

# ALTA VELOCIDAD: EL FENÓMENO DE INTERACCIÓN VÍA-TABLERO EN PUENTES

PEDRO GONZÁLEZ, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
MANUEL CUADRADO, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
JORGE NASARRE, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
EDUARDO ROMO, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

**RESUMEN:** El estudio de la interacción entre vía y tablero de puente o plataforma es necesario en el caso de las líneas con carril continuo soldado, y, especialmente, en las nuevas líneas de alta velocidad. Limitar las tensiones en el carril debidas a la presencia de viaductos importantes es fundamental para evitar el riesgo de una rotura del carril en servicio. Los aparatos de dilatación de vía, utilizados para reducir dichas tensiones, deben evitarse siempre que sea posible, por razones de mantenimiento de la infraestructura y comodidad de marcha. El análisis de la interacción vía-estructura permite calcular las tensiones en el carril debidas a este fenómeno, pudiéndose discriminar en qué casos es necesario disponer un aparato de dilatación. Por otro lado el análisis posibilita la determinación de los desplazamientos del tablero, de la vía y relativos entre vía y soporte. La limitación de estos desplazamientos garantiza que no se producirán fenómenos de inestabilidad general de la vía por desconsolidación del balasto. En el presente artículo se presenta una visión general del fenómeno de interacción, de la metodología que se aplica para su análisis, así como los resultados obtenidos gracias a la aplicación de un modelo numérico desarrollado específicamente para dicho análisis a partir de un programa MEF. Los resultados del cálculo permiten establecer si se respetan las limitaciones de tensiones y desplazamientos y eventualmente la necesidad de disponer aparatos de dilatación.

**PALABRAS CLAVE:** INTERACCIÓN, PUENTE FERROVIARIO, EFECTOS TÉRMICOS, VÍA

**ABSTRACT:** The interaction between track and bridge deck or platform has to be examined when employing continuous welded rails and, particularly, in new high-speed lines. It is essential to reduce the stresses in the rail over large viaducts to prevent the risk of rail failure. The use of expansion joints to reduce these stresses should be avoided wherever possible for ease of maintenance of the infrastructure and passenger comfort. The analysis of track-structure interaction allows the calculation of rail stresses under these circumstances and enables one to pinpoint where expansion joints are required. Furthermore, this analysis makes it possible to the movements in deck and track and the relative movement between the rail and supports. A reduction of these movements impedes general track instability caused by the decompaction of ballast. The article gives a general overview of this interaction, the methodology employed in the analysis of the same and the results obtained from a specifically developed numerical model based on a finite element programme for this analysis. These results make it possible to ascertain whether stress and movement limits are being observed and, subsequently, the need to place expansion joints.

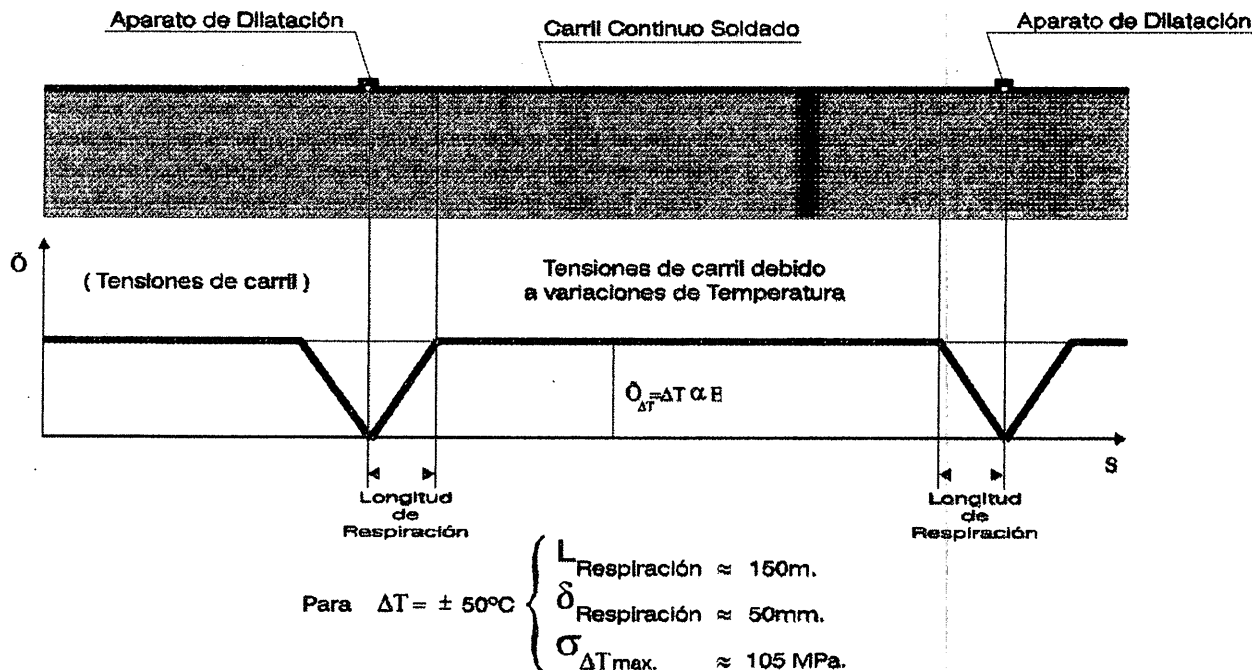
**KEYWORDS:** INTERACTION, RAILWAYS BRIDGES, TERMICS EFFECTS, PERMANENT WAY

## 1. INTRODUCCIÓN

La instalación de carril continuo en nuevas líneas, y especialmente en las Líneas de Alta de Velocidad LAV, hace necesario el estudio del comportamiento de la vía en presencia de una estructura.

El fenómeno de interacción entre la vía y la estructura provoca tensiones en el carril, que pueden llegar a ser importantes, así como desplazamientos relativos entre la vía y el tablero o entre la vía y la plataforma en zonas contiguas a la estructura. El análisis y la limitación de las tensiones inducidas en el carril es necesario para prevenir la rotura del carril

Figura 1.



en servicio. La limitación de los movimientos relativos entre la vía y el soporte bajo balasto (ya sea el tablero o la plataforma) es necesario para evitar una desconsolidación del balasto y un riesgo de inestabilidad del conjunto de la vía.

La disposición de aparatos de dilatación, en general próximos a los estribos de los viaductos, permite romper la continuidad del carril soldado, provocando una redistribución y una reducción importante de las tensiones en carril. Sin embargo, por razones de mantenimiento y de comodidad de marcha, un aparato de dilatación debe instalarse sólo cuando sea imprescindible.

La Ficha UIC-774-3 [1] y el Borrador de Instrucción de Acciones a Considerar en Puentes de Ferrocarril (BIAPF) [2] recogen los principios metodológicos para abordar el análisis de la interacción vía-estructura, y establecen las limitaciones que deben respetarse tanto en tensiones en carril como en desplazamientos.

La utilización de modelos de cálculo que idealizan el comportamiento del conjunto de los elementos que intervienen en el fenómeno, con la obtención de tensiones y desplazamientos, hace posible comprobar que las tensiones del carril en servicio y los desplazamientos son inferiores a los valores límites establecidos y así determinar si es necesario disponer un aparato de dilatación.

En el marco de los trabajos de Apoyo a la Dirección de los Proyectos de la LAV Córdoba- Málaga, PROINTEC ha precisado la metodología [3] y ha desarrollado, adaptando un programa MEF, un modelo para el análisis de interacción carril-tablero.

El presente artículo presenta una visión general del fenómeno de interacción, de la metodología así como los resultados obtenidos gracias a la aplicación del modelo desarrollado.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los movimientos relativos entre carril y tablero o plataforma están restringidos por las sujeciones que unen carril y traviesa y la trabazón que asegura el balasto entre la traviesa y la infraestructura (tablero de puente o plataforma).

En una situación de referencia, en la que la superestructura de vía se apoya sobre la plataforma, el carril continuo está sometido a esfuerzos longitudinales de origen térmico debidos a las variaciones de temperatura del propio carril. Esto produce, en un tramo de vía con carril continuo limitado por dos juntas de dilatación, un diagrama de tensiones como el mostrado en la figura nº 1.

En la parte central, la tensión en el carril alcanza el valor correspondiente al de una barra confinada sometida a variación de temperatura ( $\sigma = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$ ), no produciéndose movimientos relativos entre el carril y la plataforma.

En cada extremo existen dos zonas, denominadas zonas de respiración, en las que, debido a movimientos relativos entre la vía y la plataforma, aparecen unos esfuerzos rasantes que limitan sin impedir totalmente la libre dilatación del carril y que producen el incremento de las tensiones desde el un valor nulo en el aparato de dilatación hasta el valor máximo de confinamiento.

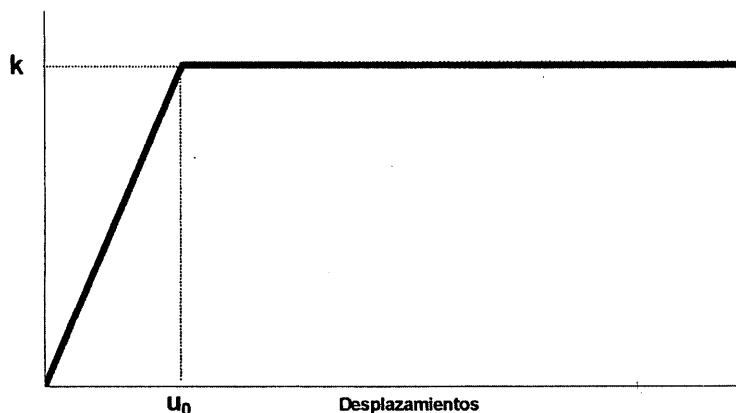


Figura 2.

Para carril UIC 60 y variaciones de temperatura de 50 °C, la tensión en el carril debido a efectos térmicos es de 105 MPa, la longitud de respiración alcanza los 150 m y los desplazamientos en el aparato de dilatación pueden estimarse en 50 mm.

Esta configuración de referencia (zonas de carril confinado con longitudes de respiración en cada extremo) se ve alterada cuando aparece una estructura. La deformabilidad de la estructura provoca movimientos relativos entre el carril y el tablero, apareciendo esfuerzos rasantes que pueden producir sobretensiones importantes en los carriles.

### 3. BASES DE CÁLCULO

Los parámetros que es necesario considerar en el análisis del fenómeno de interacción son, en primer lugar, los referentes a la estructura: coeficiente de dilatación térmica, características geométricas y mecánicas del tablero (y la rigidez a flexión de las pilas en caso de empotramiento), y la rigidez de cada apoyo frente a desplazamientos horizontales, teniendo en cuenta tanto la rigidez del aparato de apoyo como la de las pilas en su caso.

El carril viene caracterizado por el coeficiente de dilatación térmica, por su sección y el módulo de elasticidad del acero.

En el caso de vía sobre balasto, la interacción entre vía y el tablero o plataforma se produce por la resistencia de la capa de balasto al desplazamiento relativo de la traviesa respecto del soporte del balasto (tablero de puente o plataforma), pudiendo asimilarse dicha resistencia a una fuerza de rozamiento expresada por unidad de longitud de vía. Los datos experimentales han permitido idealizar este comportamiento mediante la adopción de una ley elastoplástica bilineal (figura nº 2), caracterizada por el valor máximo de la fuerza de rozamiento  $k$  y el valor del desplazamiento de plastificación  $u_0$ .

### 4. MODELO DE INTERACCIÓN CARRIL TABLERO

La ficha UIC 774-3 [1] ofrece la posibilidad de efectuar un predimensionado y cálculos mediante ábacos para casos sencillos.

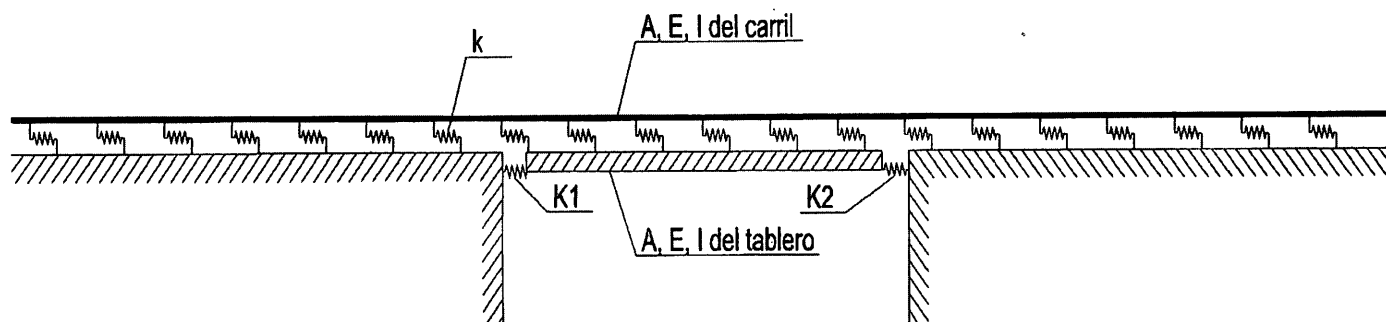
Sin embargo, estos ábacos están desarrollados para acciones de tráfico UIC (sin el coeficiente de clasificación  $\alpha=1,21$  que debe aplicarse al caso de las LAV con ancho UIC) y no son aplicables en los casos de viaductos importantes.

Es por esta razón que el desarrollo de un modelo numérico es necesario para un correcto análisis del fenómeno, considerando un modelo de interacción como el mostrado en la figura nº 3.

En dicho modelo, el comportamiento de la unión entre vía y tablero o plataforma está regido por la ley elastoplástica bilineal, anteriormente descrita y definida por los parámetros  $u_0$  y  $k$ : el valor de  $k$  varía según el estado de conservación del balasto o el estado de carga de la vía (descargada o cargada por paso de tren).

El modelo tiene en cuenta que los esfuerzos en carril debidos a la flexión del tablero deben evaluarse teniendo en cuenta la distancia vertical entre aparatos de apoyo, fibra neutra de deformaciones y fibra superior del tablero.

Figura 3.



Finalmente el modelo idealiza los apoyos del tablero, que se definen normalmente por su rigidez horizontal  $K$ . En el caso de apoyos deslizantes, es posible considerar reacciones horizontales por rozamiento. Cuando existen elementos especiales, tales como amortiguadores, es necesario considerar su comportamiento en el cálculo.

La ficha UIC 774-3 [1] proporciona una serie de recomendaciones relativas al modelo numérico, en relación con los puntos anteriormente citados (discretización del tablero y de la vía, caracterización de los apoyos) así como en relación con otros detalles, como puede ser la longitud de vía sobre plataforma a ambos lados de viaducto que debe incluirse en el modelo.

La utilización de un programa de cálculo específicamente desarrollado es una alternativa [4] [5] [6], aunque una solución más asequible consiste en la adaptación de programas de cálculo de estructuras convencionales o MEF que permitan introducir elementos muelle con la ley elastoplástica que caracteriza la unión entre vía y tablero o plataforma [3].

PROINTEC, a partir de la utilización y adaptación de un programa MEF, ha desarrollado el modelo numérico que permite el análisis de la interacción carril-infraestructura y ha procedido a la validación de los resultados del programa de cálculo mediante la resolución de los casos "test" de la Ficha UIC 774-3 [1].

## 5. ACCIONES A CONSIDERAR

Se describen a continuación las acciones a considerar en el análisis de interacción.

### 5.1. Variación de temperatura de tablero y carril

En ausencia de aparato de dilatación, la variación de temperatura en el carril no produce movimientos relativos entre el carril y el tablero o la plataforma, siendo únicamente necesario considerar la variación de la temperatura del tablero. La variación de temperatura en el tablero  $\pm \Delta T_t$  a considerar viene determinada en función de la tipología y zona climática tal y como establece el BIAPF [2] (apartado 2.3.12. Acciones térmicas):

En ausencia de aparatos de dilatación, las tensiones obtenidas en el carril por variación de la temperatura del tablero tienen carácter de "sobretensiones", que vienen a incrementar las tensiones que puedan existir por la variación de temperatura del propio carril ( $\sigma_c = \alpha_c \cdot \Delta T_c \cdot E_c$ ).

En el caso de análisis con aparato de dilatación, es necesario considerar la variación de temperatura del tablero y la variación de la temperatura del carril.

El BIAPF [2] establece que se deberán adoptar variaciones de temperaturas de tablero  $\Delta T_t$  y carril  $\Delta T_c$  cuya diferen-

cia verifique  $|\Delta T_c - \Delta T_t| = 20^\circ\text{C}$ . En la práctica, esto conduce a considerar dos hipótesis de variación de temperatura:  $(+\Delta T_t; \Delta T_c = +\Delta T_t + 20^\circ\text{C})$  y  $(-\Delta T_t; \Delta T_c = -\Delta T_t - 20^\circ\text{C})$ .

En el caso de análisis de interacción con aparato de dilatación, las tensiones en el carril obtenidas incluyen tanto las tensiones debidas a la variación de temperatura del tablero como las correspondientes a la variación de temperatura del carril: en un punto suficientemente alejado del puente, la tensión en carril llega al valor correspondiente a la variación de temperatura del carril en una situación de confinamiento ( $\sigma_c = \alpha_c \cdot \Delta T_c \cdot E_c$ ).

### 5.2. Fuerzas de frenado y arranque

Las fuerzas horizontales de frenado y arranque están definidas en el apartado 2.3.4.1 del BIAPF [2] y corresponden a las establecidas en la ficha UIC 774-3 [1] afectadas del coeficiente de clasificación, que para las LAV de ancho UIC es  $\alpha = 1,21$ .

Estas acciones de frenado y arranque deben suponerse aplicadas sobre el carril y se deberán estudiar las diferentes posiciones de los trenes para determinar la situación más desfavorable. En el caso de puente con doble vía, la acción de frenado en una vía se combinará con la de arranque en la otra. En caso de puente con más de dos vías sólo se considerarán dos vías cargadas.

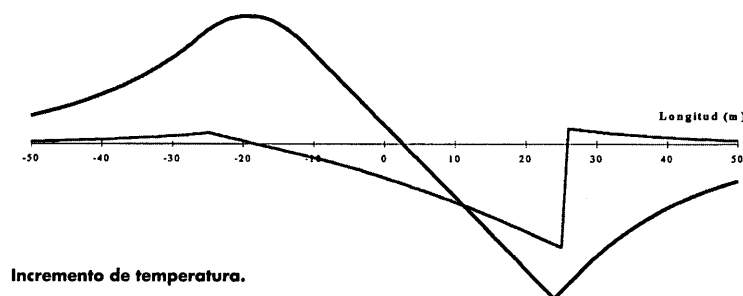
### 5.3. Flexión del tablero

Los esfuerzos en carril y desplazamientos debidos a la flexión del tablero deben establecerse a partir de las cargas verticales de tráfico. Para la evaluación de los efectos por flexión del tablero el BIAPF [2] pide que se consideren las sobrecargas de uso (cargas de tráfico), lo que supone considerar el tren de cargas UIC 71, afectado por el coeficiente de clasificación (1,21 para vía de ancho UIC).

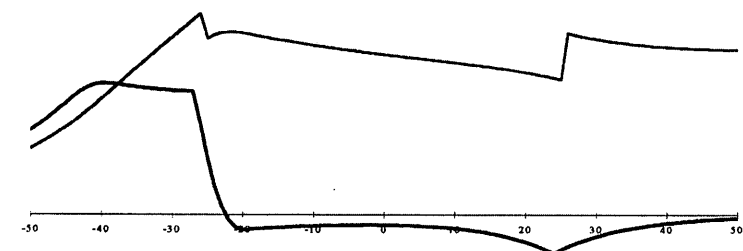
La ficha UIC 774-3 [1] pide que se consideren las cargas de tráfico, sin embargo deja entender (por las hipótesis de carga adoptadas en los ejemplos de aplicación) que puede admitirse la simplificación de adoptar un tren de cargas de 300 m de longitud y con una carga uniforme de 80 kN/m.

Como se verá más adelante, la acción del tren de cargas deberá mayorarse con el correspondiente coeficiente dinámico para el cálculo de los desplazamientos del tablero debidos a flexión.

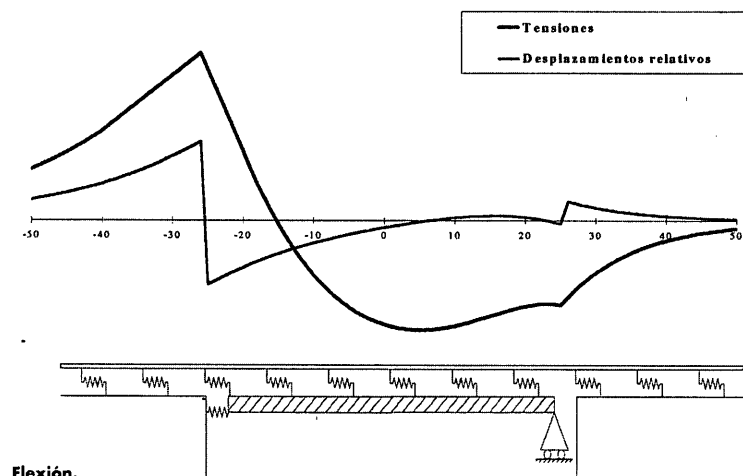
Con objeto de ilustrar el efecto de cada una de estas acciones, se ha recurrido al caso sencillo de puente isostático de un vano de 50 m de luz (apoyado-deslizante) con vía única. En los tres diagramas que se incluyen a continuación (figuras 4, 5 y 6) se han representado las tensiones en carril así como los desplazamientos horizontales relativos entre vía y tablero o plataforma, bajo las acciones de, respectivamen-



Incremento de temperatura.



Frenado.



Flexión.

Figuras 4,5 y 6.

te, variación de temperatura en tablero, frenado/arranque y flexión del tablero.

## 6. COMBINACIÓN DE ACCIONES

La combinación de acciones a considerar varía en función de cada una de las comprobaciones (en tensiones o en desplazamientos) que es necesario realizar, y que se especifican en el apartado siguiente.

Sin embargo, es conveniente señalar que la combinación lineal de esfuerzos y deformaciones resultantes del cálculo independiente de cada acción elemental (temperatura, frenado/arranque, flexión) no es correcta ya que

el modelo de interacción carril-tablero no es un modelo elástico, debido a ley de comportamiento de la unión entre la vía y el tablero o plataforma. Por otro lado, esta ley varía dependiendo de la condición de vía cargada o descargada, y por tanto en función de la posición del tren de cargas.

La ficha UIC 774-3 [1] admite la combinación de los resultados obtenidos en el análisis independiente de cada acción elemental (que la ficha denomina "cálculo simplificado"), como simplificación de un cálculo plástico paso a paso (que la ficha denomina "cálculo completo").

## 7. COMPROBACIONES

### 7.1. Tensiones en el Carril

a) Comprobación de tensiones en carril sin aparato de dilatación

En el caso de vía con carril UIC 60, con traviesas de hormigón, espesores de balasto superiores a 30 cm y radios superiores a 1.500 m, la Ficha UIC 774-3 [1] y el BIAPF [2] establecen que las sobretensiones que pueden admitirse por la interacción vía – estructura son 72 MPa en compresión y 92 MPa en tracción.

Las sobretensiones en el carril debidas a la interacción deben evaluarse en primer lugar en la hipótesis de ausencia de aparatos de dilatación. Las acciones elementales a considerar son:

- variación de temperatura del tablero ( $\Delta T_t$ )
- frenado y arranque (FA), considerando las diferentes posiciones del (de los) tren(es).
- flexión del tablero (FT)

La combinación de las acciones se hará por superposición de las obtenidas por la variación de temperatura del tablero ( $\Delta T_t$ ) y de las obtenidas por acciones concomitantes de frenado/arranque y flexión del tablero bajo paso de trenes  $(FA; FT)_{con}$ , siendo necesario estudiar los diferentes casos posibles en cuanto a posición de trenes.

Las sobretensiones obtenidas se compararán con las sobretensiones límites admitidas, en caso de obtenerse resultados inferiores a los valores límite se pasará a las comprobaciones referentes a desplazamientos.

En caso de superarse estos valores cabrán dos posibilidades: adaptar o modificar la estructura (en particular en lo referente a rigideces de apoyos) con el fin de reducir las sobretensiones y evitar la instalación del aparato de dilatación, o bien prever la instalación de un aparato de dilatación, debiéndose entonces realizar los cálculos de tensiones en carril con aparato de dilatación

b) Comprobación de tensiones en carril con aparato de dilatación

En el caso en que el cálculo de tensiones debidas a interacción sin aparato de dilatación determine la necesidad de disponerlo, se procederá a evaluar las tensiones en el carril en la nueva situación.

En este caso el cálculo no determina sobretensiones, sino las tensiones en el carril debidas a la totalidad de efectos longitudinales (térmicos de tablero y de carril, frenado/arranque y flexión).

En este caso las acciones elementales a considerar son:

- variación de temperatura del tablero y del carril ( $\Delta T_t$ ;  $\Delta T_c$ )
- frenado y arranque FA, considerando las diferentes posiciones posibles del (de los) tren(es)
- flexión del tablero FT

Como en el caso anterior, la combinación de las acciones se hará por superposición de las obtenidas por la variación de temperaturas de tablero y carril ( $\Delta T_t$ ;  $\Delta T_c$ ) y de las obtenidas por acciones concomitantes de frenado/arranque y flexión del tablero bajo paso de trenes (FA; FT)<sub>con</sub>.

Las tensiones obtenidas se compararán con las sobretensiones límites admitidas incrementadas con la tensión correspondiente a una variación de temperatura del carril de  $\pm 50^\circ\text{C}$ , es decir 177 MPa en compresión y 197 MPa en tracción.

En caso de no cumplirse los límites de tensiones en carril, se podrá incrementar el número de aparatos de dilatación.

Tras la comprobación positiva de tensiones en carril se pasará a las comprobaciones de desplazamientos.

## 7.2. Desplazamientos

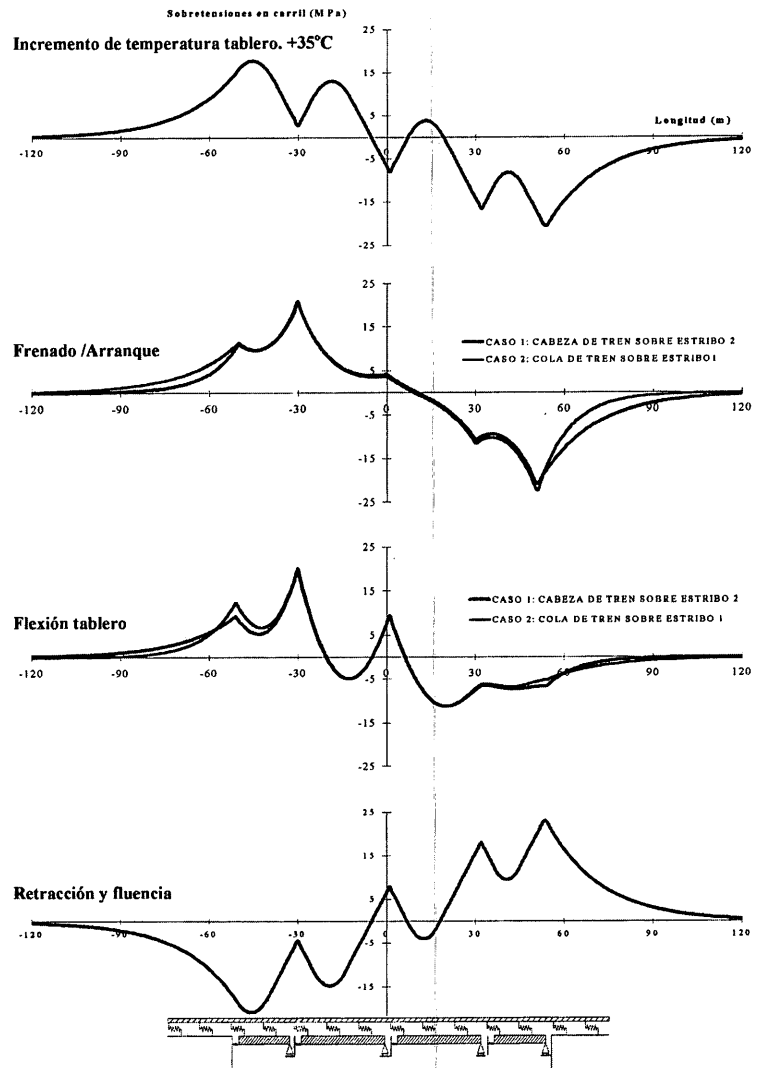
La limitación de los desplazamientos relativos entre vía y tablero se impone con el fin de evitar una desconsolidación del balasto. La limitación de los desplazamientos absolutos del tablero contribuye a asegurar el respeto de los límites de tensiones en el carril.

Las comprobaciones de desplazamientos relativos o absolutos son las siguientes:

a) Limitación del desplazamiento de extremo de tablero en estribo o entre tableros contiguos por variación diurna de temperatura.

El BIAPF [2] establece que si, por variación de temperatura en 24h, los desplazamientos del tablero en estribo o entre tableros contiguos superan los 13 mm, deberá disponerse aparato de dilatación. Esta comprobación se hará con una variación de temperatura diurna de  $\pm 2,5^\circ\text{C}$ .

Esta es la única comprobación en desplazamientos que debe preceder a las comprobaciones de tensiones en carril sin aparato de dilatación.



Proyecto de Vía "Línea Madrid-Alicante, Variante PK316 a PK363", Viaducto 1. Sobretensiones en carril.

b) Limitación del desplazamiento relativo entre la vía y el tablero o plataforma bajo esfuerzos de frenado/arranque.

Bajo esfuerzos de frenado/arranque, el desplazamiento relativo entre vía y tablero o infraestructura no deberá superar 4 mm:

c) Limitación del desplazamiento de tablero en estribo o entre tableros contiguos bajo esfuerzos de frenado/arranque.

Bajo esfuerzos de frenado/arranque, el desplazamiento absoluto de tablero en estribo o entre tableros contiguos no debe superar los valores siguientes:

- 5 mm en desplazamiento en estribo en caso de puente con al menos uno de los extremos sin aparato de dilatación o en desplazamiento entre tableros contiguos sin aparato de dilatación próximo a la junta entre tableros.

- 30 mm en desplazamiento en estribo en caso de puente con aparatos de dilatación en sus dos extremos, y en desplazamientos relativos entre tableros contiguos con aparato de dilatación próximo a la junta entre tableros.

d) Limitación del desplazamiento horizontal de extremo superior de tablero por rotación en apoyo.

La deformación por flexión del tablero bajo las cargas verticales de tráfico afectadas por su correspondiente coeficiente dinámico provocará desplazamientos horizontales absolutos del extremo superior del tablero en estribos y desplazamientos entre tableros contiguos.

Estos desplazamientos están limitados a 8 mm:

e) Limitación del desplazamiento vertical (levantamiento) del extremo superior de tablero por rotación en apoyo.

La deformación por flexión del tablero bajo las cargas verticales de tráfico afectadas por su correspondiente coeficiente dinámico provocará desplazamientos verticales absolutos del extremo superior del tablero en estribos y desplazamientos verticales relativos entre tableros contiguos.

Estos desplazamientos están limitados a 6 mm. La ficha UIC 774-3 [1] precisa que esta comprobación sólo es pertinente en caso de existencia de aparato de dilatación próximo al punto de comprobación, mientras que el BIAPF [2] no hace esta precisión y añade que es necesario considerar también efectos térmicos.

f) Cálculo de la carrera de aparato de dilatación.

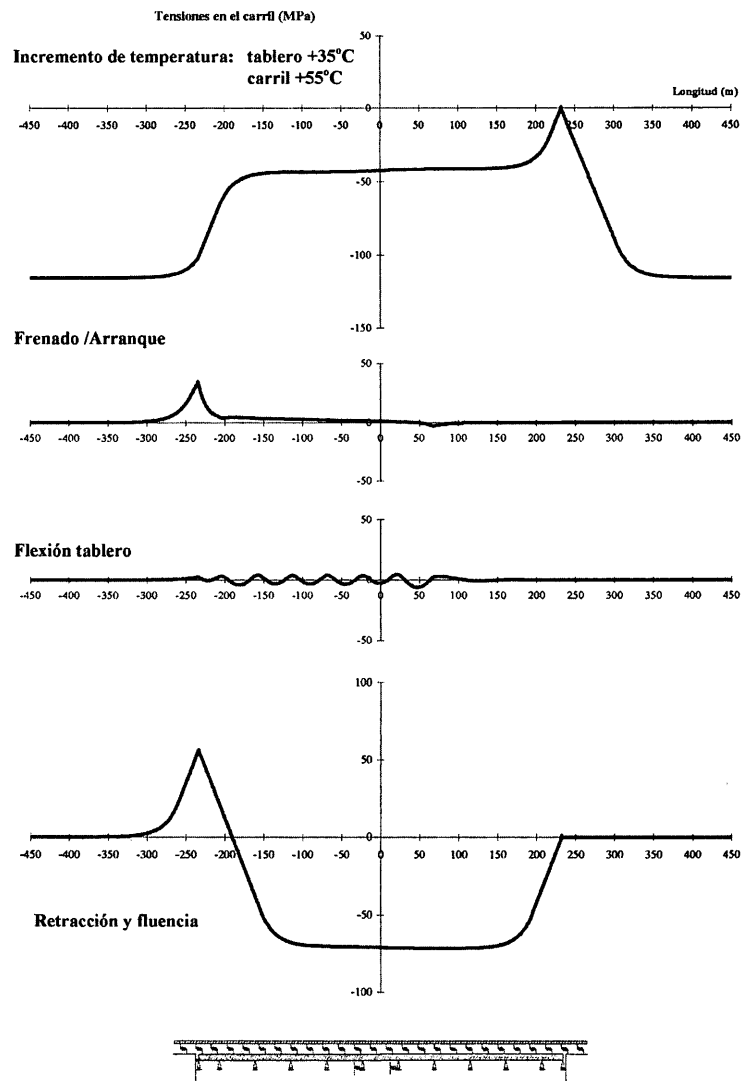
Cuando es necesaria la disposición de un aparato de dilatación debe comprobarse la carrera del mismo. Dicha carrera deberá ser inferior a la máxima permitida por el aparato de dilatación que determine la Dirección de Proyecto (actualmente existen aparatos de dilatación con carrera de hasta 1200 mm).

En este caso es necesario considerar el fenómeno de retracción y fluencia.

## 8. CONSIDERACIONES SOBRE LA RETRACCIÓN Y FLUENCIA

La Ficha UIC 774-3 [1] no especifica que se deba tener en cuenta el fenómeno de retracción y fluencia en el análisis de interacción, el BIAPF [2] sí menciona la necesidad de tenerlo en cuenta pero no aporta precisiones sobre el modo de incluirlo en los cálculos.

Sin embargo, las deformaciones totales del tablero por retracción y fluencia pueden ser muy importantes ( $\epsilon \approx 10^{-3}$ , equivalente a una deformación debida a un descenso de temperatura



Proyecto de Vía "Línea Madrid-Alicante, Variante PK316 a PK363", Viaducto 2. Tensiones en carril.

tura del tablero de 100 °C), aunque decrecen rápidamente con el tiempo. Se pueden pues producir tensiones inaceptables en el carril en los primeros meses de servicio de la vía.

El planteamiento de este problema en el seno del equipo de Apoyo a la Dirección de los Proyectos de la LAV entre Córdoba y Málaga condujo a adoptar la metodología siguiente [3]:

- en la fase de Proyecto de Plataforma se realizará un análisis considerando las acciones de variación de temperatura en tablero y carril, del frenado/arranque y de la flexión del tablero. Este análisis permite asegurar el correcto funcionamiento de la infraestructura una vez desaparecido el fenómeno de retracción y fluencia y de establecer la necesidad de disponer aparatos de dilatación "definitivos", es decir, que deberán permanecer durante la vida útil de la infraestructura ferroviaria. La retracción y fluencia sólo

se considerará en la evaluación de la carrera del aparato de dilatación.

- en la fase de Proyecto de Vía, se deberá realizar un análisis que incluya, además de las acciones de temperatura, frenado/arranque y flexión del tablero, el efecto de la retracción y la fluencia, dando lugar a un estudio definitivo de interacción vía-tablero. En esta fase de los estudios se podrá evaluar con mayor certeza el tiempo que separará la terminación de la estructura y la soldadura del carril continuo, y se podrán dar entonces las recomendaciones necesarias para el montaje de la vía (soldadura del carril diferida a fecha de entrada en servicio de la línea, operaciones de alivio de tensiones o disposición de aparatos de dilatación provisionales).

En todo caso será necesario que el equipo de diseño de la estructura facilite en el anejo de cálculo la curva (o curvas) de retracción y fluencia de la estructura en función del tiempo, de forma que, en la fase de Proyecto de Vía, sea posible determinar en el tiempo las tensiones en carril y las deformaciones definitivas debidas a este fenómeno.

## 9. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

El programa MEF utilizado y adaptado por PROINTEC a la resolución numérica del problema de interacción ha sido aplicado al análisis de interacción de dos viaductos, en la fase de Proyecto de Vía, con consideración de la retracción y de la fluencia. Son los viaductos 1 y 2 del Proyecto de Vía "Línea Madrid-Alicante, Variante PK 316 a PK 363". Se trata respectivamente de un viaducto de 100 m de longitud con cuatro vanos isostáticos de 20 y 30 m, y de un viaducto de 365 m de longitud, de tablero continuo, con 11 vanos de 30 y 45 m.

Al final de este artículo se han incluido los resultados obtenidos en tensiones de carril, en forma de gráficas de las tensiones obtenidas para cada uno de las acciones elementales (variación de temperatura, frenado/arranque, flexión de table-

ro y retracción/ fluencia), así como de la envolvente de la combinación de estas acciones.

## 10. CONCLUSIONES

En referencia al análisis del fenómeno de interacción, la ficha UIC 774-3 [1] recalca que se trata de un análisis de Estado Límite de Servicio de la estructura y de un análisis de Estado Límite Último del carril.

El análisis de interacción discrimina en qué casos es necesario disponer un aparato de dilatación y comprueba el correcto funcionamiento del conjunto vía-infraestructura con la configuración de vía que resulte del análisis (sin aparato o con uno o varios aparatos), teniendo en cuenta tanto las limitaciones en tensiones en carril como las limitaciones en desplazamientos.

Por otro lado, recientes informes del ERRI [7] han resaltado la importancia de este análisis de interacción en relación con los problemas de infraestructura asociados a la transición entre terraplén y estructura. Dichas transiciones se localizan junto a los estribos de los puentes y en ellas, en general y por diferentes razones, se producen importantes sobrecargas dinámicas y degradaciones aceleradas de la infraestructura.

El análisis de interacción permite evitar los aparatos de dilatación de vía cuando esto es posible, lo cual es siempre conveniente desde el punto de vista del mantenimiento de la infraestructura, pero lo es más cuando la presencia de estos aparatos coincide con la zona de transición terraplén-estructura.

Por otro lado, el análisis de interacción evalúa las tensiones en carril y los desplazamientos relativos debidos a interacción en las zonas de transición. Teniendo en cuenta que en las zonas de transición se producen sobrecargas dinámicas de tráfico importantes, es especialmente relevante garantizar que no se está disminuyendo la capacidad mecánica del carril frente a cargas (que las tensiones de interacción no sobrepasan los valores límites) como la estabilidad general de la vía (que se respetan los límites en cuanto a desplazamientos relativos vía-soporte). ■

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Union Internationale des Chemins de fer. Febrero 1999: *Fiche UIC 774-3R. Interaction voie-ouvrages d'art. Recommendations pour les calculs.*
- [2] Comisión redactora IAPF. Febrero 2000: *Borrador de Instrucción de acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril.*
- [3] González Pedro; Cuadrado, Manuel. Octubre de 2000: *Apoyo a la Dirección*

- de los Proyectos de la Línea de alta velocidad ente Córdoba y Málaga. Plataforma. Informe sobre trabajos específicos adicionales: Interacción entre carriles continuos y tableros de viaductos ferroviarios o plataforma. Metodología y criterios de dimensionamiento de aparatos de dilatación de vía.*
- [4] Ramondenc, Philippe. World Congress on Railway Research. Firenze, Nov 1997. *Track/Bridge interaction.*

- [5] Fryba, Ladislav. World Congress on Railway Research. Firenze, Nov 1997. *Continuous welded rail on railway bridges.*
- [6] Delhez, R.C.M.; Esveld, C.; Godart, P.; MUS, J. Rail Engineering international Edition nº3, 1995. *Avoidance of expansion joints in high-speed CWR track on long bridges.*
- [7] European Rail Research Institute. Utrech Nov. 1999. ERRI D 230.1/ RP 3. *Bridge ends. Embankment Structure Transition. State of the Art Report.*