




**EMPRESA DE TRANSPORTE DE PASAJEROS  
METRO S.A.  
DIVISIÓN PROYECTOS DE EXPANSIÓN**

**ESPECIFICACION TECNICA DE EQUIPOS DE VIAS  
CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LAS VIAS**

|   |                 |                                  |                        |                           |                           |
|---|-----------------|----------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>0</b>  | <b>31/01/18</b> | <b>Uso</b>                       | <b>Pablo Contreras</b> | <b>Christopher Heuser</b> | <b>R. Carrasco</b>        |
| <b>REV N°</b>   | <b>FECHA</b>    | <b>EMITIDO PARA</b>              | <b>ELABORADO POR</b>   | <b>REVISADO POR</b>       | <b>APROBADO POR</b>       |
|  |                 | <b>L2-150200-00-5VI-ETG-0035</b> |                        |                           | <b>Página<br/>1 de 27</b> |
|   |                 |                                  |                        |                           | <b>Revisión<br/>0</b>     |

## **APROBACIONES**

| <b>DIVISIÓN PROYECTOS DE EXPANSIÓN</b> |                    | <b>FIRMAS</b> | <b>FECHA</b> |
|--|--------------------|---------------|--------------|
| <b>PREPARADO POR</b>                   | Pablo Contreras    |               |              |
| <b>REVISADO POR</b>                    | Christopher Heuser |               |              |
| <b>APROBADO POR</b>                    | Roberto Carrasco   |               |              |

## CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CONTENIDO.....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>1. GENERALIDADES .....</b>                                       | <b>6</b>  |
| <b>2. NOCIÓN DE BIENESTAR.....</b>                                  | <b>6</b>  |
| 2.1. En el Plano Horizontal.....                                    | 7         |
| 2.2. En el Plano Vertical .....                                     | 7         |
| <b>3. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA DE RODAMIENTO .....</b> | <b>8</b>  |
| 3.1. Definición del Peralte .....                                   | 8         |
| 3.2. Peralte de Equilibrio.....                                     | 8         |
| 3.3. Valor Máximo del Peralte Práctico .....                        | 9         |
| 3.4. Insuficiencia de Peralte .....                                 | 9         |
| 3.5. Variación del Peralte Práctico.....                            | 10        |
| 3.6. Variación de la Insuficiencia del Peralte Práctico.....        | 12        |
| 3.7. Clotoide .....   | 12        |
| 3.8. Diagrama de las Flechas.....                                   | 13        |
| 3.9. Perfil Longitudinal.....                                       | 13        |
| <b>4. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA DE GUIADO.....</b>      | <b>15</b> |
| 4.1. Principio.....   | 15        |
| 4.2. Factores Considerados.....                                     | 15        |
| 4.2.1. Esfuerzo Generado por la Deriva de los Neumáticos.....       | 15        |
| 4.2.2. Fuerza Centrífuga.....                                       | 16        |
| 4.2.3. Peralte Práctico.....  | 16        |
| 4.3. Desarrollo de los Cálculos .....                               | 16        |
| <b>5. SEGURIDAD DE LAS CIRCULACIONES .....</b>                      | <b>17</b> |
| 5.1. Consideraciones Generales .....                                | 17        |
| 5.2. Contorno Dinámico del Material Rodante .....                   | 17        |
| 5.3. Posición Teórica y Variaciones de la Vía .....                 | 18        |

|           |  |                                      |
|-----------|--|--------------------------------------|
| 5.4.      | Contornos de Implantación .....  | 18                                   |
| 5.4.1.    | Implantación Nominal de los Obstáculos.....  | 18                                   |
| 5.4.2.    | Implantación Límite de los Obstáculos.....   | 18                                   |
| 5.5.      | Separación entre los Ejes de Vías Adyacentes.....  | 19                                   |
| 5.6.      | Secciones Transversales de la Obra Civil.....  | 19                                   |
| 5.7.      | Márgenes .....   | 19                                   |
| <b>6.</b> | <b>CONCLUSIÓN .....</b>  | <b>20</b>                            |
| <b>7.</b> | <b>ANEXOS .....</b>  | <b>22</b>                            |
|           | <b>ANEXO A: DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA CLOTOIDE.....</b>                                    | <b>22</b>                            |
|           | <b>ANEXO B: DEFINICIÓN Y EFECTO DE LA DERIVA.....</b>  | <b>23</b>                            |
|           | <b>ANEXO C: DETERMINACION DE LAS CARGAS SOBRE LOS NEUMATICOS DE GUIADO .....</b>                   | <b>24</b>                            |
|           | <b>ANEXO D: CONFIGURACIONES DEL DESPLAZAMIENTO DE LAS MITADES DE CADA CONJUNTO DE GUIADO .....</b> | <b>25</b>                            |
|           | <b>ANEXO E: DESPLAZAMIENTOS TRANSVERSALES DE LAS MANCUERNAS DE LAS RUEDAS PORTADORAS .....</b>     | <b>26</b>                            |
|           | <b>ANEXO F: DETERMINACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL DEL EJE DE LA VÍA DE GUIADO .....</b>     | <b>27</b>                            |
|           | <b>ANEXO G: GÁLIBO ESTÁTICO UNIFICADO .....</b>  | <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b> |
|           | <b>ANEXO H: COCHE EN RECTA 80 KM/H.....</b>  | <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b> |
|           | <b>ANEXO I: GALIBO COCHE EN CURVA R=90M.....</b>   | <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b> |
|           | <b>ANEXO J: GALIBO COCHE EN CURVA R=60M .....</b>  | <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b> |

**CONTROL DE CAMBIOS**

| Rev. | Punto   | Título | Modificación Realizada |
|------|---------|--------|------------------------|
| 0    | General | N/A    | Aprobación             |

## **1. GENERALIDADES**

Los criterios generales de diseño geométrico de la vía, aplicables a un sistema guiado urbano de transporte colectivo, deben garantizar, tanto la seguridad de las circulaciones como el bienestar de los pasajeros, cual sea el género de vía. En efecto, la vía equipada para la circulación del material rodante sobre neumáticos tiene la misma base que la vía férrea clásica, en la cual se agregan los elementos requeridos para satisfacer el principio del doble guiado.

Es preciso señalar que los criterios relativos al bienestar de los pasajeros, indicados a continuación, inducen resultados, en la determinación de las características geométricas de la vía, más restrictivos que los determinados en función de la mera seguridad de las circulaciones.

### **1.1. Documentos Utilizados**

Normas utilizadas en la presente especificación:

- EN 13848-5

Los documentos citados, tales como las fichas UIC (Union Internationale des Chemins de fer), normas ISO (International Organization for Standardization), normas francesas (AFNOR) u otras (ASTM, DIN, etc) son los que están en vigor a la fecha que figura en la página de título de la especificación.

En caso de modificación ulterior, deben ser reemplazados por los documentos en vigor en el momento del pedido de los suministros objeto de la especificación. Corresponde al Contratista informar a Metro precisándole las incidencias eventuales sobre el contenido de la especificación.

## **2. NOCIÓN DE BIENESTAR**

A pesar de la subjetividad vinculada a la noción de bienestar, la experiencia permitió determinar límites que es conveniente no sobrepasar para evitar incomodidades físicas a los viajeros.

## **2.1. En el Plano Horizontal**

El pasajero sentado siente particularmente las aceleraciones aleatorias. Para el viajero de pie, son los valores de las aceleraciones casi estáticas, resultantes tanto de la fuerza transversal no compensada como de su velocidad de aplicación, los que provocan una sensación desagradable.

En un sistema urbano, donde la mayoría de los usuarios viaja de pie con una duración de viaje bastante corta, se permite omitir la noción del cansancio acumulado. En estas condiciones, el pasajero de pie acepta aceleraciones transversales casi estáticas relativamente importantes con la condición de que las aceleraciones aleatorias sean menores.

Los valores límites usualmente considerados como satisfactorios son los siguientes:

- Aceleración transversal no compensada,  $\Gamma^2 = 1 \text{ m/s}^2$ ,
- Variación de dicha aceleración,  $\Delta\Gamma^2/\Delta t = 0.5 \text{ m/s}^3$ .

Estos valores máximos, además de satisfacer las condiciones de bienestar de los viajeros permiten limitar tanto la inclinación de los coches como los tambaleos de las suspensiones de los vehículos y reducir el empuje lateral en la vía, mejorando así su conservación.

El límite máximo adoptado de  $\Gamma^2$  queda inferior a la aceleración longitudinal admitida en el arranque y en el frenado del material rodante sobre neumáticos, la cual alcanza, en las condiciones normales de operación, el valor de  $1.35 \text{ m/s}^2$ . Esta diferencia queda tolerable para el pasajero, pues no lleva un carácter aleatorio sino un ritmo correspondiente al arranque, al recorrido con la velocidad adquirida, al frenado y a la parada en la estación.

## **2.2. En el Plano Vertical**

En perfil longitudinal, la aceleración casi vertical, generada al franquear una curva de enlace entre los cambios de pendiente, se añade en una curva cóncava y se resta en una curva convexa a la aceleración debida a la gravedad. Por ello, queda lógico limitar la relación  $\Gamma_v/\gamma$ . El valor límite de  $\Gamma_v$  es de  $0.25 \text{ m/s}^2$ .

### 3. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA DE RODAMIENTO

#### 3.1. Definición del Peralte

Cada punto de masa  $M$  circulando con una velocidad  $V$  en una trayectoria circular de radio  $R$  queda sometido, aparte de la fuerza de gravitación terrestre, a una aceleración perpendicular a su trayectoria, dirigida hacia el exterior de la curva y de valor  $= V^2/R$ . Una parte  $\Gamma_1$  de esta aceleración puede compensarse por la inclinación de la superficie de rodamiento. Dicha inclinación se mide mediante la desnivelación transversal entre las dos filas de rieles, la cual corresponde al peralte  $P$ . El complemento  $\Gamma_2 = \Gamma - \Gamma_1$ , constituye la aceleración transversal no compensada, la cual se aplica tanto a los vehículos como a los pasajeros.

Cabe señalar que todas las partes del vehículo son asimiladas a un punto material. Esta aproximación se justifica debido a la importancia del radio de las curvas del trazado en planta con respecto a las dimensiones transversales y longitudinales de los coches.

#### 3.2. Peralte de Equilibrio

El peralte de equilibrio o teórico corresponde a la desnivelación entre las dos filas de rieles cuyo valor anula exactamente los efectos de la fuerza centrífuga ejercitada por el vehículo sobre la vía.

En las curvas, el coche queda sometido a dos fuerzas:

- su peso propio  $P = M \times \gamma$
- la fuerza centrífuga  $F = M \times V^2/R$

Para compensar estrictamente dicha fuerza centrífuga, la inclinación del plano de rodamiento debe expresarse con la fórmula siguiente:

- $Tg.\alpha = V^2/R \times \gamma$

El ángulo  $\alpha$  siendo pequeño, se iguala el valor de su tangente al valor de su seno, lo que corresponde, una vez efectuados los cambios de unidades, en una vía de 1500 mm entre los ejes de los rieles, a:



- $P_e = 11,8 V^2 / R$ .

### **3.3. Valor Máximo del Peralte Práctico**

Teóricamente, el peralte práctico  $P_p$  instalado en las vías podría tener un valor tan elevado como fuese necesario. Sin embargo, consideraciones ligadas al bienestar de los pasajeros y a la estabilidad de los vehículos en caso de disminución de velocidad o de parada en curva conducen a limitar su valor máximo.

Para las velocidades de proyecto alcanzadas en el género de trenes metropolitanos, las cuales quedan del orden de 80 km/h, conviene también integrar la influencia debida a las curvas necesariamente cerradas en un entorno urbano. Por eso, el valor máximo del peralte práctico queda limitado a 160 mm. Este valor corresponde, en caso de parada del tren en una curva peraltada con su valor máximo, a una aceleración levemente superior al valor de  $1 \text{ m/s}^2$  indicado anteriormente.

Cabe destacar que la parada de un convoy en una vía con una sobre-elevación de 160 mm tiene un carácter excepcional.

Este límite puede atraer, en ciertos casos, una disminución de la velocidad de franqueo en circulares de pequeños radios.

### **3.4. Insuficiencia de Peralte**

Cuando el peralte práctico  $P_p$  resulta inferior al peralte de equilibrio  $P_e$  necesario para compensar la aceleración centrífuga, queda una aceleración residual correspondiente a la diferencia  $P_e - P_p$ . Esta diferencia  $I$  se llama insuficiencia de peralte. Su valor máximo queda determinado con respecto a la condición de bienestar de los pasajeros mencionada en el artículo 2.1. y su límite se calcula como sigue:

- $I_{\max} = 1500 \Gamma_2 / \gamma$  o sea 150 mm.

Esta insuficiencia máxima de peralte induce un empuje transversal holgadamente compatible con la resistencia a la fatiga de los distintos componentes de la vía.

Según los casos, con el fin de asegurar un mejor guiado de los vehículos durante el franqueo de las curvas, evitando así los eventuales movimientos de serpenteo,

recomendamos dejar una pequeña insuficiencia de peralte. El valor elegido corresponde a una aceleración centrífuga no compensada de  $\Gamma_n = 0.2 \text{ m/s}^2$ , muy satisfactoria con respecto al bienestar de los pasajeros. Con este requisito, tenemos

- $I_n = 30 \text{ mm}$ .

Cabe mencionar que el valor de  $I_n$  se aplicará solamente en circulares cuyo resultado del cálculo del peralte teórico, para una curva y una velocidad notificadas, resulte  $\leq$  a 190 mm. No se limitará la velocidad de recorrido en las curvas para satisfacer estrictamente esta condición particular.

### **3.5. Variación del Peralte Práctico**

La inclinación  $\alpha$  de la superficie de rodamiento de la vía se realiza alzando o bajando progresivamente una fila de riel con respecto a la otra. Prácticamente, dicha variación se efectúa de manera lineal en la longitud  $L$  elegida para tal empalme, fuera de las dos pequeñas zonas de origen y de fin del empalme, las cuales suavizan los quiebres longitudinales en los rieles.

En estas zonas de origen y de fin de la pendiente de empalme del peralte práctico, el riel no puede presentar plegadura neta sin deformación previa, particularmente perjudicial al recorrido de los trenes. Para evitar tales quiebres, se instalan curvas verticales de transición, las cuales corresponden a un arco de parábola de fórmula  $Y = X^2/5\,000$ , cuyo radio en su vértice queda igual a 2500 m.

Dicha transición se ubica simétricamente con respecto a los puntos teóricos de los quiebres en los rieles. La implantación de estas zonas modifica ligeramente la ley de progresividad del peralte práctico. No obstante, la perturbación así introducida es muy pequeña y no invalida el cálculo.

La presencia de estas curvas verticales de transición alarga levemente la zona de empalme del trazado en planta entre la recta y la curva circular, sin repercusión práctica en su implantación.

Las dos filas de rieles forman entre sí, en sentido longitudinal, un ángulo constante cuya tangente se denomina pendiente de empalme  $pe$ . Partiendo del origen del alzamiento o de la bajada de un riel con respecto al otro de la misma vía, el peralte práctico varía linealmente según la fórmula:

- $P_p = p_e \times L$ .

El peralte práctico se expresa también por la fórmula  $P_p = k (11.8 \times V^2/R)$  con  $k$  utilizado como factor de proporcionalidad entre el peralte teórico y el peralte práctico de la curva considerada.

Igualando las dos expresiones, tenemos:

- $k (11.8 \times V^2/R) = p_e \times L$ .

Esta igualdad se transforma así:

- $k' V^2/p_e = R \times L = A^2 = \text{Constante}$ .

El trazado en planta de la curva de empalme necesaria a la instalación del peralte práctico, definido por la relación  $R \times L = A^2$ , equivale a una clotoide.

Un vehículo transitando de una recta - sin peralte - a una curva circular - con peralte práctico - recorre un tramo de vía en el cual la sobre-elevación entre las dos filas de rieles varía progresivamente, exceptuando las zonas de las curvas verticales de transición mencionadas arriba.

Dicha variación  $\Delta P_p$  en una longitud  $L$  queda ligada con la relación  $\Delta P_p/\Delta L = p_e$  correspondiente a la pendiente, la cual se expresa en mm/m. En esta zona, la superficie de rodamiento se define como una superficie generada con una regla girando sobre un eje longitudinal. El vehículo, recorriendo dicha zona, queda sometido a una rotación progresiva alrededor de su eje longitudinal. Es necesario limitar esta velocidad de rotación. Consecuentemente queda también limitado el alabeo de la vía.

Prácticamente, la velocidad de rotación longitudinal del vehículo queda limitada a 50 mm/s, lo que corresponde a una pendiente máxima  $p_{max} = 180 / V$ .

Esta condición restringe  $p_e$  para las altas velocidades, autorizando valores superiores con velocidad reducida. En un proyecto de sistema ferroviario urbano, para no limitar las velocidades debido a dicho imperativo, es preciso efectuar los cálculos preliminares con un máximo de 2,250 mm/m, compatible con la velocidad de proyecto de 80 km/h. Sin embargo, en caso de longitud reducida de la clotoide de empalme, se admite un valor límite excepcional de 4 mm/m, compatible con la estabilidad del material rodante. Esta situación induce una velocidad máxima de franqueo de 45 km/h.

### **3.6. Variación de la Insuficiencia del Peralte Práctico**

Durante el recorrido de la zona de empalme entre una recta y una curva circular, los viajeros deben compensar los efectos de la fuerza centrífuga no compensada resultante de la insuficiencia del peralte práctico. Dicha fuerza crece de manera constante desde el inicio de la clotoide, sin peralte, al inicio de la curva circular peraltada.

La tasa de variación de la insuficiencia del peralte práctico queda limitada, permitiendo así una adaptación progresiva y hasta inconsciente de los pasajeros a sus efectos.

Esta variación  $\Delta I / \Delta t$  se expresa en mm/s.

Aplicando la segunda condición de bienestar indicada en el acápite 2.1, se deduce  $\Delta I / \Delta t \leq 75$  mm/s.

### **3.7. Clotoide**

La clotoide, cuya curvatura queda proporcional a su abscisa curvilínea, presenta las ventajas siguientes:

1. Enlaza, con cualquier longitud de empalme, un círculo de radio determinado con una recta o bien dos circulares entre sí, mientras la parábola cúbica y la lemniscata de Bernoulli poseen un radio mínimo de curvatura,
2. Asegura, para una velocidad de franqueo constante, en toda su longitud, la proporcionalidad entre la aceleración transversal y su abscisa curvilínea.
3. Corresponde a los empalmes más cortos con diferencias más leves con respecto a las demás curvas de enlace.

La determinación de las clotoides de empalme entre las rectas y las circulares se realiza como sigue:

1. para cada circular nominal significativa, se calcula el peralte práctico deseable. Este cálculo se efectúa con la velocidad de proyecto,
2. la longitud mínima de la clotoide resulta de:  $L_{\min} = P_p / p_e$  de la circular considerada.

Esto permite delimitar todas las zonas de empalme a lo largo de la línea. Una vez conocidas las simulaciones de velocidades de recorrido de los trenes, se calcula la geometría detallada de las curvas en cada vía (peraltes prácticos y pendientes de enlace a los peraltes prácticos), integrando eventuales sujeciones locales.

De esta manera, las modificaciones casuales de las velocidades reales de recorrido de las curvas con respecto a la velocidad de proyecto atraen siempre el mejoramiento de las condiciones límites de bienestar, disminuyendo así los esfuerzos recibidos por los distintos elementos constitutivos de la vía.

La definición de los distintos elementos de la clotoide se indica en el anexo A

### **3.8. Diagrama de las Flechas**

La precisión de la curvatura queda poco perceptible en el lugar de las instalaciones. Para controlar el trazado en planta de la vía, tanto en los empalmes como en las circulares, se emplea otra característica geométrica, de cómoda medición en la faena, la flecha  $f$  tomada en la mitad de un cordel tendido entre dos puntos del elemento interesado.

Asimilando a un arco de círculo de radio  $R$  el tramo en el cual se mide la flecha, se demuestra que es proporcional a la curvatura  $1/R$ . La substitución de la noción de flecha a la del radio de curvatura conduce a una representación simple de los elementos del trazo teórico en planta, llamado diagrama de las flechas.

Una curva circular con sus empalmes se representa por un trapecio cuyos ángulos son suavizados. En efecto, las cuerdas con las cuales se mide las flechas no pueden ser infinitamente pequeñas. Las flechas medidas en ambas partes del punto de tangencia entre la clotoide y la circular como entre la clotoide y la recta corresponden a curvaturas intermedias.

Queda bastante simple pasar los datos para la implantación real de las curvas, sobre el terreno, mediante operaciones sencillas en el diagrama de las flechas.

### **3.9. Perfil Longitudinal**

De la misma manera que el trazado en planta, el perfil longitudinal de una línea queda constituido por una sucesión de rectas, horizontales u oblicuas, enlazadas entre sí mediante curvas de empalme. Las pendientes se miden en mm/m o en tanto por mil.

Cabe mencionar que los límites fijados en las distintas redes de sistemas ferroviarios urbanos tienen un carácter convencional y pueden ser, en ciertas ocasiones, traspasados. Dichos límites resultan de un conjunto de consideraciones ligadas a las posibilidades, en los vehículos, de transmitir a su soporte una fuerza paralela a su movimiento. Es pues, un problema de adherencia, de energía instalada y de bienestar de los pasajeros.

Teniendo en cuenta la gravedad terrestre  $\gamma=10 \text{ m/s}^2$ , una aceleración longitudinal de  $1 \text{ m/s}^2$  requiere una fuerza igual a la necesitada para el recorrido, con una velocidad constante, de una rampa de 100 por mil. En un sistema ferroviario, cuando el material rodante permite aceleraciones de  $1.350 \text{ m/s}^2$ , el perfil longitudinal podría teóricamente alcanzar pendientes de 135 por mil. No obstante, dicha posibilidad queda obviamente descartada por razones de operación, pues existe siempre la posibilidad de fallo parcial de los equipos de tracción en un tren.

En un material rodante sobre neumáticos, la reserva de adherencia queda holgadamente superior a la del material rodante ferroviario clásico. Por ello, recomendamos limitar la pendiente máxima a 45 por mil.

Además de las consideraciones precedentes, es preciso satisfacer las condiciones siguientes:

- Las estaciones, las vías de maniobra y de estacionamiento quedan en pendiente máxima de 5 por mil.
- Los empalmes verticales entre dos declividades se realizan con una curva circular cuyo radio se calcula con la fórmula:  $R_{\text{mini}} = 0.32 V^2$

El perfil longitudinal así definido corresponde a la vía sin peralte. La implantación del peralte práctico, en las curvas circulares del trazado en planta, conduce a girar cada vía alrededor de un eje longitudinal. El perfil longitudinal real quedará, en estas zonas, distinto al perfil definido en el proyecto cuando la rotación del plano de rodamiento se efectúa con respecto a un eje longitudinal distinto al de la vía.

Es preciso no implantar los aparatos de vía en las zonas de enlace vertical entre pendientes. Salvo indicación contraria justificada por la operación de los trenes, los aparatos de vía pueden ser instalados en las pendientes cuyo valor máximo queda indicado anteriormente.

## **4. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA DE GUIADO**

### **4.1. Principio**

En el material rodante sobre neumáticos, los vehículos son guiados, en la vía común, por las barras-guía sobre las cuales se apoyan los neumáticos de las ruedas horizontales.

Entre la pestaña de la rueda metálica de seguridad y el borde interior de los rieles de rodamiento, queda siempre una holgura. En recta, las dos holguras son idénticas pues el eje de la vía de rodamiento coincide con el eje de la vía de guiado. En curva, distintos factores contribuyen a diferenciar estas holguras.

El problema por resolver consiste, teniendo en cuenta el valor de los distintos factores, en calcular el desplazamiento del eje de la vía de guiado con respecto al eje de la vía clásica, para que las holguras, frente a las pestañas de las ruedas del bogie, tengan valores aceptables durante el franqueo, con las velocidades máxima y mínima, de las curvas del trazado en planta.

Generalmente, el desplazamiento del eje de la vía de guiado se calcula para igualar los dos valores de las holguras mínimas.

### **4.2. Factores Considerados**

#### **4.2.1. Esfuerzo Generado por la Deriva de los Neumáticos**

Los ángulos del abatimiento de los neumáticos de las ruedas portadoras son los mismos en valor absoluto en los dos ejes del bogie, pero de signo opuesto.

Por eso, los esfuerzos ejercitados en los neumáticos de guiado difieren según su posición en el bogie. Consecuentemente, sus aplastamientos resultan distintos.

Los neumáticos de las ruedas de guiado llevan una curva de aplastamiento asimilable a una recta en la zona de aplicación. Dicho aplastamiento vale 2 mm por 100 kgf de fuerza.

En recta, la distancia separando las caras verticales de las dos barras-guía queda inferior a la distancia exterior de los neumáticos. Los neumáticos tienen pues un aplastamiento inicial s.

En curva, este aplastamiento inicial s aumenta o disminuye según el sentido de los esfuerzos. Hasta puede anularse; en esta situación, el neumático pierde el contacto con la barra-guía.

El anexo B muestra los esquemas explicativos.

#### **4.2.2. Fuerza Centrífuga**

Esta fuerza depende de dos parámetros:

1. el radio de curvatura,
2. la velocidad de franqueo.

Por lo tanto, se debe utilizar las velocidades máximas y mínimas, tanto de entrada como de salida de las curvas, indicadas en las simulaciones de la marcha-tipo de los trenes.

#### **4.2.3. Peralte Práctico.**

El peralte práctico se opone a la fuerza centrífuga, creando una componente lateral al peso del vehículo, dirigida hacia el centro de la curva.

### **4.3. Desarrollo de los Cálculos**

El desarrollo de los cálculos se efectúa de la manera indicada a continuación:

1. Determinación de las cargas sobre los neumáticos de guiado; rueda delantera y trasera, de mano derecha e izquierda. El anexo C esquematiza la posición de los esfuerzos.
2. Deducción del desplazamiento de las mitades de cada conjunto de guiado, delantero y trasero, con respecto al eje de la vía de rodamiento. El anexo D reseña las distintas configuraciones.
3. Deducción de los desplazamientos transversales de las mancuernas portadoras. El anexo E muestra el dibujo correspondiente,
4. Ponderar estos desplazamientos con el valor de las flechas en la curva interesada.
5. Determinación del desplazamiento transversal del eje de la vía de guiado con respecto al eje de la vía férrea de rodamiento. La descripción del desplazamiento queda esquematizada en el anexo F,



6. Cálculo de las distancias entre la cara vertical de las barras-guía y el borde interior correspondiente de los rieles de seguridad.

## **5. SEGURIDAD DE LAS CIRCULACIONES**

### **5.1. Consideraciones Generales**

La instalación o el desplazamiento de obstáculos a lo largo de las vías imponen la instauración de reglas de implantación tanto de dichos obstáculos con respecto a las vías como de las vías entre sí. Estas reglas integran las características:

- Del material rodante considerado,
- De la vía nueva con sus respectivas tolerancias de instalación y de mantenimiento.

### **5.2. Contorno Dinámico del Material Rodante**

Se llama contorno o gálibo dinámico el envolvente mínimo, señalado con respecto al plano de rodamiento y al eje de la vía, al interior del cual se ubica, en todos los instantes, cualquier material rodante circulando en una vía de características precisas, denominada vía de referencia.

La vía de referencia presenta, en toda su longitud, las siguientes condiciones:

- Su posición queda fija,
- Su trocha es de 1.435 mm,
- Su pendiente, positiva, negativa o nula, queda constante,
- Los valores de los radios de las curvas y los valores de los peraltes prácticos son estrictamente conformes a los valores calculados deducidos de las reglas vigentes.
- Los planos de los gálivos a considerar dentro de este proyecto, son los siguientes:

**Tabla 1: Planos de los gálivos a considerar.**

| <b>NOMBRE PLANO</b>                              | <b>CODIGO PLANO</b>       |
|--|---------------------------|
| GÁLIBO ESTÁTICO UNIFICADO                        | L2-150200-00-5VI-PLA-0046 |
| GÁLIBO NOMINAL EN RECTA UNIFICADO 80 KM/H        | L2-150200-00-5VI-PLA-0047 |
| GÁLIBO DINÁMICO EN RECTA ANDÉN 60 KM/H UNIFICADO | L2-150200-00-5VI-PLA-0048 |
| GÁLIBO NOMINAL UNIFICADO R= 60M UNIFICADO        | L2-150200-00-5VI-PLA-0049 |
| GÁLIBO NOMINAL UNIFICADO R= 90M UNIFICADO        | L2-150200-00-5VI-PLA-0050 |

### **5.3. Posición Teórica y Variaciones de la Vía**

La posición teórica de la vía referenciada por un conjunto de mediciones intangibles efectuadas con respecto a marcas fijas. En una vía nueva, se encuentra una casi coincidencia entre su posición real y su situación teórica. Las tolerancias de colocación representan las únicas variaciones posibles.

Las fuerzas ejercitadas por el material rodante y los desgastes sufridos en una vía en operación provocan un crecimiento de estas variaciones, muy limitado en el caso general de la vía para la circulación del material rodante sobre neumáticos y particularmente en una vía instalada sobre hormigón.

El conjunto de estas peculiaridades constituye las variaciones de la vía.

La posición teórica de la vía y sus desviaciones caracterizan una vía en operación.

### **5.4. Contornos de Implantación**

Los dos contornos descritos a continuación rigen la implantación de los obstáculos fijos a lo largo de la línea.

#### **5.4.1. Implantación Nominal de los Obstáculos**

El contorno de implantación nominal de los obstáculos es el envolvente limitando, para el conjunto de los obstáculos fijos exteriores a la vía, la zona en el interior de la cual ningún obstáculo permanente debe hallarse; este contorno queda solidario de la posición teórica de la vía y se define a partir del contorno dinámico del material rodante (ver acápite 5.2), integrando las desviaciones de la vía con respecto a su posición teórica y los márgenes de seguridad usualmente asociados a dichas desviaciones.

Además, se complementa dicho contorno con el espacio requerido para las sujeciones de la operación, tal como el envolvente para caminar a lo largo de la vía.

Este contorno así completado se designa como el contorno normal.

#### **5.4.2. Implantación Límite de los Obstáculos.**

Este contorno, igualmente solidario de la posición teórica de la vía, simboliza, para los obstáculos, el límite del ajuste del contorno de implantación nominal de los obstáculos en casos específicos derogatorios.

Se define a partir del contorno dinámico del material rodante (ver acápite 5.2), incluyendo las desviaciones de la vía con respecto a su posición teórica y reduciendo a sus valores mínimos los márgenes de seguridad afiliados.

### **5.5. Separación entre los Ejes de Vías Adyacentes**

Las distancias de separación entre los ejes de vías adyacentes rigen la implantación de las vías y son asociadas a los contornos precedentemente mencionados.

De manera similar a la determinación de las implantaciones de los obstáculos, se emplean dos valores de separación entre los ejes de vías adyacentes:

- El entre-eje nominal, de uso común, resultante tanto del contorno dinámico, de las desviaciones en las vías consideradas como de los márgenes de seguridad,
- El entre-eje límite, representando la distancia mínima de separación entre vías adyacentes. Se obtiene disminuyendo a su valor mínimo los márgenes de seguridad normalmente asociados a las desviaciones en las vías involucradas. Corresponde a unas situaciones excepcionales.

### **5.6. Secciones Transversales de la Obra Civil**

Las secciones transversales de la obra civil representan los envolventes definiendo las dimensiones interiores mínimas de los distintos géneros de construcción. Quedan determinadas a partir de los contornos de implantación de los obstáculos y de los entre-ejes afiliados, en función:

- De los obstáculos permanentes al interior de la obra,
- De los obstáculos temporarios, conforme a las modalidades indicadas en el presente documento,
- Del espacio que dejar arriba de los trenes.

### **5.7. Márgenes**

Los márgenes corresponden a los valores de aumento de las medidas definiendo el contorno dinámico del material rodante tanto para la obtención de los demás envolventes como para los valores de separación entre los ejes de vías adyacentes.

Dichos márgenes representan la suma de dos términos:

- M1, resultando de la combinación de las distintas desviaciones de la vía,
- M2, representando el incremento de seguridad.

Los componentes de M1 se enlistan a continuación:

- Aumento de la trocha de la vía (E),
- Defectos de peralte distribuido en:
  - D1, diferencia de desgaste vertical entre ambas filas de rieles en una vía,
  - D2, diferencia entre el peralte real y su valor teórico, D3, hundimiento diferencial entre las dos filas de una vía (colocación sobre chancado), T, desplazamiento transversal de la vía (colocación sobre chancado).

Las diferentes desviaciones elementales de la vía se combinan en fenómenos ciertos y en fenómenos aleatorios, conduciendo a la fórmula siguiente:

$$M1 = D1 + E + \sqrt{(D2)^2 + (D3)^2 + T^2}$$

Los valores afectados a los parámetros elementales E, D1, D2, D3 y T se fijan a partir de criterios específicos a cada red ferroviaria, resultando de la integración de consideraciones y opciones varias, tanto económicas como técnicas, ligadas a la experiencia y a la tecnología del mantenimiento de los distintos géneros de vía.

Los valores de M2 resultan también de la aplicación de reglas propias a cada red. Su valor mínimo se aplica en la determinación tanto del contorno de implantación límite de los obstáculos como en la distancia del entre-eje límite. Su valor máximo se utiliza para la determinación tanto del contorno de implantación nominal de los obstáculos como en la separación del entre-eje nominal.

Cabe señalar que las distancias indicadas en los planos, para la geometría de las vías, corresponden a las características relativas tanto a los contornos nominales como a los entre-ejes nominales.

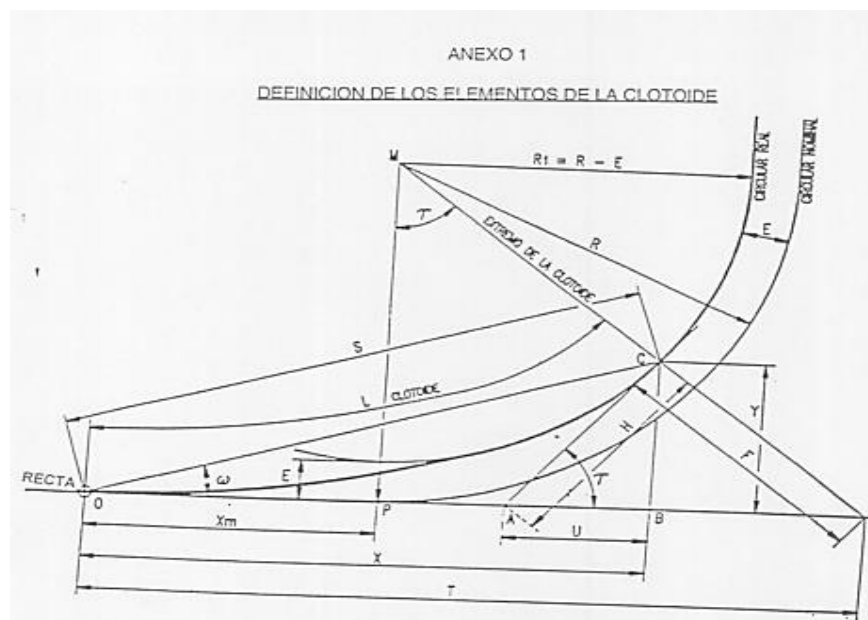
## **6. CONCLUSIÓN**

Las características geométricas detalladas en el presente documento llevan una estricta coherencia interna, pues se deducen de parámetros ligados al bienestar de los viajeros, tal como la aceleración centrífuga no compensada y su velocidad de aplicación, tanto en el plano horizontal como en el perfil longitudinal.

Cabe resaltar que los valores máximos propuestos para estos dos parámetros satisfacen holgadamente tanto la seguridad de las circulaciones como el buen comportamiento de los elementos constitutivos de la vía.

## 7. ANEXOS

### ANEXO A: DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA CLOTOIDE



- O : Origen de la Clotoide
- X,Y : Coordenadas Rectangulares
- S,ω : Coordenadas Polares
- L : Longitud de la Clotoide
- R : Radio de la Circular Nominal
- R1 : Radio de la Circular Real
- E : Diferencia entre los Radios Nominal y Real
- C : Extremo de la Clotoide
- P : Punto de Tangencia entre la Recta y la Circular Nominal
- Xm : Abcisa del Centro de las Circulares
- T : x + Subnormal
- F : Normal
- H : Tangente
- U : Subtangente
- τ : Angulo de la Tangente con respecto a la Recta

ELEMENTOS INVARIANTES, INDEPENDIENTES DEL PARÁMETRO A

$$\lambda = \frac{e}{r} = \frac{E}{R} \quad \xi = \frac{l}{r} = \frac{L}{R}$$

Figura 1: Elementos de la Clotoide

## ANEXO B: DEFINICIÓN Y EFECTO DE LA DERIVA

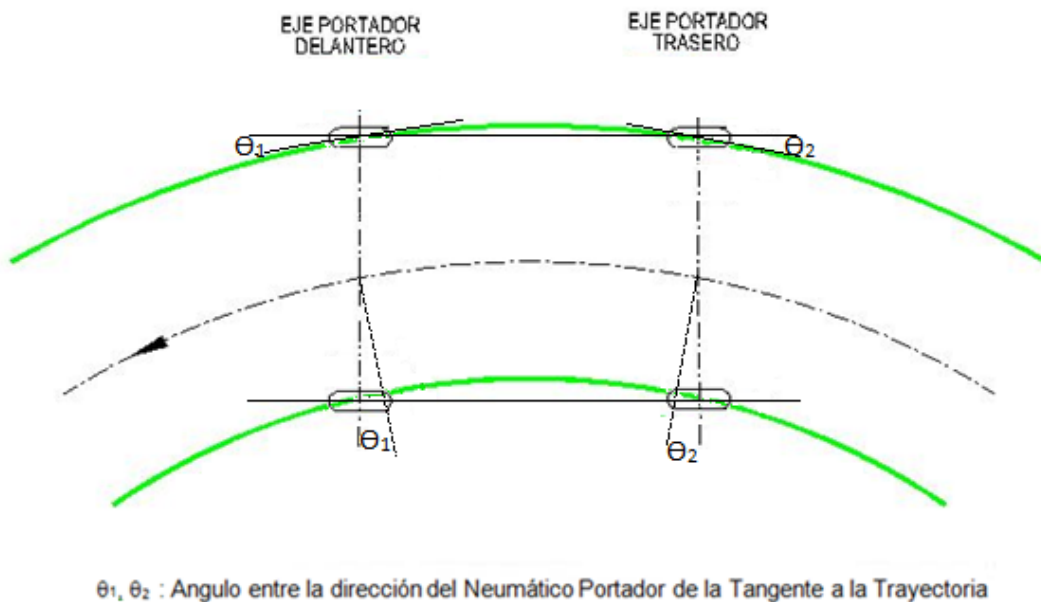


Figura 2: Definición de la Deriva.

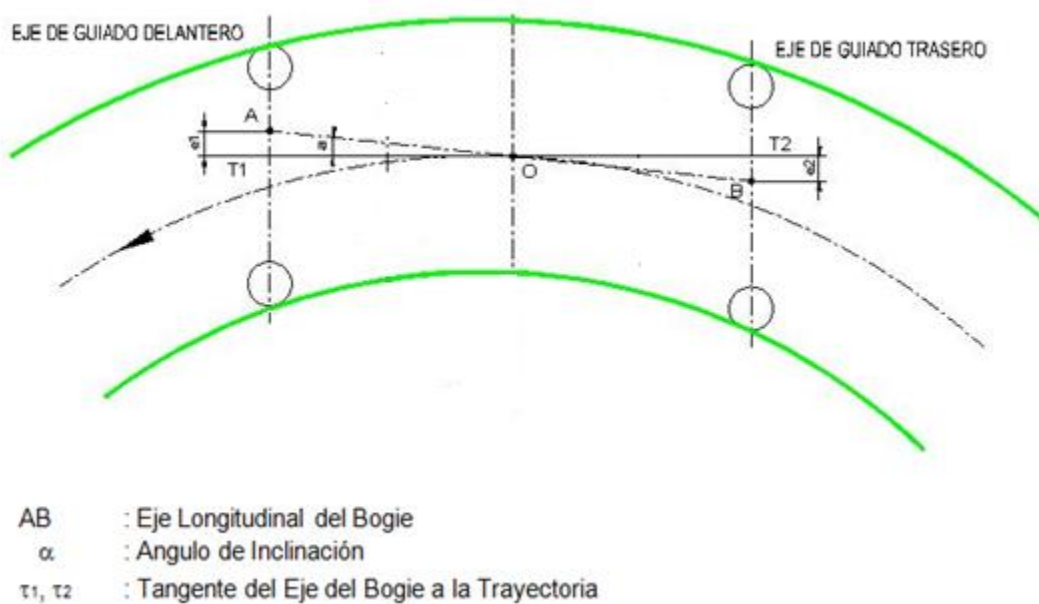
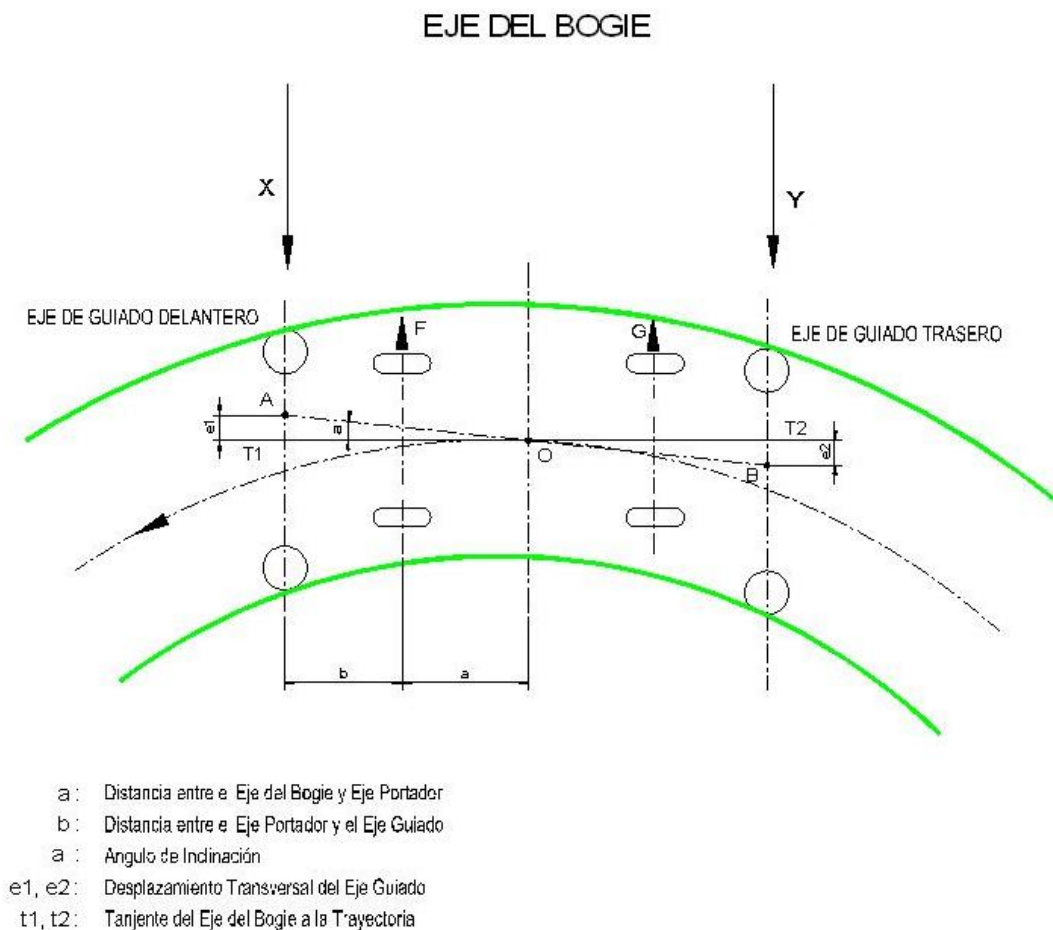


Figura 3: Efecto de la Deriva.

## ANEXO C: DETERMINACION DE LAS CARGAS SOBRE LOS NEUMATICOS DE GUIADO







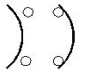
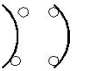
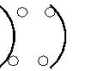



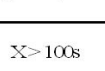
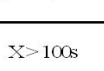
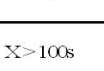
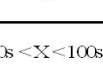
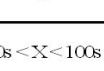
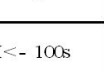


**Figura 4: Determinación de las cargas sobre los neumáticos de guiado.**

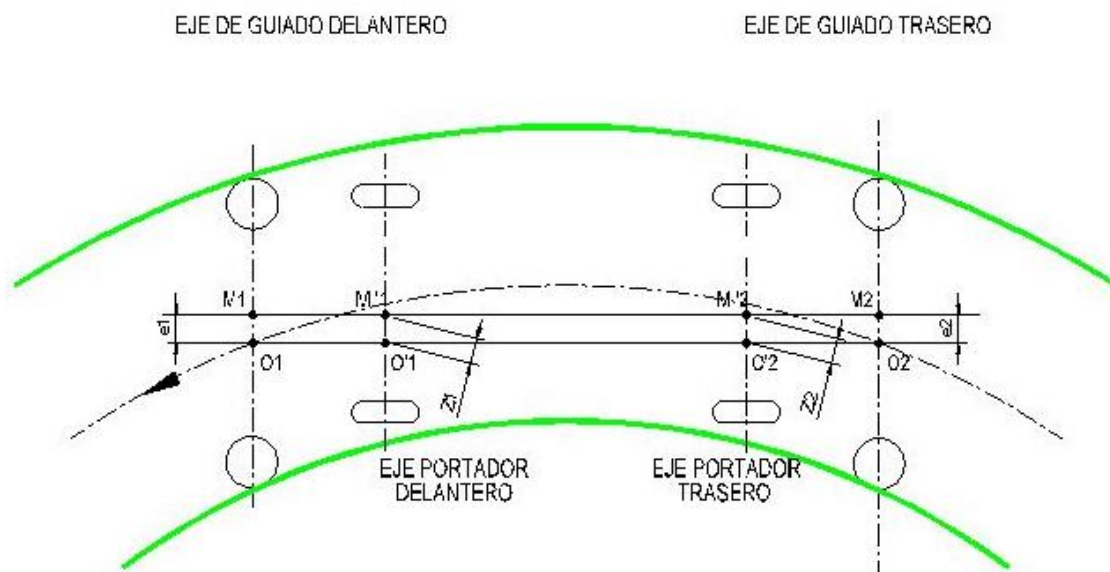


## ANEXO D: CONFIGURACIONES DEL DESPLAZAMIENTO DE LAS MITADES DE CADA CONJUNTO DE GUIADO

Tabla 2: Configuración del desplazamiento de las mitades de cada conjunto de guiado.

| POSICIONES         | 1   | 2   | 3   | 4  | 5   | 6   |
|--------------------|---|---|---|--|---|---|
| SÍMBOLOS           |  |  |  |   |  |  |
| GUIADO DELANTERO   |  |  |  |  |  |  |
| GUIADO TRASERO     |  |  |  |  |  |  |
| VALORES DE X       | $X > 100s$  | $X > 100s$  | $X > 100s$  | $-100s < X < 100s$   | $-100s < X < 100s$  | $X < -100s$   |
| VALORES DE Y       | $Y > 100s$  | $-100s < Y < 100s$  | $Y < -100s$   | $-100s < Y < 100s$   | $Y < -100s$   | $Y < -100s$   |
| VALORES DE e1      | $\frac{X}{50} - s$  | $\frac{X}{50} - s$  | $\frac{X}{50} - s$  | $\frac{X}{100}$  | $\frac{X}{100}$   | $\frac{X}{50} + s$  |
| VALORES DE e2      | $\frac{Y}{50} - s$  | $\frac{Y}{100}$   | $\frac{Y}{50} + s$  | $\frac{Y}{100}$  | $\frac{Y}{50} + s$  | $\frac{Y}{50} + s$  |
| VALORES DE (e1-e2) | $\frac{1}{50} (X - Y)$  | $\frac{X}{50} - \frac{Y}{100} - s$  | $\frac{1}{50} (X - Y) - 2s$   | $\frac{1}{100} (X - Y)$  | $\frac{X}{100} - \frac{Y}{50} - s$  | $\frac{1}{50} (X - Y)$  |

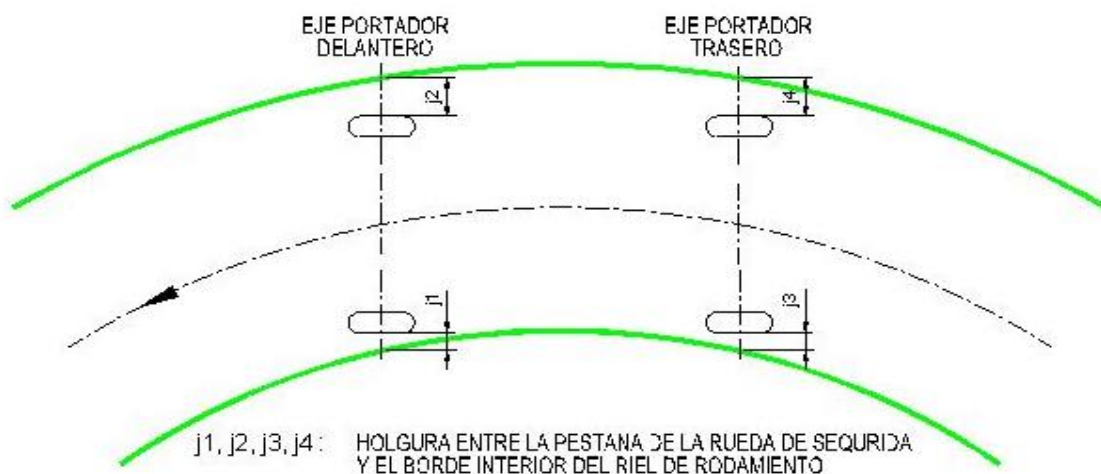
## ANEXO E: DESPLAZAMIENTOS TRANSVERSALES DE LAS MANCUERNAS DE LAS RUEDAS PORTADORAS



$Z_1, Z_2$ : Desplazamiento Transversales de los Ejes de las Ruedas Portadoras

Figura 5: Desplazamientos transversales de las mancuernas de las ruedas portadoras.

## ANEXO F: DETERMINACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL DEL EJE DE LA VÍA DE GUIADO



### SECCION TRANSVERSAL EN EL EJE PORTADOR DELANTERO

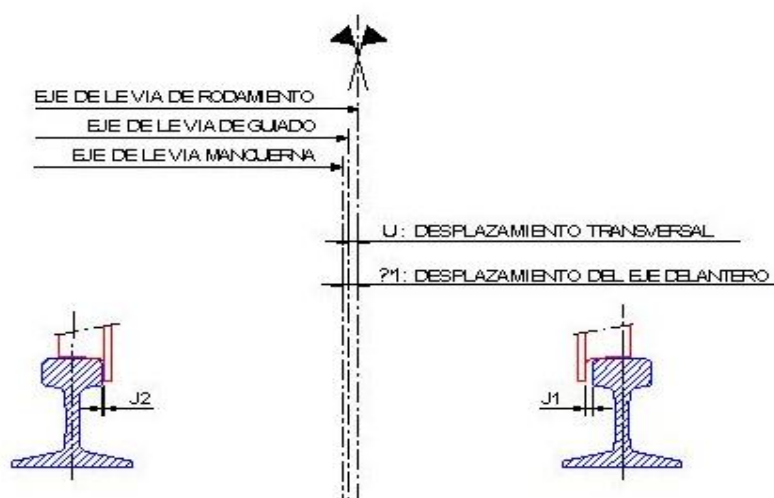


Figura 6: Determinación del desplazamiento transversal del eje de la vía de guiado.