

Junio 2001

### TÍTULO

**Ejecución de trabajos geotécnicos especiales**

**Inyección**

*Execution of special geotechnical work. Grouting.*

*Exécution des travaux géotechniques spéciaux. Injection.*

### CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 12715 de julio 2000.

### OBSERVACIONES

### ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 103 *Geotecnia*.



ICS 93.020

Versión en español

## **Ejecución de trabajos geotécnicos especiales Inyección**

**Execution of special geotechnical work.  
Grouting.**

**Exécution des travaux géotechniques  
spéciaux. Injection.**

**Ausführung von besonderen  
geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau).  
Injektionen.**

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2000-06-09. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

**CEN**  
**COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN**  
European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung  
**SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles**

## ÍNDICE

	Página
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>6</b>
<b>1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>2 NORMAS PARA CONSULTA.....</b>	<b>7</b>
<b>3 DEFINICIONES Y SÍMBOLOS .....</b>	<b>8</b>
3.1 Definiciones.....	8
3.2 Símbolos y unidades.....	9
<b>4 INFORMACIONES NECESARIAS .....</b>	<b>10</b>
<b>5 RECONOCIMIENTO DEL TERRENO .....</b>	<b>11</b>
5.1 Generalidades.....	11
5.2 Ensayos de permeabilidad.....	12
5.3 Pruebas de campo y ensayos de inyección.....	13
<b>6 MATERIALES Y PRODUCTOS .....</b>	<b>13</b>
6.1 Prescripciones generales.....	13
6.2 Materiales para las mezclas de inyección.....	14
6.3 Mezcla de inyección .....	15
6.4 Toma de muestras y ensayos .....	17
<b>7 CONSIDERACIONES RELATIVAS AL PROYECTO .....</b>	<b>18</b>
7.1 Generalidades.....	18
7.2 Datos de base y objetivos.....	18
7.3 Principios y métodos de inyección .....	19
7.4 Mezcla de inyección .....	21
7.5 Colocación de la mezcla .....	24
7.6 Criterios de seguimiento y control.....	25
<b>8 EJECUCIÓN .....</b>	<b>26</b>
8.1 Generalidades.....	26
8.2 Perforación .....	27
8.3 Preparación de la mezcla de inyección .....	27
8.4 Puesta en obra de la mezcla de inyección.....	29
8.5 Fases de inyección .....	30
<b>9 SUPERVISIÓN Y CONTROL DE LOS TRABAJOS.....</b>	<b>31</b>
9.1 Generalidades.....	31
9.2 Supervisión .....	31
9.3 Seguimiento y control .....	31
<b>10 DOCUMENTACIÓN DE LOS TRABAJOS .....</b>	<b>34</b>
<b>11 ASPECTOS PARTICULARES (MEDIO AMBIENTE, SEGURIDAD EN OBRA) .....</b>	<b>35</b>
11.1 Seguridad de las personas .....	36
11.2 Protección del medio ambiente .....	36

	<b>Página</b>
<b>ANEXO A (Informativo) MEDIDA DE LOS PARÁMETROS DE MEZCLA DE INYECCIÓN.....</b>	<b>38</b>
<b>ANEXO B (Informativo) GLOSARIO .....</b>	<b>42</b>
<b>ANEXO C (Informativo) GRADO DE CUMPLIMIENTO DE LAS CLÁUSULAS .....</b>	<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>57</b>

## ANTECEDENTES

Esta norma europea ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 188 *Ejecución de trabajos geotécnicos especiales*, cuya Secretaría desempeña AFNOR.

Esta norma europea deberá recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de enero de 2001, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deberán anularse antes de finales de enero de 2001.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, los organismos de normalización de los siguientes países están obligados a adoptar esta norma europea: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

Este documento ha sido elaborado por el grupo de trabajo 6 (WG 6) del CEN/TC 288. La misión general del CEN/TC 288 es la de normalizar los procedimientos de ejecución de los trabajos geotécnicos (incluyendo los métodos de ensayo y de control) así como las propiedades requeridas para los materiales. El WG 6 se ha encargado del tema relativo a los trabajos de inyección, incluyendo la inyección de compactación.

Este documento ha sido elaborado para complementar a la Norma Europea Experimental ENV 1997 Parte 1: Eurocódigo 7. Parte 1: Proyecto geotécnico Reglas generales. La presente norma sólo trata del proyecto en caso necesario, pero cubre totalmente las exigencias en materia de ejecución y de supervisión.

Ha sido elaborado por un grupo de trabajo compuesto por delegados de nueve países contando con más de diez códigos de aplicación preexistentes nacionales e internacionales. Habida cuenta de las diferentes técnicas de inyección empleados internacionales, puede ser necesario completar esta norma o alguna de sus partes mediante documentos nacionales que contemplen situaciones locales específicas.

Los anexos A, B y C son informativos.

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma se aplicará a la ejecución, a los ensayos y al seguimiento de los trabajos de inyección. Debido al abandono de la Norma Europea Experimental ENV 1997-4, se han incluido algunos aspectos particulares relativos al proyecto.

La inyección de ámbito geotécnico (inyección geotécnica) es un procedimiento que consiste en introducir a distancia en el terreno un material que pueda ser bombeado, el control del proceso se asegurará indirectamente ajustando las características reológicas del fluido bombeado y los parámetros de puesta en obra (presión, volumen y caudal).

La presente norma incluye los principios y métodos de inyección geotécnicos en situaciones de:

- inyección con desplazamiento de terreno (inyección de compactación, inyección por fracturación hidráulica);
- inyección sin desplazamiento de terreno (impregnación, inyección de fisuras, inyección de colmatación).

Esta norma no se aplica a los trabajos específicos de inyección asociados con tratamiento de estructuras o de emergencia.

## 2 NORMAS PARA CONSULTA

Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Las revisiones o modificaciones posteriores de cualquiera de las publicaciones referenciadas con fecha, sólo se aplican a esta norma europea cuando se incorporan mediante revisión o modificación. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de esa publicación.

EN 196-1 – *Métodos de ensayos de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas.*

EN 196-2 – *Métodos de ensayos de cementos. Parte 2: Análisis químico de cementos.*

EN 196-3 – *Métodos de ensayos de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y estabilidad de volumen.*

EN 196-4 – *Métodos de ensayos de cemento - Parte 4: Determinación cuantitativa de componentes.*

EN 196-5 – *Métodos de ensayos de cementos. Parte 5: Ensayo de puzolanidad para cementos puzolánicos.*

prEN196-8:1997 – *Métodos de ensayos de cementos. Parte 8: Calor de hidratación. Método de disolución.*

prEN196-9:1997 – *Métodos de ensayos de cementos. Parte 9: Calor de hidratación. Método semi-adiabático.*

prEN197-1:2000 – *Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.*

ENV 451 – *Métodos de ensayos de cenizas volantes.*

ENV 480-1 – *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de ensayo. Parte 1: Hormigón y mortero de referencia para ensayos.*

EN 480-2 – *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de ensayo. Parte 2: Determinación del tiempo de fraguado.*

EN 480-3:1991 – *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de ensayo. Parte 3: Determinación de la retracción y la expansión.*

EN 480-4 – *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de ensayo. Parte 4 : Determinación de la exudación del hormigón.*

EN 480-5 – *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de ensayo. Parte 5: Determinación de la absorción capilar.*

EN 480-6 – *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de ensayo. Parte 6: Análisis infrarrojo.*

prEN 480-7:1991 – *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de ensayo. Parte 7: Determinación de la densidad de los aditivos líquidos.*

EN 480-8 – *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de ensayo. Parte 8: Determinación del extracto seco convencional.*

prEN 480-9:1991 – *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de ensayo. Parte 9: Determinación del valor del PH.*

EN 480-10 – *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de ensayo. Parte 10: Determinación del contenido de cloruros solubles en agua.*

EN 480-11 – *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de ensayo. Parte 11: Determinación de las características de los huecos de aire en el hormigón endurecido.*

EN 480-12 – *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de ensayo. Parte 12: Determinación del contenido en alcalinos de los aditivos.*

prEN 934-1 – *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 1: Definiciones y requisitos generales para todos los tipos de mezclas.*

prEN 934-3:1998 – *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 3: Aditivos para morteros de albañilería, definiciones, requisitos y conformidad.*

EN 934-4 – *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 4: Aditivos para pastas para cables de pretensado. Definiciones, requisitos y conformidad.*

EN 934-6 – *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 6: Toma de muestras, control y evaluación de la conformidad, marcado y etiquetado.*

ENV 1997-1:1994 – *Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico. Parte 1: Reglas generales.*

### 3 DEFINICIONES Y SÍMBOLOS

#### 3.1 Definiciones

Las definiciones dadas en este capítulo se refieren únicamente a los términos más importantes referentes a la inyección geotécnica. Las definiciones complementarias se darán en el anexo B.

**3.1.1 inyección de relleno (en: bulk filling; fr: injection de comblement; de: Hohlraumverfüllung):** Puesta en obra de una mezcla rica en partículas para rellenar huecos importantes.

**3.1.2 inyección de compactación (en: compaction grouting; fr: injection solide; de: Verdichtungsinjektion (Kompaktionsinjektion):** Método de inyección con desplazamiento de terreno cuando en principio se trata de introducirlo en el suelo sin fracturarlo una mezcla de inyección que tenga un rozamiento interno elevado.



**3.1.3 inyección de contacto (en: contact grouting; fr: injection de contact; de: Kontaktinjektion):** Inyección de una mezcla entre el terreno y una estructura construida.

**3.1.4 inyección con desplazamiento (en: displacement grouting; fr: injection avec déplacement des terrains; de: Verdrängungsinjektion):** Inyección de una mezcla en un medio con objeto de deformarlo, comprimirlo o desplazarlo

**3.1.5 presión efectiva (en: effective pressure; fr: pression effective; de: wirksamer Druck):** Presión real de una mezcla que actúa sobre el terreno.

**3.1.6 inyección de fisuras (en: fissure grouting; fr: injection de fissure; de: Kluftinjektion):** Inyección de una mezcla en las fisuras, las juntas, fracturas y discontinuidades o en terreno rocoso.

**3.1.7 inyección por gravedad (en: gravity grouting; fr: injection gravitaire; de: drucklose Verfüllung):** Inyección bajo la presión debida únicamente a la altura del fluido sobre la perforación. A veces llamada inyección por caída.

**3.1.8 mezcla de inyección (en: grout; fr: coulis; de: Injektionsgut):** Material apto para el bombeo (suspensión, solución, emulsión o mortero) que se inyecta en un suelo o una roca y que fragua y endurece con el tiempo.

**3.1.9 presión de inyección (en: grouting pressure; fr: pression d'injection; de: Injektionsdruck):** Presión aplicada durante los trabajos de inyección, medida en puntos definidos (generalmente en la salida de la bomba o en boca de perforación).

**3.1.10 fracturación hidráulica (inyección de claquage) (en: hydraulic fracturing (hydraulic fracture, claquage grouting); fr: fracturation hydraulique (injection de claquage); de: Hydraulische Rissbildung (Claquage):** Fracturación del terreno, inicialmente provocada por inyección de agua o de una mezcla a una presión superior a la presión de confinamiento, y resistencia a tracción del terreno. Igualmente llamada hidrofracturación, hidrofraccionamiento o claquage.

**3.1.11 inyección de impregnación (en: penetration grouting; fr: injection de pénétration; de: Eindringinjektion):** Inyección de la mezcla de inyección en las juntas o en las fracturas de la roca o en los huecos del suelo, sin desplazamiento del terreno. El termino incluye la inyección de permeación, de fisuras y de contacto.

**3.1.12 inyección de permeación (en: permeation (impregnation) grouting; fr: injection d'imprégnation; de: Poreninjektion (Imprägnation durch Porenverfüllung):** Sustitución del agua o gas intersticial de un medio poroso por una mezcla a una presión de inyección suficientemente baja como para evitar el desplazamiento del terreno.

**3.1.13 inyección sin desplazamiento de terreno (en: non-displacement grouting; fr: injection sans déplacement des terrains; de: Verdrängungsfreie Injektion (Injektion ohne Baugrundverdrängung):** Sustitución por una mezcla o un mortero, del fluido intersticial natural que se encuentra en los huecos accesible de un terreno sin desplazamiento significativo del terreno. El termino incluye la inyección de impregnación y relleno.

**3.1.14 Suspensión estable (en: stable suspension; fr: suspension stable; de: stabile Suspension):** Suspensión que muestra en 2 horas, a una temperatura de 20°C un exudado de agua limpia inferior al 5% en la parte superior de una probeta cilíndrica de 1 000 ml y de 60 mm de diámetro inferior.

## **3.2 Símbolos y unidades**

Los símbolos y unidades siguientes se utilizarán en esta norma:

Símbolos	Denominación	Unidad
T	Temperatura	[°C]
V	Volumen inyectado	[m <sup>3</sup> ]
P	Presión de inyección	[Pa]
Q	Caudal de inyección	[m <sup>3</sup> /s] o [l/s]
k	Permeabilidad intrínseca (absoluta) <sup>1)</sup>	[m <sup>2</sup> ]
K	Coeficiente de permeabilidad	[m/s]
i	Gradiente hidráulico	[adimensional]
d10, d15 D85, D90	Dimensiones máximas del 10,15% de partículas menores de la mezcla de inyección Dimensiones máximas del 85,90% de partículas menores de la mezcla de inyección	[mm]
t	Tiempo de fraguado	[s]
$\sigma_c$ $\tau_f$	Resistencia a compresión Resistencia a cortante	[Pa]
$\sigma$ $\tau$	Tensión normal Tensión tangencial	[Pa]
$\varepsilon$	Deformación	[adimensional]
$\dot{\gamma}$	Velocidad de deformación a cortante	[s <sup>-1</sup> ]
$\mu_{app}$ $\eta$ $\nu$	Viscosidad (aparente) (dinámica) (cinemática)	[Pa.s], [kg/m.s] [Pa.s] [m <sup>2</sup> /s]
c	Cohesión (o rigidez)	[Pa]
$\tau_o$	Límite de fluencia a cortante	[Pa]
$\rho$	Densidad	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\gamma$	Peso específico	[kN/m <sup>3</sup> ]
$t_M$	Tiempo de paso (como Marsh)	[s]
R	Radio de acción	[m]
<p>1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup> = 10<sup>-5</sup> bar</p> <p>1) En geotecnia, es habitual utilizar el símbolo k para el coeficiente de permeabilidad, sin embargo, nosotros nos referiremos aquí a los parámetros generalmente utilizados en mecánica de rocas y de fluidos.</p>		

#### 4 INFORMACIONES NECESARIAS

**4.1** Toda información relevante para la ejecución de los trabajos de inyección deberá suministrarse con las prescripciones de la obra.

**4.2** Antes de acometer los trabajos deberá disponerse en obra la siguiente información técnica:

- estado y limitaciones del lugar, por ejemplo, dimensiones, pendiente y acceso;
- restricciones en el trabajo incluyendo las restricciones medioambientales, legales o estatutarias;

- cualquier tipo de contaminación del subsuelo, o de riesgos susceptibles de afectar al método de ejecución de los trabajos o de la seguridad del medioambiente;
- datos del proyecto y especificaciones de los trabajos.

**4.3** Antes del comienzo de los trabajos es recomendable que las informaciones técnicas siguientes estén disponibles en obra:

- condiciones geológicas y geotécnicas (véase el capítulo 5);
- coordenadas del lugar con referencia a la cuadrícula nacional;
- existencia, emplazamiento y estado de las estructuras adyacentes, por ejemplo edificios, carreteras, redes de suministro, infraestructuras y sus cimentaciones;
- todas las actividades simultáneas o posteriores susceptibles de afectar a los trabajos (por ejemplo bombeo o recarga de aguas subterráneas, perforación de túneles o ejecución de otras excavaciones profundas);
- cualquier experiencia anterior en materia de inyección u otros trabajos subterráneos en el lugar o en sus proximidades y toda la experiencia de trabajos comparables en condiciones similares;
- cualquier información útil para el establecimiento de planos y procedimientos de ejecución (cuando sean exigidos);
- cualquier prescripción complementaria relativa a la supervisión, seguimiento o comprobación de los trabajos.

**4.4** Los siguientes aspectos deberán ser revisados antes del comienzo de la obra y estar disponibles en forma escrita en la obra:

- prescripciones y asignación de las tareas de vigilancia del estado de las estructuras adyacentes, carreteras, servicios, etc a llevar a cabo antes, durante y después de los trabajos;
- procedimientos y criterios específicos para la verificación, el seguimiento y la recepción de los trabajos de inyección;
- división precisa de las tareas relativas al proyecto, ejecución, interpretación de los resultados y recepción de los trabajos.

## **5 RECONOCIMIENTO DEL TERRENO**

### **5.1 Generalidades**

**5.1.1** Las prescripciones generales para el reconocimiento del terreno están reflejadas en los capítulos 3 y 7 de la Norma Europea Experimental ENV 1997-1:1994, así como en los documentos nacionales de aplicación.

**5.1.2** Para efectos de cálculo, el reconocimiento del terreno debería:

- proveer una información geotécnica completa;
- establecer la inyectabilidad del terreno;
- proporcionar una base que permita la selección de los tipos de mezcla de inyección.

**5.1.3** Para la ejecución se recomienda que el informe geotécnico aporte las siguientes informaciones:

- características físicas y químicas relevantes en el terreno;
- la cota del suelo en los lugares de investigación y ensayo con relación a una referencia conocida;

- emplazamiento, nivel de cimentación y estado de las estructuras existentes o previstas;
- presencia de cualquier anisotropía u horizontes permeables susceptibles de afectar a los trabajos de inyección;
- orientación, frecuencia, y apertura de fisuras en rocas, así como naturaleza y composición de cualquier material de relleno de las mismas;
- emplazamiento y naturaleza de las cavidades abiertas o rellenas;
- presencia de obstáculos que precisen de métodos o equipos especiales para la perforación o la inyección;
- presencia y características de terrenos susceptibles de reblandecerse, aflojarse o hacerse inestables, disolverse, colapsar o hinchar como resultado de la perforación o de la inyección;
- niveles de agua subterránea, gradientes de flujo y sus variaciones con el tiempo;
- capas de permeabilidad elevadas o que sean objeto de fuertes circulaciones de agua;
- temperatura, composición química, el contenido en materia orgánica y en bacterias de las aguas subterráneas o del terreno, si fuera presumible que su presencia causara daños.

**5.1.4** Se recomienda que el modelo geológico y geométrico, así como la estructura de los huecos y su previsible evolución, se detallen en el informe geotécnico. Se recomienda que la precisión y los límites de este modelo se indiquen claramente.

**5.1.5** Se recomienda indicar, cuando sea adecuado, los siguientes datos específicos de perforación:

- localización y causa de las pérdidas de testigo;
- zonas de inestabilidad y medidas necesarias para remediarla;
- nivel de agua al principio y al final de una maniobra zonas de pérdida o recuperación del agua de perforación, medidas del retorno de este agua, color o cambio de color del agua de perforación;
- comportamiento del avance de maniobra (movimiento discontinuo, rápido, regular o estable);
- registro de los parámetros de perforación en caso de avance a destroza;
- velocidad de avance.

**5.1.6** Se tendrá gran cuidado cuando se investigue el terreno para inyección en zonas de terrenos con un estado tensional muy alto y en zonas contaminadas:

- para inyecciones en zonas de tensiones, elevadas, se investigaran el estado tensional *in situ* antes de iniciar el proyecto de inyección;
- cuando se inyecten geles orgánicos en suelos contaminados, se hará un estudio bacteriológico del agua subterránea y del terreno.

**5.1.7** Las perforaciones de reconocimiento se rellenarán convenientemente si no se van a utilizar posteriormente.

## **5.2 Ensayos de permeabilidad**

**5.2.1** El coeficiente de permeabilidad de los terrenos podrá ser:

- determinado a partir de los ensayos de permeabilidad *in situ* o de ensayos de bombeo a gran escala;
- evaluado a partir de los ensayos de laboratorio efectuados sobre muestras de suelo inalteradas intactos o recompactadas;
- evaluado a partir de las curvas granulométricas y/o de la densidad del terreno.

**5.2.2** Se recomienda establecer correlaciones apropiadas con las permeabilidades reales observadas *in situ*.

**5.2.3** En terrenos rocosos, se recomienda que en cada perforación de reconocimiento se realicen ensayos de absorción de agua para identificar las zonas acuíferas o de estructura abiertas. Se recomienda que la perforación se ensaye en el curso del avance o después de terminada utilizando obturadores.

**5.2.4** Se prestará una atención especial al aislamiento de las zonas artesanas antes de efectuar los ensayos.

**5.2.5** Los ensayos LUGEON se utilizan en terrenos rocosos a fin de obtener una imagen general de la transmisividad del terreno. No proporcionan necesariamente una indicación fiable de la absorción de una mezcla específica.

### **5.3 Pruebas de campo y ensayos de inyección**

**5.3.1** Las pruebas de inyección en campo se efectuarán a fin de determinar o de validar un método de inyección. Estas pruebas de campo se consideran como parte integrante del estudio geotécnico. Si éste no fuera el caso, se recomienda realizar las pruebas de campo durante la fase final de la elaboración del proyecto o durante la primera parte de la fase de ejecución. Se recomienda hacer estas pruebas si el estudio geotécnico y las experiencias locales o casos comparables sean insuficientes para validar o justificar la eficacia del proyecto de inyección. Las pruebas de campo se destinan a dar información sobre la separación entre las perforaciones la presión de inyección y la absorción y tipo de la mezcla de inyección.

**5.3.2** Las pruebas de inyección se deberán programar y ejecutar en estrecha colaboración con el autor del programa definitivo de inyección.

**5.3.3** Se recomienda establecer los criterios límites de las propiedades de la mezcla de inyección propuesta, en base a la experiencia adquirida en el curso de las pruebas de inyección.

**5.3.4** Se deberán conservar los informes detallados de cada operación realizada durante los ensayos de inyección.

**5.3.5** Es posible obtener en laboratorio una indicación sobre las condiciones *in situ* a partir de los ensayos de impregnación de suelo reconstituido con una mezcla de inyección de ensayo. Las medidas de permeabilidad efectuadas antes y después de la inyección de la muestra pueden proveer información que facilite la decisión relativa al reparto de los puntos de inyección, las propiedades deseables de la mezcla de inyección, y la previsión de los volúmenes de mezcla de inyección necesarios.

## **6 MATERIALES Y PRODUCTOS**

### **6.1 Prescripciones generales**

**6.1.1** Todos los componentes de la mezcla de inyección y todas las mezclas de inyección deberán satisfacer las condiciones particulares del proyecto y a las normas europeas y nacionales.

**6.1.2** La compatibilidad de todos los componentes de la mezcla de inyección entre si se deberá establecer. Así como la posible interacción entre la mezcla y el terreno.

**6.1.3** Una vez establecidas las procedencias de los materiales de la mezcla de inyección no se modificarán sin verificación de conformidad o mediante nuevos ensayos.

**6.1.4** Los materiales que no satisfagan las normas convenidas se retirarán inmediatamente de la obra.

## **6.2 Materiales para las mezclas de inyección**

### **6.2.1 Conglomerantes hidráulicos y cementos**

**6.2.1.1** Los conglomerantes hidráulicos incluyen todos los cementos y productos similares utilizados en suspensión acuosa para la constitución de la mezcla de inyección.

**6.2.1.2** Los conglomerantes hidráulicos o cementos ultrafinos se caracterizan por una dimensión granulométrica  $d_{95}$  inferior a 20  $\mu\text{m}$ .

**6.2.1.3** La curva granulométrica de los productos, en particular de los ultrafinos, se deberá conocer.

**6.2.1.4** Cuando se elija un tipo de conglomerantes para la mezcla de inyección, se recomienda considerar su distribución granulométrica con relación a las dimensiones de las fisuras o de los intersticios del terreno a tratar.

**6.2.1.5** Los cementos están recogidos en los proyectos de Norma Europea prEN 197-1:2000 y prEN 197-2:2000. Los métodos de ensayo de los cementos están recogidos en la Norma Europea EN 196. Las propiedades o los métodos específicos en los trabajos de inyección y que difieren de aquellos mencionados en las normas indicadas anteriormente son el objeto de la presente norma.

### **6.2.2 Materiales arcillosos**

**6.2.2.1** Las arcillas naturales, las bentonitas activadas o modificadas se pueden añadir a la mezcla a base de cemento a fin de reducir la exudación y el filtrado bajo presión, modificar la viscosidad y la cohesión (límite de fluencia) o mejorar su aptitud para ser bombeada.

**6.2.2.2** Se recomienda disponer de la curva granulométrica y la composición mineralógica, del contenido en agua y el límite líquido de Atterberg de la arcilla.

### **6.2.3 Arenas, gravas y fillers**

**6.2.3.1** Las arenas y los fillers se utilizan corrientemente en las mezclas a base de cemento o en las suspensiones arcillosas para darles cuerpo, para modificar su consistencia, su resistencia al deslave, o su resistencia mecánica y deformabilidad.

**6.2.3.2** Las arenas o las gravas naturales se pueden añadir a las mezclas a condición de que no contengan productos nocivos.

**6.2.3.3** Se deberá conocer la curva granulométrica de arenas y fillers utilizados en las mezclas.

### **6.2.4 Agua**

**6.2.4.1** Se recomienda que las aguas de origen natural disponibles en obra sean analizadas (en particular el contenido en cloruros, sulfatos y materia orgánica) y aprobadas.

**6.2.4.2** El agua de mar se podrá utilizar a condición de que no afecte negativamente a las propiedades de la mezcla.

### **6.2.5 Productos químicos y aditivos**

**6.2.5.1** Los productos químicos tales como los silicatos y sus reactivos, los materiales a base de lignina las resinas acrílicas o epoxy, poliuretanos u otros se podrán utilizar para los trabajos de inyección, a condición de que cumplan la legislación en materia medioambiental.

**6.2.5.2** Se deberán tener en cuenta los efectos de todos los productos y subproductos resultantes de la reacción de las sustancias químicas con los otros componentes de la mezcla o con el medioambiente.

**6.2.5.3** Los aditivos son productos orgánicos o inorgánicos que se añaden en pequeña cantidad en el curso de la elaboración de la mezcla a fin de modificar sus propiedades y controlar parámetros tales como la viscosidad, tiempo de fraguado, estabilidad y resistencia, durabilidad, cohesión y permeabilidad después de puesta en obra.

**6.2.5.4** Los aditivos a las mezclas de inyección tales como superplastificantes, los agentes de retención de agua, los aireantes y otros, son objeto de las partes 1, 3, 4 y 6 de los proyectos de Norma Europea prEN 934-2 y prEN 480-1 al 480-12.

## 6.2.6 Otros materiales

**6.2.6.1** Existe la posibilidad de utilizar filleres calcáreos o de sílice en las mezclas, cenizas volantes de centrales térmicas, puzolanas, así como cualquier componente inerte o reactivo, a condición de que sean químicamente compatibles con el resto y que satisfagan las prescripciones medioambientales a corto y largo plazo.

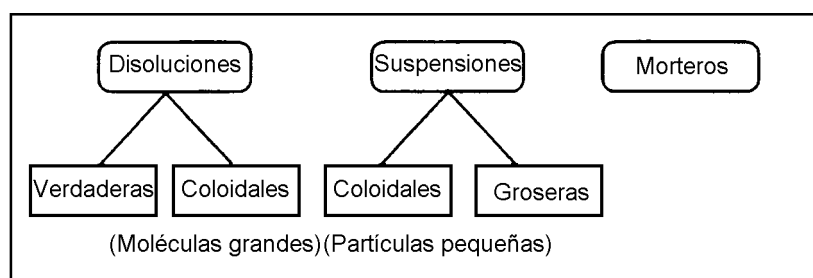
**6.2.6.2** Los métodos de ensayo para las cenizas volantes se tratan en la Norma Europea Experimental ENV 451. Los métodos específicos para los trabajos de inyección y diferentes de los expuestos en la Norma Europea Experimental ENV 451 son objeto de la presente norma.

## 6.3 Mezcla de inyección

### 6.3.1 Generalidades

**6.3.1.1** Las mezclas de inyección se clasifican como sigue:

- suspensiones: groseras o coloidales;
- disoluciones: verdaderas o coloidales;
- morteros.



**Fig. 1 – Clasificación de las mezclas de inyección**

**6.3.1.2** Las propiedades intrínsecas siguientes se deberán tomar en cuenta en la elección de una mezcla de inyección:

- reología (viscosidad, cohesión, etc) tiempo de fraguado, estabilidad;
- composición granulométrica, si ha lugar;
- resistencia y durabilidad;
- toxicidad.

**6.3.1.3** Los principales parámetros que definen las propiedades de las mezclas de inyección antes y después de su fraguado se enumeran como sigue:

**Tabla 1**  
**Parámetros característicos de las propiedades de la mezcla**

	<b>Soluciones</b>	<b>Suspensiones</b>	<b>Mezcla de inyección</b>
<b>Antes del fraguado</b>	Tiempo de fraguado, densidad, pH, tensión superficial, tiempo de fluidez, tiempo de formación de película, tiempo de gelificación, viscosidad, cohesión, tixotropía	Tiempo de fraguado, densidad, pH, granulometría, viscosidad, cohesión, límite plástico tixotropía, estabilidad capacidad de retención de agua	Tiempo de fraguado, densidad, pH, granulometría, viscosidad, docilidad, capacidad de retención de agua
<b>Después del fraguado</b>	Endurecimiento, resistencia final, pH, deformabilidad, durabilidad, retracción, dilatación, resistencia a cortante, sinéresis. (Disoluciones a base de silicato)	Tiempo de endurecimiento, resistencia final, deformabilidad, durabilidad, retracción, expansión, densidad, resistencia a cortante	Tiempo de endurecimiento, resistencia final, deformabilidad, durabilidad, retracción, expansión

### **6.3.2 Suspensiones**

**6.3.2.1** Las suspensiones se caracterizan por:

- la granulometría de las partículas sólidas;
- la relación agua/sólido;
- la velocidad de sedimentación y su exudación;
- la capacidad de retención de agua por filtración a presión;
- las propiedades reológicas y su comportamiento en el tiempo.

**6.3.2.2** Se recomienda determinar la curva granulométrica de las suspensiones ultrafinas con un granulometro láser o un instrumento alternativo de precisión comparable.

**6.3.2.3** Se deberá tener en cuenta la tendencia de los sólidos en suspensión a flocular (especialmente en suspensiones ultrafinas).

**6.3.2.4** La tendencia de los sólidos en suspensión a depositarse en el agua bajo la acción de fuerzas gravitatorias y de las suspensiones a exudar bajo los efectos de la presión, se deberá considerar tomando en cuenta la naturaleza y las características del medio en que se inyecta.

**6.3.2.5** Se recomienda preparar las suspensiones arcillosas coloidales de forma que las partículas de arcilla estén bien defloculadas o hidratadas antes de la inyección.

### **6.3.3 Disoluciones**

**6.3.3.1** Ciertos tipos de mezcla de inyección silicatadas no son estables en el tiempo y su utilización debe ser previamente contrastada.

**6.3.3.2** Los geles de silicato con reactivos orgánicos podrán entrañar la proliferación de bacterias en el terreno.



**6.3.3.3** El efecto de la sínéresis, en particular a largo plazo, sobre las propiedades del terreno y sobre los alrededores, se deberá evaluar antes del tratamiento.

**6.3.3.4** Se deberá tener en cuenta el efecto de las variaciones de temperatura sobre el comportamiento de la mezcla durante su fabricación y puesta en obra.

**6.3.3.5** Se deberá prestar atención especial a:

- la toxicidad de cada componente de una resina;
- el riesgo de la disolución de la mezcla en el agua subterránea, lo que podría alargar el tiempo de fraguado o inhibir la reacción química;
- la toxicidad de cualquier sustancia liberada en la capa freática si la reacción química no fuera completa o resultara modificada por el terreno a inyectar.

**6.3.3.6** Las resinas se utilizan generalmente en las situaciones indicadas en la tabla 2:

**Tabla 2**  
**Aplicación de resinas**

Tipo de resina	Tipo de terreno	Utilización/Aplicación
Acrílica	Suelo granular	Reducción de la permeabilidad
	Roca con fisuras finas	Aumento de la resistencia
Poliuretano	Huecos importantes	Formación de espuma para bloquear la llegada de agua (resinas acuoreactivas) estabilización o relleno localizado de huecos (resinas con dos componentes)
Fenólica	Arena fina y grava arenosa	Consolidación y rigidización
Epoxy	Roca fisurada	Aumento de la resistencia. Reducción de la permeabilidad

#### **6.3.4 Mezcla de inyección**

**6.3.4.1** Las mezclas de inyección que presenten un rozamiento interno elevado se utilizarán para inyección de compactación o para relleno de huecos. Su comportamiento reológico está habitualmente caracterizado por los ensayos del cono de Abrams (trabajabilidad ver tabla A1).

**6.3.4.2** Las mezclas que fluyen bajo su propio peso se utilizarán generalmente para rellenar cavidades, grietas grandes, fisuras abiertas, y huecos en los suelos granulares. Deberán ser estables y su comportamiento reológico (parecido al de la suspensión) se caracteriza generalmente por el tiempo de paso por un cono apropiado.

**6.3.4.3** Cuando la mezcla se utiliza para inyección de compactación, se recomienda que contenga al menos un 15% de finos inferiores a 0,1 mm.

#### **6.4 Toma de muestras y ensayos**

**6.4.1** Los materiales constituyentes de la mezcla de inyección, así como la misma mezcla, deberán ser regularmente muestreados y controlados a fin de verificar su conformidad con las prescripciones del proyecto.

**6.4.2** Los métodos de ensayo normalizados (equipamiento, condiciones de ensayo, análisis) se deberán emplear para permitir comparar las características del producto que proviene de diferentes suministradores.

**6.4.3** Se recomienda que la temperatura ambiente sea de 20 °C para los ensayos de una mezcla efectuados en laboratorio.

**6.4.4** Si las condiciones de la obra difieren de las del laboratorio (particularmente la temperatura) se deben hacer los ensayos en las condiciones que haya en la obra. Se debe anotar la variación de la temperatura en el curso del ensayo.

**6.4.5** La tabla A.1 presenta los métodos de ensayo para los principales parámetros de la mezcla de inyección.

## **7 CONSIDERACIONES RELATIVAS AL PROYECTO**

### **7.1 Generalidades**

**7.1.1** La norma de referencia relativa al proyecto de inyección es la Norma Europea Experimental ENV 1997-1:1994 Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico. Parte 1: Reglas generales.

**7.1.2** La presente norma complementa el documento anterior y establece las prescripciones y las recomendaciones adicionales para el proyecto y la ejecución de las aplicaciones de las inyecciones en geotecnia.

### **7.2 Datos de base y objetivos**

**7.2.1** Se recomienda diseñar y organizar un proyecto de inyección con la flexibilidad necesaria para poder adaptarlo en el curso de los trabajos a las condiciones imprevistas del suelo o al comportamiento variables del terreno tratado, durante la ejecución de los trabajos.

**7.2.2** Los principales objetivos de la inyección geotécnica son:

- la modificación de las propiedades hidráulicas/hidrogeológicas de los terrenos;
- la modificación de las propiedades mecánicas de los terrenos;
- el relleno de las cavidades naturales, las explotaciones mineras, y los huecos en contacto con la estructura;
- la creación de movimientos para compensar el asentamiento, estabilizar y corregir cimientos, losas y pavimentos.

**7.2.3** A fin de establecer un proyecto de inyección se dispondrá de la siguiente información:

- definición de los objetivos de la inyección y de los criterios de control;
- información adecuada acerca del terreno, en particular sobre los aspectos geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos (comprendida la química del agua) de interés para la inyección (véase el capítulo 5);
- limitaciones impuestas por consideraciones medioambientales, por la interferencia con las estructuras contiguas (estructuras y cimentaciones) o cualquier otro parámetro susceptible de influir sobre la elección de la mezcla de inyección y de la técnica de su puesta en obra;
- datos sobre otros proyectos de inyección realizados en la misma zona y en condiciones similares.

**7.2.4** Sobre la base del reconocimiento del suelo, de los ensayos de inyección y del proyecto, se examinarán los siguientes aspectos y se tratarán en los documentos de ejecución de la inyección:

- forma y volumen del terreno a tratar;
- propiedades medibles, a conseguir y mantener durante la vida útil del proyecto;
- método y distribución de las perforaciones;
- métodos y técnicas de inyección en obra;

- distancia entre los puntos de inyección;
- fase de inyección en función del tiempo, de la composición de la mezcla y del punto de inyección;
- límites admisibles, para los parámetros de inyección (presión de inyección, caudal y cantidad a inyectar);
- composición de la mezcla de inyección;
- ensayos y control *in situ* requeridos, antes, durante y después de la inyección;
- instrumentación necesaria para el seguimiento y obtención de datos.

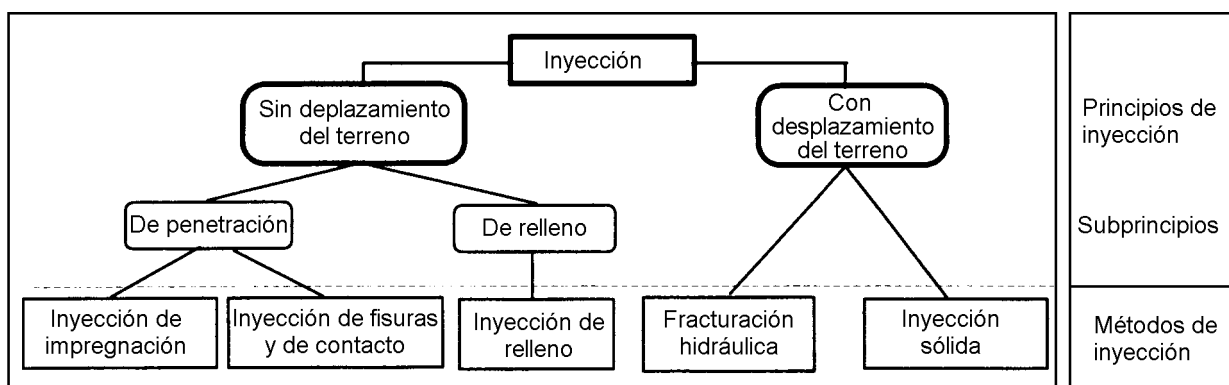
**7.2.5** Se recomienda vigilar los siguientes puntos durante los trabajos de inyección:

- la fiabilidad y alcance de los datos disponibles sobre el terreno a tratar;
- comportamiento requerido de la mezcla de inyección;
- la presencia de estructuras existentes y su estado;
- las modificaciones del estado tensional y de presión intersticial del terreno debido a las inyecciones, las condiciones hidrogeológicas existentes y las previstas tras de la realización de los trabajos;
- la toxicidad de los productos de inyección;
- las condiciones ambientales en las cuales los materiales de inyección se deben almacenar, mezclar e inyectar;
- la disponibilidad y seguridad del aprovisionamiento de los materiales de inyección;
- los condicionantes ambientales y de seguridad.

### 7.3 Principios y métodos de inyección

#### 7.3.1 Generalidades

**7.3.1.1** La introducción de la mezcla de inyección en un terreno puede hacerse con o sin desplazamiento del mismo. El diagrama siguiente representa los diferentes métodos de inyección asociados a estos principios.



**Fig. 2 – Principios y métodos de inyección**

**7.3.1.2** El termino “inyección de consolidación” se utiliza a veces para designar una mejora de las resistencias o de las características de deformación de un suelo por impregnación. El objetivo de la inyección de consolidación en los suelos o en las rocas es de reforzarlos de forma que no sufran deformaciones inadmisibles. En la medida en que este término no se refiere a un principio o a un método de inyección evitaremos utilizarlo.

**7.3.1.3** El término inyección de compensación se utilizará cuando el objetivo de la inyección sea compensar, simultáneamente con los trabajos, los asientos generados por la ejecución de túneles o de excavaciones.

### **7.3.2 Inyección sin desplazamiento del terreno**

#### **7.3.2.1 Inyección de permeación**

**7.3.2.1.1** La inyección de permeación apunta a rellenar con una mezcla apropiada los huecos accesibles entre los granos de un suelo permeable sin desorganizar el terreno. La inyección de permeación reduce la permeabilidad y en general aumenta la resistencia y la densidad del medio inyectado.

**7.3.2.1.2** Con el fin de evitar el desplazamiento de los terrenos, la inyección de permeación se deberá realizar con presiones y caudales cuidadosamente controlados.

#### **7.3.2.2 Inyección de fisuras e inyección de contacto**

**7.3.2.2.1** La inyección de fisuras trata de rellenar de mezcla de inyección las juntas, fracturas o fisuras abiertas de una masa rocosa, sin abrirlas ni crear otras nuevas, a fin de reducir la permeabilidad y/o incrementar la resistencia de la masa tratada.

**7.3.2.2.2** La frecuencia, la orientación, la extensión, la abertura, la rugosidad y el relleno de las discontinuidades se deberán conocer para la elaboración del proyecto.

#### **7.3.2.3 Inyección de relleno**

**7.3.2.3.1** La inyección de relleno se utilizara para rellenar las cavidades grandes naturales o artificiales. El término se aplica generalmente a la puesta en obra de volúmenes importantes de mezcla de inyección por gravedad a presión baja.

**7.3.2.3.2** Cuando se vierta un importante volumen de cemento en un espacio cerrado se deberán tener en cuenta la elevación local de las temperaturas y las tensiones inducidas.

**7.3.2.3.3** A la inyección de relleno puede seguir una fase de inyección bajo presión a fin de rellenar los huecos residuales.

### **7.3.3 Inyección con desplazamiento del terreno**

#### **7.3.3.1 Prescripciones generales**

**7.3.3.1.1** La inyección con desplazamiento se refiere a la introducción de una mezcla bajo presión con la intención deliberada de desplazar el medio tratado. El término incluye los métodos de inyección tales como la inyección de compactación y la fracturación hidráulica (claquage) El método se utilizará para densificar un material plásticamente deformable, e incrementar el volumen de la masa tratada, cuando el límite de deformación plástica es alcanzado.

**7.3.3.1.2** Podremos utilizar la inyección con un desplazamiento controlado para reforzar los terrenos bajo las estructuras existentes.

#### **7.3.3.2 Fracturación hidráulica**

**7.3.3.2.1** (ST) La inyección por fracturación hidráulica se utiliza para:

- reforzar o estabilizar los terrenos (suelo o roca);
- levantar las estructuras de manera controlada;
- obtener la estanqueidad por tabicamiento.

**7.3.3.2.2** En razón de la dificultad para controlar la propagación de un plano de fractura hidráulica, se recomienda generalmente buscar el objetivo por medio de una serie de inyecciones sucesivas, repartidas en el tiempo.

### **7.3.3.3 Inyección de compactación**

**7.3.3.3.1** La inyección de compactación se refiere a la colocación de una mezcla cargada relativamente rígida (viscoso) con deformación y desplazamiento del terreno. La mezcla de inyección es generalmente extruida desde el extremo inferior de tubos de inyección. La consistencia de la mezcla de inyección es tal que forma una masa homogénea y que no se produce ninguna impregnación ni fracturación hidráulica del terreno. La inyección de compactación es en la mayoría de los casos, utilizada para compactar y densificar los terrenos flojos, así como para levantar y asentar las estructuras que se hayan movido.

**7.3.3.3.2** La malla final de las perforaciones de inyección se definirá en el curso de los trabajos en función de los resultados de los ensayos de control realizados en el centro de la malla primaria.

**7.3.3.3.3** La lentitud de disipación de las presiones intersticiales en los terrenos poco permeables se deberá tener en cuenta para las medidas de control.

## **7.4 Mezclas de inyección**

### **7.4.1 Tipos y composición**

**7.4.1.1** Los tipos y composición de las mezclas se deberán elegir en función de las condiciones del terreno y de las especificaciones de los trabajos.

**7.4.1.2** Se deberán consultar las normas nacionales para lo que concierna a las restricciones de uso de las mezclas de tipo particular.

### **7.4.2 Prescripciones generales**

**7.4.2.1** Para definir las especificaciones de las características de la lechada a inyectar, el proyecto deberá tener en cuenta:

- la finalidad del tratamiento;
- la colocación de la lechada, la cronología de las operaciones y las fases;
- las características del entorno;
- las propiedades reológicas de la lechada y sus variaciones en el tiempo, así como el contenido de agua de los integrantes sólidos de la mezcla;
- el tiempo de fraguado y endurecimiento de la lechada;
- la compatibilidad de las mezclas con los elementos del sistema de distribución de la lechada y con el terreno;
- las propiedades físicas después del fraguado;
- los efectos de la sinéresis sobre la estabilidad mecánica del terreno inyectado (para lechadas a base de silicato).

**7.4.2.2** Las condiciones ambientales siguientes se tendrán en cuenta en el proyecto:

- las dimensiones de las partículas sólidas (hidratadas) de la mezcla con relación a la de los huecos a rellenar, en particular las dimensiones accesibles de los poros (menor superficie de acceso) más que la porosidad;
- la permeabilidad del terreno a inyectar y la penetrabilidad de la mezcla;
- la composición química de las aguas subterráneas, de las aguas de amasado y de los terrenos;

- temperatura de la mezcla y del terreno;
- el riesgo y las consecuencias de la preparación, de la desecación de la lechada expuesta al aire;
- el impacto sobre el medioambiente de la preparación, distribución y colocación de la mezcla;
- su capacidad de contaminación.

**7.4.2.3** En las inyecciones de impregnación, se recomienda conocer, para un proyecto de mezclas, las dimensiones de los huecos interconectados del suelo (porosidad efectiva) o de las fisuras interconectadas de los terrenos rocosos. Esto se aplicará especialmente en suspensiones para las cuales se recomienda estudiar el criterio de filtro (comparación de las dimensiones de las partículas con las aberturas de poros) y la estabilidad de la mezcla bajo los gradientes de flujo. Se recomienda adaptar la rigidez de la mezcla, según el nivel de tratamiento deseado y la viscosidad según las presiones de inyección admisibles.

**7.4.2.4** La determinación de los tiempos de fraguado dependen:

- del volumen de mezcla a prepara y a inyectar;
- de la permeabilidad del terreno;
- de la porosidad efectiva del terreno;
- de los flujos subterráneos;
- del tiempo de inyección por fases;
- del tiempo previsto de colocación de una amasada de mezcla;

### **7.4.3 Parámetros y criterios**

**7.4.3.1** El proyecto de ejecución deberá indicar, para condiciones ambientales dadas los intervalos de variación y los valores medios de los siguientes parámetros de la mezcla:

- densidad, viscosidad, límite de plastificación o rigidez;
- resistencia al cizallamiento y a compresión;
- dimensiones de las partículas de cemento o conglomerante;
- capacidad de retención de agua;
- porcentajes relativos de reactivo y de silicato para los geles de silicato (grado de neutralización);
- velocidad de sedimentación.

**7.4.3.2** La tabla A.1 proporciona las condiciones en las que se miden los principales parámetros de cada familia de mezclas.

**7.4.3.3** Se recomienda que el proyecto indique los criterios de selección de una mezcla específica si se han revisado varias composiciones de las mezclas y las temperaturas mínimas y máximas admisibles para las mezclas durante su preparación y su puesta en obra.

**7.4.3.4** Para suelos, se podrá utilizar un factor de inyectabilidad tal como  $D_{10}/d_{90}$  o  $D_{15}/d_{85}$  para evaluar la penetrabilidad de mezclas granulares (véase el glosario). Para rocas se puede considerar la anchura de las fisuras con relación al tamaño máximo de las partículas (corrientemente se utiliza una relación de 3).

**7.4.3.5** Se recomienda fijar antes de iniciar los trabajos, los criterios límite de modificación de las composiciones de las mezclas definidas en el proyecto para los casos en que:

- las absorciones de lechada sobrepasen de manera significativa las previstas en el proyecto;

- no se obtiene la adecuación de la mezcla con la composición definida en el proyecto;
- los movimientos observados del terreno son inaceptables;

#### 7.4.4 Aplicabilidad

7.4.4.1 Los tipos de mezcla aplicables a la inyección de diferentes tipos de terreno se indican en la tabla 3.

**Tabla 3**  
**Indicación de la mezcla a emplear para diferentes terrenos**

Medio	Categoría	Inyección sin desplazamiento			Inyección con desplazamiento
		Impregnación	Fisura/contacto	Relleno	
Suelo granular	Grava, arena gruesa y grava arenosa $K > 5 \times 10^{-3}$ m/s	Suspensión de cemento puro suspensión de base cemento			
	Arena $5 \times 10^{-5}$ m/s $< K < 5 \times 10^{-3}$ m/s	Suspensiones microfina, disoluciones			Suspensión de base cemento, morteros
	Arena fina a media $5 \times 10^{-5}$ m/s $< K < 1 \times 10^{-4}$ m/s	Suspensiones, microfina, disoluciones, productos especiales			
Roca fisurada	Fallas, fracturas, karst $e > 100$ mm		Morteros de base cemento, suspensiones de base cemento (arcilla, fillers)	Mortero, suspensión de base cemento de fraguado rápido, espuma de poliuretano, otros productos reactivos al agua	
	Fracturas fisuras $0,1 \text{ mm} < e < 100 \text{ mm}$		Suspensión de base cemento, suspensiones microfina		
	Microfisuras $e < 0,1 \text{ mm}$		Suspensiones microfina, geles de silicato, productos especiales		
Cavidades	Huecos importantes			Mortero de base cemento de fraguado rápido, espuma de poliuretano, otros productos reactivos al agua	

e = Anchuras de las grietas

7.4.4.2 Las mezclas de inyección para sellado para los tubos con manguitos se deberán concebir para evitar desplazamientos de la mezcla en el espacio anular y para potenciar la fractura entre el terreno y el manguito.

## 7.5 Colocación de la mezcla

### 7.5.1 Generalidades

**7.5.1.1** Los métodos de colocación de la mezcla de inyección se deberán adaptar a cada obra y la elección se deberá dictar por la concepción del proyecto y el fin perseguido.

**7.5.1.2** Los procedimientos de inyección se rigen por:

- el volumen  $V$  de lechada por fase;
- la presión de inyección  $P$ ;
- el caudal de inyección o la velocidad de colocación  $Q$ ;
- la reología de la mezcla de inyección;

**7.5.1.3** Se recomienda indicar, para una mezcla definida en el proyecto, cómo adaptar  $Q$ ,  $V$  y  $P$  o su reología, en función del comportamiento esperado del terreno durante la ejecución de la inyección.

**7.5.1.4** En lo concerniente a la impregnación, se recomienda limitar el caudal de inyección (velocidad de ejecución)  $Q$ , de manera que la presión efectiva permanezca por debajo de la presión de fracturación del terreno.

**7.5.1.5** Se recomienda tener en cuenta los efectos de la variación de las presiones intersticiales inducida por el tratamiento, así como las modificaciones del estado tensional *in situ*.

### 7.5.2 Proyecto de implantación y realización de perforaciones

**7.5.2.1** El posicionamiento relativo de los puntos de inyección en el medio a tratar depende:

- de la forma del volumen a tratar;
- de los condicionantes geométricos que afecten a la posición de las perforaciones;
- de las tolerancias de dirección de las perforaciones;
- de la estimación del camino seguido por la mezcla de inyección en el terreno (radios de acción).

**7.5.2.2** El número, la posición, la distancia, la profundidad, el diámetro, la inclinación y la orientación de las perforaciones así como los puntos de inyección, se definirán sobre la base de las condiciones geológicas, del tipo de estructura a inyectar, de los resultados a obtener, del objetivo y del método de inyección, del tipo de mezcla de inyección empleado, de la presión de inyección y de la rapidez de absorción de la mezcla de inyección. El proyecto deberá contemplar las medidas apropiadas a tomar en caso de estas variaciones de parámetros.

**7.5.2.3** En la medida de lo posible, se recomienda fijar definitivamente las directrices del proyecto con la ayuda de ensayos de inyección en verdadera magnitud *in situ*.

**7.5.2.4** Las posiciones de todas las perforaciones de inyección proyectadas se indicarán en el plano y deberán ser numeradas.

**7.5.2.5** Para inyecciones de impregnación en terrenos rocosos, la posición relativa de los planos de estratificación y de las juntas o fracturas se tendrán en cuenta. Las perforaciones se deberán colocar en función de la orientación y de la distancia de las principales fracturas abiertas.

**7.5.2.6** Se tendrán en cuenta, en la elección del diámetro de perforación del tipo y del estado del macizo rocoso, así como la profundidad y la inclinación de las perforaciones, y esta elección deberá permitir la realización de todos los ensayos previstos en la perforación.



**7.5.2.7** Se recomienda prestar una atención particular a la limitación de las desviaciones de la perforación y tener en cuenta en el proyecto de implantación las tolerancias previstas. En general el eje de perforación no se deberá desviar de la orientación teórica en más de un 3% para longitudes no superiores a 20 m. Para perforaciones más largas se recomienda adaptar la malla de perforación para compensar las desviaciones.

### **7.5.3 Fases de la inyección**

**7.5.3.1** En su forma más simple, una fase comprende la inyección de un solo tipo de mezcla de inyección en un solo taladro.

**7.5.3.2** Una fase de puesta en obra se puede aplicar a varios tramos de taladro en muchos taladros, siendo cada tramo objeto de sucesivas fases con diferentes tipos de mezcla.

**7.5.3.3** El proyecto debe definir:

- la forma en que el tratamiento deba progresar en el volumen a inyectar (hacia el interior o exterior, de arriba a abajo, o de abajo arriba, etc.);
- el numero de fases de inyección;
- el numero de fases por tramo de perforación;
- el tipo de mezcla de inyección empleada para cada pasada.

### **7.5.4 Presión de inyección**

**7.5.4.1** En la practica corriente, la presión de inyección se medirá a la salida de la bomba y/o en la cabeza de la perforación. Esta "presión de trabajo" es diferente de la presión eficaz en el terreno debido a las variaciones de la carga hidráulica y de las perdidas de carga en el sistema de distribución de la mezcla de inyección.

**7.5.4.2** En los suelos rocosos, podremos estimar “la presión eficaz de inyección” como el valor de la presión para el cual:

- la roca se rompe a tracción;
- los planos horizontales preexistentes en la roca se separan y se producen desplazamientos; o
- las fisuras tratadas se abren.

**7.5.4.3** En las inyecciones sin desplazamiento de terreno, la presión eficaz (o límite) de inyección depende de la presión de confinamiento en el punto tratado.

**7.5.4.4** Para inyecciones sin desplazamiento de terreno, la presión de inyección admisible es la presión máxima a la cual la mezcla se puede inyectar en el terreno sin causar deformaciones indeseables.

**7.5.4.5** Para las inyecciones sin desplazamiento de terreno, el proyecto deberá indicar un valor de presión de inyección admisible.

### **7.6 Criterios de seguimiento y control**

**7.6.1** El proyecto deberá explicar los criterios de seguimiento y control antes, durante y después de los trabajos de inyección, y deberá indicar en lo que sigue, qué parámetros se deben supervisar y controlar, y cómo se debe hacer:

- las propiedades de la mezcla de inyección durante su fabricación y puesta en obra;
- las tolerancias relativas a la dirección e inclinación de las perforaciones (precisión de perforación);

- los criterios de parada de la inyección para cada fase;
- los resultados esperados en cada fase de inyección y/o al final de los trabajos proyectados;
- los desplazamientos o las deformaciones del terreno;
- la composición química del agua;
- los niveles de agua en los pozos existentes o en las perforaciones de observación.

**7.6.2** Se recomienda basar la parada de una fase de inyección en los siguientes criterios o situaciones:

- en suelos:
  - límite de presión y/o límite de volumen;
  - un movimiento del terreno (elevación) que sobrepasa la tolerancia;
  - una subida a la superficie de la mezcla de inyección en los edificios o en las perforaciones vecinas;
  - un contorno de los obturadores.
- en rocas:
  - un límite de presión (rechazo) y/o un límite de volumen;
  - un movimiento del suelo;
  - una subida de la mezcla de inyección;
  - una pérdida de mezcla inaceptable en las zonas adyacentes.

**7.6.3** El proyecto deberá especificar los criterios de control y los ensayos a efectuar para verificar que los objetivos de los trabajos se han logrado.

## **8 EJECUCIÓN**

### **8.1 Generalidades**

**8.1.1** Los trabajos de inyección deben estar dirigidos por personal cualificado, que cuente con amplia experiencia anterior en materia de inyección.

**8.1.2** Los equipos necesarios para realizar una operación de inyección comprenden:

- equipos de perforación y de revestimiento;
- equipos de amasado, y dosificación;
- equipos de bombeo;
- tubos de inyección;
- obturadores;
- equipos de ensayo y seguimiento.

**8.1.3** El equipamiento utilizado para la colocación de la mezcla de inyección deben resistir con toda seguridad las presiones de inyección máximas previstas.

**8.1.4** Un personal competente deberá mantener el equipo de inyección en buen estado de funcionamiento durante la duración de los trabajos.

## **8.2 Perforación**

**8.2.1** Se podrán utilizar los métodos de perforación siguientes:

- perforación a rotación;
- perforación a roto-percusión utilizando martillo en cabeza o en fondo;
- perforación a roto-percusión entubada;
- perforación con trepano, broca o cuchara;
- perforación con lanza de agua;
- avance de la entubación por vibración o por hinca

En terrenos inestables, la ejecución de la perforación podrá necesitar:

- el uso de lodos, el pretratamiento o la utilización de espumas;
- entubación temporal;
- colocación directa de tubos con manguitos, (sin desplazamiento de éstas);
- estabilización de la perforación en el avance.

Si se preveen condiciones artesianas, puede ser necesario perforar con contrapresión.

**8.2.2** Los fluidos de circulación y las técnicas de perforación se deberán elegir de manera que no se comprometa el objetivo de la inyección (en particular en lo que relativo a las modificaciones de permeabilidad del terreno en el punto de inyección).

**8.2.3** Se recomienda proceder, cuando sea necesario, a adaptaciones locales de los ángulos de orientación y el espaciado de las perforaciones de inyección, y efectuar nuevas perforaciones remplazando las perforaciones prematuramente tapados o con excesiva desviación.

**8.2.4** Para perforaciones abiertas, cuando la inyección no se haya ejecutado inmediatamente después de la limpieza, se recomienda proteger la cabeza de la perforación para evitar la contaminación.

**8.2.5** Después de la perforación en rocas, ésta se deberá lavar a fin de evacuar todos los detritus, y abrir las fisuras y las fracturas. Este tratamiento no se utilizará en terrenos con riesgo de ser afectados por el líquido de lavado.

## **8.3 Preparación de la mezcla de inyección**

**8.3.1 Almacenamiento.** Los componentes de la mezcla almacenados deberán estar al abrigo de efectos perjudiciales del clima (particularmente la temperatura y la humedad).

### **8.3.2 Mezclado y amasado**

**8.3.2.1** La contaminación de la mezcla de inyección y de sus componentes se evitara durante su almacenamiento, manipulación y colocación.

**8.3.2.2** Los depósitos de mezcla de inyección lista para su uso deberán estar diseñados para garantizar que las propiedades reológicas, u otras no se modifiquen de forma inadmisible durante el almacenamiento.

**8.3.2.3** Los recipientes de almacenamiento de las mezclas de inyección químicas deberán ser de materiales refractarios a los productos químicos utilizados.

**8.3.2.4** Para las mezclas que contengan bentonita, se recomienda hidratarla antes de añadir los conglomerantes.

**8.3.2.5** La dosificación de los componentes de la mezcla de inyección se hará con un equipo calibrado, de acuerdo con las tolerancias específicas de los trabajos.

**8.3.2.6** Las mezcladoras se deberán elegir de manera que garanticen que la mezcla sea homogénea.

**8.3.2.7** A fin de que se pueda asegurar un aprovisionamiento continuo de las mezclas de inyección granulares, se recomienda colocar un depósito de regulación entre la amasadora y la bomba y agitar la mezcla de inyección en el depósito a fin de evitar la sedimentación y/o fraguado prematuro.

**8.3.2.8** Se recomienda realizar las mezclas de inyección de fraguado rápido tan cerca del punto de inyección como sea posible.

### **8.3.3 Bombeo y distribución**

**8.3.3.1** Las bombas y sistemas de inyección de la mezcla se deberán elegir en función de la técnica de inyección prevista.

**8.3.3.2** Se recomienda tener en cuenta los elementos siguientes cuando se elija la bomba de inyección:

- caudal regulable de la distribución de mezcla;
- capacidad suficiente para inyectar un volumen dado de mezcla, o para obtener la presión necesaria en un tiempo dado;
- regulación de la velocidad de inyección;
- bombas resistentes al desgaste (por ejemplo a pistón sumergido) para mezclas abrasivas;
- fácil limpieza y mantenimiento;
- apertura de válvulas compatible con la viscosidad del material inyectado.

**8.3.3.3** Se recomienda medir la presión de inyección lo mas cerca posible del punto de inyección.

**8.3.3.4** Los sistemas de inyección deberán amortiguar las puntas de presión a fin de minimizar el riesgo de "fracturas" hidráulicas no deseables y no detectadas.

**8.3.3.5** Cuando el lugar de preparación de la mezcla de inyección está lejos del punto de inyección se recomienda prever una estación auxiliar intermedia.

**8.3.3.6** La red de inyección (tubos) deberá resistir la presión máxima prevista de la bomba con un coeficiente de seguridad apropiado. Los diámetros de los tubos deberán ser tales que la velocidad de flujo sea suficiente para evitar la separación de los componentes de la mezcla (suspensiones).

**8.3.3.7** En caso de uso de tubos de manguito, se deberá lavar el interior del tubo de inyección al final de cada una de las fases de inyección.

**8.3.3.8** A fin de evitar la sedimentación, las suspensiones se deberán agitar continuamente hasta el momento de la inyección lo mismo que las disoluciones cuyos componentes tienden a separarse.

**8.3.3.9** Para caudales pequeños, se recomienda un sistema de retorno de la mezcla para evitar la sedimentación.

#### 8.4 Puesta en obra de la mezcla de inyección

**8.4.1** El método de puesta en obra de una mezcla se determinará por las condiciones del terreno, las especificaciones de los trabajos y el tipo de mezcla de inyección utilizada. Los sistemas básicos serán:

- a) inyección en perforación abierta en un terreno estable;
- b) inyección con tubo de manguitos en perforación entubada provisionalmente o en un terreno inestable;
- c) inyección por el varillaje en terreno inestable, considerada generalmente como pre-inyección por lo que, se deberá seguir por inyecciones de los sistemas a) o b);
- d) inyección de compactación se efectuará habitualmente con la ayuda de una tubería remontante en fases sucesivas de inyección.

La puesta en obra en suelos y en rocas se resume de una forma general en la tabla 4 en la cual una pasada se define como en tramo predeterminado del taladro de inyección limitado por un obturador doble, o por un obturador simple y el fondo del taladro de perforación.

**Tabla 4**  
**Estrategias de inyección**

	ROCAS				SUELOS		
	Estable	Inestable					
	Perforación abierta	T.M	Varillaje de perforación		T.A.M	Lanza o tubo	
fase única	X			X	X		X
fases múltiples			X			X	
fases ascendentes	X		X	X	X	X	X
fases descendentes		X	X			X	X
T.M. = Tubo de manguito							

**8.4.2** La inyección en suelos se puede realizar por medio de un manguito de inyección, de un tubo, perforado o no, y de tubos de manguito.

**8.4.3** Los tubos de manguito sellados destinados a permanecer en el suelo por medio de una mezcla (mezcla de revestimiento) permiten el uso repetido del mismo punto de inyección.

**8.4.4** Para la inyección en suelos, se recomienda lavar los tubos de manguito cercanos al punto de inyección, por precaución para evitar las entradas de mezcla.

**8.4.5** Las grandes cavidades (grietas, huecos etc) de forma general, se rellenan directamente por medio de una inyección por gravedad con la ayuda de un tubo sumergido que descienda hasta la base de la cavidad.

**8.4.6** Los obturadores se utilizan para aislar una pasada de inyección. Los obturadores pueden ser pasivos, mecánicos o neumáticos, y serán lo suficientemente largos para reducir el riesgo de migración de la mezcla de inyección fuera de la zona a inyectar.

**8.4.7** Los obturadores deberán ser capaces de asegurar la estanquidad entre la pared de la perforación y el tubo de inyección a la presión máxima de inyección.

**8.4.8** Cuando la mezcla de inyección tiende a contornear los obturadores, especialmente en la inyección por fases ascendentes, se recomienda instalar un sistema de lavado para eliminar la mezcla de inyección que se haya introducido por detrás del obturador u obturadores.

**8.4.9** Se recomienda que la longitud máxima de pasada en rocas no sobrepase los 10 m. En rocas o suelos rocosos muy fisurados o descompuestos, conviene adaptar esta longitud a su estado. Se recomienda que las pasadas de inyección en suelos no sobrepasen 1 m.

**8.4.10** En caso de inyección en terrenos donde las circulaciones de agua sean conocidas o supuestas, conviene evitar una disolución excesiva o una pérdida completa de mezcla de inyección. En función de las condiciones del terreno, del objeto de la inyección y del caudal de las aguas subterráneas, se recomienda tomar las siguientes precauciones.

- utilización de una mezcla de fraguado rápido, incluso casi instantáneo (tales con las resinas acuarreactivas, las mezclas de inyección de base cemento con silicato sódico, etc.);
- utilización de una mezcla viscosa y/o con un contenido en materias sea elevado;
- utilización de aditivos para limitar la disolución de la mezcla.

**8.4.11** En caso de inyección de fisuras en rocas muy permeables fuera de la capa freática, se recomienda escoger en una mezcla de inyección con retención de agua.

**8.4.12** Salvo en el caso en que la inyección tenga por fin producirlas las deformaciones y los desplazamientos del terreno deberán estar limitadas a valores aceptables ajustando los parámetros de inyección (presión, volumen y caudal). Se tomarán precauciones particulares en las cercanías de estructuras sensibles.

**8.4.13** En la inyección de permeación, el caudal dependerá de las dimensiones de los huecos interconectados del suelo y de la viscosidad de la mezcla de inyección.

**8.4.14** Durante la puesta en obra y la manipulación de la mezcla de inyección y sus componentes se tomarán todas las precauciones posibles para evitar las fugas, y en especial, el derrame de cualquier líquido o mezcla de inyección fuera de la zona de inyección.

## **8.5 Fases de inyección**

**8.5.1** La planificación de los trabajos de inyección conlleva un proceso interactivo y evolutivo, que necesita una gestión de la zona. Las decisiones relativas a la continuación o a la parada de las inyecciones, a las modificaciones del tratamiento o de los parámetros definidos por el proyecto en la nota técnica de ejecución, se deberán tomar en común por todas las partes implicadas.

**8.5.2** La inyección descendente o por fases descendentes, se reserva habitualmente para rocas en terreno inestable. Cuando una serie de taladros se inyecta por fases descendentes el tramo superior de todos los taladros están perforados e inyectados, antes de perforar e inyectar el tramo inferior de todos los taladros.

La inyección por fases ascendentes en perforaciones abiertas, sólo se utiliza en rocas estables o si el objetivo fuera la compactación por inyección de compactación.

La inyección por fases múltiples con tubo de manguitos se utiliza normalmente en suelos, y en algunos casos en rocas inestables.

Será posible las combinaciones de estas técnicas.

**8.5.3** Para inyecciones en rocas, el método de inyección por cierre progresivo que consiste en perforar e inyectar sucesivamente las perforaciones primarias, secundarias y terciarias e incluso cuaternarias, se podrá utilizar para garantizar un tratamiento uniforme mínimo y limitar la extensión de la inyección cubierta por la malla menor en las zonas en las que sea necesario en función de la experiencia obtenida en las etapas sucesivas.

**8.5.4** La distancia entre las perforaciones primarias se decidirá en base a la experiencia o por ensayos de inyección a escala real.

**8.5.5** En el caso de utilizar el método de cierre progresivo, se recomienda inyectar primero las perforaciones primarias seleccionados como taladros de exploración salvo en las zonas donde se hayan hecho los ensayos de inyección a escala real a fin de:

- permitir una mejor definición de las condiciones geológica e hidrogeológicas;
- permitir la elección final de la profundidad de perforación para los taladros primarios restantes.

**8.5.6** A fin de limitar la migración de la mezcla de inyección fuera de los límites de la zona a tratar, se recomienda comenzar las inyecciones en la periferia de esta zona (límite de tratamiento) e ir progresivamente hasta la zona central. Sin embargo, no es recomendable utilizar este modo operativo si hubiera riesgo de entrapamiento de las aguas subterráneas o cuando el fin sea conducir el agua de la zona tratada.

## **9 SUPERVISIÓN Y CONTROL DE LOS TRABAJOS**

### **9.1 Generalidades**

**9.1.1** El seguimiento de los trabajos de inyección deberá hacerse sobre la base de las especificaciones del proyecto. El procedimiento a seguir debe proporcionar una documentación del tratamiento basada en la observación detallada de cada fase de operación. Esta documentación deberá servir de referencia para cualquier modificación de las especificaciones del proyecto.

**9.1.2** Durante la ejecución, las hipótesis de base del proyecto se deberán verificar a partir de los datos tomados y si fuera necesario modificados, adecuadamente.

### **9.2 Supervisión**

**9.2.1** Se recomienda que todos los trabajos de inyección sean supervisados por los representantes de las partes implicadas debidamente experimentados.

**9.2.2** Todo el personal especializado "clave" deberá tener una experiencia contrastada en materia de trabajos de inyección.

**9.2.3** La ejecución de los trabajos se deberá supervisar de forma continuada y todas las observaciones se deberán comparar con los parámetros y las hipótesis del proyecto. Cuando se observen diferencias significativas, se deberán analizar las razones de estas diferencias y se deberán adaptar a estas nuevas condiciones los parámetros del proyecto o los utilizados durante la ejecución.

**9.2.4** Los autores del proyecto deberán tomar parte en la decisión cuando se modifiquen las especificaciones.

**9.2.5** A fin de facilitar la supervisión de las obras de inyección, se recomienda automatizar los sistemas de mezclado y de distribución, e instalar dispositivos mecánicos, analógicos o preferiblemente informáticos de toma de datos para seguir y controlar en tiempo real los parámetros de puesta en obra de las mezclas.

**9.2.6** Las actas se deberán conservar durante la total duración de la obra, y permitir acceder a todos los datos de todas las fases del trabajo.

**9.2.7** Se recomienda integrar en el informe final los informes resumen de cada una de las fases del trabajo.

### **9.3 Seguimiento y control**

#### **9.3.1 Generalidades**

**9.3.1.1** Antes de comenzar los trabajos, se recomienda hacer una descripción del emplazamiento y del estado de todas las estructuras e instalaciones susceptibles de estar en la zona de influencia de las inyecciones. Se recomienda efectuar nuevas inspecciones del terreno durante el avance de los trabajos.

**9.3.1.2** El tipo, la extensión y la precisión de los seguimientos prescritos dentro y fuera del área de trabajo se deberán precisar claramente en los documentos del proyecto antes de comenzar los trabajos *in situ*.

**9.3.1.3** Se recomienda utilizar los sistemas informáticos para:

- seguir la realización de las perforaciones;
- medir, controlar, y analizar los parámetros de la perforación;
- medir y controlar los parámetros de inyección de las diferentes mezclas de inyección de cada fase de inyección.

**9.3.1.4** Los parámetros, que se anotarán y analizarán durante la inyección varían continuamente en el tiempo, se recomienda por ello seguir y controlar el proceso de inyección con la ayuda de un registrador o de un ordenador de obra a fin de obtener en tiempo real los parámetros de inyección.

**9.3.1.5** Se recomienda que los datos informatizados del control, se impriman en un papel, o se haga una copia de seguridad, y que se conserven en lugar seguro.

**9.3.1.6** Se recomienda que las medidas de seguimiento y control sean conformes a las prescripciones establecidas durante la concepción del proyecto.

**9.3.1.7** Cuando los registradores o los ordenadores de obra se utilicen *in situ* se recomienda seguir las prescripciones del proyecto para la elección de los intervalos de medida.

**9.3.1.8** Para un correcto resultado de las inyecciones, se recomienda proceder a los ensayos de control sin demora a fin de poder corregir lo antes posible las anomalías.

**9.3.1.9** A fin de poder proceder a hacer las comparaciones necesarias en el transcurso de los trabajos, se recomienda anotar, en cada fase de inyección, la evolución de las presiones de inyección, las cantidades inyectadas y los caudales de inyección en función del tiempo.

### **9.3.2 Impacto ambiental**

**9.3.2.1** Se recomienda que todos los estudios de impacto ambiental y especialmente las decisiones relativas a los límites admisibles se basen en dos investigaciones independientes;

- evaluación de las condiciones existentes antes de iniciar los trabajos, con una atención especial al estado de las aguas subterráneas (composición química, dirección y caudal de filtración, bombeos existentes o proyectos de explotación de las capas freáticas, distancia a las obras de extracción existentes);
- valoración de los efectos contaminantes de las mezclas de inyección y la duración de las posibles contaminaciones (en el caso de efectos transitorios se aplicarán normas menos rigurosas), distinguiendo las fases, gaseosas, sólida y líquida.

### **9.3.3 Control de objetivos**

**9.3.3.1** Los métodos de control escogidos se deberán adaptar a los objetivos de tratamiento.

**9.3.3.2** Se recomienda efectuar los ensayos antes y después de la inyección para proporcionar las indicaciones sobre la eficacia del tratamiento.



**9.3.3.3** El control podrá comportar ensayos de permeabilidad, ensayos mecánicos *in situ*, en laboratorio, excavaciones, etc.

**9.3.3.4** La elección del tipo de ensayo de permeabilidad dependerá de las condiciones del terreno y del grado de precisión requerido. Los ensayos de inyección de agua a carga constante o a carga variable (tipo Lefranc) se utilizará generalmente en suelos granulares. Los ensayos Lugeon se efectuarán en terrenos rocosos. Los ensayos de bombeo o inyección de verdadera magnitud podrán medir la permeabilidad global de un gran volumen de suelo o de roca.

**9.3.3.5** Los datos anotados durante la perforación se podrán utilizar para verificar si los objetivos han sido cumplidos.

#### **9.3.4 Control de desplazamiento**

**9.3.4.1** Se recomienda colocar *in situ* una instrumentación adaptada que permitan seguir los movimientos del terreno y/o las estructuras con una precisión suficiente como para poder asegurar que dichos movimientos permanecen bajo los límites y tolerancias definidos.

**9.3.4.2** Cuando se precise, los equipos de seguimiento de movimientos se deberán colocar con una antelación suficiente antes de los inicios de los trabajos, para poder identificar las influencias generales (variaciones de temperatura, fluctuación de las capas freáticas, etc.) a fin de tener en cuenta sus efectos sobre las mediciones posteriores.

#### **9.3.5 Perforación**

**9.3.5.1** Durante la perforación, se podrán registrar automáticamente un cierto número de parámetros:

- velocidad de avance;
- presión del fluido;
- caudal del fluido;
- energía reflejada;
- velocidad de rotación;
- par;
- empuje sobre el útil;
- longitud de la perforación.

La interpretación de los parámetros registrados proporciona informaciones útiles sobre las variaciones geológicas y geotécnicas, del terreno.

#### **9.3.6 Mezcla de inyección**

**9.3.6.1** La calidad y consistencia de la mezcla de inyección se deberá mantener con ayuda de ensayos de control permitiendo juzgar la permanencia de su conformidad con las exigencias requeridas.

**9.3.6.2** Se recomienda controlar y seguir la composición granulométrica de las suspensiones ultrafinas, teniendo en cuenta la floculación.

**9.3.6.3** Como mínimo, las mezclas de inyección deberán someterse *in situ*, a los ensayos de control de rutina indicados en la tabla 5.

**Tabla 5**  
**Ensayos de control de los mezcla de inyección s**

<b>Suspensiones</b>	<b>Suspensiones microfinas</b>	<b>Disoluciones (mezcla de inyección química)</b>	<b>Mortero</b>
Densidad	Densidad	Densidad	Densidad
Viscosidad Marsh	Granulometría/ensayos sobre columna de arena	Tiempo de fraguado	Trabajabilidad
Tiempo de fraguado	Viscosidad		
Exudación	Exudación		

Para las mezclas de inyección particulares, después del endurecimiento, se realizarán dos ensayos de compresión y/o de cizallamiento. Para la realización de los ensayos véase el anexo A1.

**9.3.6.4** Las operaciones de amasado se deberán seguir y controlar continuamente.

**9.3.6.5** Durante la inyección se deberán controlar las cantidades de cada uno de los componentes de la mezcla de inyección preparada.

**9.3.6.6** Se podrán utilizar trazadores para detectar la presencia de mezcla en los terrenos tratados.

## **10 DOCUMENTACIÓN DE LOS TRABAJOS**

**10.1** Se recomienda que en la obra estén disponibles los documentos siguientes:

- un informe geotécnico de referencia, conteniendo todos los datos de reconocimiento referidos a la elaboración de un proyecto para los trabajos de inyección;
- un esquema de organización que defina claramente las responsabilidades en materia de toma de decisiones del personal especializado "clave" que represente las partes interesadas;
- modos de ejecución que definan los objetivos de los trabajos, detallando los procedimientos que se apliquen para alcanzar esos objetivos y que propongan los criterios medibles que serán utilizados para establecer que estos objetivos se cumplen. Los modos de ejecución serán acordados entre las partes responsables como base de partida para los trabajos y contendrán;
- planos detallando todos los sondeos (plantas y alzados), todas las estructuras existentes, las formaciones geológicas, los niveles de agua, las construcciones previstas y los límites de las zonas a tratar;
- un documento que detalle los tipos de mezcla de inyección, las cantidades previstas de mezcla por tramo y taladro las fases de inyección, las presiones y los caudales de inyección máxima previstos;
- los documentos relativos a la supervisión de la obra, mantenimiento y trabajos posteriores, después de la recepción de los trabajos de inyección.

**10.2** Se recomienda establecer en obra los siguientes documentos;

- un informe diario de las observaciones hechas en las perforaciones e inyecciones;
- un informe mensual indicando el progreso diario y la cantidad de mezcla consumida;
- un informe final incluyendo los detalles técnicos y cuantitativos útiles;
- un protocolo de recepción de los trabajos en el cual las partes implicadas confirmen la obtención de los criterios de aceptación definidos en las modalidades de ejecución.

**10.3** Los informes de obra deben incluir:

- Por regla general:
  - las fechas de las actividades;
- Para la perforación:
  - número y situación, longitud, diámetro, dirección, inclinación de la perforación (punto de inyección);
  - nombre de los sondistas;
  - método y material empleado en la perforación;
  - tipo de fluido de perforación;
  - equipamiento del taladro (ej. entubado, manguitos, tipo de mezcla de inyección en la vaina etc);
  - observaciones particulares durante la perforación o del equipamiento del taladro (ej. pérdida de fluido, o pérdida inesperada de mezcla de inyección de la vaina);
- Para la preparación de la mezcla de inyección:
  - composición de las mezclas de inyección (tipo y formulación) y sus características;
  - los volúmenes de mezcla de inyección inyectados en el terreno (absorción), presión aplicada y duración de cada pasada;
  - interacción con los otros taladros y pérdidas observadas;
  - cualquier incidente inhabitual y todas las observaciones;
- Para el control:
  - muestreo de la mezcla de inyección utilizada;
  - número de muestras de laboratorio;
  - controles de calidad rutinarios;
  - nombre y cualificación del personal.

Estos informes deberán constituir la base del control de la inyección.

**10.4** Si fuera necesario se conservará un registro de los niveles de superficie de suelo.

**10.5** Se recomienda resumir los resultados en forma de gráficas y si fuera necesario analizar estadísticamente los resultados (ej diagramas de presión en función del tiempo).

**10.6** Los casos inhabituales y las decisiones tomadas durante la perforación y la inyección deberán anotarse en el libro de sondeos *in situ*.

**10.7** Los datos de inyección se deberán establecer en la obra y estar firmados por el ingeniero responsable de la obra o su representante.

**11 ASPECTOS PARTICULARES (MEDIO AMBIENTE, SEGURIDAD EN OBRA)**

Este capítulo trata de los aspectos de seguridad de la obra y la protección del medio ambiente específico de los trabajos de inyección. Por regla general relativos a la seguridad y protección del medio ambiente, debemos consultar y tener en cuenta las normas europeas y nacionales que apliquen.

## **11.1 Seguridad de las personas**

**11.1.1** La seguridad del personal y de las terceras personas es de importancia primordial.

**11.1.2** Se recomienda considerar los problemas siguientes cuando se utilicen mezclas de inyección:

- polvo proveniente de los productos químicos que son tóxicos para la piel, los ojos o el sistema respiratorio;
- humos emitidos por las mezclas líquidas;
- componentes de las mezclas de inyección peligrosos para la piel por contacto;
- contaminación de las aguas subterráneas;
- mezcla de productos químicos que puedan causar explosiones;
- evacuación de los desechos o de las aguas utilizadas.

**11.1.3** Para todos los trabajos de inyección, se deberán llevar permanentemente ropa y guantes de protección en la medida en que la mayor parte de los productos químicos contienen ciertos componentes tóxicos para la piel. En los locales cerrados donde puedan respirarse humos emitidos por la mezcla de inyección o polvo proveniente de sus componentes se debe prever la utilización de máscaras. El casco protector debe estar disponible para todos los obreros de la obra. Se deben prever gafas de seguridad para los obreros que trabajen en zonas donde se inyecta la mezcla de inyección .

**11.1.4** Se recomienda manipular con precaución las grandes masas de resinas epoxy o poliéster que a menudo generan un gran desprendimiento de calor.

## **11.2 Protección del medio ambiente**

**11.2.1** Se recomienda analizar, antes de la inyección el impacto sobre el medio ambiente, en especial la toxicidad del mezcla de inyección y sus componentes y sus efectos sobre el acuífero y las aguas potables.

**11.2.2** Cuando se analicen los materiales de inyección con relación al impacto sobre el medio ambiente, se recomienda considerar los siguientes aspectos:

- si las sustancias que puedan presentar riesgos para el medio ambiente están producidas o desarrolladas durante los procesos de distribución e inyección;
- si se pueden verter sustancias nocivas al contacto del mezcla de inyección con el agua del suelo;
- si las reacciones químicas pueden producir o desprender productos contaminantes del agua.
- qué partículas que provengan de la erosión de la mezcla después de su fraguado;
- qué reacciones químicas pueden tener lugar entre la mezcla de inyección después de fraguada y el agua de suelo.

**11.2.3** Los riesgos de incidencia sobre el medio ambiente incluyen:

- los movimientos del suelo provocados;
- las modificaciones del nivel de los acuíferos;
- la dispersión de los productos inyectados;
- la contaminación de las aguas subterráneas;
- la difusión en la atmósfera (polvos).

**11.2.4** Se recomienda prever, antes de iniciar los trabajos, disposiciones para evacuar la mezcla sobrante, así como considerar los siguientes aspectos:

- la ventilación de los espacios cerrados;
- los receptáculos bajo las bombas de inyección;
- el aislamiento de los materiales inflamables;
- la recogida de las aguas residuales usadas.

**ANEXO A** (Informativo)

**MEDIDA DE LOS PARÁMETROS DE MEZCLA DE INYECCIÓN**

La tabla A1 presenta los principales parámetros de las mezclas de inyección, las condiciones y los dispositivos de medida, los procedimientos de ensayo y las unidades a utilizar.

**Tabla A.1**  
**Medida de los parámetros de la inyección**

Parámetros	Unidad	Aparatos/Método de medida	Aplicación	Solución	Suspensión	Mortero	Notas
1 Tiempo de vertido (viscosidad de cono)	(s)	Cono de Marsh (diam. cono = 4,75 mm) Otros conos (diam = 8,10,12 mm)	Lab. y obra	N/A	A	A	<i>Ver R1</i>
2 Viscosidad (dinámica o aparente)	(Pa.s)	Viscosidad coaxial Reómetros	Lab. y obra	A	A	N/A	<i>Ver R1 y R2</i>
3 Densidad	(kg/m <sup>3</sup> )	Picnómetro, Becher, Balanza de Boroid	Lab. y obra	A	A	A	
4 Cohesión, rigidez límite de plastificación, resistencia a cizallamiento	(Pa)	Viscosidad coaxial reómetro Medida de la cohesión (rigidez Vasumetro, cizometro)	Lab. y obra	N/A	A	N/A	<i>Ver R4</i>
5 Capacidad de retención de agua	(m <sup>3</sup> )	Filtro de presión de Baroid (presión más desfavorable)	Lab. y obra	N/A	A	A	
6 Derrame, exudación	[%] o m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> sobre 2 h.	Cilindro de medida	Lab. y obra	N/A	A	A	<i>Ver R6</i>
7 Obrabilidad	[mm]	Cono de Abrams	Lab. y obra	N/A	N/A	A	<i>Ver R-T</i>
8 Tiempo de colocación	(s)	Becher reversible, aguja de Vicat	Lab. y obra	A	A	A	<i>Ver R8</i>
9 Tiempo de endurecimiento	(s)	Molinete de corte, caja de cizallamiento, ensayo de comprensión simple	Lab. y obra	A	A	A	<i>Ver R9</i>
10 Endurecimiento, deformabilidad y resistencia final		Ensayo de compresión simple, con datos de tracciones y deformaciones. Ensayo triaxial ensayo de carga puntual.	Lab.	A	A	A	
11 Durabilidad		Mecanica, ensayo de fluencia. Ensayo de erosión		A	A	A	<i>Ver R11</i>
12 Tixotropía		Reómetro, viscosímetro, hidrómetro	Lab.	N/A	A	N/A	<i>Ver R12</i>
13 Sinéresis	(Vol %)	Volumen de agua expulsado de la muestra en función del tiempo	Lab.	A	N/A	N/A	<i>Ver R13</i>
14 Retracción/expansión	% de volumen % de longitud	Determinación del límite de retracción	Lab. y obra	A	A	A	<i>Ver R14</i>
15 Granulometría		Medida de tamaños de partícula	Lab. y obra	N/A	A	A	<i>Ver R15</i>
16 Inyectabilidad		Ensayo de inyección, ensayo de columna de arena	Lab. y obra	A	A	N/A	<i>Ver R16</i>
N/A = No aplicable; A = aplicable							

(R1) Las propiedades reológicas de una mezcla de inyección se pueden determinar con la ayuda de los siguientes aparatos:

- cono (viscosidad);
- viscosímetro rotativo [viscosidad y cohesión, (rigidez)];
- placa o tubo de inmersión, bola, kasúmetro (cohesión o rigidez);

Se deberán establecer la temperatura del aire, la temperatura de la mezcla, las dimensiones del cono, su altura de llenado y el volumen de paso. El valor obtenido es función de la viscosidad y de la cohesión y convendrá tener en cuenta que las diferentes combinaciones de viscosidad y del límite de plastificación pueden dar el mismo tiempo de paso.

Los morteros utilizados en inyección de compactación no se consideran.

(R2) Se deberán establecer la temperatura del aire y la de la mezcla de inyección. La viscosidad se podrá determinar para una velocidad o un par de rotación dado (e). Para valorar las propiedades de flujo a velocidades poco altas, y por tanto la penetrabilidad de la mezcla de inyección, conviene utilizar viscosímetros rotativos con par controlado. Cuando no se dispone de viscosímetros coaxiales en obra, se puede utilizar una correlación establecida previamente en laboratorio, con los valores medidos en el cono.

(R4) El proyecto deberá especificar el equipo utilizado y los valores a obtener.

Conviene que los reómetros utilizados en las medidas de cohesión sean de par controlado.

(R5) El proyecto deberá especificar la presión y la duración del ensayo.

(R6) La exudación se deberá determinar en un cilindro de 1 000 ml de volumen y de 60 mm de diámetro interno.

(R7) El método de ensayo deberá ser conforme con la Norma Europea EN 150 4109 y con el proyecto de Norma Europea prEN 12382:1996.

(R8) El tiempo de fraguado depende de la temperatura y del volumen. En función de la aplicación de la inyección y el tipo de mezcla de inyección, se utilizan diferentes ensayos para caracterizar esta propiedad:

- inclinación o giro completo de un cilindro de ensayo y medida del tiempo necesario para que la mezcla de inyección no se comporte como un líquido;
- sacudida ligera de un recipiente de ensayo a fin de comprobar si la mezcla de inyección o el gel, desbordan;
- realización de un ensayo de penetración a escala reducida, como por ejemplo, la aguja de Vicat.

Los aparatos a utilizar y los valores a obtener deberán estar definidos en el proyecto.

(R9) El tiempo de endurecimiento se deberá definir y asociar a un valor de resistencia de cálculo. El proyecto deberá especificar las dimensiones de las muestras a ensayar y las condiciones de ensayos (velocidad de aplicación de las cargas).

(R10) El proyecto debe especificar las dimensiones de las muestras a ensayar y de las condiciones de los ensayos (velocidad aplicación de las cargas).

(R11) La durabilidad química y mecánica de una mezcla de inyección plástica y de una mezcla de inyección endurecida se deberán estudiar en las mismas condiciones de pH que las del lugar.

La estabilidad mecánica se podrá determinar por medio de un ensayo de paso en el curso del cual se hace pasar agua a través de un agujero en una muestra de la mezcla de inyección endurecida, la cantidad de material recogido en un recipiente se pesará al término del ensayo.



La estabilidad química se podrá determinar por medio de un ensayo de molienda en el curso del cual la probeta se muele finamente: se conserva durante algunos días en el agua agresiva del terreno, midiendo el volumen residual al final del ensayo.

(R12) A fin de terminar la tixotropia, el reómetro permitirá anotar las dos curvas en continuo.

(R13) Este ensayo se aplicará a los geles de silicato de sodio.

(R14) Para la determinación de los límites de retracción y de dilatación, se hará referencia a normas nacionales.

(R15) Este parámetro es el primero en importancia para los productos ultrafinos. El aumento del tamaño de las partículas de la mezcla de inyección debido a la hidratación se deberá tomar en cuenta cuando se examinan las curvas granulométricas de los componentes de la mezcla de inyección.

(R16) Los ensayos de inyectabilidad podrán servir para mostrar la capacidad de una mezcla de inyección dada a penetrar en un suelo dado o para servir de medio de control de calidad. Un ejemplo de ensayo de inyectabilidad se muestra en la norma francesa NF P 18-891.

## ANEXO B (Informativo)

## GLOSARIO

El presente glosario incluye las definiciones de los términos importantes en el dominio de las inyecciones y que están a menudo sujetas a contradicciones y malentendidos.

Viene como complemento de las definiciones dadas en el capítulo 3.

**Radio de acción:** distancia teórica recorrida por una mezcla de inyección a partir del punto de inyección.

**Aditivos:** todo elemento (por ejemplo fluidificantes, estabilizantes) distintos de los componentes de base (agua, áridos, conglomerantes) utilizados en una mezcla de inyección para modificar las propiedades en el estado líquido y sólido.

**Agitador:** recipiente equipado con paletas rotativas utilizadas para evitar la segregación de la mezcla de inyección después del amasado.

**Capa de inyección:** véase lecho de inyección.

**Inyección ascendente:** véase inyección por fases remontantes (o ascendentes)

**Amasada:** cantidad de mezcla de inyección preparada de una vez.

**Bentonita:** arcilla formada principalmente de minerales tipo montmorillonita caracterizada por una fuerte capacidad de absorción de agua y un gran cambio de volumen por saturación o desecación. Son las arcillas con un porcentaje de al menos un 70% de esmectitas expansivas y una capacidad de absorción de agua superior al 500%. Se diferenciarán las bentonitas naturales, sódicas, cálcicas, modificadas y activadas.

**Mezcla de inyección de bentonita-cemento:** mezcla de inyección cuyos componentes son el cemento o un conglomerante hidráulico, el agua y la bentonita.

**Conglomerante:** sustancia que provoca la cementación de un medio poco coherente.

**Fluido de Bingham:** sustancia que posee a la vez viscosidad y cohesión.

**Cama o lecho de inyección:** realización de un volumen inyectado cuya extensión lateral excede ampliamente el espesor.

**Exudación:** agua clara que proviene de la decantación de una mezcla de inyección preparada en fresco.

**Velocidad de exudación:** velocidad a la cual el agua es expulsada de la mezcla de inyección por exudación.

**Adherencia:** fuerza de unión entre la mezcla de inyección y el medio inyectado.

**Entubado:** tubo que se utiliza para sostener las paredes de una perforación inestable en el curso de la misma.

**Mezcla de inyección de cemento:** mezcla de inyección donde el conglomerante es cemento.

**Mezcla de inyección química:** mezcla de inyección que tiene carácter de solución es decir sin partículas sólidas en suspensión (distintas de las impurezas).

**Inyección en circuito:** método de inyección consistente en alimentar una perforación o un grupo de perforaciones haciendo que la mezcla de inyección excedente vuelva a un depósito por medio de un circuito de retorno.

**Inyección bajo circulación:** método de inyección en el cual la mezcla de inyección circula por un tubo hasta el fondo de la perforación, y el retorno se hace por el espacio anular. El exceso de mezcla de inyección vuelve a un agitador. Este método se utiliza cuando las perforaciones tienden a desmoronarse y cuando los lodos pueden obstruir los huecos a inyectar.

**Claquage o inyección por fracturación hidráulica:** véase fracturación hidráulica en las definiciones.

**Coefficiente de permeabilidad (conductividad hidráulica):** velocidad aparente de percolación de agua en régimen laminar a través de una superficie unitaria de un medio poroso bajo un gradiente hidráulico unitario, en condiciones de temperatura normalizadas, habitualmente 20 °C. La permeabilidad intrínseca  $k$  es una propiedad ligada al medio poroso y se mide en [m<sup>2</sup>]. El coeficiente de permeabilidad se mide como la constante de proporcionalidad  $K$  entre la velocidad de descarga  $v$  y el gradiente hidráulico,  $i$  con unidades [m/s]:

$$v = K \times i = k \left( \frac{g \times \rho}{\eta} \right) \times i$$

**Cohesión:** véase la figura B.1. Sinónimo rigidez.

**Rigidez:** véase la figura B.1. Sinónimo: Cohesión.

**Coloide:** sustancia constituida por partículas muy pequeñas dispersas en un medio continuo. Una partícula se considera habitualmente como coloidal si sus dimensiones están comprendidas entre 5 y 5 000 Å.

**Mezcla de inyección coloidal:** mezcla de inyección que tiene una cohesión artificial inducida, en la cual las partículas sólidas o las grandes moléculas (coloides) están completamente dispersas y permanecen en suspensión, es decir una mezcla de inyección que no tiene segregación ni resudado.

**Inyección de compactación:** véase el capítulo 3 "Definiciones".

**Inyección de compensación:** término empleado para una inyección con desplazamiento controlado de terrenos, cuyo objetivo es recuperar los asientos inducidos por los trabajos de excavación. Este término se aplica a diferentes métodos de inyección.

**Consistencia:** movilidad relativa o aptitud para circular de un mortero o una mezcla de inyección recién preparada. Habitualmente se mide por el asentamiento del cono de Abrams para mezclas espesas y por el paso a través del cono de Marsh, para mezclas más fluidas.

**Inyección de consolidación:** el término se refiere a varios métodos de inyección incluyendo la inyección de permeación, inyección de fisuras, de relleno de fracturación hidráulica e inyección de compactación, cuyo objetivo es el refuerzo del suelo o del macizo rocoso inyectado.

**Inyección de contacto:** véase el capítulo 3 "Definiciones".

**Amasado en continuo:** procedimiento por el cual los componentes de la mezcla se suministran sin interrupción y el producto mezclado se suministra en flujo continuo.

**Cobertera:** ver sobre carga del terreno.

**D<sub>n</sub> y d<sub>n</sub>:** la dimensión mas grande del n% de los granos más pequeños de suelo y la dimensión del n% de las partículas más pequeñas de la mezcla de inyección.

**Grado de decantación:** véase velocidad de exudación.

**Resistencia de cálculo:** resistencia exigida a la mezcla de inyección o a los terrenos inyectados en las especificaciones del proyecto.

**Inyección con desplazamiento:** véase el capítulo 3 "Definiciones".

**Obturador doble:** dispositivo que posee dos obturadores, concebido para aislar una longitud determinada del tubo de inyección, que se utiliza para limitar la inyección de un tramo del terreno comprendido entre los dos obturadores, es decir, a la longitud de la pasada de inyección.

**Inyección por fases descendentes:** técnica de inyección en la cual una longitud dada (pasado o fase) se perfora e inyecta antes de seguir la perforación, o bien se utilizan obturadores para comenzar la inyección en la parte superior de la perforación y progresar hacia abajo.

**Durabilidad:** resistencia a las agresiones mecánicas o químicas. La durabilidad mecánica se mide habitualmente bien por ensayos de absorción, bien por ensayos de erosión en las cuales el agua de la capa freática se inyecta por un agujero en una probeta del terreno tratado. Los ensayos de durabilidad química se realizan habitualmente sobre probetas de terrenos tratados conservados en el agua del terreno.

**Presión efectiva:** véase el capítulo 3 Definiciones.

**Emulgente:** sustancia que modifica la tensión superficial de los flóculos coloidales, impidiéndoles que se aglomeren y que los mantienen en suspensión.

**Emulsión:** producto que contiene flóculos coloidales dispersos.

**Resina Epoxy:** mezcla de inyección de resina con varios componentes que generalmente tiene resistencias elevadas a compresión y a la tracción y una fuerte adherencia.

**Falso fraguado:** desarrollo rápido de la rigidez de una mezcla de inyección recién preparada sin evolución sensible de la temperatura. Esta rigidez se podrá destruir y recuperar la plasticidad, por agitación sin aporte de agua. "Rigidez prematura", "fraguado dudoso", "rigidez anticipada" y "fraguado gomoso" son otras expresiones utilizadas para el mismo fenómeno.

**Filler:** material inerte añadido a una mezcla de inyección para modificar sus propiedades o para reemplazar un componente.

**Tiempo de "película":** véase tiempo de fraguado.

**Depósito sobre el filtro (cake):** material sólido o semisólido que se separa de un líquido (filtrado) y que permanece sobre el filtro después de la filtración bajo presión.

**Filtro-prensa:** instrumento utilizado para medir las características de filtración de una mezcla de inyección.

**Agua de filtrado:** cantidad de agua pura que proviene de una mezcla de inyección en un ensayo de filtración.

**Fraguado completo:** grado de endurecimiento de una mezcla de inyección mas desarrollado que el del principio de fraguado, habitualmente se da por un valor empírico de tiempo en horas y minutos, al final del cual la pasta está lo suficientemente endurecido, para resistir la penetración de una aguja de ensayo de un cierto peso.

**Inyección de fisura:** véase el capítulo 3 definiciones.

**Fraguado rápido:** evolución rápida de la rigidez de una mezcla de inyección recién preparada generalmente con el desarrollo de una alta temperatura. Esta rigidez no se podrá destruir ni recuperar la plasticidad por agitación, sin un nuevo aporte de agua; igualmente llamado fraguado instantáneo o fraguado inmediato.

**Cono de paso:** aparato de medida de la viscosidad de una mezcla de inyección en el cual un volumen determinado de mezcla pasa a través de un orificio de dimensiones precisas. El tiempo de paso (factor de paso) se utiliza como indicador de la viscosidad.

**Flujo de inyección:** volumen de fluido (mezcla de inyección ) que pasa por unidad de superficie durante la unidad de tiempo.

**Fluidificante:** aditivo que mejora las características de circulación de una mezcla de inyección.

**Cenizas volantes:** producto residual que proviene de la combustión del carbón en trozos o en polvo, véase también polvos de cenizas volantes.

**Espuma:** las espumas utilizadas en las inyecciones son estructuras sólidas con aire ocluido en los poros cerrados. Se obtienen por inyección de un gas en una mezcla de inyección o por una reacción que libera gas entre la mezcla de inyección y el agua del suelo.

**Fracturación:** véase fracturación hidráulica.

**Gel:** estado en el cual una solución comienza a presentar una resistencia al cizallamiento apreciable. Material coloidal en el cual las sustancias dispersas forman una red ramificada coherente. Puede contener una cierta proporción de líquido pero posee parcialmente las propiedades de un sólido. Ciertos geles podrán licuarse de nuevo por agitación y después volver a pasar a gel. (véase tixotropía).

**Resistencia de un gel:** la resistencia a cortante de un gel. Se podrá medir en intervalos de tiempo dados después de la preparación o licuefacción de un gel, o cuando el gel esta completamente endurecido.

**Tiempo de gelificación:** tiempo entre la preparación de una mezcla de inyección y la formación del gel.

**Método GIN:** GIN quiere decir “Grouting Intensity Number” factor de intensidad de inyección. Este método se aplica a rocas, este factor se utiliza como parámetro para detener la inyección, sobre todo en un medio fisurado, cuando se haya alcanzado un valor límite. El valor GIN se obtiene multiplicando el volumen de mezcla de inyección (en litros) que se inyecta en un metro de perforaciones por la presión efectiva de inyección (en bares).

**Granulometría:** distribución del porcentaje en peso de gramos de un medio, en general se expresa como porcentaje acumulado.

**Inyección por gravedad:** véase el capítulo 3 “Definiciones”.

**Mezcla de inyección:** véase el capítulo 3 “Definiciones”.

**Inyectabilidad:** aptitud de una formación de terreno para recibir la mezcla de inyección.

**Factor de inyectabilidad:** el factor de inyectabilidad (Grouting ratio GR) relaciona a las dimensiones de las partículas de una suspensión con las de los granos de suelo a inyectar. Las relaciones  $D_{15}/D_{85}$  o  $D_{10}/d_{90}$  se utilizan siendo  $D_{s,i}$  = tamaño del 15% de partículas de suelo más pequeñas y  $D_{85}$  = tamaño del 85% de las partículas de mezcla de inyección más pequeñas.

**Cortina inyectada:** volumen de terreno inyectado donde la dimensión vertical excede netamente a la anchura.

**Factor de intensidad de inyección (GIN, Grouting Intensity Number):** Producto de la presión de inyección por el volumen inyectado. (Véase el método GIN).

**Presión de inyección:** véase el capítulo 3 “Definiciones”.

**Ensayo de inyección:** ensayo realizado antes de los trabajos de inyección para valorar la inyectabilidad de un terreno o la conveniencia de un tipo de mezcla de inyección.

**Mezcla:** los integrantes de una lechada, normalmente expresados en proporción en peso o en volumen de la cantidad de agua u otros componentes principales.

**Absorción de mezcla de inyección:** cantidades de mezcla de inyección inyectadas medidas por unidad de volumen de una formación o por unidad de longitud de inyección o por perforación.

**Endurecedor:** en una mezcla de inyección química de dos componentes, el componente que provoca la reacción de curado.

**Endurecimiento:** aumento de la resistencia de una mezcla de inyección después del fraguado.

**Tiempo de endurecimiento:** tiempo necesario para que una mezcla de inyección logre la resistencia de proyecto.

**Hidratación:** formación de un compuesto por fijación de una molécula de agua en una molécula compleja constituida por moléculas o elementos de otra naturaleza.

**Conglomerante hidráulico:** material mineral finamente molido que mezclado con agua forma una pasta que fragua y endurece por hidratación y que conserva después del endurecimiento su resistencia y su estabilidad en presencia de agua.

**Fracturación hidráulica (claquage):** véase el capítulo 3 “Definiciones”.

**Hidrofracturación:** véase fracturación hidráulica. Término no recomendado.

**Carga hidrostática:** presión de un fluido expresado en altura de agua con relación a un nivel fijo.

**Impregnación:** véase el capítulo 3 “Definiciones”.

**Principio de fraguado:** grado de endurecimiento de una mezcla de inyección, habitualmente dado por un valor empírico de tiempo en hora y minutos, al cabo del cual la pasta ha endurecido suficientemente para resistir la penetración de una aguja de ensayo de cierto peso.

**Inyección:** véase el capítulo 3 “Definiciones”.

**Válvula de inyección:** aberturas en un tubo de manguitos habitualmente obturados por un manguito flexible que actúa como una válvula antirretorno.

**Jetgrouting:** procedimiento que consiste en disgregar el suelo (o una roca blanda), mezclarlo con o sustituirlo parcialmente por un agente de cementación. La disgregación se obtiene por un chorro de alta energía de un fluido que puede ser el mismo agente de cementación.

**Kasumetro:** instrumento de medida del límite de plastificación.

**Tiempo de fraguado en película:** véase el tiempo de fraguado.

**Ensayo Lefranc:** ensayo de permeabilidad *in situ* a carga variable consistente en medir la evolución de un nivel de agua en un tubo filtrante para calcular la permeabilidad.

**Valor Lugeon:** unidad relativa de transmisividad, que representa la absorción de un caudal de 1 litro de agua por minuto, por metro de perforación de 76 mm de diámetro, bajo una presión de 1 MPa, en roca.

**Cono de Marsh:** ver cono de circulación

**Viscosidad Marsh:** ensayos de viscosidad realizados con el cono de Marsh. El tiempo de paso expresado en segundos de un volumen dado de líquido, se llama viscosidad Marsh. Véase también cono de circulación.

**Productos microfinos o ultrafinos:** productos muy finos, que poseen una curva granulométrica muy cerrada y un  $d_{95} < 20 \mu\text{m}$ .

**Contenido de humedad:** relación, expresada en porcentaje, entre el peso de agua y peso seco de un material de inyección dado. Se llama también contenido en agua.

**Mortero:** mezcla de inyección con un gran contenido en materia seca y que contiene de arena.

**Depósito de lodo (cake):** véase depósito sobre filtro.

**Grado de neutralización:** velocidad de neutralización de una mezcla de inyección de silicato de sodio.

**Líquido newtoniano:** líquido cuya viscosidad es constante con la velocidad cortante. Un fluido newtoniano no presenta límite de plastificación.

**Inyección sin desplazamiento de terreno:** véase el capítulo 3 “Definiciones”.

**Sobre carga de terreno:** espesor de roca o de suelo que por encima del nivel al que se inyecta.

**Obturador:** dispositivo introducido en una perforación o en un tubo de manguitos para aislar una parte. Un obturador es generalmente un dispositivo dilatable por un procedimiento mecánico, hidráulico o neumático.

**Distribución granulométrica:** distribución en peso de las partículas de una mezcla de inyección habitualmente expresado en porcentaje acumulado de las partículas de tamaño inferior o superior en cada serie de diámetros (luz de malla del tamiz) o comprendida entre ciertos diámetros (luz de malla del tamiz).

**Mezcla de inyección granular:** mezcla de inyección que contiene además de las partículas coloidales en otras partículas en suspensión en un líquido.

**Pasada o fase:** inyección de una vez de una cierta longitud de perforación.

**Inyectabilidad:** aptitud de una mezcla de inyección para penetrar en un terreno.

**Inyección de impregnación:** véase el capítulo 3 “Definiciones”.

**Permeabilidad:** medida de la facilidad con la cual un líquido percola a través de un medio poroso. Véase igualmente “Coeficiente de permeabilidad”.

**Inyección de permeación:** véase el capítulo 3 “Definiciones”.

**Fase:** período activo de inyección, siguiendo los criterios definidos, que forman parte de una secuencia.

**Poliuretanos:** resinas químicas que producen espuma por reacción. Su viscosidad es parecida a las resinas epoxy y endurecen rápidamente (0,5 min a 10 h). Los poliuretanos de un componente reaccionan con el agua. Los poliuretanos de dos componentes se mezclan generalmente con agua para formar espuma, el proceso es un tipo de autoinyección que asegura una mejor adhesión y una cierta deformabilidad.

**Porosidad:** relación, expresada habitualmente en porcentaje entre el volumen de huecos de una muestra de suelo o de una roca dada en su volumen total.

**Tiempo de fraguado en probeta:** véase tiempo de fraguado.

**Puzolana:** material silíceo o aluminoso que por si mismo no tiene o tiene pocas propiedades de conglomerante hidráulico pero que finamente molido y en presencia de humedad, reacciona con el hidróxido de calcio a temperatura ordinaria, para formar compuestos que tengan propiedades de conglomerante hidráulico.

**Polvo de cenizas volantes:** subproducto obtenido por la combustión de carbón en centrales eléctricas rico en minerales.

**Resina:** materia base de una mezcla de inyección orgánica, como las acrílicas, epoxy, poliéster y uretano.

**Propiedades reológicas:** propiedades que caracterizan la fluencia de un producto en estado líquido o plástico.

**Reopéctico:** un líquido reopéctico tiene una viscosidad (de estructura) que crece cuando su velocidad de corte crece y que vuelve a su valor inicial después de un cierto tiempo de reposo.

**Viscosímetro rotativo:** en los viscosímetros rotativos, la viscosidad y el límite de plastificación se determinan basándose en la relación entre el par y la velocidad de rotación, es decir entre el cortante y el gradiente de cortante. La viscosidad se deduce de la relación entre el cortante y la velocidad de deformación.

**Sedimentación:** acumulación de partículas de una mezcla de inyección en el fondo de un recipiente bajo la acción de la gravedad, cuando el recipiente está inmóvil.

**Segregación:** distribución no uniforme de partículas en una mezcla de inyección debida a la sedimentación.

**Fraguado:** estado en que una mezcla de inyección pierde su plasticidad y alcanza un nivel de rigidez arbitrariamente fijado, habitualmente se mide en términos de resistencia a la penetración o a la deformación; El principio de fraguado se relaciona con el primer endurecimiento y el final corresponde al momento donde se alcanza una rigidez significativa.

**Tiempo de fraguado:** tiempo transcurrido entre el amasado de una mezcla de inyección y la obtención de un cambio significativo de sus propiedades reológicas; el tiempo de fraguado depende del volumen y de la temperatura y se determina de forma diferentes.

**Molinete de corte:** instrumento para medir la resistencia a cortante de líquidos o geles blandos.

**Resistencia a cortante:** fuerza límite de cortante que puede soportar un material sin romperse o plastificarse.

**Tensión de corte:**  $\tau$  es la fuerza de cortante aplicada a una superficie unitaria.

**Retracción:** reducción del volumen de una mezcla de inyección.

**Obturador sencillo:** obturador que sólo tiene un manguito de estanquidad, véase "obturador" y "obturador doble".

**Mezcla de sellado de tubo de manguito:** mezcla de inyección espesa inyectada entre la perforación y el tubo de manguito para sellar éste a la perforación.

**Tubo de manga:** véase tubo de manguito.

**Inyección por tubo de manguito:** método de inyección que utiliza un tubo de manguitos, que permite la inyección repetida de mezcla de inyección sin reperforación.

**Ensayo de asentamiento:** ensayo para apreciar la consistencia (maleabilidad, obrabilidad) de una mezcla de inyección con la ayuda de un cono de Abrams. El cono se llena de mezcla de inyección hasta una altura dada, después se retira, y se mide la diferencia entre la altura inicial del mezcla de inyección y su altura final.

**Solución:** líquido formado por la disolución completa de un producto químico que no contenga partículas en suspensión. Las soluciones son líquidos newtonianos que no tienen rigidez inicial ni partículas, y que endurecen en un período determinado de tiempo, llamado "tiempo de fraguado" hay soluciones verdaderas y soluciones coloidales. En este último caso, el líquido contiene moléculas grandes.

**Reducción de separación:** procedimiento por el cual se implantarán agujeros suplementarios equidistantes a los primeros agujeros ya inyectados.

**Estabilidad de la suspensión:** véase el capítulo 3 "Definiciones".

**Inyección por etapas:** inyección de una longitud dada. Ver inyección por fases capítulo 3 "Definiciones".

**Superplastificantes:** aditivos que incrementan la maleabilidad de los morteros y reduce la viscosidad de las suspensiones.

**Suspensión:** mezcla de líquido y partículas sólidas. En el curso de su circulación, se comporta como un líquido de Bingham, con viscosidad y cohesión a la vez (tensión de plastificación). Las suspensiones granulares contienen partículas más grandes que los tamaños de la arcilla, mientras que las suspensiones coloidales tienen las dimensiones que las partículas de arcilla.

**Agente dispersante:** aditivo que retarda la sedimentación de las partículas en el líquido.



**Sinéresis:** expulsión de líquido (generalmente de agua alcalina) de un gel que haya fraguado, sin que se haya comprimido, incluyendo una retención de gel. La sinéresis se produce durante un período de algunos meses.

**Absorción:** ver absorción del mezcla de inyección.

**Tixotropia:** propiedad de un material que rigidiza relativamente rápido en reposo, pero que pierde su consistencia y se convierte en un líquido viscoso o en una pasta blanda por agitación o manipulación. El procedimiento es reversible, es decir que la viscosidad de una materia tixotropia decrece cuando la velocidad de cizallamiento crece y retorna a su valor inicial después de un cierto tiempo de reposo. Los líquidos cuya viscosidad aparente crece con el tiempo se llaman tixotropicos. Las mezclas de inyección no newtonianas son generalmente tixotropicas.

**Método T.P.A:** T.P.A. quiere decir "Transient Pressure Análisis" Análisis de la presión transitoria. Este método utilizable en rocas, esta basado sobre las informaciones obtenidas por observación de la presión siguiente a la obturación de un tubo de inyección después de una pasada. Se consigue por detención voluntaria del bombeo con observación y seguimiento de la caída de presión con el tiempo.

**Transmisividad:** la Transmisividad  $T$  ( $m^2/s$ ) es el flujo de agua que pasa a través de una banda vertical de 1 m de anchura que afecta a todo el espesor saturado de terreno bajo en gradiente  $i = 1$ . Esto se expresa por el producto de coeficiente de permeabilidad  $K$  ( $m/s$ ) y del espesor de acuífero. Se expresa comúnmente la Transmisividad de un terreno rocoso en unidades Lugeon. La Transmisividad en unidades Lugeon se define como absorción de un caudal de un litro por minuto por metro de perforación bajo una presión de 1MPa.

**Inyección por embudo:** ver inyección por gravedad.

**Solución real:** cuando el 100% de componentes se disuelven en un agente disolvente.

**Tubo de manguitos:** tubo de inyección dotado de aberturas dispuestas en anillos a intervalos dados. Los agujeros se rodean con un manguito de goma que actúa como una válvula antirretorno.

**Resistencia a compresión simple:** resistencia la rotura, relativo a la unidad de superficie, de una muestra de material de forma cilíndrica o prismática cuando la altura es el doble que la anchura, obtenido en un ensayo de compresión simple sin confinamiento lateral.

**Inyección por pasadas ascendentes:** procedimiento de inyección, en general en rocas en los cuales la perforación se realiza hasta la profundidad definitiva, a continuación la inyección se hace por etapas que ascienden desde la base de la perforación.

**Viscosidad:** resistencia interna de un líquido que frena su circulación. Se distingue la viscosidad cinemática  $\nu$ , de la viscosidad dinámica  $\eta$  para la cual tenemos  $\nu = \eta/\rho$  donde  $\rho$  es la densidad del líquido. La viscosidad aparente es equivalente a la viscosidad dinámica, pero se refiere a la relación:

$$\mu_{app} = \frac{dy}{dv} \tau_{cor}$$

La viscosidad aparente  $\mu_{app}$ , medida en [Pa.s] representa la relación entre el cortante  $\tau$  y la velocidad de distorsión  $\dot{\gamma}$ . Para la mayor parte de las soluciones la viscosidad es función del cortante y depende del movimiento del líquido. Si se somete a una agitación rápida, la viscosidad disminuye y tiende hacia un límite llamado viscosidad plástica. Para ciertos líquidos en general los newtonianos, la viscosidad es independiente del cortante y la relación  $\frac{\tau}{\dot{\gamma}}$  es constante, igual a la viscosidad absoluta (dinámica)  $\eta$ . Por tanto, para líquidos newtonianos como las soluciones verdaderas, utilizadas como mezcla de inyección, el concepto de viscosidad plástica no es aplicable. La viscosidad cinemática medida en  $m^2/s$ , es función de la densidad del material  $\nu = \mu/\rho$ .

**Llenado de huecos:** término no recomendado. Véase inyección de llenado.

**Nivel piezométrico:** nivel donde la presión intersticial del agua en el suelo es igual a la presión atmosférica, es decir el nivel en la que se estabiliza el agua en un agujero cavado en el suelo.

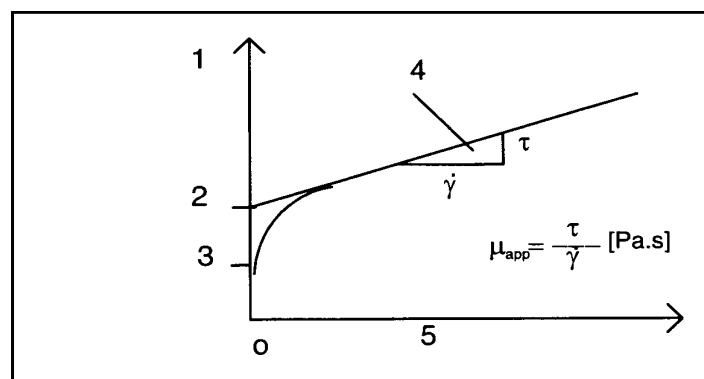
**Relación A/C:** la relación agua-cemento es la relación entre el peso del agua y el peso del cemento en un mortero.

**Contenido en agua:** ver contenido de humedad.

**Capacidad de retención de agua:** aptitud de una suspensión de retener agua sin aplicación de presión.

**Límite de plastificación (tensión de plastificación):** el valor más bajo a partir del cual hay una caída brusca del cortante aplicado y a partir del cual se produce una deformación continua a cortante prácticamente constante. El límite de plastificación o tensión de plastificación o cohesión ( $\tau_0$ ) el cortante a partir de la cual comienzan las deformaciones plásticas y a partir de la cual un líquido Bingham comienza a escurrir. El límite de plastificación ( $\tau_0$ ) de un líquido newtoniano es nulo.

**Resistencia plástica:** tensión a partir de la cual un material sale del dominio en el que hay proporcionalidad entre las tensiones y deformaciones.



#### Leyenda

- 1 Tensión de cizallamiento  $\tau$  [Pa]
- 2  $\tau_0$  límite de plastificación
- 3 c Cohesión (rigidez)
- 4 Viscosidad aparente  $\mu_{app}$
- 5 Velocidad de distorsión  $\dot{\gamma} = \frac{dv}{dy} \left[ s^{-1} \right]$

**Fig. B.1 – Definición de parámetros reológicos de un líquido Bingham (plástico)**

**ANEXO C (Informativo)**

**GRADO DE CUMPLIMIENTO DE LAS CLAÚSULAS**

El grado de cumplimiento de las cláusulas se indica como sigue:

- RQ: exigencia:
- RC: recomendación:
- PE: tolerancias.
- PO: posibilidad o eventualidad.
- ST: enunciado.

1	Objeto y campo de aplicación
2	Normas para consulta
3	Definiciones y símbolos
4	Información requerida
4.1	RC
4.2	RQ
4.3	RC
4.4	RQ
5	Reconocimiento del terreno
5.1	Generalidades
5.1.1	ST
5.1.2	RC
5.1.3	RC
5.1.4	RC
5.1.5	RC
5.1.6	RQ
5.1.7	RQ
5.2	Ensayos de permeabilidad
5.2.1	PO
5.2.2	RC
5.2.3	RC
5.2.4	RQ
5.2.5	ST
5.3	Ensayos y pruebas de inyección <i>in situ</i>
5.3.1	RC
5.3.2	RQ
5.3.3	RC
5.3.4	RQ
5.3.5	PO
6	Materiales y productos
6.1	Generalidades
6.1.1	RQ
6.1.2	RQ
6.1.3	RQ
6.1.4	RQ
6.2	Materiales componentes de la mezcla
6.2.1	Conglomerantes hidráulicos y cementos
6.2.1.1	ST
6.2.1.2	ST
6.2.1.3	RQ
6.2.1.4	RC
6.2.1.5	ST

6.2.2	Materiales arcillosos
6.2.2.1	PE
6.2.2.2	RC
6.2.3	Arenas, gravas y fillers
6.2.3.1	ST
6.2.3.2	PO
6.2.3.3	RQ
6.2.4	Agua
6.2.4.1	RC
6.2.4.2	RC
6.2.5	Productos químicos y aditivos
6.2.5.1	PE
6.2.5.2	RQ
6.2.5.3	ST
6.2.5.4	ST
6.2.6	Otros materiales
6.2.6.1	PO
6.2.6.2	ST
6.3	Mezcla de inyección
6.3.1	Generalidades
6.3.1.1	ST
6.3.1.2	RQ
6.3.1.3	ST
6.3.2	Suspensiones
6.3.2.1	ST
6.3.2.2	RC
6.3.2.3	RQ
6.3.2.4	RQ
6.3.2.5	RE
6.3.3	Disoluciones
6.3.3.1	RC
6.3.3.2	PO
6.3.3.3	RQ
6.3.3.4	RQ
6.3.3.5	RQ
6.3.3.6	ST
6.4.	Toma de muestras y ensayos
6.4.1	RQ
6.4.2	RQ
6.4.3	RC
6.4.4	RQ
6.4.5	ST
7	Consideraciones relativas al proyecto
7.1	Generalidades
7.1.1	ST
7.1.2	ST
7.2	Datos de base y objetivos
7.2.1	RC
7.2.2	ST
7.2.3	RQ
7.2.4	RQ
7.2.5	RC
7.3	Principios y métodos de inyección
7.3.1	Generalidades
7.3.1.1	ST
7.3.1.2	ST

7.3.1.3	ST
7.3.2	Inyección sin desplazamiento del terreno
7.3.2.1	Inyección de permeación
7.3.2.1.1	ST
7.3.2.1.2	RQ
7.3.2.2	Inyección de fisuras y de contacto
7.3.2.2.1	ST
7.3.2.2.2	RQ
7.3.2.3	Inyección de relleno
7.3.2.3.1	ST
7.3.2.3.2	RQ
7.3.2.3.3	PO
7.3.3	Inyección con desplazamiento del terreno
7.3.3.1.1	ST
7.3.3.1.2	PE
7.3.3.2	Fractura hidráulica
7.3.3.2.1	ST
7.3.3.2.2	RC
7.3.3.3	Inyección de compactación
7.3.3.3.1	ST
7.3.3.3.2	ST
7.3.3.3.3	RQ
7.4	Mezcla de inyección
7.4.1	Tipos y composición
7.4.1.1	RQ
7.4.1.2	RQ
7.4.2	Prescripciones generales
7.4.2.1	RQ
7.4.2.2	RQ
7.4.2.3	RC
7.4.2.4	ST
7.4.3	Parámetros y criterios
7.4.3.1	RQ
7.4.3.2	ST
7.4.3.3	RC
7.4.3.4	PE
7.4.3.5	RC
7.4.4	Aplicabilidad
7.4.4.1	ST
7.4.4.2	RQ
7.5	Colocación de la mezcla
7.5.1	Generalidades
7.5.1.1	RQ
7.5.1.2	ST
7.5.1.3	RC
7.5.1.4	RC
7.5.1.5	RC
7.5.2	Proyecto de implantación y realización de perforaciones
7.5.2.1	ST
7.5.2.2	RQ
7.5.2.3	RE
7.5.2.4	RQ
7.5.2.5	RQ
7.5.2.6	RC
7.5.2.7	RC

7.5.3	Fases de la inyección
7.5.3.1	ST
7.5.3.2	PO
7.5.3.3	RQ
7.5.4	Presión de inyección
7.5.4.1	ST
7.5.4.2	PE
7.5.4.3	ST
7.5.4.4	ST
7.5.4.5	RQ
7.6	Criterios de seguimiento y control
7.6.1	RQ
7.6.2	RC
7.6.3	RQ
8	Ejecución
8.1	Generalidades
8.1.1	RQ
8.1.2	ST
8.1.3	RQ
8.1.4	RQ
8.2	Perforación
8.2.1	PO
8.2.2	RQ
8.2.3	RC
8.2.4	RC
8.2.5	RQ
8.3	Preparación de la mezcla de inyección
8.3.1	Almacenamiento
8.3.1.1	RQ
8.3.2	Mezclado y amasado
8.3.2.1	RQ
8.3.2.2	RQ
8.3.2.3	RQ
8.3.2.4	RC
8.3.2.5	RQ
8.3.2.6	RQ
8.3.2.7	RC
8.3.2.8	RC
8.3.3	Bombeo y distribución
8.3.3.1	RQ
8.3.3.2	RC
8.3.3.3	RC
8.3.3.4	RQ
8.3.3.5	RC
8.3.3.6	RQ
8.3.3.7	RQ
8.3.3.8	RQ
8.3.3.9	RC
8.4	Puesta en obra de la mezcla de inyección
8.4.1	ST
8.4.2	PE
8.4.3	ST
8.4.4	PE
8.4.5	ST
8.4.6	ST
8.4.7	RQ

8.4.8	RC
8.4.9	RC
8.4.10	RC
8.4.11	RC
8.4.12	RQ
8.4.13	ST
8.4.14	RQ
8.5	Fases de inyección
8.5.1	RQ
8.5.2	ST
8.5.3	PO
8.5.4	RQ
8.5.5	RC
8.5.6	RC
9	Supervisión y control de los trabajos
9.1.	Generalidades
9.1.1	RQ
9.1.2	RQ
9.2	Supervisión
9.2.1	RC
9.2.2	RQ
9.2.3	RQ
9.2.4	RQ
9.2.5	RC
9.2.6	RQ
9.2.7	RC
9.3	Seguimiento y control
9.3.1	Generalidades
9.3.1.1	RC
9.3.1.2	RQ
9.3.1.3	RC
9.3.1.4	RC
9.3.1.5	RC
9.3.1.6	RC
9.3.1.7	RC
9.3.1.8	RC
9.3.1.9	RC
9.3.2	Impacto ambiental
9.3.2.1	RC
9.3.3	Control de objetivos
9.3.3.1	RQ
9.3.3.2	RC
9.3.3.3	PO
9.3.3.4	ST
9.3.3.5	PO
9.3.4	Control de desplazamiento
9.3.4.1	RC
9.3.4.2	RQ
9.3.5	Perforación
9.3.5.1	PO
9.3.6	Mezcla de inyección
9.3.6.1	RQ
9.3.6.2	RC
9.3.6.3	RQ
9.3.6.4	RQ
9.3.6.5	RQ
9.3.6.6	PO

10	Documentación de los trabajos
10.1	RC
10.2	RC
10.3	RQ
10.4	RQ
10.5	RC
10.6	RQ
11	Aspectos particulares (medio ambiente, seguridad en obra)
11.1	Seguridad de las personas
11.1.1	ST
11.1.2	RC
11.1.3	RQ
11.1.4	RC
11.2	Protección del medio ambiente
11.2.1	RC
11.2.2	RC
11.2.3	ST
11.2.4	RC



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] AFTES (1987): Group de travail No. 8: Injection. *Tunnel et ouvrages souterrains* No. 81, AFTES, Paris.
- [2] API (June 1990): Recommended Practice 13 B-1: *Standard Procedure for Field Testing of water-based Drilling Fluids*. American Petroleum Institute.
- [3] AS.1289 (1984): Australian Standard. Method of Testing Soil for Engineering Purposes, Part C: Soil Classification Tests.
- [4] BSI (1986): BSI 8004: British Standard Code of practice for Foundations (formerly CP 2004). *British Standards Institution*.
- [5] CIRIA RP451 (1992): Fundamental basis of grout injection for ground treatment.
- [6] DIN 4093 (1987): Ground treatment by grouting: Planning, grouting procedure and testing (english version). UDC 624.138.24:624.159.4:620.1.
- [7] ÖNORM B 4454 (1989): Injektionsarbeiten in Fest-und Lockergestein. DK 624.138.24.
- [8] SIA 198 (1993): Travaux souterrains: Projet, exécution, dispositions particulières, mètres et décomptes. Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes.
- [9] NF P 18 891 (1992): *Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique - produits à base de résines synthétiques ou de liants hydrauliques pour injections dans des structures en béton - essais d'injectabilité à la colonne de sable en milieux sec et/ou humide*.
- [10] ISRM (1996): International Society for Rock Mechanics - Final Report of the Commission on Rock Grouting. International Society for Rock Mechanics., Int. J. Rock Mech. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 33 No.8, pp. 80.-847, Elsevier.
- [11] prEN ISO 4109, Fresh concrete - Determination of consistency - Slump test.
- [12] prEN 12382-2:1996, Testing concrete - Determination of consistency - Slump test.

---

---

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32