

# Variaciones de rigidez de vía en zonas de transición

A. TIJERA (\*), R. RUIZ (\*\*), V. CUÉLLAR (\*\*\*)  
y M. RODRÍGUEZ (\*\*\*\*)

**RESUMEN** En este artículo se describen los trabajos realizados para el estudio de los cambios de rigidez de vía que se producen en una zona de transición entre viaducto y vía plena. Se presentan los resultados, el análisis y las conclusiones que se desprenden de tres campañas de medidas llevadas a cabo en la zona de transición elegida para el estudio y situada en la línea de alta velocidad Madrid-Barcelona-frontera francesa. Durante las campañas se definieron e instrumentaron sobre la vía varias secciones con diferentes características estructurales con el fin de obtener la variación de la rigidez de vía de unas zonas a otras. Además, para la obtención de las cargas por rueda y de las deflexiones de carril, ambas necesarias para el cálculo de la rigidez de vía, se pusieron a punto nuevas metodologías para las medidas in situ y el análisis de los registros obtenidos.

## TRACK STIFFNESS VARIATIONS IN TRANSITIONS ZONES

**ABSTRACT** *In this paper the study performed to check the track stiffness changes that take place in a transition zone between a bridge and plain track is described. The results, analysis and conclusions obtained from three measurements campaigns carried out in the chosen transition zone, located in the Madrid-Barcelona-French border high speed line, are presented. In order to obtain the track stiffness changes, different cross sections were defined and instrumented during those campaigns. Furthermore, to obtain wheel load and rail deflection, both necessary for calculating track stiffness, new methodologies for in situ measurements and data analysis have been developed.*

**Palabras clave:** Zona de transición, Rigidez de vía, Cargas, Deflexiones.

**Keywords:** Transition zones, Track stiffness, Wheel loads, Vertical deflections.

## 1. INTRODUCCIÓN

El trabajo aquí presentado tuvo por finalidad el cumplimiento de los objetivos dispuestos dentro del marco del Convenio de Colaboración entre ADIF y CEDEX, desarrollado entre los años 2006 y 2009, y que se encuadraba dentro de su Ficha 3 como "Soluciones constructivas en las zonas de transición para optimizar el cambio de rigidez de plataforma". Esta colaboración responde al apoyo de la participación de ADIF en el Proyecto Integrado INNOTRACK del 7º Programa Marco de la Comisión Europea ejecutado durante el periodo 2006-2009 por distintas instituciones y centros de investigación europeos.

El objetivo general perseguido por los trabajos realizados fue determinar las variaciones de rigidez de vía en una zona de transición. El emplazamiento elegido por ADIF a principios de 2007 para el estudio y desarrollo de las campañas de campo se sitúa en el bloque del estribo nº1 del viaducto de Borges Blanques, localizado en el P.K. 463.169 del sector

Lleida-Martorell de la línea de alta velocidad Madrid-Barcelona-frontera francesa (Fig. 1.1).



**FIGURA 1.1.** Situación del viaducto estudiado (punteado en rojo sobre el mapa) cerca de la localidad de Borges Blanques.

(\*) Licenciado en Ciencias Físicas. E-mail: angel.tijera@cedex.es

(\*\*) Licenciado en Ciencias Físicas. E-mail: ruben.ruiz@cedex.es

(\*\*\*) Dr. Ingeniero de Caminos. E-mail: vicente.cuellar@cedex.es

(\*\*\*\*) Licenciado en Ciencias Geológicas. E-mail: mrodriguez@adif.es

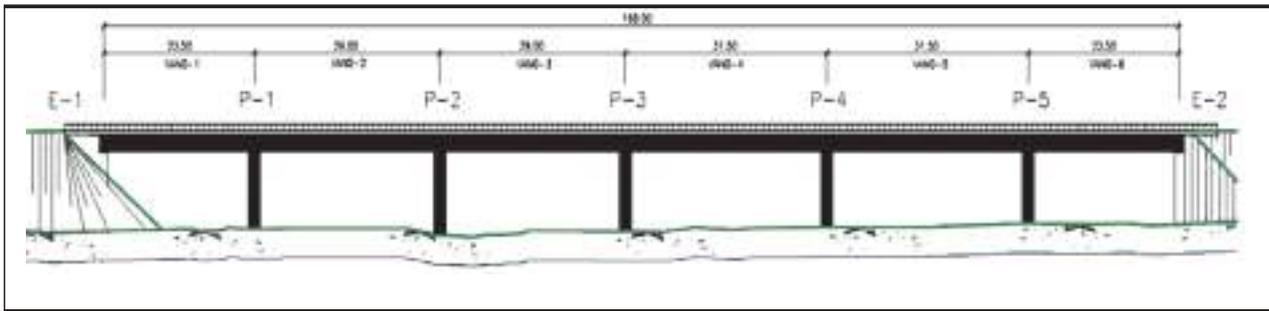


FIGURA 1.2. Viaducto de seis vanos de Borges Blancos donde se desarrollaron los trabajos.

Este viaducto tiene una longitud de 168 m, se compone de seis vanos y soporta una plataforma de doble vía de ancho internacional (Fig. 1.2).

El terraplén situado cerca del primer estribo tiene una longitud de 420 m, una anchura de 14 m y una altura media

de 8 m. La infraestructura de la vía, en la parte superior del terraplén, está constituida por una capa de subbalasto granular de 0,30 m y una capa de forma de 0,60 m (Fig. 1.3).

La transición entre puente y terraplén en este viaducto se realizó mediante bloques técnicos recomendados por ADIF

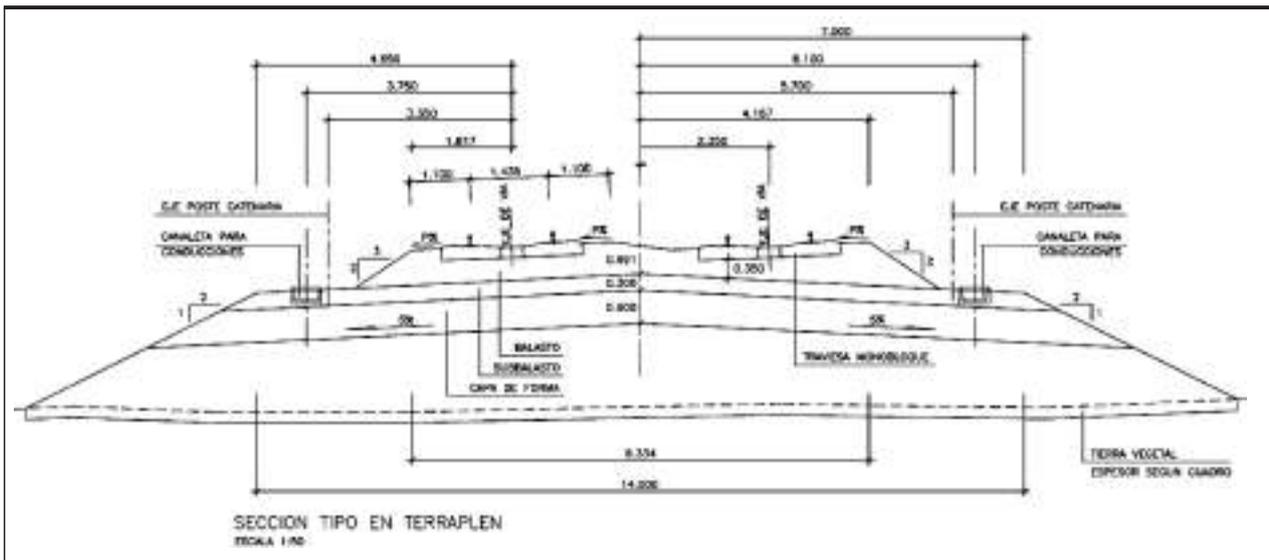


FIGURA 1.3. Terraplén próximo al estribo nº1 del viaducto.

para estos casos, y que viene reflejado en el Código UIC 719R (2008), ver Fig. 3.1.

En dicha figura puede observarse cómo hasta una distancia máxima de 19,20 m desde la junta estructural entre el viaducto y su estribo se prolonga, a lo largo de la zona de transición, el uso de suelas bajo traviesa que, con un espesor de  $5 \pm 0,5$  mm, proporcionaron en los ensayos de control una Dureza de  $80 \pm 5$  Shore A.

## 2. TRABAJOS REALIZADOS

Con el fin de poder comparar el comportamiento de los dos bloques técnicos que forman la zona de transición, donde se tiene material granular (MG) y material tratado con cemento (MT), con el de la vía plena (terraplén 1 en Fig. 3.1), se instrumentaron seis secciones transversales (S1 a S5 en la figura). En ellas se instalaron diferentes sensores y dispositivos para medir el movimiento absoluto del carril inducido

por el paso del tren (deflexiones de carril). Además, también en todas las secciones, se pegaron en la fibra neutra de los carriles bandas extensométricas de cortante con el objetivo de determinar la historia de cargas inducidas por el tráfico de trenes. El cociente entre las cargas y las deflexiones generadas en el carril proporciona los valores de rigidez de la vía.

Se llevaron a cabo tres campañas de toma de datos en vía durante los años 2007 y 2008. En mayo de 2007 se desarrolló una primera campaña de medidas en una de las vías. Gracias a ella se determinó la metodología más adecuada para el cálculo de las deflexiones del carril y las cargas inducidas sobre éste durante el paso de un tren. En una segunda campaña, en junio de 2008, se probó y se puso a punto un nuevo procedimiento para medir las deflexiones del carril. Finalmente, durante una última campaña tomando medidas en ambas vías en septiembre de 2008, se aplicaron las conclusiones y nuevas metodologías desarrolladas hasta entonces para la determinación de los valores de rigidez de vía.

### 3. INSTRUMENTACIÓN Y METODOLOGÍA

Como ya se ha comentado anteriormente, para calcular los valores de rigidez de la vía en diferentes zonas se instrumentaron seis secciones transversales a ésta. Dos de ellas son especialmente interesantes: la sección S1 en la interfaz hormigón-suelo entre el estribo y la zona de transición; y la sección S3' donde desaparece el uso de las suelas bajo traviesa. Los sensores, cumpliendo las especificaciones AEAT REN-VIB II (2003), se colocaron en los raíles y las bases de medida en los márgenes de las vías con el objetivo de obtener los movimientos inducidos y las cargas generadas sobre el carril por el paso de los trenes. La ubicación, las distancias relativas y las zonas de control de cada sección se detallan en Fig. 3.1 y tabla 3.1.

Para facilitar la colocación de los sensores en la vía se numeraron las traviesas en orden creciente desde el puente al terraplén. La primera, T0, corresponde a la localizada en la junta estructural entre el puente y el estribo y la última, T90, se encuentra al final de la sección S5 (Fig. 3.1).

La determinación de las deflexiones del carril se llevó a cabo según dos métodos: con medidas directas mediante un dispositivo láser y con medidas indirectas a partir de la integración de señales de geófonos de 2 Hz instalados en el carril (Fig. 3.2).

El dispositivo láser mide los movimientos verticales relativos entre un receptor situado en el patín del carril y un emisor de haz horizontal que se encuentra situado en una base fija. Para conseguir estas bases se perforaron, en las secciones S2, S3, S4 y S5, cuatro sondeos en la zona de seguridad

SECCIÓN	P.K.	DISTANCIA RELATIVA	ZONA DE CONTROL
S1	463+080.20	4,60 m la junta estructural del estribo	Interfaz hormigón-suelo
S2	463+073.00	7,20 m desde S1	Material granular QS3 sobre mterial tratado con cemento
S3'	463+065.20	7,80 m desde S2	Desaparición del uso de suelas bajo traviesa
S3	463+063.40	9,60 m desde S2	Material granular QS3
S4	463+055.00	8,40 m desde S3	Terraplén sobre material granular QS3
S5	463+031.60	23,40 m desde S4	Terraplén

TABLA 3.1. Identificación y situación de las secciones planteadas

de la vía 2 a una distancia de unos 3.7 m desde el raíl exterior. Se fijó una barra de 20 mm de diámetro en cada uno de estos sondeos anclándola al cimiento de la zona de transición en las secciones S2, S3 y S4 y al cimiento del terraplén en la sección S5 (Fig. 3.3). En la sección S1 la base fija se ancló a la aleta exterior del estribo. Como una medida alternativa a las bases fijas diseñadas tal y como se ha descrito anteriormente, se probó el uso de unos tripodes que, para conseguir que se comportaran como bases fijas, se cargaron con pesos muertos para darles consistencia y estabilidad. (Fig. 3.3).

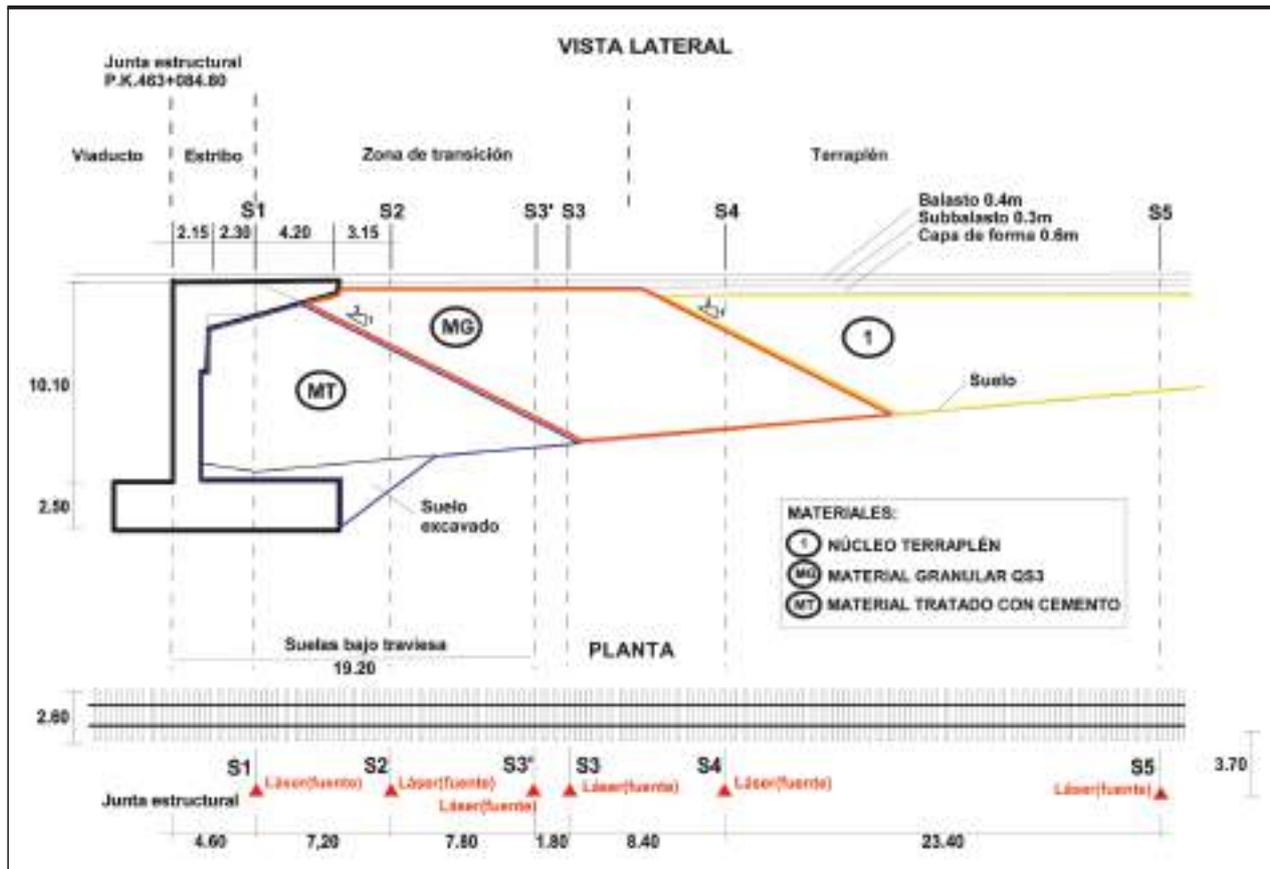


FIGURA 3.1. Secciones instrumentadas en el viaducto de Borges Blanques (distancias medidas en metros).



FIGURA 3.2. Sistema de haz láser y geófono de 2 Hz usado para calcular deflexiones en el carril.

Los geófonos de 2 Hz, gracias a sus reducidas dimensiones y masa, son muy manejables y por tanto son apropiados para fijarlos de manera sencilla y rápida al patín del raíl (Fig. 3.2). El uso de geófonos frente al de acelerómetros, también de peso y dimensiones reducidas, se justifica debido a que los geófonos presentan la ventaja de no necesitar alimentación eléctrica externa y además permiten una corrección más sencilla de la línea de base de las señales integradas durante su tratamiento. Por otro lado tienen el inconveniente de que, como estos sensores se comportan como un sistema de un grado de libertad, modifican las señales recibidas debido a sus propias características de funcionamiento y diseño.

En la Fig. 3.4 se han representado las curvas características de los geófonos de 2 Hz seleccionados para caracterizar la deflexión de los carriles.

Observando las curvas de Fig. 3.4 se puede ver que mientras que los sensores de 2 Hz elegidos no modifican significativamente los módulos (amplitudes) de las señales recibidas por debajo de su frecuencia natural (2,11 Hz), sí afectan sustancialmente a las fases dentro del rango de 0-20 Hz. Así pues, antes de integrar las señales obtenidas con estos sensores para obtener las deflexiones absolutas del raíl, es necesario corregir las señales como se indica en la Fig. 3.5.



FIGURA 3.3. Barra fija y trípode usados como bases de referencia del emisor láser para las medidas de las deflexiones del carril.

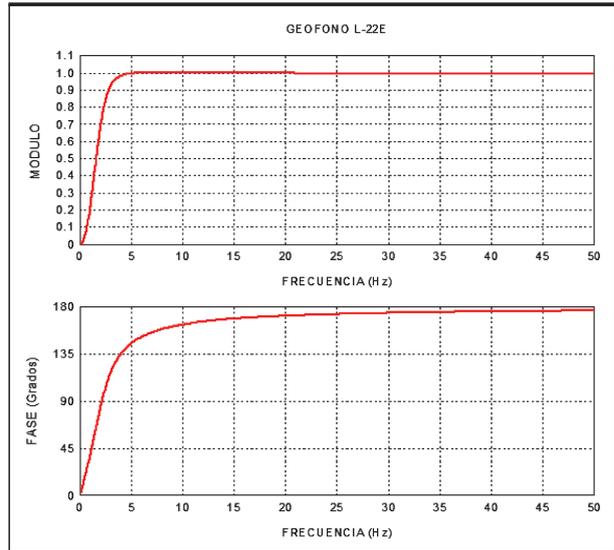


FIGURA 3.4. Curvas de respuesta de los geófonos de 2 Hz seleccionados ( $\omega_N = 2,11$  Hz;  $D = 67,6\%$ ).

En la figura 3.5 se observa que la corrección de fase se realiza en el dominio de la frecuencia de la señal. Con la transformada de Fourier inversa de esta señal corregida obtenemos un registro temporal de velocidades que ya se puede integrar y obtener así el registro temporal de desplazamientos absolutos del carril. No se creyó necesario realizar una corrección similar sobre los valores de amplitud debido a que habría que considerarla para frecuencias inferiores a 2,11 Hz, por lo que afectaría poco al resultado final.

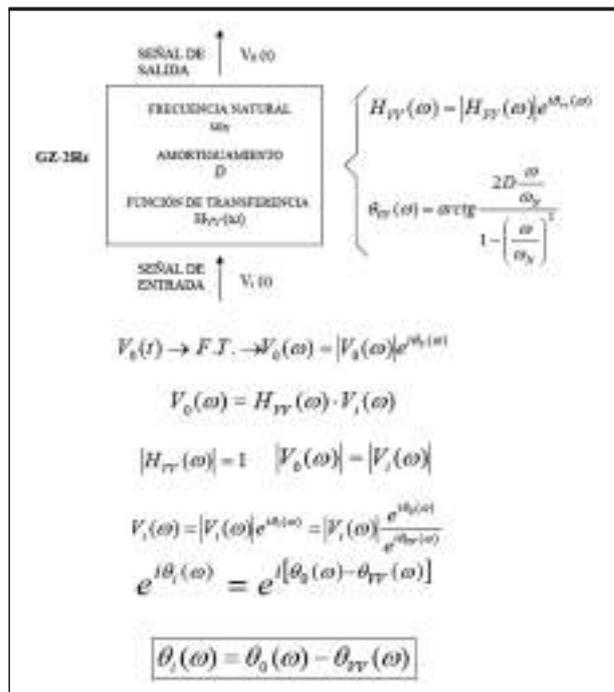


FIGURA 3.5. Corrección a aplicar a las medidas obtenidas con los geófonos de 2 Hz.

Las medidas de las cargas se obtuvieron también según dos procedimientos:

- i) A partir del método estándar explicado en Fig. 3.6, en el que se calcula la diferencia entre los esfuerzos cortantes inducidos por las ruedas en dos puntos separados entre sí 30 cm y situados entre dos traviesas consecutivas (Fig. 3.7).
- ii) Por medio de la determinación de un factor de conversión para determinar estas cargas a partir del valor QDP obtenido como diferencia de picos del registro de una sola banda. Estos factores fueron calculados y utilizados para el análisis de los datos obtenidos en la campaña de 2007. El valor obtenido para los trenes ALVIA de esa campaña fue de  $1,27 \pm 0,02$  (Fig. 3.8).

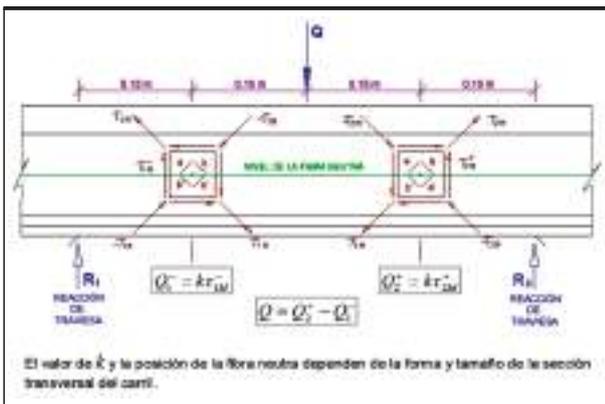


FIGURA 3.6. Disposición esquemática del sistema de bandas extensométricas usadas para el cálculo de las cargas por rueda ( $Q$ ).

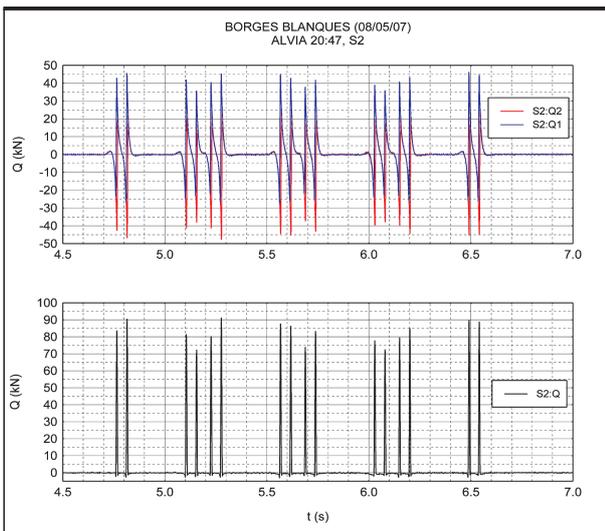


FIGURA 3.7. Registro temporal de cortantes ( $Q_1$  y  $Q_2$ ) y cargas ( $Q$ ) obtenidas para el tren ALVIA del día 08-05-07 en la sección S2.

#### 4. CAMPAÑAS REALIZADAS

Para estudiar el comportamiento de la línea férrea en las secciones ya comentadas, se llevaron a cabo las siguientes campañas:

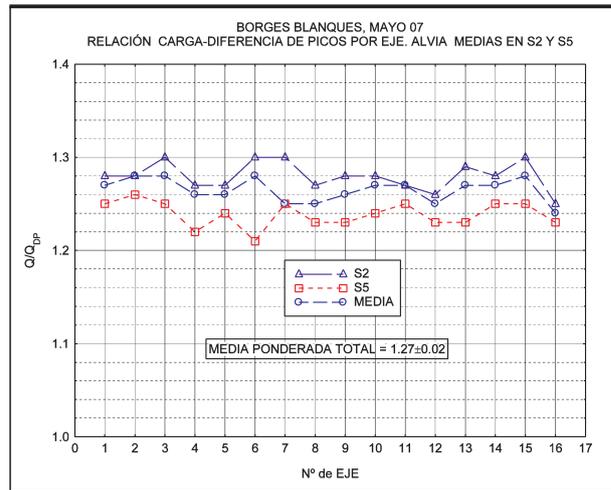


FIGURA 3.8. Relación entre las cargas medias por rueda calculadas a partir de seis trenes ALVIA de dieciséis ejes por medio de dos bandas  $Q$ , y las calculadas a partir de una banda  $Q_{DP}$ , en las secciones S2 y S5 para la determinación del factor de conversión  $Q/Q_{DP}$ .

**Primera campaña:** en mayo de 2007 y con la línea totalmente consolidada debido al tráfico de trenes. El objetivo era determinar la metodología más adecuada para medir correctamente las deflexiones del carril y las cargas producidas sobre éste por el paso del tren. Además también se pretendía analizar la información generada por otros sensores de medida instalados a parte de los estrictamente necesarios para medir deflexiones y cargas. Se registraron pasos de trenes ALVIA (200 km/h) (Fig. 4.1) sólo en la vía 2, sentido Barcelona-Madrid.

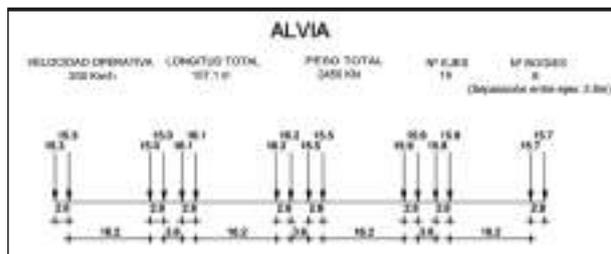


FIGURA 4.1. Disposición de ejes de los trenes ALVIA estudiados.

**Segunda campaña:** en junio de 2008. Los registros tomados en este caso sirvieron para probar el método indirecto de medida de las deflexiones producidas en el carril a partir de la instalación de geófonos de 2 Hz sujetos a la base del mismo. Además se comparó el comportamiento entre la utilización de barras ancladas y trípodes como bases fijas (descrito en el apartado 3). Los trenes analizados fueron AVE S-103 (300 km/h) medidos únicamente en la vía 2 (Fig. 4.2).

**Tercera campaña:** en septiembre de 2008, con la línea recientemente bateada, se desarrolló una última campaña para comprobar el efecto de los trenes circulando en ambas direcciones (vías 1 y 2). Además se pusieron en práctica los instrumentos de medida y conclusiones generados en las campañas anteriores. Se analizaron trenes ALVIA (200-250 km/h) y AVE S-103 (250-300 km/h).

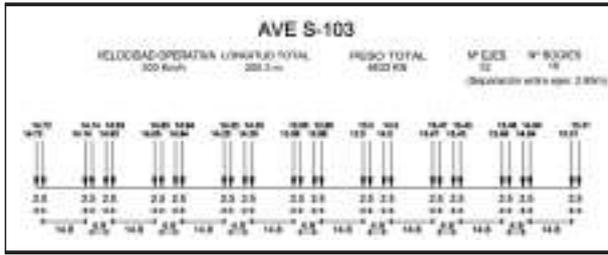


FIGURA 4.2. Disposición de ejes de los trenes AVE S-103 estudiados.

Durante la primera campaña se midieron las deflexiones inducidas por el paso de un tren en el centro de un único vano (separación entre traviesas de 0,60 m), fijando el receptor láser en su centro. Después se procedía a mover el receptor a otro vano dentro de la misma sección y se registraba el paso de otro tren. Este procedimiento se repitió para cubrir distintas posiciones dentro de la misma sección.

En cambio, durante la tercera campaña, se colocaron, además de un sistema láser, seis geófonos de 2 Hz cubriendo una zona de seis traviesas consecutivas pudiéndose así obtener en cada vía registros simultáneos de toda una sección (Fig. 4.3). La señales brutas se trataron según el procedimiento descrito anteriormente en el apartado 3 y se compararon con las del láser del mismo tren situado entre las traviesas centrales de la sección estudiada (Fig. 4.4).



FIGURA 4.3. Disposición de los geófonos de 2 Hz de la sección S1 en la vía 1 en septiembre de 2008.

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

### 5.1. 1ª CAMPAÑA (MAYO 2007)

En mayo de 2007 se registró el paso de trenes por la vía 2 correspondiente al sentido de salida del viaducto en la dirección Barcelona-Madrid. Para realizar el análisis de las diferentes secciones se seleccionaron seis trenes ALVIA (tabla 5.1.1). Mediante la instalación de un sistema de detección láser se registró el paso de los trenes por cada sección. La posición del láser, junto con el resto de sensores instalados en

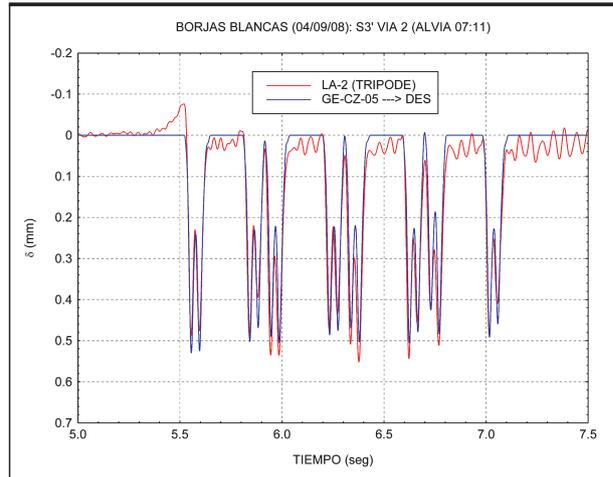


FIGURA 4.4. Comparación de las deflexiones obtenidas con el láser y con el geófono de 2 Hz.

la vía, se referenciaron según los números asignados a las dos traviesas que definen el vano correspondiente de la vía (tabla 5.1.1).

TREN		SECCIÓN				
FECHA	HORA	S1	S2	S3	S4	S5
08-05-07	20h 47'	-	T19-T20	T33-T34	T47-T48	T86-T87
09-05-07	16h 45'	-	-	T37-T38	T51-T52	T88-T89
10-05-07	16h 46'	T14-T15	-	-	-	T91-T92
11-05-07	10h 47'	-	T16-T17	-	-	T85-T86
11-05-07	20h 44'	-	T18-T19	T35-T36	T49-T50	-
12-05-07	10h 55'	T15-T16	T17-T18	T35-T36	T50-T51	T87-T88

TABLA 5.1.1. Trenes ALVIA seleccionados y posiciones sobre la vía ocupadas por el receptor láser en la campaña de mayo de 2007.

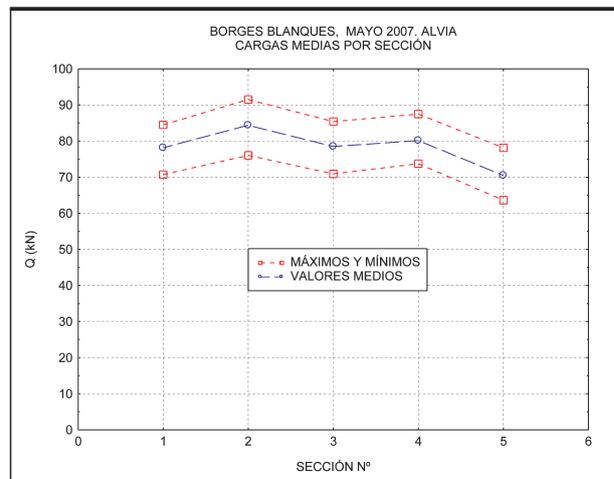


FIGURA 5.1.1. Valores extremos y medios de las cargas por rueda inducidas por los trenes ALVIA en mayo de 2007.

Los valores máximos, mínimos y medios de carga por rueda obtenidos para cada sección y para los trenes indicados en la tabla 5.1.1 aparecen representados en Fig. 5.1.1.

Los valores medios de carga por rueda obtenidos para las diferentes secciones fueron:

- S1: 78 KN.
- S2: 84 KN.
- S3: 78 KN.
- S4: 80 KN.
- S5: 72 KN.

Para la determinación de los valores de rigidez de vía se tomaron los registros de carga junto con los registros de deflexión medidos con el láser. En Fig. 5.1.2 se representan los registros de carga por rueda (Q) y deflexiones entre las traviesas T19-T20 de la sección S2 producidas por el tren del día 08-05-07.

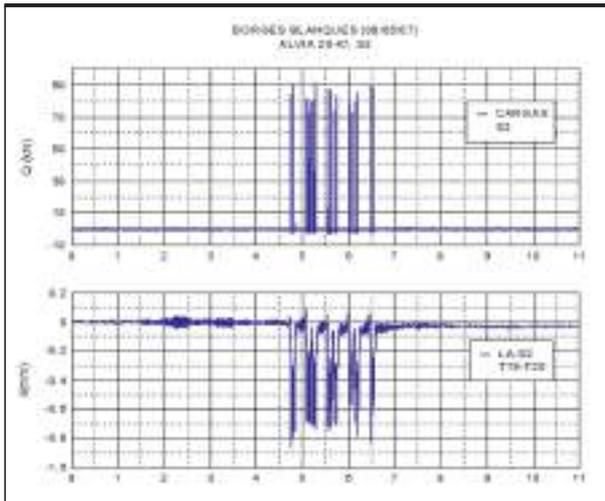


FIGURA 5.1.2. Historias de cargas por rueda y deflexiones de carril utilizadas para calcular los valores de rigidez de vía para la sección S2 (tren ALVIA del día 08-05-07).

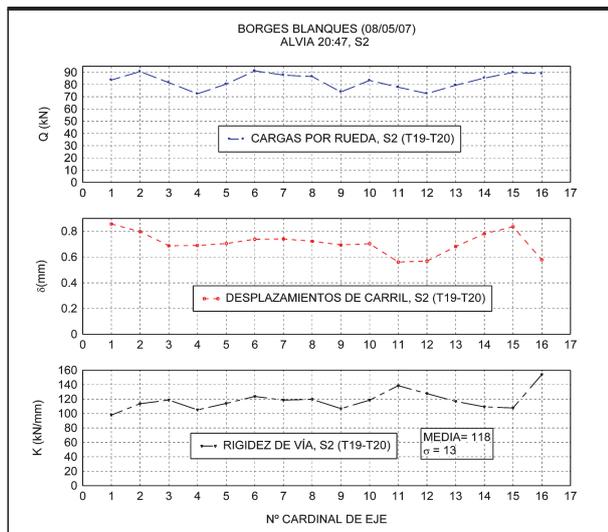


FIGURA 5.1.3. Distribución por ruedas de los valores de cargas, deflexiones y rigideces de vía obtenidos a partir de los registros de la figura Fig. 5.1.2.

En las tres gráficas de la Fig. 5.1.3 vienen representados los valores obtenidos, para los dieciséis ejes del tren mencionado anteriormente, de las cargas, deflexiones y rigidez de vía. El valor medio de rigidez obtenido en este caso es de 118 KN/mm con una desviación estándar de 13 KN/mm.

Si desechamos los valores de los dos ejes que presentan mayor dispersión respecto a la media se obtiene un valor medio de 117 KN/mm con una desviación estándar de 8,7 KN/mm. Debido a que en este último caso la desviación obtenida es inferior al 10%, es el valor de 117 KN/mm el que se consideró como representativo para el punto de la sección S2 situado entre las traviesas T19-T20 de la vía 2.

Siguiendo un procedimiento similar se determinaron los valores de rigidez de vía para el resto de secciones y trenes indicados en tabla 5.1.1. Estos resultados finales aparecen en las tablas siguientes (tabla 5.1.2 a tabla 5.1.6):

POSICIÓN EN VÍA	
T14-T15	T15-T16
191	171

TABLA 5.1.2. Valores representativos de rigidez de vía en KN/mm obtenidos para la vía 2 en la sección S1 a partir del paso de trenes ALVIA en la campaña de mayo de 2007.

POSICIÓN EN VÍA			
T16-T17	T17-T18	T18-19	T19-T20
194	184	148	117

TABLA 5.1.3. Valores representativos de rigidez de vía en KN/mm obtenidos para la vía 2 en la sección S2 a partir del paso de trenes ALVIA en la campaña de mayo de 2007.

POSICIÓN EN VÍA		
T33-T34	T35-T36	T37-T38
104	124 ; 144	172

TABLA 5.1.4. Valores representativos de rigidez de vía en KN/mm obtenidos para la vía 2 en la sección S3 a partir del paso de trenes ALVIA en la campaña de mayo de 2007.

POSICIÓN EN VÍA			
T47-T48	T49-T50	T50-T51	T51-T52
172	148	158	172

TABLA 5.1.5. Valores representativos de rigidez de vía en KN/mm obtenidos para la vía 2 en la sección S4 a partir del paso de trenes ALVIA en la campaña de mayo de 2007.

POSICIÓN EN VÍA				
T85-T86	T86-T87	T87-T88	T88-T89	T91-T92
145	137	140	140	143

TABLA 5.1.6. Valores representativos de rigidez de vía en KN/mm obtenidos para la vía 2 en la sección S5 a partir del paso de trenes ALVIA en la campaña de mayo de 2007.

### 5.2. 2ª CAMPAÑA (JUNIO 2008)

Gracias a esta campaña se pudo validar y poner a punto un método indirecto de medida de las deflexiones producidas en el carril a partir de la instalación en éste de geófonos de 2 Hz. Se concluyó que los registros de estos geófonos, previamente tratados y posteriormente integrados, ofrecían medidas fiables del desplazamiento absoluto del carril similares a las obtenidas en el mismo punto por un sistema láser. También se determinó que la utilización de trípodes móviles, como bases fijas de referencia para la medida de las deflexiones con láser, era mejor opción que el uso de barras ancladas a los cimientos a través de sondeos.

Estas conclusiones y la metodología desarrollada fueron aplicadas en la campaña siguiente.

### 5.3. 3ª CAMPAÑA (SEPTIEMBRE 2008)

Para analizar el efecto del sentido de paso de los trenes se seleccionaron una serie de ellos de entre los registrados durante la campaña de septiembre de 2008. En concreto se tomaron ocho trenes AVE S-103 con una velocidad de paso de 300 Km/h, y seis trenes ALVIA con velocidades de 200 Km/h. En las tablas siguientes (tabla 5.3.1 y tabla 5.3.2) se indican estos trenes seleccionados junto con la referencia de las traviesas consideradas en cada punto, sección y vía.

FECHA	SECCIÓN	HORA	VÍA Nº 2		VÍA Nº 1
02-09-08	S2	12h 52'	T19-T20	T20-T21	-
		13h 54'	-	-	T19-T20
03-09-08	S1	12h 52'	T7-T8		-
		15h 49'	-		T7-T8
04-09-08	S3'	10h 19'	T32-T33	T35-T36	-
		18h 30'	-	-	T32-T33
05-09-08	S5	12h 51'	T88-T89	T89-T90	-
		18h 35'	-	-	T88-T89

TABLA 5.3.1. Trenes AVE S-103 de la campaña de 2008 analizados.

FECHA	SECCIÓN	HORA	VÍA Nº 2	VÍA Nº 1
02-09-08	S2	16h 14'	-	T19-T20
03-09-08	S1	07h 12'	T7-T8	-
		18h 16'	-	T7-T8
04-09-08	S3'	07h 11'	T32-T33	-
		18h 15'	-	T32-T33
05-09-08	S5	21h 14'	-	T88-T89

TABLA 5.3.2. Trenes ALVIA analizados de la campaña de 2008.

En este caso, además de usar sistemas láser para registrar el paso de los trenes, también se dispuso de los registros generados por geófonos de 2 Hz instalados en ambas vías y en cada sección, tal y como se indicó en el apartado 4.

Para la obtención de los valores de rigidez de vía representativos se siguió un procedimiento similar al expuesto anteriormente para el análisis de los trenes ALVIA de la

campana de mayo de 2007. En este caso se disponía de los registros generados por láser y geófonos para la obtención de la historia de deflexiones del carril.

En las Fig. 5.3.1 a Fig. 5.3.4 se representan las rigideces de vía obtenidas para las secciones S1, S2, S3 y S3' conjuntamente y S5. Estos valores, que están representados en KN/mm, aparecen asociados a sus correspondientes posiciones sobre la vía, de la que se especifica además su sentido y tipo. Para su obtención se han calculado las medias de los valores correspondientes a los trenes ALVIA y AVE S-103 estudiados.

Del análisis de estas figuras se desprende que: los cambios más relevantes de rigidez de vía se produjeron en la sección S1 al pasar del hormigón al suelo en el primer bloque de la zona de transición; y la ausencia de contraste de rigideces de vía entre las secciones con suelas y sin ellas.

En la tabla 5.3.3 se recogen los cambios más importantes de rigidez de vía que se produjeron en los distintos puntos de la zona crítica de la sección S1.

VÍA 1			VÍA 2		
T6	T7-T8	T8	T6	T7-T8	T8
240	120	108	242	119	102

TABLA 5.3.3. Cambios abruptos de rigidez de vía, en KN/mm, obtenidos en la zona crítica de la sección S1.

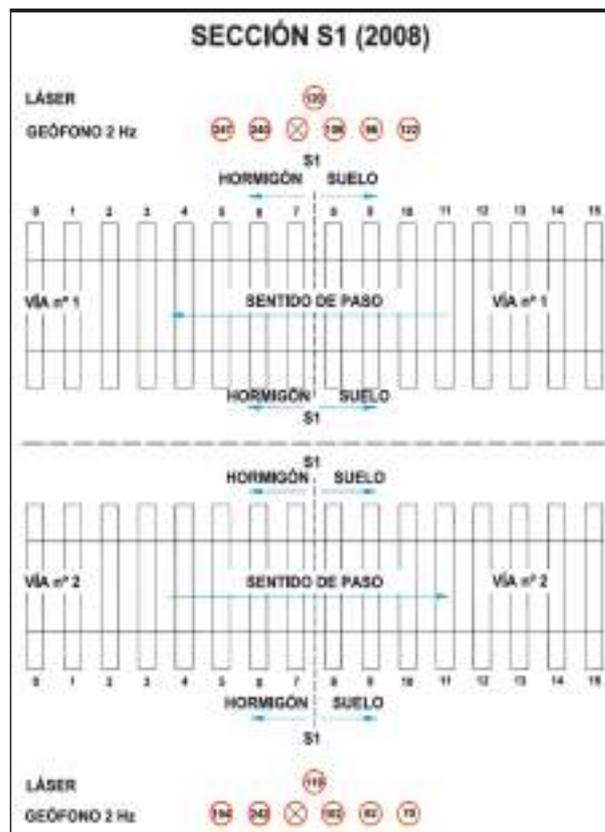


FIGURA 5.3.1. Valores de rigidez de vía representativos, en KN/mm, obtenidos en la sección S1 en el análisis de la campaña de septiembre de 2008.

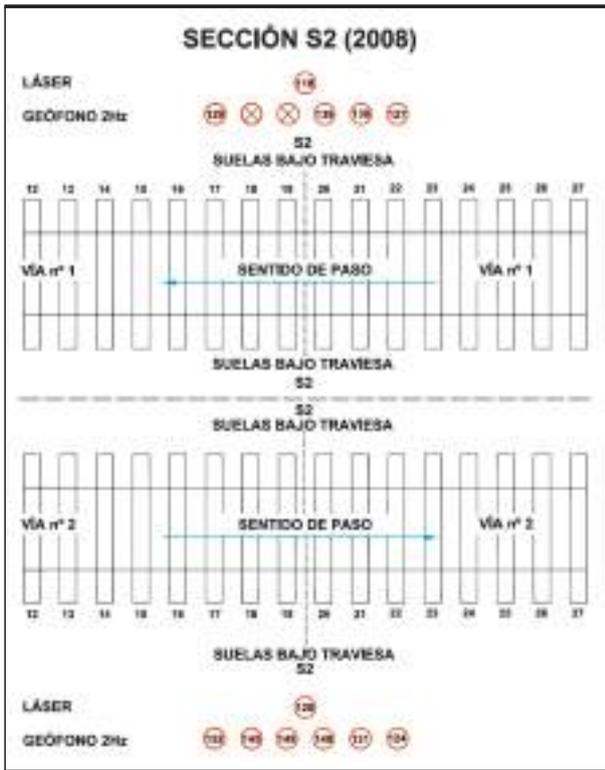


FIGURA 5.3.2. Valores de rigidez de vía representativos, en KN/mm, obtenidos en la sección S2 en el análisis de la campaña de septiembre de 2008.

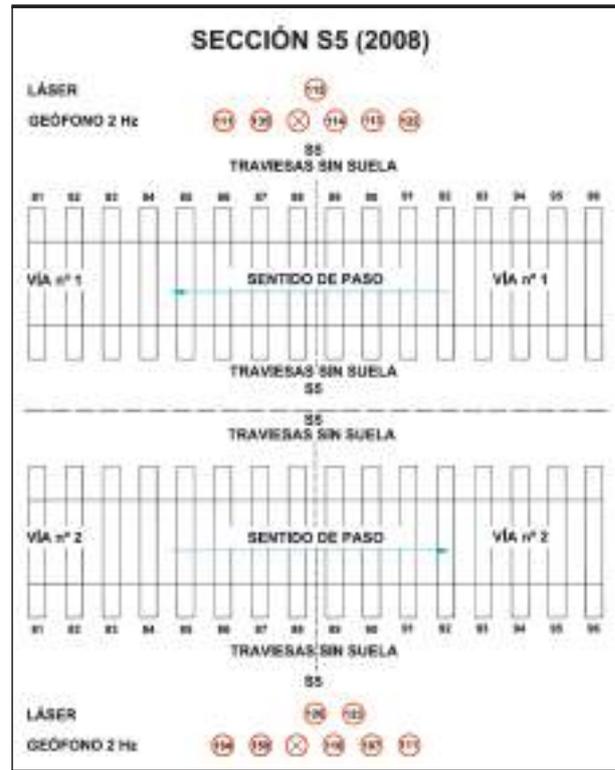


FIGURA 5.3.4. Valores de rigidez de vía representativos, en KN/mm, obtenidos en la sección S5 en el análisis de la campaña de septiembre de 2008.

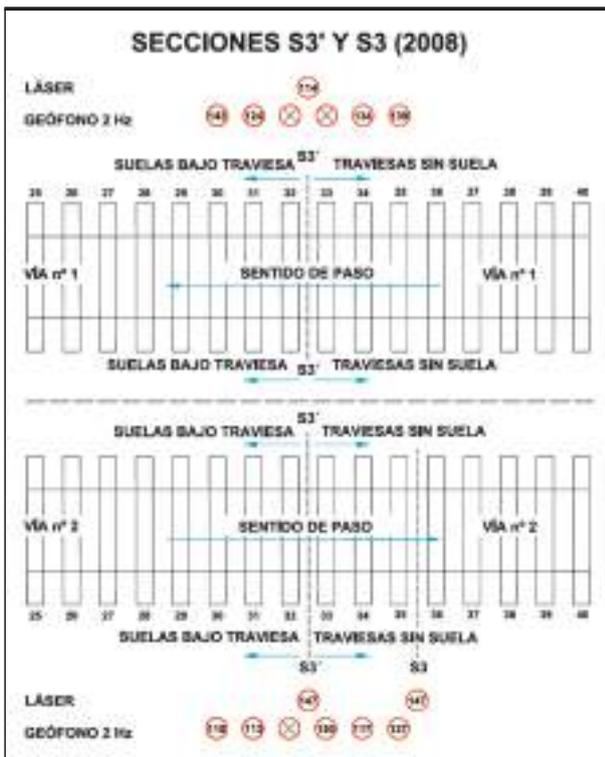


FIGURA 5.3.3. Valores de rigidez de vía representativos, en KN/mm, obtenidos en las secciones S3 y S3' en el análisis de la campaña de septiembre de 2008.

Con el fin de ilustrar mejor los cambios de rigidez de vía que se detectaron al pasar del hormigón al suelo y del suelo al hormigón, en la Fig. 5.3.5 se han recogido los movimientos absolutos del carril registrado en dichos puntos al paso de un tren ALVIA por cada vía. Para estos dos casos particulares puede observarse que las deflexiones de los carriles en el lado blando de la junta hormigón-suelo superan de dos a tres veces los que se obtienen en el lado duro, y que fueron mayores cuando el tren pasó de la zona blanda a la dura (vía 1).

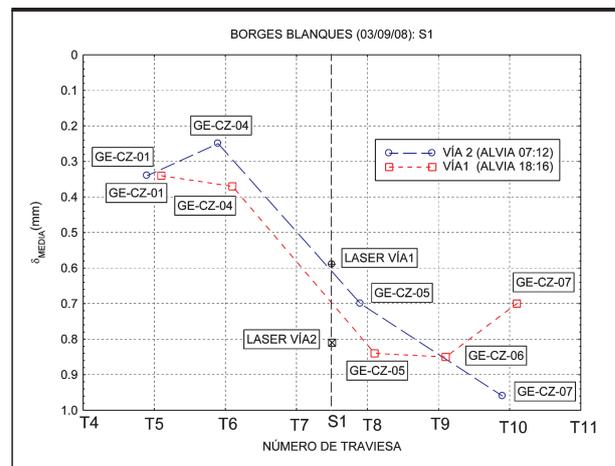


FIGURA 5.3.5. Movimientos absolutos del carril observados en ambas vías entre la zona dura (travesías T5 y T6) y la zona blanda (T8, T9 y T10) de la sección S1 para dos trenes ALVIA.

## 6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Para el estudio y análisis de los cambios de rigidez producidos en la vía en una zona de transición se eligió un emplazamiento situado en el viaducto de Borges Blanques en la línea de alta velocidad Madrid-Barcelona-frontera francesa.

Se definieron una serie de secciones transversales a la vía para estudiar, mediante la instalación de diversos sensores, diferentes zonas con distintas características constructivas en lo referente tanto a la vía como al terraplén. Mediante estos sensores se obtuvo, registrando el paso de varios trenes, los datos necesarios para el cálculo de las rigideces de vía en varios puntos, como son las cargas por rueda y las deflexiones de carril.

Para la obtención de las cargas se siguió, por un lado, el método estándar donde se calculan las cargas por rueda a través del registro de dos bandas extensométricas instaladas en el carril, y por otro, un método desarrollado durante estos trabajos mediante el cual se pueden obtener las cargas a partir de una sola banda aplicando un determinado factor corrector determinado empíricamente.

Igualmente se utilizaron dos metodologías para la obtención de las deflexiones del carril producidas por el paso de los trenes. Por un lado se midieron estas deflexiones de forma directa a través de sistemas ópticos láser, y por otro se obtuvieron de una forma indirecta a partir de la integración de registros de geófonos instalados directamente en los carriles de la vía.

Del análisis de los resultados obtenidos pueden resumirse las principales conclusiones de la siguiente manera:

- Los valores de rigidez obtenidos en la campaña de septiembre de 2008 a partir de los trenes ALVIA para la zona de transición fueron, en general, un 15% menores que los

obtenidos en mayo de 2007. Este hecho cabe atribuirlo a que en la campaña de 2007 la vía estaba consolidada por el paso de trenes mientras que en la de 2008 se encontraba recién bateada.

- No se encontraron diferencias significativas entre los valores de rigidez de vía calculados en la campaña de septiembre de 2008 para los trenes AVE S-103 que viajaban a 300 Km/h, y los obtenidos para los ALVIA que pasaban a 200 Km/h.
- Se determinaron variaciones de 1:2 a 1:3 en las rigideces de vía obtenidas en la transición entre hormigón y suelo estudiada en la sección S1, y mayores cargas y deflexiones de carril al pasar el tren de la zona más blanda a la más dura.
- En otras zonas del bloque técnico y vía plena, las rigideces de vía obtenidas se encuentran dentro del rango que va de 110 KN/mm a 140 KN/mm, con una variación máxima del orden del 10% entre traviesas consecutivas en la vía recién bateada y del 20% una vez consolidada.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido parcialmente desarrollado en el Proyecto INNOTRACK TIPS-CT-2006-0314150 del 7º Programa Marco de la Unión Europea.

## 8. REFERENCIAS

- AEAT. RENVIB II Phase 3 (2003). *Measurement protocol vibration and ground borne noise.*
- UIC 2008. *Earthworks and track bed for railway lines.* UIC CODE, Paris, 114p.