

ENSAYOS DE ESTABILIDAD DE INYECCIONES DE LECHADAS DE MICROCEMENTO FRENTE AL TRANSPORTE POR FLUJOS DE AGUA EXISTENTES EN EL SUBSUELO

Ignasi JARAUTA BRAGULAT

INGENIERO INDUSTRIAL
DIRECTOR DE SUMINISTROS Y SERVICIOS TECNOLÓGICOS

Introducción

En este artículo se presentan los trabajos realizados en laboratorio para obtener una lechada a base de microcemento lo más estable posible frente a la circulación de agua en el subsuelo.

Conocida a partir de diferentes proyectos en los que se han empleado, la capacidad de penetración y facilidad de “viajar” en el medio poroso de las lechadas a base de microcemento SPINOR A12, los trabajos de investigación aquí descritos surgen para dar respuesta a la incógnita que puede presentar el empleo de lechadas de microcemento en tratamientos del terreno mediante inyecciones de impregnación en caso de presencia de flujos de agua en el subsuelo, bien sean de tipo natural o artificial como resultado de bombeos (figura 1), en la zona en la que se lleva a cabo la inyección, en condiciones de contorno diversas: acuífero extenso (con o sin flujo natural), bombeo próximo a un río que drena o por el contrario que recarga, a un borde impermeable, etc. (ver figura 2).

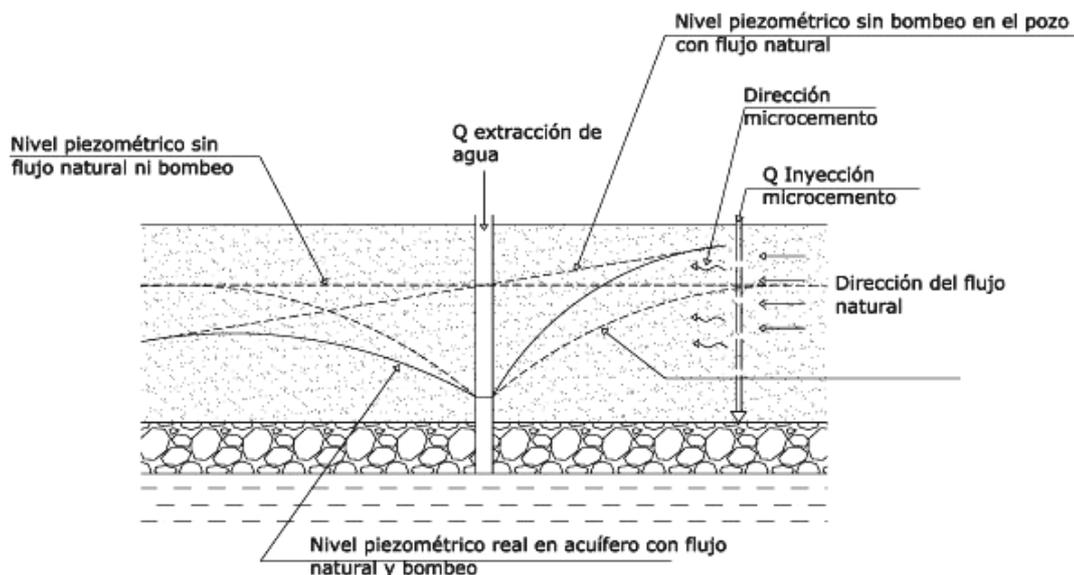


Figura 1.- Niveles piezométricos en un acuífero según condiciones de bombeo y flujo natural.

El transporte de solutos (en este caso la lechada de microcemento) se rige por diferentes mecanismos o procesos de transferencia entre los que siempre se encuentran la advección (o arrastre), la difusión molecular (similar al movimiento de una gota de tinta en un vaso de agua) y la dispersión hidrodinámica (ligada a la velocidad del agua y a la heterogeneidad del medio).

El estudio aquí descrito ha sido totalmente diseñado y desarrollado por SUMINISTROS Y SERVICIOS TECNOLÓGICOS, S.C.P. y se ha llevado a cabo en los laboratorios que el grupo HOLCIM dispone en Obourg (Bélgica) en fechas enero a marzo de 2005. El objetivo final ha sido establecer una formulación de lechada en la que los granos de microcemento inyectados sean lo más resistentes a la dilución y transporte por la corriente existente.

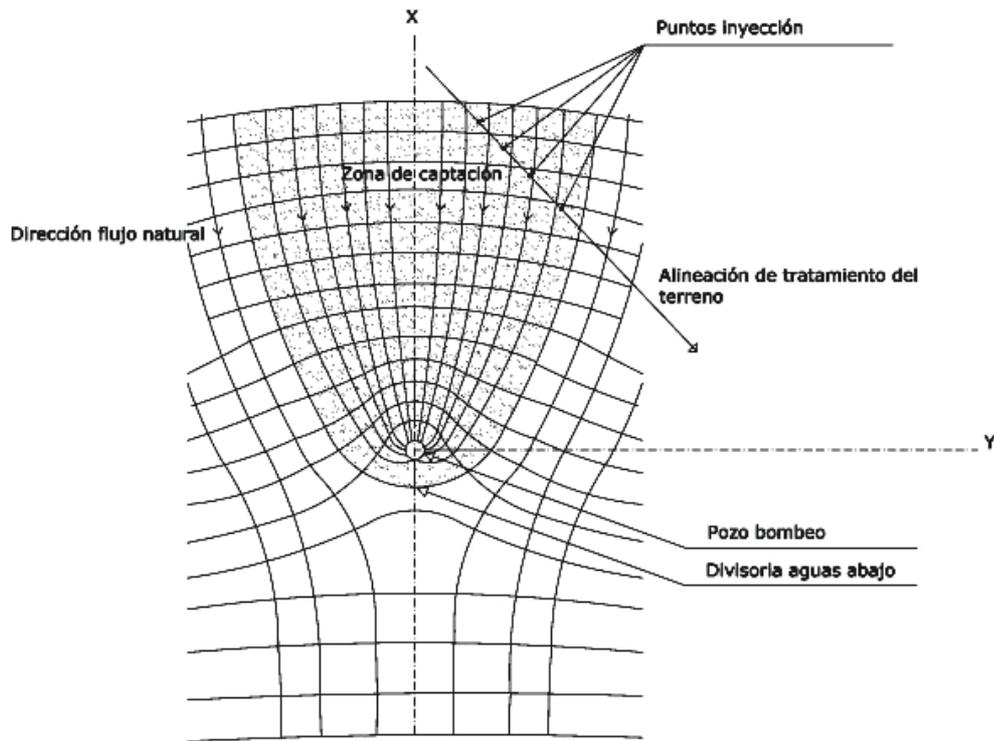


Figura 2.- Red de flujo creada por un pozo que bombea en un acuífero extenso con flujo natural.

Ensayos realizados

Se han realizado una serie de ensayos que se han denominado “ensayos en cubo”, por la forma de la probeta empleada. Dichas probetas cúbicas han sido fabricadas específicamente para los ensayos con paneles de metacrilato de dimensiones 15 x 15 x 15 cm. para poder observar todo el proceso de impregnación y lavado de la lechada, dotándola de puntos de entrada (por los que realizar la inyección de lechada y agua) y salida, permitiendo reproducir el efecto circulatorio de un flujo subterráneo.



Figura 3.- Ensayo de inyección de columna de arena normalizada por Holcim para el Spinor A12.

El material empleado en el relleno de las probetas cúbicas y sometido a los ensayos ha sido la misma arena normalizada que había superado el ensayo de inyección de columna de arena (ver figura 3) habitual para el Spinor A12; dicha arena tiene una granulometría comprendida entre 0,1 y 0,3 mm y una permeabilidad de $k = 10^{-4}$ m/s.

Ensayo patrón

El primero de los ensayos en cubo realizados ha sido un ensayo patrón. Las lechadas empleadas en los ensayos han sido a base de microcemento Spinor A12 y aditivo superfluidificante Plast® 355, similares a las más empleadas en tratamientos de mejora del terreno por la técnica de impregnación y que en este caso fue de 400 Kg por metro cúbico de lechada. Aunque la dosificación del aditivo superfluidificante puede variar en función de las características del terreno a tratar, en condiciones normales, se dosifica siempre al 5% sobre el peso de microcemento.

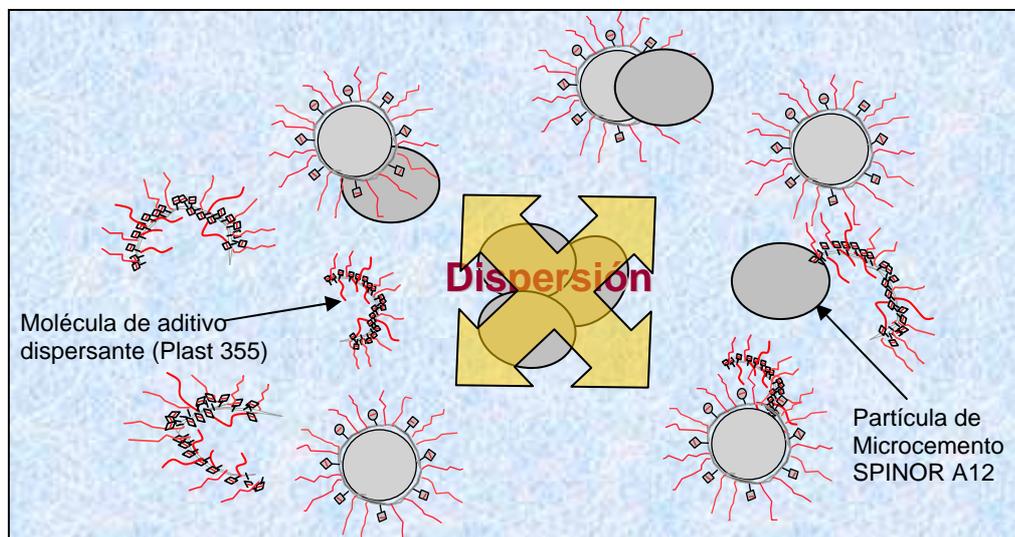


Figura 4.- Lechada normal de microcemento Spinor A12 con aditivo dispersante Plast 355.

Plast® 355 es un superfluidificante de alta calidad a base de materias primas altamente seleccionadas que garantiza la inyectabilidad de la lechada de microcemento. Su principio se basa en generar una dispersión total de los granos de microcemento, evitar la formación de agregados y reducir la viscosidad, asegurando su comportamiento como microcemento (ver figura 4).

En este ensayo patrón, una vez saturada la arena (figura 5), se ha procedido a realizar la inyección con agua en circulación. La circulación de agua se ha generado entre dos caras laterales opuestas del cubo, mientras que la inyección de lechada se ha realizado por la cara inferior. Una vez finalizada la inyección de lechada, se ha detenido la corriente de agua, con lo que se ha conseguido la máxima inyección posible en estas condiciones al no existir un efecto posterior a ésta de lavado y transporte del microcemento.

En la figura 6 puede observarse, una vez concluida la saturación de la probeta, la progresión de la inyección de lechada (mancha de color grisáceo) mientras se mantiene constante el flujo de agua a través del cubo.

Por su parte, las fotos de la figura 7 adjunta muestran como la inyección ha alcanzado todas las caras de la probeta. Como se ha indicado anteriormente, una vez alcanzada la inyectabilidad máxima se ha cortado el flujo de agua y se ha dejado fraguar.



Figura 5.- Proceso de saturación de la probeta cúbica de arena normalizada en el ensayo patrón.



Figura 6.- Ensayo patrón. Inicio de inyección de la lechada de microcemento manteniendo la circulación de agua.



Figura 7.- Ensayo patrón. Progresión y fin de inyección de la lechada de microcemento, respectivamente.

La probeta resultante ha sido cortada a 28 días. Los resultados pueden observarse en las figuras 8 y 9. El color verde oscuro de la probeta cortada es el normal que adquiere el microcemento una vez fraguado y sin contacto con el aire. Indicar igualmente que las marcas circulares que se observan son debidas al corte con disco de la probeta y no corresponden a ningún tipo de línea de corriente. Puede apreciarse que la impregnación de la arena es total en las zonas con presencia de lechada.



Figura 8.- Ensayo patrón. Tallado de la probeta a los 28 días.



Figura 9.- Ensayo patrón. Detalle de los fragmentos izquierdo y central de la probeta de la figura 8, respectivamente.

Ensayos con circulación de agua después de la inyección

Una vez concluido el ensayo patrón, el mismo tipo de material empleado en él, se ha procedido a realizar tres nuevos ensayos. Estos nuevos ensayos se caracterizan por dos aspectos diferenciadores: (1) en los tres ensayos se ha mantenido el flujo de agua una vez concluida la inyección de la probeta cúbica y (2) en dos de ellos se ha añadido una determinada cantidad de aditivo, en proporciones diferentes en ambos ensayos, consistente en un agente gelificador GW (Gel Water). El agente gelificador había superado previamente el anteriormente indicado ensayo de inyección de columna de arena normalizado para el Spinor A12.

El flujo de agua se prolongó durante un periodo de una hora en cada ensayo, una vez concluida la inyección. Los porcentajes de aditivo gelificador GW empleados en los ensayos fueron de 0,05 % y 0,1 % del peso de microcemento, respectivamente.

El agente gelificador actúa creando un puente de unión entre las partículas del aditivo dispersante, manteniéndolas distanciadas pero unidas, de tal forma que lo que se consigue es formar una red tridimensional (ver figuras 10 y 11) que no puede viajar por el terreno bajo la influencia de la corriente subterránea.

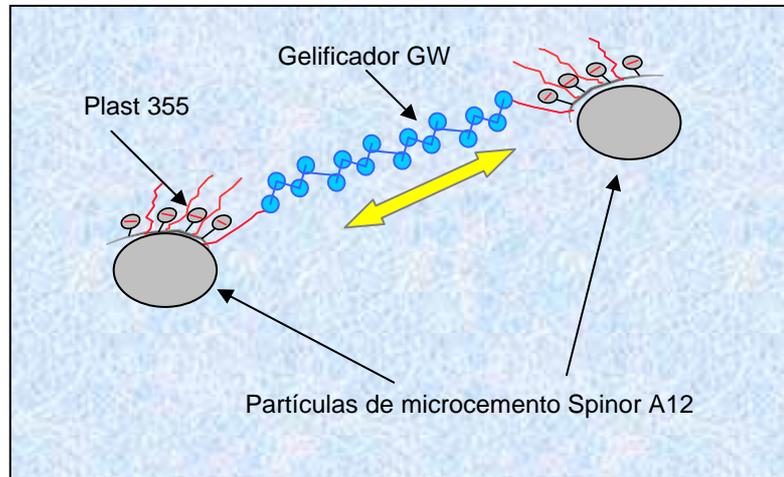


Figura 10.- Esquema representando puente de unión creado por el aditivo gelificador GW entre partículas de A12 con el dispersante Plast 355.

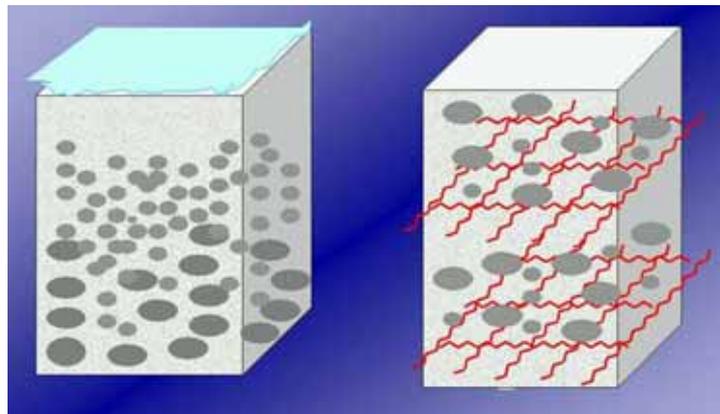


Figura 11.- Formación de red tridimensional que actúa como "malla soporte" de las lechadas de microcemento.

A continuación se presentan algunas imágenes de los tres ensayos realizados con circulación de agua.



Figura 12.- Ensayo con circulación de agua y sin empleo de agente gelificador GW.



Figura 13.- Ensayo con circulación de agua y un 0,05 % de agente gelificador GW.



Figura 14.- Ensayo con circulación de agua y un 0,1 % de agente gelificador GW.

Conclusiones

A partir de los ensayos realizados se desprenden resultados muy claros en lo que a efecto de lavado por circulación de agua de la lechada inyectada se refiere. La velocidad de circulación del agua obtenida en el ensayo ha sobrepasado los 200 m/día, claramente superior a las velocidades que se dan en acuíferos, tanto en circunstancias de circulación normal como en situaciones de circulación forzada resultantes de actividades extractivas. Las conclusiones más claras, en lo que a efecto de lavado de la lechada por circulación de agua se refiere son que la mejor dosificación es aquella con un 0,1% de agente gelificador GW, que permite mantener a la lechada en el lugar de inyección sin verse sometida prácticamente a alteración (figura 15).

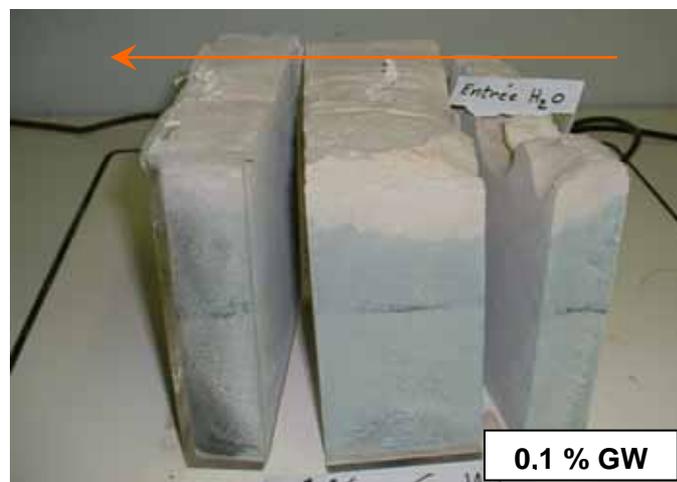


Figura 15.- Vista de la lechada de microcemento una vez fraguada a 28 días en el caso de ensayo con circulación de agua y un 0,1 % de agente gelificador GW.