

COMPORTAMIENTO EN FATIGA DE SUJECIONES DE VIA DE FERROCARRIL

I. Carrascal, J. A. Casado y J. A. Polanco

Departamento de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales
 Universidad de Cantabria. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
 Avda. Los Castros s/n. 39005 – Santander

Resumen. En el nuevo trazado de Alta Velocidad Española, que unirá las ciudades de Madrid y Barcelona para establecer la conexión con el resto de Europa, se desarrollarán, por razones de competencia con el puente aéreo, velocidades medias de 350 km/h, las cuales son notoriamente superiores a las alcanzadas por su predecesor, el AVE de Madrid a Sevilla, de “sólo” 280 km/h. El aumento en la velocidad media del 25 % provoca un importante incremento en los esfuerzos dinámicos ejercidos sobre la vía y todos sus componentes, ya que este aumento en la velocidad del tren, supone un incremento en la frecuencia de aplicación de los esfuerzos o solicitaciones. De entre todos los componentes de la vía, la sujeción es uno de los puntos más delicados, tanto en cuestiones de seguridad como de confort. Además, este componente, se caracteriza, fundamentalmente, por la gran heterogeneidad de los materiales que componen el sistema, metales, polímeros, cerámicos y materiales compuestos. En este trabajo se ha realizado un estudio del comportamiento global del conjunto de la sujeción bajo la influencia de esfuerzos de fatiga, analizando las posibles contribuciones a este comportamiento general de cada uno de los elementos individuales, especialmente de aquéllos más sensibles a las solicitaciones cíclicas como son los componentes poliméricos de naturaleza termoplástica.

Abstract. In the new Spanish High Speed Train (AVE) line which will link the cities of Madrid and Barcelona to establish the connection with the rest of Europe, average speed of 350 km/h will be reached in order to compete with the air transport. These speeds are notably higher than those attained by its predecessor, the AVE from Madrid to Sevilla which average is “only” 280 km/h. The 25 % increase in the average speed leads to a great rise in the dynamic efforts exerted on the rails and all their components, since this increase in the speed of the train means higher frequency of application of the load. Among all the components of the track, fastenings are one of the most delicate points, both as regards safety and comfort. Moreover this component is characterize mainly by the great heterogeneity of the materials which make up the system: metals, polymers, ceramics and composite materials. This paper describes a study of the overall behaviour of the fastening device under the influence of fatigue efforts, analysing the possible contribution element, specially those which are most sensitive to the cyclic loads such as the thermoplastic polymer components.

1. INTRODUCCION

La Alta Velocidad Española (AVE) ha decidido competir con el transporte aéreo en el nuevo trazado que unirá las ciudades de Madrid y Barcelona, y a éstas con el resto de Europa. Para ser verdaderamente competitivo con el puente aéreo, se han tenido que realizar cambios respecto a su predecesor, el que une Madrid-Sevilla. Estos cambios se resumen en un aumento sustancial de la velocidad y todo lo que ello conlleva, dado que se pasa de los 280 km/h actuales a los 350 km/h.

El aumento en la velocidad media del 25 % provoca un importante incremento en los esfuerzos dinámicos ejercidos sobre la vía y todos sus componentes, ya que este aumento en la velocidad del tren, supone un aumento sustancial en el valor absoluto de los esfuerzos aplicados, además de un incremento en la frecuencia de aplicación de los esfuerzos o solicitaciones. Si suponemos que el paso de cada rueda implica un ciclo de carga, pasar de 280 km/h a 350 km/h supondrá, para un tren que tiene una distancia

entre ejes de 15 m, pasar de una frecuencia de aplicación de cargas de 5.2 a 6.5 Hz.

De entre todos los componentes de la vía, la sujeción es uno de los puntos más delicados, es el elemento que transmite los esfuerzos ejercidos por el ferrocarril al suelo. Además del importante papel que juega la sujeción en temas de seguridad, siempre habrá que buscar un equilibrio entre el binomio seguridad-confort. Está claro que el ferrocarril sobre todo debe ser seguro, pero ¿sería competitivo con el avión un tren incómodo? Este hecho ha llevado al desarrollo de un sistema caracterizado por la gran heterogeneidad entre los materiales de sus componentes, desde los metales hasta el hormigón, pasando por los polímeros y los materiales compuestos.

Los materiales poliméricos empleados en la sujeción tienen una clara justificación:

- En cuanto a la seguridad, los polímeros son necesarios por su naturaleza aislante, siendo este

aspecto muy importante para evitar interferencias con la señalización viaria [1].

- En cuanto al confort, sus propiedades mecánicas los convierte en excelentes materiales de amortiguación.

Estos materiales poliméricos, sin embargo, tienen un problema respecto al resto y es su peor respuesta ante esfuerzos de fatiga [2]. En este trabajo se ha realizado un estudio del comportamiento global del conjunto de la sujeción bajo la influencia de esfuerzos cíclicos, analizando las posibles contribuciones a este comportamiento general de cada uno de los elementos individuales, especialmente los poliméricos.

Este estudio está basado en los resultados obtenidos en los ensayos realizados por el LADICIM (Laboratorio de la División de Ciencia e Ingeniería de Materiales) a petición del GIF (Gestor de Infraestructura Ferroviaria) para la Homologación de los componentes que formarán parte de la nueva línea de AVE.

2. MATERIAL OBJETO DE ESTUDIO

El material analizado en el presente estudio es el sistema de sujeción Vossloh empleado que comprende la línea de alta velocidad Madrid – Barcelona, es superestructura de vía sobre balasto y traviesa de hormigón monobloque. En la Fig. 1 se muestran los componentes de este tipo de sistema:

1. Carril UIC 60
2. Traviesa: monobloque de hormigón (AI – 99)
3. Placa de asiento: 7 mm en TPEE (Pase2)
4. Placa acodada: Poliamida 6 ó 6.6 reforzada con 30-35% en fibra de vidrio (A2 y Pag 0)
5. Elemento muelle: metálico (Clip SKL – 1)
6. Elemento de anclaje: vaina en Poliamida 6.6 reforzada con 35 % de FV embutida en chapa metálica y tornillo metálico (sistema VAPE)

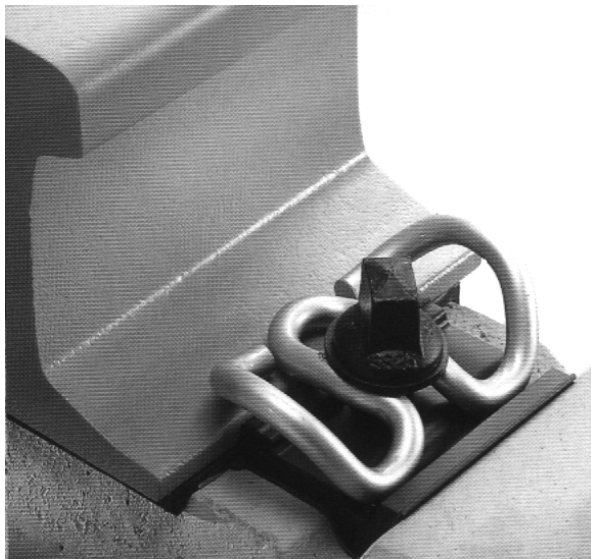


Fig. 1.- Componentes de la sujeción Vossloh

3. METODOLOGÍA

La metodología empleada para la realización de los ensayos ha sido la que establece el Pliego de Bases para el Suministro de Sujeciones (1999) [3], determinado por el GIF.

Los ensayos realizados para la homologación de una sujeción suman un total de 16, pero en el presente estudio se prestará más atención a los relacionados con el comportamiento dinámico del conjunto.

3.1.- Ensayo dinámico de carga cíclica

El ensayo más importante de los 16 y en el que se centrará este estudio es el *dinámico de carga inclinada* [4 y 5]. El ensayo consistió en reproducir una carga periódica de amplitud constante, durante tres millones de ciclos, en una posición e inclinación que intenta simular el verdadero esfuerzo realizado por la rueda del tren sobre el carril. En la Fig. 2 se muestra un aspecto general del dispositivo de ensayo construido para realizar la prueba.



Fig. 2.- Dispositivo empleado para el ensayo dinámico

La magnitud de la carga máxima y el posicionamiento del aplicador de esfuerzos, es decir, el ángulo de aplicación de cargas se determinaron a partir del valor de rigidez vertical dinámica secante, k_s , de la placa de asiento del carril, empleando el gráfico de la Figura 3. El valor k_s se determina en un ensayo previo que se comentará más adelante.

En el ejemplo que se ha puesto en la Fig. 3 se puede comprobar que para un valor de $K=150$ kN/mm (siendo $K=1.5 \cdot k_s$) se obtiene un valor para la fuerza máxima ($F_{\max}=76.5$ kN) y un ángulo de aplicación de la carga ($\alpha=27.1^\circ$). El resto de parámetros empleados en el ensayo serán:

- Onda de tipo senoidal
- Frecuencia de 4 Hz
- Fuerza mínima de compresión de 5 kN
- Duración de 3.000.000 ciclos

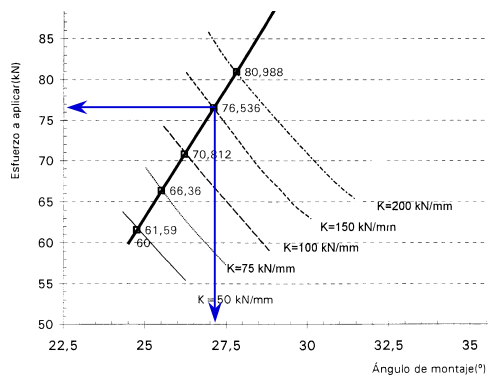


Fig. 3.- Obtención de α y F_{max} .

Previa y posteriormente a la realización de la prueba se determinaron los siguientes desplazamientos relativos entre carril y traviesa como media de los obtenidos en los dos últimos ciclos de una serie de 10:

- Desplazamiento horizontal de la cabeza (D^c)
- Desplazamiento horizontal del patín (D^{ph})
- Desplazamiento vertical del patín (D^{pv})

Estos desplazamientos se midieron bajo carga máxima y bajo carga mínima, obteniéndose los desplazamientos del patín como media de dos comparadores lvdt colocados a ambos lados de la traviesa y el de la cabeza por medio de un único lvdt.

El resultado del ensayo es la variación que se produce en los seis desplazamientos medidos (cabeza, patín vertical y patín horizontal tanto para F_{max} como para F_{min}) entre antes y después de la prueba dinámica.

3.2.- Ensayos dependientes del dinámico.

Hay una serie de ensayos que se realizan antes del ensayo dinámico y se repiten de nuevo tras su ejecución con la finalidad de comprobar la influencia de la acción dinámica en algunos de los parámetros básicos de la vía como pueden ser la fuerza de apriete, la resistencia al deslizamiento longitudinal del carril o la rigidez de la placa de asiento.

Se monta el sistema completo y se le da un par de apriete de 250 N·m, par nominal prefijado para las pruebas de homologación y que se aplicará en vía. Este sistema, sin sustituir ninguno de sus componentes ni retocar el par de apriete, será el utilizado en estos ensayos previos al dinámico, en el dinámico y en los posteriores.

El primer ensayo de todos es comprobar la *fuerza de apriete* del sistema, es decir la fuerza ejercida por el clip sobre el carril [6].

A través del cupón del carril se aplicó una fuerza de tracción tendente a producir la separación entre el carril y la traviesa. Se realizó un registro continuo de datos de la carga de tracción aplicada y del desplazamiento relativo entre traviesa y carril, obtenido como media aritmética de la lectura realizada por dos comparadores situados a ambos lados de la traviesa. Una vez alcanzada la fuerza necesaria para producir la separación entre el carril y la traviesa, comprendida entre los 20 y los 25 kN, se retiró la placa de asiento manualmente.

A continuación, se procedió a descargar el conjunto hasta alcanzar los 2 kN, posteriormente se inició un último ciclo de carga hasta que los comparadores registraron las condiciones iniciales del ensayo, es decir, se recuperó el posicionamiento original del carril con respecto de la traviesa cuando estaba colocada la placa de asiento. El valor de carga registrado, en estas condiciones, se consideró como la fuerza de apriete del sistema de la sujeción. Esta prueba se repite tres veces sobre el mismo conjunto de sujeción, considerando como valor de fuerza de apriete, P_0 , la media de los tres.

Una vez calculada la fuerza de apriete, se procede a determinar la *rigidez vertical secante* P_0/P_0+75 , k_s , para lo cual se tomó la misma placa de asiento, se apoyó sobre un dado de hormigón simulador de la traviesa y por medio de un cupón de carril se aplicó una fuerza vertical de compresión siguiendo la secuencias de esfuerzos entre 0 y $P_f=P_0+75$ kN, velocidades de carga y tiempos de espera indicados en el diagrama de la Fig. 4 [7]. La medida de los desplazamientos relativos de la placa de asiento con respecto al dado de hormigón se efectuó por medio de 4 comparadores lvdt, colocados en cada uno de los extremos de la placa.

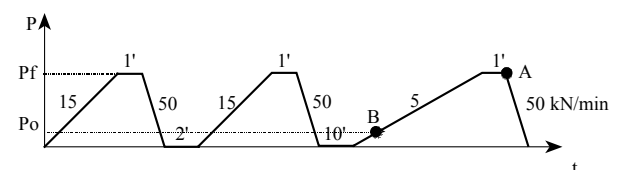


Figura 4.- Ensayo de rigidez P_0/P_0+75 .

La rigidez se calculó en el último ciclo de carga como el cociente entre la variación de la fuerza aplicada (75 kN) y la variación del desplazamiento entre los puntos A y B, correspondientes a los valores de carga de P_0+75 (denominado P_f) y P_0 , respectivamente.

Con la misma disposición empleada para llevar a cabo el ensayo anterior, se determinó la *rigidez vertical a 80 kN*, k , aplicando una nueva secuencia de compresión de carga entre 0 y 80 kN con las velocidades de aplicación de fuerza y tiempos de espera que se representan en el esquema de la Fig. 5 [8].

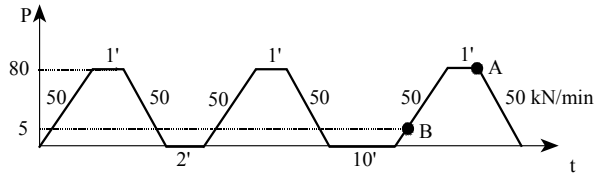


Fig. 5.- Ensayo de rigidez vertical a 80 kN

La rigidez se calculó en el último ciclo de carga como el cociente entre la variación de fuerza aplicada (75 kN) y la variación del desplazamiento entre los puntos A y B, correspondientes a los valores de carga de 80 y 5 kN, respectivamente.

Tras finalizar los dos ensayos de rigidez sobre la placa de asiento, ésta se colocó de nuevo en el conjunto de sujeción original y sobre los mismos componentes del ensayo de fuerza de apriete se realizó el ensayo de *resistencia al deslizamiento longitudinal* [9]. El ensayo consistió en registrar el máximo desplazamiento longitudinal efectuado por el carril (δ_{\max}), medido por medio de un lvdt, tras aplicar una carga de tracción, en la dirección longitudinal del carril, escalonada en incrementos de 2.5 kN, mantenidos durante 2 minutos cada uno de ellos, hasta que se produjo el deslizamiento longitudinal del carril respecto a la traviesa superior a 7 mm. Transcurridos dos minutos se midió el desplazamiento del carril hacia su posición original al retirar la carga de tracción para determinar el deslizamiento remanente (δ_{\min}), según se observa en el registro de la fuerza aplicada en función del desplazamiento del carril, mostrado en el diagrama de la Fig. 6. A partir de la diferencia de estos dos valores ($\Delta\delta$), se obtuvo de dicha curva la resistencia al deslizamiento longitudinal como la carga correspondiente al valor de deslizamiento, $\Delta\delta$.

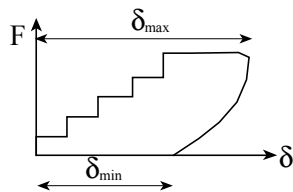


Fig. 6.- Resistencia al deslizamiento longitudinal

Este ciclo de carga y descarga se realizó cuatro veces con un período de descanso de 10 minutos entre cada ensayo, sin reajustar en ningún momento los componentes del sistema de sujeción. En el resultado final no se consideró la primera de las cuatro pruebas, que se aplica únicamente para asentar la sujeción, por lo que el resultado final será la media de las tres últimas.

Tras estos cuatro ensayos se llevó a cabo el dinámico de carga inclinada, apartado 3.1, y después se repitieron en orden inverso estos cuatro ensayos, a fin de determinar la influencia de las solicitaciones dinámicas sobre los componentes afectados.

4. RESULTADOS

4.1. Fuerza de apriete

En el gráfico de la Fig. 8 se muestra el resultado típico obtenido en un ensayo de fuerza de apriete previo y posterior al ensayo dinámico. En él se observa una pérdida apreciable de fuerza de apriete, que en este caso particular alcanzó el 8.34 %. El pliego de bases exige un valor mínimo de 17 kN en el ensayo previo y para el posterior, que la pérdida sea inferior al 25 %.

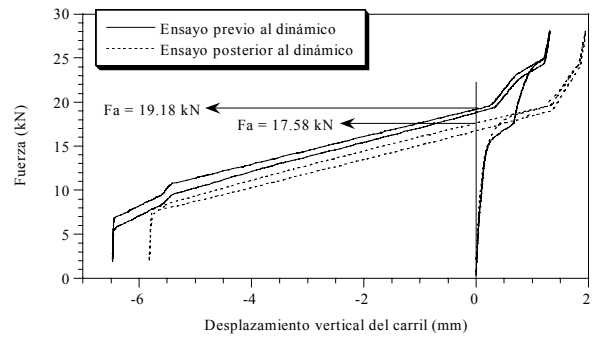


Fig. 8. Ensayo genérico de fuerza de apriete

La fuerza que actúa sobre el tornillo puede determinarse a partir de un simple análisis estático, descomponiendo las fuerzas de acuerdo al esquema que se indica en la Fig 9 y tomando momentos respecto al punto O:

$$\Sigma M_O = 0 \rightarrow 73 \cdot F_a / 2 = 39.5 \cdot F_t$$

Donde la fuerza ejercida sobre el tornillo será:

$$F_t = 0.924 \cdot F_a \quad (1)$$

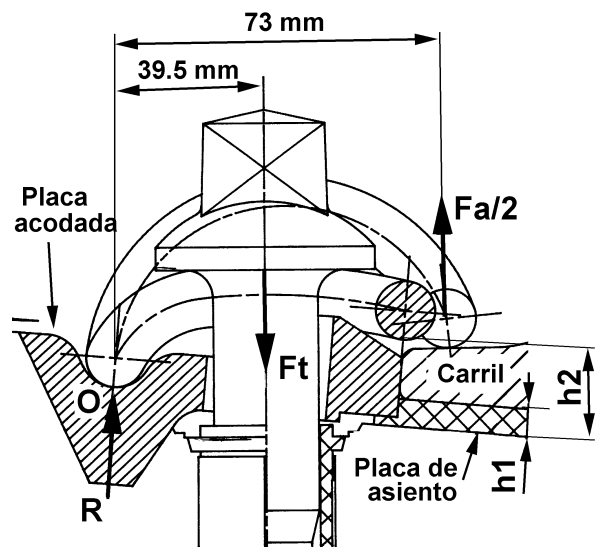
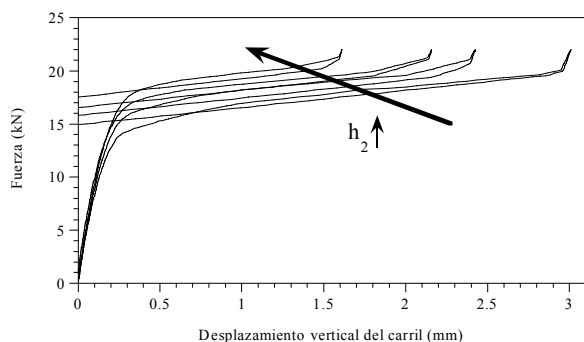


Fig. 9. Análisis estático de las fuerzas en la sujeción

Observando el esquema de la Fig. 9, se deduce que los factores de los que depende el valor de la fuerza de apriete son:

- Rigidez del clip, a mayor rigidez, mayor F_a .
- La cota h_1 (altura de la placa de asiento), mientras más alta, más comprimido estará el clip. En este caso la altura será siempre de 7 mm.
- Rigidez de la placa de asiento. Si la placa es muy flexible al aplicar el par de apriete al tornillo la fuerza transmitida por el clip hasta el carril provocará una mayor deformación de la placa de asiento, con la consecuente disminución de la cota h_1 .
- La cota h_2 (altura del apoyo del bucle del clip en la placa acodada). Valores altos de h_2 provocarán F_a pequeñas. Según la Especificación Técnica correspondiente a la placa acodada [10] esta cota puede fluctuar en un intervalo de 0.5 mm. En el gráfico de la Fig. 10 se observa la influencia de la cota h_2 en el valor de F_a al realizar ensayos sobre la misma sujeción en la que únicamente se variaba la placa acodada. Esta cota puede variar si se realiza un montaje defectuoso, quedando el clip mal alojado en la cavidad de la placa acodada destinada a tal efecto y, por tanto, incrementando indebidamente la cota h_2 y, consecuentemente, reduciendo la F_a .


 Fig. 10.- Influencia de la cota h_2 en la F_a

4.2. Deslizamiento longitudinal

En el gráfico de la Fig. 11 se muestra el resultado típico obtenido en un ensayo de resistencia al deslizamiento longitudinal previo y posterior al ensayo dinámico. En el se observa una pérdida apreciable de la resistencia, que en este caso supone el 16.7 %.

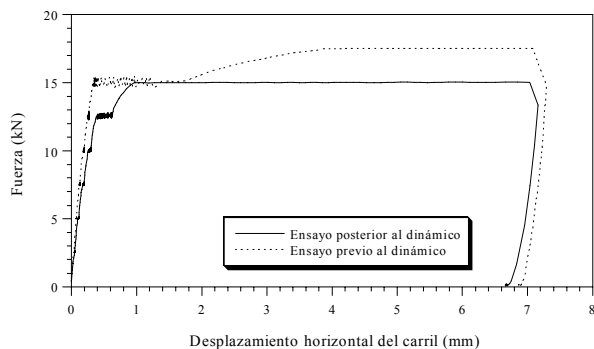


Fig. 11. Ensayo genérico de resistencia al deslizamiento longitudinal

El pliegue de bases exige un valor mínimo de 9 kN en el ensayo previo y para el posterior que la pérdida sea inferior al 25 %.

Un factor muy importante que afecta a este parámetro es el par de apriete nominal aplicado a la sujeción, es decir la fuerza de apriete que actúa sobre la sujeción. En el gráfico de la Fig. 12 se puede observar la pérdida de resistencia al deslizamiento, al pasar de un par de apriete de 250 N·m a uno de 200 N·m

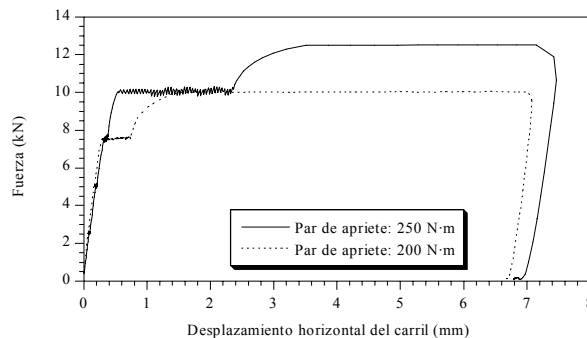


Fig. 12.- Influencia del par de apriete en la resistencia al deslizamiento longitudinal

4.3.- Ensayo dinámico de carga inclinada

La especificación exige que tras el ensayo el valor D^c sea inferior a 1 mm y los valores D^{ph} y D^{pv} no superen los 0.5 mm.

Los resultados obtenidos en los ensayos se muestran en el gráfico de la Fig. 13, en la que se representan los tres parámetros de desplazamiento como media de los obtenidos para carga máxima y mínima, en función de la rigidez P_0/P_0+75 .

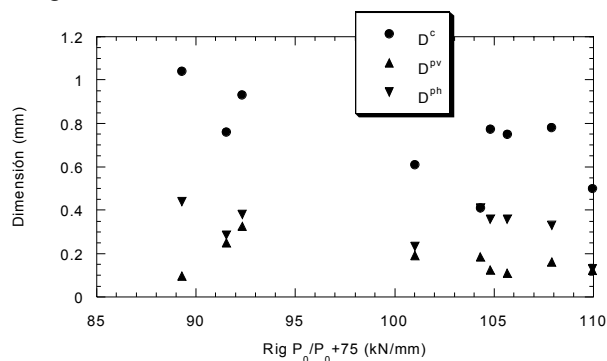


Fig. 13.- Resultados obtenidos en el ensayo de fatiga

Se observa una dependencia de los tres parámetros de desplazamiento con la rigidez de la placa. El desplazamiento, tanto en cabeza como en el patín, tiende a disminuir a medida que la rigidez aumenta.

De la misma forma, se comprobó la relación existente entre la rigidez de la placa y el desgaste en la zona de la placa más solicitada tras la aplicación de los tres millones de ciclos. En la Fig. 14 se indica como

disminuye la pérdida de espesor con el aumento de la rigidez.

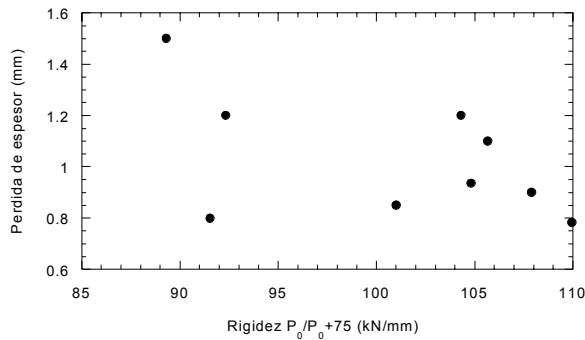


Fig. 14.- Desgaste y rigidez de la placa de asiento.

A la vista de los resultados, la rigidez de la placa de asiento se adivina como una de las principales características de la sujeción, por lo que resulta interesante ver su evolución tras la realización del ensayo dinámico. Para ello, se ha calculado la variación en porcentaje entre antes y después del ensayo dinámico, tanto de la rigidez P_0/P_0+75 , como de la rigidez a 80, obteniendo el parámetro de *variación de la rigidez media* que se representa en el gráfico de la Fig. 15 frente a la rigidez P_0/P_0+75 de la placa de asiento previo al ensayo dinámico.

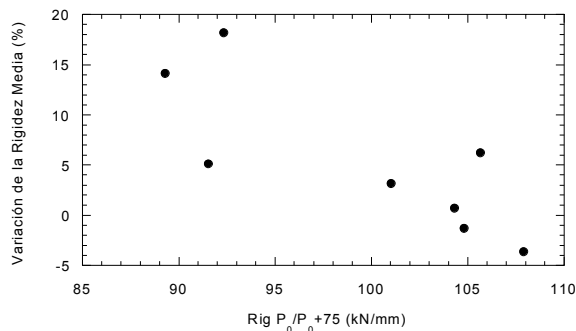


Figura 15.- Variación de la rigidez media

En la Fig. 15 se puede observar una mayor variación de propiedades de las placas, tras el ensayo dinámico, a medida que desciende su rigidez.

Si bien es cierto que se advierte una influencia de la rigidez de la placa en todos estos parámetros comentados, no es menos cierto que no es el único. Aunque no se han contemplado en este estudio, factores que pueden influir seriamente en el desgaste de la placa de asiento tales como la rugosidad superficial o el grado de acabado de la superficie de la traviesa sobre la que se alojará la sujeción, así como, las características geométricas de la propia traviesa.

Mientras más alta sea la rugosidad, el desgaste de la placa será mayor, pero este desgaste se verá incrementado todavía más si la holgura (h) existente entre el extremo de la placa acodada y el patín del carril permite deformaciones transversales de la placa de asiento generados por la componente horizontal

(F_H) de la fuerza aplicada en el ensayo, según se indica en la Figura 16. Este movimiento adicional aumentará, todavía más, la temperatura interna de la placa, de por sí ya incrementada por soportar la fatiga originada por la componente vertical de la fuerza, llegando a degradar el material de la placa de asiento, pudiendo ésta perder sus propiedades de rigidez requeridas.

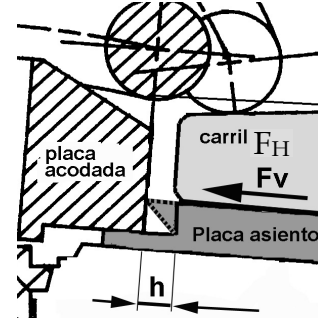


Fig. 16.- Influencia de la geometría de la traviesa

Por tanto es interesante reducir la holgura lo más posible, de forma que el carril quede confinado dentro de las placas acodadas.

Estas deformaciones transversales de la placa pueden provocar que el patín del carril golpee reiteradamente a la placa acodada en su apoyo, originando sobre ésta un acortamiento y estiramiento y, por tanto, una fricción contra la traviesa que, al igual que le ocurría a la placa de asiento, generará un desgaste de la placa acodada en su parte inferior. Este desgaste disminuirá la cota h_2 , con el consabido descenso en la fuerza de apriete.

Por ultimo analizar el efecto de las acciones dinámicas sobre el otro elemento polimérico, la espiga roscada embutida en la traviesa. Para ello, necesitamos comprobar como varían las fuerzas aplicadas sobre el tornillo. En el gráfico de la figura 17 se muestran los rangos de desplazamiento de la cabeza y del patín, tanto horizontal como vertical, obtenidos como media de los valores medidos antes y después del ensayo dinámico.

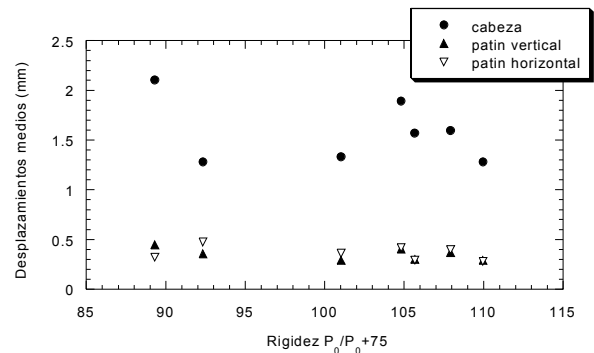


Fig. 17.- Rangos de desplazamiento

En la Fig. 17 se puede comprobar, de nuevo, la influencia de la rigidez de la placa de asiento sobre estos parámetros, los rangos de desplazamiento, y la tendencia de los tres a aumentar al disminuir la rigidez de la placa.

Del gráfico de la Fig. 17 cabe destacar que la amplitud del desplazamiento vertical del patín no supera los 0.5 mm y que el movimiento vertical de la cabeza tiene una amplitud de 1.75 mm, aproximadamente. Si se realiza un estudio trigonométrico sobre el perfil del carril, se comprueba que la composición de estos dos movimientos originan una oscilación diferente en cada una de las alas del patín. Al ala interior le corresponde un movimiento desde la posición de equilibrio hasta 0.26 mm por encima de esa posición, mientras que al ala exterior le corresponde una mayor amplitud, 1.26 mm, pero hacia abajo desde la posición de equilibrio.

En el gráfico de la Fig. 18 se puede observar como estos desplazamientos, armónico en ambos patines, se traducen en esfuerzos cíclicos sobre los dos tornillos y cuyo valor se representa en la Tabla 1.

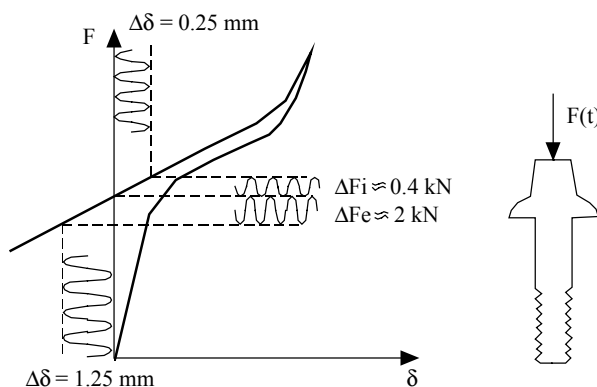


Figura 18.- Fatiga sufrida por el tornillo

Tabla 1.- Esfuerzos sobre los tornillos

Tornillo	Nivel medio	Amplitud
Exterior	$F_t - \Delta F_{te}/2$	$\Delta F_{te}/2$
Interior	$F_t + \Delta F_{ti}/2$	$\Delta F_{ti}/2$

Obteniéndose los valores ΔF_{te} y ΔF_{ti} a partir de la expresión (1) como:

- $\Delta F_{te} = 0.924 \cdot \Delta F_e = 1.85 \text{ kN}$
- $\Delta F_{ti} = 0.924 \cdot \Delta F_i = 0.37 \text{ kN}$

A pesar de ser ΔF_{te} mayor que ΔF_{ti} , el esfuerzo aplicado sobre el tornillo interior es mucho más severo al ser más elevado el nivel medio de la carga que sobre él actúa.

Esta fuerza se distribuye uniformemente a lo largo de todo el filete del tornillo y se transmite a la rosca de la vaina de material polimérico. Este esfuerzo provocará una deformación en la rosca de la vaina que se traducirá en una pérdida de la fuerza de apriete y, si el ángulo del tornillo es suficientemente grande, puede provocar incluso su desapriete.

Se ha comprobado que, tras la aplicación de 500.000 ciclos de fatiga sobre una sujeción, la resistencia del tornillo interior al ser extraído de la traviesa era un 10 % inferior al necesario para extraer el exterior, lo cual

justifica el mayor castigo al que es sometido el tornillo y la vaina del lado interno del carril.

Mientras mayor sea la fuerza de apriete, la acción de la carga cíclica es más severa, tendrá un nivel medio más alto, aunque se mantenga la amplitud más o menos constante. En el gráfico de la Fig. 19 puede observarse como fuerzas de apriete grandes provocan mayores pérdidas en este parámetro.

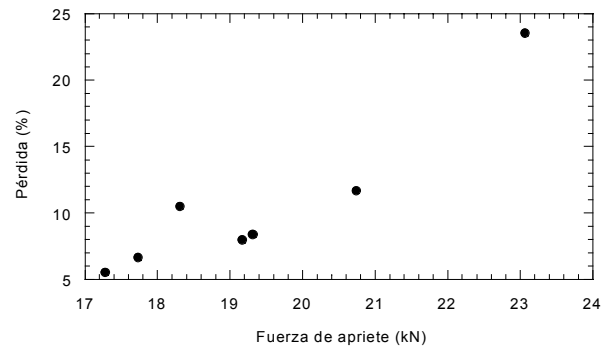


Fig. 19.- Variación en la fuerza de apriete

5. CONCLUSIONES

A partir del trabajo experimental realizado sobre los componentes de la sujeción del tren de alta velocidad, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Fijando el espesor de la placa de asiento (7 mm) y el par de apriete nominal (250 N·m), la fuerza de apriete solamente dependerá de la rigidez del clip y de la geometría de la placa acodada. Mientras más rígido y más abajo se aloje su bucle, la fuerza de apriete será mayor. Un factor que puede influir negativamente es la mala colocación del bucle sobre su alojamiento por un montaje defectuoso, provocando un descenso en la fuerza de apriete de partida.
- La acción de la carga dinámica provocará una caída en el valor de la fuerza de apriete que se considerará válida siempre que no supere el 20 % del valor inicial.
- La pérdida de fuerza de apriete debido a las cargas cíclicas se verá incrementada a medida que aumenta el valor absoluto de la fuerza de apriete.
- La influencia de las cargas dinámicas sobre la resistencia al deslizamiento longitudinal consistirá en una pérdida de valor que no deberá superar el 20 % para ser válida. Además de esta influencia, será un incremento en el par de apriete la variable que realmente contribuirá a aumentar la resistencia al deslizamiento.
- La rigidez de la placa de asiento se ha mostrado a lo largo del estudio como el parámetro más

influyente en el comportamiento global de la sujeción.

- Rigideces bajas de la placa de asiento generan una mayor absorción de energía como puede observarse en el diagrama de la Fig. 20. Tanto la energía almacenada (E_a) como la disipada (E_d) es superior para placas con rigideces inferiores. Esta absorción evita, en mayor medida la transmisión de acciones dinámicas al balasto, el cual sufrirá menor desgaste al disminuir la rigidez de la placa. De la misma forma, esta propiedad influye positivamente en el confort, alcanzando mayor comodidad en la marcha. El problema de las rigideces bajas es que la placa se degrada más rápidamente y se exige una mayor frecuencia en su reposición, aumentando los costes del mantenimiento de la vía.

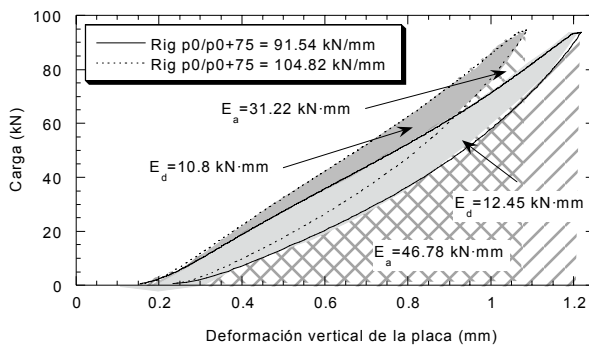


Fig. 20.- Energía absorbida por la placa de asiento

- Las placas de rigidez alta transmiten mayores acciones dinámicas sobre el balasto, generando un mayor desgaste sobre este componente. Por otro lado, la degradación de la placa de asiento es más lenta. Según se ha visto en el estudio, rigideces altas provocan menores pérdidas en las propiedades de las placas incrementando la vida útil de éstas.

6. AGRADECIMIENTOS

Este estudio se ha desarrollado a partir de los ensayos de homologación de los componentes de las sujeciones de la línea de alta velocidad Madrid - Barcelona llevados a cabo en el LADICIM, por lo que los autores del presente trabajo desean expresar su más sincera gratificación a todas las empresas participantes en el proyecto, y asimismo, al GIF, coordinador del trabajo.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] PrEN 13146-5: 1998. Railway applications-Track-Test methods for fastening systemms-Part 5: Determinación of electrical resistance.
- [2] J. A. Casado, J. A. Polanco, F. Gutiérrez-Solana y I. Carrascal. Mechanical Characterisation of

- Railway Insulating Fastenings. Railway Vibration and Rail Vehicle Dynamics. Barcelona. 1998
- [3] TIFSA. Grupo RENFE. Pliego de Bases para el Suministro de Sujeciones. 1999
- [4] PrEN 13146-4: 1998. Railway applications-Track-Test methods for fastening systemms-Part 4: Effect of repeated loading.
- [5] ERRI D 170/RP 5 (sept. 1994) (Apdo. 8.4). Dimmensionnement des divers elements constitutifs de la voi. Normalisation des caracteristiques et des essais d'homologation.
- [6] PrEN 13146-7: 1998. Railway applications-Track-Test methods for fastening systemms-Part 7: Determination of clamping force.
- [7] ERRI D 170/RP 5 (sept. 1994) (Apdo. 8.2). Dimmensionnement des divers elements constitutifs de la voi. Normalisation des caracteristiques et des essais d'homologation. Systèmes de Fixations, "Etude des caractéristiques des systèmes de fixation et méthodes déssais"
- [8] PrEN 13146-1: 1998. Railway applications-Track-Test methods for fastening systemms-Part 1: Determination of longitudinal rail restraint
- [9] Plano nº ER 384. Fijación Plastrail 22X115 y Vossloh. VAPE Rail Internacional
- [10] Mantenimiento de Infraestructura. RENFE. Dirección Técnica. Especificación técnica 03.360.578.3. Placa acodada ligera de sujeción. 1998