

TRATAMIENTO DE MEJORA DEL TERRENO EN LOS TUNELES DE SINESIO DELGADO (MADRID) MEDIANTE INYECCIONES DE LECHADAS A BASE DE MICROCEMENTO SPINOR A12

Introducción

En este artículo se describen los trabajos de tratamiento llevados a cabo para poder realizar la excavación de los túneles de Sinesio Delgado (Madrid) tras el colapso de uno de ellos en fase de construcción. Entre los tratamientos de mejora del terreno adoptados se incluyeron inyecciones de lechadas comercialmente conocidas como MICROSOL, realizadas a base de microcemento SPINOR A12 y un aditivo antifloculante específico. Los tratamientos descritos a continuación fueron realizados por la sociedad KRONSA.

Los túneles de Sinesio Delgado se sitúan bajo el Parque Dehesa de la Villa, en Madrid. Se trata de dos túneles paralelos en la autovía de unión de las carreteras N-I y N-VI. Tienen una longitud de 207,50 m, una anchura de 9,00 m (con dos carriles cada uno de ellos) y una altura de 6,60 m.

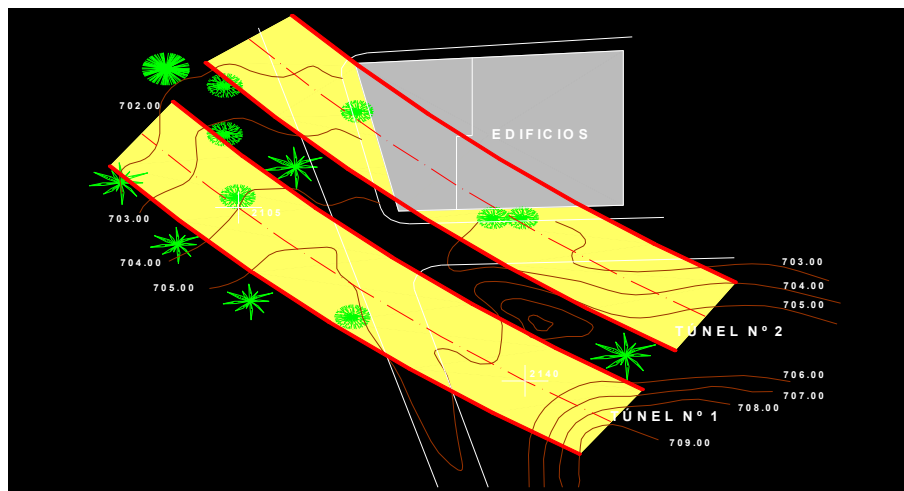


Figura 1.- Esquema en planta de los túneles (fuente KRONSA).

Los túneles discurren por un terreno de naturaleza arcillo-arenosa conocido localmente como “tosco”. Entre el suelo tosquizo pueden encontrarse de forma errática intercalaciones de arenas sueltas saturadas de agua. El recubrimiento existente variaba desde los 12,00 m en las bocas hasta 34,00 m en la parte central. Además, el emplazamiento de los túneles se caracterizaba por la presencia sobre las claves de antiguas galerías, trincheras, etc., y algunos edificios en el caso del túnel nº 2.

El método que se estaba empleando en la construcción de los túneles era de tipo clásico (austriaco modificado). La construcción se dividía en tres fases: avance, destroza y contrabóveda. El avance consistía en la excavación de la parte superior de la bóveda, la cual se reforzaba con la colocación de cerchas metálicas de tipo TH-21, 2 mallas de acero electrosoldadas de refuerzo y un total de 30 cm de hormigón proyectado. La destroza consistía en la excavación de la parte inferior del túnel, reforzando los hastiales con el mismo tipo de sostenimiento descrito para el avance. Por último se cerraba la sección del túnel con la construcción de una contrabóveda de hormigón armado.

Los trabajos de construcción se iniciaron por el túnel 1, del cual se llevaba gran parte construido cuando se produjo un colapso. El deslizamiento de tierras se produjo en uno de los hastiales

durante la fase de destroza, debido a la presencia de arenas sueltas saturadas intercaladas en la misma zona de hastiales, afectando a unos 20 metros de longitud del túnel que dieron lugar a un importante socavón y llegando a afectar a la traza del túnel 2 por construir.

Tratamientos

Los tratamientos adoptados fueron de naturaleza diversa y con dos objetivos: (1) evitar la progresión del desprendimiento y (2) evitar que se pudiera repetir el problema. Los primeros, tratamientos de corrección, básicamente consistieron en la consolidación del terreno y se realizaron con carácter de urgencia desde el exterior de los túneles; los segundos, o de protección, se llevaron a cabo desde el interior, siendo diferentes en cada uno de los túneles por encontrarse la excavación del nº 1 muy avanzada y el túnel nº 2 sin comenzar, como se ha indicado anteriormente.

a) Tratamientos de corrección.

Entre los tratamientos de corrección realizados se cuentan: (1) la creación de sendos espaldones de tierra en cada uno de los frentes del túnel 1, (2) el relleno del socavón con mortero desde el exterior y (3) la inyección de lechada de cemento.

El mortero se empleó para rellenar las oquedades más grandes, llegándose incluso a realizar una serie de perforaciones para alcanzar la solera del túnel; el mortero tenía una resistencia no muy alta (6 MPa) para facilitar su posterior excavación. No se describen características de este tratamiento y otros llevados a cabo por no ser el objeto concreto de este artículo, si bien pueden consultarse con detalle en la bibliografía indicada.

La inyección de lechada de cemento se realizó para completar el tratamiento de corrección una vez rellenos los huecos de mayor tamaño. Para ello se realizaron una serie de perforaciones a rotoperCUSión, con doble camisa y de diámetro 114 mm, según una malla con separaciones de 2 a 3 m sobre la traza de ambos túneles. Estas perforaciones fueron equipadas con tubos manguitos de PVC de 65 mm de diámetro dotados de válvulas cada 33 cm. Las perforaciones se realizaron verticales excepto bajo los edificios existentes en la zona.

Indicar que el tosco, por sus características, no es inyectable con lechadas de cemento convencional, pero en este caso fueron empleadas para rellenar las grietas producidas por el hundimiento y consolidar el terreno.

Las admisiones medias fueron muy distintas en la zona del túnel 1 que en la del túnel 2. Las presiones empleadas fueron de entre 5 y 7 atm para los taladros de primera fase (externos) y de entre 10 y 15 atm para los de primera fase, interiores a los anteriores. La relación a/c empleada fue 1/1 y la lechada constaba de un 4% de bentonita. La inyección en este caso se realizó por tramos ascendentes de 5 m mientras se realizaba un control en superficie de posibles movimientos anómalos.

b) Tratamientos de protección. Inyecciones de lechadas a base de microcemento A12.

Una vez concluidos los trabajos de corrección y con la finalidad de evitar que se repitieran nuevos colapsos se realizaron una serie de tratamientos de protección que también resultaron distintos en el caso del túnel 1 y el 2.

En el túnel 1 se construyeron desde el interior dos paraguas de micropilotes cruzados (uno en cada frente) armados con tubos de acero de 10 cm de diámetro. Igualmente el frente de excavación fue objeto de un refuerzo mediante 15 bulones horizontales a base de barras de poliéster reforzado con fibra de vidrio. La excavación del túnel se concluyó empleando el "método alemán", en el cual se avanza según dos pequeñas galerías en los hastiales y una en clave que después se unen ensanchando la sección hasta completarla.

En el túnel 2, con el objetivo de consolidar las intercalaciones de arenas sueltas saturadas y asegurar la estabilidad de la excavación del túnel, se procedió a realizar en todos los pies de las cerchas de los hastiales abanicos con tres taladros entubados con tubos metálicos para inyectar lechadas a base de microcemento A12 (tamaño de partícula máximo 12 micras). En el caso concreto de las arenas de los túneles de Sinesio Delgado una lechada con partículas de 15 micras no era inyectable.

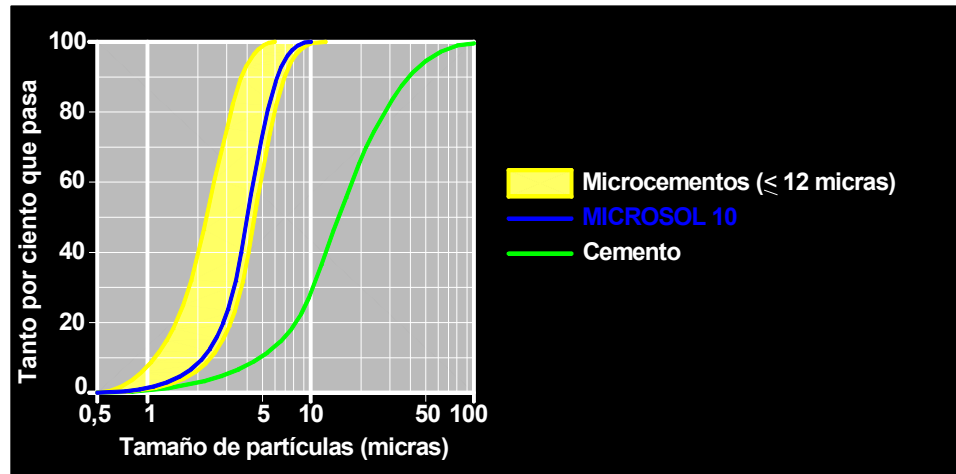


Figura 2.- Curvas granulométricas de los productos empleados en las lechadas (fuente KRONSA).

Las lechadas de microcemento, que pueden realizarse hasta con partículas de tamaño máximo de 5 a 6 micras, de ser necesario en función del tamaño de los poros del material que compone el terreno a tratar, presentan las ventajas de las lechadas convencionales de cemento (estabilidad física y química, resistencia a agua y suelos agresivos, etc.) con una penetrabilidad similar a la de las inyecciones químicas, que puede ser mejorada con retardadores de fraguado, pero sin los problemas medioambientales derivados de la toxicidad de algunos de los componentes de las inyecciones químicas.

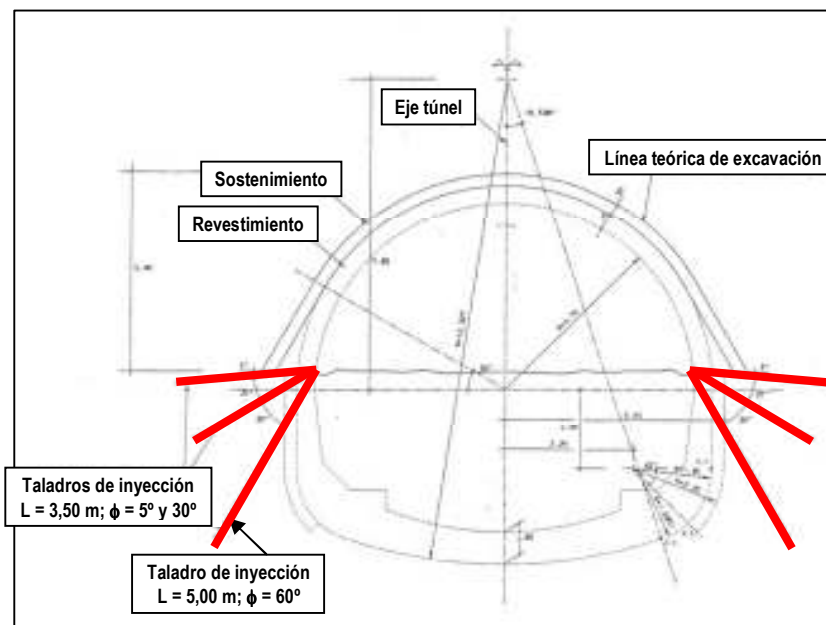


Figura 3.- Esquema del tratamiento en la base de las cerchas de los hastiales (fuente KRONSA).

Las perforaciones en el pie de las cerchas se realizaron con barrena continua. Los abanicos formados por tres taladros con inclinaciones desde el taladro superior al inferior de 5°, 30° y 60° respecto a la horizontal respectivamente y con longitudes de 3,50 m los dos primeros y 5,00 m el tercero, se situaban cada metro por sección transversal de túnel.

Los taladros se entubaron con tuberías de diámetro 3,80 cm que disponían de 3 válvulas antirretorno por cada metro lineal (una válvula cada 33 cm). El espacio anular existente entre tubería y terreno se selló con una mezcla de bentonita-cemento (gaine) a fin de aislar los diferentes tramos durante la inyección.

Se optó por lechadas basadas en microcemento porque, como se ha indicado anteriormente, la granulometría del terreno hacía imposible la inyección a base de lechadas de cemento convencional.

La inyección se realizó con doble obturador empleándose presiones que iban desde las 3 atm hasta las 10 atm. El caudal empleado era pequeño (400 l/hora) para asegurar la impregnación de las arenas y no provocar su rotura. La admisión media de lechada de microcemento a base de A12 (microsol) fue de 25 litros por m³ de terreno tratado.

El proceso de inyección estaba totalmente automatizado permitiendo un control exhaustivo y una gestión eficaz de los trabajos. Entre los sensores de los equipos de control empleados por KRONSA (sistema SINNUS 2) se encontraban sensores de caudal electromagnéticos y células presiométricas instaladas en las propias tuberías de inyección, efectuándose medidas con independencia de la densidad y la viscosidad de la lechada. Los datos de inyección (caudal, volumen inyectado y presión de inyección) eran visualizados y controlados en tiempo real. El sistema se gestiona con un programa informático desarrollado específicamente a los efectos

El desarrollo de los trabajos de inyección fue controlado mediante 15 sondeos realizados para conocer in situ el comportamiento de los niveles de arenas sueltas una vez tratados con las inyecciones de microcemento. Los trabajos de control se completaron con ensayos de laboratorio sobre las muestras obtenidas en los sondeos y por comparación con los resultados obtenidos en los sondeos realizados (14 unidades) previamente al tratamiento a tal objeto. Citar por ejemplo que los valores de resistencia a compresión simple, nulos antes del tratamiento, pasaron a ser en un 68% de los casos superiores a 400 kN/m² después del tratamiento, obteniéndose un valor máximo de 2.500 kN/m².

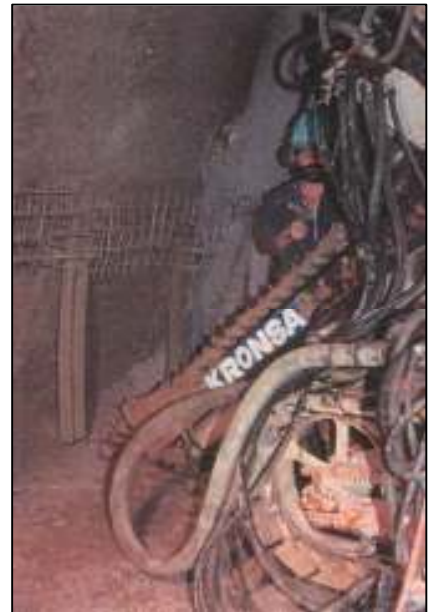


Foto 1.- Trabajos de perforación en interior de túnel nº 2 para inyectar.



Foto 2.- Dientes marcados en frente de excavación tras inyección.

Conclusiones

El tratamiento de mejora del terreno con inyecciones de microcemento permitió realizar la excavación del segundo túnel sin incidencias, mostrando un frente estable en todo momento con una muy escasa afluencia de agua y unos mayores niveles de seguridad. El proceso de inyección

se tradujo en todo momento en una expulsión continua de agua de la zona tratada, poniendo de relieve la idoneidad de este tipo de tratamientos de impregnación para desalojar el agua de las arenas.

Las inyecciones de microcemento no quedaron limitadas a la base de las cerchas, sino que llegaron a cubrir todo el frente, en ocasiones con alcances de hasta 20-25 m, lo que pone de manifiesto la capacidad de penetración de este tipo de lechadas.

El tratamiento se mostró más efectivo cuanto mayor era el espesor de arenas sueltas y el confinamiento de éstas. El tratamiento se tradujo en una mejora importante de las características del terreno, pasando las arenas sueltas a comportarse como arenas con cierta cohesión.

Las inyecciones con microcemento presentan una mayor economía, en el caso que nos ocupa estimada en un 40% frente a un tratamiento similar con geles de silicato, además de presentar una toxicidad nula.

Referencias bibliográficas

De Juan, M.A. (2004). *Tratamiento de arenas sueltas mediante inyecciones de microcemento con Microsol en los túneles de Sinesio Delgado (Madrid)*. Jornadas Técnicas SEMSIG-AETESS. 4ª Sesión. Mejora del terreno mediante inyecciones y jet-grouting. Pág. 115-126.