

Influencia del trazado en la calidad geométrica de vías férreas

The influence of track design parameters on track geometric quality

Fernanda Viana Rodrigues^a, Adelino Ferreira^b

^aIngeniera Civil, Miembro Sénior del Colegio de Ingenieros y Miembro Especialista en Transportes y Vías de Comunicación, Rede Ferroviaria Nacional, REFER E.P.E

^bIngeniero Civil, Miembro Sénior del Colegio de Ingenieros y Miembro Especialista en Transportes y Vías de Comunicación, Profesor, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Coimbra

Resumen

En el estudio de un trazado es obligatorio que sus parámetros establezcan un buen compromiso entre los parámetros relacionados con seguridad, confort y economía del sistema vehículo-vía. El conocimiento de las solicitaciones resultantes de la interacción inherente al conjunto vehículo y vía es importante ya que el vehículo está sujeto a diversos movimientos cuando realiza su marcha. Estos son determinados por los movimientos del propio vehículo, por la secuencia de los elementos del trazado y por los defectos de la vía. Este artículo presenta el resultado del análisis de algunos aspectos conceptuales del trazado, en particular de las características de los elementos geométricos y su estructura secuencial y en qué medida potencian la aparición de defectos en la geometría de la vía. Hay que señalar también la importancia de compatibilizar los valores admitidos en el proyecto con la estabilidad de la geometría de la vía, en función de su estructura y manutención.

Palabras clave: vía, calidad geométrica, mantenimiento, defecto, peralte, pendiente, trazado

Abstract

In the study of track design parameters it is mandatory that parameterization establishes a good compromise between the safety, comfort and economic parameters of the vehicle-track system. The knowledge of the requests that result from the interaction of the rolling stock and track set is important since the vehicle is subject to several parasitic movements when in motion. These are determined by the movements of the vehicle itself, the track and the track geometry defects. This article presents the results of analysis of some conceptual aspects of track design parameters, including the characteristics of geometric elements, their sequential structure and their effect on the appearance of defects in track geometry. We also underline the importance of harmonizing the values used in design parameters with the stability of the track geometry, depending on its structure and maintenance..

keywords: track, geometric quality, maintenance, track displacement, cant, gradient, track design parameters

* fernanda.viana.rodrigues@gmail.com / adelino@dec.uc.pt

1. Introducción

La calidad geométrica de la vía tiene un papel fundamental en la seguridad, en el confort y en la fiabilidad de las infraestructuras ferroviarias y, consecuentemente, en la determinación de las acciones de mantenimiento. Estas requieren dispendiosos recursos financieros, por lo que se torna esencial estudiar con rigor la evolución de las características de la vía durante el período de vida útil del sistema. Si, desde el punto de vista económico, el elevado coste de las acciones de mantenimiento necesarias para la corrección de los defectos de la vía es importante, no menos importante es garantizar, antes, que el trazado es proyectado y materializado eliminando o, si eso no es posible, minorando al máximo, las disposiciones que puedan originar defectos en la geometría de la vía que, de forma sistemática, provoquen no solo deformaciones prematuras en la vía, pero también la necesidad de, recurrentemente, intervenir en esas zonas.

Cuando se proyecta, a pesar del respeto por los documentos normativos, se convive con una situación más o menos ideal. En la situación real deparamos con una conjugación de efectos que no es posible evaluar en proyecto frente a la cantidad de variables a considerar en la interacción entre el vehículo y la vía, gran parte de ellas aleatorias. El estudio de un trazado precisa obtener características geométricas y dinámicas de sus elementos constituyentes que proporcionen una buena dinámica de rodamiento para las circulaciones, su estabilidad y la minimización de las acciones de mantenimiento de la vía. Para eso, es necesario compatibilizar la geometría de la vía en planta y alzado, requiriendo el conocimiento de las sollicitaciones resultantes de la interacción inherente al conjunto vehículo y vía-férrea, en función de sus especificidades. El proyecto no puede descuidar las disposiciones que originen incrementos en las desviaciones de los parámetros de la vía proyectada, a lo largo de su ciclo de vida, que potencien la reducción de seguridad y confort, por lo que importa evaluar las repercusiones inducidas por la concepción del trazado y estructura de la vía en las desviaciones de los parámetros que definen su geometría.

2. Relación entre los parámetros de proyecto y los defectos de la vía

El análisis de los diferentes criterios de seguridad, confort y fatiga introduce una serie de relaciones entre los parámetros de dimensionamiento del trazado de la vía (Molinari, 1999), las características de los vehículos y las tolerancias admisibles para los defectos de la vía. El proyecto de un trazado de vía se basa fundamentalmente en la verificación de que no sean sobrepasados determinados valores de los parámetros, como el peralte y la insuficiencia de peralte, y sus variaciones en el espacio o en el tiempo (IPQ, 2007). Estas verificaciones son efectuadas para condiciones ideales de circulación: geometría sin defectos y velocidad constante, lo que torna la correlación entre las características de la vía proyectada y los defectos correspondientes a una condición a armonizar. Los valores límite establecidos en el proyecto determinan las condiciones de confort y suministran indicaciones en cuanto a la seguridad, ya que los esfuerzos sobre la vía son también proporcionales a la aceleración sin compensar (Maynar, 2008).

Sin embargo, en la situación real, ocurren desviaciones de la geometría proyectada que permiten identificar los parámetros del proyecto que tendrán que ser limitados, debido al incremento de esfuerzos que se originan en la vía. Para el análisis de las diferencias se recurre a los registros de la geometría de la vía, obtenidos a través de mediciones efectuadas por vehículos de inspección y que sirven para determinar la calidad geométrica de la vía. En términos de la calidad geométrica, los parámetros que caracterizan la geometría de una vía ferroviaria son: el ancho de vía; alineación; la nivelación longitudinal; la nivelación transversal; y el alabeo. La presencia de defectos en cualquiera de estos parámetros interfiere con los movimientos de los vehículos. Esencialmente, los defectos de nivelación longitudinal, afectan al movimiento de galope, mientras los defectos de nivelación transversal son la causa del movimiento de

balanceo de los vehículos. Las irregularidades existentes en el ancho de la vía y alineación inciden en el movimiento de lazo, aumentando las aceleraciones laterales. A su vez, los defectos de alabeo pueden originar el descarrilamiento de los vehículos (Lupiáñez, 2010). El control periódico de la geometría de la vía efectuado por los vehículos de inspección permite evaluar si las desviaciones de cada parámetro de la vía se mantienen dentro de las tolerancias admisibles (REFER, 2009a). También, si se comparan con los parámetros proyectados, es posible evaluar la evolución de las diferencias en cada segmento y en las diferentes secuencias de segmentos que la componen. Eso permite evaluar algunos aspectos conceptuales del trazado, nombradamente las características intrínsecas de los elementos geométricos y la estructura secuencial de las alineaciones rectas y circulares, así como las respectivas extensiones y, consecuentemente, evidenciar/tipificar ciertos patrones de comportamiento de la estructura de una vía y optimizar la relación entre los parámetros proyectados.

Existen, entre la vía y el vehículo, interacciones muy estrechas debido a los esfuerzos ejercidos por el vehículo en la vía, por lo que las imperfecciones de la vía influyen sobre la estabilidad del vehículo con consecuencias importantes en el confort de los pasajeros y en la seguridad de las circulaciones, por lo que es necesario conservar una buena calidad de la vía.

3. Análisis de la calidad de la geometría de la vía

Los segmentos analizados son parte de un trozo de vía con servicio mayoritariamente suburbano, donde la velocidad máxima de proyecto es de 100 km/h, los radios están comprendidos entre 196 y 25000 m y el ancho nominal de vía es de 1668 mm. La mayor parte del trazado tiene características no homogéneas, lo que permite evaluar las consecuencias de frecuentes alteraciones del trazado: en términos de alineaciones rectas, curvas de transición y alineaciones circulares, así como las respectivas extensiones. En la situación analizada es relevante apreciar los factores relacionados con la inscripción de los vehículos en curva y la resistencia al avance conferida por las pendientes, que contribuyen para dictar los niveles de seguridad, tales como los sobrecanchos y las vías conjuntas de los carriles. Los resultados presentados se centran sobretudo en el parámetro ancho nominal de vía por la evidente relación con los desgastes en los carriles y en las ruedas. El análisis es efectuado para las mismas condiciones de velocidad, armamento de la vía (traviesas de hormigón y sujeciones elásticas) y tipo de vehículo.

3.1. Distancia que hay que asegurar entre ligaciones adyacentes

La perturbación originada por la entrada o salida de vehículos en los segmentos de un trazado no es amortizada inmediatamente, de tal modo que sus efectos son susceptibles de sobreponerse si el desarrollo de los elementos geométricos no es suficiente para estabilizar el movimiento del vehículo.

En el caso de alineaciones rectas con diferentes extensiones, localizados entre dos curvas con características idénticas (curvas de transición, radios y peraltes), se verifican mayores diferencias entre el ancho teórico y el ancho real de la vía en las alineaciones de menor extensión. El ejemplo de la Figura 1 compara el comportamiento de las diferencias en dos alineaciones rectas. En la alineación recta de menor extensión se observa una dispersión de los valores de las diferencias entre 1,2 y 9,0 mm y una mayor frecuencia centrada en los 3,0 mm. En la alineación recta más extensa la concentración de las diferencias se sitúa entre 1,6 y 5,0 mm y la mayor frecuencia está centrada en los 2,6 mm. Para un mismo valor de diferencia (5,0 mm) el porcentaje acumulado en el primer caso es de 66% y en el segundo de 97%, lo que significa que en la alineación recta más extensa solamente un porcentaje residual se encuentra por encima de 5,0 mm.

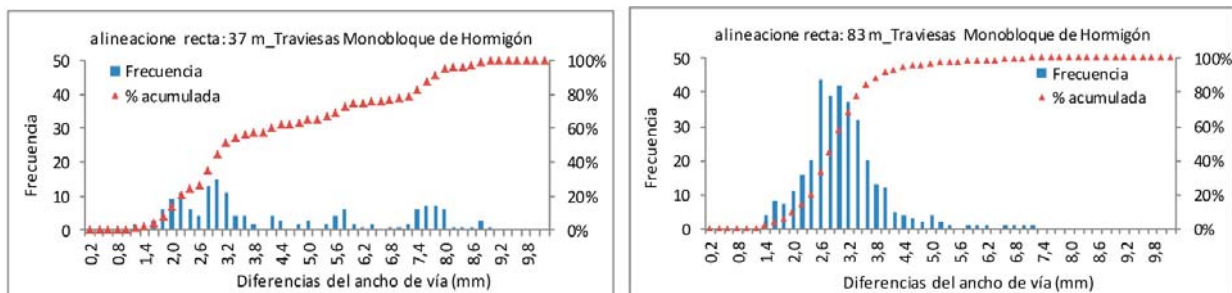


Figura 1: Diferencias del ancho de vía en alineaciones rectas con extensiones diferentes

A una menor extensión de alineaciones rectas está asociada una mayor perturbación en las desviaciones de los parámetros de la geometría de la vía, con mayor o menor impacto en su comportamiento conforme los parámetros de las curvas adyacentes, en lo que se refiere al valor del radio, a la pendiente del diagrama de peraltes y a la longitud de las curvas de transición. En las alineaciones circulares se verifica un comportamiento idéntico.

El proyecto, sobretodo en trazado sinuoso, exige particular atención en el dimensionamiento de las extensiones de los segmentos (Esveld, 2001) que deberán garantizar, como mínimo, un valor de 40 m, a que acrece la ponderación sobre las características del trazado, arriba y abajo del segmento, y sobre el material rodante que hace la exploración de la línea, que podrá incrementar el valor mínimo de las extensiones de los segmentos.

Curvas adyacentes de sentidos contrarios con punto de inflexión deben ser conectadas con una única transición. Cuando eso no ocurre, hay alteraciones de la geometría de la vía que llevan a la formación sistemática de desviaciones de los parámetros que tienden a alterar la geometría de vía proyectada tanto más significativamente cuanto más reducidos fueren los radios, cuanto más elevadas fueren los peraltes y cuanto menor sea la extensión de los segmentos. Como ejemplo, se puede ver en la Figura 2, en la curva de transición (CT1) con mayor extensión y menor pendiente del diagrama de peraltes, las diferencias del ancho de vía varían entre 4,2 y 16,2 mm, mientras en la (CT2) varían entre 9,2 y 18,6 mm. La concentración de las diferencias en el primer caso ocurre entre 8,0 y 10,2 mm. En la CT2 se verifica una dispersión de los desvíos mucho más significativa.

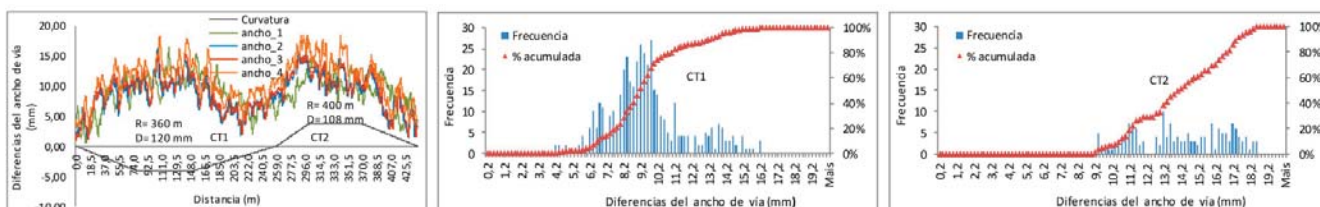


Figura 2: Diferencias del ancho de vía en curvas de sentido contrario con punto de inflexión

Los defectos de alabeo, principales responsables por la ocurrencia de los descarrilamientos, se centran en estas zonas, por lo que su dimensionamiento requiere el conocimiento de los esfuerzos que se desarrollan en la interacción rueda-carril (Aliás, 1984).

3.2. Zonas de inserción de desvíos

Por sí solas, las zonas de inserción de los desvíos, debido a la discontinuidad geométrica, a la rigidez y a la mayor dificultad en la conservación de la nivelación, son generalmente responsables por distorsión en la alineación de la vía que se extienden arriba y debajo de los puntos de inserción. Los efectos generados por las condiciones de inserción (elementos adyacentes) de los aparatos de vía pueden incrementar la inestabilidad inherente al pasaje de las circulaciones en este equipamiento. Cuando los aparatos de vía son instalados en alineaciones rectas o en alineaciones circulares con una extensión que no permite la estabilización del vehículo, se verifica un aumento de la amplitud de los defectos en los elementos geométricos colaterales. El mismo se pasa cuando sus puntos notables, las juntas de las contra agujas y las juntas finales del desvío, están localizados en la proximidad del inicio o del fin de las curvas de transición. Estas situaciones determinadas por razones diversas, nombradamente la necesidad de ampliación de las estaciones, conyugada con las condiciones orográficas y territoriales, comprueba las zonas de los desvíos como puntos críticos del trazado.

3.3. Pendientes elevadas conjugadas con curvas en planta de pequeño radio

La conjugación del trazado en alzado con el trazado en planta presenta un papel tanto más significativo cuanto más elevadas fueren las pendientes y menores fueren los valores de los radios en planta, debido a la resistencia al avance que estos ofrecen al movimiento de los vehículos. Las curvas de radios más reducidos originan una resistencia al movimiento que depende, esencialmente, del espacio entre las pestañas de las ruedas y las caras laterales de la cabeza del carril y del deslizamiento de las ruedas sobre los carriles. Esa resistencia depende de las características del vehículo ferroviario y de sus condiciones de inscripción en curva y naturalmente del radio de la curva. La resistencia al movimiento debido a las curvas y a la inclinación de las pendientes es dada por la Ecuación (1) que establece la noción de perfil de compensación, de gran interés no solo en la resolución de problemas de tracción sino también en el estudio de los propios trazados (Gonçalves, 1974).

$$i_c = i + \frac{K}{R} \quad (1)$$

Donde: K es una constante que depende del coeficiente de atrito entre el carril y el aro de la rueda, del embasamiento de los vehículos, del ancho de vía y del sobrancho de la vía; i inclinación de las pendientes, R radio de la curva.

Cuando las pendientes con inclinaciones elevadas se sobreponen con curvas en planta de radio reducido (inferior a 300 m para el ancho de vía 1668 mm) los defectos del ancho de vía son superiores a los verificados en superposiciones de curvas con valor de radio del mismo orden de grandeza con pendientes de inclinaciones más suaves. Con efecto, ejemplificando, la Figura 3 evidencia la tendencia de las diferencias del ancho de vía para los segmentos correspondientes de las alineaciones circulares de las curvas de radios 250 y 270 m, con inclinaciones de 2,7‰ y 16,0‰, respetivamente.

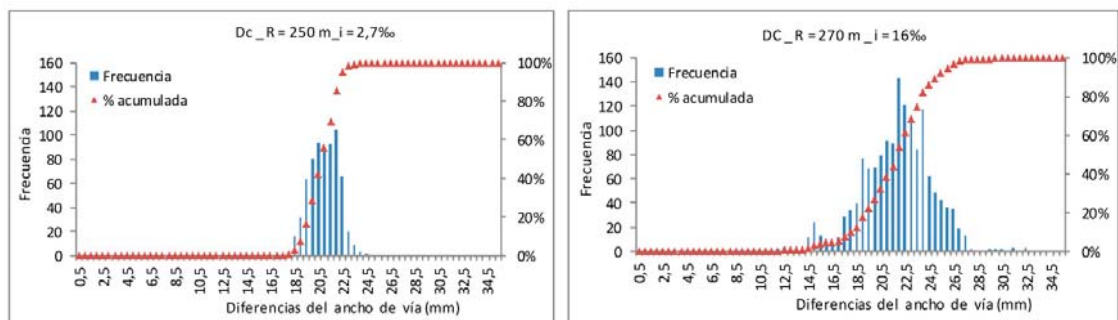


Figura 3: Diferencias del ancho de vía en curvas con radios idénticos e inclinaciones distintas

El valor de la inclinación de las pendientes conjugado con curvas de radio reducido se presenta como un factor determinante en el valor de los defectos del ancho de vía, una vez que cuanto más acentuada sea la inclinación mayores serán los efectos en los defectos del ancho de vía. Se debe, por eso, eliminar las situaciones de superposición de pendientes de inclinación elevada con curvas de pequeño radio. Estos casos presentan aún mayor relevancia en las zonas correspondientes a las estaciones una vez que las condiciones de frenado y arranque agravan estos efectos.

3.4. Peraltes

La conservación del peralte proyectado está directamente ligada a las características geométricas del trazado y de la estructura de la vía. La disposición de los elementos geométricos y respectivas extensiones dicta el comportamiento de la estructura de la vía que, en determinadas gamas de radios, reflejan su dinámica propia, mientras en otras gamas existe una tendencia para generar incrementos en los defectos de los peraltes. La Figura 4 traduce, en un trazado no homogéneo, los defectos de escala en alineaciones circulares de radios comprendidos entre 196 y 25000 m, ordenados por orden creciente. La Figura 5 representa las desviaciones en alineaciones circulares de radios comprendidos entre 400 y 785 m, que designaremos por trazado homogéneo.

Como se puede constatar por el análisis de la Figura 4, la dificultad en mantener el valor de los peraltes proyectados es tanto mayor cuanto menor sea el radio, agravándose cuando la curva es dotada de una escala con valor elevado y menores sean los segmentos constitutivos del trazado (alineaciones circulares y transiciones). Los radios inferiores a 200 m (ancho de vía 1668 mm) ofrecen defectos de escala más elevados debido al tipo de vía (con juntas) que equipan esos segmentos. En el caso de los radios superiores a 300 m, las desviaciones del valor del peralte no son muy significativas, con la excepción de los casos en que los desarrollos de las alineaciones circulares son de corta extensión. En este caso, existe una reducción significativa de los puntos de peralte constante que alteran significativamente la geometría proyectada. Para curvas con radios elevados (2500 m) y peraltes bajos, (los peraltes reales son inferiores a los valores proyectados, pudiendo significar dificultad de materialización y/o conservación dado que estas situaciones se verifican en alineaciones circulares de corta extensión.

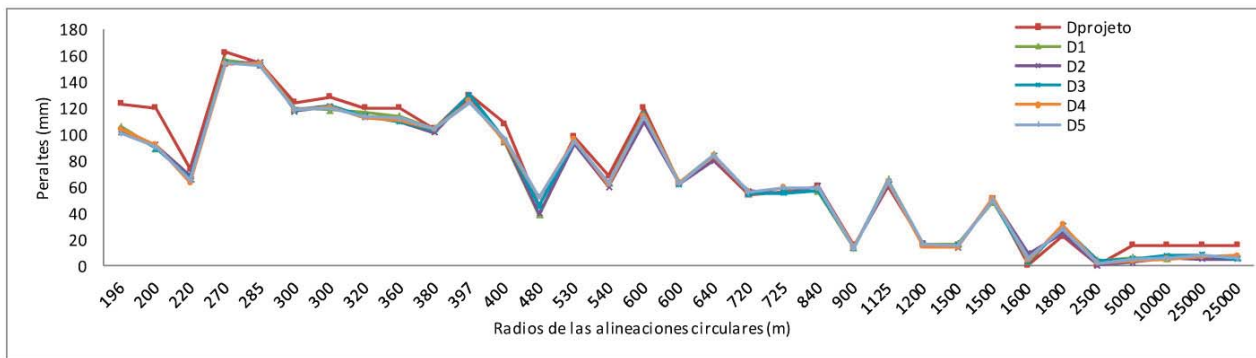


Figura 4: Diferencias de peraltes en alineaciones circulares de un trazado no homogéneo

En contrapunto, la Figura 5 refleja las desviaciones de peralte en una vía con trazado homogéneo, para las mismas condiciones de exploración del tramo anterior y en que las curvas presentan radios superiores a 400 m. En este caso son casi inexistentes las desviaciones entre los valores de peralte proyectados y los registrados por los medios de inspección. Las diferencias residuales verificadas son atribuidas a segmentos (alineaciones circulares y transiciones) con extensión insuficiente para estabilizar el vehículo ferroviario.

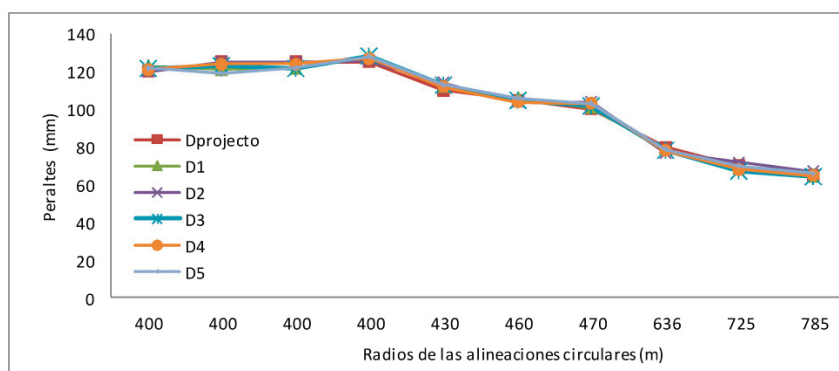


Figura 5: Diferencias de peraltes en alineaciones circulares de un trazado homogéneo

3.5. Sobreanchos

Se recurre a la aplicación del sobreancho en las curvas de pequeño radio para permitir una mejor inscripción de los vehículos. Con todo, se debe limitar ese sobreancho al menor valor posible, reduciendo al mínimo el ángulo de ataque entre la rueda y el carril, propiciando más suavidad en el rodamiento en tramos de elevada curvatura, disminuyendo la resistencia al avance y, consecuentemente, los desgastes en las ruedas y en los carriles. El problema del sobreancho está ligado a un campo complejo de la inscripción de vehículos en curva y para su resolución contribuyen las características de los vehículos, el radio de la curva y las tolerancias admitidas para las ruedas y para los carriles. Comparando el valor de los defectos del ancho de vía para la gama de valores de los radios de e inferiores con los correspondientes a la gama de valores se verifica una diferencia expresiva, mismo teniendo presente la diferencia de 5 mm entre los sobreanchos aplicados en cada gama de radios (REFER, 2008). El caso que se evidencia en la Figura 6

corresponde a las curvas de radios 220 y 250 m, que pertenecen a gamas de radios diferentes y, consecuentemente, valores de sobreancho distintos. En la curva con radio de 220 m y sobreancho 10 mm, el desvío de 22,5 mm corresponde a un porcentaje acumulado de 6%. En la curva de rayo 250 m y sobreancho 5 mm, el valor del desvío de 22,5 mm presenta un porcentaje acumulado de 95%. El desequilibrio de las diferencias verificadas en las situaciones en que fueran aplicadas sobreanchos de 10 mm, indicia que para el vehículo que hace la exploración del tramo analizado el valor del sobreancho puede ser excesivo.

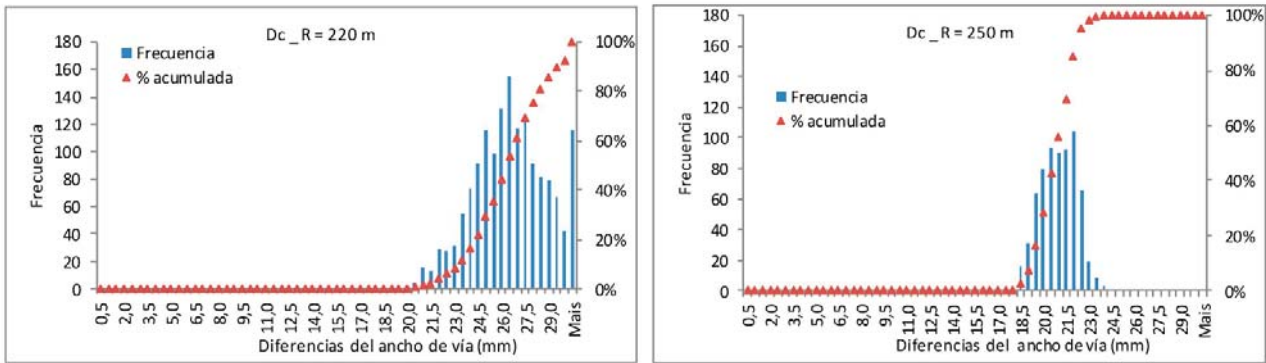


Figura 6: Diferencias del ancho de vía en curvas con radios 220 y 250 m

Estas situaciones hacen que el desgaste lateral se presente ya pronunciado, aunque el ángulo de desgaste en bisel sea lo que evoluciona de forma más acentuada, situación esperada frente a las condiciones de inscripción, con un contacto casi permanente entre la pestaña de la rueda y el carril (REFER, 2009c). Las líneas con estas características se presentan como potenciales para una precoz intervención de sustitución de carriles. La aplicación del sobreancho tiene como finalidad facilitar la inscripción de los vehículos, por lo que se deberá tener en cuenta el trazado (planta y alzado), el ancho de vía, el tipo de traviesas y de sujeciones, las características del material rodante (embasamiento, diámetro de las ruedas) y el régimen de exploración.

3.6. Vía con juntas de los carriles

Las juntas de los carriles son puntos de concentración de rigidez transversal de la vía y de mayor dificultad en la conservación de la nivelación (REFER, 2009b). Se verifica, a través del análisis de los registros de las diferencias del ancho de vía, una amplitud de defectos bastante superior a otras zonas con barra larga. La Figura 7 presenta los registros de las desviaciones del ancho de vía nominal en un trecho de vía con juntas. Los registros del ancho de vía presentan una configuración en “diente de sierra” evidenciando la amplitud de sus valores. La mayor concentración de los defectos del ancho de vía ocurre entre los 26,0 y 30,0 mm y la mayor frecuencia corresponde a los 29,5 mm.

Se constata que las fluctuaciones de los valores de los defectos crecen, en el caso de la vía con juntas, originando picos en la variación de insuficiencia de peralte en el tiempo que pueden atingir valores superiores al límite de la comodidad. Las juntas de los carriles provocan defectos geométricos considerables que influyen la calidad geométrica de la vía en todos sus parámetros.

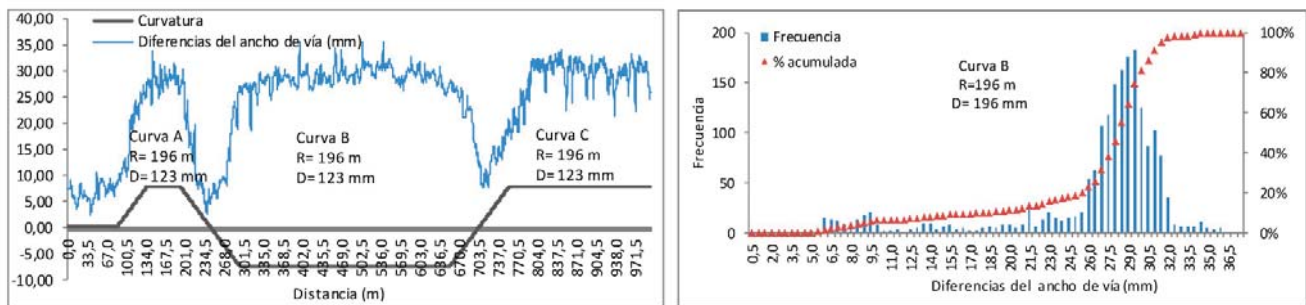


Figura 7: Registro de las diferencias del ancho de vía en una vía con juntas

En este tipo de vía con juntas, la amplitud de defectos es más significativa, por lo que deberá ser más exigente la vigilancia que hay que efectuar a lo largo del período de vida útil del sistema. La vía se degrada con mayor facilidad, obligando naturalmente a un mayor coste de mantenimiento, lo que deberá ser una solución a evitar.

4. Consideraciones finales

La secuencia de los elementos geométricos que constituyen el trazado (alineaciones rectas, alineaciones circulares y transiciones) y la extensión de los mismos, determinan el valor de los defectos de los parámetros de la geometría de vía. Acrecen, aún, factores relacionados con el tipo de estructura de la vía, la tipología de los vehículos que explotan la línea y el sistema de explotación. Los resultados del presente análisis a varios elementos y secuencias de trazado permiten sacar las siguientes conclusiones:

- a una menor extensión de alineación recta y alineación circular corresponde una mayor perturbación verificada en los defectos del ancho de vía, agravados o minimizados por los parámetros de los elementos colaterales, que ofrecerán siempre una dinámica propia;
- alineaciones circulares de menor extensión, con elevada curvatura y peralte, originan una mayor dificultad en el mantenimiento de la nivelación transversal;
- entre dos curvas de sentido contrario con punto de inflexión donde no exista una sola transición, se verifican defectos de ancho de vía superiores a los verificados en una transición única;
- la resistencia ofrecida por las curvas de radio reducido cuando se sobreponen con pendientes de inclinación elevada, introduce defectos más significativos en el parámetro ancho de vía, que cuando se sobreponen con pendientes de inclinación más moderada;
- los defectos del ancho de vía verificados en las curvas donde están aplicados sobrecanchos sugiere que las mismas deban ser dimensionadas teniendo en cuenta las características de la infraestructura (geometría de la vía, armamento y ancho de vía) y las características de los vehículos (embasamiento, diámetro de las ruedas, etc.);
- las vías con juntas representan puntos críticos del trazado, siendo por eso soluciones a evitar.

El impacto que los defectos de los parámetros de la vía tienen en el mantenimiento de su geometría y en el comportamiento de los vehículos cuando realizan su marcha, exige mucho rigor en la definición del trazado y en las soluciones adoptadas para la vía. Estos factores son fundamentales para la minimización de costes, sea de manutención de la vía, sea del material rodante, a lo largo del período de vida útil del sistema.

La diversidad de combinaciones posibles en la evaluación de todos los defectos de la geometría de la vía transforma estos estudios en una tarea dura y prolongada. Pero, si es efectuada de forma continuada, permitirá optimizar, e incluso establecer, un conjunto de nuevas reglas a observar en la concepción del trazado en lo que concierne al confort y seguridad y evitar costes añadidos al mantenimiento de la vía.

5. Referencias bibliográficas

- [1] Allias, Y. (1984). *La Voie ferrée technique de construction y d'entretien*. Eyrolles, Paris, France, pp. 1-514.
- [2] Esveld, C. (2001). *Modern railway track*. MRT - Productions, Zaltbommel, Netherlands, pp. 1-645.
- [3] Gonçalves, E. (1974). *Caminhos-de-ferro*. AELEST, Lisboa, Portugal, pp. 1-307.
- [4] IPQ (2007). *NP ENV 13803-1:2007 - Aplicaciones ferroviárias – Parâmetros de proyecto de traçado de via – Ancho de vias de via de 1435 mm y de valor superior – Parte 1: Plena Via*, Instituto Português de la Calidad, Lisboa, Portugal, pp. 1-94.
- [5] Lupiáñez, S. (2010). *Modelización de la interacción vía-tranvía*. Trabajo fin de carrera, Universitat Politècnica de Catalunya, PrémioComsa EMTE de ferrocarriles, IX Edición, Catalunya, España, pp. 1-159.
- [6] Maynar, M. (2008). *Apuntes de introducción a la dinámica vertical de la vía y a las señales digitales en ferrocarriles*. GráficasGallagor, Madrid, España, pp. 1-797.
- [7] Molinari, Y. (1999). *Éléments de mécanique ferroviaire: Relations entre paramètres de voie, sécurité et vitesses de circulation*. Groupe interdisciplinaire de réflexion sur les traversées Sud-Alpines et l'aménagement du territoire Maralpin, Menton, France, pp. 1-22.
- [8] REFER (2008). *IT.VIA.002: Ancho de vias de via larga, sobrelarguras y tolerâncias*. Rede Ferroviária Nacional, Lisboa, Portugal, pp. 1-3.
- [9] REFER (2009a). *IT.VIA.018: Tolerâncias dos parâmetros geométricos de la via*. Rede Ferroviária Nacional, Lisboa, Portugal, pp. 1-18.
- [10] REFER (2009b). *IT.VIA.019: Verificación de las yuntas dos carris. Tolerâncias*. Rede Ferroviária Nacional, Lisboa, Portugal, pp. 1-8.
- [11] REFER (2009c). *IT.VIA.021: Tolerâncias de desgaste del perfil del carril*. Rede Ferroviária Nacional, Lisboa, Portugal, pp. 1-7.