

1. INTRODUCCIÓN

El 6 de julio de 2006 se firmaba entre el Presidente de ADIF, y el Director General del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), el Convenio de colaboración entre ambas entidades, para la *Realización de trabajos de investigación y desarrollo tecnológico en ámbitos de interés de ADIF y CEDEX en el cuatrienio 2006-2009*.

Dentro de los estudios y trabajos mencionados en el Convenio, figura entre otros el siguiente: “Análisis de soluciones constructivas para zonas de transición de la rigidez en líneas de ferrocarril”. Para el desarrollo de las diferentes actividades se establecieron una serie de fichas que, en concreto para este tema, fija los siguientes objetivos y tareas:

Objetivos: Materializar, mediante un procedimiento constructivo adecuado, las conclusiones alcanzadas en el proyecto SUPERTRACK, de cómo se pueden optimizar las zonas de transición.

Tareas: Las tareas a realizar incluyen:

- El análisis por un grupo mixto de técnicos de ADIF y del CEDEX, de las conclusiones obtenidas en el proyecto SUPERTRACK sobre la variación óptima de rigideces a conseguir en las zonas de transición a la entrada y salida de obras de fábrica en líneas de ferrocarril.
- La caracterización por el CEDEX de la variación de rigidez en zonas de transición actualmente en proceso de construcción y ya construidas, y subsiguiente contraste de valores medidos in situ con los valores óptimos propuestos en el proyecto SUPERTRACK.
- La validación, por el grupo anteriormente citado, de los procedimientos constructivos existentes o, en su caso, formulación de propuestas constructivas para obtener la transición óptima de rigidez en las zonas mencionadas.

Entre los integrantes de ADIF que colaboraban en estos trabajos se encontraban los redactores de esta ponencia, D. Miguel Rodríguez Plaza de la Dirección de Gestión de Red e Innovación, y D. José Alberto Rivas Lozano, de la Dirección de Operaciones e Ingeniería de Red Convencional, mientras que por parte del CEDEX colaboraban D. Vicente Cuéllar, y D. José Luís García de la Oliva.

En las primeras reuniones del grupo de trabajo se comentó que existía la posibilidad de que parte de las conclusiones que se extrajeran de esta ficha del Convenio ADIF-CEDEX, pudieran emplearse en el proyecto europeo INNOTRACK en el que se desarrollaban trabajos de forma conjunta entre ambas entidades, y que estaba destinado, entre otros objetivos, al “*análisis de mejoras de plataformas ferroviarias con tráfico mixto*”.

De esta forma, y ante la necesidad existente de plantear actuaciones que en ese momento estuvieran realizándose en las líneas con tráfico mixto con problemas en las zonas de transición plataforma-estructura, se decidió por la que en aquel momento era la Dirección Ejecutiva de Mantenimiento de Infraestructura, que los trabajos de consolidación y tratamiento del terraplén comprendido entre los puntos kilométricos 173/700 a 173/900 de la línea de Zaragoza a Barcelona por Lérida, pudieran enmarcarse dentro de los analizados por este grupo de trabajo.

Habida cuenta de que las zonas de transición en las líneas convencionales con tráfico mixto son prácticamente inexistentes al tratarse de líneas con más de un siglo de antigüedad en el 90% de los casos, y que el proyecto de tratamiento de las patologías existentes en el terraplén estaba en fase de redacción, esta propuesta fue acogida con muy buena aceptación por parte de los integrantes del grupo.



Figura 1: Obsérvese la deformación existente en la vía antes de las actuaciones.



Figura 2: Terraplén existente en la línea convencional y paso inferior antes de las obras

2. Antecedentes

El terraplén que nos ocupa empezó a presentar deficiencias en el año 1998, fecha de la construcción de la infraestructura AVE, que discurre paralela a la plataforma convencional por el lado derecho, apoyándose parte del talud izquierdo de la plataforma AVE en el talud derecho de la plataforma de la línea convencional. También se realizó un paso hincado en el P.K. 173/875, que cruza las plataformas de las dos líneas, y que, con toda probabilidad, provocó la desconsolidación del terraplén existente al estar constituido por materiales de baja calidad, puestos en obra con medios totalmente diferentes a los actuales, y que por tanto se vio afectado directamente por la ejecución de estas obras.

En el año 2003 se realiza un estudio geológico-geotécnico por la empresa Tiser, partiendo de un Estudio de Riesgos de la Infraestructura, realizado por RENFE en la fase de construcción de AVE. En el estudio geológico-geotécnico se presentan como conclusiones que el núcleo del terraplén se encontraba saturado de agua y el propio cimiento del terraplén presentaba una capa superficial de entre 3-6 m de espesor, arcillosa, muy floja y saturada, y los principales problemas de asentamientos de la plataforma se debían a la saturación que presentaba tanto el terraplén como la capa arcillosa superficial del sustrato que condicionaba que se encontrara en estado plástico. Por debajo de esta capa arcillosa el terreno se encontraba seco, por lo que se suponía que el agua provenía de la superficie y no correspondía con el nivel freático.

En Septiembre de 2004 Ineco realiza un proyecto en el que se contemplaba la realización de costillas drenantes, recrecido del talud izquierdo con pedraplén, y otros complementos drenantes.

Por otra parte desde la dependencia responsable del Mantenimiento de Infraestructura de Alta Velocidad, se encargó en junio de 2005 a la UTE Ineco-Tifsa-Icyfsa responsable del seguimiento particularizado de las explanaciones en la línea de alta velocidad Madrid-Barcelona-Frontera Francesa, un "Proyecto de mejora del drenaje superficial y subterráneo en el terraplén situado entre los PPKK 432/000 y 432/900 de la línea de alta velocidad Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera Francesa. Tramo: Madrid-Lleida" ante los problemas de deformaciones verticales que presentaba la superestructura de la línea de alta velocidad, de forma continua en esa zona, coincidente con la zona problemática de la red convencional.

En dicho proyecto se definían como conclusiones a la problemática del terraplén de la línea de alta velocidad las siguientes:

“...A tenor de todo lo expuesto anteriormente no se puede asegurar que el origen de los movimientos estén originados exclusivamente por un fenómeno de colapso “senso estricto” sin embargo los resultados de los que se disponen hasta la fecha parecen indicar que esta sería la hipótesis más probable.

Una vez finalizados los ensayos edométricos sobre las muestras enviadas al CEDEX (ante la posibilidad de que los movimientos se estuvieran originados por fenómenos relacionados con la succión), se ha llegado a la conclusión de que el efecto de la succión en el terreno de estudio resulta prácticamente inapreciable y por tanto esta hipótesis quedaría finalmente descartada.

Dado que el colapso parece ser la hipótesis más probable y consecuente con los resultados obtenidos, de todas las barajadas hasta el momento como causa de los asientos registrados en el relleno, cabría pensar que una de las posibles soluciones sería frenar o disminuir la entrada de agua al cimiento.

En este sentido la solución propuesta sería ejecutar un tratamiento impermeabilizante y drenante mediante una zanja dren y una pantalla de bentonita - cemento llevadas a cabo longitudinalmente al relleno, aguas arriba de este y en el margen correspondiente al lado RENFE.

La pantalla de bentonita deberá empotrarse como mínimo 0,3 m en el sustrato terciario sano. La zanja drenante se excavará inmediatamente delante de la pantalla y tendrá una profundidad aproximada de unos 3 m.

En la unión entre los terraplenes de GIF y RENFE se ha proyectado la mejora del sistema de drenaje existente sustituyendo la cuneta actual por otra prefabricada bajo la que se colocará una lámina impermeable de PVC entre dos capas de geotextil.

Cualquier otra solución diferente de la que aquí se plantea implicaría un tratamiento de mejora o refuerzo del cimiento de los rellenos (GIF y RENFE). Este tipo de soluciones además de suponer un elevado coste, implicarían una importante afección a la explotación de la línea durante el periodo de duración de las obras...”

La ejecución de estos trabajos por parte de la Gerencia de Mantenimiento de la línea de alta velocidad Madrid-Barcelona-Frontera Francesa, consiguió ralentizar los movimientos en la superestructura de la línea de Alta Velocidad. En el terraplén de la red convencional esos movimientos continuaron produciéndose lo que llevó a plantear la necesidad de una actuación en la superestructura de la vía, así como de consolidación del núcleo del mismo en la zona del paso inferior, cuya constitución tras los ensayos realizados, dejaba claro que estaba compuesto por materiales no aptos para su empleo en la ejecución de terraplenes. Estas deformaciones verticales que presentaba la superestructura de la línea convencional, había llevado a los responsables de la Gerencia de Mantenimiento de Red Convencional de Tarragona a colocar en la zona una limitación de velocidad de 10 km/h para las circulaciones que transitaban por dicho punto.

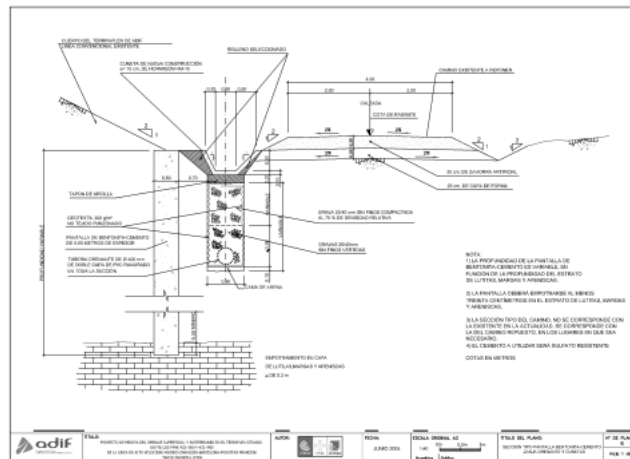


Figura 3: Plano de las actuaciones efectuadas por la Gerencia de Mantenimiento de Alta Velocidad

Es necesario indicar que el continuo aporte de balasto para mantener la rasante de la superestructura de la línea convencional, que provocaba un aumento de la carga muerta en la coronación del terraplén, así como el paso de trenes de mercancías con una limitación de velocidad tan extrema que provocaban continuos golpes en la zona de máxima deformación, no hacían más que empeorar el, ya de por sí maltrecho, estado de la plataforma.

Para subsanar estas deficiencias se encargó a Tífsa la redacción de un proyecto que contemplara las actuaciones necesarias para restablecer las condiciones y parámetros óptimos que permitiera la circulación de los trenes a la velocidad máxima permitida, que en la zona es de 160 km/h.

3. Descripción del terraplén

El terraplén objeto del proyecto está situado en el término municipal de Alcarràs, en la provincia de Lérida, a una distancia de la estación de la capital de 8 km. Se puede acceder a él partiendo de la Avenida Prat de la Riba y continuando por el camino de la Mariola (camino de Montagut) hasta la altura de la base de ave de Montagut, allí se toma un camino a la derecha que lleva a un paso sobre el trazado del ferrocarril, cruzando éste y girando a la derecha discurre un camino paralelo a las líneas del ferrocarril por el lado izquierdo, al lado de la línea de ancho convencional. Se puede ir también por la derecha de las vías sin cruzar el paso superior, por el lado de la línea AVE. En el P.K. 173/875 existe un paso inferior que cruza ambas líneas, en la zona objeto del proyecto, poniendo en comunicación los dos caminos que discurren paralelos a las plataformas por ambos lados.

El terraplén empieza en el P.K. 173/300, zona por la que discurre el camino del lado izquierdo a la misma cota que la vía, por el lado derecho discurre la vía ave a una cota de 2,5 m por debajo . El terraplén sigue ganando altura hasta la zona del paso inferior, en la que la altura es de 9,00 m., zona en la que las vías convencional y ave tienen una cota similar.

El paso inferior tiene una luz de 7,05 metros y una altura de 7,00 metros en el lado de la vía convencional. En el lado de la vía AVE (lado derecho), es sensiblemente más bajo.

Los paseos de la coronación del terraplén eran muy estrechos, llegando en algunos sitios a no existir, lo que, unido a las grandes irregularidades que presentaban hacía que el tránsito por el terraplén fuera difícil.

En la parte central del terraplén, existía una fila de carriles hincados por cada lado en la parte alta del talud, que soportaban traviesas de madera transversales, a modo de muros guardabalasto, lo que daba a entender que existía una pérdida de la geometría de los taludes del terraplén, que se encontraban bastante verticalizados.

En el talud derecho, además, existe una protección con gaviones de recubrimiento.

Por el borde izquierdo del camino, que discurre del lado izquierdo del terraplén, se ejecutó la pantalla impermeabilizante, coronada por una cuneta con objeto de proteger la base del terraplén de las aguas procedentes del riego de los cultivos colindantes.

Existe valla de cerramiento a lo largo de todo el pie del talud izquierdo. En la zona de inicio del terraplén no hay valla y es por ahí por donde se puede acceder a la plataforma ferroviaria.

Por el lado izquierdo en la zona de separación entre ambos terraplenes discurre el sistema de drenaje correspondiente a la línea Ave.

Se trata de vía única electrificada, los postes se sitúan en la parte izquierda de la vía, existiendo en el entorno del paso inferior varios testigos de la instrumentación realizada.



Figura 4: Plano de situación del terraplén estudiado

3.1. Entorno geológico geotécnico

El área objeto de nuestro estudio se encuentra ubicada dentro de la zona central de la Depresión del Ebro, caracterizada por plataformas estructurales, formadas por sedimentos terciarios. La alternancia de materiales resistentes a la erosión como son las calizas, y materiales blandos, margoyesíferos dan lugar a superficies estructurales con morfologías de plataformas y mesas, muchas veces en disposición escalonada dando morfologías en graderío y a cerros cónicos. En ocasiones aparecen morfologías de cuevas debido a la basculación de los estratos.

Los materiales que forman el sustrato de la vía consisten en una serie sedimentaria terciaria, recubierta superficialmente por un aluvial cuaternario.

3.2. Características geotécnicas de los materiales que componen el terraplén

Se trata de un terraplén constituido por un núcleo de material poco compactado, que presenta alternancia de tongadas arcillo-limosas con otras de gravas y arenas, si bien predominan las primeras.

La característica principal es el elevado grado de humedad que presenta y consistencia blanda-muy blanda y compacidad débil.

Se trata de suelos tipo CL (Arcillas de baja plasticidad o de plasticidad mediana, arcillas arenosas, arcillas limosas). Las siguientes imágenes muestran las cajas de los materiales extraídos del sondeo realizado en el terraplén.



4. Problemática existente en el terraplén

A continuación se realiza una descripción de la problemática que afecta al terraplén.

1. Irregularidades (ondulaciones) en el plano superior del terraplén producidas por los distintos asentamientos que han afectado al mismo.
2. Gran potencia de balasto (con diferentes espesores) a lo largo de todo el terraplén, producidos por los frecuentes aportes del mismo para corregir las pérdidas de nivelación de la vía.
3. Terraplén con geometría más pequeña muy estricta, con taludes muy verticalizados y alejados de los valores de inclinación recomendados en cualquier normativa.
4. Grandes irregularidades en el talud izquierdo.
5. Abundante vegetación en el talud izquierdo.
6. Hincas verticales de carriles y traviesas de madera transversales del P.K. 173/475 al P.K. 173/628 por el lado izquierdo y del P.K. 173/457 al P.K. 173/627 por el lado derecho, a modo de muro guardabalasto, como puede observarse en la fotografía siguiente.



7. Terraplén con limitación de velocidad a 10 Km/h desde el P.K. 173/820 al P.K. 173/940.

8. Mal estado generalizado de la superestructura ferroviaria (armamento de vía), sobre todo en el entorno del paso inferior.
9. Traviesas desguarnecidas a ambos lados del paso inferior en una longitud de 35,00 m a cada lado.
10. Material de la parte superior del terraplén a ambos lados del paso inferior poco compactado.

5. Estudio de soluciones

Previamente a la solución adoptada de forma definitiva que se detalla en el capítulo siguiente, se consideró una solución alternativa para consolidar el terreno adyacente al paso inferior. Ésta consistía en un tratamiento de **inyecciones de fracturación hidráulica** consistente en la inyección del terreno mediante su fracturación por lechada, con una presión por encima de su resistencia a tracción y de su presión de confinamiento, por el procedimiento de inyección repetitiva y selectiva, que permite tratar repetidamente, en distintas fases un mismo punto, sin reperforación. Se consideraba una zona a tratar de 40 m a cada lado del paso inferior. Este tipo de tratamiento se había utilizado con éxito en el viaducto de Amposta en el Corredor Mediterráneo, siendo supervisado por el equipo de Vicente Cuéllar del CEDEX, y buscando como en este caso la creación de una cuña de transición entre el terraplén y el viaducto.

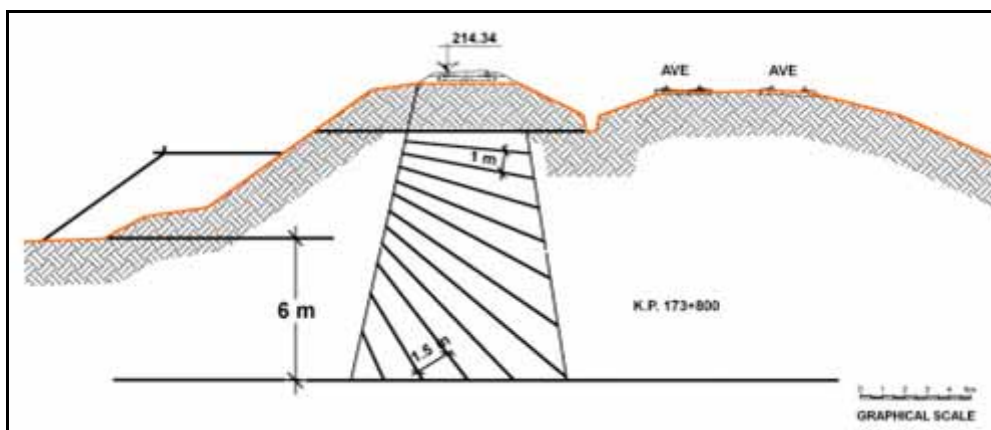


Figura 9: La figura muestra el esquema de inyecciones previsto como solución inicial.

Con el fin de comprobar la necesidad de dicho tratamiento, y asesorados por el equipo del CEDEX se realizó una campaña de instrumentación y control de la misma, consistente en:

- Un registro de movimientos verticales y horizontales en profundidad mediante una tubería de Sistema TRIVEC, instalada por el CEDEX en Abril de 2007. Las lecturas se hicieron en Mayo y Junio de ese año.
- Una auscultación topográfica mediante nivelación de alta precisión, realizada por IIC, con tres campañas de lectura, en Abril, Junio y Julio de 2007. En esta última campaña se registraron las medidas de la rigidez transversal de la vía, tanto al paso de las circulaciones comerciales de la línea como de un locotractor utilizado en labores de Mantenimiento.

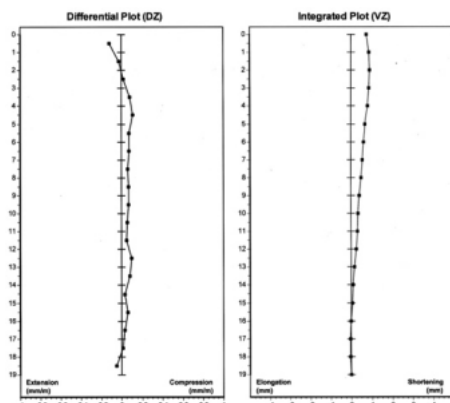


Figura 10: La imagen muestra los desplazamientos verticales obtenidos en una de las medidas de la tubería TRIVEC



Figura 11: Campaña de mediciones topográficas

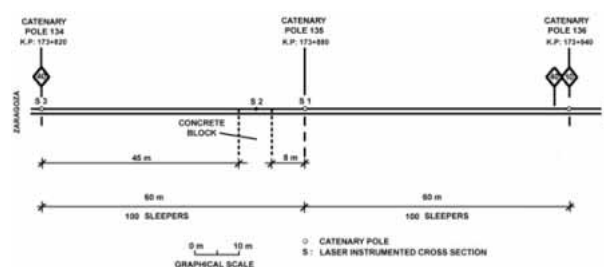


Figura 12: Secciones de comprobación de la rigidez transversal de la vía

Los datos obtenidos verificaron la ausencia de movimientos significativos en el cuerpo del terraplén, de lo cual se dedujo, corroborado también por las campañas tanto de control topográfico, como de medida de la rigidez de la vía, que el principal problema correspondía a la coronación del terraplén donde era necesario disponer de materiales de mejor calidad, así como en la superestructura donde un excesivo espesor de la capa de balasto provocaba que la vía careciera de la rigidez necesaria en la entrada y salida del paso inferior.

Así pues, se consideró como alternativa a las inyecciones la posibilidad de realizar un trabajo de levante y saneo de la coronación del terraplén, reforzando la misma con geosintéticos, a pesar de que esta opción supusiera la interrupción de las circulaciones en la línea durante el tiempo necesario para realizar las obras. Dado que esta solución, más “convencional” desde del punto de vista ferroviario, suponía un coste bastante inferior al empleo de las inyecciones de fracturación hidráulica, pudo extenderse el tratamiento en todo el terraplén, en lugar de restringirlo únicamente al entorno del paso inferior.

La **aplicación de los geosintéticos de alto límite elástico para la creación de cuñas de transición en terraplenes, resultaba una solución bastante innovadora**, dado que no existían antecedentes conocidos de obras ejecutadas en España por Adif, u otras Administraciones Ferroviarias, ni en países de nuestro entorno. Por esta circunstancia, se consideró que los resultados de los trabajos se presentaran en el proyecto europeo INNOTRACK, ya mencionado.

6. Solución proyectada y obras de tratamiento del terraplén

6.1. *Condiciones para la obra*

La obra se ejecutó negociando un Plan Marco con los responsables de Circulación de la zona, así como con los operadores de transporte: Mercancías, Media Distancia y Larga Distancia, todos de Renfe Operadora. Este Plan era necesario dado que al levantar la vía en los prácticamente 700 metros que forman el terraplén, era necesario un intervalo de 7 días con corte total de tráfico, para realizar los trabajos en la coronación del terraplén y en la vía. Antes de la interrupción del tráfico se habían ejecutado los trabajos previos necesarios en el terraplén, a lo largo de un mes y medio.

Habida cuenta de que la obra se realizó en el mes de agosto del año 2008, la afección a Mercancías fue mínima dado que se trata de un mes con menos tráfico, mientras que a Larga Distancia al negociar el intervalo con más de 2 meses de antelación no fue necesario realizar ningún plan de transporte. En el caso de Media Distancia, puesto que la Expo de Zaragoza se encontraba en pleno apogeo, hubo que establecer un plan alternativo de transporte con transbordo de autobuses para los viajeros, entre Lleida y Monzón.

Estas circunstancias muestran lo complicado que resulta ejecutar obras de este tipo cuando se hace necesario interrumpir el tráfico ferroviario.

6.2. *Descripción de los trabajos*

- Se ejecutó en primer lugar un recrecido lateral del terraplén por su lado izquierdo, creando un espaldón que proporcionaba estabilidad a los taludes del mismo, a la vez que dotaba a la plataforma de un paseo de 2,5 metros de anchura que sería empleado como lugar de acopio de materiales durante los trabajos de levante de la vía. El recrecido se realizó del P.K. 173/350 al P.K. 173/950, ejecutando escolleras de contención al pie del mismo en las aletas del paso inferior. Previamente a este recrecido se realizó un desbroce y retirada de la tierra vegetal, del talud, así como un escalonado previo de éste, con el fin de darle trabazón con las tongadas de material nuevo que se colocaron. El material usado para el recrecido será del tipo QS3.



Figura 13: Escolleras dispuestas en las aletas del paso inferior



Figura 14: Trabajos previos de desbroce



Figura 15: Recreido de terraplén.

- Tras el recrecido del talud izquierdo, y una vez alcanzada la cota del mismo necesaria, para poder efectuar el levante de la superestructura y el correspondiente rebaje del terraplén, se procedió a la sustitución de la coronación del terraplén en una longitud de 650 m., del P.K. 173/300 al P.K. 173/900. Esta actuación consistió en levantar la superestructura (carril, traviesas y balasto), rebajar el terraplén hasta una profundidad de 2 metros por debajo de la cota de la cara inferior de la traviesa, y volver a reponer el terraplén con material QS3 hasta la cota de 35 cm bajo traviesa. Estas labores se ejecutaron con traíllas, cuya

capacidad de movimiento de tierras es muy elevada, y en las condiciones de ejecución de los trabajos, con un plazo de obra tan estricto, resultó ser una elección muy apropiada. En el recrecio de la coronación, se dispuso horizontalmente una geomalla fabricada a partir de filamentos de polivinil alcohol de alto módulo elástico y baja fluencia en toda la superficie del terraplén, a una altura de 30 cm por encima de la coronación modificada del terraplén existente, y cuya función es la de mejorar la capacidad portante de la plataforma.



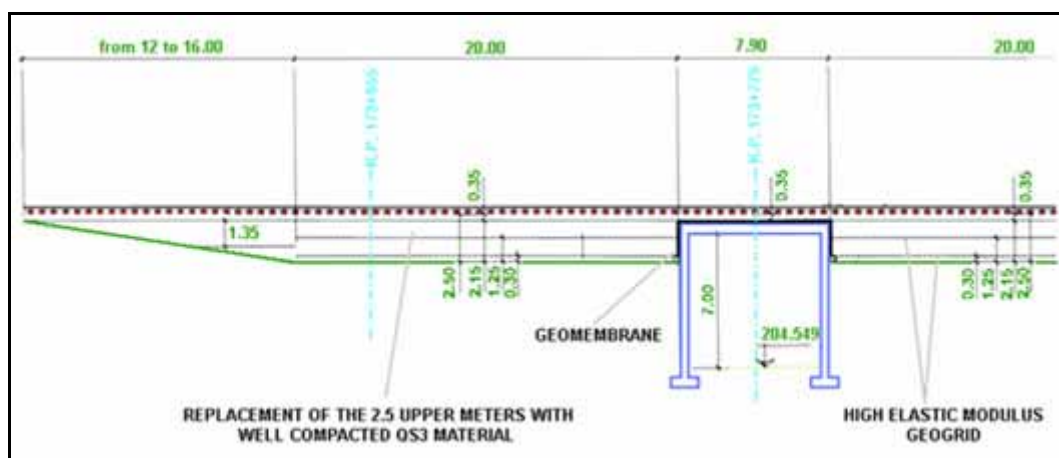
Figura 16: Trabajos de rebaje de la coronación de terraplén



Figura 17: Trabajos de colocación de geomalla y extendido de material

- En el entorno del paso inferior (del P.K. 173/851,50 al P.K. 173/871,50 y del P.K. 173/879,50 al P.K. 173/899,50) el tratamiento fue similar, con la diferencia de que la sustitución de terraplén se realizó hasta 2,50 m desde cota inferior de traviesa, y se colocaron, en lugar de una, dos capas de geomalla idéntica a la anterior, una a 0,30 m de la cota inferior de retirada del terraplén y la segunda a 0,90 m de la anterior. Asimismo, la parte del cajón hincado que quedó al descubierto al levantar la vía convencional, el balasto y el terraplén se trató con pintura impermeabilizante, en su paramento horizontal; mientras que en los paramentos verticales se colocó un geocompuesto drenante tipo Delta Drain o similar para recoger las aguas que lleguen hasta el paso inferior, evacuándolas mediante un tubo drenante a cada lado de 250 mm de diámetro.

La Figura 18 representa esquemáticamente el tratamiento de la zona del paso inferior:



Las siguientes imágenes muestran el tratamiento del paso inferior:



Figura 19: Rebaje de la plataforma en el entorno del paso inferior



Figura 20: Detalle del tratamiento del paso inferior

- Finalizados los trabajos de tratamiento del terraplén, se procedió al montaje de la superestructura. Aprovechando la circunstancia del levante de la vía, y dado que las traviesas existentes en el terraplén eran de tipo RS bibloque, se procedió a su sustitución por traviesas de hormigón monobloque, de mejores características. Una vez realizado el montaje se procedió a la nivelación, y perfilado de la vía, se ejecutaron las soldaduras correspondientes, y se dio por finalizado el corte de tráfico ferroviario el día 13 de agosto. La vía se mantuvo con limitación de velocidad a 60 km/h durante el tiempo necesario para su asentamiento, se realizó una segunda nivelación dejándose la velocidad máxima del trayecto, tras 2 semanas con la limitación, a 160 km/h.

Las siguientes fotografías muestran varias fases del montaje de la vía:



7. Conclusiones:

- La campaña de instrumentación y de mediciones topográficas realizada de forma previa a la elección de la solución definitiva, ha resultado primordial a la hora de elegir de forma óptima las actuaciones a llevar a cabo en el terraplén.
- Una vez finalizados los trabajos, y tras realizar una nueva medida de la rigidez de la vía con el fin de comprobar la bondad del procedimiento empleado, se puede concluir que se trata de un método que pudiera emplearse en problemas similares.
- La rigidez de la vía tras las mediciones realizadas ha aumentado del orden de 2,5 a 4 veces en las zonas adyacentes del paso inferior.
- En la zona donde sólo se había levantado la coronación del terraplén (sección S3) y se había colocado una geomalla de refuerzo, la rigidez es de 2 a 3 veces superior que la inicialmente medida, lo que demuestra que el tratamiento también se muestra efectivo en la zona donde no se trataba la cuña de transición. Las siguientes tablas ilustran esta circunstancia:

Tabla 1. Valores de la rigidez antes del tratamiento (04/05-07-2007)

Sección	LOCOTRACTOR (10 km/h)	TALGO (10 km/h)
S1: 8m del PI en dirección Lleida	25 kN/mm	35 kN/mm
S2: en mitad del PI	-	20 kN/mm
S3: 45 m del PI en dirección Zaragoza	30 kN/mm	40 kN/mm

Tabla 2. Valores de la rigidez después del tratamiento (16-10-2008)

Sección	LOCOTRACTOR (4 km/h)	TALGO (150 km/h)
S1N1: a 2m del medio del PI	105 kN/mm	120 kN/mm
S1N2: en el borde del PI, lado Zaragoza	50 kN/mm	81 kN/mm
S1N3: al final de la zona de transición en el lado Zaragoza	35 kN/mm	58 kN/mm

Tabla 3. Valores de la rigidez después del tratamiento (17-10-2008)

Sección	LOCOTRACTOR (40 km/h)	TALGO (160 km/h)
S0: en mitad del PI	92 kN/mm	86 kN/mm
S2N: 10m del PI en dirección Zaragoza	105 kN/mm	95 kN/mm
S3N: 40 m del PI en dirección Zaragoza	90 kN/mm	85 kN/mm

- Los valores de la tabla 2 muestran una pérdida de rigidez en el borde del paso inferior al pasar del terraplén a éste, lo que muestra que durante la ejecución de los trabajos deben extremarse los cuidados en esta zona.
- Tras haber transcurrido más de 2 años después de la ejecución de las obras, no se han producido problemas destacables que hayan necesitado de la realización de tareas de mantenimiento, lo que muestra que los movimientos existentes se han ralentizado hasta casi desaparecer.

José Alberto Rivas Lozano. Jefe de Explanaciones Adif

Miguel Rodríguez Plaza. Jefe de Plataforma Adif

M^a Ángeles de la Mata Piñuela. Técnico de Explanaciones Adif

Agradecimientos a Vicente Cuéllar. CEDEX