Universidad Politécnica de Cartagena

FERROCARRILES

Curso 2024/2025

4º Grado Ingeniería Civil

Profesora: Pilar Jiménez Gómez

E-mail: pilar.jimenez@upct.es

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

Universidad Politécnica de Cartagena

BLOQUE 2. TRAZADO DE FERROCARRILES

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. Índice tipo de un anejo de trazado ferroviario

1. Introducción

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

ALINEACIÓN EN PLANTA

RECTAS → Longitud

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

CURVAS DE TRANSICIÓN →Curvatura variable

Fuente: Google Earth

1. Introducción

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

Fuente: Google Earth

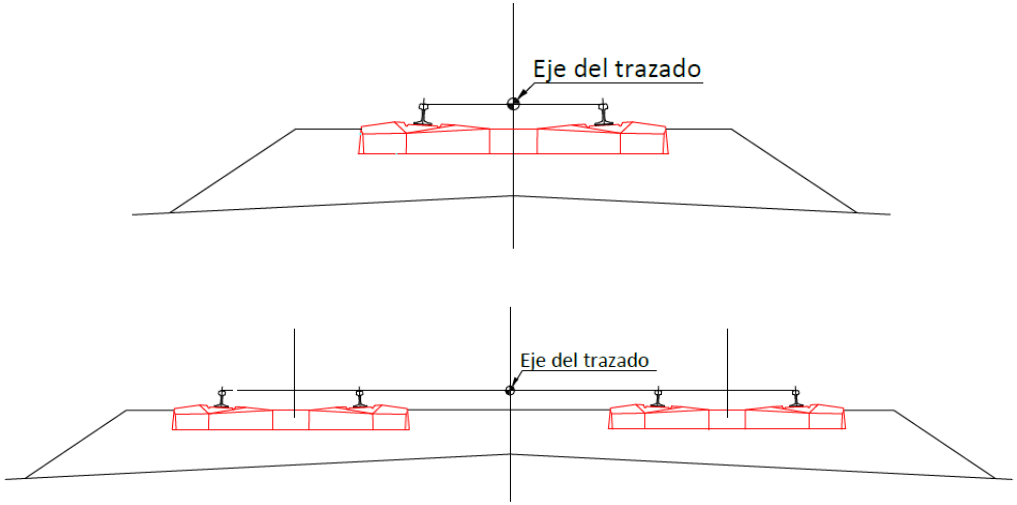
ALINEACIÓN EN PLANTA

RECTAS → Longitud

CURVAS → Radio constante

CURVAS DE TRANSICIÓN →Curvatura variable

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



Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

1. Introducción

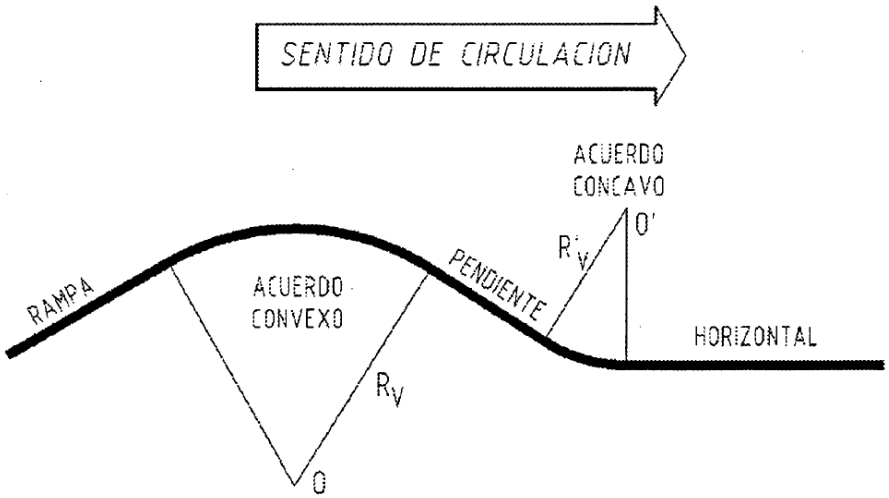
Trazado de las líneas férreas: sucesión de alineaciones rectas y curvas en planta y alzado

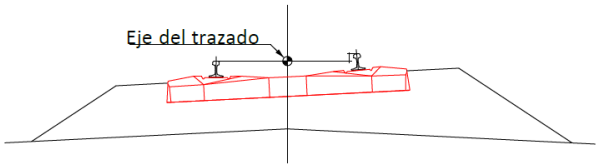
ALINEACIÓN EN ALZADO

RASANTE UNIFORME → Longitud e inclinación constantes: rampas y pendientes

ACUERDOS VERTICALES → Cambio progresivo de inclinación mediante una parábola de segundo grado de eje vertical

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





Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

2. Trazado en planta

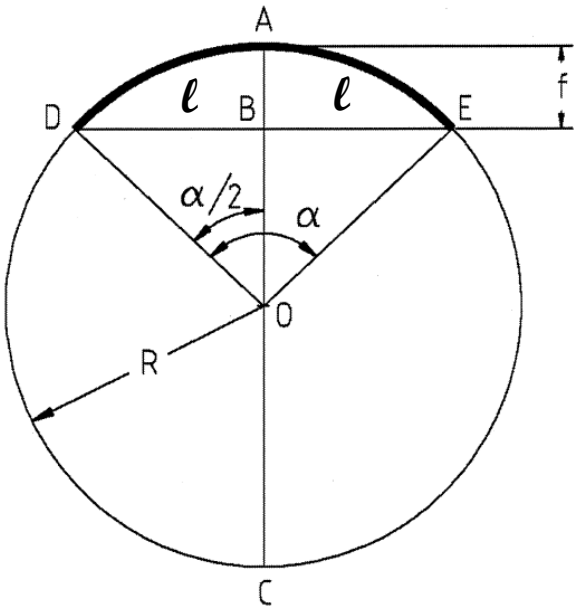
2.1. Curvas circulares

- 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

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

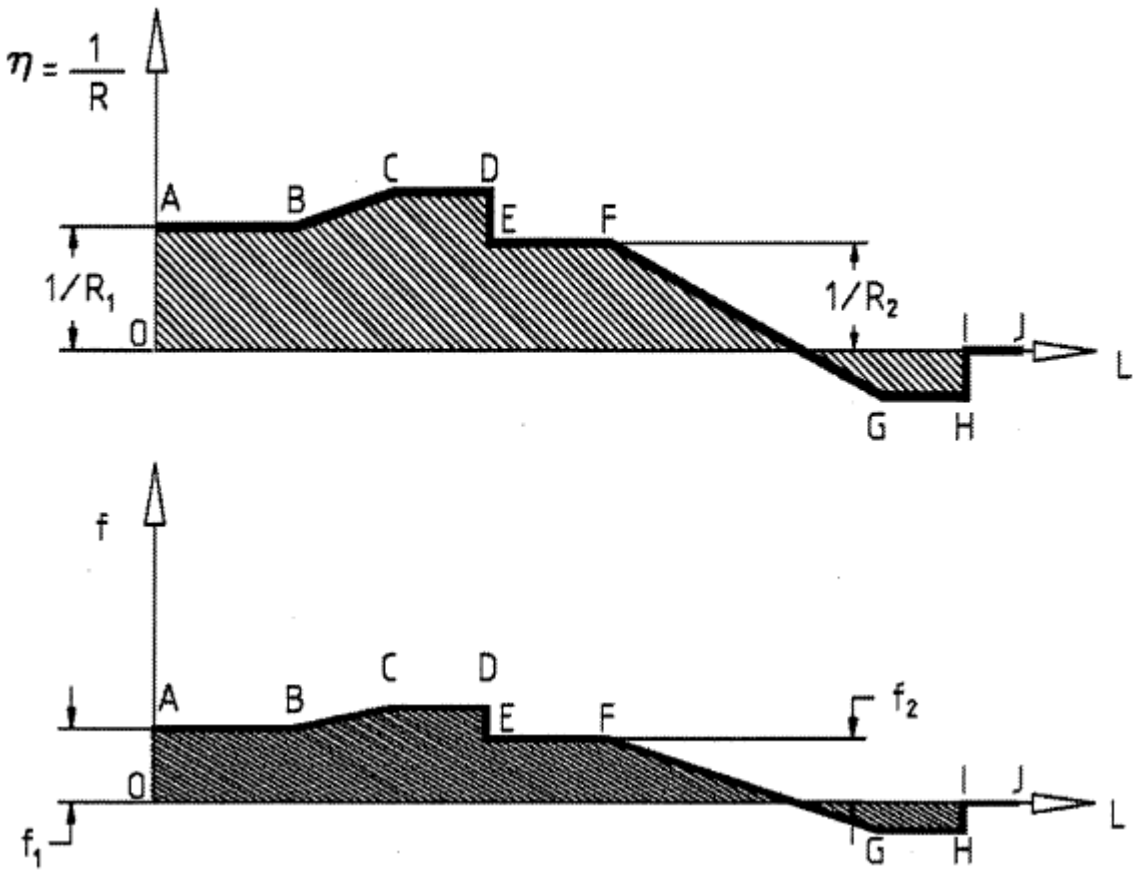


Fuente: Ferrocarriles. Apuntes de clase edición 2009-2010.
José Manuel García Díaz de Villegas. Universidad de Cantabria. 2009

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Diagrama de curvatura y flechas

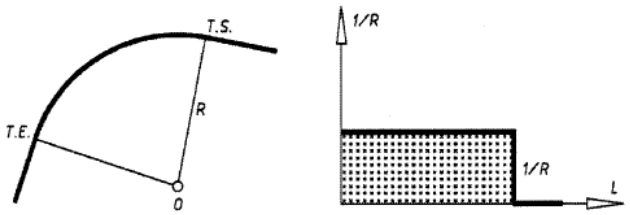


Fuente: Ferrocarriles. Apuntes de clase edición 2009-2010. José Manuel García Díaz de Villegas. Universidad de Cantabria. 2009

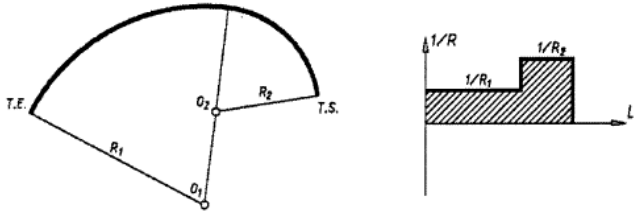
2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

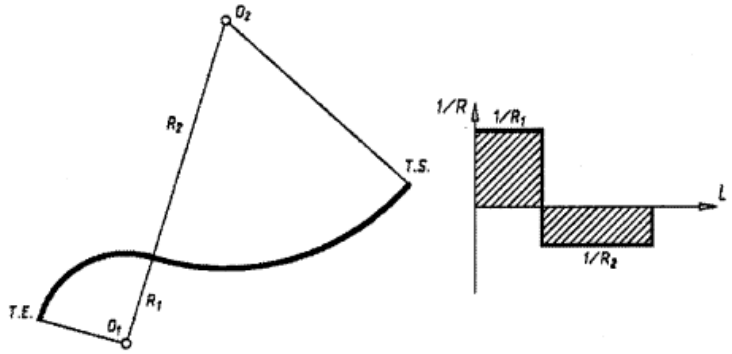
- Tipos de curvas circulares
  - Curva sencilla



  - Curva compuesta en el mismo sentido



  - Curva compuesta de sentidos contrarios



Fuente: Ferrocarriles. Apuntes de clase edición 2009-2010. José Manuel García Díaz de Villegas. Universidad de Cantabria. 2009

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

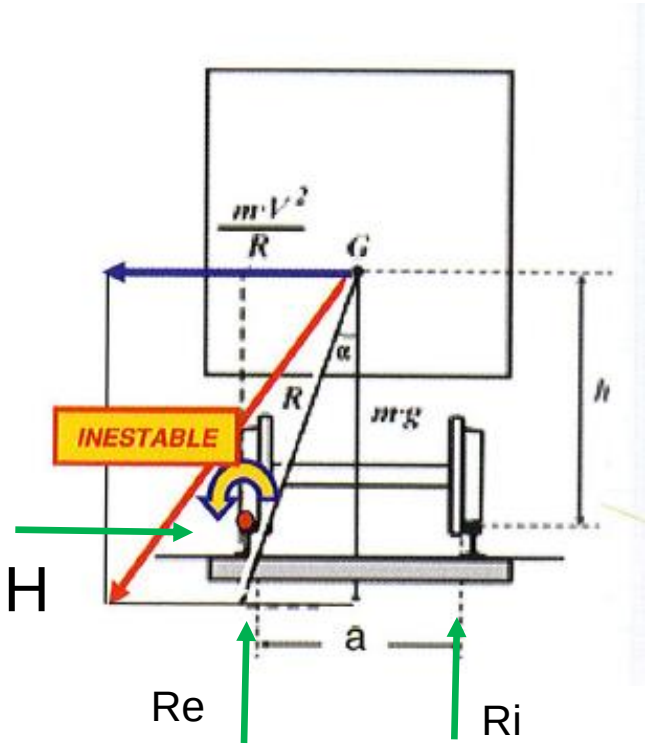
- Parámetros de diseño
  - ✓ Peralte (D) [mm]

- 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

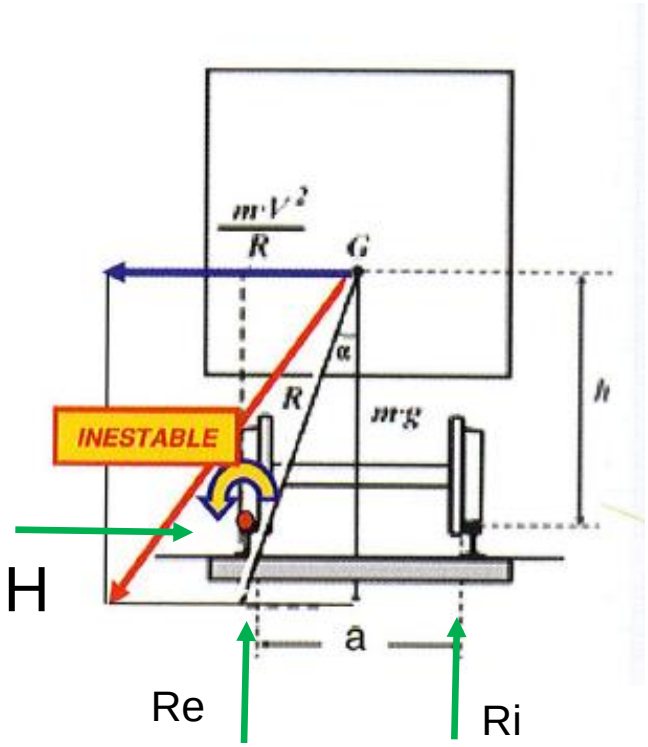
- H elevada: riesgo de vuelco, descarrilo, ripado de la vía, desgaste carriles y el viajero sufriría falta de confort

Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos. Colección senior, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

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



- Curva en plano horizontal (sin peralte)

RESUMEN:

$$H = \frac{2Q\,V^2}{gR}$$

$$R_e = Q\left(1 + \frac{2V^2}{g a_c R} h_c\right)$$

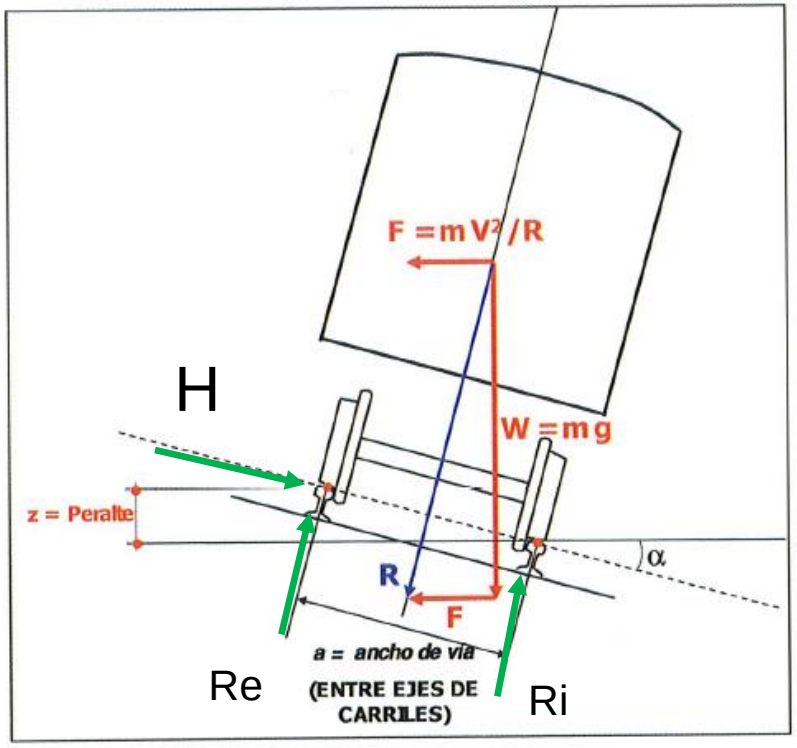
$$R_i = Q\left(1 - \frac{2V^2}{g a_c R} h_c\right)$$

Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos. Colección senior, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

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



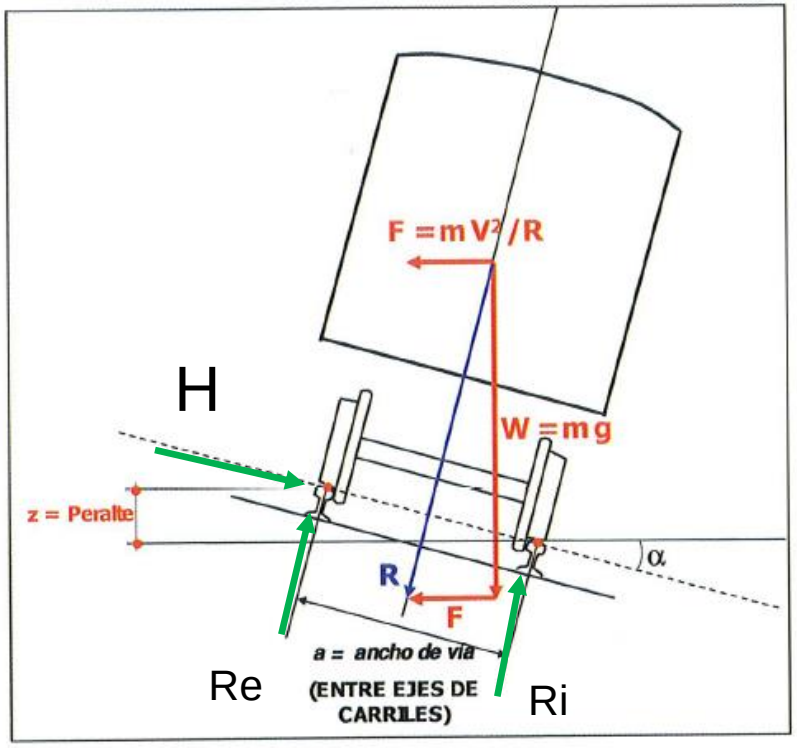
Peralte:
desnivel entre carriles medio en una sección normal al eje de vía, que aparece por la inclinación transversal que se le da a la vía hacia el interior de la curva para compensar la Fc.

Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos. Colección senior, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

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



- Curva peraltada

RESUMEN:

$$H = 0$$

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

$$R_e = R_i = Q$$

$$Ibérico:\ a_c = 1733\ mm$$

$$Estándar:\ a_c = 1500\ mm$$

$$Métrico:\ a_c = 1055\ mm$$

Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos. Colección senior, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Cálculo del peralte práctico (de diseño o de equilibrio):
- H = 0; aceleración no compensada nula.

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

- Normativa UIC:

$$D_{práctico} = a\frac{V_{\max}^2}{R}$$

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

[a] = coeficiente del peralte de equilibrio (función del ancho entre ejes de rodadura)

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Cálculo del peralte práctico (de diseño o de equilibrio):
- Normativa UIC:

$$D_{práctico} = a\frac{V_{max}^2}{R}$$

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

[a] = coeficiente del peralte de equilibrio (función del ancho entre ejes de rodadura)

$$Ibérico:\ D_t = 13{,}6\frac{V^2}{R}$$

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

$$Métrico:\ D_t = 8{,}3\frac{V^2}{R}$$

Velocidad de diseño:

Ibérico y estándar ≤ 350 km/h

Métrico ≤ 100 km/h

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

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

	Peralte (mm)		
	Referencia	Normal	Excepcional
Ancho ibérico	150	160	180
Ancho estándar	140	160	180
Ancho métrico	90	110	110

***Valores de referencia**: valores a utilizar como referencia en los proyectos de vías nuevas y de variantes de trazado. Confort a los viajeros y esfuerzos contenidos en vía.*

***Valores normales:** se aplican previa justificación mediante informe de las razones que lo motivan y validación por el Responsable del Contrato o Proyecto.*

***Valores excepcionales**: se emplean en situaciones muy excepcionales. Generalmente líneas en explotación que ya tienen esos valores. En líneas nuevas se aplican previa justificación mediante informe de las razones que lo motivan y validación por el Responsable del Contrato o Proyecto.*

Nota: Los gálibos uniformes según la Instrucción Ferroviaria de Gálibos no son aplicables para peraltes superiores a 160 mm

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

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

	Peralte en aparatos de vía (mm)			
	Referencia	Normal	Excepcional	
			Desvíos convergentes	Desvíos divergentes
Ancho ibérico	0	115	160	130
Ancho estándar	0	100	140	115
Ancho métrico	0	60	100	60

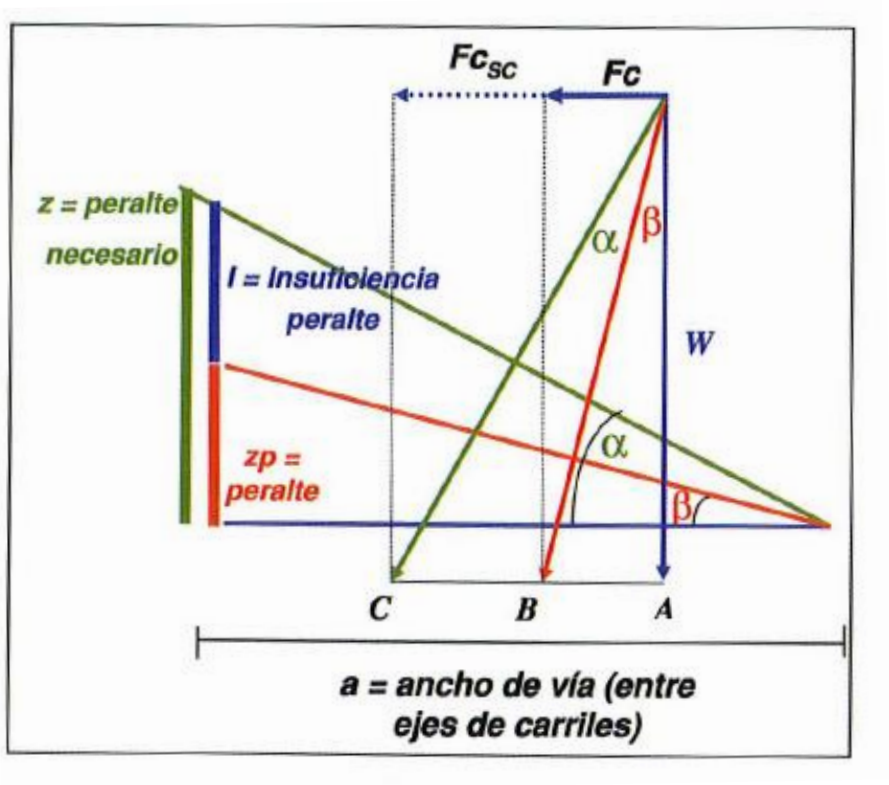
	Peralte en vías de andén (mm)		
	Referencia	Normal	Excepcional
Ancho ibérico	0	70	125
Ancho estándar	0	60	110
Ancho métrico	0	40	100

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
  - ✓ Insuficiencia de peralte (I) [mm] (Vcirculación >> Vt)



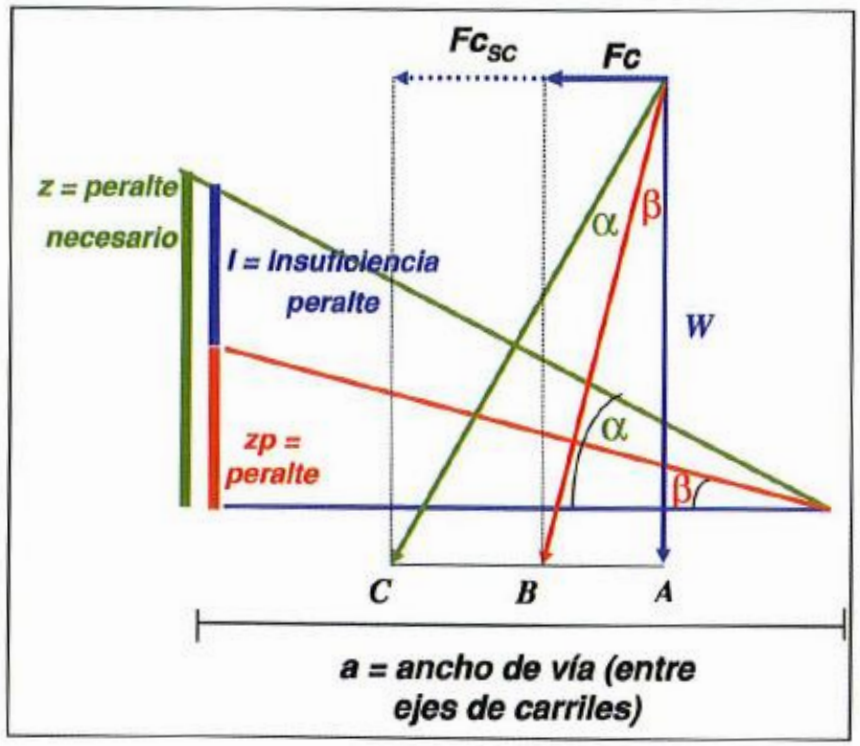
$$I_p = \frac{V^2}{gR} a_c - \mathrm{D}$$

Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos. Colección senior, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
  - ✓ Insuficiencia de peralte (I) [mm] (Vcirculación >> Vt)



$$H = \frac{2Q\,I}{a_c}$$

$$R_e = Q\left(1 + \frac{2\,I}{a_c^2}h_c\right)$$

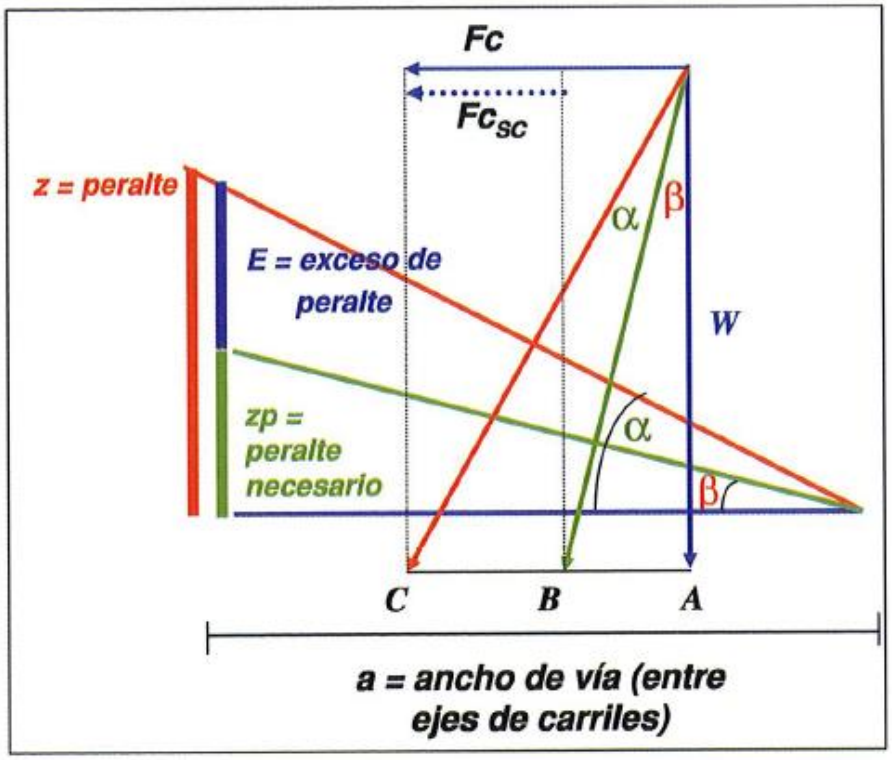
$$R_i = Q\left(1 - \frac{2\,I}{a_c^2}h_c\right)$$

Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos. Colección senior, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
  - ✓ Exceso de peralte (I) [mm] (Vcirculación << Vt)



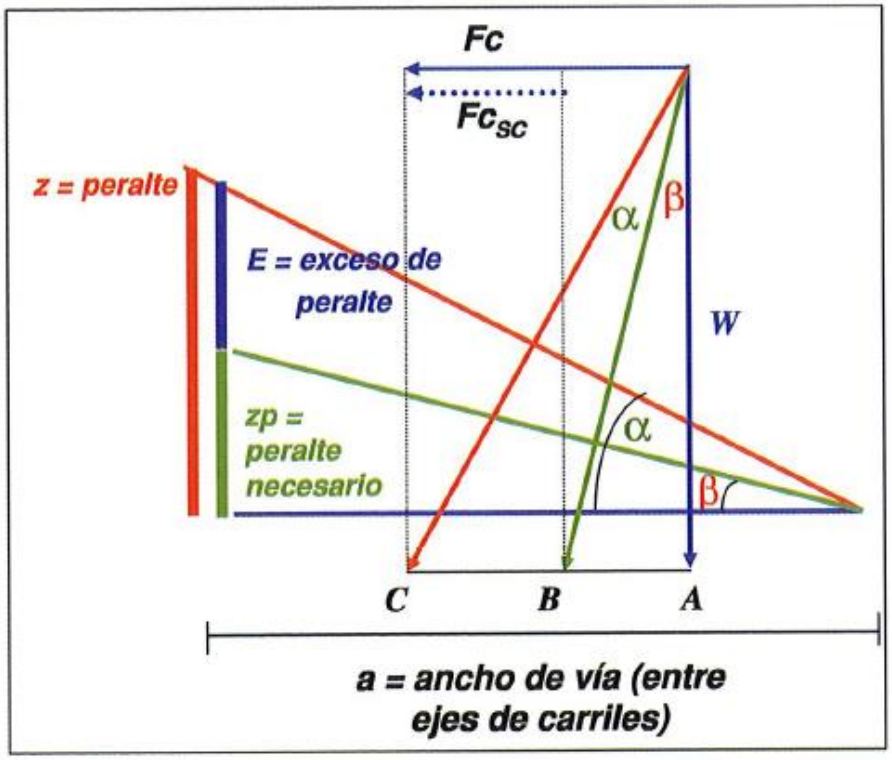
$$E_p = D - \frac{V^2}{gR} a_c$$

Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos. Colección senior, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
  - ✓ Exceso de peralte (I) [mm] (Vcirculación << Vt)



$$H = \frac{2Q\,E}{a_c}$$

$$R_e = Q\left(1 - \frac{2\,E}{a_c^2}h_c\right)$$

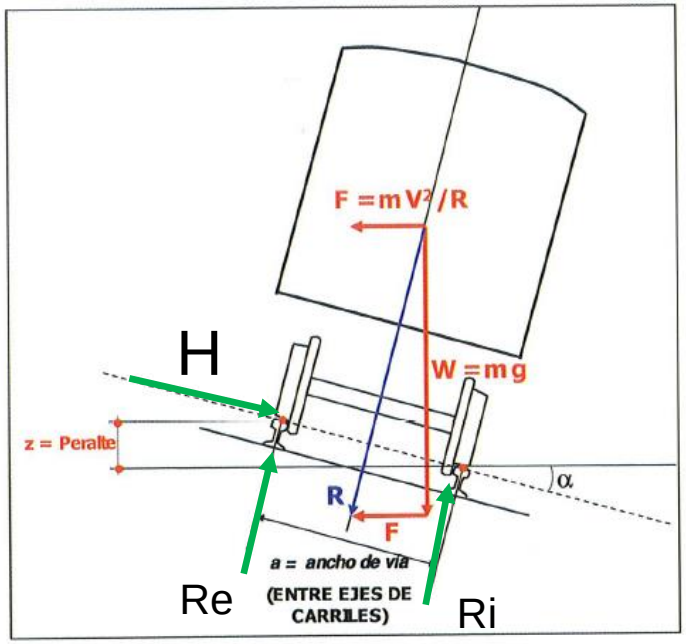
$$R_i = Q\left(1 + \frac{2\,E}{a_c^2}h_c\right)$$

Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos. Colección senior, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

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



Carga carril **exterior** - Carga carril **interior**

Insuficiencia de peralte $Q\left(1+\frac{2\,I}{a_c^2}h_c\right)$ $Q\left(1-\frac{2\,I}{a_c^2}h_c\right)$

Exceso de peralte $Q\left(1-\frac{2\,E}{a_c^2}h_c\right)$ $Q\left(1+\frac{2\,E}{a_c^2}h_c\right)$

Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos. Colección senior, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

2. Trazado en planta

Insuficiencia (mm). Ancho estándar. (**)					
Velocidad			Referencia	Normal	Excepcional
	v <	230	100	153(*)	153
230	< v <	300	80	130	153
300	< v <	350	60	80	100

Tabla 14.Valores de insuficiencia de peralte en ancho estándar.

(*)En caso de líneas de nuevo diseño con tráfico predominante de viajeros se podrán aplicar los valores límites normales como valores límites de referencia, para el rango de velocidades inferiores a 230 km/h.

(**) En todo caso, se comprobará para trenes de mercancías que el valor de la insuficiencia se mantiene por debajo de 130 mm.

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

2. Trazado en planta

Insuficiencia (mm). Ancho ibérico.(***)					
Velocidad			Referencia	Normal	Excepcional
	v <	230	115	175(*)	175
230	< v <	300	92	150	175
300	< v <	350	70	92	115

Tabla 15. Valores de insuficiencia de peralte en ancho ibérico.

(*) En caso de líneas de nuevo diseño con tráfico predominante de viajeros se podrán aplicar los valores límites normales como valores límites de referencia, para el rango de velocidades inferiores a 230 km/h.

(***) En todo caso, se comprobará para trenes de mercancías que el valor de la insuficiencia se mantiene por debajo de 150 mm.

Insuficiencia (mm). Ancho métrico		
Referencia	Normal	Excepcional
70	92	108

Tabla 16. Valores de insuficiencia de peralte en ancho métrico.

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

2. Trazado en planta

Exceso de peralte (mm). Ancho estándar.		
Referencia	Normal	Excepcional
90	100	120

Tabla 18. Valores de exceso de peralte para ancho estándar.

Exceso de peralte (mm). Ancho ibérico.		
Referencia	Normal	Excepcional
104	115	138

Tabla 19. Valores de exceso de peralte para ancho ibérico.

Exceso de peralte (mm). Ancho métrico.		
Referencia	Normal	Excepcional
60	70	80

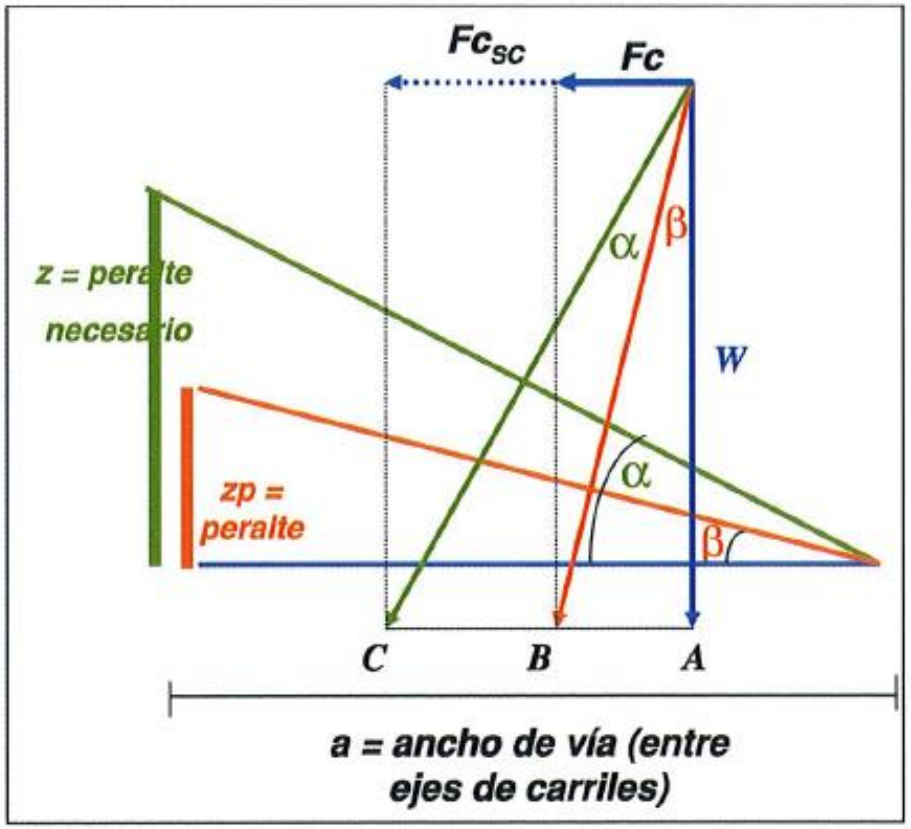
Tabla 21. Valores de exceso de peralte para ancho métrico.

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
  - ✓ Aceleración no compensada (a_q) [m/s^2]



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

Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos. Colección senior, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
  - ✓ Aceleración no compensada (a_q) [m/s^2]

Aceleración por insuficiencia de peralte (m/s²)					
Velocidad			Referencia	Normal	Excepcional
	v <	230	0,65	1,00	1,00
230	< v <	300	0,52	0,85	1,00
300	< v <	350	0,39	0,52	0,65

Tabla 12.Valores de aceleración por insuficiencia de peralte (ancho ibérico y estándar).

Aceleración por insuficiencia de peralte (m/s²)		
Referencia	Normal	Excepcional
0,65	0,85	1,00

Tabla 13. Valores de aceleración por insuficiencia de peralte (ancho métrico).

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Parámetros de diseño
  - ✓ Aceleración no compensada (a_q) [m/s^2]

Aceleración por exceso de peralte (m/s²)		
Referencia	Normal	Excepcional
0,59	0,65	0,78

Tabla 17. Valores de aceleración por exceso de peralte

Aceleración por exceso de peralte (m/s²). Ancho métrico		
Referencia	Normal	Excepcional
0,55	0,65	0,74

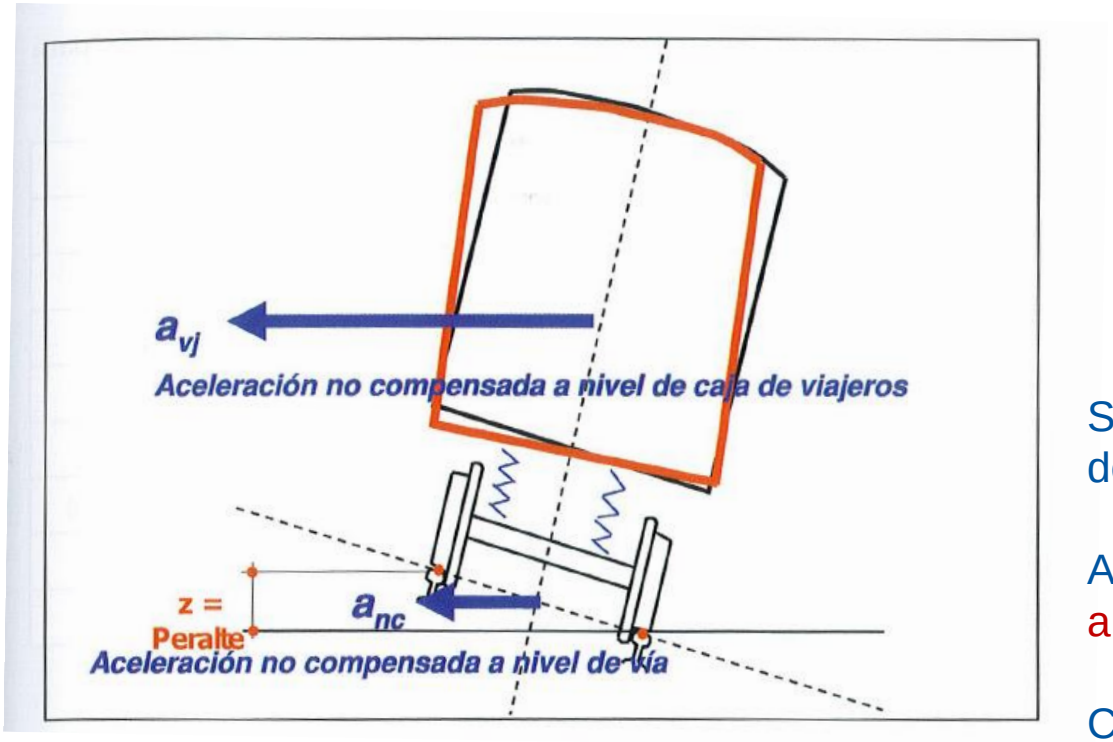
Tabla 20. Valores de aceleración por exceso de peralte. Ancho métrico.

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

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 < 0,65 m/s2 – 1 m/s2

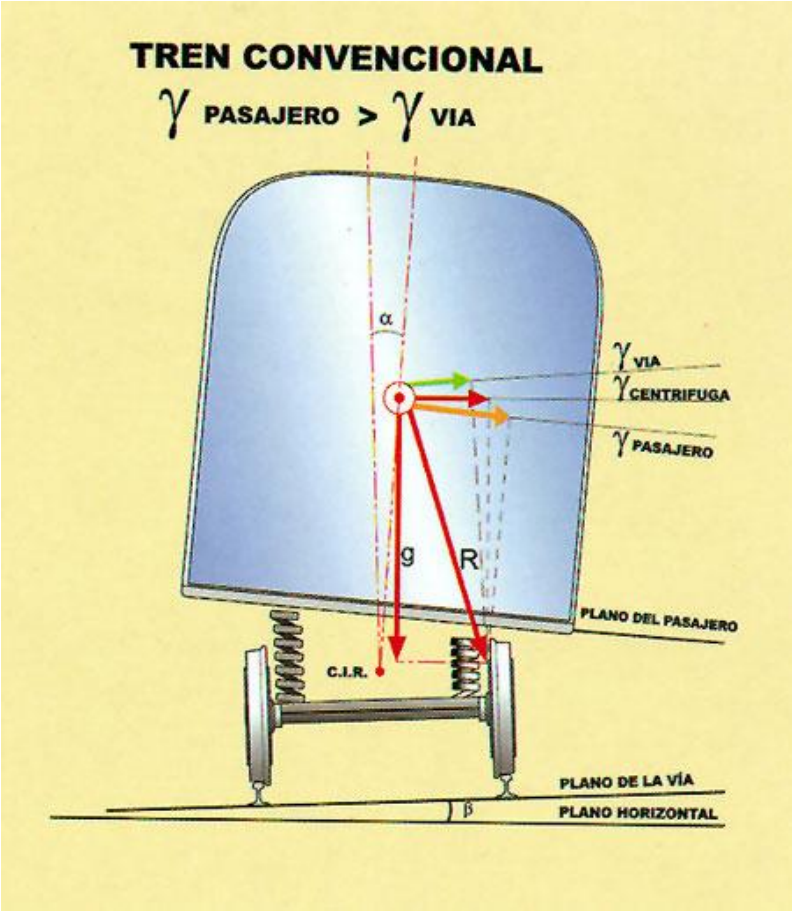
Coches antiguos: s=0,6
Coches modernos: s=0,2

Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos. Colección senior, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

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



Fuente: http://www.aecientificos.es/empresas/aecientificos/talgo/Figura5gran.jpg

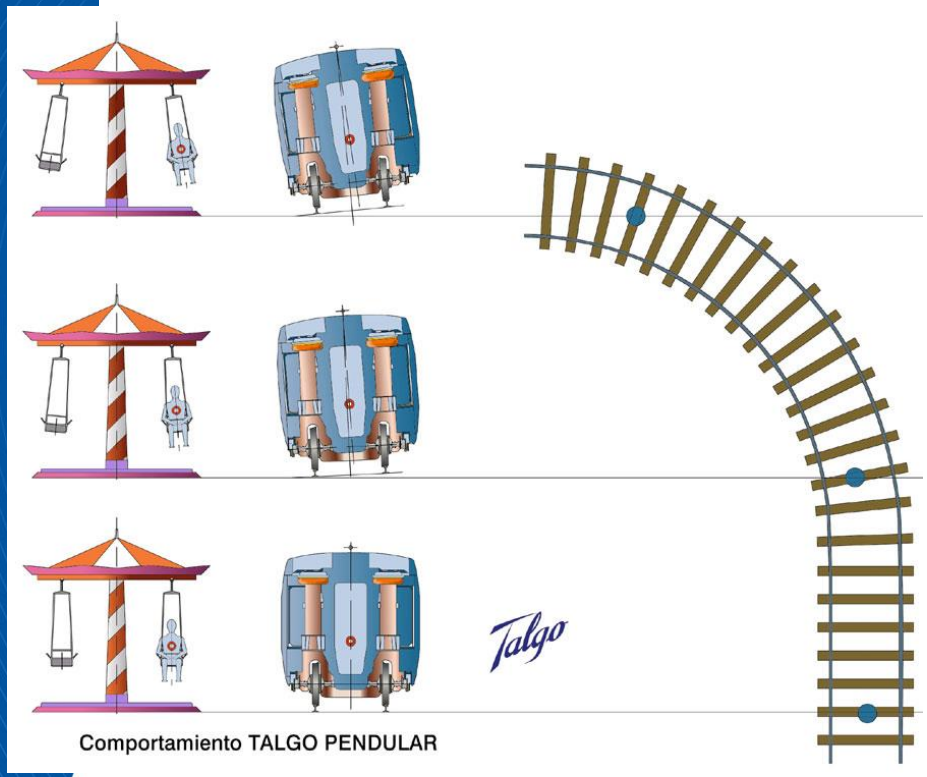
2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

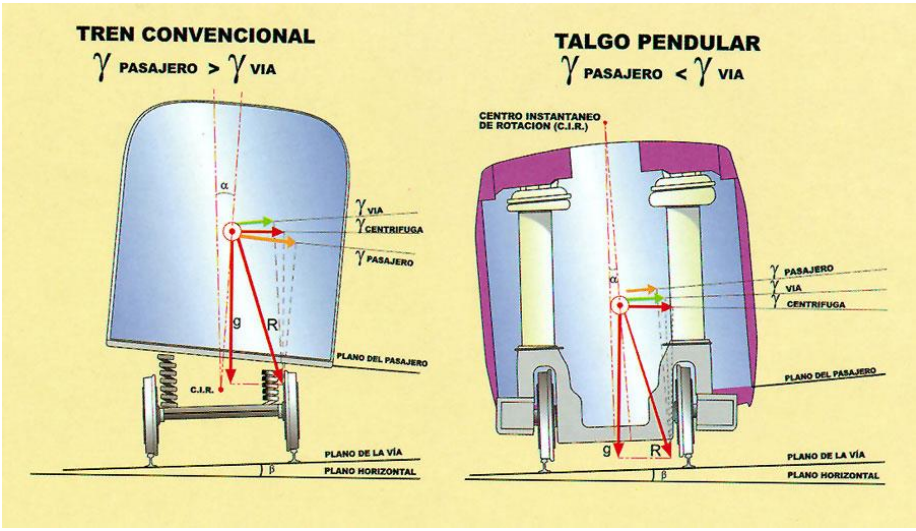
- Parámetros de diseño
  - ✓ Aceleración nc del viajero (a $_{viaj}$)

TALGO PENDULAR

Fuente: http://www.aecientificos.es/empresas/aecientificos/ talgo/Foto11gran.jpg



Fuente: http://www.aecientificos.es/empresas /aecientificos/talgo/Figura4gran.jpg



Fuente: http://www.aecientificos.es/empresas/aecientificos/talgo/Figura5gran.jpg

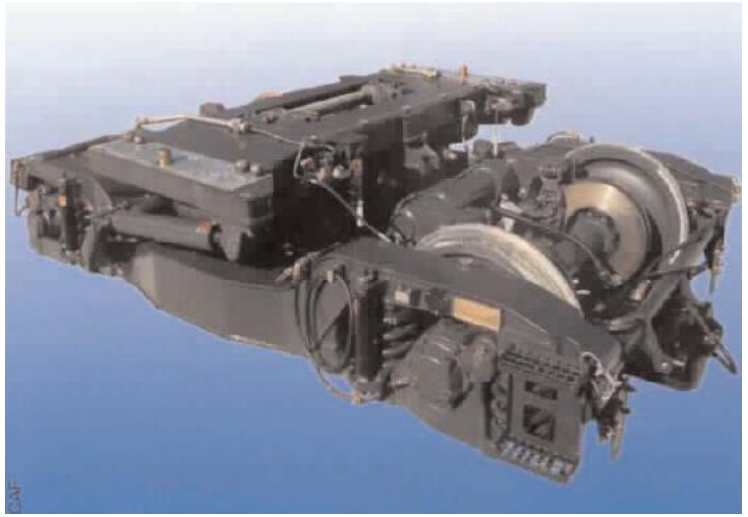
2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

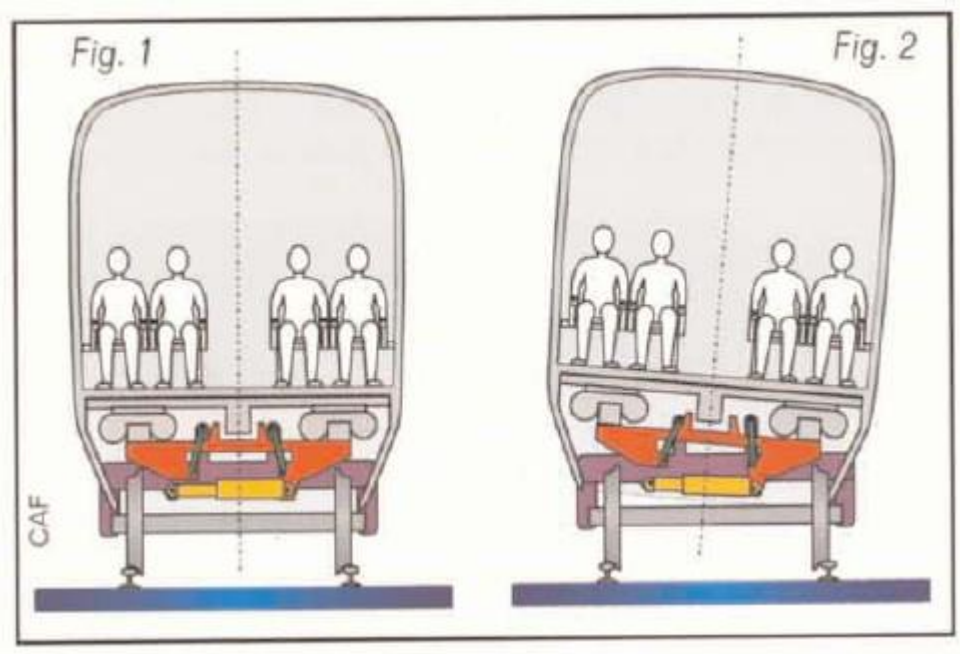
- Parámetros de diseño
  - ✓ Aceleración nc del viajero (a_{viaj})

CAJA BASCULANTE SIBI DE CAF

Serie 598 Regionales Renfe



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



Fuente: http://194.30.98.38/img/prensa/notprensa/20060428123257basculacion.pdf

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

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

- ✓ Insuficiencia de peralte (I) [mm]

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

- ✓ Exceso de peralte (E) [mm]

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

- ✓ 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]

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

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Criterios de determinación del peralte de diseño/práctico
  - ✓ Tipo de línea
  - ✓ Tipo de tráfico y reparto por tipo de trenes
  - ✓ Predominio de un tipo sobre otros
  - ✓ Perfil de la línea
  - ✓ Número de estaciones o puntos que obliguen a bajar la velocidad

- En líneas de **tráfico homogéneo** se optará por el peralte que proporcione la insuficiencia adecuada para el tipo de tráfico y su velocidad

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Criterios de determinación del peralte de diseño/práctico

  - En líneas de tráfico mixto se puede calcular el peralte teórico en base a las limitaciones de insuficiencia, exceso, y velocidad máximas y mínimas de los trenes.
  - El peralte debe equilibrar las acciones/esfuerzos sobre los dos hilos para conseguir un desgaste uniforme.
  - Regla común:

2/3 del peralte teórico para el tren más rápido, si el tráfico de trenes lentos es alto.

Metodología recomendada por ADIF – peralte máximo admisible:

$$R_{min\,(teor)} = q_E \cdot \frac{V_{max}{}^2 - V_{min}{}^2}{I_{(lim)} + E_{(lim)}} \qquad D \leq D_{(teor)} = q_E \cdot \frac{V_{max}{}^2}{R_{\min(teor)}} - I_{(lim)}$$

$$R_{min} = q_E \cdot \frac{V_{max}{}^2}{D + I_{(lim)}} \geq R_{min\,(teor)}$$

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

2. Trazado en planta

2.1. Curvas circulares

- Longitud mínima en planta de las curvas circulares

Está relacionada con el tiempo que necesitan los vehículos para su estabilización.

Longitudes mínimas de curvas con peralte constante entre curvas de transición

Longitud de peralte constante entre transiciones lineales de peralte (m)					
Velocidad			Referencia	Normal	Excepcional
	V ≤	70	V/3 (1)	V/3	V/10
70	< V ≤	230	V/2	V/3	V/5
230	< V ≤	350	V/1,5	V/2,5	V/3
(1) El valor mínimo no debe ser inferior a 20 m					

Tabla 35. Longitudes mínimas de peralte constante entre transiciones lineales de peralte. Ancho estándar e ibérico.

Longitud de peralte constante entre transiciones lineales de peralte (m). Ancho métrico.		
Referencia	Normal	Excepcional
V/3 (1)	V/3	V/5
(1) El valor mínimo no debe ser inferior a 20 m		

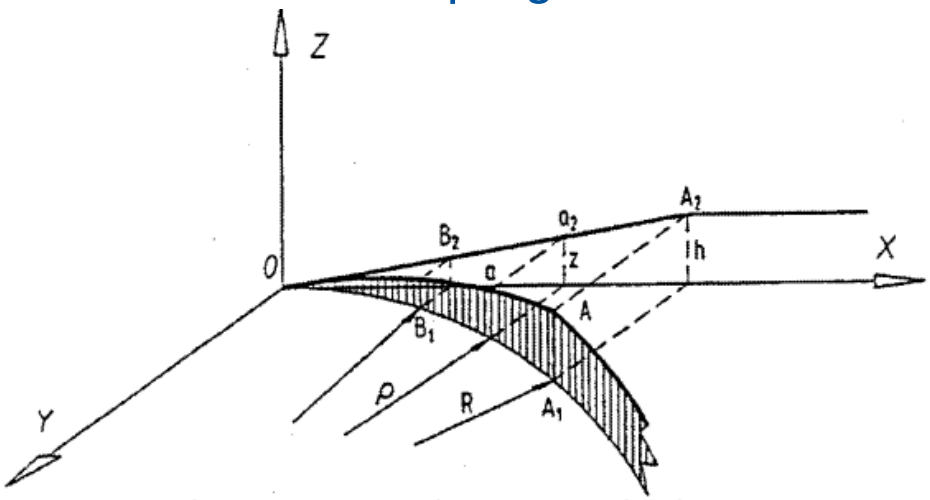
Tabla 36. Longitudes mínimas de peralte constante entre transiciones lineales de peralte. Ancho métrico.

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

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

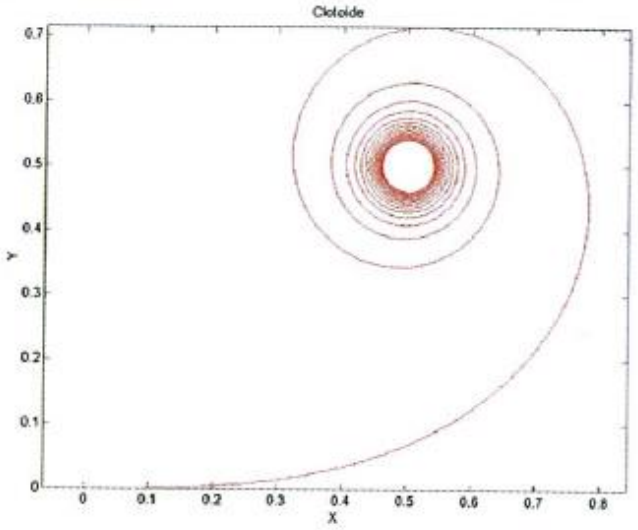


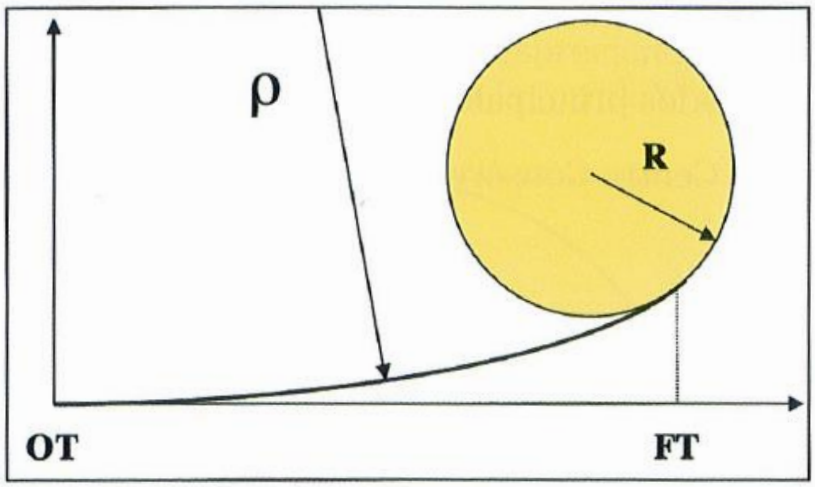
Fuente: Ferrocarriles. Apuntes de clase edición 2009-2010. José Manuel García Díaz de Villegas. Universidad de Cantabria. 2009.

2. Trazado en planta

2.2. Curvas de transición

CLOTOIDES (radioide de arcos o espiral de Cornu)





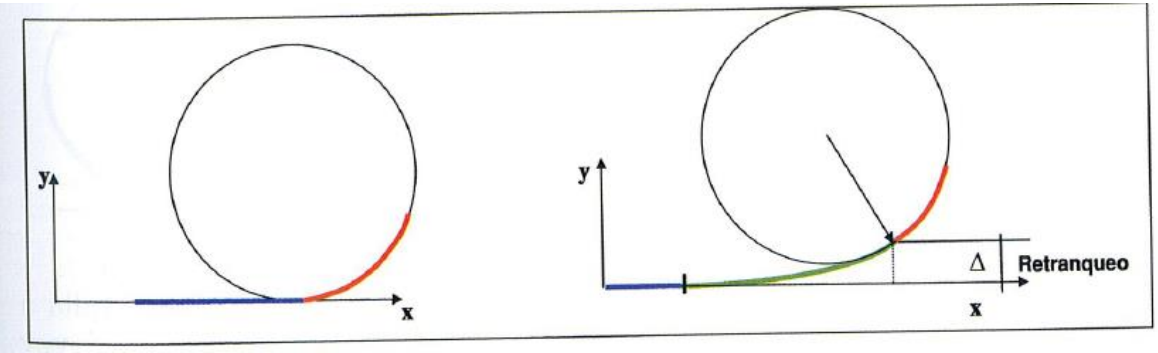
Radio de la curvatura (rho) inversamente proporcional a la longitud s de curva recorrida

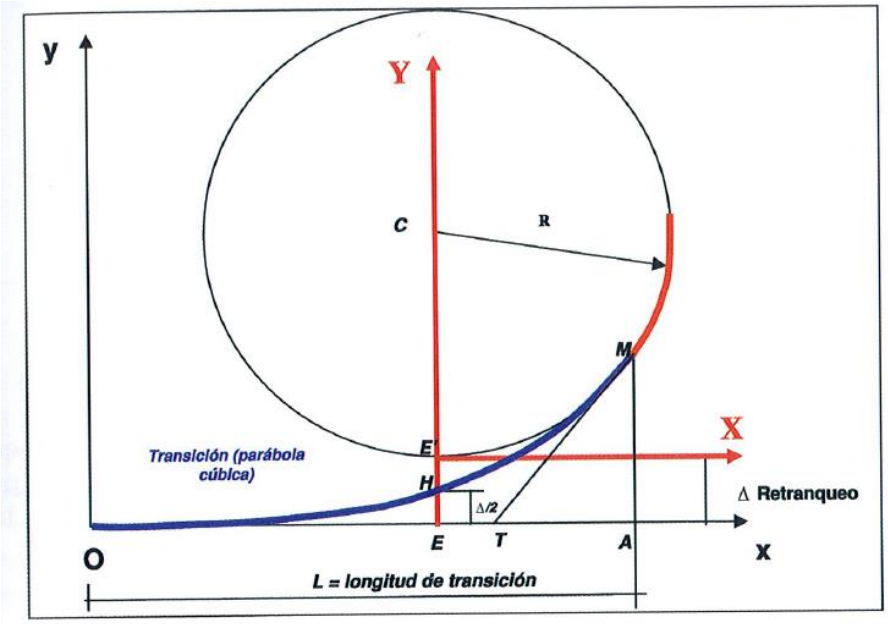
$A^2=LR$ / $\rho s = A^2$

Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos. Colección senior, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

2. Trazado en planta

2.2. Curvas de transición _ CLOTOIDES





Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos. Colección senior, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

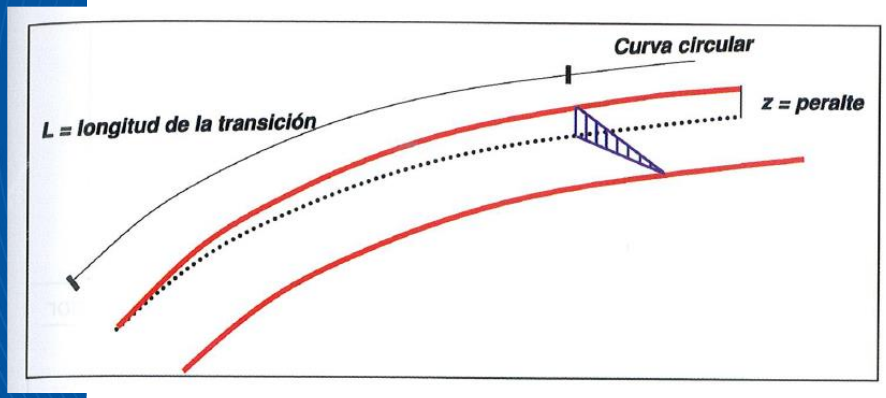
2. Trazado en planta

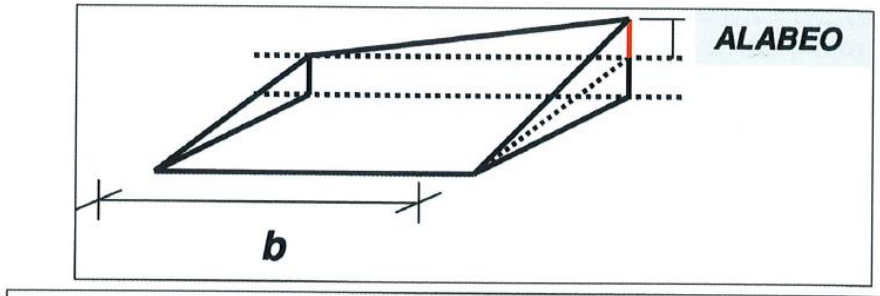
2.2. Curvas de transición – CLOTOIDES ($L \cdot R = A^2$)

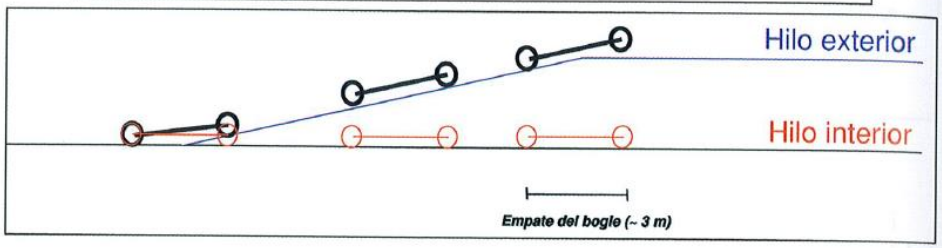
- Parámetros (o condicionantes) de diseño de la clotoide
  - ✓*Limitación geométrica*: **rampa de peralte** (alabeo) z / L

" 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.







Fuente: Melis, M y González, F.J. (2008) Ferrocarriles metropolitanos. Colección senior, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

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) $\Delta z / \Delta L$

Variación del peralte respecto a la longitud.

Se limita la longitud de la clotoide para evitar esfuerzos excesivos en el bogie o en la vía

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

Variación del peralte respecto al tiempo.

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

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

Variación de la aceleración por insuficiencia de peralte respecto al tiempo. Se garantiza una variación suave de la aceleración por insuficiencia.

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) $\Delta z / \Delta L$

$$\frac{\Delta z}{\Delta L} = \frac{D}{Lc} \leq 1\ mm/m$$

Velocidad			Rampa de peralte (mm/m). Ancho estándar e ibérico.					
			Ancho estándar			Ancho ibérico		
			Referencia	Normal	Excepcional	Referencia	Normal	Excepcional
	V ≤	50	1,85	2,50	3,00	2,15	2,65	3,35
50	< V ≤	350	1,00	2,00	2,50	1,15	2,30	2,65

Tabla 22. Valores de rampa de peralte en anchos estándar e ibérico.

Rampa de peralte (mm/m). Ancho métrico		
Referencia	Normal	Excepcional
2		2,5

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

2. Trazado en planta

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

- Parámetros (o condicionantes) de diseño
  - ✓*Limitación dinámica*: velocidad ascensional: Δz/ Δt

$$\frac{\Delta z}{\Delta t} = \frac{\Delta z}{\Delta L}\frac{\Delta L}{\Delta t} = v\frac{D}{Lc} \leq 50\ mm/s$$

Variación del peralte en función del tiempo (mm/s) Ancho estándar.		
Referencia	**Normal**	**Excepcional**
50	50	60

Tabla 24. Valores de variación del peralte con el tiempo dD/dt, ancho estándar.

Variación del peralte en función del tiempo (mm/s) Ancho ibérico.		
Referencia	**Normal**	**Excepcional**
58	58	69

Tabla 25. Valores de variación del peralte con el tiempo dD/dt, ancho ibérico.

Variación del peralte en función del tiempo (mm/s) Ancho métrico		
Referencia	**Normal**	**Excepcional**
35		45

Tabla 26. Valores de variación del peralte con el tiempo dD/dt, ancho métrico.

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

2. Trazado en planta

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

- Parámetros (o condicionantes) de diseño
  - ✓ *Limitación por confort*: aceleración no compensada: $\Delta a_q / \Delta t$

$$\frac{\Delta aq}{\Delta t} = \frac{\boldsymbol{aq} \cdot v}{Lc} \leq 0{,}2\ m/s^3$$

Variación de la aceleración por insuficiencia con el tiempo (m/s³)					
Velocidad			Referencia	Normal	Excepcional
	V ≤	220	0,36	0,36	0,65
220	< V ≤	300	0,36	0,36	0,49
300	< V ≤	350	0,20	0,32	0,36

Tabla 27.Valores de variación de la aceleración por insuficiencia con el tiempo da/dt.

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

2. Trazado en planta

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

- Parámetros (o condicionantes) de diseño
  - ✓*Limitación por confort*: insuficiencia de peralte $\Delta I / \Delta t$

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I \cdot v}{Lc} \leq 30\ mm/s$$

Variación de la insuficiencia con el tiempo (mm/s). Ancho estándar.					
Velocidad			Recomendado	Normal	Excepcional
	V ≤	220	55	55	100
220	< V ≤	300	55	55	75
300	< V ≤	350	30	50	55

Tabla 28. Valores de variación de la insuficiencia con el tiempo dI/dt ancho estándar.

Variación de la insuficiencia con el tiempo (mm/s). Ancho ibérico.					
Velocidad			Recomendado	Normal	Excepcional
	V ≤	220	63	63	115
220	< V ≤	300	63	63	85
300	< V ≤	350	34	57	60

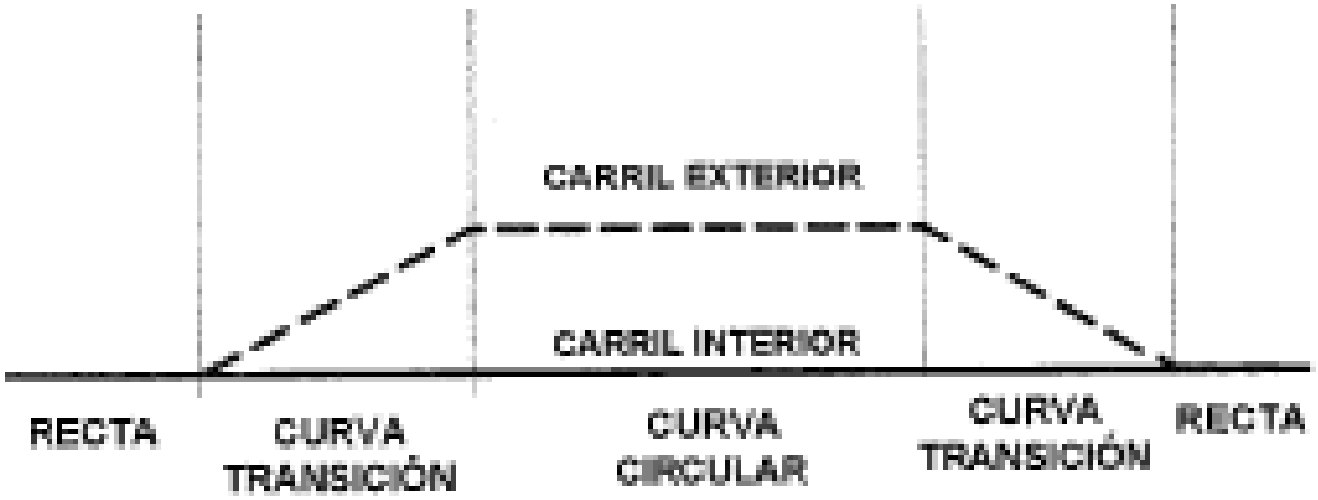
Tabla 29. Valores de variación de la insuficiencia con el tiempo dI/dt ancho métrico

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

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



Longitud mínima de la clotoide recomendada es de 20 m

Fuente: Ferrocarriles. Apuntes de clase edición 2009-2010. José Manuel García Díaz de Villegas. Universidad de Cantabria. 2009.

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)

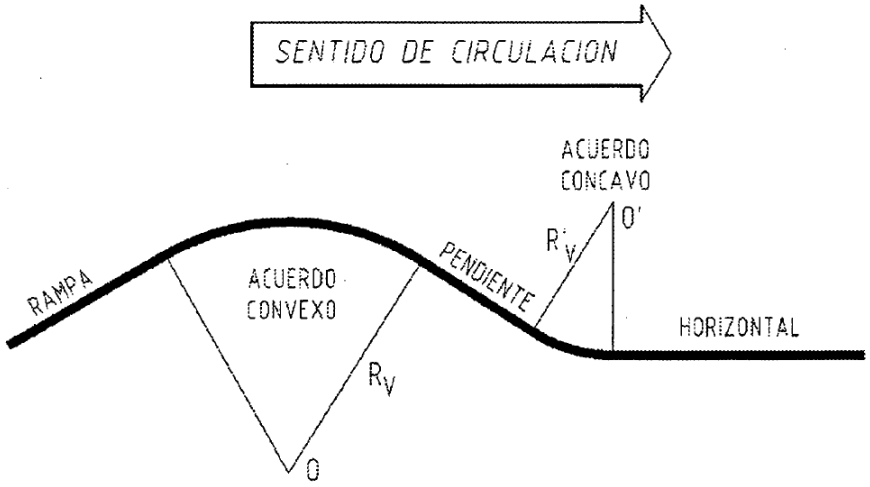
3. Trazado en alzado

3.1. Rampas y pendientes

- **Rampa**: cuando la vía aumenta su altitud en el sentido de la marcha del tren. Se considera signo positivo.

- **Pendiente**: cuando la vía disminuye su altitud en el sentido de la marcha del tren. Se considera signo negativo.

- Ambas inclinaciones se miden en tanto por mil (milésimas)



Fuente: Ferrocarriles. Apuntes de clase edición 2009-2010. José Manuel García Díaz de Villegas. Universidad de Cantabria. 2009.

3. Trazado en alzado

3.1. Rampas y pendientes

- Rampa longitudinal máxima de diseño

  - Vía general. Tráfico exclusivo de viajeros
    - ✓Referencia : 25 mm/m
    - ✓Normal : 30 mm/m
    - ✓Excepcional: 35 mm/m

  - Vía general. Tráfico mixto y de mercancías
    - ✓Referencia: 12,5 mm/m
    - ✓Normal: 15 mm/m
    - ✓Excepcional: 18 - 20 mm/m **previa autorización*

- Rampa longitudinal máxima en apartaderos: 2 mm/m

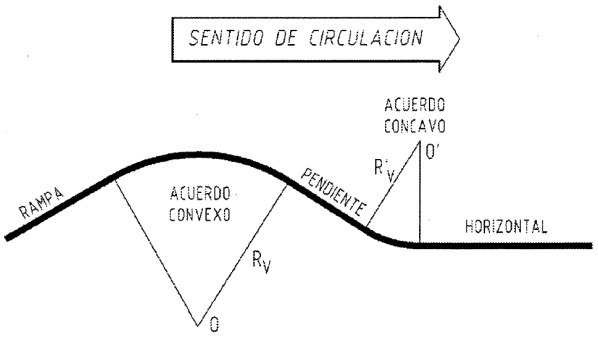
3. Trazado en alzado

3.1. Rampas y pendientes

- Rampa longitudinal máxima de diseño en ancho métrico

  - Vía general. Tráfico exclusivo de viajeros
    - ✓Referencia : 20 mm/m
    - ✓Normal : 25 mm/m
    - ✓Excepcional: 30 mm/m

  - Vía general. Tráfico mixto y de mercancías
    - ✓Referencia: 12,5 mm/m
    - ✓Normal: 15 mm/m
    - ✓Excepcional: 15 mm/m

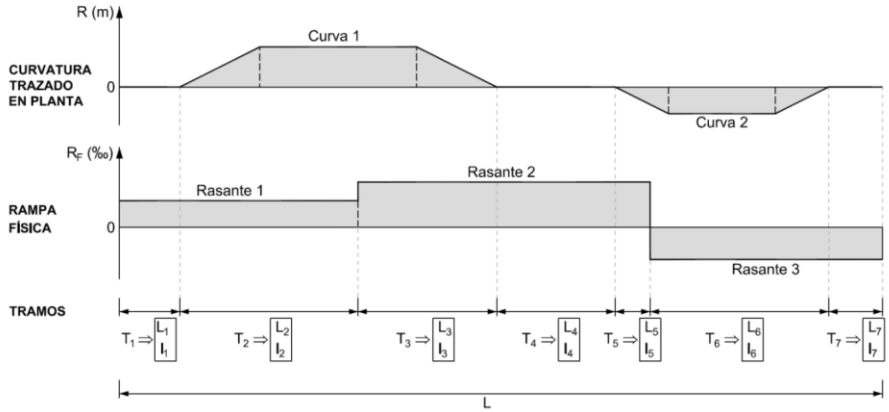


Fuente: Ferrocarriles. Apuntes de clase edición 2009-2010. José Manuel García Díaz de Villegas. Universidad de Cantabria. 2009.

3. Trazado en alzado

3.1. Rampas y pendientes

- Rampa ficticia: tramo de rampa física (pendiente) más resistencia al avance al circular por curva.



- Rampa característica (sin decimales): máxima rampa ficticia que haya en todo el trayecto. Rampa más restrictiva de todo el trayecto. Se calcula para cada sentido de circulación.
  - Comprobar, partiendo de la rampa característica máxima:
    - No puede haber tramos cuya rampa ficticia sea 3 milésimas mayor que la rampa característica del trayecto.
    - Tramos en los que la rampa ficticia sea mayor que la rampa característica no podrán tener una longitud superior a 1000 m.
    - La suma de la longitud de los tramos cuya rampa ficticia sea mayor que la rampa característica no puede superar el 10% de la longitud total del trayecto.

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

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

Longitud mínima de alineaciones con rasante constante (m)					
Velocidad			Referencia	Normal	Excepcional
	V ≤	70	V/3(1)	V/3	V/10
70	< V ≤	230	V/2	V/3	V/5
230	< V ≤	350	V/1,5	V/2,5	V/3
(1) El valor mínimo no debe ser inferior a 20 m					

Tabla 46. Longitudes mínimas de alineaciones con rasante constante.

Longitud mínima de alineaciones con rasante constante (m)		
Referencia	Normal	Excepcional
V/2(1)	V/3	V/5
(1) El valor mínimo no debe ser inferior a 20 m		

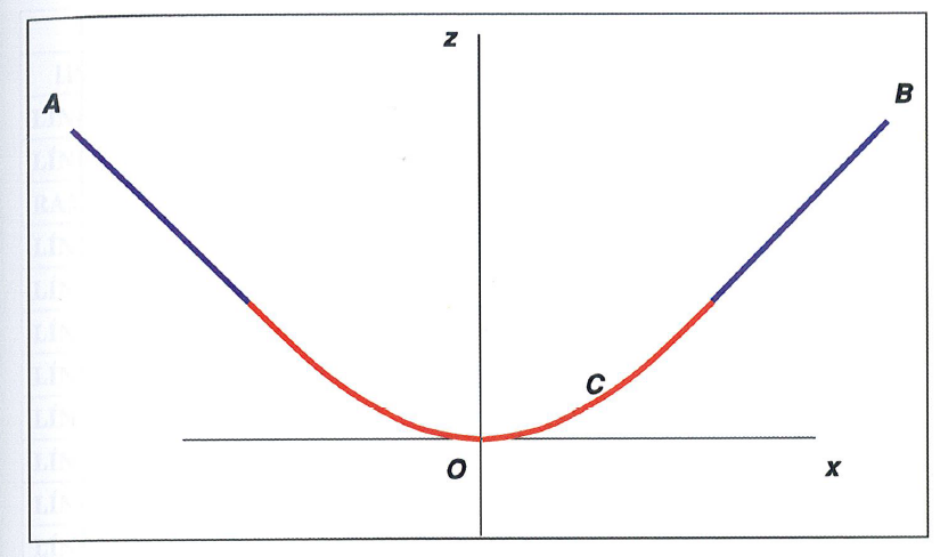
Tabla 47. Longitudes mínimas de alineaciones con rasante constante. Ancho métrico.

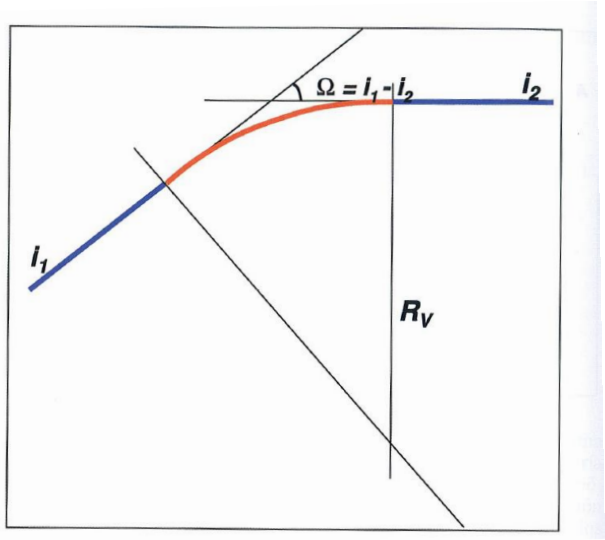
Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

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. Colección senior, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

3. Trazado en alzado

3.2. Acuerdos verticales

- Radio mínimo (Rv) y aceleración máxima en acuerdos verticales:

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

siendo v^2 la velocidad y a_v la aceleración vertical

	Radio mínimo en acuerdos verticales (m)			
	Referencia	Normal	Excepcional	
			Convexos	Cóncavos
	min. 2.000 m		min. 500 m	min. 900 m
V < 220 km/h	$0{,}35 \cdot V^2$	$0{,}25 \cdot V^2$	$0{,}15 \cdot V^2$	$0{,}13 \cdot V^2$
V ≥ 220 km/h		$0{,}175 \cdot V^2$		

Tabla 41. Radio mínimo en acuerdos verticales, ancho ibérico y estándar.

Radio mínimo en acuerdos verticales (m)			
Referencia	Normal	Excepcional	
		Convexos	Cóncavos
min. 2.000 m		min. 500 m	min. 900 m
$0{,}35 \cdot V^2$	$0{,}25 \cdot V^2$	$0{,}22 \cdot V^2$	$0{,}19 \cdot V^2$

Tabla 43. Radio mínimo en acuerdos verticales, ancho métrico.

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

3. Trazado en alzado

3.2. Acuerdos verticales

- Radio mínimo (Rv) y aceleración máxima en acuerdos verticales:

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

v: velocidad y a_v: aceleración vertical

	Aceleración vertical máxima en acuerdos verticales (m/s²)			
	Referencia	Normal	Excepcional	
			Convexos	Cóncavos
V < 220 km/h	0,22	0,31	0,51	0,59
V ≥ 220 km/h		0,44		

Tabla 42. Aceleración en acuerdos verticales, ancho ibérico y estándar.

Aceleración vertical máxima en acuerdos verticales (m/s²)			
Referencia	Normal	Excepcional	
		Convexos	Cóncavos
0,22	0,3	0,35	0,40

Tabla 44. Aceleración en acuerdos verticales, ancho métrico.

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

3. Trazado en alzado

3.2. Acuerdos verticales

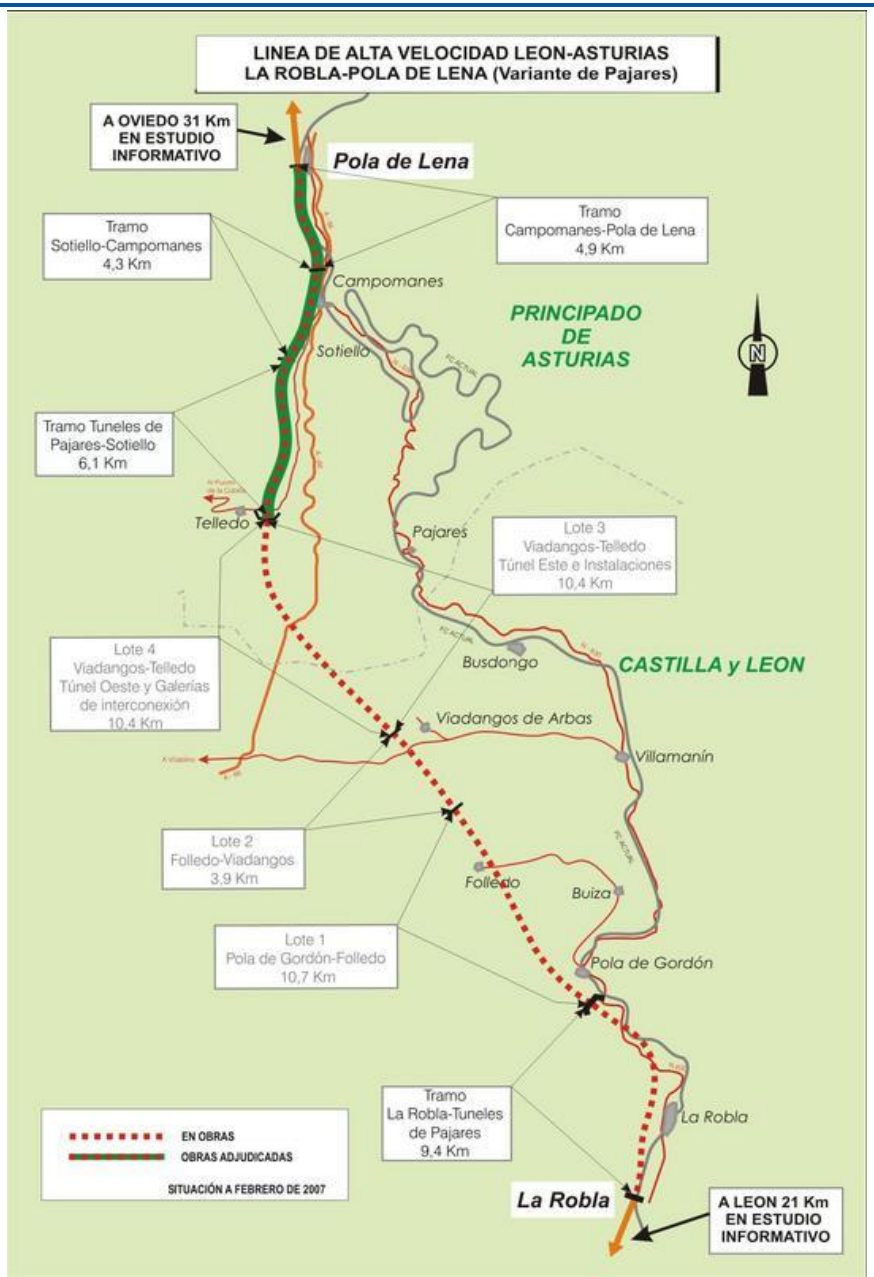
- Longitud mínima de los acuerdos verticales

Longitud mínima de los acuerdos verticales (m)		
Plena vía (valor límite de referencia, normal y excepcional)		20
Vías generales de estaciones (valor límite de referencia y normal)		20
Vías de apartado de estaciones y vías generales (casos excepcionales)	$V \leq 70$ km/h	0
	$70 < V \leq 160$ km/h	10
	$V > 160$ km/h	20

Tabla 48. Longitud mínima de los acuerdos verticales.

Fuente: NAP 1-2-1.0 Metodología para el diseño del trazado ferroviario. ADIF. 2021.

Trazado de ferrocarriles



Fuente: http://www.ferropedia.es/wiki/Variante_de_Pajares

Trazado de ferrocarriles

PARÁMETROS FUNCIONALES PARA EL DISEÑO DEL TRAZADO

Velocidad máxima de proyecto:		$V_{Máx}$ (km/h) < 140		140 ≤ $V_{Máx}$ (km/h) < 200		200 ≤ $V_{Máx}$ (km/h) < 250		250 ≤ $V_{Máx}$ (km/h) < 300		300 ≤ $V_{Máx}$ (km/h) ≤350	
TRAZADO EN PLANTA	**Fórmulas**	**Normal**	**Excepc.**	**Normal**	**Excepc.**	**Normal**	**Excepc.**	**Normal**	**Excepc.**	**Normal**	**Excepc.**
MÁX. INSUF. DEL PERALTE $I_{Máx}$ (mm)	$(11{,}85\ V_{Máx}^2 / R) - D$	100	130	100	150		100	70	80	60	65
MÁX. AC. SIN COMPENSAR $a_{q\,Máx}$ (m/s²)	$(V_{Máx}^2 / 12{,}96\ R) - D / 153{,}62$	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_{Min} DE TRENES LENTOS) $E_{Máx}$ (mm)	$D - (11{,}85\ V_{Min}^2 / R)$	80	100	80	100	80	100	80	100	80	100
MÁX. VAR. PERALTE CON TIEMPO $[dD/dt]_{Máx}$ (mm/s)	$(V_{Máx} / 3{,}6) \cdot (D / L)$	30	50	30	50	30	50	30	50	30	50
MÁX. VAR. ÁNGULO DE GIRO DE LA VÍA $[d\theta/dt]_{Máx}$ (rad/s)	$(V_{Máx} / 3{,}6) \cdot (D / 1507) / L$	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 $[dI/dt]_{Máx}$ (mm/s)	$(I / L) \cdot (V_{Máx} / 3{,}6)$	30	55	30	55	30	50	30	50		50
MÁX. VAR. AC. NO COMP. CON EL TIEMPO $[da_q/dt]_{Máx}$ (m/s³)	$(a_q / L) \cdot (V_{Máx} / 3{,}6)$	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.**	**Normal**	**Excepc.**	**Normal**	**Excepc.**	**Normal**	**Excepc.**	**Normal**	**Excepc.**
MÁX ACELERACIÓN VERTICAL $a_{v\,Máx}$ (m/s²)	$V_{Máx}^2 / 12{,}96\ R_v$	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:			$V_{Máx}$ (km/h)<140		140≤$V_{Máx}$(km/h)<200		200≤$V_{Máx}$(km/h)<250		250≤$V_{Máx}$(km/h)<300		300 < V Máx (km/h) <350	
• **TRAZADO EN PLANTA**			**Normal**	**Excepc**	**Normal**	**Excepc.**	**Normal**	**Excepc.**	**Normal**	**Excepc.**	**Normal**	**Excepc.**
PERALTE MÁXIMO		$D_{Máx}$ (mm)	140	160	140	160	140	160	140	160	140	160
MÁX. VAR. PERALTE RESP. DE LA LONGITUD (Rampa de peralte)		$[dD/dl]_{Máx}$ (mm/m)	0,8	2,0	0,8	1,0	0,4	0.68	0,3	0,56	0,3	0,5
• LONGITUD MÍNIMA DE ALINEACIONES DE CURVATURA CONSTANTE (m)	CURVA CIRCULAR		≥$V_{Máx}$ / 3	≥ $V_{Máx}$ / 4	≥$V_{Máx}$ / 2	≥ $V_{Máx}$ / 3	≥$V_{Máx}$ / 1,5	≥ $V_{Máx}$ / 2	≥$V_{Máx}$ / 1,5	≥ $V_{Máx}$ / 2	≥$V_{Máx}$ / 1,5	≥ $V_{Máx}$ / 2
	RECTA ENTRE CURVAS DE IGUAL SIGNO DE CURVATURA		≥$V_{Máx}$ / 3	≥ $V_{Máx}$ / 4	≥$V_{Máx}$ / 2	≥ $V_{Máx}$ / 3	≥$V_{Máx}$ / 1,5	≥ $V_{Máx}$ / 2	≥$V_{Máx}$ / 1,5	≥ $V_{Máx}$ / 2	≥$V_{Máx}$ / 1,5	≥ $V_{Máx}$ / 2
	RECTA ENTRE CURVAS DE DISTINTO SIGNO DE CURVATURA (puede ser cero)		≥$V_{Máx}$ / 3	≥ $V_{Máx}$ / 4	≥$V_{Máx}$ / 2	≥ $V_{Máx}$ / 3	≥$V_{Máx}$ / 1,5	≥ $V_{Máx}$ / 2	≥$V_{Máx}$ / 1,5	≥ $V_{Máx}$ / 2	≥$V_{Máx}$ / 1,5	≥ $V_{Máx}$ / 2

TRAZADO EN ALZADO			**Normal**	**Excepc.**	**Normal**	**Excepc.**	**Normal**	**Excepc.**	**Normal**	**Excepc.**	**Normal**	**Excepc.**
PENDIENTE LONGITUDINAL MÁX..	Vía general. Tráfico de viajeros	$i_{Máx}$ (‰)	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		$i_{Mín}$ (‰)	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2
LONGITUD MÍN. DE ACUERDOS VERTICALES		(m)	≥$V_{Máx}$ / 3	≥ $V_{Máx}$ / 4	≥$V_{Máx}$ / 2	≥ $V_{Máx}$ / 3	≥$V_{Máx}$ / 1,5	≥ $V_{Máx}$ / 2	≥$V_{Máx}$ / 1,5	≥ $V_{Máx}$ / 2	≥$V_{Máx}$ / 1,5	≥ $V_{Máx}$ / 2
LONGITUD MÍN. DE RASANTE UNIFORME ENTRE ACUERDOS		(m)	≥$V_{Máx}$ / 3	≥ $V_{Máx}$ / 4	≥$V_{Máx}$ / 2	≥ $V_{Máx}$ / 3	≥$V_{Máx}$ / 1,5	≥ $V_{Máx}$ / 2	≥$V_{Máx}$ / 1,5	≥ $V_{Máx}$ / 2	≥$V_{Máx}$ / 1,5	≥ $V_{Máx}$ / 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.

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

4. Índice tipo de un anejo de trazado ferroviario

1. Introducción
   - Objeto
   - Datos de partida
   - Criterios de diseño
   - Esquema de tramificación del trayecto

2. Esquema de explotación de la línea
   - Velocidades de circulación
   - Configuración de vías generales: tramos con vía doble o vía sencilla, ancho de vía, cambiadores de ancho, rampa característica admisible, tipo de vía- placa o en balasto-
   - Configuración de vías y andenes en estaciones, bifurcaciones y otras infraestructuras
   - *Sistemas de electrificación*
   - *Sistema de señalización*
   - *Previsión de puesta en servicio*
   - Zonas con limitación de velocidad por motivos ajenos al trazado

4. Índice tipo de un anejo de trazado ferroviario

3. Descripción detallada del trazado
   - Planta y alzado
   - Secciones transversales tipo

4. Comprobación de parámetros de diseño de trazado

Apéndice 1: definición de ejes de trazado

Apéndice 2: actas de conexión con los tramos adyacentes