

IMPERMEABILIZACIÓN DE JUNTAS DE HORMIGONADO EN EL TÚNEL DE LA ROVIRA CON INYECCIONES DE CONTACTO A BASE DE LECHADAS DE BENTOCEM®

I. JARAUTA (INGENIERO INDUSTRIAL. Director de Suministros y Servicios Tecnológicos, SCP, SUMSERT).

P. GARCÍA (INGENIERO GEÓLOGO. Director de Proyectos. SENER, Ingeniería y Sistemas, S.A. Consultor de la propiedad durante las obras).

Introducción

En este artículo se describen los trabajos realizados entre los meses de septiembre y diciembre de 2007 para impermeabilizar algunas de las juntas de hormigonado del revestimiento de los dos túneles paralelos que constituyen el denominado Túnel de la Rovira (Barcelona). Las juntas tratadas con inyecciones fueron aquellas que en el momento de realizar los trabajos presentaban ingreso de agua en el interior del túnel desde el trasdós (especialmente en el túnel descendente o de entrada a Barcelona), si bien, en todas las juntas de ambos túneles se sustituyeron las bandas de sellado existentes por otras bandas nuevas de tipo flexible e impermeable. Todos los trabajos se realizaron en jornadas nocturnas de cinco horas de duración y con cortes de tráfico.

El túnel, situado en el centro de la ciudad de Barcelona, conecta la Ronda del Mig con los barrios de Horta y El Carmelo, y sirve de acceso a la Ronda de Dalt. Los túneles presentan una longitud ligeramente superior a los 1.300m, un ancho variable entre 10 y 14m, un gálibo de entre 4,5 y 6,5m y salva un desnivel de 15m. La circulación es unidireccional en dos tubos de dos carriles de 3,50m de ancho, con arcén y una acera. El tráfico medio se sitúa en unos 27.000 vehículos/día por sentido, de los cuales un 3% corresponde a camiones.

Aunque se trata de un túnel urbano, uno de los más largos del Estado, sus características se asemejan más a las de un túnel carretero. La construcción de los túneles bajo el montículo conocido como Turó de la Rovira se inició a finales de 1972 y se concluyó en primera fase (excavación, sostenimiento y revestimiento) a finales de 1976. El sistema constructivo que se empleó fue el Nuevo Método Austriaco. Una vez colocado el sostenimiento, se realizó un revestimiento a base de hormigón en masa, con espesores de hormigón variables en función de la sección, empleando un carro de hormigonado.

El zócalo o sustrato rocoso del sector del túnel de la Rovira es muy complejo, tanto por la clase de rocas que lo forman como por la historia geológica de los propios materiales y su deformación. El Turó de la Rovira está formado por rocas paleozoicas, con presencia de casi todos los periodos de esta época y con litologías que integran desde pizarras a areniscas, calizas, dolomías y sus equivalentes metamórficos. En función de su origen se puede decir que está constituido por dos grupos de materiales: una serie metasedimentaria y otra serie ígnea intrusiva. Estos materiales se encuentran intensamente deformados, tanto por estructuras frágiles, como por estructuras dúctiles.

En 2006 el túnel fue clasificado por el estudio EuroTap, realizado sobre 52 túneles (8 de ellos españoles) de 14 países europeos como uno de los ocho túneles más deficientes de Europa, y el segundo peor de España, únicamente superado en el país por el túnel de Lorca (Murcia). El estudio caracterizaba el estado del túnel como muy pobre. A partir de ello, la sociedad municipal BIMSA (Barcelona d'Infraestructures Municipals, S.A.) se encarga de licitar y promover los correspondientes proyectos y obras asociadas de adecuación y mejora de los sistemas de protección, seguridad y gestión técnica centralizada que incluían actuaciones sobre la señalización, ventilación, iluminación, sistemas de extinción, etc.

Aprovechando la ejecución de dichas actuaciones de mejora, se abordaron los trabajos que se describen de impermeabilización de un número determinado de juntas de hormigonado que presentaban problemas de infiltraciones de diferente escala y magnitud.

Muchas de las juntas de hormigonado del revestimiento ya habían sido tratadas, total o parcialmente con anterioridad. La información disponible sobre estas antiguas actuaciones, indicaba que los trabajos de sellado e impermeabilización en dichas fases fueron a base de repicado de la

junta, revocado con mortero, colocación de malla plástica y recubrimiento de la malla nuevamente con mortero. La vida útil de estos tratamientos, en el momento de abordar los trabajos que se describen en este artículo, se mostraba agotada, desenganchándose el conjunto formado por bandas plásticas y mortero, con resultado incluso de caída en ocasiones de fragmentos a la calzada [Figura 1]. Las reparaciones habían perdido su efectividad inicial, principalmente como consecuencia del paso del tiempo y el ambiente de gases al que se encuentran sometidas.



[Figura 1] Vista de junta en la que se ha desprendido un fragmento de banda elástica, antes del sellado de las juntas.

Características del tratamiento de las juntas

El objetivo, como se ha indicado, era reparar las juntas de hormigonado del revestimiento de ambos túneles urbanos en servicio, así como la inyección de contacto del trasdós en las secciones de las juntas perimetrales, las cuales presentan filtraciones. Cada junta presentaba una longitud de 22,5m. El número total de juntas entre ambos túneles era de 342 juntas, aunque, como se ha mencionado anteriormente, sólo fueron objeto de tratamiento aquellas que presentaban filtraciones a indicación de la Dirección de Obra.

Para conseguir tales objetivos, dadas las características particulares de los túneles y en base a soluciones ya ejecutadas para problemas similares, se optó, por su adaptabilidad y características, por un tratamiento de impermeabilización en el que se combinaron inyecciones de contacto con la colocación de bandas elásticas de sellado de la junta. Aunque inicialmente en fases de proyecto se contempló el empleo de láminas drenantes colocadas cubriendo la totalidad de la clave, finalmente se descartaron éstas por tener que quedar vistas y no existir ninguna que cumpliera con las características de resistencia al fuego exigidas por los servicios técnicos del cuerpo de bomberos del Ayuntamiento de Barcelona.

El tratamiento de sellado y reparación de las juntas de hormigonado del revestimiento del túnel que presentaban filtraciones importantes en ese momento, se inició con la limpieza y calafateo de las mismas. Previamente se procedió a desmontar los paneles de revestimiento tipo Glasal existentes en el interior del túnel que cubrían a las juntas que serían tratadas. La limpieza se realizó con agua a presión y picado para eliminar los restos de antiguos tratamientos y formar a la vez un canal en V para relleno y sellado, todo ello desde un equipo elevador autopropulsado.

La preparación y sellado de las juntas [Figura 2] se mostró de complejidad dispar. Las juntas a tratar presentaban características muy distintas [Figura 3], lo que se tradujo en rendimientos y consumos diferentes. Las juntas de construcción en ocasiones tenían un elemento de porexpan como separador entre las distintas fases de hormigonado, y podían presentar un tubo flexible drenante embebido en las mismas y recubierto con un posterior tratamiento con mortero impermeabilizante. En todos los casos, se procedió al repicado mecánico con martillo neumático para abrir la junta,

retirando en su caso el tubo. Se eliminaron los cascotes sueltos en la junta, dejando siempre hormigón sano en los dos laterales de la junta y en toda su longitud. Posteriormente se efectuó una limpieza enérgica, con chorro de agua a muy alta presión (300 bars), eliminando con este tratamiento toda la suciedad, partículas sueltas y dejando un hormigón en las condiciones que la Instrucción EHE indica como correctas para los tratamientos de juntas en retomas de hormigonado. Aún así, durante la aplicación del sellado llegaban a producirse cuarteos, resultado de la retracción endógena, que se traducían en fugas de lechada durante la fase de inyección [Figuras 4 y 5].



[Figura 2] Trabajos de sellado de juntas desde tijeras elevadoras, en el túnel descendente.

Una vez saneadas las juntas, el sellado se realizó con mortero de fraguado rápido sin retracción Sika 4A y Nanocrete Emaco, especiales para sellado de vías de agua. La preparación del producto de sellado de juntas se realizó, en función de la cantidad, a mano o empleando equipos de amasado ligero (batidoras doble eje) para la preparación de la pasta de sellado de las juntas. El amasado de mortero es más dificultoso que el de pasta únicamente a base de cemento, pues requiere una homogeneización adecuada. El amasado mecánico facilita la hidratación del producto y evita la segregación de la carga del mortero. Igualmente facilitaba el trabajo a los operarios dado que el sellado de una junta podía tener un consumo comprendido entre 250 y 300 kg de mortero. Indicar también que en las fases de sellado resulta imprescindible seguir todas las indicaciones especificadas por el fabricante de los productos.

La cantidad de pasta, colocada en una o varias fases, según el espesor necesario y siguiendo las limitaciones de espesor por capa de la ficha técnica del producto acelerante, debía cubrir bien todo el fondo de la junta y los laterales en los tramos que presentaban fisuras que podían llegar a facilitar la salida de la lechada de inyección. De esta forma, se obtenía una junta estanca, preparada para ser inyectada sin presentar pérdidas. Lógicamente, en las juntas con porexpan el espesor del mortero de sellado era el suficiente para soportar la presión de la lechada en la inyección, sin desprenderse ni presentar pérdidas. Como mínimo, este espesor fue de unos 4 cm, aunque en algunas juntas llegó a superar los 30 cm.



[Figura 3] Detalle del diferente aspecto que podían mostrar las juntas existentes entre módulos de revestimiento, tras el repicado, saneo y limpieza de las mismas.

Indicar que, la correcta limpieza de la junta, el empleo de un material de sellado adecuado al soporte, el tratamiento previo del mismo (humidificación antes de la aplicación de la pasta de sellado para evitar que el soporte seco robe agua a la pasta y se produzca un fraguado inadecuado), y el curado una vez colocado el mortero, resultan indispensables para evitar dificultades en esta fase de los trabajos. Poder realizar el sellado de la junta por lo menos dos o tres días antes de su inyección, para que el sellado alcance unas propiedades resistentes mínimas, se considera igualmente muy recomendable.

Para futuras experiencias, probablemente en casos de juntas muy abiertas y necesitadas de grandes espesores de material de sellado, tras la experiencia que nos ocupa, quizás sería interesante estudiar una solución de sellado mediante gunitado vía húmeda.

Rellenadas y selladas las juntas, se procedió a la perforación de cinco taladros dispuestos en abanico sobre las mismas y denominados A-B-C-D-E, que atravesaron completamente el hormigón de revestimiento y el gunitado que podía existir hasta llegar al contacto con la roca. Los taladros se realizaron partiendo desde la clave del túnel y situándolos aproximadamente cada 30° del perímetro de la junta. Estos taladros tenían un diámetro de 20 mm y se realizaron con martillos de mano.

En los taladros se colocaron las agujas o válvulas de inyección, que eran metálicas, con la punta biselada y de longitud adecuada, en función de la sección tipo de túnel que se estaba reparando, para atravesar completamente el hormigón de revestimiento y la gunita del sostenimiento y penetrar en el trasdós. Las agujas con las que realizar la inyección a baja presión, se fijaron al paramento de la junta rellenando el espacio anular existente entre éstas y las perforaciones con un mortero de endurecimiento rápido.



[Figura 4] Ingreso de lechada en hastial, a través del sellado de una junta durante la inyección de la junta anterior.



[Figura 5] Ingreso de lechada en clave, a través del sellado de la junta.

En esta técnica se prepara una determinada longitud a tratar con los taladros correspondientes, antes de empezar a inyectar, y los taladros se van inyectando hasta alcanzar las consignas de inyección establecidas o bien hasta que se empiezan a comunicar entre sí y la lechada sale por los taladros próximos al que se encuentra en fase de inyección. La inyección [Figuras 6 y 7] se realizó desde las agujas más bajas hacia las superiores según una secuencia A-E-B-D-C. El material inyectado rellena las fisuras, la porosidad y desplaza el agua contenida en los huecos, dando lugar a una estructura cementada mucho más impermeable. En alguna ocasión fue necesario intercalar nuevas agujas entre las ya dispuestas para reinyectar la junta por seguir presentando algunas filtraciones tras su tratamiento.

La lechada inyectada a través de las agujas fue a base de microcemento tipo Bentocem[®], suministrado en sacos. Este cemento está compuesto de un ligante especial superfino a base de escorias de alto horno y clinker, con tamaño de partícula máximo 35 micras, estabilizado con

bentonita sódica reactiva. Este cemento, por su tamaño de partícula máximo, pertenece a la familia de los microcementos. Se eligió este producto por sus propiedades y granulometría, las cuales le confieren su capacidad de penetrar en fisuras y pequeñas oquedades sin que la lechada sea lavada por las corrientes de agua existentes en las fisuras.



[Figuras 6 y 7] Inyección de las válvulas colocadas en la clave del túnel desde cesta autopropulsada.

La relación agua/cemento de la lechada empleada fue fluida para conseguir una mayor penetración; la dosificación empleada fue de 500 kg de Bentocem por m³ de lechada (relación a/c de 5/3). El amasado de las lechadas se realizaba durante un tiempo mínimo de tres minutos antes de ser inyectadas. Tras su preparación y hasta su inyección eran agitadas sin interrupción, con la finalidad de evitar la segregación o decantación. La velocidad de inyección se situó en una tasa de admisión de entre 10 y 15 l/min. Las válvulas mayoritariamente se cerraron por presión, la cual se fijó en 2 kp/cm² y se controlaba en boca de válvula.



[Figura 8] Detalle de la operación de obturación de la válvula.

Una vez concluida la fase de inyecciones, como se ha indicado, se procedió a reponer la banda elástica de sellado de las juntas. En total se colocaron 7.695m de banda sistema Combiflex distribuidos entre las 342 (170+172 uds.) juntas de ambos túneles.

En cuanto a rendimientos medios alcanzados en los trabajos objeto de este artículo, puede indicarse que:

- La duración del chorreado con agua de una junta fue de 15-20 min, requiriendo de un equipo compuesto por dos personas y una tijera elevadora autopropulsada.
- El repicado de la junta se situó entre 1 y 1,5 horas en función de la junta. El equipo lo componían tres personas y una tijera elevadora.
- La perforación de los taladros para la colocación de las válvulas de inyección se situó en 60-75 min, incluyendo traslado de una junta a otra. El tiempo medio de las operaciones se situaba en: perforación 5-10 min y colocación de la válvula 5-7 min más. Una junta requería de un equipo de dos personas y una tijera elevadora.
- La duración media del sellado completo de una junta (22,50 m de desarrollo) fue de 1,5-2 horas con un equipo de dos personas. Una junta requería de un equipo de dos personas y una tijera elevadora.
- La operación de obturación de la válvula eran unos 3 min [Figura 8]. Las inyecciones se situaron en los caudales ya indicados de entre 10 y 15 l/min. La operación requería de dos personas en control y alimentación de bomba [Figura 9] y una persona más en obturación de válvula en clave de túnel. Los equipos necesarios: una cesta elevadora autopropulsada, un equipo de mezcla y bombeo.

Teniendo en cuenta que un equipo podía dedicarse a dos o más actividades de las indicadas, los rendimientos medios se situaron en unas 4-5 juntas tratadas por día.

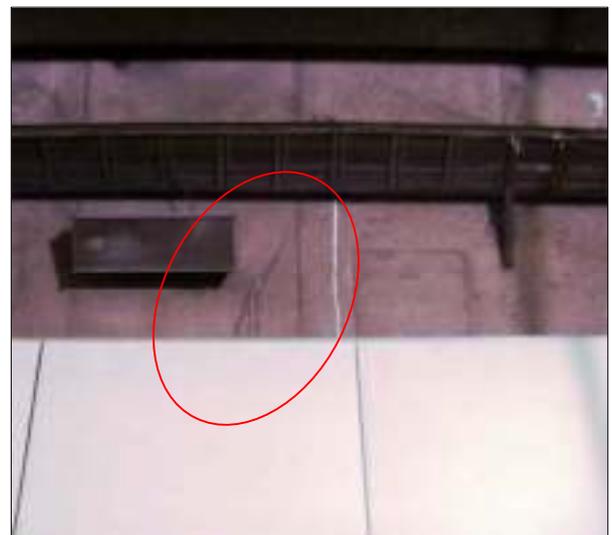


[Figura 9] Fabricación de lechada a base de Bentocem[®] suministrado en sacos, con bomba Häny.

Resultados y conclusiones

Las inyecciones alcanzaron sus objetivos, rellenar e impermeabilizar las juntas así como el contacto y discontinuidades existentes entre el conjunto sostenimiento-revestimiento y macizo. Las juntas tratadas se distribuían básicamente en dos zonas en el túnel descendente o de entrada a la ciudad y otra más en el ascendente o de salida.

Durante los trabajos se puso de manifiesto la alta capacidad de penetración de las lechadas a base de Bentocem y la idoneidad de las mismas para la realización de tratamientos de este tipo. Pudo observarse en reiteradas ocasiones como se producían fenómenos de comunicación de válvulas de una misma junta e incluso de comunicación de válvulas pertenecientes a dos juntas contiguas. También se observó como la lechada viajaba rellenando todas las oquedades existentes en el trasdós, siendo capaz de salir por pequeñas fisuras y grietas existentes en el revestimiento [Figuras 9 y 10], las cuales también eran colmatadas y quedaban selladas al fraguar la lechada.



[Figuras 9 y 10] Ingresos de lechada en riñón y hastial, respectivamente, a través de grietas.

Las admisiones fueron muy variables, dependiendo de la junta en cuestión. Los volúmenes admitidos variaron entre un mínimo de unos 200 l en alguna junta hasta los 2520 l o 2640 l de dos juntas concretas. La admisión media de las juntas tratadas se situó en unos 930 l por junta. La distribución por válvulas fue igualmente diversa, así las válvulas con mayor admisión se situaron en unos 1000 l y las de menor en unos 50 l; en algunos casos la admisión también fue nula. En las válvulas con altas admisiones generalmente al inyectar las contiguas la admisión era muy inferior. El consumo total se situó en 42 toneladas de Bentocem.

La técnica empleada y la configuración de equipos asociada se mostraron como muy adecuados para realizar este tipo de trabajos, en los que suelen ser habituales cortes de servicio parciales. También se mostró muy adecuada dada la gran cantidad de instalaciones existentes en el interior de los túneles, las cuales eran fáciles de salvar o de proteger. Otro aspecto fundamental es el medioambiental, pues las lechadas a base de microcementos, a diferencia de otros compuestos para inyección como las resinas o geles, no presentan ningún tipo de afectación a los acuíferos; en el caso del Túnel de la Rovira este aspecto era muy importante por tratarse de una zona en la que hasta no hace mucho, los ciudadanos se abastecían de agua en las fuentes y surgencias existentes.

Destacar también la importancia que tiene la ejecución en los resultados de un tratamiento de este tipo, siendo claramente favorecedora una metodología basada en la inyección de caudales no muy elevados y constantes en un mismo punto, hasta obtener la presión de cierre o que se comuniquen las válvulas de inyección.

Por último, indicar que es común que a medida que se van sellando zonas, el agua busque nuevas vías de circulación, con lo que suele aparecer agua en zonas que no presentan problemas en el momento de realizar los trabajos, por lo que es recomendable que este tipo de tratamientos abarque la totalidad de la infraestructura bajo tratamiento.