

Julio Retuerto Mediavilla. ICCP

Se define como inyección de impregnación aquella que se realiza sin alterar la estructura original del terreno, introduciendo en las oquedades del mismo un material, que una vez endurecido, le aporte unas determinadas características, tales como disminución de la permeabilidad, aumento de la capacidad resistente, cohesión, etc., etc.

Dentro de las inyecciones de impregnación y según la naturaleza del terreno a tratar tendremos; la inyección de macizos fisurados, la de obras de fábrica o la relativa a terrenos granulares sueltos con materiales no cohesionados como son las gravas y las arenas.

En cuanto al material a introducir, tendremos un campo muy amplio que va desde los morteros inestables a morteros y lechadas estables de cemento, lechadas de microcemento, geles de sílice y resinas de diferentes tipos.

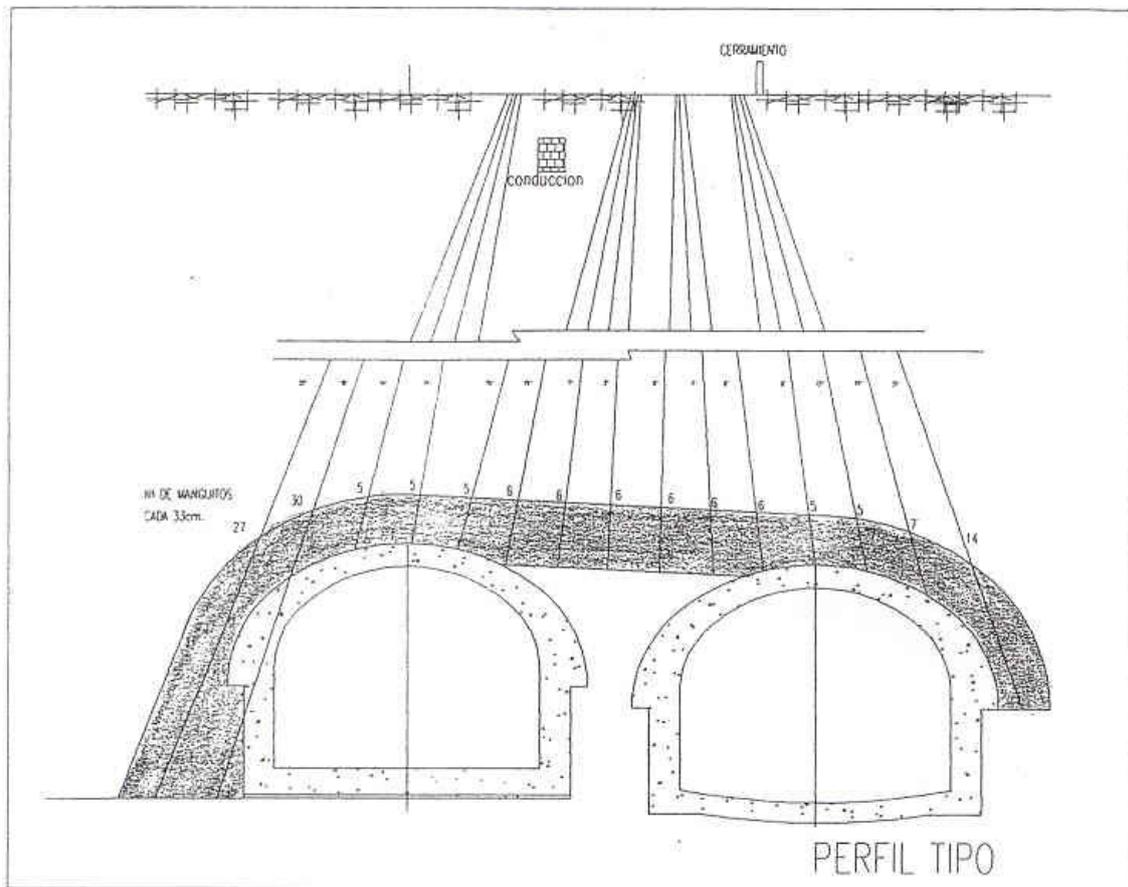
1) Tratamientos del terreno mediante el empleo de geles de sílice relativas a obras de excavación del metro de Madrid. -Diseño y Ejecución-

Diseño

En los últimos años y debido a las numerosas obras que se han realizado para la excavación del metro de Madrid, ha habido, en bastantes ocasiones, que atravesar niveles de arena saturada de agua que presentaban graves problemas de estabilidad y contención, recurriéndose en algunos de ellos, a la necesidad de tratarlos previamente mediante el empleo de geles de sílice para posibilitar su excavación con seguridad y rapidez.

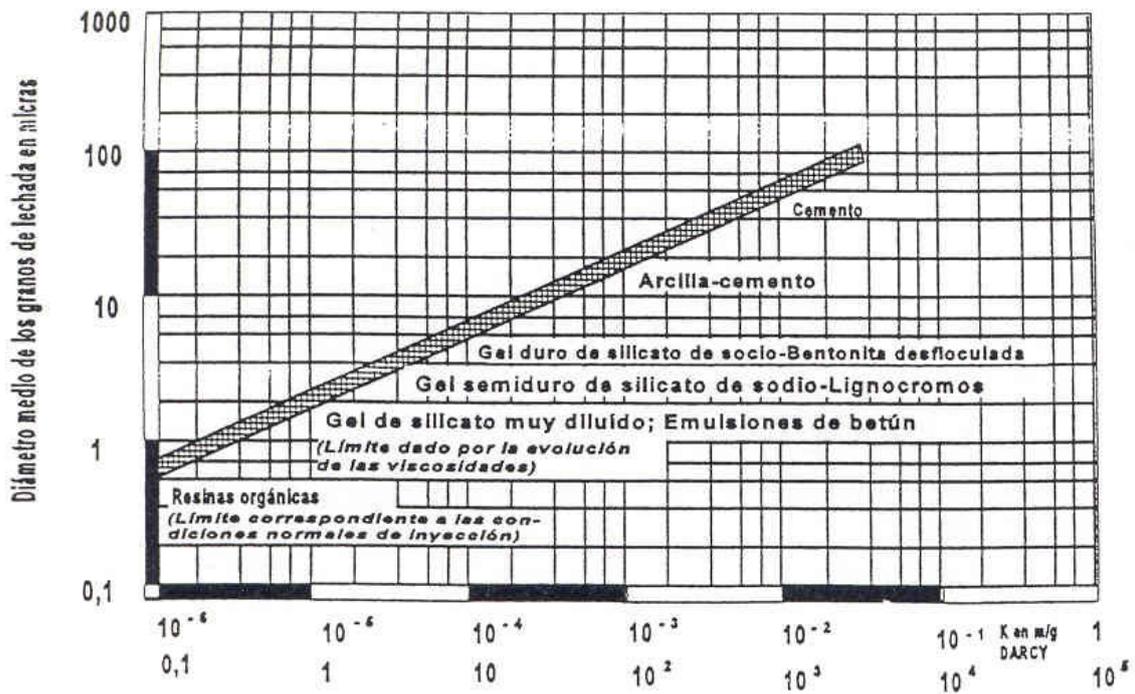
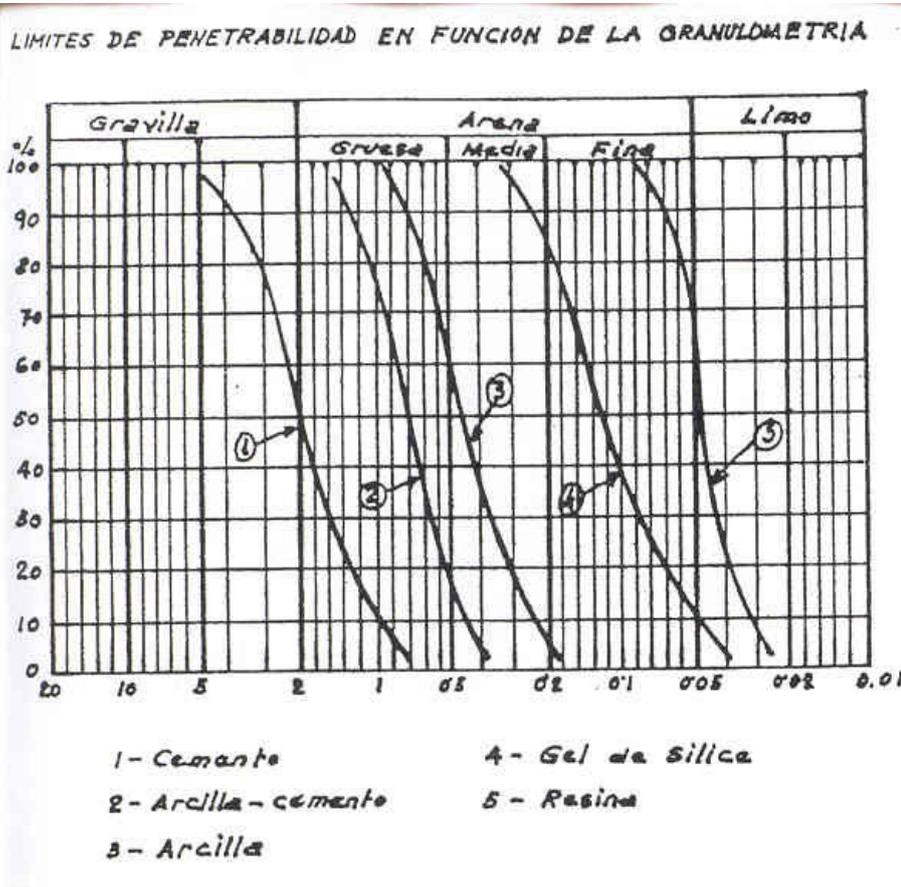
Se comienza el trabajo analizando el problema que se presenta y los objetivos a lograr. En general tenemos una excavación a realizar y unas capas sueltas de terreno que la dificultan. En esta fase se define la aureola de terreno a tratar y las características que queremos que tenga una vez tratado, en la mayor parte de las veces se pretende dar al terreno una capacidad resistente que le haga estable en las longitudes de excavación del frente previstas y darle, al mismo tiempo, una impermeabilidad suficiente.

ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LAS OBRAS :

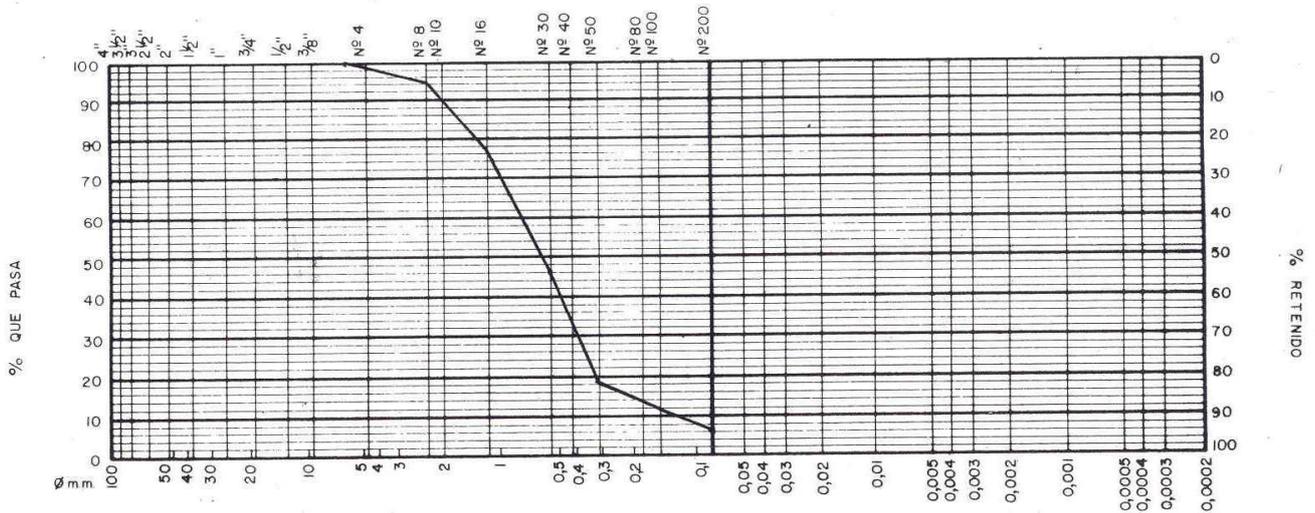


Esquema de un tratamiento desde superficie para avance de excavación en dos túneles.

Se continúa con el análisis de las capas de terreno, para ello se deben tomar una serie de muestras inalteradas del mismo y realizar una serie de ensayos granulométricos para definir cual es la curva del mismo. Los límites en que los terrenos son tratables con geles de sílice vienen indicados en el gráfico adjunto, siendo igualmente definibles por el análisis de los coeficientes de permeabilidad. En general nosotros seguimos la valoración por granulometría analizando el tramo inferior de la curva para calcular el índice de huecos inyectables de cada capa. Como ejemplo y dentro de las definiciones generales del terreno que hay en la mayor parte de Madrid, son tratables con eficacia las arenas de miga y las arenas arcillosas de grano medio con un porcentaje de finos (limos y arcillas) no superior al 25%.



ANALISIS GRANULOMETRICO



GRAVA	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina	Grueso	Media	Fina	ARCILLAS
	GRAVILLA		ARENA			LIMOS			

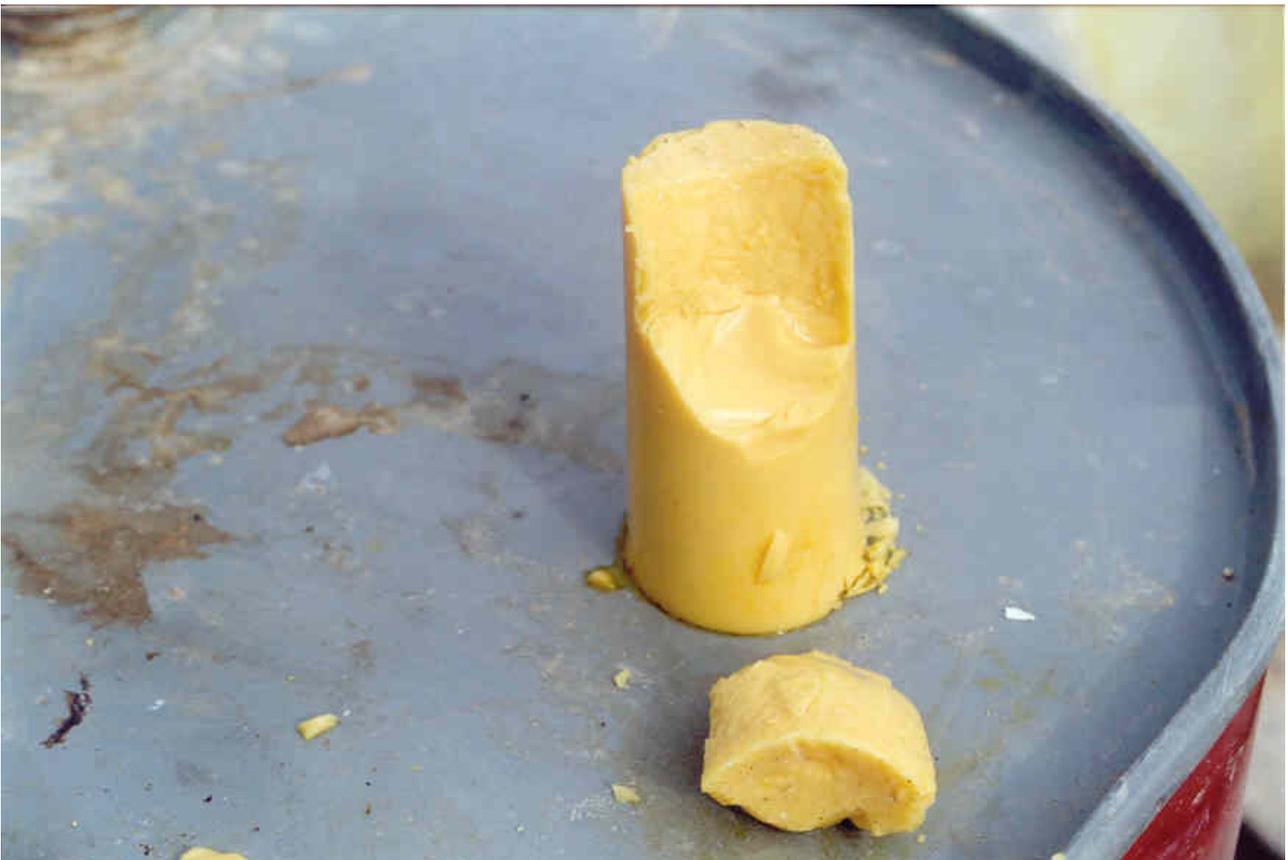
DESCRIPCIONES DEL SUELO Y OBSERVACIONES _____

Análisis granulométrico típico de arena de miga de Madrid.

El siguiente paso que damos es el de la dosificación del gel que queremos introducir. Como constituyentes del gel hemos trabajado con silicato de sodio en solución acuosa

Si 0
concentrada de relación ponderal ----- = 3,3, un reactivo a base de diesteres metílicos-etílicos
Na 0

y agua de la red potable. Estos productos una vez mezclados presentan una viscosidad parecida a la del agua, viscosidad que se mantiene con muy pocas variaciones durante un cierto tiempo permitiendo su manejo, inyección y penetración en el terreno, después de una forma bastante súbita endurece independientemente de donde se encuentre produciéndose en ese momento el gel de sílice.



Gel de sílice.

Según la dosificación que hayamos dado, obtendremos un gel de unas características determinadas. En los trabajos ejecutados el objetivo ha sido que el terreno tratado presentara una resistencia a compresión superior a 15 Kg/cm² pero con estos geles podríamos llegar a resistencias bastantes superiores, del orden de 60-80 Kg/cm².

Otro factor a tener en cuenta es la del tiempo que transcurre desde la mezcla de los componentes y el comienzo del endurecimiento, este periodo le llamamos tiempo de gelificación, es fundamental por ser el tiempo que disponemos para el manejo, inyección y penetración del producto. En las mezclas que hemos fabricado buscamos que este tiempo sea de unos 45 minutos, considerando que son 2/3 de este tiempo los útiles para los trabajos de inyección e impregnación.

A partir de estas premisas, volumen de huecos inyectables y tiempo de gelificación, y dado que la inyección se realiza en un medio de granulometría cerrada y baja permeabilidad en el que no debemos romper al terreno, deberemos situar los puntos de salida de la inyección con las siguientes características:

- . Caudal máximo a partir de un punto de inyección en terrenos de arenas arcillosas de Madrid para no romper el terreno 5 litros/min.
- . Índice de huecos inyectables en estos terrenos: 22%
- . Tiempo disponible para la inyección: 30 minutos.
- . Equidistancia de los manguitos en cada taladro: 33 cms.

Por tanto:

Cantidad inyectada en 30 minutos por manguito - $30 \times 5 = 150$ litros.

Volumen de terreno afectado por la inyección de cada manguito ----- = 0,681 M³.

Volumen de terreno afectado por la inyección de cada metro lineal de taladro
 $0,681 \times 3 = 2,045$ m³.

Es decir que la aureola de inyección de cada taladro tendrá una planta de 2,045 m² lo que dará un espaciamiento medio en planta de 1,43 m., por lo que es entre 1,25 m. y 1,50 m. como se suelen situar la distancia de los taladros en cada plano horizontal.

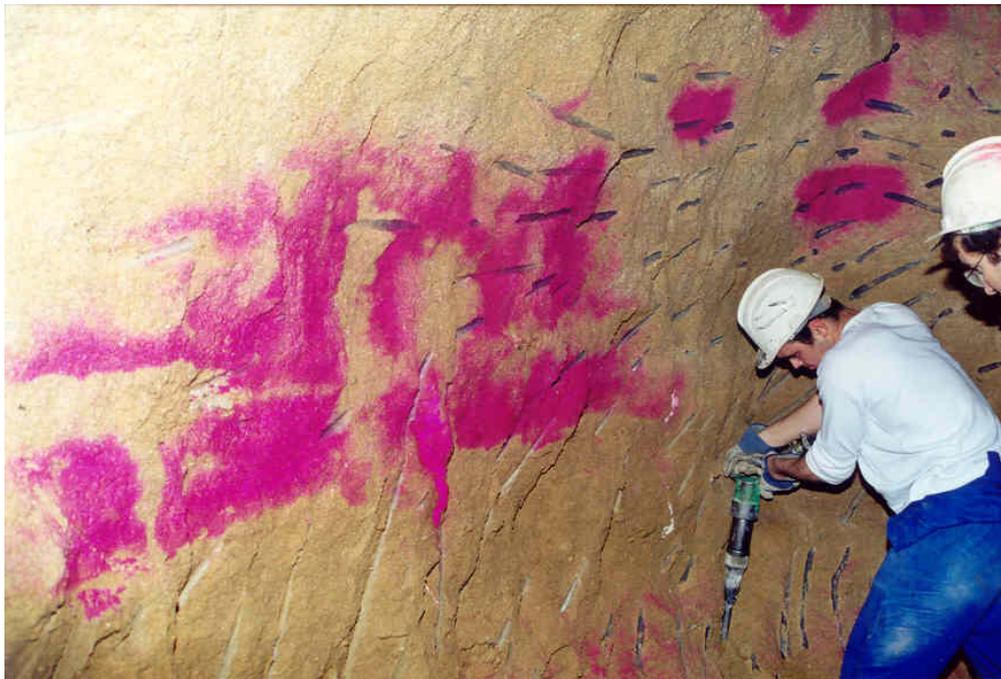
Ejecución

Se comienzan los trabajos por la perforación y el equipamiento del terreno para colocar en el mismo y en la forma prefijada los puntos de inyección. Hemos indicado que para lograr una buena eficacia del tratamiento hay que hacerla sin alterar la original estructura del mismo, por tanto, en la perforación que es la fase más destructiva, hay que cuidarla buscando en cada terreno la mínima alteración. En terreno sin gran aporte de agua funciona muy bien la perforación con

hélice que debe hacerse muy continua y sin paradas innecesarias, cuando el aporte de agua es muy grande, la perforación revestida con mínima inyección de agua será la más adecuada y en aquellas zonas mas secas y garantizando la limpieza del taladro por la boca la refrigeración a media presión de aire da unos buenos resultados. No aconsejamos perforar con el empleo de lodos bentoníticos ya que estos impregnaran el terreno circundante limitando la inyección posterior del gel.

A continuación se colocará la tubería plástica equipada con un manguito cada 33 cms. inyectándose por el manguito inferior una lechada de cemento-bentonita de relación agua/cemento/bentonita 1/0,8/0,08 hasta que salga, remontando por la corona exterior, una lechada de igual consistencia que la inyectada.

Una vez transcurridos al menos 24 horas se procede a inyectar mediante doble obturación cada uno de los manguitos con la cantidad de mezcla de gel prefijada. Al comienzo y para que se produzca la rotura de la vaina exterior se debe forzar la presión, siendo a veces necesario llegar a los 30-40 kg/cm² (lo normal es producirse la rotura a los 10-15 Kg/cm²), una vez abierto este camino se produce una caída de presión regulándose la bomba para obtener la velocidad deseada de inyección. La inyección se continua en los siguientes manguitos de una manera continua en cada taladro hasta la terminación total del mismo.



Excavación de arena de miga una vez tratada con gel de sílice.

Es muy importante en estos trabajos el control exhaustivo de los parámetros que le afectan. Como ejemplo podemos decir que el tiempo de gelificación, para una misma dosificación se multiplica por 2 cuando la temperatura de la mezcla baja de 20° C a 10° C y se reduce a la mitad cuando esta temperatura pasa de 20° C a 30° C. La disposición del silo de almacenaje del silicato, su insolación así como la diferencia de temperatura del suministro del mismo y la del agua de adicción a veces es grande y obliga para mantener un mismo tiempo de gelificación a variar la dosificación sin a la vez cambiar las características mecánicas de la mezcla endurecida.

Otro factor a considerar es la utilización de impulsión continua no siendo válidas en estos trabajos la impulsión neumática ya que esta segunda produce regímenes turbulentos de circulación que fácilmente rompen el terreno siendo necesario para conseguir una penetración que impregne sin rotura la utilización de regímenes de circulación laminares.

Estos tratamientos que dan buenos resultados, pueden producir grandes fracasos siendo los motivos normales de los mismos.

- Dosificación no precisa y tiempo de gelificación no adecuado se producen endurecimientos previos que imposibilitan la inyección o bien por un exceso de tiempo se produce una disolución del gel en corrientes de agua.
- Capas de terreno no inyectables por impregnación y en consecuencia rotura del mismo.
- Perforación descuidada que altere el terreno, este si está roto hará que todo el gel se va por los caminos de rotura abiertos, no impregnándose la masa.
- Inyección discontinua e irregular.
- Utilización de obturadores no estancos con el riesgo a quedarse agarrados dentro del taladro.
- Obras realizadas previamente en las proximidades del terreno a tratar, una excavación siempre afecta al terreno próximo, rompiendo su homogeneidad y en consecuencia la inyectabilidad de su masa.