

tracción - propulsión - automatización de rutas - tranvías - puentes - roaming - metros - sistemas
aleras mecánicas - condensadores - telecontrol - cable radiante - handover - ondulator de tra
fos - freno neumático - señalización - odometría - interfaz - andén de evacuación - puertas de
- sistema de billeteaje - pasillo control de acceso - terminal - radiotelefonía - escalera mecánica
- bielas de arrastre - gestión de tráfico - numerador de trenes - zapata de freno - motor elect
es - tracción - propulsión - automatización de rutas - tranvías - puentes - roaming - metros - si
aleras mecánicas - condensadores - telecontrol - cable radiante - handover - ondulator de tra
fos - freno neumático - señalización - odometría - interfaz - andén de evacuación - puertas de
- sistema de billeteaje - pasillo control de acceso - terminal - radiotelefonía - escalera mecánica
- bielas de arrastre - gestión de tráfico - numerador de trenes - zapata de freno - motor elec

LA VÍA SIN BALASTO A PARTIR DE PLACAS PREFABRICADAS DE AFTRAV



Luis Albajar Molera

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID/AFTRAV

INTRODUCCIÓN

La Asociación Nacional de Fabricantes de Traviesas Para Ferrocarril (AFTRAV) ha desarrollado un sistema de vía sin balasto para ferrocarril, basado en la utilización de placas prefabricadas pretensadas, con una versión polivalente y una adaptación al caso de tres hilos.

El proyecto se ha llevado a cabo conjuntamente con RAILTECH y con la colaboración de TIFSA. Se contó con una ayuda PROFIT.

Se trata de una vía en placa, con alto grado de prefabricación, formada por una serie de losas prefabricadas de hormigón, con pretensado longitudinal y transversal. Se dispone una capa de elastómero en la superficie inferior de la losa y la unión con la solera se realiza mediante una capa delgada de mortero autocompactante vertido "in situ".

A continuación se describe el sistema en cuanto a sus componentes y el conjunto montado. También se señalan aspectos del funcionamiento así como un resumen de los cálculos y ensayos. Se recalca la interacción con la sujeción y finalmente se proporciona información sobre el montaje incluyendo replanteo.

1.- Antecedentes y condicionantes previos

Tras una fase previa de información y recogida de opiniones, sobretudo de expertos de ADIF se establecieron los siguientes condicionantes teniendo en cuenta la realidad española.

1. Capacidad de resolver zonas específicas, principalmente túneles, viaductos y zonas de transición entre ambos elementos, situación propia de áreas de orografía accidentada.
2. Adaptación a zonas urbanas y acceso a ciudades. Solución transitable en todos estos puntos en situación de emergencia.
3. Facilidad de inspección y mantenimiento, incluida la detección de asientos del terreno sobre todo en fases iniciales.
4. Velocidad, fiabilidad y estandarización del procedimiento constructivo.
5. Necesidad de una tipología pensada para las necesidades provenientes del uso del ancho ibérico y del ancho UIC. Esto conlleva, como en el caso de traviesas una solución polivalente y una solución de tres hilos.

2.- Solución de placas Prefabricadas

A partir de estos condicionantes y tras un proceso de comparación de alternativas a nivel de anteproyecto, incluyendo los aspectos económicos (construcción y mantenimiento) se optó por el desarrollo de una solución de placas prefabricadas pretensadas longitudinal y transversalmente descrito a continuación.

Como otros sistemas de esta tipología presenta los siguientes condicionantes y cualidades:

1. Placas independientes en el sentido longitudinal, cuando existe pretensado en dicho sentido.
2. Necesidad de una capa elástica intermedia entre el hormigón base y la placa prefabricada que colabore a desacoplar la placa superior a efectos de las deformaciones diferidas de fluencia y retracción, así como las de origen térmico.
3. Cilindros o rectángulos pasantes de hormigón, a través de la placa que permitan la transmisión de acciones horizontales al hormigón base.
4. Encaje de curvas mediante segmentos (placas) rectas y capacidad de las sujeciones de adaptación lateral
5. Montaje inicial de las placas sin carril y ajuste posterior del mismo.
6. Posibilidad de ajuste limitado, en caso de asientos del terraplén, o de sustitución de las placas.
7. Adaptación al caso de puentes, sin modificar la tipología básica al ser una solución en segmentos y que por lo tanto no hay que partirla.

2.1.- Esquema descriptivo de los elementos y del conjunto del sistema

La solución normal presenta las siguientes componentes (Ver figuras 1 y 2)

una capa de hormigón en masa (en caso de terraplenes de hormigón armado) de baja resistencia H-15 de tres metros de ancho (1)

una capa delgada de mortero autocompactante de espesor medio seis centímetros y ancho 2,5 metros (2) vertido "in situ"

una capa de un centímetro de elastómero (conglomerado a base

de grano fino de neumáticos reciclados (4) fijada a las placas prefabricadas (3) y adherida al mortero (2).

una placa prefabricada pretensada en ambas direcciones de 5,1x 2.5x0,2 m que incluye las fijaciones (PANDROL SFC) que soportan el carril. La placa es totalmente prismática y contiene seis aladros pasantes de forma sensiblemente cilíndrica (5) forrados de elastómero (6) que quedan rellenos por el mortero autocompactante (5) y que acaban formando un cuerpo único con el mortero que constituye la capa (2).

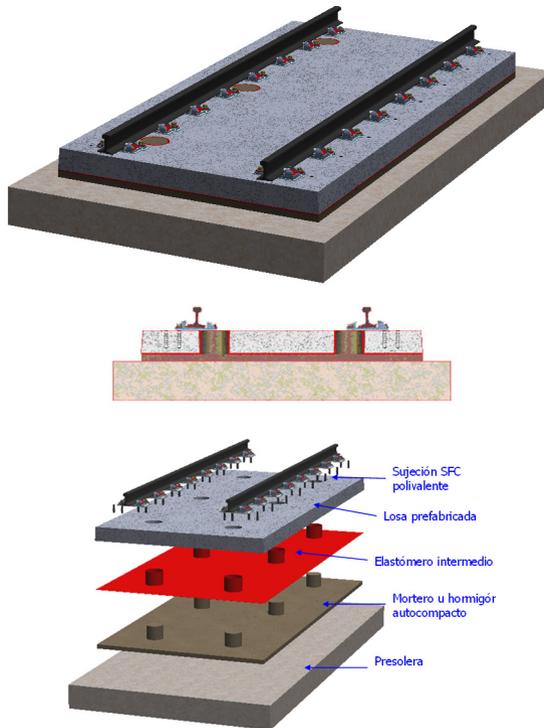
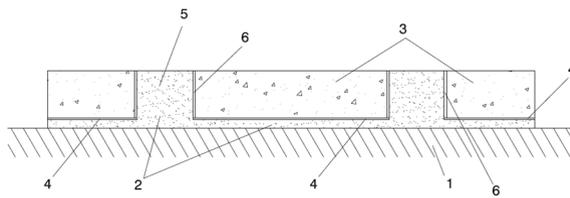


Figura 1



A-B

Figura 2

La figura 3 refleja en planta el resultado final con las placas prefabricadas independientes con una separación 10 cms.

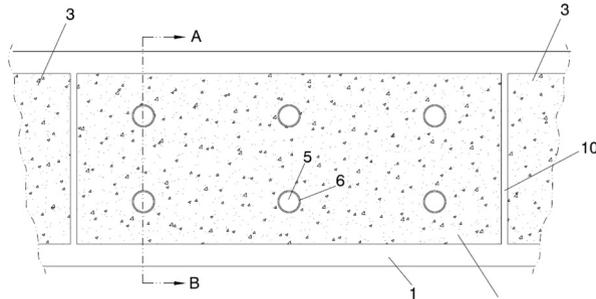


Figura 3

2.2.- Idea de funcionamiento. Aspectos ligados a la condición de placas prefabricadas pretensadas

La ventaja fundamental del hormigón pretensado en esta aplicación es su excelente comportamiento a fatiga y el control de la fisuración incluido la capacidad de cierre de las fisuras en la situación permanente (sin actuación de las sobrecargas). Las traviesas monobloque son pretensadas así como una gran parte sistemas de vía en placa prefabricados como los usados en Japón e Italia.

Las deformaciones diferidas longitudinales debidas al pretensado longitudinal, obligan al uso de placas longitudinalmente independientes, a intercalar una capa elástica (cemento asfalto, elastómero) entre la placa prefabricada y el sustrato de hormigón "in situ" que limite la coacción de éste a las deformaciones diferidas de la placa y a disponer de unos elementos de unión (stoppers) entre placa y sustrato para absorber acciones horizontales.

En nuestra solución la capa de elastómero (4) está fijada a la placa prefabricada (3) y adherida al mortero autocompactante (2) que fragua en contacto con el elastómero. Además los taladros (5) están forrados de una capa de elastómero (6) (Figuras 1 y 2)

La retracción y fluencia de la placa prefabricada suceden con la placa descargada. En estas condiciones la coacción ejercida por el elastómero inferior y los cilindros de mortero forrados de elastómero es muy pequeña, con lo que las pérdidas de fuerza de pretensado son menores del 20 % y las tensiones en los cilindros de mortero admisibles. Lo mismo sucede con las acciones térmicas generadas en la propia placa.

Cuando actúan las sobrecargas verticales (trenes) se moviliza el ro-

zamiento entre la placa prefabricada (3) y la capa de elastómero (2) que absorbe la mayor parte de las fuerzas horizontales de frenado, aceleración y transversales, con desplazamientos horizontales muy pequeños e incrementos despreciables de las tensiones en los cilindros de mortero (5). Estos cilindros de mortero (5) forrados de elastómero (6) colaboran en la resistencia de los esfuerzos horizontales en las zonas con variación térmica del carril.

En consecuencia se alcanzan niveles bajos de esfuerzos horizontales en los cilindros de mortero que permiten la utilización de diámetros pequeños (0,30 m) para los seis taladros pasantes (5), con lo que no existen huecos importantes en la losa pretensada (3) que impidan una distribución uniforme de los tendones de pretensado y se logra un estado tensional controlado en la totalidad de la losa.

La simplicidad de la losa prismática, los taladros de pequeño diámetro y el amplio espacio disponible para la posición de los tendones de pretensado, permiten una solución polivalente sencilla mediante la fijación de PANDROL SFC-Doble Ancho. Se consigue el cambio de ancho disponiendo dos parejas de espigas de fijación a la placa, separadas 116,5mm y fijando la sujeción en una u otra en función del ancho (Ibérico o UIC). Ver figura 7



Figura 4

En la figura cuatro se observa la posición de ancho ibérico, con el alojamiento de la espiga interior de ancho UIC no utilizado. Además de su sencillez esta solución supone para cada ancho de vía un cambio de posición de la fijación pero no una fijación sustancialmente distinta de

la muy experimentada en ancho UIC. Esta circunstancia (placa prismática y posibilidad de adaptar la posición de los tendones de pretensado) permite también una solución sencilla para el caso de tres hilos usando la sujeción de RAITECH (DFF-T3H) experimentada en losas "in situ"

Otro aspecto funcional destacable es el del doble nivel de elasticidad, un nivel superior proporcionado por la fijación y otro inferior, bajo la losa prefabricada, que queda como una masa ligada elásticamente al sustrato, a través de los elastómeros (4) y (6)

3.- Resumen de cálculos y ensayos

El cálculo y los ensayos han seguido las siguientes fases.

3.1.- Elección y caracterización de los elastómeros

Se han realizado unos ensayos, con las condiciones reales de contacto entre el elastómero entre el hormigón prefabricado y el mortero "in situ", con distintas relaciones entre carga vertical y carga horizontal, a fin de simular las situaciones de losa sin carga (retracción, fluencia acciones térmicas) y con carga de trenes (aceleración, frenado). Esto ha permitido una primera selección de los elastómeros con coeficientes de rozamiento superiores a 0,65 (ver figura 5)

Con un formulación del tipo elegido se realizó, un ensayo de comportamiento bajo cargas cíclicas con una probeta que reproducía una zona representativa de 1x0,25 m² de elastómero entre las dos capas de hormigón (prefabricado e in situ), con una carga máxima de 70 KN y una relación componente horizontal /componente vertical de 0,3, de acuerdo con la figura 6.

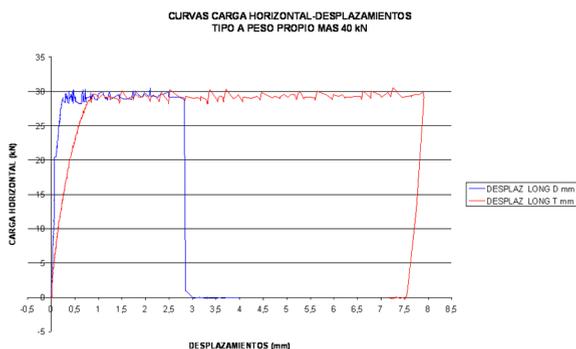


Figura 5



Figura 6

Midiendo los desplazamientos relativos entre los dos bloques de hormigón a lo largo de todo el ensayo (dos millones de ciclos) se obtuvo un comportamiento uniforme, con deformaciones recuperables del elastómero, y sin deslizamiento. Terminado el ensayo se separaron ambos bloques de hormigón sin observarse ningún desgaste en la capa de elastómero.

3.2.- Resumen de cálculos

Una vez caracterizados los materiales y el comportamiento del contacto el cálculo siguió las siguientes etapas.

1. Estudio dinámico, teniendo en cuenta la rigidez de las fijaciones y el efecto rueda carril, para dos niveles de irregularidades y un barrido de velocidades hasta 430Km/hora. Se establecieron los coeficientes de reparto entre sujeciones y de amplificación dinámica para los usos previsibles de mercancías y alta velocidad.
2. Estudio de las tensiones debidas a acciones reológicas (retracción y fluencia, variaciones térmicas, incluido un gradiente térmico en la losa) teniendo en cuenta la interacción entre la losa pretensada, la capa elástica, el mortero autocompacto y el sustrato. También se ha estudiado el efecto horizontal del calentamiento y enfriamientos del carril. Estas acciones se producen con independencia del paso de los trenes.
3. Cálculo de tensiones debidas a las acciones de los trenes (acciones verticales y de frenado), en este caso se estudiaron, teniendo en cuenta los coeficientes dinámicos, una serie amplia de hipótesis de situación de ejes, para ambos anchos y distintas características del elastómero y del sustrato.

En la mayor parte de estos cálculos se utilizó un modelo de Elementos finitos incluyendo cada zona, los materiales y las distintas condiciones de contacto. Se realizó un contraste de los resultados con modelos simplificados.

Como es conocido, el paso de los campos de tensiones, obtenidos por los programas de Elementos Finitos, al dimensionamiento de la armadura activa y pasiva, no es inmediato y este proceso se realizó con detalle y criterios realistas. Se prestó especial atención a los estados límites de servicio y al comportamiento a fatiga.

4.- Aspectos de la sujeción. Interacción con la placa

La vía en placa y la fijación forman un conjunto que se beneficia de la sencillez geométrica de la placa y de las propiedades y versatilidad de la sujeción.

Se consigue la solución polivalente con la placa de la sujeción SFC-Doble ancho, alojada en una u otra posición mediante la disposición de dos parejas de espigas, una para cada ancho. (ver figuras 7y8), Se trata de una sujeción ampliamente experimentada cuya posición cambia en ancho ibérico o en ancho internacional.

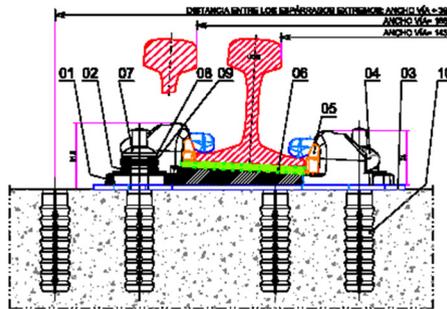


Figura 7

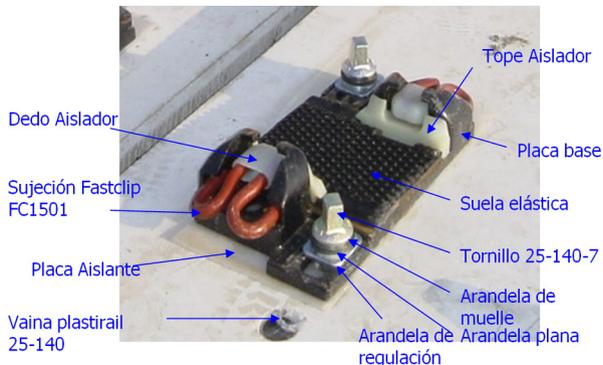


Figura 8

Se han realizado los ensayos, de acuerdo con la norma europea en el Instituto Torroja cuyos resultados se reflejan en la figura 9. Adicionalmente la capa de elastómero inferior (2) origina un incremento de elasticidad vertical del orden del 16%.

La sujeción dispone de clips con distinto apriete lo que permite disminuir las puntas de fuerzas horizontales originadas por el carril

sobre las placas, en zonas de fuerte transición térmica y en los extremos de viaductos.

ENSAYOS CEN - INSTITUTO EDUARDO TORROJA

RAKTECH



Informe 18.851 Ensayo en el INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA			
Concepto	Valor antes del ensayo dinámico	Valor después del ensayo dinámico	Observaciones
Ensayo rigidez dinámica a baja frecuencia	55,6 kN/mm	-	Determina el ángulo del ensayo de fatiga 26°, y la carga 65 kN, siendo X = 15 mm
Ensayo de rigidez vertical a 80 kN	51,5 kN/mm	60,7 kN/mm	Variación 17,9 % Requerido inferior a 25 %
Ensayo fuerza de apriete	17,7 kN	17,5 kN	Variación 1,1 % Requerido inferior a 20 %
Resistencia al deslizamiento longitudinal	9,5 kN	9,7 kN	Variación + 2,1 % Requerido inferior al 20 %
Ensayo dinámico de carga inclinada	-	-	No se observaron daños ni desgastes apreciables en ninguno de sus componentes
Informe 18.659 con inserto de fundición (1 etapa aislante). Resistencia eléctrica obtenida: Mínimo 29 KΩ > 5 KΩ			

Figura 9

5.- Esquema de puesta en obra

Describimos la puesta en obra mediante un pórtico específicamente desarrollado para esta aplicación.

En primer lugar se ejecuta “in situ” la solera de hormigón en masa H15 (1), con una tolerancia media de ± 2 cms. Se replantea la malla de armadura pasiva incluida en la capa de mortero (2)

Se transportan y colocan las placas prefabricadas (3) con una precisión inicial de ± 2 cm (figura 10)



Figura 10

Se realiza el replanteo y puesta en posición definitiva de las placas, con una precisión del orden de 2mm, con ayuda de una estación topográfica. La losa queda fijada provisionalmente por medio de seis tornillos al hormigón sustrato. (Ver figura 11)



Figura 11

A continuación se realiza el vertido del mortero autocompactante (2) y (5) a través de los seis taladros (5)

Endurecido el mortero, se procede a la extracción de los seis tornillos de apoyo provisional, a la colocación del carril, y al ajuste definitivo de la sujeción, utilizando una pequeña parte de su amplio margen de regulación. (+20,-5 mm. en altura en escalones de 1mm mediante varios espesores de la capa aislante inferior y ± 12 mm.en alineación)

6.- Nota final.

La figura12 muestra una aplicación práctica, donde se observa la sencillez y la facilidad para la circulación de vehículos de emergencia



Figura 12

En la figura 4 además de la solución polivalente, se observa una curva de 500 metros de radio resuelta con segmentos rectos y la capacidad de regulación en alineación de la sujeción.

El pórtico de puesta en obra permite su instalación sencilla en el caso de túneles de una sola dirección que es la solución habitual en España para la alta velocidad.

Este desarrollo ha tenido una ayuda PROFIT, ha sido certificado como proyecto de Investigación y Desarrollo (I+D) por la Agencia de Certificación e Innovación Española y cuenta con el informe motivado favorable del M^o de Industria, Turismo y Comercio, de fecha 13 de Mayo de 2008.

Referencias

La vía en placa de AFTRAV, Luis Albajar Molera. VIII Congreso de Ingeniería del Transporte A Coruña 2008

