

Tratamiento de cuña de transición con inyecciones en Amposta

Autores:

Javier Moreno Robles
Director de Programa
Laboratorio de Geotecnia CEDEX

Antonio Santos Moreno
Consejero Técnico
Laboratorio de Geotecnia CEDEX

1. INTRODUCCIÓN

La presente comunicación se refiere al tratamiento, definido por el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, de una cuña de transición (terraplén de acceso al estribo sur del viaducto ferroviario de Amposta) mediante inyecciones armadas ejecutadas simultáneamente con el paso del tráfico ferroviario, que incluye el tránsito del Euromed a 200 km/h. Este tratamiento se incluyó en el Proyecto europeo SUPERTRACK, como aportación española a la tecnología de las líneas ferroviarias de alta velocidad.

2. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

2.1. LOCALIZACIÓN DE LA OBRA

La obra se sitúa, como se ha anticipado, en el terraplén sur de acceso al viaducto sobre el río Ebro de la línea ferroviaria Valencia-Barcelona del corredor Mediterráneo (tramo Oropesa-Vandellós). El término municipal donde se sitúa dicho estribo es el de Amposta (Tarragona), condiciendo con el P.K. 180 del desarrollo del corredor ferroviario del Mediterráneo (ver Figura 1).

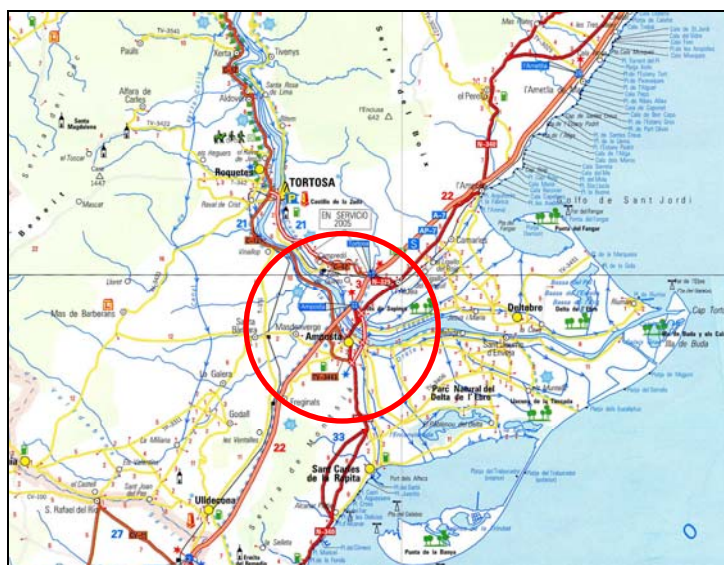


Figura 1. Mapa de situación de la zona de actuación

2.2 DESCRIPCIÓN DEL TERRAPLÉN

El terraplén que materializa el acceso a la estructura es un relleno de material compactado de una altura aproximada de 20 m con unos taludes laterales de pendiente 2 H:1V (ver Figura 2).

Para poder realizar los trabajos de inyección se adosó al terraplén una banquetta mediante la cual se creó una plataforma de trabajo que ha permitido la realización de todo el tratamiento de inyección sin afectar al tráfico ferroviario en ningún momento (ver Figura 3).

2.3. IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL DEL TERRAPLÉN

Con objeto de conocer la naturaleza de los materiales a inyectar en el terraplén de acceso al viaducto, independientemente de la zona de grava-cemento previsto sobre la losa de transición al estribo estructural, como recoge la Figura 4, se llevó a efecto un sondeo mecánico cuya columna litológica muestra que la naturaleza de los materiales es variable, reconociéndose proporciones predominantes de arenas, limos y arcillas a diversos niveles, siempre acompañados de gravas y bolos que localmente pueden predominar sobre la matriz más fina.



Figura 2. Vista general del terraplén de acceso donde se ha realizado el tratamiento



Figura 3. Vista de la banqueta adosada al terraplén para realizar los trabajos de inyección

Los ensayos de identificación indican que la plasticidad de estos materiales es baja con límite líquido que varía entre 18 y 23 % e índice de plasticidad comprendido entre 5 y 9 %. En las muestras ensayadas en las que se ha analizado su distribución granulométrica predomina la fracción gruesa, estando el porcentaje de finos entre 8 y 40 %.

3. METODOLOGÍA DE LA MEJORA DEL TERRENO

Los objetivos básicos a cumplir con el tratamiento han sido:

- Incrementar y regularizar el módulo de deformación del terraplén en las zonas en las que éste se mostraba con menor grado de compacidad en las auscultaciones geofísicas previas, por entender que la causa de las deformaciones de la vía que exigían un balasteo casi continuo era la presencia de estos niveles flojos del terraplén.
- Hacer compatible esta mejora del terreno con el servicio normal de la línea de ferrocarril.

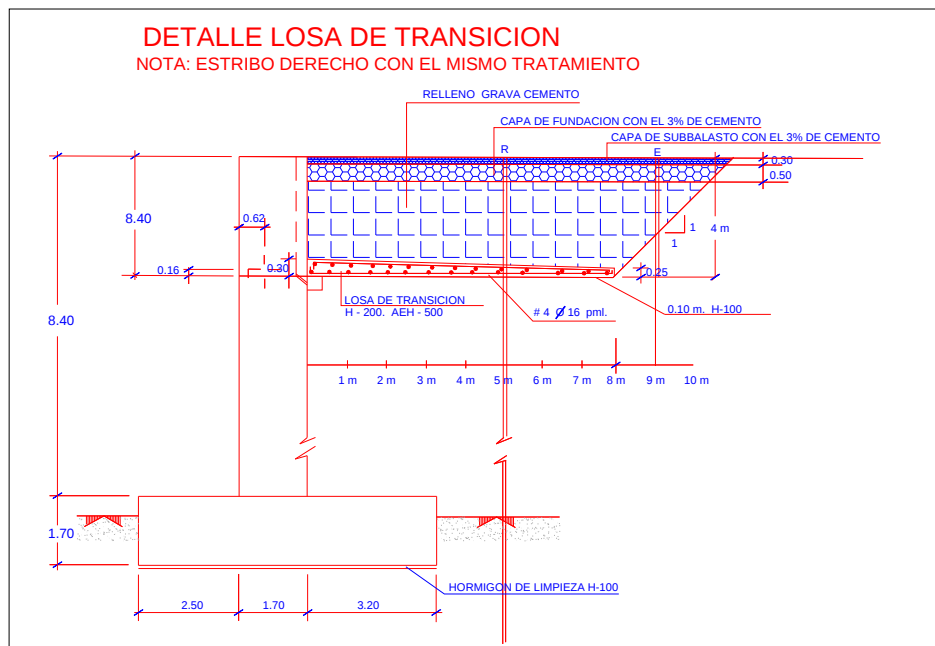


Figura 4. Croquis del estribo del viaducto a inyectar

A estos efectos resultaba esencial poder efectuar el tratamiento de mejora desde el exterior del terraplén, utilizándose una banqueta auxiliar adosada al mismo desde la cual se pudiera realizar adecuadamente el trabajo.

Se consideró que la técnica de inyección aplicada a través de tubos de manguitos era la que podía proporcionar:

- Tratamiento de un volumen prefijado de terraplén por medio de abanicos de tubos perforados y equipados desde la banqueta auxiliar, orientados de forma que se cubriera totalmente dicho volumen, habida cuenta de los radios de acción previsibles de la inyección desde cada manguito.
- Inyección por fases sucesivas en cualquiera de los manguitos, hasta alcanzar la presión final adecuada a la mejora a conseguir.
- Adecuación en cada fase de inyección de la mezcla a inyectar (viscosidad, tiempo de fraguado, etc.) y del caudal y volumen a introducir, con un grado de control de estos últimos suficiente para poder asegurar que la repercusión en los carriles situados sobre la zona tratada fuera de desplazamiento milimétrico, al objeto de no superar los límites de deformación tolerables para la circulación confortable (criterio sensiblemente más exigente que el de seguridad) sobre la vía.
- Disponibilidad de un criterio internacionalmente admitido, basado en las presiones de inyección que se correlacionara con la mejora mecánico-resistente pretendida, lo que permite utilizar, en la fase de ejecución de la mejora, unos criterios de finalización del tratamiento que, aunque posteriormente puedan contrastarse por diferentes técnicas, ofrecen una posibilidad clara de organización de la marcha de la obra para cumplir los objetivos previstos.

En las Figuras adjuntas se define en planta y alzado la distribución adoptada para los tubos de manguitos en las diferentes secciones de tratamiento. Como puede verse se ha tratado en esencia de mejorar el terraplén hasta 7 m de profundidad en una distancia de 20 m adyacente al estribo estructural del viaducto, prolongándose el tratamiento a lo largo de otros 10 m, con profundidad decreciente en el terreno mejorado, a efectos de crear una zona de transición entre terraplén sin tratar y terraplén tratado.

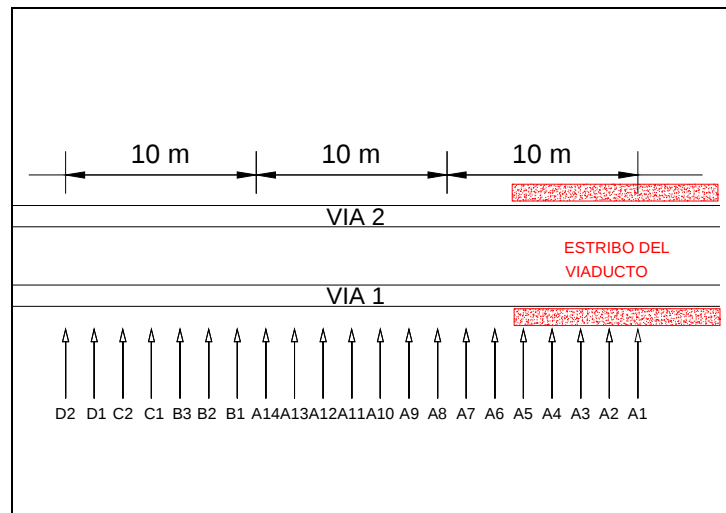


Figura 5. Planta de los tratamientos

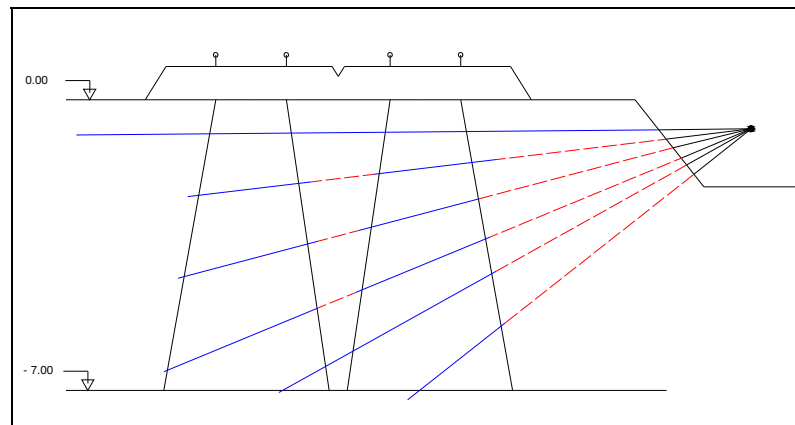


Figura 6. Croquis de los abanicos tipo A y B.

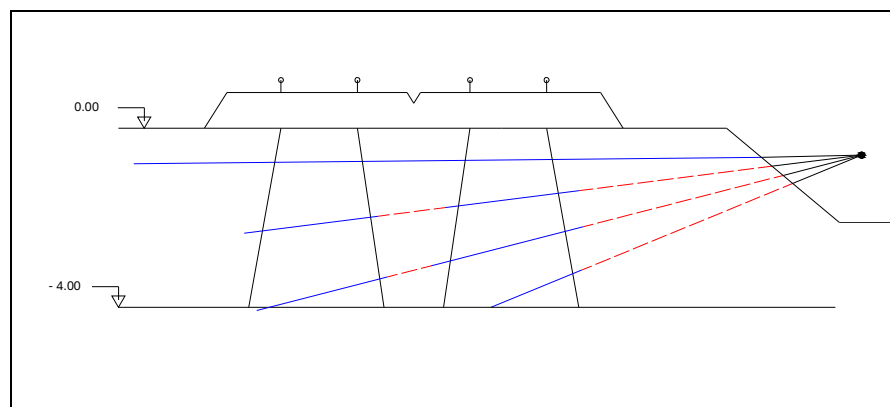


Figura 7. Croquis de los abanicos tipo C

Como se ha señalado anteriormente, en publicaciones de difusión nacional e internacional se ha recogido por V. Cuéllar y otros, la fórmula de correlación entre las presiones finales de inyección con fracturación hidráulica del terreno y los parámetros de resistencia de éste, una vez tratado, en base a la teoría de plastificación de Coulomb.

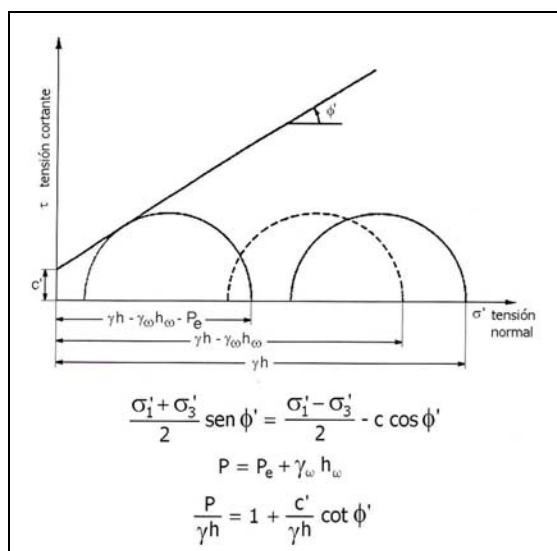


Figura 8. Explicación teórica para la obtención de los parámetros resistentes del material tratado

Aplicando este criterio se ha establecido con anterioridad a la ejecución de las inyecciones las presiones a alcanzar en los diferentes niveles de tratamiento del terraplén, que se sintetizan en la Figura 9.

En las Figuras 10 y 11 se pueden apreciar diferentes fases de la ejecución de los trabajos de inyección, desde la perforación de los taladros, para su posterior equipamiento con tubo de manguitos, hasta las inyecciones de los manguitos con el control de caudal y presión en boca de taladro.

La condición de deformación de la vía para no superar el límite de rodadura confortable exige un máximo de movimiento vertical de 3 mm entre secciones separadas 5 m en horizontal. Para verificar el cumplimiento de esta condición se requieren dos tipos de control de nivelación.

El primero debe ser compatible con la verificación de la marcha del proceso de tratamiento, en tanto que el segundo, de alta precisión, sólo es aplicable al final y al principio de los trabajos de tratamiento de cada jornada laboral.

Para la verificación durante el desarrollo de los trabajos se situaron regletas de división milimétrica sobre traviesas seleccionadas dentro de la zona a tratar. Estas regletas se fijaban con resina, y su control se desarrollaba por medio de un nivel óptico de obra como se recoge en las Figura 12 y 13.

Diariamente, antes de iniciarse y a la finalización de los trabajos, por medio de un nivel de precisión Ni2 dotado de micrómetro y mira de ínvar (ver Figura 14), se contrastaba el perfil de los dos carriles inferiores de cada vía (existía peralte por esta la vía en curva) en un tramo que englobaba la zona de tratamiento y se prolongaba 15 m a cada lado de la misma.

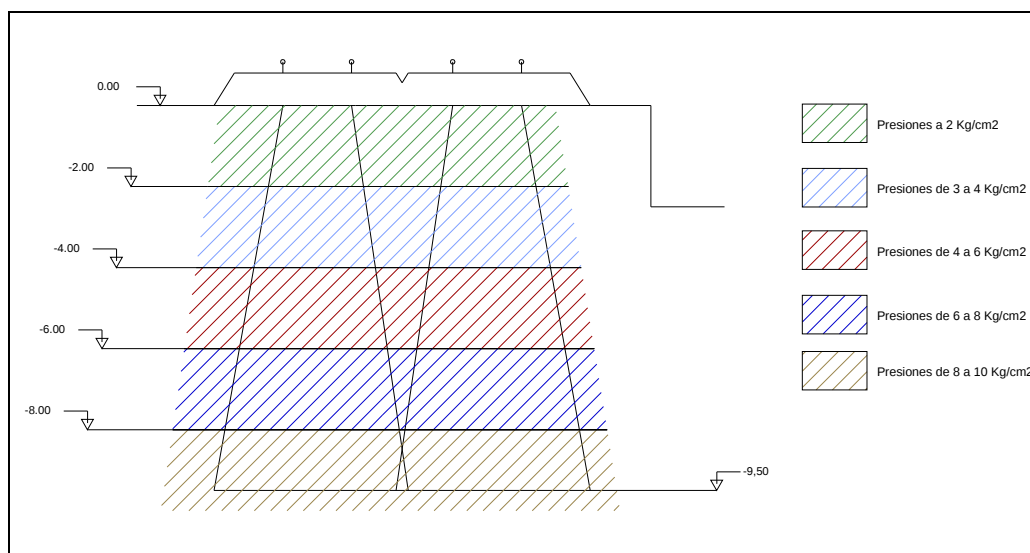


Figura 9. Croquis definitorio de las presiones de cierre de inyección



Figura 10. Vista de la perforación de uno de los abanicos coincidentes con la aleta del estribo



Figura 11. Vista de la perforación de uno de los taladros



Figura 12. Detalle de una regleta de nivelación

En el gráfico adjunto (Figura 15) puede verse la variación del perfil del carril durante las últimas operaciones de inyección, que son las más comprometidas por alcanzarse en ellas las presiones finales de tratamiento, aplicadas a terreno ya reforzado.

Cabe señalar que durante el tratamiento se apreció la existencia de oquedades importantes bajo la losa de transición. La presencia de estas oquedades, muy frecuentes en elementos de este tipo, favorece la necesidad de balasteo frecuente en la zona para corregir las deformaciones de los carriles que sobre ella inciden.



Figura 13. Punto fijo de la nivelación mediante regletas situado en un poste de la catenaria que se encuentra en el tablero del viaducto



Figura 14. Vista de un instante de la nivelación de alta precisión realizada en la Vía 1.

Como reflejan las Figuras 16 a 18, las referidas oquedades conducen a un incremento muy marcado del volumen de mezcla de sellado del tubo al terreno por debajo de la losa de transición. Aceptando un volumen medio de admisión de 20 litros/m para la colocación de mezcla en zona no afectada por oquedades (sobre la losa de transición) se ha deducido una admisión bajo la losa variable que se refiere en las anteriores figuras y que representaría el volumen teórico de dichas oquedades.

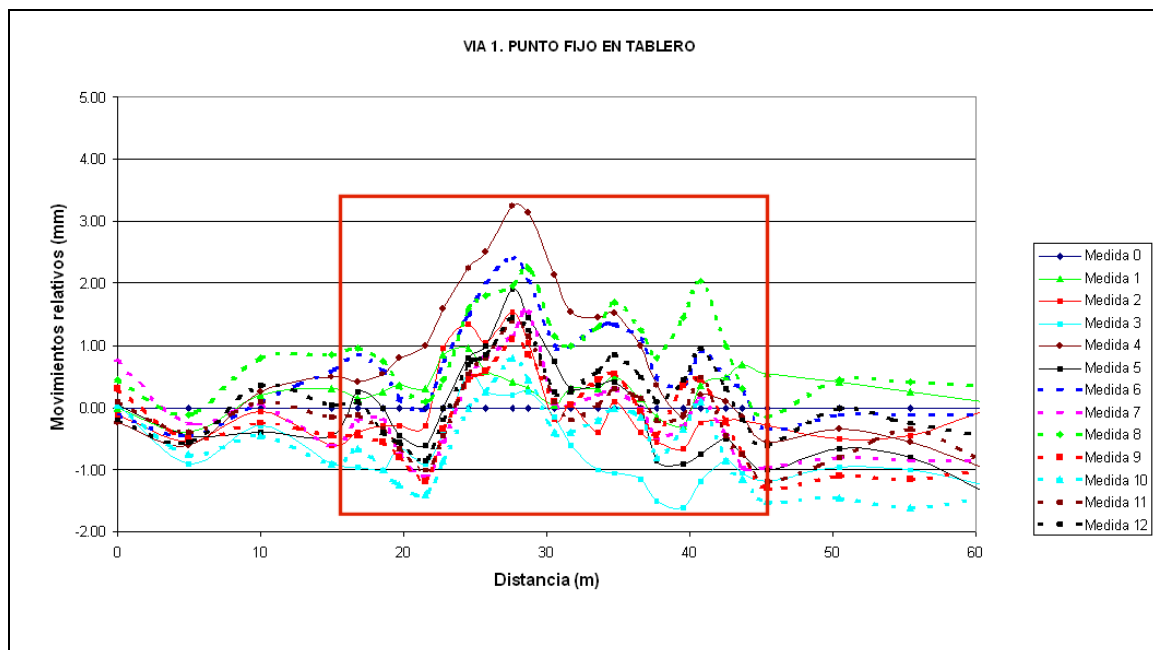


Figura 15. Gráfico de medidas de nivelación de alta precisión. Los valores dentro del recuadro rojo corresponden a la zona de tratamiento

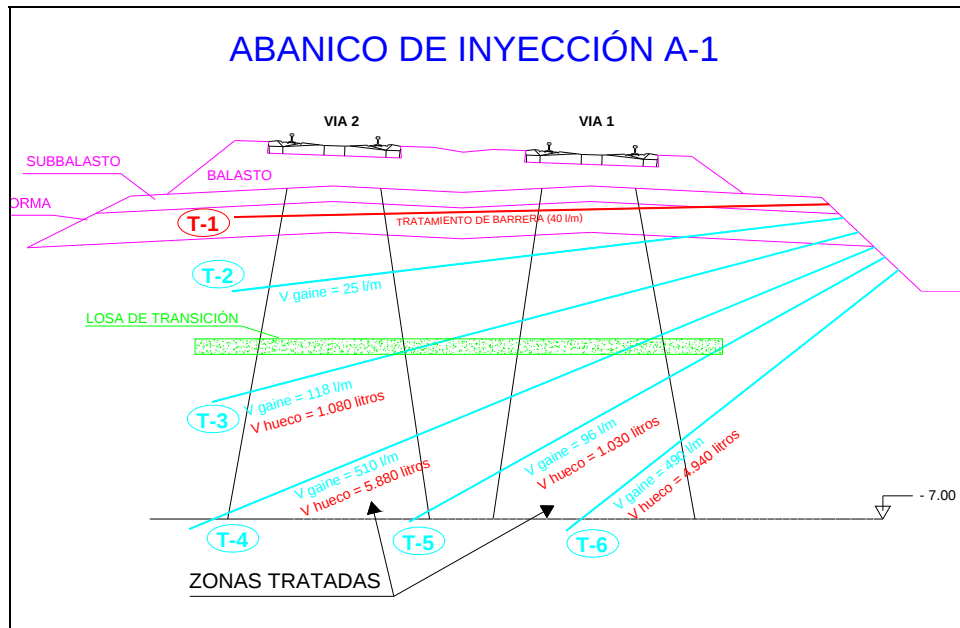


Figura 16. Resumen de volúmenes inyectados en el abanico A-1

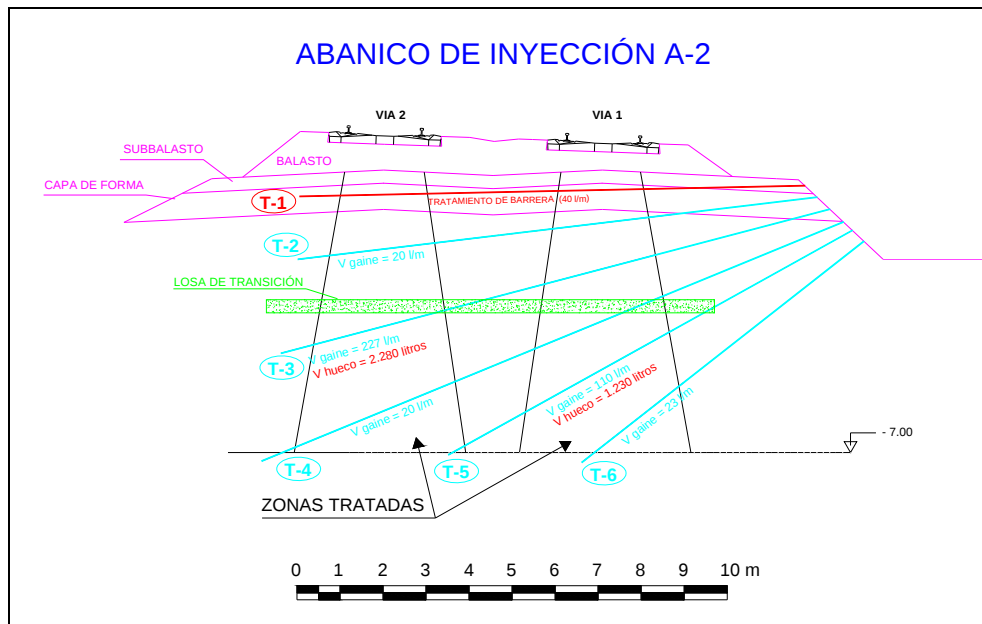


Figura 17. Resumen de volúmenes inyectados en el abanico A-2.

4. COMPROBACIÓN DE RESULTADOS

El contraste de la mejora conseguida en el terraplén por el tratamiento se ha verificado por dos métodos:

- Método directo de comparación de características físicas del terreno antes y después del tratamiento.
- Método indirecto de comparación de la respuesta de la vía frente a las cargas dinámicas del tráfico ferroviario antes y después del tratamiento del terraplén subyacente.

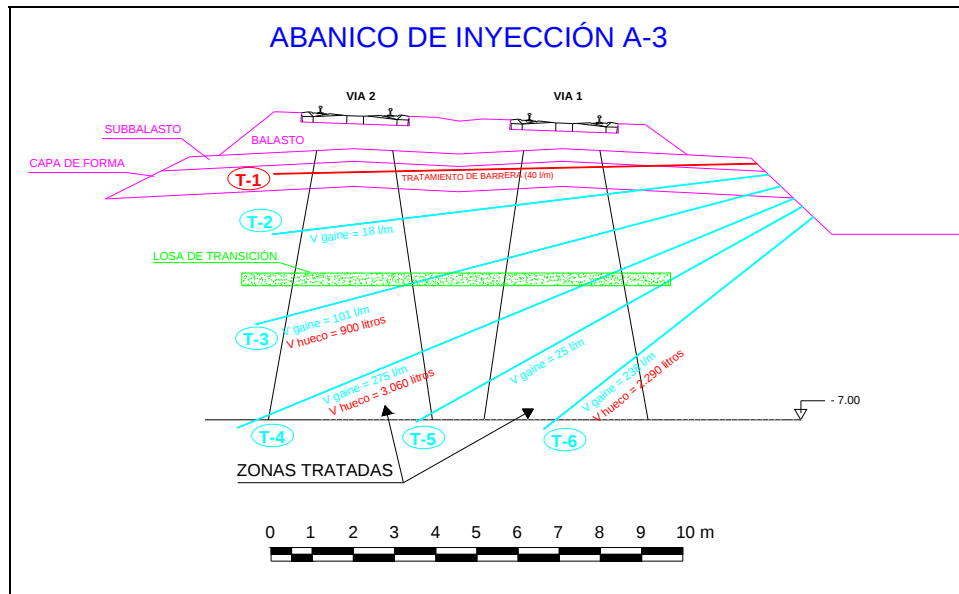


Figura 18. Resumen de volúmenes inyectados en el abanico A-3

Anteriormente al tratamiento, por medio de los métodos de geofísica sísmica (PS-Logging y Cross-Hole) se evaluaron las velocidades de transmisión de ondas de cortante (S), no afectadas por el agua contenida en los poros del terreno, para profundidades variables en forma cuasi-continua en la masa del terraplén.

La Figura 19 refleja la ejecución y resultados del reconocimiento mediante técnica PS-Logging efectuada en dos taladros verticales adyacentes al balasto de la vía. Puede verse la menor rigidez de la parte superior del terraplén hasta profundidad de 5 m respecto a la cota de boca de taladro.



Figura 19. Ejecución de PS-Logging en uno de los sondeos verticales

De los resultados obtenidos se confirma la menor compacidad del relleno en la parte superior, hasta una profundidad de 4 m referida a boca del par correspondiente de taladros, que aproximadamente concuerda con la profundidad anterior de 5 m referida a boca de taladros auscultados por la técnica PS-Logging.

Como consecuencia de estos datos iniciales se decidió extender el tratamiento únicamente hasta una profundidad de 7 m desde la cota de carril de modo que se mejorase toda la zona superior de menor rigidez del terraplén.

Una vez efectuado el tratamiento se instaló un nuevo par de taladros para la auscultación del terreno tratado mediante la técnica Cross-Hole. En estos dos nuevos taladros la inclinación con relación a la horizontal fue de 25° con el fin de cubrir la zona de tratamiento, extendida sólo a la parte superior del terraplén como se ha indicado previamente.

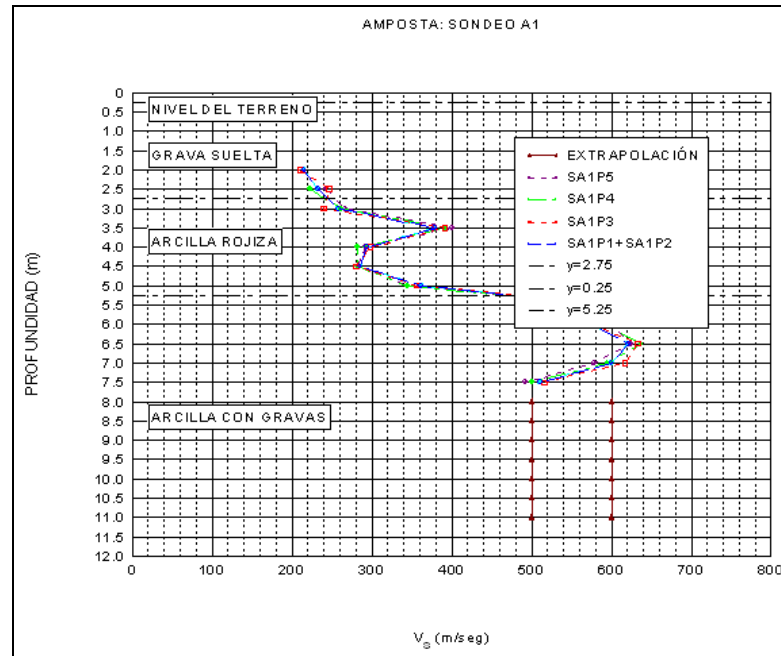


Figura 20. Resultados del ensayo PS-Logging

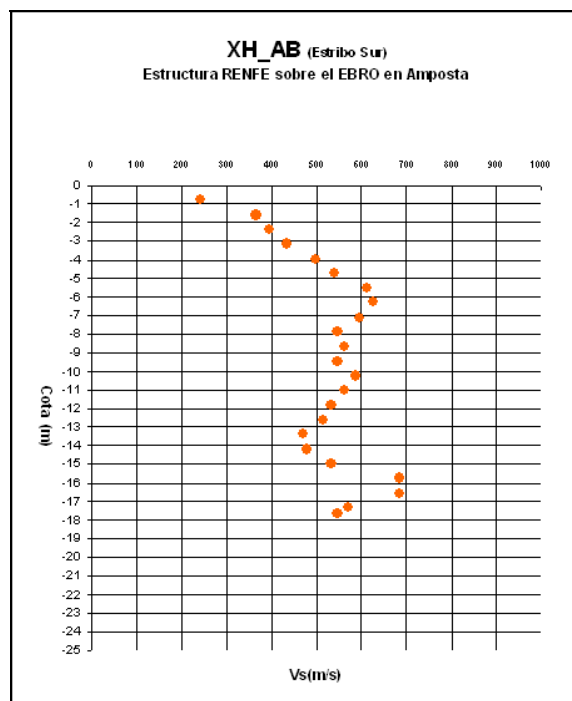


Figura 21. Resultado del ensayo de Cross-Hole realizado en el terraplén previamente a la ejecución del tratamiento

La Figura 22 permite comparar los resultados de onda Vs determinada antes y después del tratamiento observándose una clara mejora de dicha velocidad. Habida cuenta de que el

módulo de rigidez transversal del terreno varía con el cuadrado de la velocidad de la onda de cortante y que los módulos dinámicos y estáticos suelen estar en una proporción constante, se deduce que el tratamiento ha permitido incrementar el módulo de deformación del terreno en proporción de 2,8 ($V_{s \text{ antes}} = 300 \text{ m/s}$ y $V_{s \text{ después}} = 500 \text{ m/s}$).

Por lo que se refiere al control indirecto, si se considera el valor absoluto del desplazamiento del carril la relación de asientos antes y después fue de 1,26 para el caso del Euromed y 1,27 para el caso del tren TALGO. Debe tomarse en consideración, no obstante, que el tratamiento se ha extendido únicamente a la plataforma y no a la estructura de vía (balasto, subbalasto y capa de forma).

De las medidas efectuadas en tramos reales de vía con plataforma de buena calidad y de los datos publicados, cabe deducir que en el asiento del carril, la estructura de vía interviene en un 80% siendo el 20% debido a la deformación de la plataforma. Por este motivo, considerando que el asiento debido a la estructura de vía podría valorarse en ambos casos como el 80% del asiento total después del tratamiento (con la plataforma mejorada), y suponiendo que este asiento de la estructura de vía es el mismo antes y después del tratamiento, pueden deducirse los asientos de plataforma antes y después del tratamiento para cada tipo de tren.

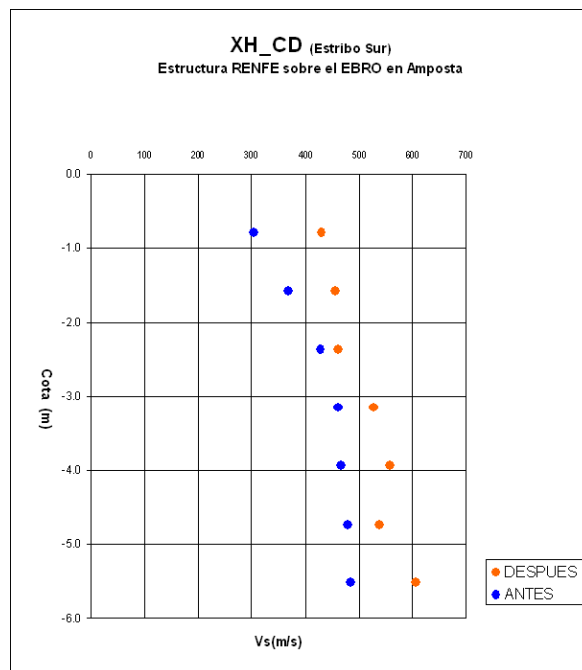


Figura 22. Comparativa de los resultados obtenidos por la técnica “cross-hole” después del tratamiento en la parte superior de la cuña de transición.

Resulta de este modo:

- Tren tipo Euromed:
 - o Asiento debido a la deformación de la estructura de vía = 0,98 mm
 - o Asiento debido a la deformación de la plataforma antes del tratamiento = $1,543 - 0,98 = 0,563 \text{ mm}$
 - o Asiento debido a la deformación de la plataforma después del tratamiento = $1,225 - 0,98 = 0,245 \text{ mm}$
 - o En consecuencia la relación de asientos, antes y después del tratamiento, en la plataforma, sería de 2,3.
- Tren tipo TALGO:
 - o Asiento debido a la deformación de la estructura de vía = 1,094 mm

- o Asiento debido a la deformación de la plataforma antes del tratamiento = $1,744 - 1,094 = 0,65 \text{ mm}$
- o Asiento debido a la deformación de la plataforma después del tratamiento = $1,368 - 1,094 = 0,274 \text{ mm}$
- o En consecuencia la relación de asientos, antes y después del tratamiento, en la plataforma, sería de 2,4.

En consecuencia, por métodos directos e indirectos se establece que la mejora de rigidez del relleno tratado ha alcanzado el orden de 2,5 veces la rigidez inicial.

5. CONCLUSIONES

La prueba efectuada ha puesto de manifiesto la viabilidad de efectuar mejoras en rellenos de tierras correspondientes a cuñas de transición, en líneas ferroviarias, incluso de alta velocidad, sin afectar al tráfico viario.

La técnica a emplear para conseguirlo es la inyección de mezclas estables de cemento por fracturación hidráulica del relleno, a través de tubos de manguitos, que se instalan y tratan desde plataformas de trabajo adyacentes a las cuñas de transición a mejorar.

En la prueba efectuada se ha comprobado la posibilidad de mejorar el módulo de deformación del relleno, incrementándolo en un factor del orden de 2,5, sin rebasar el límite tolerable de deformación de la vía para circulación confortable (máximo movimiento vertical en carril de 3 mm entre secciones separadas 5 m en horizontal).