



ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS

NAV 0-2-2.1

GEOMETRÍA DE LA VÍA

TRAZADO DE LA VÍA EN PUNTOS SINGULARES

1ª EDICIÓN: Enero de 2003

RENFE

U. N. Mantenimiento de Infraestructura
Dirección Técnica

Geometría de la vía. Trazado de la vía en puntos singulares

N.R.V. 0-2-2.1.

GEOMETRÍA DE LA VÍA.- TRAZADO DE LA VÍA EN PUNTOS SINGULARES

ÍNDICE	Página
1. Introducción.....	1
1.0. Exposición general	1
1.1. Objeto de la Norma.....	1
1.2. Campo de aplicación	1
1.3. Vigencia de la Norma.....	1
1.4. Documentación derogada	2
1.5. Método de exposición del documento	2
2. Características de las curvas circulares	2
2.0. Consideraciones generales	2
2.1. Símbolos	3
2.2. Radios y flechas.....	4
3. Peralte.....	5
3.0. Consideraciones generales	5
3.1. Establecimiento del peralte.....	5
4. Curvas circulares, en planta, sin transición	7
4.0. Consideraciones generales	7
4.1. Enlace de alineación recta con circular sin transición.....	8
4.2. Enlace de dos circulares sin transición	10
4.2.1. Curva compuesta.....	10
4.2.2. Curva y contracurva	11
4.3. Casos particulares	13
5. Tramos con desvíos.....	14
5.0. Consideraciones generales	14
5.1. Enlaces entre desvíos	16
5.2. Desvío con corazón curvo	17
5.3. Desvío con corazón recto	18
5.4. Curvado de un desvío con corazón curvo.....	19
5.5. Curvado de un desvío con corazón recto.....	20
6. Tramos con escapes en curva	21
6.0. Consideraciones generales	21
6.1. Escape con corazones curvos.....	23
6.1.1. Algunos casos particulares de escapes con corazón curvo	23
6.2. Curvado de escape con corazones curvos	24
6.3. Escape con corazones rectos	25
6.4. Curvado de escape con corazones rectos.....	26
6.5. Curvado de escape formado por un desvío con corazón recto y otro con corazón curvo.....	27

7. Enlace de un desvío con una curva.....	28
7.0. Consideraciones generales.....	28
7.1. Casos posibles.....	28
8. Aparatos de vía implantados en curva.....	32
8.0. Consideraciones generales.....	32
8.1. Curvas sin peralte.....	33
8.2. Curvas con peralte	33
8.2.1. Escape en curva o enlace desvío-curva peraltados	34
I. Definiciones.....	35
II. Documentos relacionados con la presente Norma	39
ANEJO: Ejemplos de cálculo	41

1. INTRODUCCIÓN

1.0. EXPOSICIÓN GENERAL

En los trazados ferroviarios existen puntos o tramos singulares, en los cuales los enlaces entre alineaciones rectas y circulares o de circulares entre sí, se realizan tangencialmente sin la interposición de curvas de transición, como son los casos de implantación de desvíos, travesías y escapes en las cabeceras de las estaciones, dándose en ellas al menos los siguientes casos, al establecer los itinerarios por vía desviada para el paso de circulaciones:

- desvío sencillo o travesía en recta: paso de recta a circular.
- desvío sencillo en curva:
 - curva interior (desvío interior o convergente): paso de una curva a otra del mismo sentido.
 - curva exterior (desvío exterior o divergente): paso de una curva a otra de distinto sentido.
- escape en recta (corazones rectos): paso de recta a curva y de ésta a recta y contracurva, para terminar en recta.
- escape en curva (corazones curvos): paso de curva a otra del mismo o diferente sentido y de esta a otra de diferente sentido para terminar en otra del mismo o diferente sentido.

Dicho trazado, compuesto por diversas secciones o tramos de pequeña longitud, puede ser aún más complejo en el caso de la utilización de corazones de cruzamiento rectos implantados en curva en el establecimiento de un itinerario de paso primeramente por un escape y posteriormente por uno o varios desvíos.

En todos estos enlaces las variaciones instantáneas de curvatura, al paso de las circulaciones, traen consigo una variación también instantánea de la insuficiencia de peralte.

1.1. OBJETO DE LA NORMA

Es objeto del presente documento técnico la definición de las características de trazado y parámetros a considerar en los enlaces entre alineaciones rectas y circulares y de estas entre sí, sin la interposición de curvas de transición entre ellas, así como de la velocidad de paso para las circulaciones.

1.2. CAMPO DE APLICACIÓN

Las prescripciones de esta Norma se refieren a los parámetros geométricos del trazado de la vía y en especial a todo tipo de desvíos, escapes de los tipos B, C, V y P, así como de travesías y aparatos de dilatación, a instalar en vía general y vías de circulación en ancho Renfe (1668 mm), así como a aquellos tramos o subtramos que con carácter excepcional hayan podido instalarse en plena vía en los enlaces recta-curva circular sin la interposición de curvas de transición, y a las velocidades de circulación admisibles.

1.3. VIGENCIA DE LA NORMA

Esta Norma empezará a regir el día de su publicación impresa.

1.4. DOCUMENTACIÓN DEROGADA

A partir de la fecha de entrada en vigor de la presente Norma queda sin efecto cualquier otro documento publicado con anterioridad a ella que se oponga a sus prescripciones o a sus definiciones, al menos en lo que a ellas se refiere.

1.5. MÉTODO DE EXPOSICIÓN DEL DOCUMENTO

En la redacción de la presente Norma se ha seguido la siguiente metodología:

Inicialmente se describen las características que definen una curva circular en planta y posibles enlaces entre ellas o con tramos rectos adyacentes, la simbología empleada en las diferentes formulaciones y, en caso de peraltarse sin interposición de curvas de transición, las diferentes posibilidades de hacerlo.

Se pasa a continuación a estudiar los parámetros dinámicos que definen dichos enlaces, así como los radios mínimos exigibles, tanto para plena vía, como para las desviadas de aparatos de vía.

Se estudian desvíos con corazón recto y curvo, su geometría básica y curvada y las posibles formas de enlace entre ellos o con una curva adyacente, tanto con desvíos sencillos como en su forma de escape.

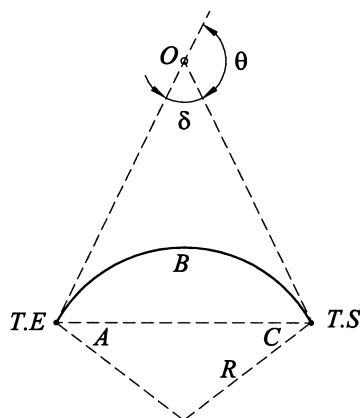
Finalmente se fijan parámetros geométricos y dinámicos para el caso de su implantación en curva con o sin peralte y se fijan criterios para el cálculo de velocidades máximas al paso por los mismos, sobre vía general y desviada, incluyendo travesías y aparatos de dilatación, así como un anejo con dos ejemplos de cálculo.

2. CARACTERÍSTICAS DE LAS CURVAS CIRCULARES

2.0. CONSIDERACIONES GENERALES

En el ferrocarril, y para poder manejar fácilmente los conceptos relacionados con las curvas circulares de la vía, se establece la siguiente nomenclatura:

Dada una curva circular con desarrollo $ABC=L$, kilometración creciente de A a C , según la figura adjunta, si trazamos las tangentes en sus extremos A y C , denominamos:



- Tangentes a la curva circular, a las rectas AO y CO .
- Tangente de entrada ($T.E$) y tangente de salida ($T.S$), a los puntos de contacto de las tangentes con la curva circular.
- Vértice de la curva, al punto de contacto (O) de las tangentes.
- Longitudes de las tangentes, a los segmentos $\overline{AO} = \overline{CO} = t$.
- Angulo de intersección, al formado por $AOC = \delta$.
- Angulo de reflexión, al complementario de δ , o sea, $180^\circ - \delta = \theta$.

Así tendremos:

$$t = R \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}$$

$$L = \frac{\pi \cdot R \cdot \theta}{180}$$

2.1. SÍMBOLOS

A continuación se incluyen algunos de los símbolos utilizados en el presente documento:

a	Distancia entre ejes de dos vías paralelas o concéntricas
a_q	Aceleración transversal no compensada (cuasiestática) en el plano de la vía (m/s^2)
D	Peralte (mm)
D_e	Peralte óptimo o de equilibrio (mm)
D_{lim}	Peralte límite (mm)
E_{lim}	Exceso de peralte límite (mm)
I	Insuficiencia de peralte (mm)
I_{lim}	Insuficiencia de peralte límite (mm)
L	Longitud de un tramo recto o circular (m)
L_i	Longitud de las alineaciones con curvatura constante del trazado de la vía -curvas circulares y rectas- (m)
R	Radio de la curva en planta, medido en el eje de la vía (m)
R_v	Radio de la curva vertical, medido en el eje de la vía (m)
V	Velocidad de la línea (km/h)
V_{op}	Velocidad óptima (la correspondiente a D_e) (km/h)
$V_{\text{máx}}$	Velocidad máxima en curva para los trenes rápidos (km/h)
g	Aceleración debida a la gravedad: $9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$
T	Tiempo (segundos)
t	Longitudes de las tangentes a las curvas circulares (m)

Δa_q	Variación total de la aceleración transversal no compensada en el punto de discontinuidad de trazado (m/s^2)
ΔI	Variación total de la insuficiencia de peralte en el punto de discontinuidad de trazado (mm)
ΔD	Variación total del peralte, entre recta y curva o entre dos curvas consecutivas de diferente radio (mm)
$\Delta I/\Delta T$	Variación instantánea de la insuficiencia de peralte (mm/s)
b	Distancia entre ejes, pivotes o ejes de giro de los bogies (m)
Z	Longitud de un tramo recto, circular o clotoide, intercalado entre dos curvas circulares, (m)
C	Cuerda para la medida de una curva (m)
f	Flecha para una cuerda C (mm)
ψ	Sobreaceleración puntual o empellón (m/s^3)

2.2. RADIOS Y FLECHAS

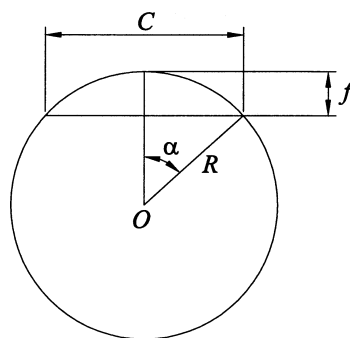
Una curva circular, en ferrocarril, suele definirse por la longitud del radio del eje de la vía, medido en metros.

Los países anglosajones, no obstante, caracterizan las curvas mediante su ángulo sexagesimal que corresponde a un arco de 100 pies ($\cong 30,48$ m), midiendo el mismo en el centro de la curva, a cuyo valor se denomina "grado de curva (G_c)", y tiene como valor:

$$G_c = \frac{360}{2 \cdot \pi \cdot R} \cdot 30,48 \cong \frac{1746}{R} \quad (R \text{ en m})$$

Dado que no es posible efectuar dichas mediciones de una forma directa, se refieren a la flecha (f) mediante una determinada cuerda (C).

Veamos las relaciones entre dichos parámetros:



$$R^2 = (R - f)^2 + \left(\frac{C}{2}\right)^2 \rightarrow R \cong \frac{C^2}{8f}$$

y con más precisión: $f = R \left[1 - \cos \left(\text{arc sen} \frac{C}{2R} \right) \right]$

$$\text{tg } \alpha = \frac{C/2}{R - f} \cong \frac{C/2}{R}, \text{ donde sustituyendo el valor anterior de } R$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{4f}{C}$$

$$\text{y como } \operatorname{tg} \alpha \cong \alpha \rightarrow \alpha = \frac{4f}{C} \text{ rad} \quad \text{ó} \quad G_c = \frac{1440 f_c}{\pi \cdot C}$$

Considerando la cuerda aproximadamente igual al arco: $C \cong 30,48 \rightarrow G_c = 15 f_c$

donde f_c es la flecha correspondiente a una cuerda $C = 30,48$ m.

3. PERALTE

3.0. CONSIDERACIONES GENERALES

Se denomina peralte (D) a la diferencia de cota, en el plano normal al eje de la vía, entre los planos de rodadura de los dos carriles, combinando por tanto, los efectos del trazado en planta y en alzado, esto es, la magnitud en que un carril de la vía se encuentra más elevado que el otro.

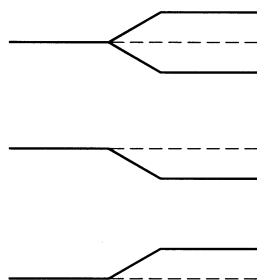
El peralte es positivo cuando el carril exterior de la vía en curva está a un nivel más elevado que el carril interior y es negativo cuando el carril interior de la vía está a un nivel más elevado que el carril exterior de la misma.

El peralte negativo es inevitable en los desvíos y travesías en una vía directa peraltada donde la vía desviada tiene un sentido de curvatura contrario al de la vía directa, en el aparato o en el tramo adyacente al mismo.

En los diferentes apartados que componen el presente documento técnico se supone peralte nulo para el caso de enlace recta-circular y nulo o constante en el caso de enlace circular-circular, cualquiera que sea el sentido de las curvas, que es lo habitual en los tramos de implantación de desvíos.

En el caso de necesitar establecer peralte o modificarlo mediante incremento-decremento del mismo, para trazados en plena vía, se podrán, excepcionalmente, seguir criterios similares a los que se transcriben en el punto siguiente.

3.1. ESTABLECIMIENTO DEL PERALTE

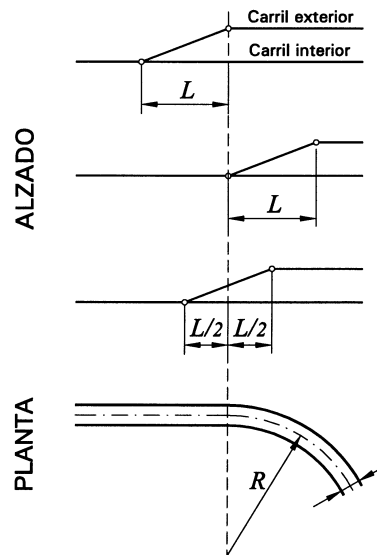


Para obtener el peralte, caben tres posibilidades:

- Mantener el eje de la vía levantando el carril exterior $D/2$ y rebajando el interior $D/2$.
- Rebajar el carril interior en D mm, manteniendo fija la cota del exterior.
- Elevar el carril exterior en D mm, manteniendo fija la cota del interior.

Si bien algunos ferrocarriles aplican la primera de ellas, lo habitual es la tercera para no reducir el espesor de balasto bajo traviesa en la parte del carril interior, además de ser muy complicada la operación de rebaje del balasto.

Si una curva circular se une directamente a una recta, en su punto de tangencia, el peralte debe tener el valor D correspondiente a la curva y ser nulo por pertenecer a la recta. Como no es posible dar este salto “de golpe”, para dar continuidad a la vía se va elevando de forma continua y progresiva el carril exterior respecto al interior, mediante una débil rampa de peralte, desde cero hasta el valor deseado, de tres formas distintas.



- Elevando el carril exterior en la alineación recta, de forma que al llegar al inicio de la circular ya tenga alcanzado todo el peralte.
- Establecer progresivamente el peralte dentro de la curva circular a partir del punto de tangencia.
- Establecer el peralte, parte en la recta y parte en la curva.

Todos estos procedimientos son indeseables, ya que o bien dan lugar a un peralte de la alineación recta, que no debe poseerlo, o una elevación insuficiente de una parte de la curva.

En el primer caso una parte del tramo recto presenta aceleraciones no deseadas, lo que origina un desgaste excesivo en el carril interior, además de un movimiento anormal de los vehículos, que pasan bruscamente de apoyarse en mayor proporción en el carril interior a estar desequilibrados al entrar en la curva, haciendo que trabaje irregularmente la suspensión, lo que influye en la rodadura y en la deformación de la vía.

En el segundo caso una gran parte del tramo en curva presenta insuficiencia de peralte, lo que conlleva una fuerte sollicitación sobre el carril exterior, con el consiguiente desgaste de éste y posible ripado de la vía, así como la falta de confort.

En el tercer caso, tenemos una combinación de los inconvenientes de los dos anteriores, aunque reducidos, por lo que es la que se debe adoptar si no hay curva de transición entre ambas alineaciones, que debe ser siempre exigible, en plena vía.

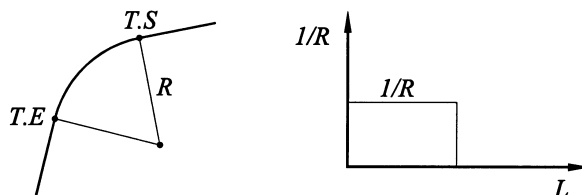
La rampa de peralte (rampa relativa de dos hilos de carril), tiene un valor muy pequeño, ya que si consideramos un bogie o un vagón de dos ejes, antes de establecer el peralte las cuatro ruedas estarán en un plano, pero al subir el carril exterior, llegará un momento en que el eje trasero se apoya en los carriles al mismo nivel, pero no sería así en el delantero, ya que su rueda exterior estará en la rampa de peralte. Dado que las otras tres definen un plano, la distancia entre este plano y el punto de apoyo de la cuarta rueda es la que define el alabeo de la vía, existiendo un reparto no uniforme de la carga, que puede provocar su descarrilamiento.

4. CURVAS CIRCULARES, EN PLANTA, SIN TRANSICIÓN

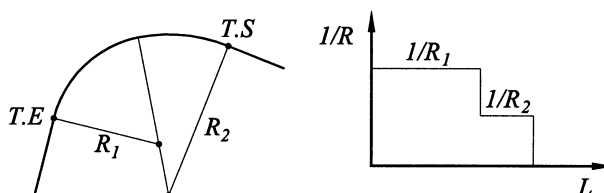
4.0. CONSIDERACIONES GENERALES

En el trazado ferroviario, las curvas circulares en planta pueden adoptar las siguientes formas:

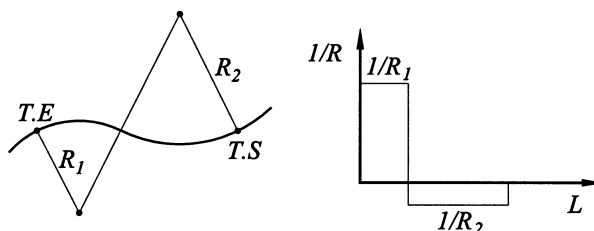
- Curva circular o curva sencilla, que es la formada por un único radio a todo lo largo de su desarrollo.



- Curvas policéntricas, son las formadas por una sucesión de curvas circulares de diferentes curvaturas, del mismo o diferente sentido, pero tangentes entre dos adyacentes. A este respecto se definen dos tipos de curvas:
 - Curva compuesta o curva de radio múltiple, es la formada por dos curvas circulares de diferente radio y mismo sentido de curvatura.



- Curva y contracurva, es la formada por dos curvas circulares de diferente sentido de curvatura.



No deben admitirse en el ferrocarril, excepto en casos muy excepcionales, los trazados de curva y contracurva, a menos de que estén separadas por una curva de transición, o al menos por una alineación recta (transición virtual), o circular.

No obstante lo anterior, dichas ejecuciones son realizables en casos muy especiales como:

- Curvas de vías de estaciones.
- Variación del entreje de plena vía en una longitud limitada.
- Variaciones pequeñas de curvaturas de radios múltiples en curvas de grandes radios.

Dicha alineación, recta o circular, se debe instalar, por los motivos siguientes:

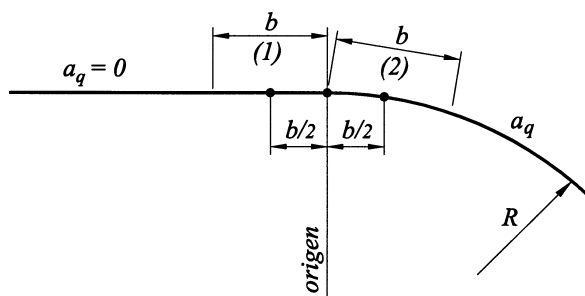
- En vías principales con objeto de reducir las oscilaciones de balanceo de las circulaciones.
- En vías de apartado para evitar la trabazón de los topes de dos vagones consecutivos de una misma circulación, independientemente de la velocidad de paso.

En plena vía, y para $V > 100$ Km/h, deben instalarse siempre curvas de transición.

En caso de haces de estaciones para desvíos y travesías, por falta de espacio, se admiten dichas ejecuciones, sin curva de transición, instalándose de tal forma que los radios de las vías colaterales de enlace no sean nunca inferiores a los de las vías desviadas de los desvíos.

4.1. ENLACE DE ALINEACIÓN RECTA CON CIRCULAR SIN TRANSICIÓN

Supongamos un vehículo cuya distancia entre ejes o centro de giro de los bogies sea b (m), circulando a velocidad constante V (km/h):



Al pasar de (1) a (2) tardará $\frac{3,6 b}{V}$

En la curva circular, con $D = 0$, se debe cumplir:

$$V \leq 3,6 \sqrt{a_q \cdot R} \rightarrow a_q = \frac{V^2}{3,6^2 \cdot R} \quad (a)$$

Así la variación de la aceleración sin compensar de su centro de gravedad mientras recorre esa distancia (choque producido a la entrada de la curva o sobreaceleración puntual, que tiene como valor la aceleración total sin compensar alcanzada, dividido por el tiempo que tarda en alcanzarla) será:

$$\psi = \frac{\Delta a_q}{\Delta T} = \frac{a_q \cdot V}{3,6 b} = \frac{V^3}{3,6^3 \cdot b \cdot R} \quad (b)$$

(fórmula (b) considerada en prEN 13803-2 (octubre 02) "Parámetros de diseño de Vía. Vía con ancho 1435 mm y superiores. Parte 2: Aparatos de vía y alineaciones con cambios bruscos de curvatura").

Sustituyendo R de (a) en (b) obtenemos la velocidad crítica a partir de la cual debe tenerse en cuenta este valor de ψ , al que denominaremos "empellón".

$$V_{crít} = \frac{3,6 \psi \cdot b}{a_q} \rightarrow R \geq \frac{\psi^2 \cdot b^2}{a_q^3}$$

que para $a_q = 0,65$ m/s² será $V_{crít} = 5,54 \psi \cdot b$

Dichos parámetros, a efectos prácticos se sustituyen por:

$$\Delta I \leq (\Delta I)_{\text{lím}} = \Delta D_e = 13,66 \frac{V_{op}^2}{R}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{\Delta I \cdot V}{3,6 b} \leq \left(\frac{\Delta I}{\Delta T} \right)_{\text{lím}}$$

Renfe admite como valores:

- Vía general (plena vía):

Parámetro	$V \leq 80$	$80 < V \leq 160$	$V > 160$
$(\Delta I)_{\text{lím}}$ [mm]	58	$\frac{240 - V}{2,76}$	29
$\left(\frac{\Delta I}{\Delta T} \right)_{\text{lím}}$ [mm/s]	60 (para $b \geq 18$ m)		

- Vía desviada de aparatos de vía:

(Valores aplicables a todo tipo de circulaciones, incluso vehículos pendulares)

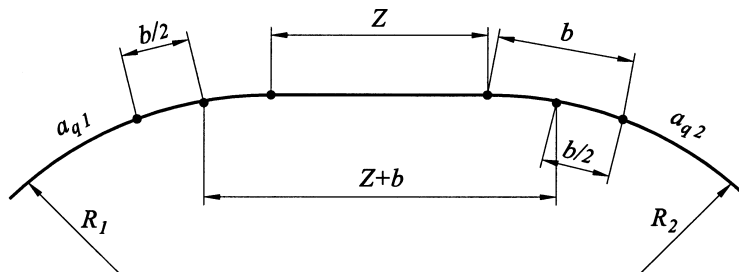
Parámetro	$V \leq 100$	$100 < V \leq 220$
$(\Delta I)_{\text{lím}}$ [mm]	115	$\frac{399 - V}{2,6}$
$\left(\frac{\Delta I}{\Delta T} \right)_{\text{lím}}$ [mm/s]	150 (para $b \geq 18$ m) 90 (para $b = 12,20$ ó $10,06$ m)	

Analicemos el caso de los desvíos utilizados en Renfe, instalados en recta sin peralte, con $b = 18$ m, para su velocidad por vía desviada:

R (carril ext.)	V	Δa_q	ψ	ΔI	$\frac{\Delta I}{\Delta T}$
320/230	40	0,54	0,33	95,1	58,7
320/417	50	0,60	0,47	106,8	82,4
250	45	0,63	0,44	110,7	76,9
318	50	0,61	0,47	107,5	82,9
500	60	0,56	0,52	98,4	91,1
1500	100	0,51	0,79	91,1	140,6

4.2. ENLACE DE DOS CIRCULARES SIN TRANSICIÓN

4.2.1. CURVA COMPUESTA



En el caso de dos curvas circulares del mismo sentido enlazadas mediante una recta o curva intermedia de longitud Z ($0 \leq Z \leq b$) en la que el vehículo no llega a calmarse, si suponemos $R_1 > R_2$ y $0,65 \text{ m/s}^2 \geq a_{q2} \geq a_{q1}$, tendremos:

$$\psi = \frac{\Delta a_q}{\Delta T} = \frac{(a_{q2} - a_{q1}) V}{3,6(b+Z)}$$

(fórmula considerada en la prEN 13803-2 citada en el apartado anterior).

$$\text{y como: } a_{q2} = \frac{V^2}{3,6^2 \cdot R_2} \quad a_{q1} = \frac{V^2}{3,6^2 \cdot R_1}$$

se cumplirá:

$$\psi = \frac{V^3}{3,6^3 \cdot R_i(b+Z)} \quad R_i = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 - R_2}$$

$$V \leq 2,9\sqrt{R_2} \quad (\text{para } D = 0)$$

Notas:

- En caso de necesitar R_2 sobreecho, se establecerá al inicio de dicha curva.
- En caso de $Z > b$, se considerarán independientes los choques producidos a la salida y entrada de las curvas.

Casos particulares:

- Para $R_1 = \infty$, $R_2 = R$, $Z = 0 \rightarrow \psi = \frac{V^3}{3,6^3 \cdot b \cdot R}$
- Para $R_1 = \infty$, $R_2 = R$, $b = 0 \rightarrow \psi = \frac{V}{3,6^3 \cdot Z} a_q$

A efectos prácticos, como en el apartado 4.1, se considera:

$$I_1 \leq I_2 \leq I_{lim}$$

Este valor de I_{lim} debe considerarse de acuerdo con la circulación dentro de cada curva del tramo de vía a estudiar. Así:

- I_{lim} (vía general) sin aparatos de vía (según circulaciones tipo N, A, B, C ó D).
- I_{lim} (vía general-vía directa) con aparatos de vía (según apartado 8.0) $\leq 175 \text{ mm}$ (115 para trenes tipo N).

- I_{lim} (vía desviada de aparatos de vía) ≤ 115 mm.

a) Para ΔI :

$$\text{Si } Z = 0 \quad \Delta I = I_2 - I_1 \leq (\Delta I)_{lim}$$

Como para estabilizar la caja del vehículo circulante, después de la salida de una curva y antes de iniciar su paso por la siguiente, se necesita intercalar un elemento de curvatura constante o una clotoide, se recomienda intercalar un elemento de longitud Z , de acuerdo con los siguientes valores:

Vía general (plena vía):

- límite normal: $Z_{min} \geq 0,5 V$
- límite mínimo: $Z_{min} \geq 0,4 V$

Vía con aparatos de vía:

V	Z_{min}	
	Límite normal	Límite mínimo
70	0,15 V	0,1 V
$70 < V \leq 100$	0,25 V	0,15 V
$V > 100$	0,3 V	0,2 V

En estos casos:

- Si $0 < Z < Z_{min} \rightarrow \Delta I = I_2$
- Si $Z \geq Z_{min}$, se consideran las dos curvas independientes y así

$$\Delta I_1 \leq (\Delta I)_{lim} \quad \Delta I_2 \leq (\Delta I)_{lim}$$

b) Para $\Delta I/\Delta T$:

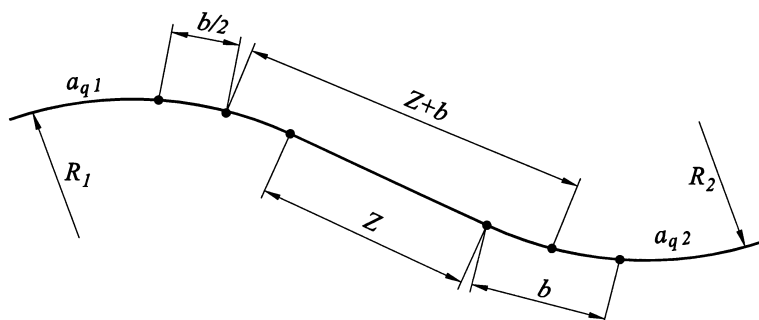
- Si $0 < Z < b \rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{\Delta(I_2 - I_1)}{\Delta T} \leq \left(\frac{\Delta I}{\Delta T}\right)_{lim}$

- Si $Z \geq b$, se consideran las dos curvas como independientes y así:

$$\frac{\Delta I_1}{\Delta T} \leq \left(\frac{\Delta I}{\Delta T}\right)_{lim} \quad \frac{\Delta I_2}{\Delta T} \leq \left(\frac{\Delta I}{\Delta T}\right)_{lim}$$

Los valores de $(\Delta I)_{lim}$ e $\left(\frac{\Delta I}{\Delta T}\right)_{lim}$ serán los mismos que los figurados en el apartado 4.1.

4.2.2. CURVA Y CONTRACURVA



Si dos curvas circulares de distinto sentido están enlazadas por una recta o curva intermedia de longitud Z ($0 \leq Z < b$) en la que el vehículo no llega a calmarse, si suponemos $R_1 \geq R_2$ y $0,65 \text{ m/s}^2 \geq a_{q2} \geq a_{q1}$, tendremos:

$$\psi = \frac{\Delta a_q}{\Delta T} = \frac{(a_{q1} + a_{q2})V}{3,6(b + Z)}$$

(fórmula considerada en la ya citada prEN 13803-2).

$$\text{y como } a_{q2} = \frac{V^2}{3,6^2 \cdot R_2} \quad a_{q1} = \frac{V^2}{3,6^2 \cdot R_1}$$

se cumplirá:

$$\psi = \frac{V^3}{3,6^3 \cdot R_i (b + Z)} \quad R_i = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V \leq 2,9\sqrt{R_2} \quad (\text{para } D = 0)$$

A efectos prácticos, como en el apartado 4.2.1, se considera $I_1 \leq I_2 \leq I_{lim}$ según apartado 4.1.

a) Para ΔI :

- Si $Z \geq Z_{min}$, según apartado 4.2.1, se consideran dos curvas independientes, y así:

$$I_1 = \Delta I_1 \leq (\Delta I)_{lim} \quad I_2 = \Delta I_2 \leq (\Delta I)_{lim}$$

- Si $0 \leq Z < Z_{min}$, según apartado 4.2.1, se considerará

$$\Delta I = I_1 + I_2 \leq (\Delta I)_{lim}$$

b) Para $\Delta I/\Delta T$:

- Si $Z = 0 \rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{I_1 + I_2}{\Delta T} \leq \left(\frac{\Delta I}{\Delta T} \right)_{lim}$

- Si $Z \geq b$ se consideran dos curvas independientes, y así:

$$\frac{\Delta I_1}{\Delta T} \leq \left(\frac{\Delta I}{\Delta T} \right)_{lim} \quad \frac{\Delta I_2}{\Delta T} \leq \left(\frac{\Delta I}{\Delta T} \right)_{lim}$$

- Si $0 < Z < b$, se cumplirá:

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{I_1 + I_2}{\Delta T} \leq \left(\frac{\Delta I}{\Delta T} \right)_{lim} \quad \text{y con este valor}$$

$$\Delta I = \frac{3,6 \cdot \frac{\Delta I}{\Delta T} (Z + b)}{V} \leq \Delta I_1 \leq \Delta I_2$$

Notas:

- En caso de necesitar R_2 sobreecho, se establecerá al inicio de dicha curva.
- Para evitar superposición de topes $R_i > 125 \text{ m}$, en caso de no existir recta intermedia.

- En caso de $R_i < 125$ m será siempre necesario establecer una recta intermedia de longitud:

$$Z_{min} = \frac{85000}{R_i^2}$$

Casos particulares:

- Para $R_1 = \infty$, $R_2 = R$, $Z = 0$ $\psi = \frac{V^3}{3,6^3 \cdot b \cdot R}$

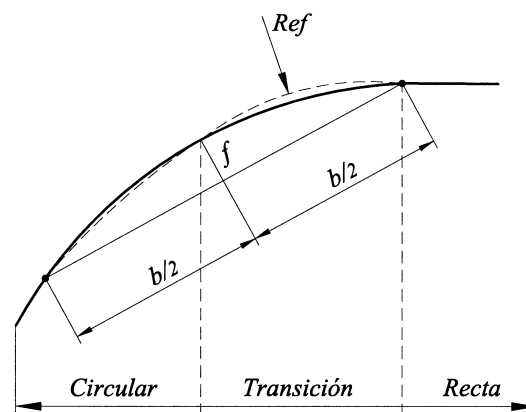
- Para $R_1 = R_2 = R$, $Z = 0$ $\psi = \frac{2 \cdot V^3}{3,6^3 \cdot b \cdot R}$

- Para $R_1 = \infty$, $R_2 = R$, $b = 0$ $\psi = \frac{V}{3,6Z} \cdot a_q$

4.3. CASOS PARTICULARES

La citada prEN 13803-2, considera los siguientes casos particulares:

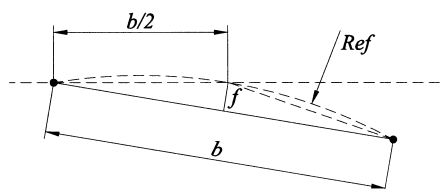
- En el caso de existir una longitud de transición más pequeña que b (lo que es habitual en algunos trazados de la vía desviada de desvíos), su radio equivalente debe ser fijado entre fabricante y cliente.



Una forma de hacerlo es utilizar la flecha f en la mitad de la distancia entre pivotes de bogies del vehículo (b), en lugar del radio de la curva, medida en el caso más desfavorable, debiéndose entonces sustituir el radio R , en las ecuaciones por el radio efectivo:

$$R_{ef} = \frac{b^2}{8f}$$

- Otro caso de aplicación de R_{ef} es en la discontinuidad angular que existe en la punta de aguja (como ocurre especialmente en los desvíos tipo B, al tener trazado secante).



Esta forma de medición del radio a través de la flecha (cuando $L_i < b$) es igualmente aplicable a cada lado del punto de discontinuidad del trazado, tomando como extremo de las cuerdas dicho punto, tanto con curvas circulares, como con curvas de transición, a saber:

- enlace recta-curva.
- curva y contracurva.
- curvas enlazadas.

Veamos estos considerandos en los desvíos tipos B, C, V y P empleados en Renfe, para definir el radio efectivo de la vía desviada, en la zona de punta de aguja curva, a efectos de cálculo del parámetro I para $C = b = 18$ m.

Tipo de desvío	R (teórico)	f	R_{ef}
B	320	96	422
C - V - P	250	95,7	423
	318	79,9	507
	500	51,4	788
	1500	20,1	2015

En base a estos valores de R_{ef} , se calcula:

$$I = 13,7 \frac{V^2}{R_{ef}} \leq I_{lim} \text{ (para } D = 0)$$

Y en caso de desvío en curva:

$$R_i = \frac{R_{ef} \cdot R}{R_1 \pm R}$$

+ radio vía directa de igual sentido que R_{ef}
 - radio vía directa distinto sentido que R_{ef}
 R_1 R (teórico)
 R radio vía directa

$$I = 13,7 \frac{V^2}{R_i} - D \leq I_{lim}$$

Para el cálculo de ΔI e $\Delta I/\Delta T$ no es aplicable este valor de R_{ef} sino el del radio real de la vía desviada.

5. TRAMOS CON DESVÍOS

5.0. CONSIDERACIONES GENERALES

Dentro del sistema de vía, caracterizado por su continuidad lineal, se hace necesario estudiar separadamente los tramos en los que se encuentran elementos singulares individualizados como son los aparatos de vía, debido a :

- Su problemática, a saber:
 - Puntos más débiles de la superestructura de la vía.
 - Mantenimiento más costoso y especializado.
 - Vida útil inferior al resto de la vía.
 - Exigencias de concepción, diseño, fabricación y montaje más estrictas que las de la propia vía.

- Coste de inversión e instalación, proporcionalmente, más alto que la vía.
- Sus características dinámicas negativas, a saber:
 - Discontinuidad en la dirección de las circulaciones, si toman la vía desviada (sin transición).
 - Discontinuidad en la aceleración sin compensar, al paso por la vía desviada.
 - Discontinuidad en la elasticidad respecto a la vía (fundamentalmente en los cruzamientos).
 - Discontinuidad en el apoyo de las ruedas al paso por el cruzamiento (pasan de pata de liebre a punta de corazón). Cambio brusco de la cota de punto de apoyo de la rueda donde la masa no compensada puede llegar a aceleraciones mayores de 100 g.
- Las exigencias de circulación, a saber:
 - Al menos una de sus ramas debe permitir el paso a la velocidad de la vía adyacente.
 - El material motor y móvil no debe sufrir otros esfuerzos que los que soportará el paso por una vía equivalente.

En cuanto al desvío como tal, a efectos de su curvado para la implantación en una curva, ha de tenerse en cuenta la forma de suministro, esto es:

- La parte metálica del desvío (desde JCA a TC) curvada con sus traviesas, preparadas para su implantación.
- Las traviesas especiales que unen ambas vías (general y desviada) con los taladros en posición para instalar el carril con su curvatura, y que son parte integrante del suministro del desvío.

Estas traviesas se sitúan perpendicularmente a la bisectriz del ángulo formado por la semisuma de los ángulos de las tangentes de las dos vías (general y desviada).

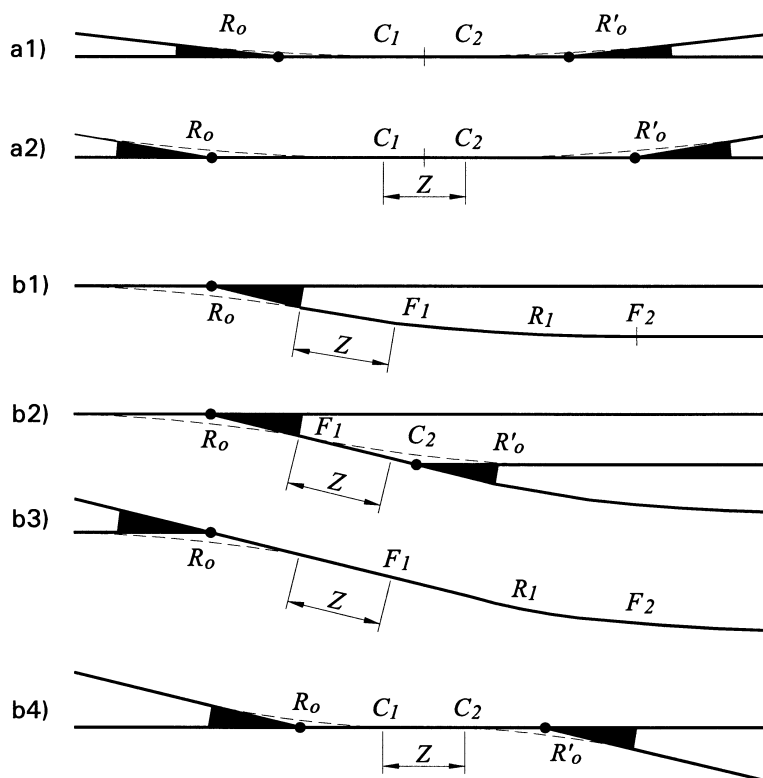
A estos efectos, la longitud de un desvío sencillo, para su cálculo, debe estar referida a todo ese tramo, pero no así en los escapes, que se calculan y construyen de acuerdo con la entrevía existente, por lo que dicho final es habitualmente el del mismo talón del corazón.

Dichas longitudes son:

Tipo de desvío	Radio desviada (m)	Corazón	Longitud desvío (mm)	Longitud suministro (m)	Longitud recta corazón	Longitud recta total en corazón
B	320/230	0,11 CR	34965	35,0	7174	6965
	320/417	0,09 CR	38883	38,9	7263	8838
	500	0,075 CR	48122	50,3	9735	11297
C	250	0,11 CR	34409	35,9	6149	7097
	318,37	0,09 CR	38320	40,4	9831	10920
	318,37	0,11 CC	37643	39,2		
	318,37	1:8,5 CC	38070	39,6		
	500	0,075 CR	46550	49,9	9165	11298
	500	0,09 CC	44834	48,1		
V	1500	0,042 CR	79130	86,7	16193	23111
	1500	0,052 CC	77904	85,4		
P	318,37	0,09 CR	38412	42,1	9473	12811
	318,37	0,11 CC	37200	40,3		
	318,37	1:8,5 CC	38069	39,3		
	500	0,071 CR	46870	53,2	11261	16391
	500	0,09 CC	45620	49,9		
	1500	0,042 CR	79130	89,3	16193	26068

5.1. ENLACES ENTRE DESVÍOS

Los enlaces entre desvíos o desvío con curva, en recta, sin peralte, pueden adoptar las siguientes formas:



En caso de escapes, la forma general será la de la curva y contracurva (casos b3 y b4).

Las travesías son siempre casos particulares de los anteriores, según los itinerarios a estudiar.

Se deben tener en cuenta los siguientes datos:

- En desvíos con corazón recto, para el cálculo de Z en el paso por sus talones o en escapes, debe considerarse la longitud recta de la parte del corazón.
- Entre dos extremos de desvíos (JCA-JCA, JCA-TC ó TC-TC) por reposición de mantenimiento, debe intercalarse un cupón de carril de longitud $\geq 6\text{m}$.
- La influencia dinámica de las circulaciones sobre los aparatos de vía es superior a la de la vía estándar.

Además se puede observar que los aparatos de vía tienen una influencia desfavorable sobre el comportamiento de los ejes y sobre el confort, al paso por la punta de las agujas, del contracarril y del corazón. Los contracarriles situados en el hilo interior sufren una fuerte sollicitación.

Parece lógico, pues, prever una insuficiencia de peralte inferior a la de la vía estándar.

Es por ello, por lo que en todos los casos se deben cumplir las prescripciones indicadas en el capítulo 4.

Lo mismo es válido para las travесías, los aparatos de dilatación, las encarriladoras, los tramos metálicos y los pasos a nivel.

- A fin de limitar el ángulo de ataque de la rueda a la aguja del desvío, en su inscripción en curva, no deberá enlazarse un desvío en recta por su punta con una curva circular de $R \leq 500$ m y del mismo sentido que su vía desviada, a menos que se intercale una recta de longitud:

$$Z \geq \frac{1500}{R} - 3$$

- Para limitar los esfuerzos de compresión en los carriles de la vía intermedia entre dos aparatos de vía, se recomienda la instalación de un tramo de longitud mínima $\geq b = 18$ m (casos a2, b2 y b4, así como entre talón y punta de desvíos consecutivos) o de 6 m, en caso de talones enfrentados.

En caso de no ser posible esta solución, se prolongará el montaje de placas antipandeo de las zonas de punta, en una de cada tres travесías.

- No deben instalarse aparatos de vía a menos de 40 m de los apoyos de puentes, a menos de realizar estudios particulares sobre la interacción entre ambos.
- Se debe evitar el montaje de desvíos en curvas verticales. Cuando ello no sea posible se admitirán como valores límite (para $V \leq 160$ km/h):

Acuerdos cóncavos normal $R_v \geq 3000$ m : mínimo ≥ 2000

Acuerdos convexos normal $R_v \geq 5000$ m : mínimo ≥ 2000

Si coinciden con rampa de peralte $R_v \geq 10000$ m

Lo que significa que el peralte teórico pasa de D a:

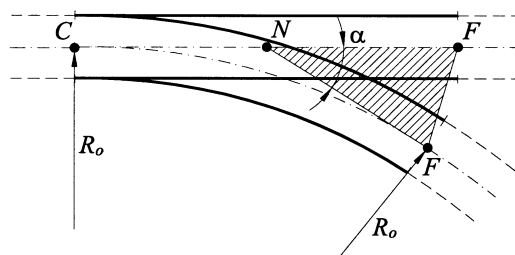
$$D_{real} = D \left(1 \pm \frac{V^2}{3,6^2 g \cdot R_v} \right) \begin{array}{l} + \text{cóncavos} \\ - \text{convexos} \end{array}$$

- En caso de travесías tipo B, de las que deben evitarse siempre que sea posible su montaje sobre vías generales (corazones obtusos) $V \leq 120$ km/h.

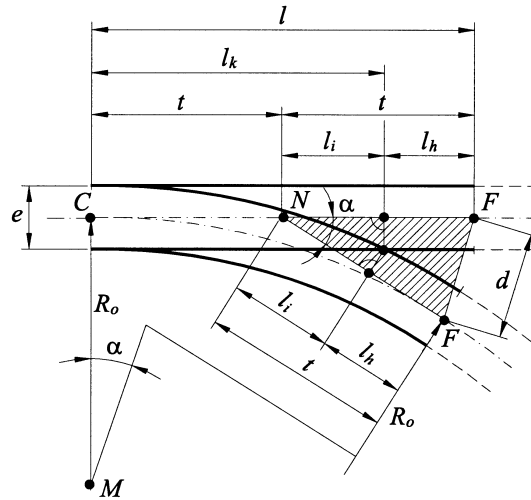
A continuación del presente apartado se incluye un mayor detalle sobre las características geométricas de los desvíos, en su instalación en recta o en curva, así como sobre radios asociados.

5.2. DESVÍO CON CORAZÓN CURVO

- Esquema del desvío



- Geometría del desvío



$$t = R_o \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

$$l_k = \sqrt{2R_o \cdot e}$$

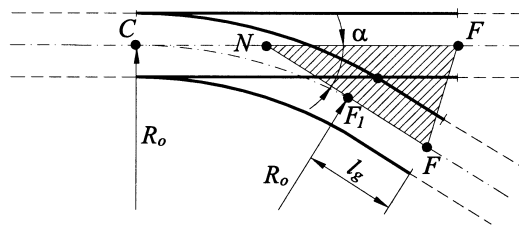
$$l_i = l_k - t$$

$$l_h = t - l_i$$

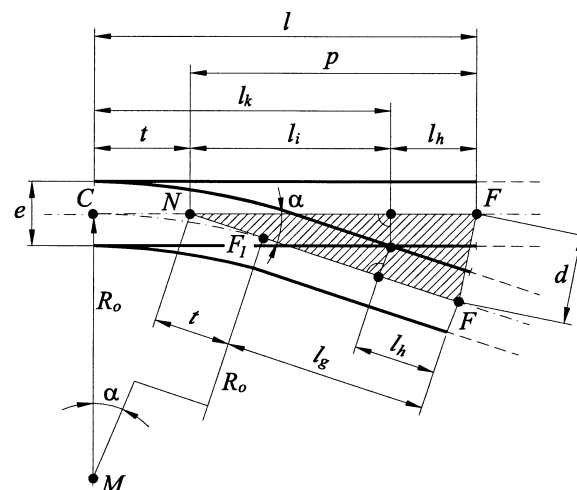
$$l = 2t$$

5.3. DESVÍO CON CORAZÓN RECTO

- Esquema del desvío



- Geometría del desvío



$$t = R_0 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

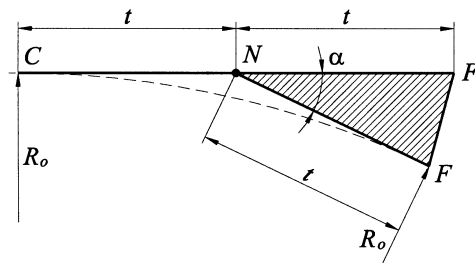
$$l_i = \frac{e}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad l_k = t + l_i$$

$$p = \frac{d}{2 \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}}$$

$$l_h = p - l_i \quad l = t + p$$

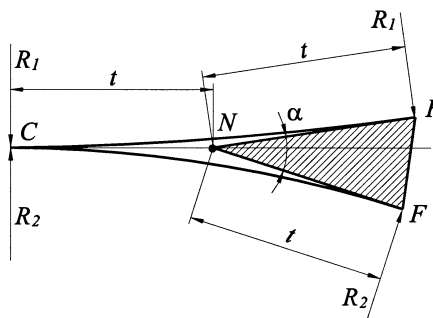
5.4. CURVADO DE UN DESVÍO CON CORAZÓN CURVO

- Esquema básico del desvío



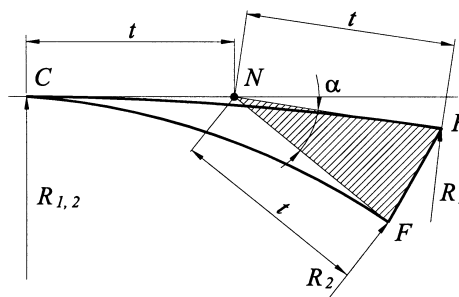
- Curvado exterior (vía directa con radio R_1)

$$R_2 = \frac{R_0 \cdot R_1 + t^2}{R_1 - R_0} \cong \frac{R_0 \cdot R_1}{R_1 - R_0}$$



- Curvado interior (vía directa con radio R_1):

$$R_2 = \frac{R_0 \cdot R_1 - t^2}{R_0 + R_1} \cong \frac{R_0 \cdot R_1}{R_0 + R_1}$$



- Casos posibles (vía directa con radio R):



$$R > R_0 \quad \rightarrow \quad R_2 = \frac{R_0 \cdot R - t^2}{R_0 + R} \cong \frac{R_0 \cdot R}{R_0 + R}$$

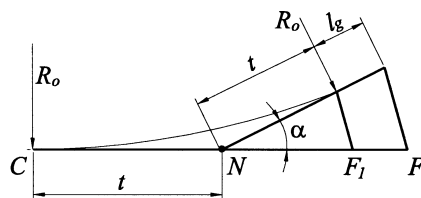
$$R < R_0 \quad \rightarrow \quad R_1 = \frac{R_0 \cdot R + t^2}{R_0 - R} \cong \frac{R_0 \cdot R}{R_0 - R}$$

$$R \geq 2R_0 \quad \rightarrow \quad R_3 = \frac{R_0 \cdot R + t^2}{R - R_0} \cong \frac{R_0 \cdot R}{R - R_0}$$

$$R_0 < R < 2R_0 \quad \rightarrow \quad R_4 = \frac{R_0 \cdot R + t^2}{R - R_0} \cong \frac{R_0 \cdot R}{R - R_0}$$

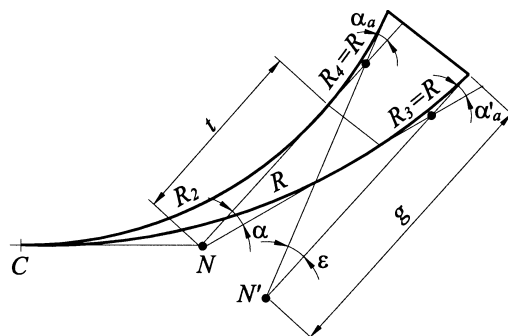
5.5. CURVADO DE UN DESVÍO CON CORAZÓN RECTO

- Esquema básico del desvío



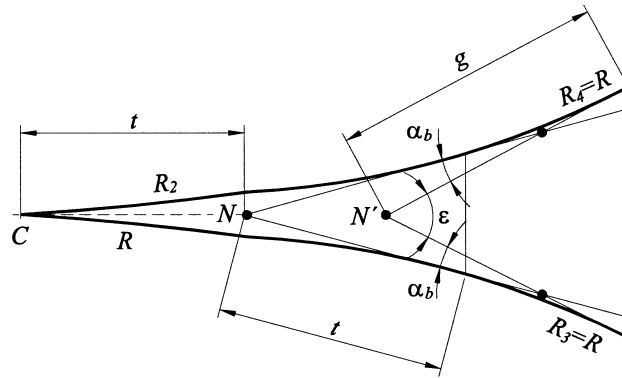
- Curvado interior (vía directa con radio R):

$$R_2 = \frac{R_0 \cdot R - t^2}{R_0 + R} \cong \frac{R_0 \cdot R}{R_0 + R}$$

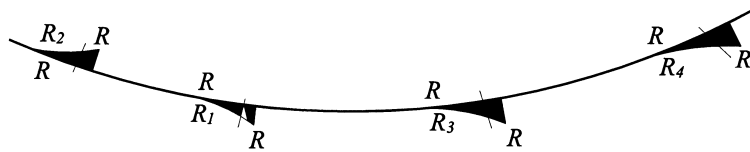


- Curvado exterior (vía directa con radio R)

$$R_2 = \frac{R_0 \cdot R + t^2}{R - R_0} \cong \frac{R_0 \cdot R}{R - R_0}$$



- Casos posibles (vía directa con radio R):



$$R > R_0 \quad \rightarrow \quad R_2 = \frac{R_0 \cdot R - t^2}{R_0 + R} \cong \frac{R_0 \cdot R}{R_0 + R}$$

$$R < R_0 \quad \rightarrow \quad R_1 = \frac{R_0 \cdot R + t^2}{R_0 - R} \cong \frac{R_0 \cdot R}{R_0 - R}$$

$$R \geq 2R_0 \quad \rightarrow \quad R_3 = \frac{R_0 \cdot R + t^2}{R - R_0} \cong \frac{R_0 \cdot R}{R - R_0}$$

$$R < R < 2R_0 \quad \rightarrow \quad R_4 = \frac{R_0 \cdot R + t^2}{R - R_0} \cong \frac{R_0 \cdot R}{R - R_0}$$

6. TRAMOS CON ESCAPES EN CURVA

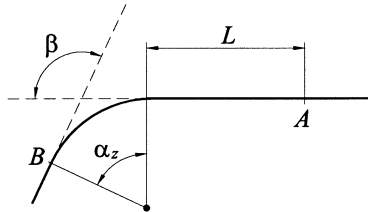
6.0. CONSIDERACIONES GENERALES

La geometría del trazado de la vía secundaria:

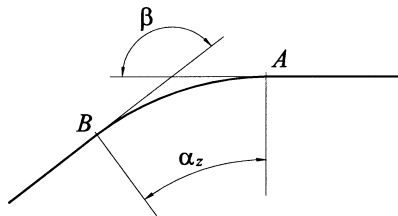
- En la zona de los desvíos es fija y depende del radio del trazado de las vías principales y del tipo de desvío.

- Entre talones de cruzamiento (F) depende de la distancia (Z) entre los mismos y del ángulo de cruce (β) entre las tangentes en dichos puntos (A y B), pudiéndose darse teóricamente los siguientes casos:

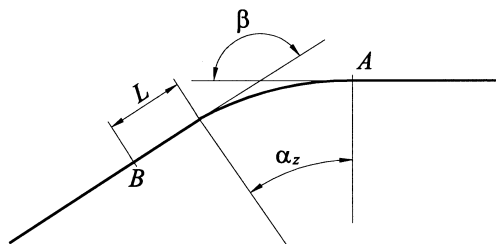
1) Circular + recta



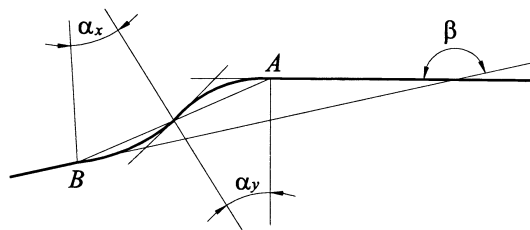
2) Circular



3) Recta + circular



4) Dos circulares de sentido contrario (curva y contracurva)



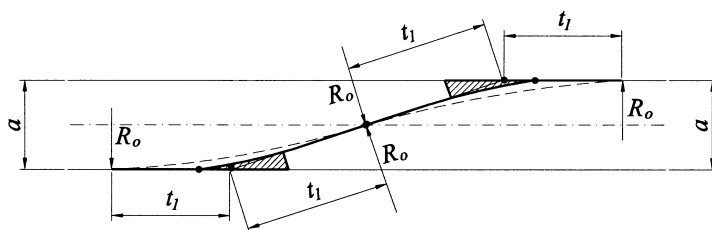
La posición relativa entre ambos debe ser calculada de tal forma que corresponda a la de curva circular (posición 2). Para ello se fija la posición de uno de los desvíos y a continuación se tantea la posición relativa del otro hasta conseguir dicha forma de enlace.

A continuación del presente apartado se incluye un mayor detalle sobre las características geométricas de los escapes, su instalación en recta o en curva, así como los radios asociados.

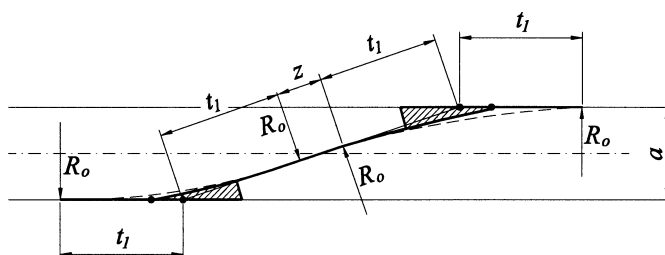
6.1. ESCAPE CON CORAZONES CURVOS

6.1.1. ALGUNOS CASOS PARTICULARES DE ESCAPES CON CORAZÓN CURVO

- Esquema básico de escape sin recta intermedia.

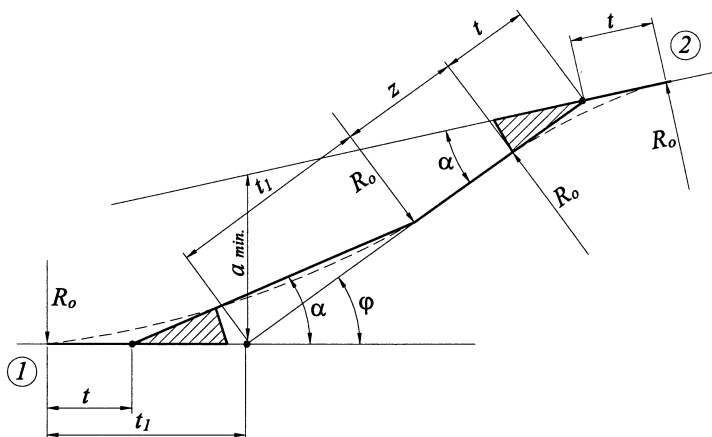


- Esquema básico de escape con prolongación curva en ambas vías.



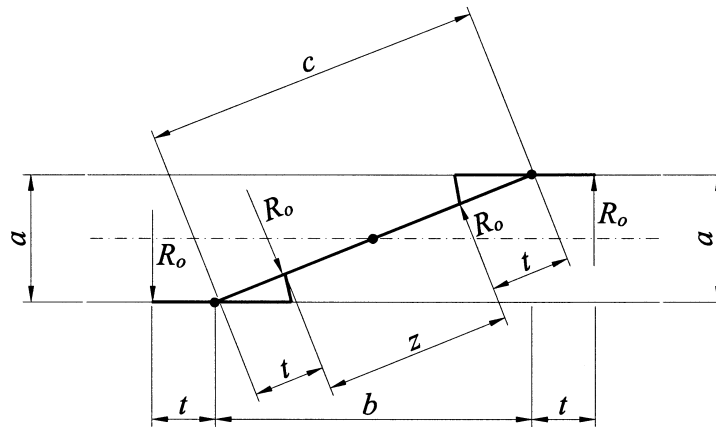
- Esquema básico de escape entre vías no paralelas, con prolongación de una curva de vía desviada ($\varphi > \alpha$).

El desvío 1 debería ser de corazón curvo y el 2 de corazón recto.



6.2. CURVADO DE ESCAPE CON CORAZONES CURVOS

- Esquema básico del escape.

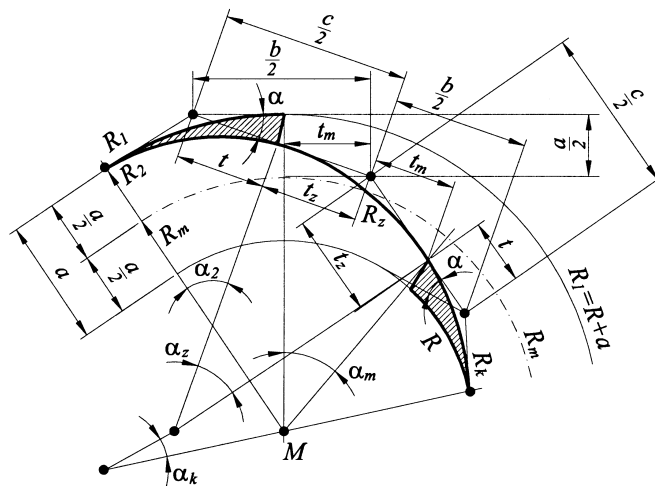


- Geometría del escape curvado.

- a) Caso de dos curvas concéntricas con vías desviadas curvadas en el mismo sentido (dos desvíos interiores):

$$R_2 = \frac{R_0 \cdot R_1 - t^2}{R_0 + R_1} \cong \frac{R_0 \cdot R_1}{R_0 + R_1} \quad (R_1 > R_0)$$

$$R_k = \frac{R_0 \cdot R + t^2}{R_0 - R} \cong \frac{R_0 \cdot R}{R_0 - R} \quad (R < R_0)$$

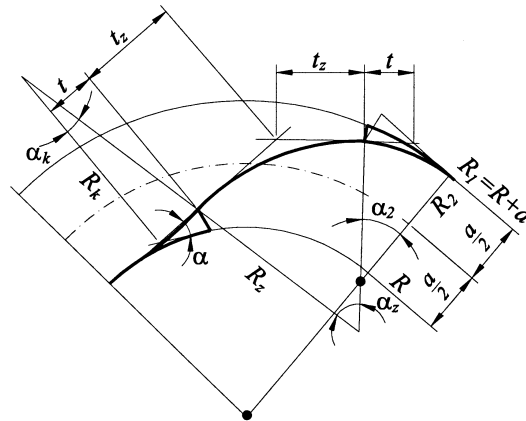


- b) Caso de dos curvas concéntricas con vías desviadas curvadas en distintos sentidos (un desvío exterior y un desvío interior):

$$R_2 = \frac{R_0 \cdot R_1 - t^2}{R_0 + R_1} \cong \frac{R_0 \cdot R_1}{R_0 + R_1} \quad (R_1 > R_0)$$

$$R = \frac{R_0 \cdot R_k + t^2}{R_k - R_0} \cong \frac{R_0 \cdot R_k}{R_0 - R_k} \quad (R \geq 2R_0)$$

$$R_k = \frac{R_0 \cdot R + t^2}{R - R_0} \cong \frac{R_0 \cdot R}{R - R_0} \quad (R < 2R_0)$$



- Datos comunes a los casos a) y b):

$$R_z = \frac{t_z}{t_m} R_m$$

$$R_z = \frac{z}{a \cdot n - 2t} R_m$$

$$t_z = \frac{c}{2} - t$$

$$t_m = \frac{b}{2} - t$$

$$\frac{b}{2} = \frac{a}{2} n = t_m + t$$

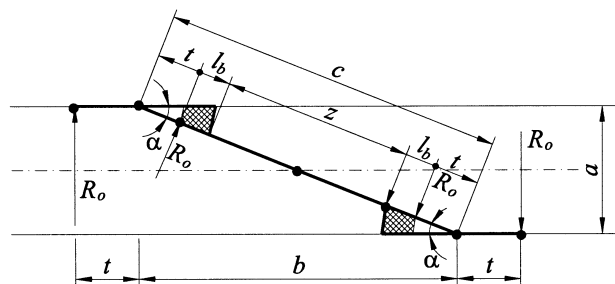
$$\frac{c}{2} = \frac{a}{2 \operatorname{sen} \alpha} = t_z + t$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_z}{2} = \frac{t_m}{R_m} = \frac{t_z}{R_z}$$

$$c \cdot \operatorname{tg} \alpha = n$$

6.3. ESCAPE CON CORAZONES RECTOS

- Esquema básico del escape:



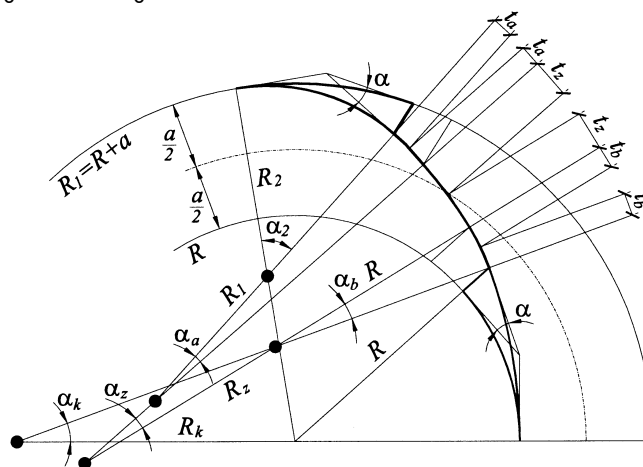
6.4. CURVADO DE ESCAPE CON CORAZONES RECTOS

- Geometría del escape curvado:

- a) Caso de dos curvas concéntricas con vías desviadas curvadas en el mismo sentido (dos desvíos interiores):

$$R_2 = \frac{R_0 \cdot R_1 - t^2}{R_0 + R_1} \cong \frac{R_0 \cdot R_1}{R_0 + R_1} \quad (R_1 > R_0)$$

$$R_k = \frac{R_0 \cdot R + t^2}{R_0 - R} \cong \frac{R_0 \cdot R}{R_0 - R} \quad (R < R_0)$$

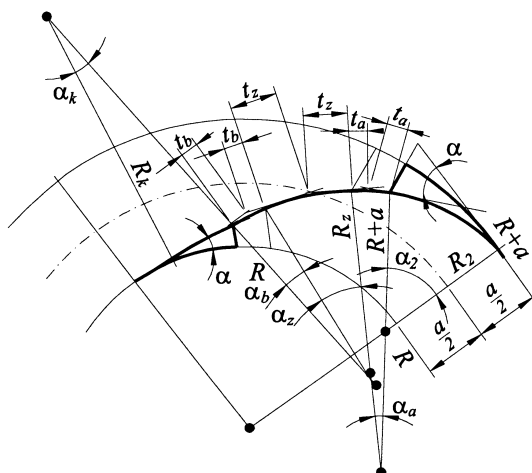


- b) Caso de dos curvas concéntricas con vías desviadas curvadas en distintos sentidos (un desvío exterior y un desvío interior):

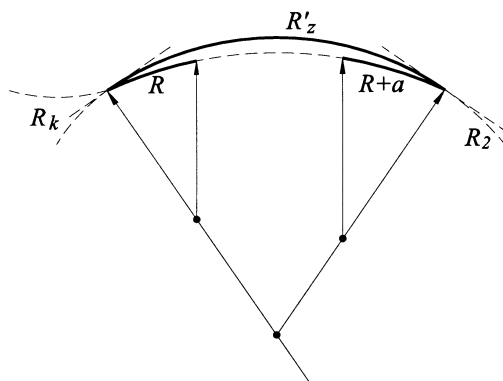
$$R_2 = \frac{R_0 \cdot R_1 - t^2}{R_0 + R_1} \cong \frac{R_0 \cdot R_1}{R_0 + R_1} \quad (R_1 > R_0)$$

$$R = \frac{R_0 \cdot R_k + t^2}{R_k - R_0} \cong \frac{R_0 \cdot R_k}{R_k - R_0} \quad (R \geq 2R_0)$$

$$R_k = \frac{R_0 \cdot R + t^2}{R - R_0} \cong \frac{R_0 \cdot R}{R - R_0} \quad (R < 2R_0)$$

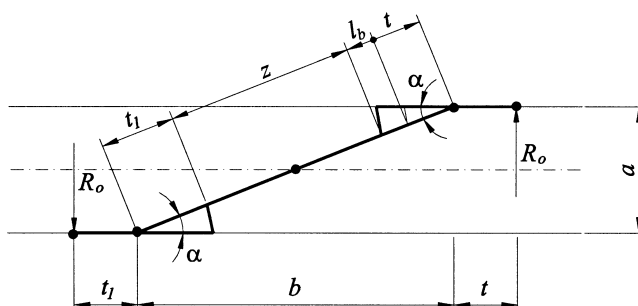


- Los casos a) y b) pueden considerarse los mismos que los incluidos en el apartado 7.2 de corazones curvos, si se tiene en consideración un radio medio ponderado R'_z (de R_1 , $R+a$ y R_2), obtenido mediante las tangentes al final de la zona recta de los talones de ambos corazones, si bien en la práctica estará constituida por dos circulares (de radios R y $R+a$) de longitud la zona recta de los corazones y una curva de enlace (circular o transición), de acuerdo con el siguiente esquema:



6.5. CURVADO DE ESCAPE FORMADO POR UN DESVÍO CON CORAZÓN RECTO Y OTRO CON CORAZÓN CURVO

- Esquema básico del escape

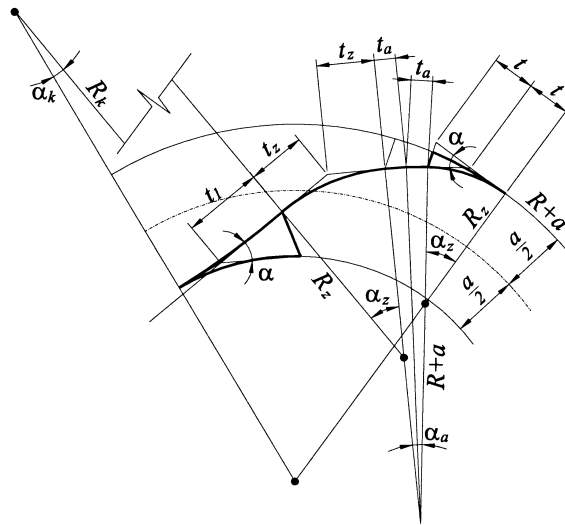


- Caso de dos curvas concéntricas con vías desviadas curvadas en sentido contrario (desvío interior con corazón recto y desvío exterior con corazón curvo)

$$R_z = \frac{R_0 \cdot R_1 - t^2}{R_0 + R_1} \cong \frac{R_0 \cdot R_1}{R_0 + R_1} \quad (R_1 > R_0)$$

$$R = \frac{R_0 \cdot R_k + t_1^2}{R_k - R_0} \cong \frac{R_0 \cdot R_k}{R_k - R_0} \quad (R \geq 2 R_0)$$

$$R_k = \frac{R_0 \cdot R + t_1^2}{R - R_0} \cong \frac{R_0 \cdot R}{R - R_0} \quad (R < 2 R_0)$$



7. ENLACE DE UN DESVÍO CON UNA CURVA

7.0. CONSIDERACIONES GENERALES

En los haces de estaciones las diferentes vías se encuentran, generalmente, posicionadas paralelamente a la vía general.

Si la estación se encuentra en curva el enlace de un desvío situado en una de las vías con otra vía paralela se realiza a través de una o dos curvas de enlace, que dependen de la ubicación del desvío y de la distancia entre ejes de vías.

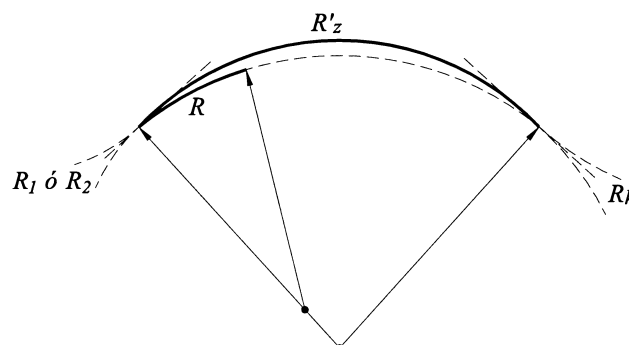
Como se puede observar, el caso de escapes, puede considerarse un caso particular de este, donde el radio de la segunda curva es un valor prefijado.

7.1. CASOS POSIBLES

En el enlace de un desvío instalado en una curva con otra curva situada paralelamente a ella pueden darse los cuatro casos que se analizan a continuación.

Por simplificación, su estudio se realiza con corazones curvos.

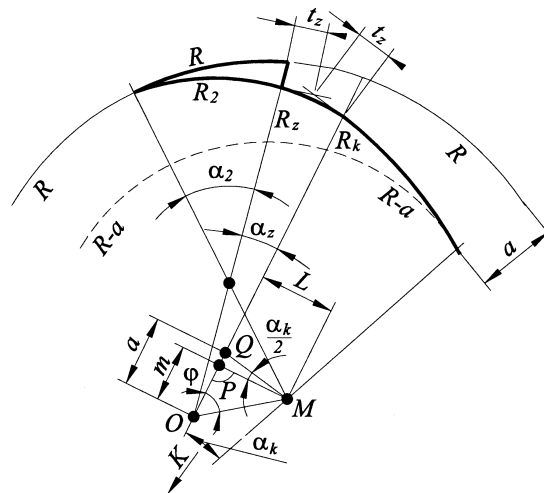
En caso de utilización de corazones rectos, y al igual que ya se ha indicado en el apartado 7.4 sobre escapes, pueden utilizarse los mismos cálculos, si bien ha de tenerse en cuenta un radio medio ponderado R'_z (de R ó $R+a$ y R_z) obtenido mediante la tangente al principio del tramo recto adyacente al corazón y a la curva (con radio R_k) adyacente, si bien en la práctica estará constituida por una o dos curvas circulares (de radio R y/o $R+a$) de longitud la zona recta del corazón y carril adyacente y una curva de enlace (circular o transición) de acuerdo con el siguiente esquema:



Hay que considerar lo indicado en el apartado 5.3 sobre radio efectivo, en el caso de que alguno de los tramos de diferentes radios tenga una longitud menor a $b=18$ m.

Caso I $m < a$

Desvío interior en curva, con tramo de enlace compuesto por dos curvas del mismo sentido del de la vía desviada:



$$\overline{MN} = \overline{ON} = R - R_2 \quad (1)$$

$$\overline{MO} = 2(R - R_2) \operatorname{sen} \frac{\alpha_2}{2} \quad (2)$$

$$\varphi = 90^\circ - \frac{\alpha_2}{2} - \alpha_z \quad (3)$$

$$m = \overline{MO} \cdot \cos \varphi \quad (4)$$

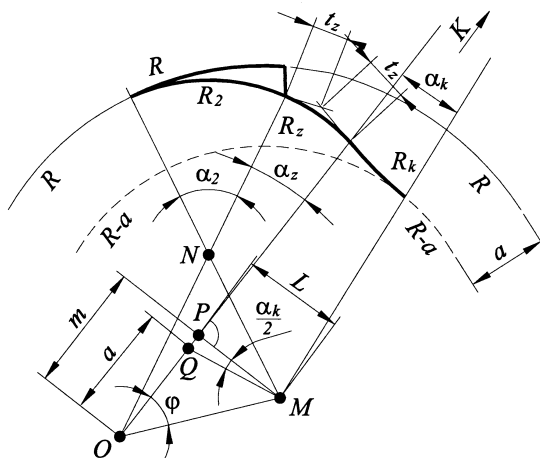
$$L = \overline{MO} \cdot \operatorname{sen} \varphi \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_k}{2} = \frac{a - m}{L} \quad (6)$$

$$R_k = (R - a) + \frac{L}{\operatorname{sen} \alpha_k} \quad (7)$$

Caso II $m > a$

Desvío interior en curva, con tramo de enlace compuesto por una curva del mismo sentido del de la vía desviada y otra curva de sentido contrario.



$$\overline{MN} = \overline{ON} = R - R_2 \quad (1)$$

$$\overline{MO} = 2(R - R_2) \operatorname{sen} \frac{\alpha_2}{2} \quad (2)$$

$$\varphi = 90^\circ - \frac{\alpha_2}{2} - \alpha_z \quad (3)$$

$$m = \overline{MO} \cdot \cos \varphi \quad (4)$$

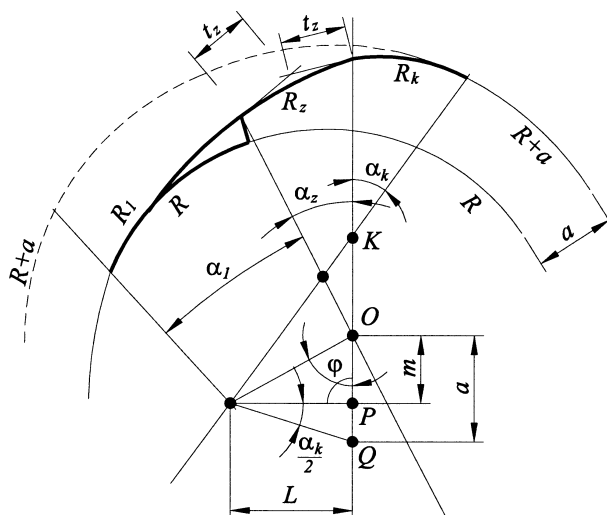
$$L = \overline{MO} \cdot \operatorname{sen} \varphi \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_k}{2} = \frac{m-a}{L} \quad (6)$$

$$R_k = (R-a) + \frac{L}{\operatorname{sen} \alpha_k} \quad (9)$$

Caso III $m < a$

Desvío exterior en curva (convergente), con tramo de enlace compuesto por dos curvas del mismo sentido del de la vía desviada.



$$\overline{MN} = \overline{ON} = R_1 - R \quad (10)$$

$$\overline{MO} = 2(R_i - R) \operatorname{sen} \frac{\alpha_1}{2} \quad (11)$$

$$\varphi = 90^\circ - \frac{\alpha_2}{2} - \alpha_z \quad (12)$$

$$m = \overline{MO} \cdot \cos \varphi \quad (4)$$

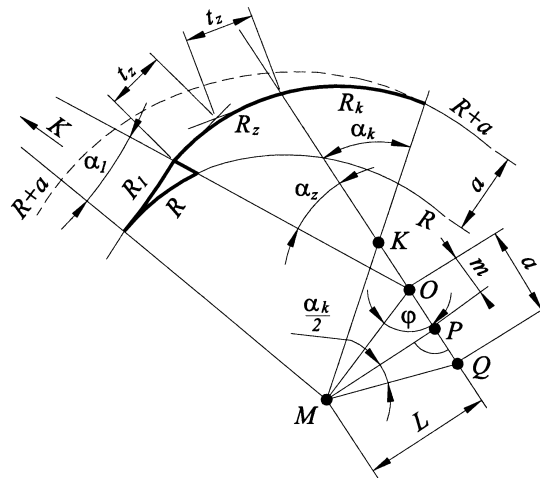
$$L = \overline{MO} \cdot \operatorname{sen} \varphi \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_k}{2} = \frac{a - m}{L} \quad (6)$$

$$R_k = -(R - a) - \frac{L}{\operatorname{sen} \alpha_k} \quad (13)$$

Caso IV $m < a$

Desvío exterior en curva (divergente), con tramo de enlace compuesto por dos curvas del sentido contrario del de la vía desviada.



$$\overline{MN} = \overline{ON} = R_1 + R \quad (14)$$

$$\overline{MO} = 2(R_i + R) \operatorname{sen} \frac{\alpha_1}{2} \quad (15)$$

$$\varphi = 90^\circ + \frac{\alpha_1}{2} - \alpha_z \quad (16)$$

$$m = \overline{MO} \cdot \cos \varphi \quad (4)$$

$$L = \overline{MO} \cdot \operatorname{sen} \varphi \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_k}{2} = \frac{a - m}{L} \quad (6)$$

$$R_k = (R + a) - \frac{L}{\operatorname{sen} \alpha_k} \quad (13)$$

8. APARATOS DE VÍA IMPLANTADOS EN CURVA

8.0. CONSIDERACIONES GENERALES

Los aparatos de vía deben implantarse prioritariamente en recta, y si ello no es posible en curva circular (los escapes en dos curvas concéntricas).

Su implantación en curva de transición (fundamentalmente si está con peralte y es exterior) o una parte de una curva de transición y otra de la recta o curva circular adyacente, deben reducirse sólo a casos excepcionales, dada la gran variación de su rigidez torsional entre la parte de las agujas y del cruzamiento, según características y tipos de desvíos, así como del carril y corazón que los componen. En el caso de instalarse con corazones curvos al principio o fin de la misma, debe contar con la autorización de la Dirección Técnica, que realizará los correspondientes estudios particulares.

Se debe tener en cuenta que:

- Son de aplicación todos los parámetros indicados en el capítulo 4, incluso en caso de implantación sobre curva de transición.
- El radio mínimo teórico de las vías general y desviada es de 175 m.
- Con el fin de que los esfuerzos transversales sobre la vía general en curva en la que se encuentren instalados aparatos de vía, sean del mismo orden que los producidos por el resto de circulaciones, debe limitarse el valor de I a 175 mm.
- El valor de I_{lim} máximo al paso por vía general (vía directa), con aparatos de vía debe ser:

Trenes tipo N: $I_{lim} \leq 115$ mm

Resto trenes: $I_{lim} \leq 175$ mm

Se recomienda, no obstante, no rebasar los siguientes valores:

I_{lim} [mm] (1)	$V \leq 160$	$160 < V \leq 220$
Desvío con corazón de punta fija	125	100
Travesía tipo B	100	75
Desvío con corazón de punta móvil	150	150
Aparatos de dilatación	115	70

(1) El valor máximo para circulación de trenes tipo N es de 115 mm

En líneas adaptadas a Alta Velocidad, no podrán rebasarse los siguientes valores:

V	I_{lim}
$V \leq 160$	180
$160 < V \leq 200$	170
$200 < V \leq 230$	160
$230 < V \leq 250$	150

8.1. CURVAS SIN PERALTE

Calculados los valores de ΔI , $\Delta I/\Delta T$ (apartado 4.1) y de Z (apartado 4.2.1), se calculará la velocidad máxima de paso por desviada:

$$V \leq 0,27\sqrt{\Delta I \cdot R}$$

$$V \leq \frac{3,6 b \left(\frac{\Delta I}{\Delta T} \right)}{\Delta I} \quad \text{Para } b=18 \text{ m:} \quad V \leq \frac{64,8 \left(\frac{\Delta I}{\Delta T} \right)}{\Delta I}$$

8.2. CURVAS CON PERALTE

Para su cálculo se deberán tener en cuenta, de acuerdo con el apartado 7.1, las siguientes consideraciones:

- $R_m = R+a = R - a = R$.
- El valor de $I_{\text{lím}}$ será el indicado en el apartado 8.0.
- El peralte límite de las vías generales con aparatos de vía no debe superar los siguientes valores:

$D_{\text{lím}}$ (A.D. y vías directa y desviada desvíos convergentes) ≤ 150 mm, permitiéndose en casos excepcionales hasta 160 mm. Valor recomendado 115 mm.

$D_{\text{lím}}$ (vía directa con desvíos divergentes) ≤ 130 mm. Valor recomendado 115 mm.

- Para evitar el riesgo de descarrilamiento de vagones de gran rigidez torsional en la vía desviada de pequeño radio, el peralte ha de limitarse a:

$$D_{\text{lím}} = \frac{R-50}{1,75}$$

- El exceso de peralte (en vías directa y desviada de desvíos) queda limitado a (se supone $D > 0$):

$$E_{\text{lím}} = D - \frac{V^2}{13,66 R} \leq 120 \text{ mm}$$

- La situación de peralte negativo es inevitable en aparatos de vía instalados sobre vías generales en curva peraltada, cuando la vía desviada es de distinto sentido que la vía general (desvíos sencillos divergentes y desvío en vía interior de escape, donde la curva cambia de dirección). En ellos el carril exterior está a nivel inferior que el interior. Entonces:

$$I = 13,66 \frac{V^2}{R} + D \quad (D \text{ con su valor absoluto})$$

- Los valores de ΔI e $\Delta I/\Delta T$ serán los reflejados en el apartado 4.1.
- El valor de I , en una curva de radio R_e es:

$$I = 13,66 \frac{V^2}{R_e} - D \quad (D > 0)$$

- En el caso excepcional de instalarse desvíos en curva de transición, se recomienda cumplir:

- En caso de $V \leq 120$ km/h en la vía directa, la variación máxima de la rampa de peralte será de 0,7 mm/m, tanto dentro del aparato, como en una longitud mínima de 9 m en cada uno de sus extremos.
- En caso de $V > 120$ km/h en la vía directa, la distancia mínima entre el extremo de la transición y el inicio del desvío (por su punta o talón) será $\geq b = 18$,
- El cambio de peralte sobre vía desviada, en la zona inicial o final del desvío, ha de hacerse con un máximo de 2 mm/m, no pudiéndose efectuar mediante cajeo de las traviesas. Todo el desvío debe tener igual peralte.

8.2.1. ESCAPE EN CURVA O ENLACE DESVÍO-CURVA PERALTADOS

Si consideramos que las dos curvas son concéntricas y con el mismo o diferente peralte, se pueden presentar los casos indicados en el apartado 7.1, que por simplificación se resumen en:

- Todas las curvas del mismo sentido (casos I y III).
- Una curva de sentido contrario al resto, a saber R_k (caso II) y R_l (caso IV).

El cálculo de velocidades se realizará por cada tramo de curvatura constante (R , R_l , R_z y R_k), teniendo en cuenta el peralte negativo de las curvas de sentido contrario en los casos II y IV, con las consideraciones del apartado 4.3, considerando el valor de I en cada una de ellas y las variaciones ΔI y $\Delta I/\Delta T$, en sus enlaces.

En el caso de enlace de un desvío con un tramo de curvatura constante (recta o curva), diferente al anterior, en general viene a ser una simplificación de uno de los cuatro casos aquí estudiados.

Igualmente en el caso de que el desvío tenga un peralte y la vía de enlace otro distinto, el cambio de peralte se realizará en las curvas de enlace (a ser posible en el tramo con mayor radio), calculándose, en este caso, cada tramo con el menor y mayor de los valores de D existentes en el mismo.

I. Definiciones

Aguja.- Pieza del cambio que se adapta a su contraaguja y permite la desviación de las circulaciones.

Cambio.- Elemento de un desvío que ocasiona la separación de las circulaciones hacia una vía determinada. Comprende las agujas y las contraagujas.

Contraaguja.- Pieza fija del cambio a la que se acopla la aguja.

Corazón.- Elemento de los desvíos y las travesías donde se materializa el corte del hilo izquierdo (derecho) de una vía con el hilo derecho (izquierdo) de otra. Se compone de una (agudo) o dos (obtusos) puntas de corazón y de las correspondientes patas de liebre.

Corazón curvado.- Es el corazón que, partiendo de uno estándar -recto o curvo-, se obtiene por deformación de éste en prensa.

Corazón curvo.- Es aquél en el que el hilo de la vía desviada adopta una línea quebrada, o curva, similar a la teórica. El hilo de la vía directa es recto.

Corazón móvil.- Se dice del corazón concertado con el movimiento de las agujas del cambio. Su punta se acopla a uno u otro hilo. No necesita contracarriles

Cruzamiento.- Constituye la parte final del desvío. Se compone de un corazón, dos contracarriles y los dos tramos de vía correspondientes.

Curva circular.- Curva de radio constante.

Curva compuesta.- Curva formada por dos curvas circulares de diferente radio y mismo sentido de curvatura. Estas dos curvas adyacentes pueden estar unidas mediante curvas de transición.

Curva de transición.- Curva de radio variable. Las curvas de transición pueden encontrarse entre dos curvas circulares, cada una de radio diferente, o entre una curva circular y una recta. Normalmente se utilizan la clotoide o la parábola cúbica para las curvas de transición, resultando una variación constante de la curvatura y del peralte. En algunos casos, el diagrama de curvatura se redondea en sus extremos. Dentro de estos tipos de transiciones, existe generalmente proporcionalidad entre la curvatura y el peralte.

Curva y contracurva.- Secuencia de trazado formada por dos circulares con diferente sentido de curvatura. Estas dos curvas adyacentes pueden estar unidas mediante curvas de transición.

Desvío.- Aparato de vía que sirve para encauzar el tráfico en un sentido determinado.

Desvío convergente.- Desvío en curva con las curvaturas de las vías directa y desviada en el mismo sentido.

Desvío divergente.- Desvío en curva con las curvaturas de las vías directa y desviada en sentido contrario.

Desvío en curva.- Cuando la vía directa está en alineación curva.

Desvío en recta.- Cuando la vía directa está en alineación recta.

Desvío exterior (interior).- Se dice del desvío en alineación curva cuyo corazón se encuentra situado sobre el hilo exterior (interior) de la vía directa.

Desvío sencillo.- Aparato de vía que permite una sólo bifurcación. Es válido para ancho Renfe y para ancho internacional.

Desvío tipo P.- Desvío unificado sobre traviesa de hormigón. Es válido para ancho Renfe y para ancho internacional.

Escape sencillo.- Aparato de vía que pone en comunicación la circulación de dos vías, generalmente paralelas, mediante dos desvíos con igual o diferente tangente y con sus vías desviadas en prolongación una de otra.

Exceso de peralte.- Cuando la velocidad de un vehículo que circula por una curva es menor que la velocidad de equilibrio, actuará una fuerza transversal (en el plano de la vía) dirigida hacia el interior de la curva. El peralte es excesivo para dicha velocidad y la fuerza resultante pasará más cerca del carril interior que del carril exterior de la curva. Las condiciones de equilibrio cuasiestático podrían restablecerse disminuyendo el peralte en la cantidad en que resulta excesivo para dicha velocidad. Esta cantidad es conocida como exceso de peralte.

Fin de un desvío.- Se hace coincidir con el fin del corazón o de su cupón anejo.

Hilo.- Línea de contacto del carril con la pestaña de las ruedas.

Hilo director.- Es el hilo de la vía directa que no pasa por el corazón. En los desvíos en recta y en los interiores es el hilo número 1. En los exteriores el número 2.

Hilos de un desvío.- Son líneas continuas definidas por el borde activo de los carriles, agujas, contraagujas y corazón.

Insuficiencia de peralte.- Cuando la velocidad de un vehículo que circula por una curva es mayor que la velocidad de equilibrio actuará una fuerza transversal (en el plano de la vía) dirigida hacia el exterior de la curva. El peralte es por lo tanto insuficiente para esta velocidad y la fuerza resultante pasará más cerca del carril exterior que del carril interior de la curva. Las condiciones de equilibrio cuasiestático podrían restablecerse aumentando el peralte en la cantidad en que resulta insuficiente para dicha velocidad. Esta cantidad es conocida como insuficiencia de peralte.

Nudo del desvío.- Punto de intersección de las tangentes a los ejes de las vías directa y desviada, al final del cruzamiento.

Patas de liebre.- Prolongación acodada de los carriles que unen las agujas con el corazón y que soportan la llanta de la rueda durante su paso por la laguna.

Peralte.- Magnitud en que un carril de la vía se encuentra más elevado que el otro.

El peralte es positivo cuando el carril exterior de la vía en curva está a un nivel más elevado que el carril interior y es negativo cuando el carril interior de la vía está a un nivel más elevado que el carril exterior de la misma.

El peralte negativo es inevitable en los desvíos y travesías en una vía directa peraltada donde la vía desviada tiene un sentido de curvatura contrario al de la vía directa, en el aparato o en el tramo adyacente al mismo.

Peralte de equilibrio.- Cuando la velocidad de un vehículo que circula por una vía en curva es tal que la resultante del peso del vehículo y de la fuerza centrífuga es perpendicular al plano de la vía se dice entonces que está en equilibrio cuasiestático. Para obtener esta condición en una vía en curva es necesario elevar un carril con respecto al otro en una determinada magnitud. Esta magnitud es conocida como peralte de equilibrio.

Principio u origen del desvío.- El principio del desvío se hace coincidir con la junta de la contraaguja (JCA).

Punta matemática de la aguja.- Se denomina de este modo la intersección de las caras activas de la aguja y contraaguja. La punta real queda ligeramente retrasada por razones constructivas y funcionales..

Punta matemática del corazón.- Intersección de los hilos de vía directa y desviada que se cortan.

Punta real del corazón.- Por dificultades de fabricación y por sus características funcionales no es posible materializar en el corazón la punta matemática, por lo que su punta real se desplaza unos

centímetros para que tenga espesor suficiente para soportar, incidentalmente, los impactos de las ruedas.

Radio de la vía desviada.- Para la fabricación del desvío se emplea el radio de la cara activa del carril de vía desviada que une el talón de la aguja y el corazón (hilo núm. 3). Para el cálculo de velocidades se emplea el radio de su eje.

Sobrancho.- Mayor anchura que se da a las vías en curva de radio reducido para facilitar la inscripción de los vehículos. El sobrancho, si es necesario, se gana en el hilo bajo de las curvas y no afecta a la geometría del hilo exterior ni a la del eje de la vía. Por tanto:

$$R. \text{ eje} = R. \text{ exterior} + s/2 \quad (\text{siendo } s \text{ el ancho nominal de la vía})$$

Solape en el corazón.- En los desvíos con corazón recto es frecuente que la curva de la vía desviada penetre en la parte recta del mismo. Es pues la longitud de solape de la curva de vía desviada y la recta del corazón.

Talón de la aguja.- Es el extremo fijo de la aguja del cambio.

Talón de la aguja/contraaguja.- Es el extremo fijo de la aguja.

Talón del corazón.- Es el extremo del corazón situado hacia el final del desvío. Coincide con el final del cruzamiento, excepto en los desvíos con corazones encolados o soldados a un cupón.

Tangente de un desvío.- Es la tangente del ángulo que forman los dos hilos que se cortan, en el final del corazón. En Renfe se designa por un número decimal 0,09; 0,11; etc. Hay Administraciones que lo designan en forma de quebrado: 1/8; 1/10; 1/12; etc.

Travesía.- Cruce con continuidad de las direcciones de dos vías. Se dice de la transversal de dos vías en recta con el mismo ancho. Consta de: dos cruzamientos agudos situados en los extremos, dos cruzamientos obtusos situados en el centro y las vías intermedias. Permite la instalación de cambios, dentro de ella, para desviar la circulación de una vía a otra.

Travesía sencilla o sin unión.- Aquella cuyas vías poseen igual ancho y cuyas alineaciones son rectas.

Travesía de unión.- Es la dotada de elementos que permiten desviar las circulaciones de una vía a otra o a las dos que la forman, cortándose. Se denomina de unión sencilla o doble en función de que disponga de dos cambios -circulación por dos ramales- o de cuatro -circulación por todos ellos-.

Travesía de unión doble B₁.- Derivada del diseño del tipo B, incorpora mejoras decisivas relacionadas con el aislamiento eléctrico del aparato, su integración a la barra larga soldada y el premontaje de sus elementos.

Variación instantánea de insuficiencia de peralte.- Es la variación brusca de la insuficiencia de peralte debido a una variación brusca de la curvatura de la vía.

Variación instantánea de insuficiencia de peralte en función del tiempo.- Es la variación brusca de la insuficiencia de peralte en el espacio de tiempo en que un vehículo recorre la distancia entre sus ejes, pivotes o ejes de bogies, al circular sobre un punto de variación brusca de la curvatura de la vía. Esta longitud o distancia, en cada punto del vehículo define una curva de transición "virtual".

Vía desviada.- Vía que se separa de la vía directa, principal o general por medio de un desvío o de una travesía de unión.

Vía directa.- Es la que se adapta a las condiciones geométricas de la vía en la que se inicia la bifurcación.

Vía intermedia de un desvío.- Es la que une el cambio con el cruzamiento.

II. Documentos relacionados con la presente Norma

- N.R.V. 3-6-0.0. Desvíos. Descripción general. Ed.
- N.R.V. 3-6-0.1. Desvíos. Características de los tipos y modelos. Ed.
- N.R.V. 3-6-4.8. Desvíos. Marcaje y envío a obra. Ed.
- N.R.V. 3-7-0.0. Travesías. Descripción general. Ed.
- N.R.V. 3-8-1.0. Aparatos de vía combinados. Escapes. Ed.
- N.R.V. 3-8-2.0. Aparatos de vía combinados. Haces de vías. Ed.
- N.R.V. 7-1-3.1. Montaje de vía. Instalación de la vía. Ed.
- N.R.V. 7-1-3.2. Montaje de vía. Instalación de desvíos, escapes y travesías. Ed
-
- prEN 13803-2 Parámetros de diseño de Vía. Vía con ancho 1435 mm y superiores. Parte 2: Aparatos de vía y alineaciones con cambios bruscos de curvatura. Octubre 2002.

Ed.: Documento editado que figura en el Catálogo oficial.
Las normas NRV que carecen de esta abreviatura son contempladas en la programación de futuras publicaciones.

ANEJO: Ejemplos de cálculo

- Ejemplo nº 1

De aplicación sólo en casos excepcionales, por reposición de desvíos existentes en estaciones, y con la autorización previa de la Dirección Técnica.

Instalación de desvío DSP-1500-0,042-CR interior en curva de transición clotoide de 120 m de longitud para curva circular de radio 2000 m con peralte de 60 mm.

$$D = 60 < 150 \text{ mm (según 8.2)}$$

$$\frac{dD}{dL} = \frac{60}{120} = 0,5 < 0,7 \text{ mm/m (según 8.2)}$$

- Velocidad del tramo ≤ 160 km/h (trenes tipo A)

Así, en curva $R = 2000$ m

$$I = 13,66 \frac{160^2}{2000} - 60 = 175 - 60 = 115 \text{ mm (cumple 8.0)}$$

Longitud de transición

$$L = 120 > 5,05 \cdot 10^{-3} \cdot I \cdot V = 101 \text{ m}$$

- Datos de la ubicación del desvío

- JCA a 84705 mm del inicio de la transición (35295 mm del principio de la circular) que corresponde a:

$$R = \frac{120000}{84705} - 2000 = 2833 \text{ m (con } D = 42,3 \text{ mm)}$$

- Principio del corazón a 21767 mm del principio de la transición que corresponde a:

$$R = \frac{120000}{21767} - 2000 = 11026 \text{ mm (con } D = 11 \text{ mm)}$$

- Dado que la longitud del desvío es de 79,13 m (a efectos prácticos de 86,3 m), la zona recta se inicia dentro del corazón a 5775 mm del talón del cruzamiento. Esto es, existe un tramo recto de $86,3 - 79,13 + 5,77 = 12,94$ m al final del desvío, que debe unirse con una curva de enlace, no objeto de este ejemplo.

Por ello en un extremo se cumple la condición de distancia mayor de $b = 18$ m, pero no en el otro.

- En vía desviada, después del paso por la punta de aguja (según 4.1 y 8.2).

$$I_{lim} \leq 115 = 13,66 \frac{V^2}{2833} - 42,3 \rightarrow V = 120 \text{ km/h}$$

$$\text{Con } V = 100 \text{ km/h} \rightarrow I_2 = 13,66 \frac{V^2}{2833} - 42,3 = 5,9 \leq 115 \text{ mm (según 8.0)}$$

$$I_1(\text{vía general}) = 13,66 \frac{100^2}{2000} - 42,3 = 26 \text{ mm (cumple 8.0)}$$

$$\Delta I = 26 - 5,9 = 20 < 115 \text{ (según 4.1)}$$

$$\text{Para } b = 18 \text{ m} \rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{20 \cdot 100}{3,6 \cdot 18} = 30,9 < 150 \text{ (según 4.1)}$$

- Comprobación: en vía desviada, al principio del corazón, según los mismos criterios anteriores:

$$I = 13,66 \frac{100^2}{11026} - 11 = 1,4 \text{ mm}$$

- Ejemplo nº 2

Curva $R = 900 \text{ m}$ con $D = 100 < 130 \text{ mm}$ (límite de vía directa con aparatos de vía divergentes) donde se encuentran implantados:

- Un desvío exterior 1500-0,052-CC, enlazando en su punto final (según suministro) con una curva de $R = 500 \text{ m}$ para enlazar con vía concéntrica exterior a la principal de $R = 900 \text{ m}$.
- Un desvío interior 318,370-0,09-CR, a ser posible enlazando en su punto final (según suministro) con una curva de $R = 350 \text{ m}$ para enlazar con vía concéntrica (interior) a la vía principal de $R = 900 \text{ m}$.
- Vía general:

$$V_{\text{máx}} = \sqrt{\frac{900}{13,7}} (100 + I) = 8,1 \sqrt{100 + I}$$

Así:

Tipo de tren	I_{lim}	$V_{\text{máx}}$ (vía directa)
N	115	115
A, B, C, D	175	135

- Vía desviada

- **Desvío $R = 1500 \text{ m}$:**

$$R = \frac{1500 \cdot 900}{1500 - 900} = 2250 \text{ m (radio divergente en vía desviada)}$$

Dado que el trazado de vía desviada, con ese radio tiene peralte negativo (para que fuese convergente el radio teórico de la vía desviada debería ser $\leq 900 \text{ m}$ correspondiente a la directriz marcada por el trazado de la vía general).

Analicemos el paso por la vía desviada:

- Desvío de radio 1500 m.
 - Después del paso por la punta de aguja (según 4.1 y 8.2), al existir peralte negativo:

$$I_{\text{lim}} \leq 115 = 13,66 \frac{V^2}{2250} + 100 \rightarrow V = 50 \text{ km/h}$$

Así, fijando $V = 50 \text{ km/h}$:

$$I_1 = 13,66 \frac{50^2}{2250} + 100 = 115,2 \cong 115 \text{ mm}$$

y como en vía directa, antes de la punta de aguja, a esa velocidad:

$$I_2 = 13,66 \frac{50^2}{900} - 100 = -62 \text{ mm} \quad (E = 62 < 120 \text{ mm, según 8.2})$$

tendremos

$$\Delta I = I_1 + I_2 = 115 - 62 = 53 < 115 \text{ mm (según 4.2.2)}$$

$$\text{para } b = 18 \text{ m} \quad \frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{53 \cdot 50}{3,6 \cdot 18} = 40,9 < 150 \text{ mm/s} \quad (\text{según 4.2.2})$$

- Paso en final de desvío a curva de enlace ($R = 500 \text{ m}$) de sentido contrario (peralte positivo).

Nota: La pérdida de peralte debe realizarse en esta curva de enlace. Supongamos deba llegarse a peralte nulo.

Si peralte nulo:

$$V = 2,9\sqrt{500} = 64,8 > 50 \text{ km/h (para } I = 115 \text{ mm)}$$

Con peralte de 100 mm:

$$I_{\text{lim}} \leq 115 = 13,66 \frac{V^2}{500} - 100 \rightarrow V = 88,7 > 50 \text{ km/h (según 4.2.2)}$$

$$\text{Así } E = 100 - 13,66 \frac{50^2}{500} = 31,7 \text{ mm} < 120 \text{ mm (según 8.2)}$$

o lo que es lo mismo $I_3 = -31,7 \text{ mm}$

$$\text{luego } \Delta I = I_1 + I_3 = 115 - 31,7 = 83,3 < 115 \text{ mm (según 4.2.2)}$$

Para $b = 18 \text{ m}$:

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{83,3 \cdot 50}{3,6 \cdot 18} = 64,3 < 150 \text{ mm/s (según 4.2.2)}$$

Luego $V_{\text{desviada}} = 50 \text{ km/h}$

- **Desvío de radio $R = 318,37 \text{ m}$:**

$$R_{\text{desviada}} = \frac{900 \cdot 318}{900 - 318} = 235 \text{ m} \quad . \text{ Siguiendo los mismos criterios que para } R = 1500:$$

- Después del paso por la punta de aguja.

$$I_{\text{lim}} = 115 = 13,66 \frac{V^2}{235} - 100 \rightarrow V = 60,8 \text{ km/h}$$

Así, fijando $V = 60 \text{ km/h}$

$$I_1 = 13,66 \frac{60^2}{235} - 100 = 109 < 115 \text{ mm}$$

Y como en vía directa, antes de punta de aguja, para esa velocidad:

$$I_2 = 13,66 \frac{60^2}{900} - 100 = -45,6 \text{ mm} \quad (E = 45,6 < 120 \text{ mm})$$

Tendremos según 4.2.1:

$$\Delta I = I_1 - I_2 = 109 + 45,6 = 154,6 > 115 \text{ mm}$$

Hay que reducir la velocidad. Si fijamos 50 km/h :

$$I_1 = 13,66 \frac{50^2}{235} - 100 = 45,3 \text{ mm} < 115 \text{ mm}$$

$$I_2 = 13,66 \frac{50^2}{900} - 100 = -62 \text{ mm} \quad (E = 62 < 120 \text{ mm})$$

$$\Delta I = I_1 - I_2 = 45,3 + 62 = 107,3 < 115 \text{ mm}$$

Para $b = 18 \text{ m}$:

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{107,3 \cdot 50}{3,6 \cdot 18} = 82,8 < 150 \text{ mm/s}$$

- Paso en final del desvío, en su zona de radio 235 m a la del tramo del corazón recto curvado, con radio 900 m.

Al tener igual peralte, y ser del mismo sentido, es el mismo caso que el estudiado.

- Paso en extremo del tramo del corazón curvado de radio 900 m a otra curva de sentido contrario de radio 350 m (peralte negativo).

Nota: la pérdida de peralte debe realizarse en esta curva de enlace. Supongamos deba llegarse a $D = 30 \text{ mm}$.

Realizando diversos cálculos de alternativas de velocidad incluso hasta 20 km/h y curva de enlace hasta 1500 m , vemos que no es posible técnicamente, dado que el ΔI en el enlace entre radio 900 (con peralte positivo) y la otra curva (con peralte negativo) siempre nos dará mayor de 115 mm .

Establezcamos, pues una curva del mismo sentido que la de radio 900, con radio 600 en la que se reduce el peralte hasta llegar a peralte cero, y luego una contracurva del mismo radio en la que aumentamos el peralte hasta los 50 mm (con igual rampa de peralte que la anterior y del mismo sentido).

Así tendremos; en el primer punto de cambio de curvatura:

$$I_3 = 13,66 \frac{50^2}{900} - 100 = -62 \text{ mm} \quad (E = 62 < 120 \text{ mm})$$

$$I_4 = 13,66 \frac{50^2}{600} - 100 = -43,1 \text{ mm } (E = 31,7 < 120 \text{ mm})$$

$$\Delta I = I_4 - I_3 = -43,1 + 62 = 18,9 < 115 \text{ mm}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{18,9 \cdot 50}{3,6 \cdot 18} = 14,6 < 150 \text{ mm/s}$$

Y en el segundo cambio de curvatura (curva-contracurva):

$$I_5 = I_6 = 13,66 \frac{50^2}{600} - 100 = 56,9$$

$$\Delta I = I_5 - I_6 = 113,8 < 115 \text{ mm}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{113,8 \cdot 50}{3,6 \cdot 18} = 87,8 < 150 \text{ mm/s}$$

Es entonces, esta última solución, válida para circular a 50 km/h.



ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS