte teórico correspondiente a la media cuadrática de las velocidades máxima y mínima
3. Peralte teórico correspondiente a la media cuadrática PONDERADA de la distribución de velocidades
4. El preconizado por la UIC

$$D_{pr\acute{a}ctico} = a \frac{V_{max}^2}{R}$$

[V]=km/h; [R]=m y [D]=mm

Para líneas de tráfico mixto $6,5 < a < 8$

Para líneas exclusivas de viajeros $8 < a < 10$

RENFE: $a_c = 1740 \text{ mm}$

UIC: $a_c = 1500 \text{ mm}$

RENFE: $D_t = 13,5 \frac{V^2}{R}$

UIC: $D_t = 11,8 \frac{V^2}{R}$



2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño

- ✓ Peralte (D) [mm]

- ✓ *Peralte teórico*

- ✓ *Peralte de diseño*

- ✓ Insuficiencia de peralte (I) [mm]

$$I_p = \frac{V^2}{gR} a_c - D$$

- ✓ Exceso de peralte (E) [mm]

$$E_p = D - \frac{V^2}{gR} a_c$$

RENFE: $a_c = 1740 \text{ mm}$

UIC: $a_c = 1500 \text{ mm}$



2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
 - ✓ Aceleración no compensada (a_q) [m/s²]

$$a_q = \frac{V^2}{R} - \frac{Dg}{a_c}$$

- ✓ Aceleración nc del viajero (a_{viaj}) [m/s²]

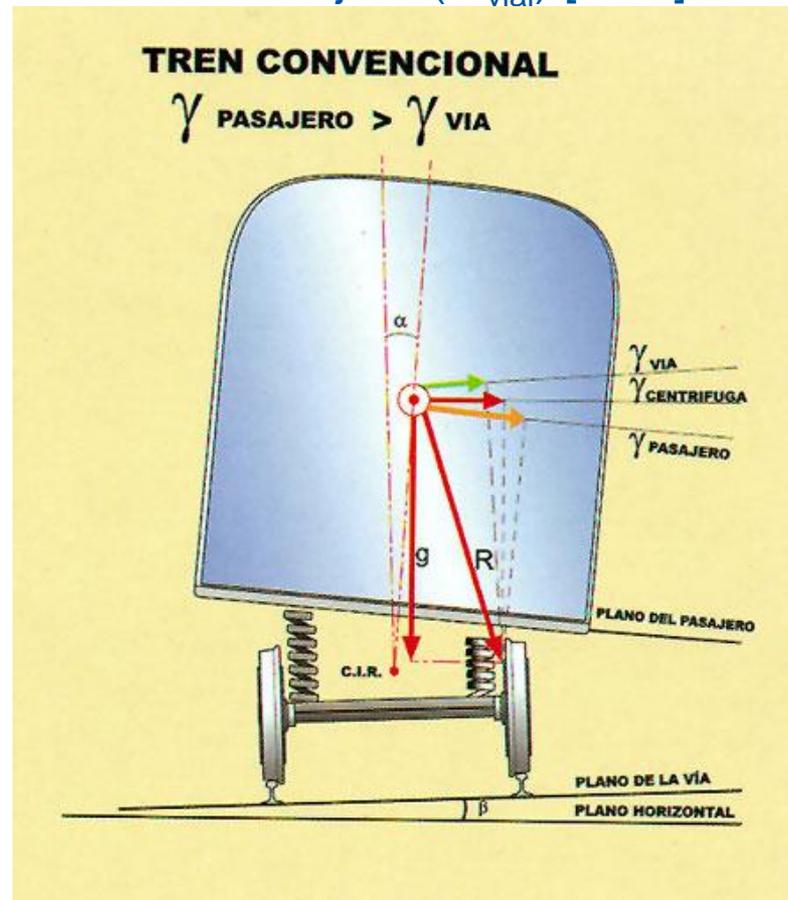
$$a_{viaj} = a_q(1 + s)$$



2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
 - ✓ Aceleración nc del viajero (a_{viaj}) [m/s^2]



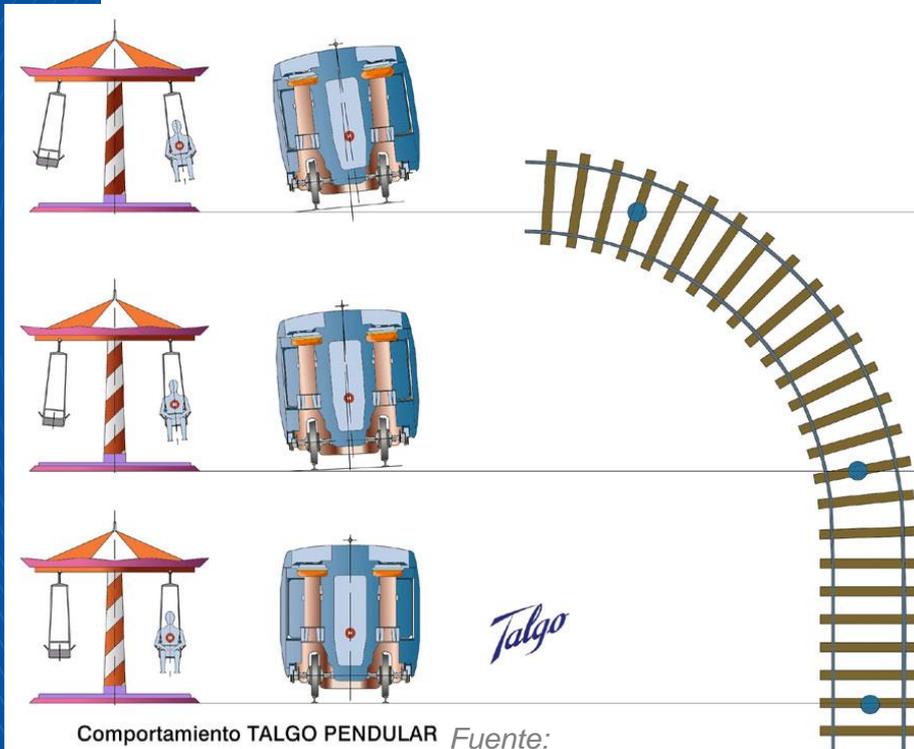


2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
- ✓ Aceleración nc del viajero (a_{viaj})

TALGO PENDULAR



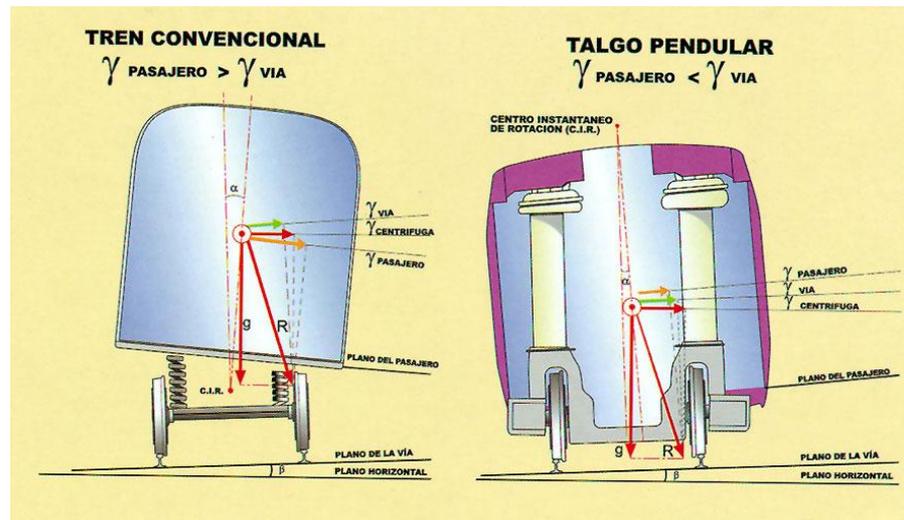
Comportamiento TALGO PENDULAR Fuente:

<http://www.aecientificos.es/empresas/aecientificos/talgo/Figura4gran.jpg>



Fuente:

<http://www.aecientificos.es/empresas/aecientificos/talgo/Foto11gran.jpg>



Fuente:

<http://www.aecientificos.es/empresas/aecientificos/talgo/Figura5gran.jpg>



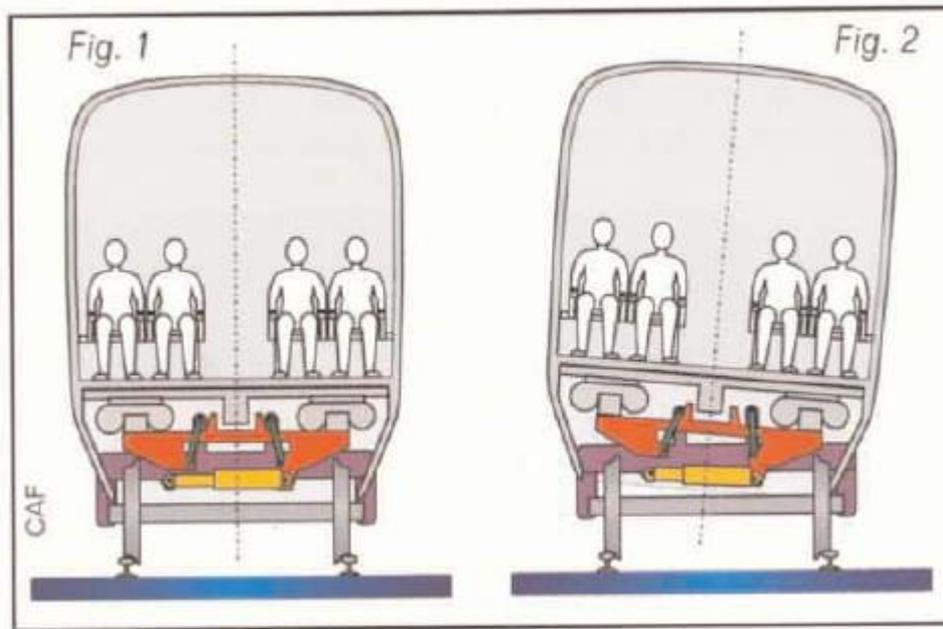
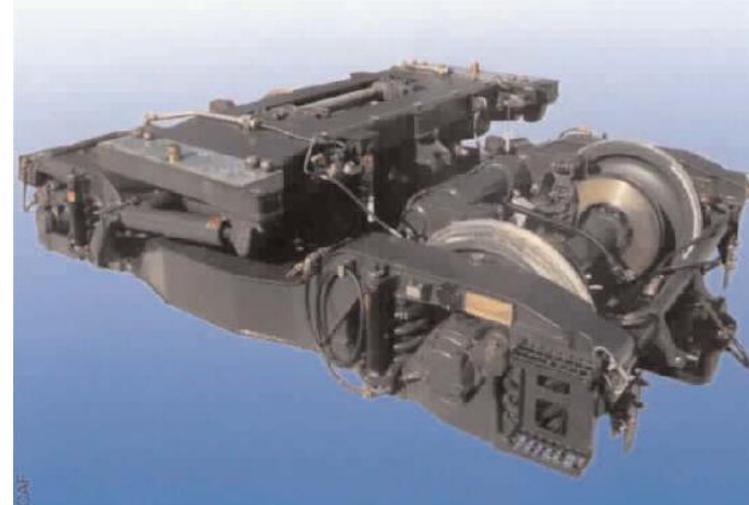
2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
 - ✓ Aceleración nc del viajero (a_{viaj})

CAJA BASCULANTE SIBI DE CAF

Serie 598 Regionales Renfe



Fuente:

http://www.railwaymania.com/docs/150/rwm_renfe_598.pdf



Fuente:

http://www.railwaymania.com/docs/150/rwm_renfe_598.pdf

Fuente:

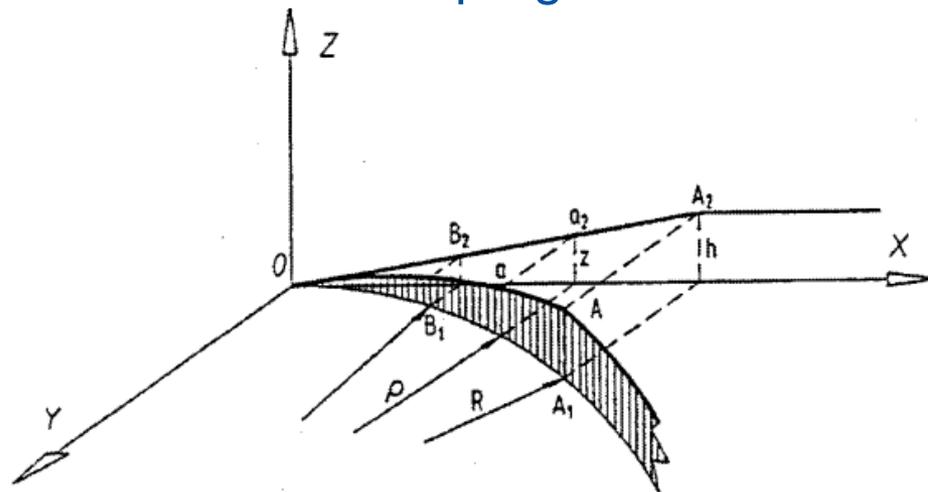
<http://194.30.98.38/img/prensa/notprensa/20060428123257basculacion.pdf>



2. Trazado en planta

2.2. Curvas de transición

- Necesidad
 - ✓ Evitar la aparición-desaparición instantánea de fuerzas centrípetas
 - ✓ Mejorar la transición al peralte
- Exigencias
 - ✓ Tangentes a la recta y a la curva circular
 - ✓ Misma curvatura que la recta (0) y que la curva ($1/R$)
 - ✓ Variación de la curvatura progresiva

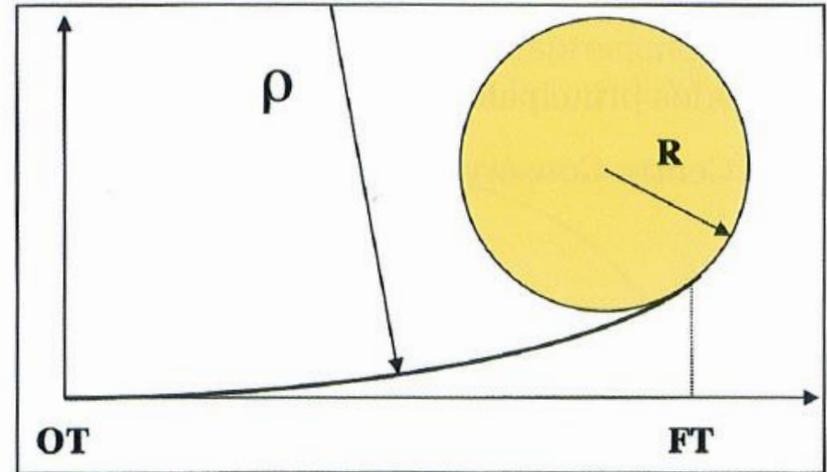
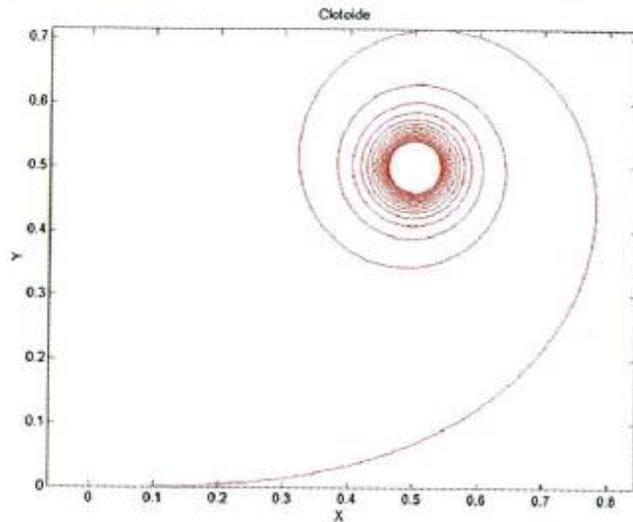




2. Trazado en planta

2.2. Curvas de transición

CLOTOIDES (radioide de arcos o espiral de Cornu)



Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos.

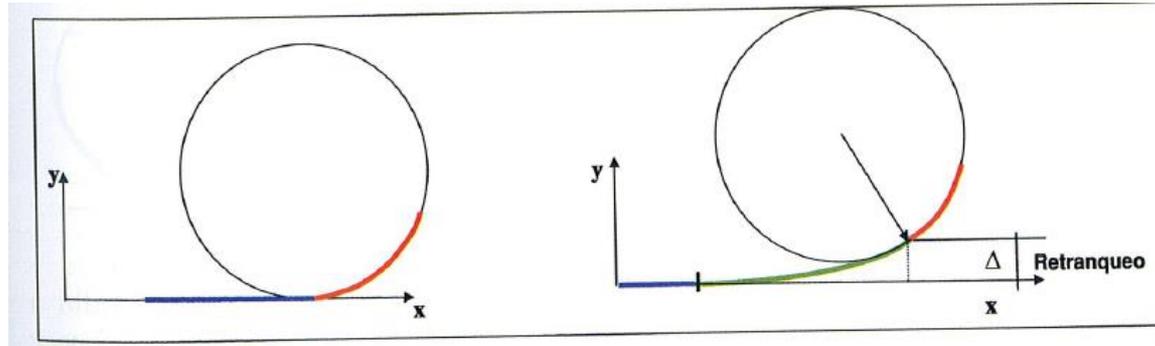
Radio de la curvatura (ρ) inversamente proporcional a la longitud s de curva recorrida

$$A^2 = LR \quad / \quad \rho s = A^2$$

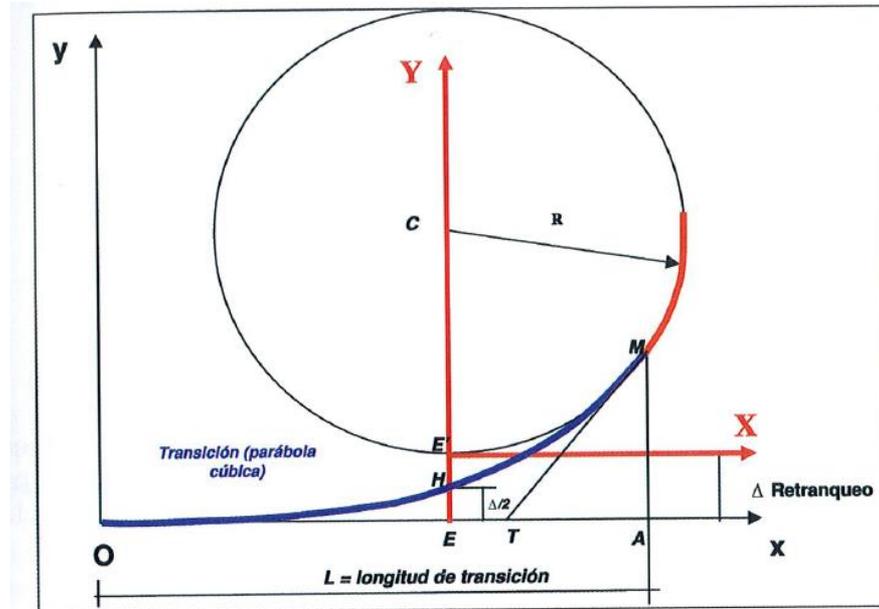


2. Trazado en planta

2.2. Curvas de transición _ **CLOTOIDES**



Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos.



Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos.



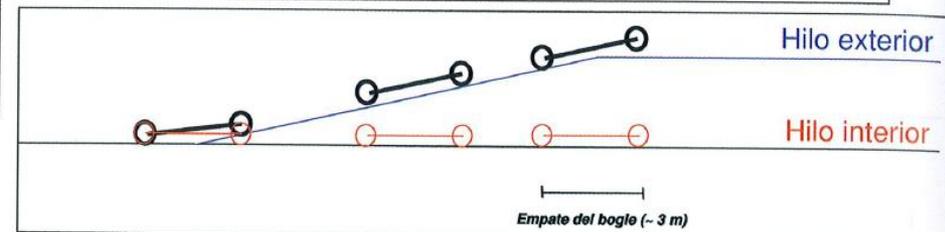
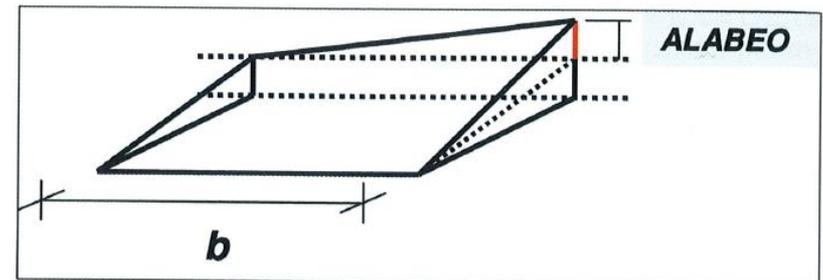
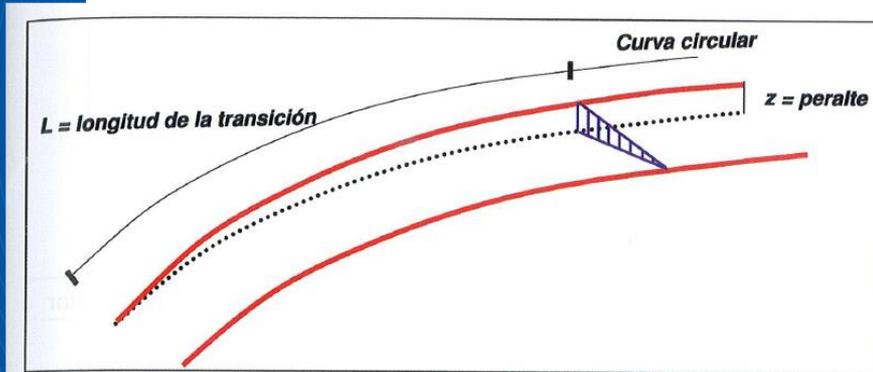
2. Trazado en planta

2.2. Curvas de transición – CLOTOIDES ($L \cdot R = A^2$)

- Parámetros (o condicionantes) de diseño de la clotoide
 - ✓ Limitación geométrica: rampa de peralte (**alabeo**) z / L

“Diferencia de cota entre carril y rueda al acceder a la curva”

Parámetro que limita la longitud de la clotoide para evitar esfuerzos excesivos en el bogie o en la vía.





2. Trazado en planta

2.2. Curvas de transición – CLOTOIDES ($L \cdot R = A^2$)

- Parámetros (o condicionantes) de diseño

✓ *Limitación geométrica*: rampa de peralte (**alabeo**) $\Delta z / \Delta l$

✓ *Limitación dinámica*: velocidad ascensional: $\Delta z / \Delta t$

Se limita la velocidad ascensional para que la suspensión del vehículo se adapte y no sufra un impacto demasiado grande.

✓ *Limitación por confort (I)*: aceleración no compensada: $\Delta a_q / \Delta t$

Se limita la velocidad de aparición de la aceleración no compensada

✓ *Limitación por confort (II)*: limitación de la velocidad de giro (rad/seg)

Se limita la variación máxima del ángulo vertical de giro



2. Trazado en planta

2.2. Curvas de transición – CLOTOIDES ($L \cdot R = A^2$)

- Parámetros (o condicionantes) de diseño. Criterios de longitud

✓ *Limitación geométrica*: rampa de peralte (alabeo) $\Delta z / \Delta l$

$$\frac{\Delta z}{\Delta L} \leq 0,5 \quad \frac{mm}{m}$$

✓ *Limitación dinámica*: velocidad ascensional: $\Delta z / \Delta t$

$$\frac{\Delta z}{\Delta t} = v \frac{\Delta z}{\Delta L} \leq 30 \quad \frac{mm}{s}$$



2. Trazado en planta

2.2. Curvas de transición – CLOTOIDES ($L \cdot R = A^2$)

- Parámetros (o condicionantes) de diseño. Criterios de longitud

✓ *Limitación por confort (I):* aceleración no compensada: $\Delta a_q / \Delta t$
(sobreaceleración)

$$\frac{a_q \cdot V}{L} \leq 0,2 \text{ m/s}^3$$

✓ *Limitación por confort (II):* limitación de la velocidad de giro
(rad/seg)

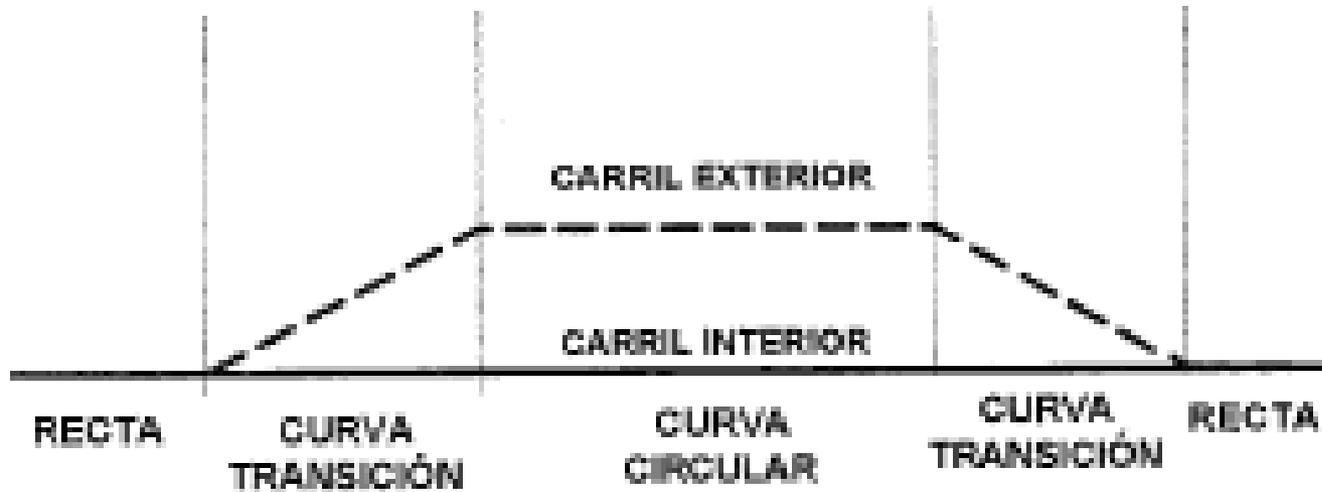
$$\frac{D \cdot V}{ac \cdot L} \leq 0,02 \text{ rad/s}$$



2. Trazado en planta

2.2. Curvas de transición – CLOTOIDES ($L \cdot R = A^2$)

- Establecimiento de la transición
 - ✓ Elevar la cota del hilo exterior





2. Trazado en planta

2.3. Rectas

- Longitud mínima
 - ✓ Entre curvas de igual signo de curvatura (puede ser cero)
 - ✓ Entre curvas de distinto signo de curvatura ($> V/1,5$ o $> V/2$)



3. Trazado en alzado

3.1. Rampas y pendientes

- Pendiente longitudinal máxima en tren convencional
 - ✓ Normal: 20 mm/m
 - ✓ Excepcional: 30 mm/m

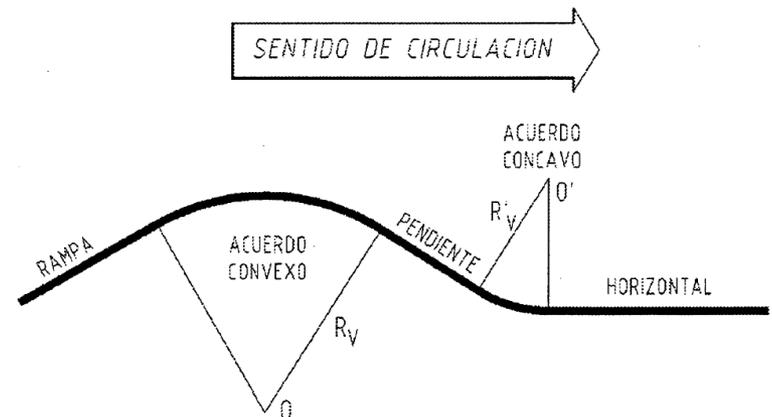
- Pendiente longitudinal máxima en alta velocidad

- Vía general. Tráfico de viajeros

- ✓ Normal : 25 mm/m
- ✓ Excepcional: 30 mm/m

- Vía general. Tráfico mixto

- ✓ Normal: 15 mm/m
- ✓ Excepcional: 18 mm/m



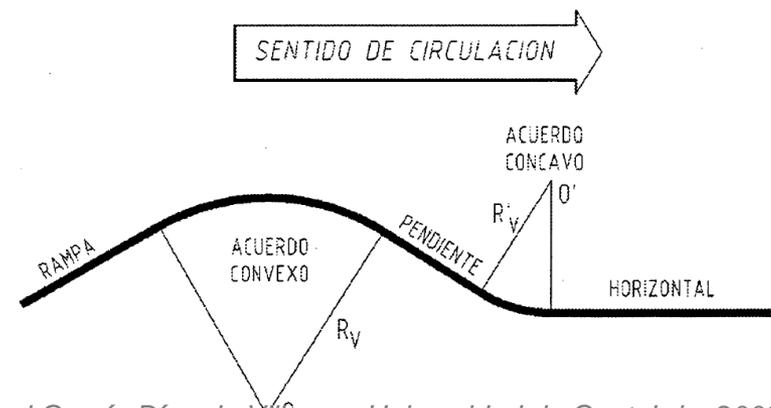
- Pendiente longitudinal máxima en apartaderos: 2 mm/m



3. Trazado en alzado

3.1. Rampas y pendientes

- Pendiente longitudinal mínima en túneles y trincheras:
 - ✓ Normal : 5 mm/m
 - ✓ Excepcional: 2 mm/m
- Longitud mínima entre acuerdos
 - ✓ Normal: $V_{\max}/2$ m
 - ✓ Excepcional: $V_{\max}/3$ m
- Longitud máxima con la pendiente máxima: 3000m

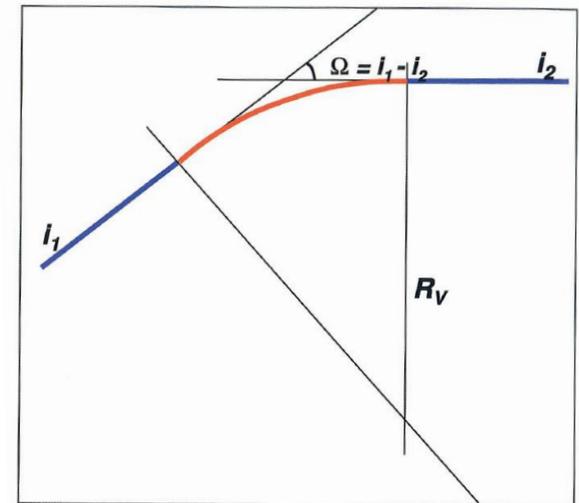
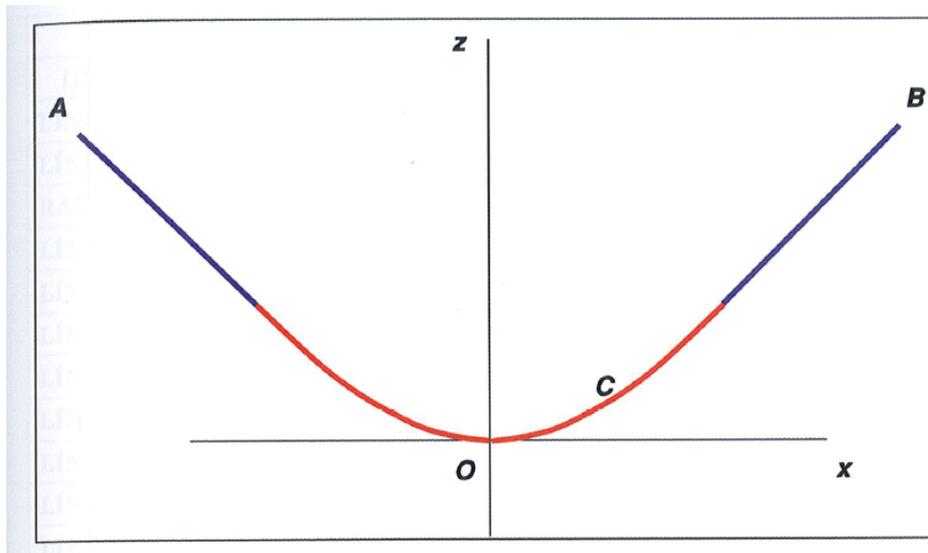




3. Trazado en alzado

3.2. Acuerdos verticales

- Necesidad: Enlazar rasantes de pendientes diferentes
 - *Limitaciones estáticas* -> tren parado o a bajas velocidades podría producir choques en la caja de los vehículos
 - *Limitaciones dinámicas* -> Evitar paso directo de una alineación a otra, evitar cambios bruscos en la aceleración vertical



Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos.



3. Trazado en alzado

3.2. Acuerdos verticales

- Parámetro Kv (min)
 - Limitación por la aceleración vertical del viajero:
 - ✓ Normal: 0,22 m/s²
 - ✓ Excepcional: 0,3 m/s²
- Longitud mínima
 - ✓ Normal: V/3 m
 - ✓ Excepcional: V/4 m

$$a_v = \frac{v^2}{K_v}$$

Parámetro/ Velocidad	140 km/h		160 km/h		200 km/h		250 km/h		Observaciones
	Normal	Excep	Normal	Excep	Normal	Excep	Normal	Excep	
av (m/s²)	Normal	Excep	Normal	Excep	Normal	Excep	Normal	Excep	Si coincide con curva en planta ≤ 0,2
	≤ 0,30	0,4	≤ 0,30	0,4	≤ 0,20	0,3	≤ 0,20	0,3	
Kv (m)	Normal	Mínimo	Normal	Mínimo	Normal	Mínimo	Normal	Mínimo	Mínimo absoluto: 3000 (convexos) 2000 (cóncavo) Si coincide con curva en planta ≥ 5000
	5100	3800	6600	4900	16000	10000	24000	16000	



Trazado de ferrocarriles

PARÁMETROS FUNCIONALES PARA EL DISEÑO DEL TRAZADO

TRAZADO EN PLANTA		Fórmulas	Velocidad máxima de proyecto:											
			$V_{M\acute{a}x} \text{ (km/h)} < 140$		$140 \leq V_{M\acute{a}x} \text{ (km/h)} < 200$		$200 \leq V_{M\acute{a}x} \text{ (km/h)} < 250$		$250 \leq V_{M\acute{a}x} \text{ (km/h)} < 300$		$300 \leq V_{M\acute{a}x} \text{ (km/h)} \leq 350$			
			Normal	Excepc.	Normal	Excepc.	Normal	Excepc.	Normal	Excepc.	Normal	Excepc.		
MÁX. INSUF. DEL PERALTE	$I_{M\acute{a}x} \text{ (mm)}$	$(11,85 V_{M\acute{a}x}^2 / R) - D$	100	130	100	150		100	70	80	60	65		
MÁX. AC. SIN COMPENSAR	$a_{qM\acute{a}x} \text{ (m/s}^2\text{)}$	$(V_{M\acute{a}x}^2 / 12,96 R) - D / 153,62$	0,65	0,85	0,65	0,98	0,52	0,65	0,46	0,52	0,39	0,42		
MÁX. EXCESO DE PERALTE ($V_{M\acute{i}n}$ DE TRENES LENTOS)	$E_{M\acute{a}x} \text{ (mm)}$	$D - (11,85 V_{M\acute{a}x}^2 / R)$	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100		
MÁX. VAR. PERALTE CON TIEMPO	$[dD/dt]_{M\acute{a}x} \text{ (mm/s)}$	$(V_{M\acute{a}x} / 3,6) \cdot (D / L)$	30	50	30	50	30	50	30	50	30	50		
MÁX. VAR. ÁNGULO DE GIRO DE LA VÍA	$[d\theta/dt]_{M\acute{a}x} \text{ (rad/s)}$	$(V_{M\acute{a}x} / 3,6) \cdot (D / 1507) / L$	0,020	0,033	0,020	0,033	0,020	0,033	0,020	0,033	0,020	0,033		
MÁX. VAR. INSUF. CON EL TIEMPO	$[dI/dt]_{M\acute{a}x} \text{ (mm/s)}$	$(I / L) \cdot (V_{M\acute{a}x} / 3,6)$	30	55	30	55	30	50	30	50		50		
MÁX. VAR. AC. NO COMP. CON EL TIEMPO	$[da_q/dt]_{M\acute{a}x} \text{ (m/s}^3\text{)}$	$(a_q / L) \cdot (V_{M\acute{a}x} / 3,6)$	0,20	0,36	0,20	0,36	0,20	0,33	0,20	0,33	0,20	0,33		

TRAZADO EN ALZADO		Fórmulas	Normal	Excepc.								
MÁX ACCELERACIÓN VERTICAL	$a_{vM\acute{a}x} \text{ (m/s}^2\text{)}$	$V_{M\acute{a}x}^2 / 12,96 R_v$	0,22	0,31	0,22	0,31	0,22	0,35	0,22	0,39	0,22	0,44

Fuente: Instrucciones y recomendaciones para proyectos de plataforma (ADIF, 2008)
EADIC, Monografía curso de Infraestructuras ferroviarias de Alta Velocidad



Trazado de ferrocarriles

TABLA III - PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE DISEÑO DEL TRAZADO

Velocidad máxima de proyecto:		$V_{M\acute{a}x} \text{ (km/h)} < 140$		$140 \leq V_{M\acute{a}x} \text{ (km/h)} < 200$		$200 \leq V_{M\acute{a}x} \text{ (km/h)} < 250$		$250 \leq V_{M\acute{a}x} \text{ (km/h)} < 300$		$300 < V_{M\acute{a}x} \text{ (km/h)} < 350$	
		Normal	Excepc.	Normal	Excepc.	Normal	Excepc.	Normal	Excepc.	Normal	Excepc.
• TRAZADO EN PLANTA											
PERALTE MÁXIMO		$D_{M\acute{a}x} \text{ (mm)}$		140	160	140	160	140	160	140	160
MÁX. VAR. PERALTE RESP. DE LA LONGITUD (Rampa de peralte)		$[dD/dl]_{M\acute{a}x} \text{ (mm/m)}$		0,8	2,0	0,8	1,0	0,4	0,68	0,3	0,56
• LONGITUD MÍNIMA DE ALINEACIONES DE CURVATURA CONSTANTE (m)	CURVA CIRCULAR	$\geq V_{M\acute{a}x} / 3$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 4$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 3$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 1,5$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 1,5$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 1,5$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$
	RECTA ENTRE CURVAS DE IGUAL SIGNO DE CURVATURA	$\geq V_{M\acute{a}x} / 3$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 4$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 3$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 1,5$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 1,5$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 1,5$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$
	RECTA ENTRE CURVAS DE DISTINTO SIGNO DE CURVATURA (puede ser <u>cero</u>)	$\geq V_{M\acute{a}x} / 3$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 4$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 3$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 1,5$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 1,5$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 1,5$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$

TRAZADO EN ALZADO			Normal	Excepc.	Normal	Excepc.	Normal	Excepc.	Normal	Excepc.	Normal	Excepc.
PENDIENTE LONGITUDINAL MÁX..	Vía general. Tráfico de viajeros	$i_{M\acute{a}x} \text{ (‰)}$	25	30	25	30	25	30	25	30	25	30
	Vía general. Tráfico mixto		15	18	15	18	15	18	15	18	15	18
	En apartaderos		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
PENDIENTE LONG. MÍNIMA EN TÚNELES Y TRINCHERAS	$i_{M\acute{a}x} \text{ (‰)}$	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	
LONGITUD MÍN. DE ACUERDOS VERTICALES	(m)	$\geq V_{M\acute{a}x} / 3$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 4$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 3$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 1,5$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 1,5$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 1,5$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	
LONGITUD MÍN. DE RASANTE UNIFORME ENTRE ACUERDOS	(m)	$\geq V_{M\acute{a}x} / 3$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 4$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 3$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 1,5$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 1,5$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 1,5$	$\geq V_{M\acute{a}x} / 2$	
LONGITUD MÁX. DE RASANTE CON LA PENDIENTE MÁXIMA (*)	(m)	3000		3000		3000		3000		3000		

(*) Para pendientes inferiores a la máxima admisible justificar que la pérdida de velocidad no supera el 10% de las velocidades máxima y mínima de circulación.