

40
2 ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

"ARAGON"

FALLA DE ORIGEN

**"REFORZAMIENTO Y SELLADO EN ROCAS
Y SUELOS MEDIANTE INYECCIONES
DE CEMENTO"**

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a

JOSE LUIS IGNACIO TRAVIESO

San Juan de Aragón, Méx.

1995



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

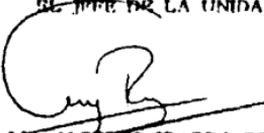
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ARAGÓN
UNIDAD ACADÉMICA

Ing. DANIEL VELA ZQUEZ MAZQUEZ
Jefe de Carrera de Ingeniería Civil
Presente.

En atención a su solicitud de fecha 6 de diciembre del año en curso, por la que se comunica que el alumno JOSE LUIS IGNACIO TREVISO, de la carrera de INGENIERO CIVIL, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "REFORZAMIENTO Y SELLADO EN ROCAS Y SUELOS MEDIANTE INYECCIONES DE CEMENTO", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión, así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted las seguridades de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPERITU"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., diciembre 7 de 1964
EL JEFE DE LA UNIDAD


LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS

c c p Ing. José Mario Avilés Hernández, Asesor de Tesal.
c c p Interesado.

AIR/vr



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGÓN

DIRECCION

JOSE LUIS IGNACIO TREVIESO
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 13 de septiembre del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JOSE MARIO AVALOS HERNANDEZ pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " REFORZAMIENTO Y SELLADO EN ROCAS Y SUELOS MEDIANTE INYECCIONES DE CEMENTO ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

San Juan de Aragón, Mex., 21 de septiembre de 1990

EL DIRECTOR

Claudio C. Merrifield Castro
M EN I CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO



[Firma]

- c c p Lic. Alberto Ibarra Rosas, Jefe de la Unidad Académica.
- c c p M en I Daniel Velázquez Vázquez, Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil.
- c c p Ing. José Mario Avalos Hernández, Asesor de Tesis.

[Firma]

CCMC'AIR'11a.

**REFORZAMIENTO Y SELLADO EN RUCAS Y SUELOS
MEDIANTE INYECCIONES DE CEMENTO**

I N D I C E

CAPITULO 1.	INTRODUCCION.....	1
	1.1 Objetivos	1
	1.2 Generalidades	4
	1.3 Antecedentes	8
CAPITULO 2.	ESTUDIOS PREVIOS A LA INYECCION.....	10
	2.1 Reconocimiento geológico	11
	2.2 Investigaciones geotécnicas.....	11
	2.3 Sondeos de investigación.....	11
	2.4 Registro del sondeos.....	12
	2.5 Pruebas de presión de agua.....	12
CAPITULO 3.	PERFORACION.....	14
	3.1 Perforación con testigo o de percusión.....	14
	3.2 Diámetro del sondeo.....	14
	3.3 Perforación en formaciones duras.....	16
	3.4 Perforación en formaciones poco resistentes.....	16
	3.5 Perforación en formaciones blandas.....	20
	3.6 Perforación con entubación.....	20
	3.7 Ubicación de los sondeos.....	20
	3.8 Alineación y desviación.....	23
CAPITULO 4.	EQUIPO DE INYECCION DE CEMENTO.....	25
	4.1 Mezclador.....	28
	4.2 Agitador.....	33
	4.3 Bombas de inyección.....	33
	4.3.1 Bombas de pistón	34
	4.3.2 Bombas helicoidales excentricas...34	
	4.3.3 Bombas para inyecciones especiales.....	37

4.4	Línea de circulación.....	37
4.5	Diámetros de las líneas de inyección.....	39
4.6	Contadores de caudal y presión.....	40
4.6.1	Protector del manómetro.....	40
4.7	Obturadores.....	42
4.7.1	Obturador mecánico.....	44
4.7.2	Obturador recuperable.....	46
CAPITULO 5.	PROYECTO PARA INYECCION DE PRESAS.....	47
5.1	Inyección de superficie o de capa.....	47
5.2	Inyección de pantalla.....	48
5.3	Inyección de zonas con fallas.....	54
5.4	Inyección por contacto.....	54
5.5	Inyección de cavidades.....	55
CAPITULO 6.	PREPARACION DE LA SUPERFICIE ROCOSA.....	57
6.1	Tratamiento de superficies agrietadas.....	57
6.2	Tratamiento en superficie de rocas débiles.....	58
6.3	Tratamiento de fallas.....	58
CAPITULO 7.	PREPARACIONES PARA SONDEOS DE INYECCION.....	60
7.1	Limpieza de los sondeos de inyección.....	60
7.2	Pruebas de presión de agua.....	60
CAPITULO 8.	INSTALACION DEL EQUIPO DE INYECCION.....	97
8.1	Pequeños proyectos.....	97
8.2	Grandes proyectos.....	97
8.3	Galerías de Inyección.....	101
8.4	Equipo de inyección en túneles.....	102

CAPITULO 9.	PROCEDIMIENTOS PARA LA INYECCION.....	104
	9.1 Método del cierre espaciado.....	104
	9.2 Inyección en serie.....	105
	9.3 Progresiones de una inyección.....	105
	9.3.1 Progresiones descendentes.....	107
	9.3.2 Progresiones ascendentes.....	110
	9.4 Inyección total del sondeo.....	112
	9.5 Inyección con manguito.....	112
CAPITULO 10.	PRESIONES DE INYECCION.....	113
	10.1 Presiones en rocas.....	113
	10.2 Presión de inyección en las pruebas de agua.....	117
	10.3 Comprobaciones de levantamiento y fracturación hidráulica.....	118
	10.4 Presiones en suelos.....	118
CAPITULO 11.	DIFERENTES TIPOS DE MEZCLAS.....	123
	11.1 Mezcla de cemento.....	126
	11.2 Mezclas con cemento especial.....	128
	11.3 Mezclas de cemento/bentonita y cemento /arcilla.....	128
	11.4 Aditivos para mezclas de cemento.....	128
	11.5 Mezclas químicas.....	129
	11.5.1 Inyección de doble acción.....	131
	11.5.2 Inyección de acción simple.....	131
	11.5.3 Resinas.....	131
	11.6 Mezclas en suspensión/líquidos.....	132
CAPITULO 12.	VISCOSIDAD, TIXOTROPIA, Y PENETRACION DE MEZCLAS.....	136
CAPITULO 13.	ANALISIS DE MUESTRAS.....	142
CAPITULO 14.	PROCEDIMIENTOS DE INYECCION.....	152

CAPITULO 15.	INYECCION DE TUNELES.....	156
	15.1 Reducción de filtraciones.....	158
	15.2 Inyección para reforzamiento.....	158
	15.3 Inyección para evitar pérdidas de agua en el terreno.....	160
CAPITULO 16.	REGISTROS.....	175
CAPITULO 17.	INYECCION DE SUELOS.....	182
	17.1 Sondeos.....	182
	17.2 Inyección de suelos.....	191
	17.3 Criterios para la penetración.....	191
	17.4 Presiones para la inyección de suelos.....	191
	17.5 Técnicas sin penetración.....	192
	17.6 Pruebas.....	192
CAPITULO 18.	INYECCION DE JUNTAS DE CONSTRUCCION.....	194
	18.1 Inyección de contacto con cemento.....	194
	18.2 Inyección con resina.....	201
CAPITULO 19.	INYECCION PARA REFORZAMIENTO.....	203
CAPITULO 20.	TECNICAS ESPECIALES DE INYECCION.....	212
	20.1 Elevación con lodo.....	212
	20.2 Inyección a alta presión.....	218
	20.3 Inyección de conglomerados.....	218
	20.4 Inyección de pernos de roca.....	220
	20.5 Inyección de cables.....	222
	20.6 Inyección de anclajes en rocas y suelos.....	222
CAPITULO 21.	CONCLUSIONES.....	234
BIBLIOGRAFIA.....		243

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 OBJETIVOS.

El presente trabajo se elaboró debido a la inquietud existente por contar con información de carácter introductorio relacionado con el diseño y ejecución de un proceso de inyección en suelos y rocas para mejorar sus características, se revisan algunos criterios que se aplican usualmente en el proceso de ejecución exponiéndose algunas de las características relevantes en su proceso así ciertos límites de su aplicación, ventajas y desventajas.

La inyección, más que la mayoría de los procesos de ingeniería, requiere gran comprensión, destreza y atención por los detalles. Siguiendo diariamente la evolución del trabajo, la ingeniería de inyección desarrolla la capacidad de contacto del terreno y de la mezcla cuando fluye, a través de las grietas y juntas ocultas en el terreno.

Los tipos de trabajos en los que puede realizarse la inyección varían mucho, y cada lugar donde se aplica la inyección es prácticamente único, por lo tanto las formas de resolver los problemas son diferentes y variadas, y aunque no entre países, si existen diferencias entre continentes, dependiendo de las diversas rocas y terrenos y las diferencias en cuanto a los equipos y técnicas tradicionales que se emplean.

La investigación consta de varios capítulos tratados de forma que se pueda entender el comportamiento y la aplicación de la técnica en una inyección, iniciando con los aspectos generales y sus antecedentes de que se tenga noticias tratado en el capítulo 1.

En el capítulo 2 se hace referencia de los estudios necesarios mínimos para poder diseñar y planear un proyecto de inyección complementándose en el capítulo siguiente (3) sobre la elección del equipo de perforación adecuado para la realización de estos sondeos exploratorios y de perforación para cada tipo de terreno.

El equipo de inyección que es una de las partes importantes en un proyecto de inyectado al igual de los accesorios comunes para su ejecución son tratados en el capítulo 4, dando una breve descripción de cada elemento y su funcionamiento.

En el capítulo 5 se aborda las aplicaciones más tradicionales de las inyecciones aplicado en la construcción de presas y en las situaciones donde frecuentemente se aplican, complementándose con los capítulos subsecuentes (cap. 6 y 7) en donde se mencionan las formas de preparar y tratar la zona donde se llevará a cabo el inyectado para que este cumpla su objetivo al igual que las perforaciones para este fin respectivamente.

Dependiendo del tipo y la magnitud de la obra donde se va a realizar el proyecto será el tamaño de la instalación del equipo inyector, tomando en cuenta el lugar disponible para su instalación y los tipos de procedimientos para la realización del este son abordados en los capítulos 8 y 9 respectivamente.

En un trabajo de este tipo a parte de los procedimientos empleados para la ejecución de un inyectado, se debe de tomar en cuenta, las presiones que se emplearán, los tipos de mezclas que se diseñan para cada situación y su forma de comportarse al penetrar dentro de la estructura del suelo inyectado y las pruebas de campo y laboratorio que se le aplican a cada tipo de mezcla para garantizar su buen comportamiento para lo cual fue diseñado son expuestos en los capítulos 11, 12 y 13 respectivamente, la buena y correcta aplicación de los conceptos anteriores garantizan la buena ejecución de un proyecto de inyectado.

En el capítulo 14 se proporcionó una breve descripción general de los pasos que se siguen al hacer un inyectado, dependiendo del tipo de terreno y lugar de trabajo, estas descripciones se deben de adaptar a las condiciones locales del terreno.

Otro lugar tradicional de aplicación de un tratamiento de inyección es en la construcción de túneles, aplicados comúnmente en el tratamiento de filtraciones, reforzamiento durante su construcción y su adherencia suelo - estructura en su conclusión son tratados en el capítulo 15.

A continuación en el capítulo 16 se da los parámetros más comunes que se llevan en los registros de campo, para anotar todo aquello que se realice y ocurra durante el desarrollo del trabajo y sirvan para determinar acciones a tomar y cuando ha de darse por concluido el trabajo.

Al realizar una inyección de un suelo se debe de definir que técnicas de inyectado son las adecuadas para cierto tipo de terreno, en el capítulo 17 se hace mención de uno de los tipos de suelos más difíciles de tratar como lo son los terrenos aluviales dando algunos ejemplos de como se puede inyectar este tipo de terreno y algunas consideraciones que se deben de tomar en cuenta para su realización.

En los tres últimos capítulos (18,19 y 20) , se hace referencia de algunas otras aplicaciones que se le pueden dar a las inyecciones, ya sea para regeneración de estructuras dañadas y cimentaciones al igual que los reforzamientos de estructuras urbanas y elevaciones de estructuras para ponerlos a su nivel normal cuando estas han sufrido asentamientos , la aplicación en los anclajes para que una estructura pueda autosoportarse así mismo y por último, se anexa un glosario con algunas expresiones empleados en este trabajo y su definición que se le dá en el ámbito de la inyección.

1-2 GENERALIDADES

A veces surge la necesidad de construir en terrenos que de antemano se sabe que no reúnen las condiciones debidas por que se fisuran, son inconsistentes, permeables, etc., por lo que, crea peligros de hundimiento y corrimientos del terreno y, en definitiva, resquebrajamientos en la obra.

Esto se puede evitar vigorizando el terreno, proporcionándole artificialmente esa fortaleza, esa consistencia que le falta, del mismo modo que se vigoriza al enfermo con inyecciones que le introducen en el organismo los elementos biológicos que necesita y los que esta en un estado deficitario.

El procedimiento que vigoriza o estabiliza el terreno es mediante inyecciones de cemento o soluciones químicas que, al dar mayor dureza al terreno, aumentan su resistencia, por lo tanto inyección como procedimiento constructivo se le llamará al proceso de inyectar a presión mezclas en suspensión, emulsiones y soluciones dentro de rocas, suelos y cavidades, para su reforzamiento, sellado o estabilización y para rellenar cavidades diversas.

La inyección tiene por objeto consolidar los cuerpos sólidos porosos y permeables, tales como rocas fisuradas, arenas, gravas o aluviones, así como zonas defectuosas no aptos para obras de gran importancia.

Para alcanzar estos resultados se rellenan los huecos del medio a tratar con un producto líquido que se solidifica con el tiempo.

También la inyección puede ser utilizado como ya se comento anteriormente para elevar estructuras asentadas, mover o desplazar y compactar terrenos o para producir grietas artificiales del mismo y establecer contacto entre dos estructuras.

APLICACIÓN QUE PUEDEN TENER UN TRATAMIENTO DE INYECCIÓN.

-Como medio auxiliar y provisional de construcción.
por ejemplo:

- Estabilización e impermeabilización de taludes inestables y en los bordes de excavaciones con calles.
- Impermeabilización de fondos de recintos excavados al abrigo de pantallas continuas.
- Tratamiento de masas de terreno para excavar zanjas, pozos, sótanos, túneles, galerías, etc.

-Como constituyente definitivo de la cimentación,

- Estabilización de terrenos inestables o cavernosos bajo cimientos.
- Pantallas de impermeabilización en depósitos (presas), fábricas industriales y edificios.
- Relleno de trasdós de muros, túneles y galerías.

-Como reparación, recalce o mejora de obras ya ejecutadas.

- Impermeabilización de juntas defectuosas de construcción de muros de sótanos.

- Para tratamiento de puntas de pilotes y de cimientos defectuosos en general.
- Para regeneración de concretos o mamposterías.
- Para soldadura y sellado de grietas o roturas estructurales.

AMBITO DE APLICACIÓN

Otro problema con el que se encuentra el proyectista y el constructor no especializado, es el de saber en que terrenos se puede aplicar con eficacia un tratamiento de inyecciones.

En el estado de la técnica actual, se puede decir que un tratamiento de inyecciones se puede aplicar en cualquier tipo de terreno, cuando las circunstancias especiales que concurren lo aconsejen, pero ciñéndonos a los casos normales de edificaciones u obras urbanas, las inyecciones se pueden utilizar económicamente en problemas presentados en los siguientes tipos de terrenos:

- Terrenos rocosos o rocas muy fisuradas, con huecos o cavernas (por ejemplo, terrenos volcánicos, calizas cársicas y dentriticas, tobas,).
- Terrenos con alternancia de estratos duros y niveles arenosos poco compactos.
- Terrenos en que pueden ser lavados o arrastrados por corrientes de agua, y por ello, pueden tener variaciones de volumen.

- Para tratamiento de puntas de pilotes y de cimientos defectuosos en general.
- Para regeneración de concretos o mamposterías.
- Para soldadura y sellado de grietas o roturas estructurales.

AMBITO DE APLICACIÓN

Otro problema con el que se encuentra el proyectista y el constructor no especializado, es el de saber en que terrenos se puede aplicar con eficacia un tratamiento de inyecciones.

En el estado de la técnica actual, se puede decir que un tratamiento de inyecciones se puede aplicar en cualquier tipo de terreno, cuando las circunstancias especiales que concurren lo aconsejen, pero ciñéndonos a los casos normales de edificaciones u obras urbanas, las inyecciones se pueden utilizar económicamente en problemas presentados en los siguientes tipos de terrenos:

- Terrenos rocosos o rocas muy fisuradas, con huecos o cavernas (por ejemplo, terrenos volcánicos, calizas cársicas y dentriticas, tobas,).
- Terrenos con alternancia de estratos duros y niveles arenosos poco compactos.
- Terrenos en que pueden ser lavados o arrastrados por corrientes de agua, y por ello, pueden tener variaciones de volumen.

-Terreno de aluvión, formados por arenas, gravas o boleas.

-Terrenos artificiales: rellenos de escolleras, y en general, materiales sueltos.

Se procura alcanzar mayor consistencia en los trabajos de consolidación que en los de impermeabilización. El liquido inyectado se le conoce con el nombre de mortero de inyección o mezcla.

Para introducir el mortero se le hace penetrar a presión por los taladros, sondeos o perforaciones realizados a través de los huecos a inyectar.

En algunos huecos aparentes como ciertas fisuras pueden inyectarse sin que sea necesario realizar taladros. Es suficiente con introducir el conducto transportador del mortero y evitar la circulación de éste hasta la superficie del cuerpo a tratar.

Estas circulaciones conocidas con el nombre de resurgencias, pueden producirse cuando la inyección se efectúa por medio de taladros. Constituyen siempre una dificultad para la buena ejecución de un trabajo de inyectado.

Los morteros de inyección y de los métodos utilizados son diferentes según sea la forma de los huecos a rellenar. Estos pueden clasificarse en dos categorías:

a) Fisuras.

b) Huecos de suelos sueltos o incoherentes.

1.3 ANTECEDENTES

Su inventor fue BERIGNY en el año de 1802, inyectando con éxito morteros de cemento, eventualmente asociados con puzolanas, también llegó a utilizar una suspensión de arcilla - cal para la inyección de consolidación de las paredes de mampostería del puerto de dieppe en Francia.

En Inglaterra, BRUNEL empleo cemento portland para la inyección, durante la construcción del primer túnel del Tamesis en Wapping, en 1838.

Poco a poco fueron perfeccionándose los métodos de inyección a igual que las mezclas utilizadas, pero el mayor impulso de las inyecciones data de 1920 - 1930, época en que la construcción de ferrocarriles dio paso a la de las obras hidráulicas, siendo también diseñado el primer equipo de inyección.

Este procedimiento, que pudiera considerarse accesorio en las obras clásicas, se transformo en esencial en la construcción de presas, haciendo posible la eliminación de circulaciones de agua que contorneaban esta clase de obras, ningún procedimiento permitió llegar a este resultado de manera más económica.

En esta época el profesor Lugeon, Geólogo de profesión supo utilizar un procedimiento capaz de mejorar las estructuras de los macizos rocosos, su conocimiento de los suelos le permitió establecer ciertas reglas lógicas y flexibles a la vez, que aún se siguen utilizando.

Con el profesor Lugeon, la inyección de macizos rocosos quedo regulada de una vez para siempre. Pero quedaba de los aluviones de arenas y gravas. Durante muchos años no hubo más procedimiento que el del Joosten, consiste en inyectar las arenas y gravas primeramente con silicato de sodio y después un reactivo muy fuerte que le transforma en gel, esta inyección impermeabiliza a la vez que consolida, pero al ser este procedimiento muy costoso, no llego hacerse habitual, por otra parte es ineficaz en arenas finas.

La aparición en 1938 de los morteros de arcilla tratada, recomendado por A. Mayer, muy superiores a los morteros de arcilla de Béregny, y fundamentalmente algunos años más tarde, los morteros de arcilla cemento, para que la inyección de aluviones llegara a considerarse relativamente barata.

Esta inyección no se practica como la de los macizos rocosos, y es ahora cuando se conoce la forma de dirigir estos trabajos convenientemente, los numerosos estudios realizados por los técnicos petroleros para la fracturación hidráulica de los pozos, han aportado su contribución a este resultado.

CAPITULO 2

ESTUDIOS PREVIOS A LA INYECCION

INFORMACIÓN PREVIA

Para realizar un tratamiento de inyecciones y poder establecer un proyecto previo, así como un presupuesto sensiblemente realista, es preciso disponer de sondeos de reconocimiento para poder definir:

- Existencia y condiciones de nivel freático, circulación o corrientes de agua y características de la misma.
- En terrenos rocosos: grado aproximado de fisuración o de huecos, accidentes geológicos, estratificación.

Precisando además:

- Información y señalización de servicios subterráneos que interfieran en el solar (teléfono, agua, gas, alcantarillado, electricidad, etc.
- Información de las características de los cimientos de las edificaciones contiguas, y la existencia de sótanos, galerías, etc.

2.1 RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO.

Un reconocimiento geológico debería incluir la geología general de la región con sus características tectónicas, forma de las fallas, dirección, buzamiento, etc.

2.2 INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS.

Se debe fijar el nivel de cualquier agua subterránea en el lugar de trabajo, siendo necesario efectuar el análisis químico del agua subterránea, del agua de construcción y estudiar las rocas y el suelo, para elegir correctamente los materiales que se emplearán en la inyección que garanticen buenos resultados.

Los sondeos de investigación y las pruebas de permeabilidad deben de realizarse de tal forma que permitan un programa adecuado de los trabajos de inyección.

2.3 SONDEOS DE INVESTIGACIÓN.

El método de perforación más común en esta etapa de trabajo es la perforación con testigos, que proporcionan gran información sobre el tipo de roca y terreno, incluyendo la frecuencia y tamaño de grietas y fallas.

Las perforadoras hidráulicas han transformado el lento proceso de perforación anterior en una operación realmente eficiente. Estas son ideales para la realización de sondeos de investigación.

Debido a su flexibilidad para trabajar con diferentes equipos de perforación, son muy adecuadas para la ejecución de las perforaciones de inyección.

Las perforadoras hidráulicas pueden equiparse con un instrumento que registra los parámetros de perforación cada veinte milímetros y controla el caudal dentro y fuera de la perforación sondeo. Ello proporciona una breve información sobre la permeabilidad de la masa rocosa.

2.4 REGISTRO DEL SONDEO.

Se realiza mediante un dispositivo de medición de profundidad y programa para la acumulación y transferencia de la información a la computadora. Es muy útil en los procesos de análisis y registros geológicos, geotécnicos y datos de perforación e inyección.

La rápida y uniforme acumulación y registro de datos se realiza semi-automáticamente.

La pantalla multicolor permite una interpretación precisa de los datos geológicos, geomecánicos de perforación e inyección. Los geólogos e ingenieros pueden construir perfiles y modelos directamente, a partir de los datos de sondeo facilitados por la computadora.

Esto facilita la evaluación de los datos registrados para estimar las propiedades de la masa rocosa, la precisión de esta evaluación será comparativamente mayor que la evaluación manual de los diferentes parámetros por separado.

2.5 PRUEBAS DE PRESIÓN DE AGUA.

Son utilizadas para medir la permeabilidad del terreno, el agua es impulsada a presión dentro del sondeo, a una cierta profundidad, durante un periodo de tiempo.

El método más confiable o aceptable para las pruebas de permeabilidad mediante ensayos de agua es el que se realiza con perforaciones rotatorias y en progresiones descendentes, pero se debe evitar la realización de los ensayos de agua sobre tramos muy largos, si se quiere medir la permeabilidad real del terreno la longitud máxima conveniente para estos tramos puede ser de 5.00 metros, con la condición de que se tome siempre hasta el fondo de la perforación.

Se emplean dos tipos de ensayos, según la naturaleza del terreno y el método de perforación adoptado.

1. Los ensayos Lefranc, en terreno pulverulentos en los que las perforaciones siempre se entuban, ya que no se debe emplear lodo para mantener las paredes estables sin derrumbarse

2. Los ensayos Lugeon en rocas duras.

El principio de estos ensayos es idéntico, consiste en inyectar el agua en el terreno a través de una porción conocida de la perforación llamado tramo o bolsa.

En sondeos de investigación, las pruebas de permeabilidad de agua se realizan normalmente empleando un obturador sencillo o doble, que aísla una cierta longitud del sondeo.

Los resultados de las pruebas son representados en un gráfico indicando pérdida de agua contra presión.

CAPITULO 3

PERFORACION

La elección de un equipo de perforación depende de un número de factores y, normalmente, en una obra se necesitan distintos tipos de perforadoras para manipular rocas y suelos a profundidades diversas y para permitir la perforación en espacios reducidos como las galerías de presas, dándoles a veces algunas inclinaciones debido a las orientaciones de las fisuras existentes en el lugar de inyectado. (fig 3a).

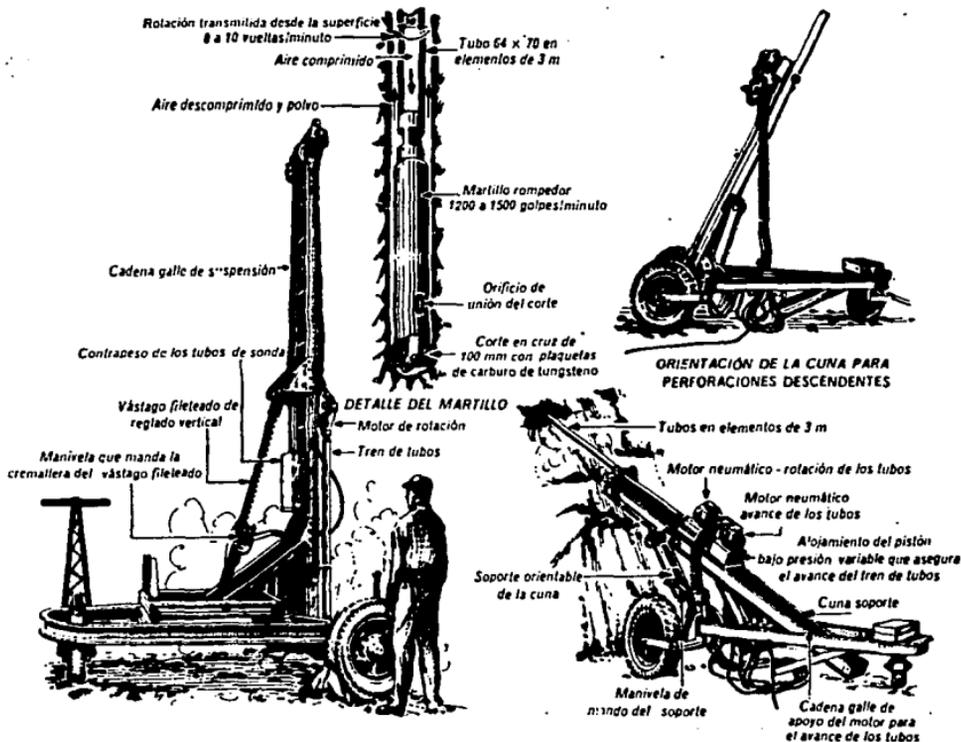
3.1 PERFORACIÓN CON TESTIGO O DE PERCUSIÓN.

Para obtener buenos resultados en la inyección es importante que el método de perforación empleado produzca desechos que puedan ser barridos fuera de la perforación, de manera que no obstruyan las grietas ni dificulten la entrada de la inyección en las mismas.

Como regla general, la perforación de percusión es empleada en formaciones duras, y la perforación con testigo en rocas blandas.

3.2 DIAMETRO DEL SONDEO

Dependerá en parte del sistema de perforación elegido, pero se recomienda no ser inferior a 50 mm, por razones prácticas, y por otro lado, el diámetro máximo de la perforación no deberá ser superior a 100 - 140 mm para evitar la necesidad de un obturador demasiado pesado dentro de la perforación.



(Fig. 3a)

PERFORADORA PARA SONDEOS VERTICALES

SONDEOS INCLINADOS

El diámetro del sondeo y el modo de efectuar la perforación no afectan mayormente el resultado de la inyección, siempre y cuando los desechos de perforación sean sacados con un fuerte barrido después de concluido.

3-3 PERFORACIÓN EN FORMACIONES DURAS.

En estas formaciones, la perforación más empleada es la de percusión rotativa, que debe realizarse con inyección de agua siempre que sea posible.

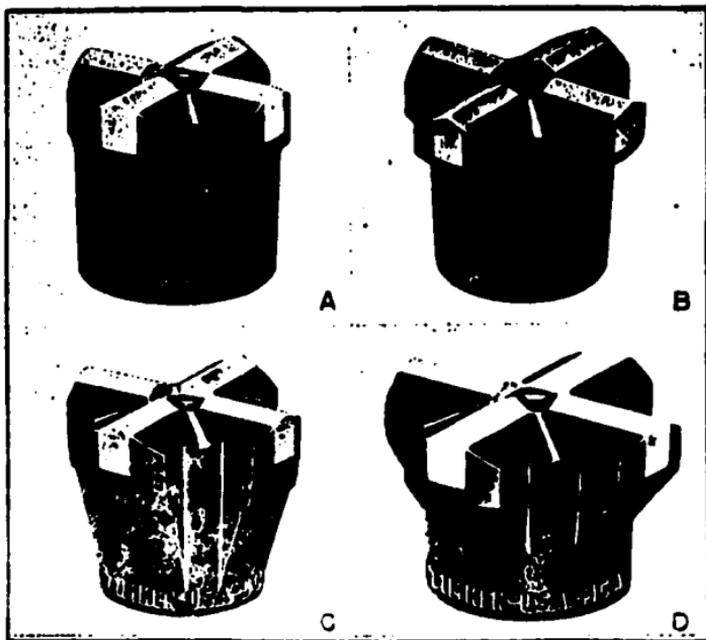
Los equipos con martillo en cabeza son los más utilizados y eficaces para profundidades de 30 - 50 metros, empleando brocas cuyo diámetro oscila normalmente entre 50 y 64 mm. (fig.3-3a y 3.3b).

A profundidades mayores, puede utilizarse el martillo de fondo con brocas cuyo diámetro oscila entre 80 y 125 mm. Para el barrido se emplea aire comprimido, (fig.3-3) al que en ocasiones, se le añade agua o espumante. Si se utiliza espumante, deberá ser del tipo que se desintegre después de su uso (biodegradable).

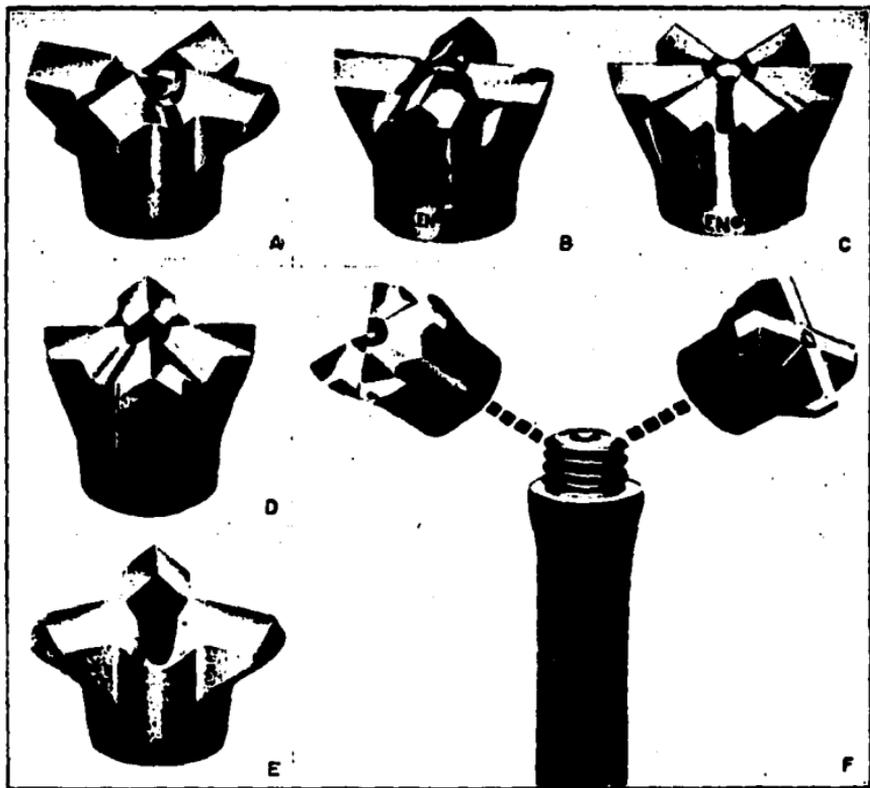
3.4 PERFORACIÓN EN FORMACIONES POCO RESISTENTES.

En estas formaciones, aún si las rocas son duras o abrasivas, es preferible emplear brocas de aletas cuyos diámetros oscilen entre 50 y 100 mm. Si las perforaciones no se derrumban pueden utilizarse martillos de fondo a percusión que proporcionan un buen avance de perforación, hasta en formaciones semiduras y blandas.

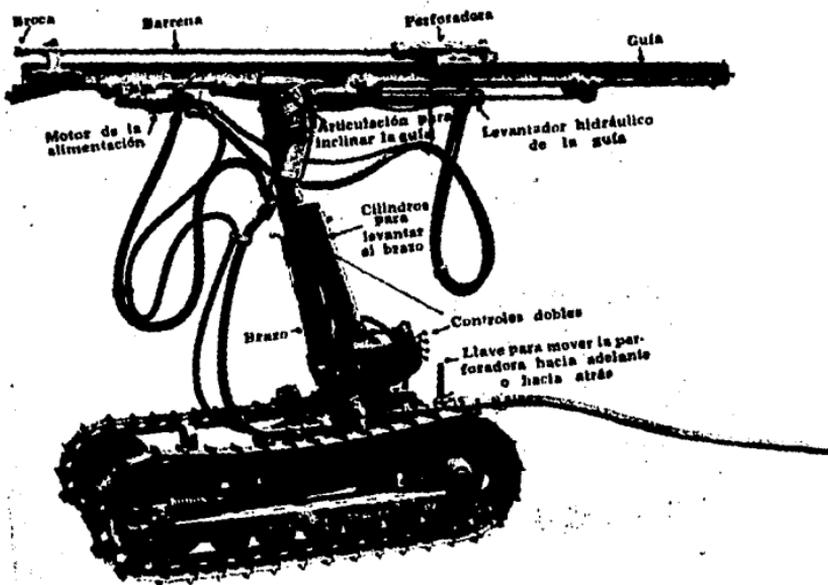
Con las modernas perforadoras hidráulicas, puede resultar económico realizar una perforación en estas formaciones, sin producir derrumbamientos y simplificando la utilización del obturador.



(Fig-3-3a) BRUCAS CON INSERCIÓN DE CARBURO DE TUNGSTENO



(Fig. 3-3b) BROCAS PARA TALADRAR EN ROCA



CE 10-3-33 PERFORADORA TRACCIONADA POR CINTA PARA PERFORACION EN
 FORMACIONES DURES

FALLA DE ORIGEN

En terrenos poco resistentes, a veces, la única manera de realizar un sondeo sin entubación, es perforar algunos metros, inyectar cemento y reperfilarlo cuando el cemento haya fraguado.

3.5 PERFORACIÓN EN FORMACIONES BLANDAS.

En terrenos blandos como margas, yesos y arcillas duras, se emplea la barrena helicoidal. Sin embargo, a veces, perforar con recuperación de testigo, utilizando modernas sondas hidráulicas, es el método más seguro para obtener una buena producción a un costo razonable.(fig. 3.5).

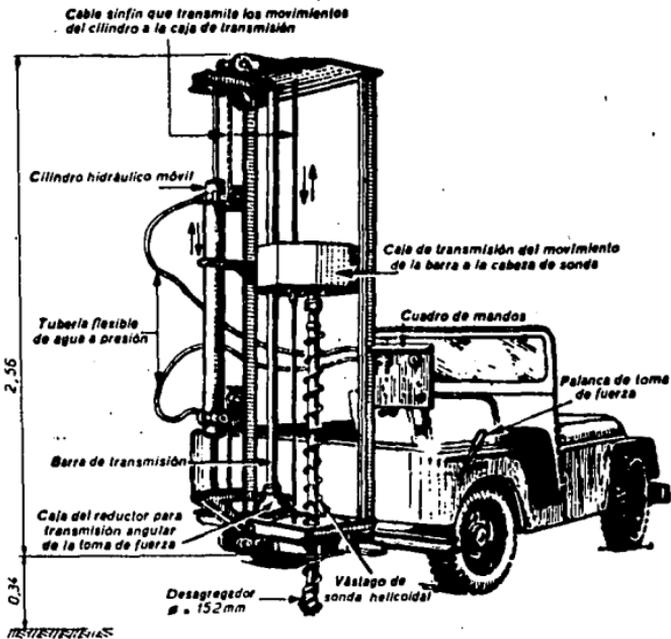
3.6 PERFORACIÓN CON ENTUBACIÓN.

En suelos y a veces, en formaciones poco resistentes y blandas, no es posible realizar una perforación sin entubarlo, existiendo varios métodos de perforación que emplean lodo o espumante, algunos con circulación inversa, para facilitar la colocación de la tubería dentro de la perforación.(fig.3.6).

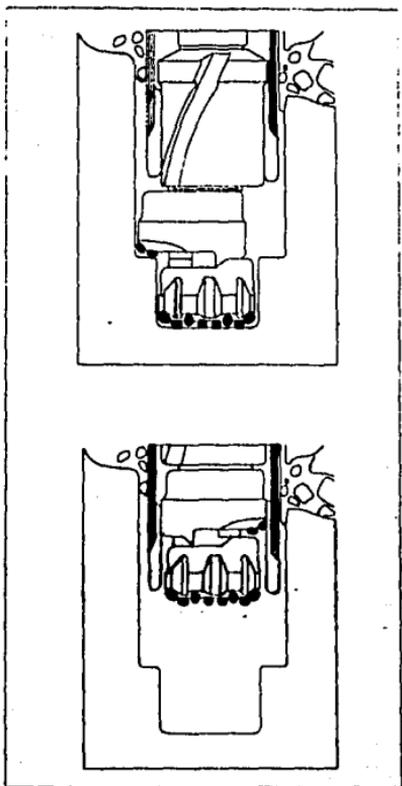
La inyección de cemento es realizada tanto con tubería-válvula que se coloca y abandona en el sondeo, como una tubería de revestimiento que se va retirando en continuo.

3.7 UBICACIÓN DE LOS SONDEOS.

Sobre la base de las investigaciones geológicas, geotécnicas y sondeos se diseña el programa de la perforación de inyección fijando su inclinación, separación y profundidad.



(fig-3.5) MODERNA PERFORADORA LIGERA MOVIL



(fig.3-6) PERFORACION CON ENTUBACION

En general, en cualquier tipo de terreno, hay uno o varios sistemas de grietas. La dirección de las perforaciones se elegirá de forma que se pueda acceder a tantas de ellas como sea posible, en cualquier caso, deberá evitarse perforaciones paralelas a un conjunto de grietas.

En zonas de fallas, las perforaciones se deberán de realizarse cruzándolas. Debido a que, algunas veces, las fallas tienen otra dirección que la del sistema predominante de fisuras, la dirección puede ser distinta a la prevista en otros sondeos de inyección.

Por esta razón, el plan a seguir deberá ser flexible y disponer de medidas eventuales para hacer frente a cualquier imprevisto que pudiera aparecer en el terreno durante la realización del trabajo.

3-B ALINEACIÓN Y DESVIACIÓN.

En perforaciones profundas, se dispone de poca orientación de las tolerancias que deberían esperarse en relación a la posición y alineamiento mostrados en los planos, aún admitiendo un alineamiento inicial aceptable, la perforación puede desviarse, las desviaciones dependen principalmente del equipo de perforación empleado.

Normalmente, se considerará que la técnica de perforación con testigo produce la mínima desviación seguida por la perforación a percusión con martillo en cabeza.

La experiencia del perforista tiene suma importancia pero mucha más tiene la estructura de la roca que se perfora, su dirección y buzamiento, inclinación de los planos de estratificación, foliaciones, fallas, etc.

Las desviaciones de las perforaciones se miden con inclinómetros y fotorregistradores, tales sistemas son capaces de medir la posición que tiene la perforación con respecto a la profundidad.

La medición deberá hacerse de toda la perforación, aunque hayan desviaciones que dificulten los trabajos de inyección. A menudo, las perforaciones tienden a desviarse en la misma dirección en determinadas formaciones, pero no afectan los resultados de la inyección, ejemplo en las inyecciones de pantalla.

El plan de trabajo a seguir no debe ser demasiado rígido, permitiendo una interpretación suficientemente flexible, en la medida que se obtenga buenos resultados en la inyección. Unas especificaciones muy ajustadas sólo crearán costos adicionales por pérdidas de tiempo que no mejorarán los resultados.

CAPITULO 4

EQUIPO DE INYECCION DE CEMENTO

El equipo básico de inyección de cemento se compone de las siguientes unidades:

- Mezclador coloidal de alta velocidad
- Agitador
- Bombas de inyección
- Manómetros de presión y contadores de agua
- Mangueras y obturadores

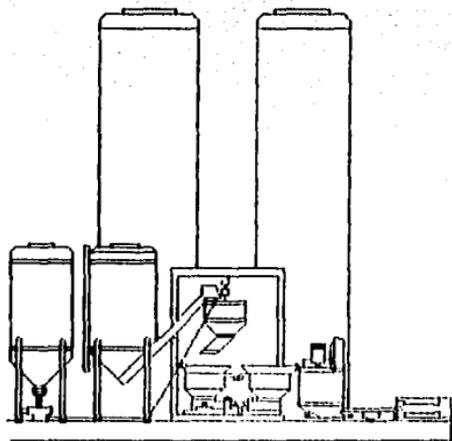
En el mezclador coloidal de alta velocidad, el cemento y los otros materiales de inyección son mezclados enérgicamente y las partículas de arena son disgregadas y humectadas. Al cabo de unos minutos, la mezcla es impulsada al agitador, que consiste en un recipiente que bate lentamente la mezcla, para mantenerla agitada, hasta que se realice la inyección.

Las bombas de inyección aspiran la mezcla desde el agitador y la bombean a través de las líneas de inyección al sondeo. La inyección en el sondeo es realizada mediante un obturador o con tubos con manguito, especialmente cuando el terreno es poco resistente.

Los equipos de inyección pueden instalarse combinados o por separado de sus unidades, según sea el trabajo a realizar. Para grandes proyectos, es preciso instalar una estación central, (fig.4a) con silos para el cemento y aditivos y recipientes para pesarlos y mezclarlos automáticamente. (fig. 4b).



(Fig. 9a) VISTA DE UNA ESTACION CONTROL DE INYECCION



Estacion central de inyeccion en una gran presa

(Fig-6b)

4.1 MEZCLADOR

Hace algunas décadas, se preparaban los morteros de cemento puro destinados a la inyección de macizos rocosos, vertiendo el cemento en una cubeta llena de agua y agitándolo con una pala.

Este procedimiento es suficiente, aunque rudimentario y va bien siempre que las cantidades a inyectar no sean demasiado importantes.

Apareció una primera mecanización disponiendo en la parte inferior de recipiente una hélice accionada por una manivela que desempeñaba el papel de agitador. Unas aletas fijadas en las paredes interiores impedían que el líquido girara en bloque.

Para poder inyectar de una manera continua, son necesarios dos mezcladores en paralelo. Mientras se vacía una cubeta, se va preparando el mortero en la otra.

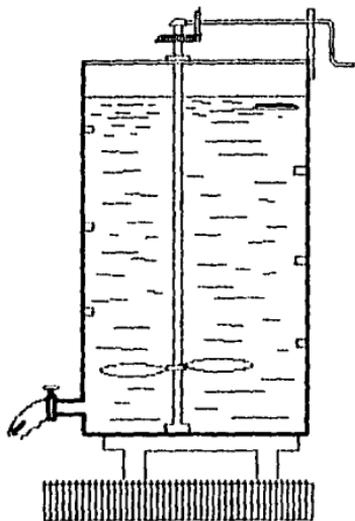
A esta se le hizo una mejora que consiste en disponer las dos cubetas, una encima de la otra, moviendo los agitadores con un motor, el mortero preparado en la cubeta superior se vierte en la inferior, de donde es aspirado por una bomba.

El agitador de esta última tiene por objeto la de impedir la sedimentación del cemento. (fig. 4.1a).

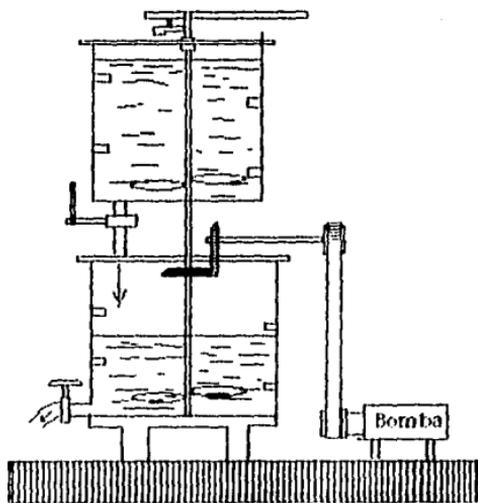
El volumen de cada uno de estos recipientes es de unos 100 litros. Este tipo de mezclador ha sido el que casi en exclusiva se ha utilizado hasta muy cerca del año 1945 y con él se realizaron las primeras inyecciones de arcilla-cemento.

Actualmente se tienen mezcladores modernos que llevan una turbina de bomba o un sistema de cilindros girando a velocidades de 1500 a 3000 R.P.M.

La elaboración de la mezcla de inyección debe realizarse en máquinas que funcionen como mínimo a 1500 rpm y que dispongan de un impulsor que trabaje en combinación con una acción de cición, tales como los de mezcladores coloidales. (fig. 4.1b).

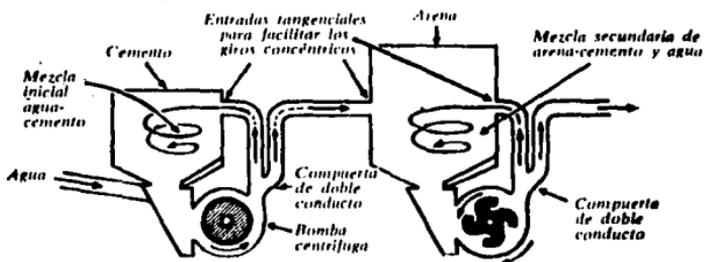
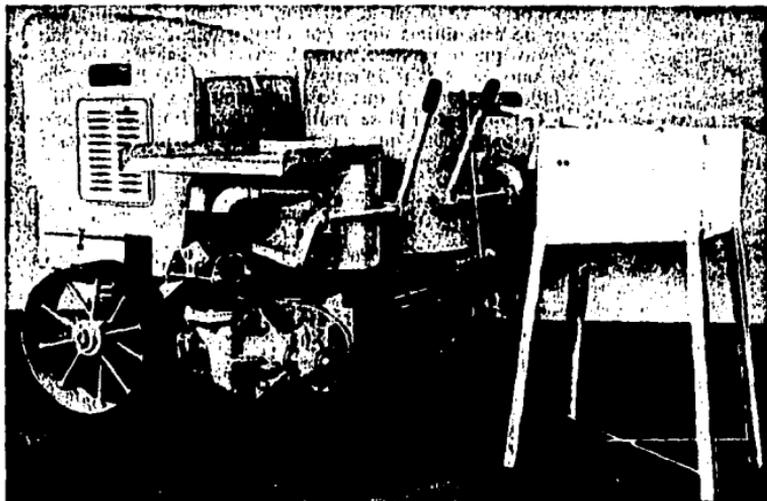


Mezclador de una cubeta



Mezclador de dos cubetas

(Fig. 6-1a)



(Fig. 6-11) MEZCLADOR DE CEMENTO Y ARENA

En los mezcladores coloidales de alta velocidad, el ciclón se crea en el recipiente cónico, el cual actúa como un separador centrífugo.

El cemento y la masa de inyección son forzados fuera del ciclón, pasando al impulsor, donde se mezcla a alta velocidad. El cemento y la masa de inyección son sometidos a una acción violenta de disgregación del cemento, eliminando cualquier impureza superficial de los granos y amasando a fondo todas sus partículas.

Puede hacer mezclas de inyección, conteniendo partículas de arena inferiores a 5 mm, agua y cemento en proporciones de hasta 0.35 en peso.

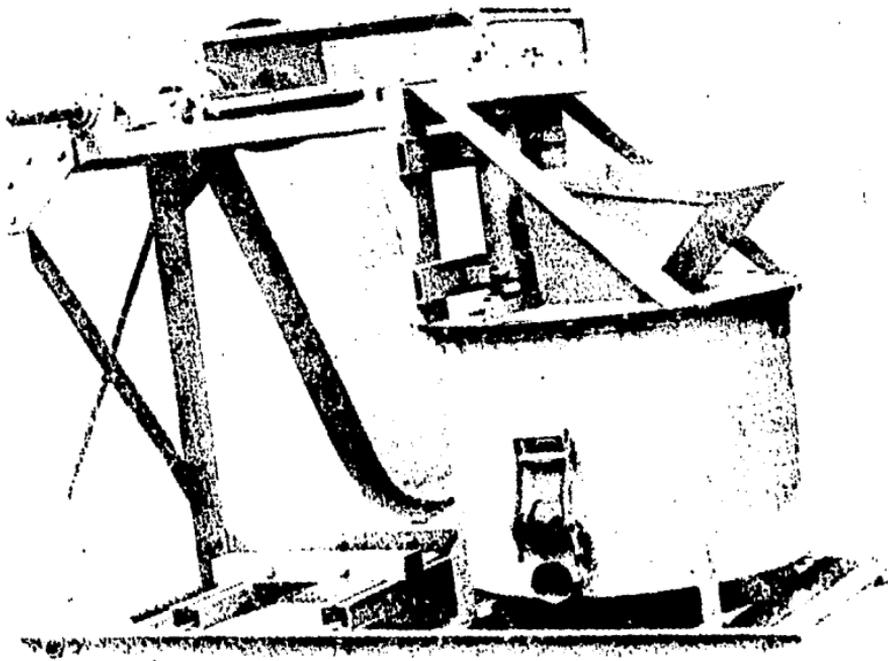
El tiempo necesario para realizar una mezcla coloidal homogénea en estos mezcladores es inferior a un minuto. Si funciona durante más tiempo, se calentará demasiado y producirá una mezcla que se endurecerá al cabo de unos minutos.

La masa producida por los mezcladores coloidales de alta velocidad es de mayor calidad que es obtenida con mezcladores de paletas. Es como comparar mezcla que se realiza en una moderna planta dosificadora con la que se obtiene en una batidora.

La masa producida por los mezcladores coloidales de alta velocidad tiene gran estabilidad, mejor penetración y duración para largos trayectos. Por lo tanto, los mezcladores de paletas deben utilizarse con restricción y sólo para trabajos donde no tiene importancia ni alta calidad ni la durabilidad.

Sin embargo, hay algunos mezcladores de paleta simple y helicoidal que producen mezclas densas o morteros de buena calidad para inyección de bulonado, relleno de cavidades y carreteras mediante bombas o helicoides.

Existen también otro tipo de mezcladores llamados de alta turbulencia, que es un poco diferente a las anteriores (fig.4.1c) donde la agitación del mortero es provocada por la rotación a gran velocidad de dos grandes cilindros verticales y paralelos, girando en sentido inverso, el aparato es de cubeta única.



(Fig. 4-10) MEZCLADOR DE OJTO TURBULENCIA

302

FALLA DE ORIGEN

4.2 AGITADOR

Después de efectuada la mezcla, el impulsor la bombea desde el mezclador a un agitador, el agitador de cemento es un elemento intermedio entre el mezclador, que libera la mezcla a cada amasado, y la bomba que da un suministro continuo. Por tanto su misión es la de mantener la mezcla en estado de suspensión, hasta que sea bombeada al sondeo, su capacidad debe ser doble que la del mezclador.

El agitador es un recipiente cilíndrico provisto con dos pares de paletas grandes que giran lentamente para batir la mezcla de inyección en el fondo y en la mitad del recipiente, respectivamente. Esta acción mantiene los sólidos en estado de suspensión y libera las burbujas de aire producidas durante su amasado.

Un tamiz a la entrada del recipiente impide que partículas sólidas gruesas penetren en la bomba.

4.3 BOMBAS DE INYECCIÓN

Siempre ha existido una clara diferencia entre las bombas empleadas en Europa y las utilizadas en U.S.A. y Australia, debido fundamentalmente a las distintas estructuras y resistencias de sus terrenos. De esta manera, las formaciones poco resistentes requieren una técnica de inyección diferente y presiones más bajas que las empleadas en las formaciones duras.

Existen diferentes opiniones en cuanto a utilización de bombas de pistón, que producen caudales y presiones pulsantes, contra las bombas helicoidales excéntricas que dan un caudal más continuo y una presión más constante.

Unos abogan porque la presión de pulsación beneficia al proceso de inyección, mientras otros opinan que es mejor una

presión constante. En cualquier caso, la diferencia tiene poca importancia.

Las bombas helicoidales excéntricas dan normalmente presiones de 10-15 bar (1 a 1.5 MPa) y mayor caudal que las bombas de pistón, que proporcionan presiones superiores a 100 bar(10 MPa) y caudales de 200 litros/minuto.

4.3.1 BOMBAS DE PISTÓN

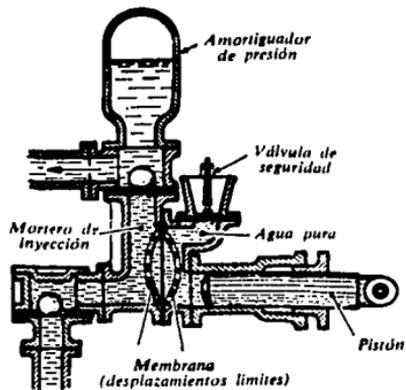
La bomba de inyección accionada por aire, alcanza una presión de 40 bar (4MPa) y un caudal máximo de 150 litros/minuto, la bomba de pistón es accionada mediante un cilindro hidráulico de doble efecto conectado a una bomba hidráulica de presión compensada, movida por un motor eléctrico.(fig.4.3.1a)

La presión y el caudal pueden regularse separadamente, incluso durante las operaciones de inyección o pre-ajustarse a la presión y el caudal máximos deseados, este tipo de bombas puede suministrarse en varias versiones con un caudal máximo de 200 litros/minuto y una presión máxima de 150 bar (15 MPa).

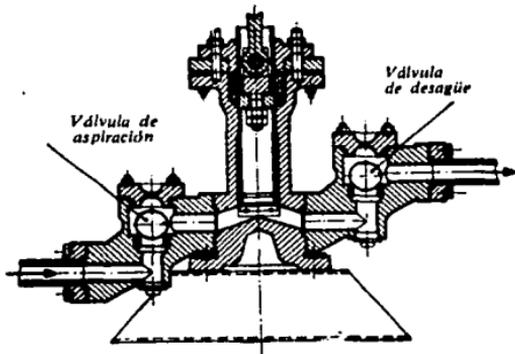
El número de emboladas suministradas por la bomba se puede leer en un contador. Este puede fijarse en cero para facilitar la edición parcial de cada volumen inyectado en un determinado sondeo. Todos los elementos del equipo de inyección, mezclador, agitador y bomba pueden ser accionados por el mismo grupo de accionamiento hidráulico.(fig.4.3.1b).

4.3.2 BOMBAS HELICOIDALES EXCÉNTRICAS

Consiste en un rotor helicoidal o tornillo metálico que giran excéntricamente dentro de un estator elastomérico con forma de doble hélice. El ajuste interdiferencial entre el rotor y el



BOMBA DE MEMBRANA



BOMBA DE EMBUDO

(fig. 4-3-1a)



BOMBA INVECTOR DE DOS ÉMBOLOS EN OPOSICIÓN

(Fig-4-3-1b)

estator produce una cavidad constante que desplaza la mezcla, bombeandola continuamente a través de la bomba.(fig.4.3.2)

Se consiguen presiones de hasta de 5 bar por cada etapa (es decir, cada paso completo de la longitud del rotor). Para presiones mayores se requieren bombas helicoidales excéntricas se suministran con capacidades de hasta 250 m³/h (4200 litros por minuto).

4.3.3 BOMBAS PARA INYECCIONES ESPECIALES

En algunas ocasiones , el equipo anteriormente descrito, también puede emplearse en anclajes, inyecciones químicas, relleno o inyección de cavidades; pero en otras, resulta más eficaz emplear bombas y mezcladores especialmente adaptados para realizar estos trabajos.

Las bombas helicoidales o bombas mono normalmente son utilizadas con mezclas espesas para la inyección de anclajes y empernado de rocas, también puede emplearse un equipo similar para relleno de cavidades con inyección de cemento-arena.

Algunas veces en las inyecciones químicas es necesario emplear un equipo especial para las mezclas viscosas o difíciles, sin embargo las inyecciones de tierra con mezclas químicas se realizan normalmente, con los equipos descritos anteriormente.

Cuando la inyección es con mezcla de resina viscosa y en pequeñas cantidades, se emplea un equipo especial.

4-4 LÍNEA DE CIRCULACIÓN

Para regular el caudal y la presión de inyección de una bomba helicoidal excéntrica suele instalarse una línea de

estator produce una cavidad constante que desplaza la mezcla, bombeandola continuamente a través de la bomba. (fig.4-3-2)

Se consiguen presiones de hasta de 5 bar por cada etapa (es decir, cada paso completo de la longitud del rotor). Para presiones mayores se requieren bombas helicoidales excéntricas se suministran con capacidades de hasta 250 m³/h (4200 l--tros por minuto).

4.3.3 BOMBAS PARA INYECCIONES ESPECIALES

En algunas ocasiones , el equipo anteriormente descrito, también puede emplearse en anclajes, inyecciones químicas, relleno o inyección de cavidades; pero en otras, resulta más eficaz emplear bombas y mezcladores especialmente adaptados para realizar estos trabajos.

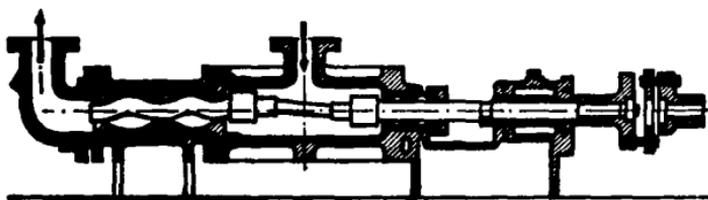
Las bombas helicoidales o bombas mono normalmente son utilizadas con mezclas espesas para la inyección de anclajes y empernado de rocas, también puede emplearse un equipo similar para relleno de cavidades con inyección de cemento-arena.

Algunas veces en las inyecciones químicas es necesario emplear un equipo especial para las mezclas viscosas o difíciles, sin embargo las inyecciones de tierra con mezclas químicas se realizan normalmente, con los equipos descritos anteriormente.

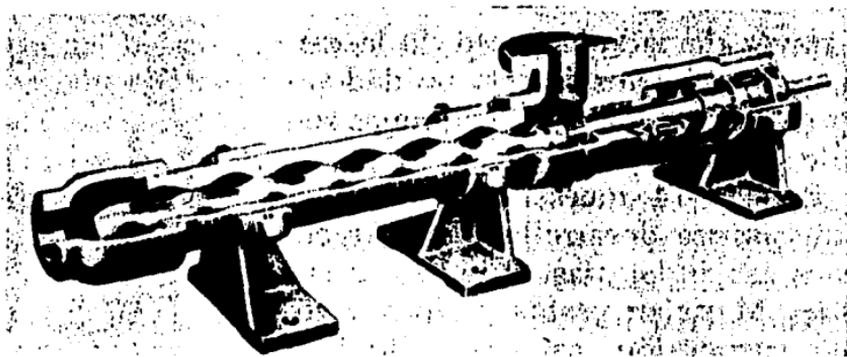
Cuando la inyección es con mezcla de resina viscosa y en pequeñas cantidades, se emplea un equipo especial.

4.4 LINEA DE CIRCULACIÓN

Para regular el caudal y la presión de inyección de una bomba helicoidal excéntrica suele instalarse una línea de



CORTE LONGITUDINAL DE UNA BOMBA DE TORNILLO



BOMBA DE TORNILLO PARA INYECCION DE MEZCLAS

(Fig. 4-3-2)

circulación. Desde la bomba se conecta una línea de salida a los accesorios de inyección en el sondeo y una línea de retorno, desde el sondeo hasta el agitador.

Esta es equipada con un manómetro de presión, una válvula de compensación y, a veces una llave de paso, para mantener la presión el sondeo después de la inyección.

La presión y el caudal de inyección del sondeo es regulado mediante la llave colocada en la línea de retorno que permite regresar al agitador el sobrante de la línea de inyección.

Este sistema permite mantener una velocidad constante que a su vez, dirige el movimiento de las bombas, como las moyno, muy utilizadas, la inyección es controlada en el sondeo y no en la bomba.

Cuando se utilice una línea de circulación con retorno de mezcla de inyección, debe controlarse el tiempo transcurrido desde que se efectuó la primera mezcla, pues aunque los efectos se retrasen las reacciones químicas comenzarán y si la inyección de mezcla dura demasiado tiempo, será conveniente interrumpirla y elaborar otra mezcla.

4.5 DIAMETROS DE LAS LINEAS DE INYECCIÓN.

El diámetro de una línea de circulación, así como el de cualquier otra línea de inyección, debe ser tan pequeño como sea posible para conseguir altas velocidades de inyección. De esta manera, se mantiene excelentes condiciones de transporte de la mezcla y se evita obturaciones en las líneas.

La mayoría de las inyecciones son adherentes y las altas velocidades ayudan a mantener la fluidez de la mezcla, con lo cual se reduce el esfuerzo de bombeo y se consigue una mejor penetración. El diámetro de las líneas de inyección es normalmente de una pulgada o 25 mm.

4.6 CONTADORES DE CAUDAL Y PRESIÓN.

Para leer la presión suele emplearse un manómetro de presión, provisto de un diafragma o de un tubo lleno de aceite en forma de U, para mantenerlo separado de la mezcla de inyección, estos contadores se utilizan para efectuar mediciones y registros de presiones en los trabajos de pruebas de permeabilidad de agua y de inyección de cemento, estos proporcionan mediciones y lecturas directas de presiones y caudales, que son simultáneamente registradas, en función del tiempo, en un rollo para impresión de gráficos que es conservado como referencia para futuros proyectos.

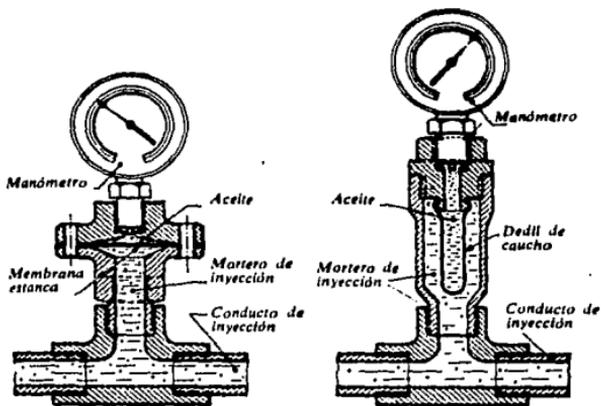
4.6.1 PROTECTOR DEL MANÓMETRO.

No es posible comunicar directamente un manómetro con la conducción que transporta el mortero, si se quiere evitar el inyectarlo en dicho manómetro inmediatamente. Es necesario que el mortero transmita su presión a un fluido inerte, que acciona el manómetro.

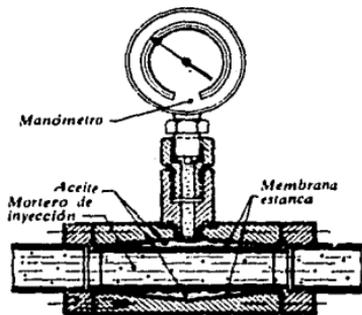
El procedimiento más sencillo es utilizar agua o aceite, separado del mortero por una membrana flexible e impermeable. Esta membrana es frecuentemente plana y en forma de dedit. A veces llega a reventar. (fig.4.6.1a).

Como el aparato está colocado en derivación sobre la conducción, el mortero en contacto con la membrana no está sometido a ninguna circulación (su velocidad es nula). Terminaría por fraguar y el manómetro indicaría una presión constante que, al cabo de cierto tiempo , nada tendría que ver con la presión de inyección.

Para suprimir este inconveniente, se construye un protector del manómetro en el que la membrana elástica tubular sustituye el algunos centímetros a la conducción. Durante la inyección no es posible que el mortero fragüe rigidizando la membrana. (fig.4.6.1b).



(fig.4-6-1a) PROTECTORES DE MANÓMETROS CLÁSICOS.



(fig.4-6-1b) PROTECTOR DE MANÓMETRO DE PASO INTEGRAL.

Gracias a estos aparatos la ingeniería de la inyección de cemento dispone de una herramienta de gran utilidad para seguir con detalle los cambios de presión y caudal producidos, observar cualquier cambio repentino, de tal forma que el operario pueda dirigir la siguiente inyección de la mejor manera posible.

4.7 OBTURADORES

Se instalan, según el caso, conectándolos directamente al sondeo o bajándolos mediante tubería.

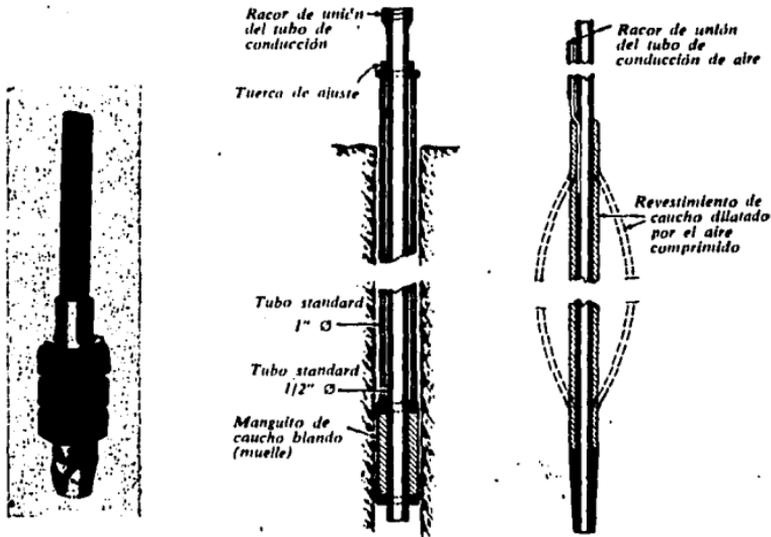
Como ya se sabe, los taladros deben inyectarse por tramos relativamente cortos, únicamente en macizos inyectados de arriba abajo se puede colocar el conducto de inyección sobre el tubo que se fija a la entrada del taladro o sondeo.

De esta forma puede ajustarse un obturador en la parte superior del sondeo. En los demás casos, es preciso poder colocar el obturador en cualquier lugar de la perforación.

Estos obturadores son los mismos que se utilizan para los ensayos de agua. Generalmente pueden estar embutidos en varios hules o en una o varias arandelas de caucho flexible, que se dilatan al ser constreñidas a lo largo de la perforación o también de un recubrimiento elástico que se comprime contra la pared del sondeo por la presión de un fluido como aire, agua, aceite e incluso por el mortero o mezcla que se está inyectando. (fig.4.7a).

Están colocados en el extremo de la conducción que los atraviesa según su eje. Los primeros interesan en perforaciones de paredes lisas, realizadas, por ejemplo, con diamante en concreto o rocas poco fisuradas. Los segundos se adaptan en todos los casos, pero como son delicados y costosos de colocar en profundidad, no se emplean más que cuando los de cuero no dan resultado.

En la inyección de arenas con tubos de manguitos, hay que lanzar el mortero por un solo manguito cada vez. Esto se



(fig.4-7a) DIFERENTES TIPOS DE OBTURADORES

OBTURADOR DE CUEROS EMBUTIDOS.

OBTURADOR DE MANGUITO DE CAUCHO FLEXIBLE

OBTURADOR EXPANSIVO

logra colocando dos obturadores introducidos en tubos de diámetro constante aunque también pueden emplearse los de cuero, por ser más fáciles de manejar. (fig.4.7b).

4.7.1 OBTURADOR MECANICO.

Es el obturador más sencillo de todos, el cual es apretado contra las paredes del sondeo mediante un manguito de goma que se hincha mecánicamente, es utilizado con excelentes resultados en inyecciones de sondeo profundo, incluso si la roca es blanda y los sondeos desiguales. El obturador SPP o mecánico acoplado a una larga manguera de inyección, es bajado al sondeo a la profundidad necesaria.

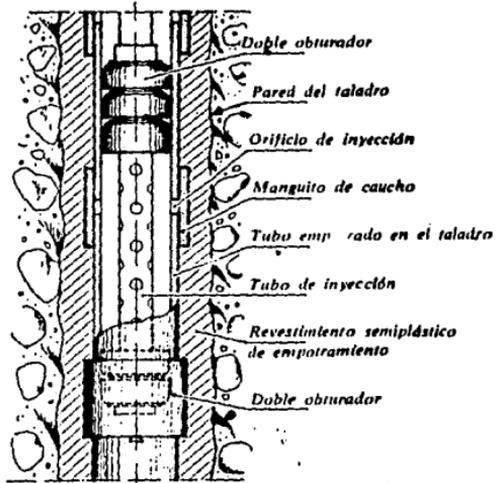
Cuando se suministra el obturador con su equipo, la manguera tiene la longitud necesaria para realizar sus inyecciones y no precisa la conexión de otros tramos de manguera.

Su colocación y extracción se realiza rápidamente, tanto el obturador como la manguera de inyección tienen el mismo diámetro exterior, por lo que el riesgo que se produzcan atascos es mínimo.

Otra característica importante es que el obturador se expande al doble de su diámetro, que originalmente es mucho más pequeño que el del sondeo, por lo que simplifica su manipulación.

El obturador SPP puede extraerse fácilmente de sondeos profundos en terrenos difíciles. Se hincha hidráulica o neumáticamente y se obtura contra el sondeo aunque las paredes sean muy desiguales.

La longitud de expansión del manguito de goma es grande y la presión de hinchado puede ser alta para conseguir una buena obturación contra el sondeo, incluso cuando sus paredes sean desiguales.



(fig. 4-7b) DOBLE OBTURADOR PARA LA INYECCION POR TUBOS MANEJITO

4.7-2 OBTURADOR RECUPERABLE

El obturador EM es introducido en el sondeo con la ayuda de varillas u otros tipos de tubos, es hinchado mediante el mismo material inyectado y después de realizado la inyección sirve como tapón de cierre. Es un dispositivo de obturación que ahorra tiempo en ciertos trabajos, como preinyecciones de cemento en túneles.

Está fabricado con materiales que pueden perforarse sin dificultad, si fuera necesario.

CAPITULO 5

PROYECTO PARA INYECCION DE PRESAS

5.1 INYECCION DE SUPERFICIE O DE CAPA.

El proyecto de una presa incluye normalmente, una inyección de superficie o de capa, para el sellado y reforzamiento de la zona de contacto existente entre la estructura de la presa y el terreno, (tapete de consolidación e impermeabilización).

Con este tratamiento se obtendrá:

- A.- Un aumento en la resistencia de la roca y consecuentemente
- B.- Una disminución de la deformación, aunada a.
- C.- Una disminución de la permeabilidad y.
- D.- Una cimentación homogénea.

Este sellado, se lleva a cabo sobre una superficie rocosa, para crear una capa impermeable. En algunas ocasiones, la masa rocosa está mucho más agrietada en la superficie que a mayor profundidad y es necesario tratar dicha zona con un cuidado especial.

Una inyección de superficie puede constar de un sistema de tres o más filas de perforaciones a lo largo del eje de la presa. La profundidad de estas perforaciones es normalmente de 3 a 6 metros, la separación entre ellos varía de 3 a 1.5 metros y en ocasiones, hasta un metro.

Normalmente estos perforaciones son inyectados en una etapa y algunas veces, un cierto número de sondeos son perforados, barridos e inyectados en un grupo y en una sola operación.

Siempre será conveniente realizar pruebas de inyectado para definir la presión máxima de inyección conocida como presión de rechazo, teniendo siempre cuidado de no producir dislocaciones en la estructura del macizo rocoso que podrían ocasionar serios perjuicios, el fenómeno de dislocación de la estructura por efecto de la presión hidrostática aplicada en áreas relativamente grandes se conoce como efecto de "gato hidráulico".

La verificación sobre la eficacia de este tratamiento siempre será conveniente para la toma de medidas correctivas.

5.2 INYECCIÓN DE PANTALLA

En las presas, las inyecciones a base de lechada de cemento son usuales para impermeabilizar el vaso de una presa o para reforzar o impermeabilizar las cimentaciones de las presas de concreto.

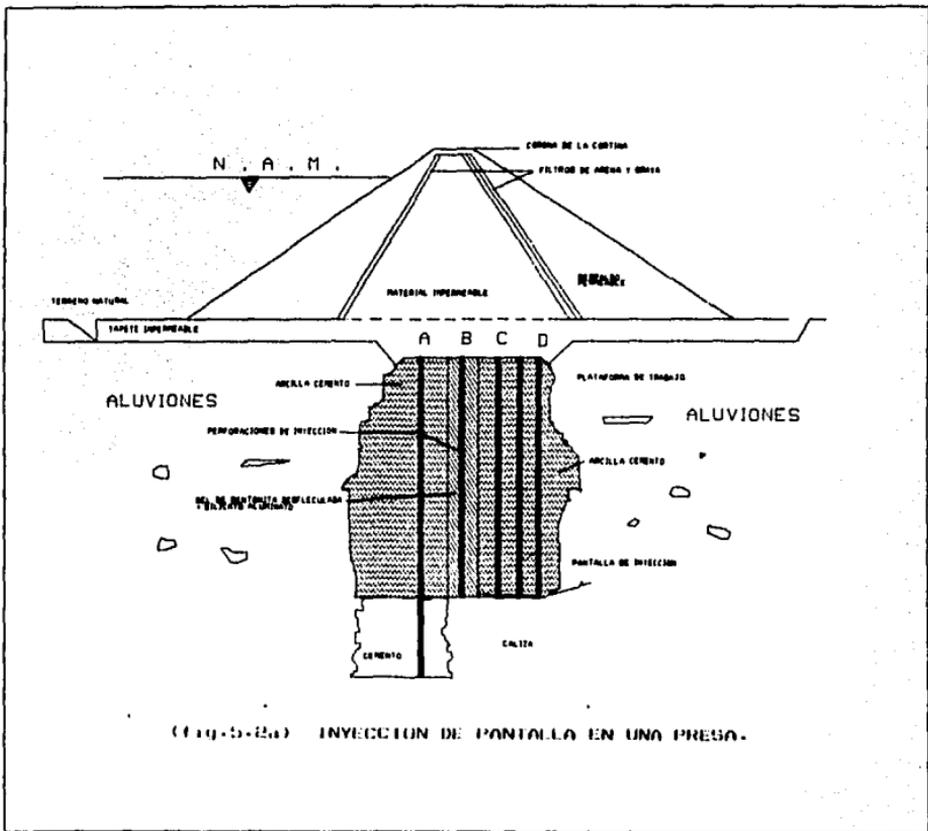
Estas cimentaciones deben de ser resistentes, para asegurar las condiciones de seguridad absoluta del comportamiento de obras muy cargadas en las que el asentamiento y la fisuración causarían catástrofes irreparables.

Garantizando también una buena impermeabilización, tanto bajo la presa en sí como lateralmente en sus estribos, y tanto más cuanto mayor sea la carga de agua.

Este problema es particularmente delicado cuando la presa se asienta sobre estratos rocosos fisurados. Bajo la presión de agua, las infiltraciones aumentan poco a poco ensanchando las fisuras hasta dimensiones susceptibles de producir asentamientos peligrosos.

Para sellar las partes más profundas de una presa se lleva a cabo una inyección de pantalla en una o varias capas, dependiendo de la altura de la presa y de la profundidad requerida para la inyección. (fig. 5.2a).

También existen tratamientos especiales para aquellas zonas con fallas que puedan encontrarse en el área.



FALLA DE ORIGEN

Una vez terminado el estudio geológico y de permeabilidad del sitio en que se pretende ejecutar una obra y este ha encontrado favorable para la realización de la misma, se procede a proyectarla, dentro de la cual se hace un programa tentativo para la impermeabilización y consolidación del subsuelo en que se desplantará la estructura.

Este programa tentativo del tratamiento estara deacuerdo con el tipo de obra en que se habrá que aplicar. Por ejemplo, si se trata de la cortina de una presa, como en este caso se tomará en cuenta el tipo de formación en que se desplantará, para adaptar la forma de pantalla de impermeabilización adecuada y ver la necesidad de hacer consolidación de la roca en la zona de desplante de la cimentación.

Verificar si existen también problemas de impermeabilización de juntas o fracturas en las estructuras de concreto, en la consolidación y sellado de los macizos rocosos, etc.

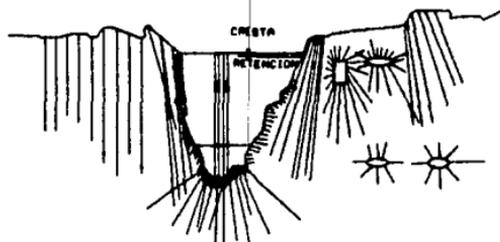
Generalmente este tipo de pantallas se utiliza en la construcción de presas, con el fin de formar una zona impermeable a lo largo de la estructura, prolongandose hasta las laderas en las que se empotra la cortina.

Sin embargo, también se utiliza cuando se presenta problemas de filtraciones en las excavaciones de una cimentación, en la excavación de lumbreras, túneles, etc.

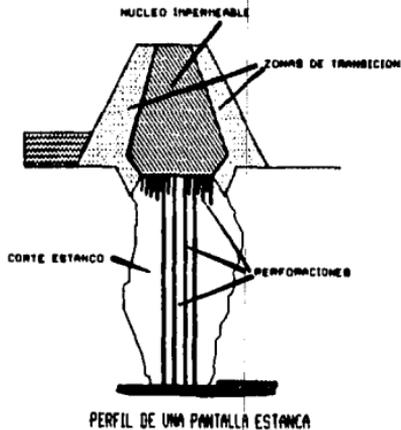
Una pantalla puede estar formada por perforaciones profundas inyectadas, y estar compuestas de una o varias líneas de pozos, también puede ser un muro formado con concreto o materiales plásticos y flexibles.

En el primer caso, cuando se trata de rocas ya sea con fracturas abiertas, fisuras finas o cársticas, en el que se requiera la ejecución de perforaciones inyectadas localizadas en uno o varios planos verticales o inclinados.(fig.5.2b).

generalmente se programa la pantalla por el procedimiento de ir perforando e inyectando los barrenos por etapas y progresiones, entendiendose por Etapa el localizar y ejecutar perforaciones adicionales, a la mitad, entre perforaciones previamente ejecutadas e inyectadas en una etapa anterior y la



DISPOSICION EN PLANTA DE LAS PERFORACIONES DE INYECCION
PARA LA CONFECCION DE UNA PANTALLA ESTANCA



(fig.5.2b)

progresión consiste en perforar, lavar e inyectar un tramo del pozo el cual se determina por las condiciones geológicas, de tal manera que hasta puede ser toda la profundidad del pozo.

En la etapa I o inicial, se perforan e inyectan los pozos a una equidistancia, en la que se debe tomar en cuenta las características de la roca, tratando de que cada perforación rellene al máximo las grietas, juntas, huecos, aplicando la mayor presión de inyección permisible sin que se presente comunicación de la mezcla con otra perforación adjunta no inyectada de la misma etapa.

En la práctica se ha demostrado que esta separación en la I Etapa cuando se trata de pantallas en presas, sea de 10.0 m entre pozo y pozo, obteniéndose una zona aceptable de influencia de la mezcla inyectada.

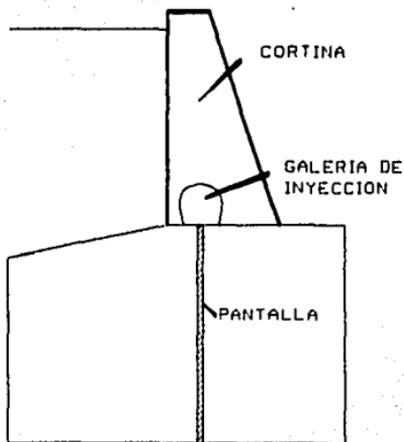
Una vez terminado el tratamiento en su I Etapa ya sea en toda su longitud de la pantalla o en una sección considerable, se efectuará la II etapa con pozos intermedios a los de la primera, con lo cual el tratamiento se reduce en espaciamiento a la mitad.

Tomando en cuenta los consumos de mezclas obtenidos al inyectar la I y II Etapas, se programará una III etapa que será pozos intermedios a los de las etapas anteriores reduciendo la equidistancia inicial entre pozos a la cuarta parte, de una manera semejante se procederá con las etapas subsecuentes si el resultado no ha sido satisfactorio.

El procedimiento de ir programando las etapas, mencionados anteriormente, es aplicable a cada una de las líneas de que se componga la pantalla cuando ésta este formada de ellas.

En presas de concreto, la inyección normalmente se realiza desde una galería situada dentro de la propia presa. Por ello, la inyección se realiza después de construida y cuando se produzcan deformaciones de carga en la estructura de la presa, consiguiéndose así una mejor inyección en la zona crítica de contacto. (fig.5.2c).

Si la estructura de la presa alcanza mucha altura, en algunas ocasiones es necesario excavar galerías especiales de inyección por debajo de la presa y dentro de sus estribos, para



INYECCION DE SUPERFICIE Y DE PANTALLA

(Fig. 5-2c).

facilitar la perforación e inyección a las profundidades deseadas

5.3 INYECCIÓN DE ZONAS CON FALLAS

Cualquier zona con fallas dentro de un área de inyección debe ser tratada con un cuidado especial. En algunas ocasiones, dichas zonas tienen materiales que pueden erosionarse mediante cualquier agua de filtración, después de que la presa haya sido llenada, por eso para eliminar ese riesgo, estas zonas deben de ser tratadas, lo cual implica realizar muchos sondeos e inyecciones especiales.

Si la falla se dirige hacia la superficie, deberá ser vaciada y rellena con concreto para su sellado, los sondeos deberán realizarse en ángulo opuesto al de la falla.

Muchas veces, un método seguro para tratar una falla con material erosivo a consta de un cierto empleo de tiempo, es extraer dicho material y sustituirlo con una mezcla de alta calidad.

Esto no siempre implica una inyección de gran resistencia ya que, algunas veces, podría ser beneficioso por proporcionar cierta duración, pero la inyección semi-plástica permite algunas deformaciones durante la construcción y llenado de la presa.

5.4 INYECCIÓN POR CONTACTO

Para mejorar el contacto existente entre el terreno y las estructuras de concreto, este y los revestimientos de acero y algunas veces entre las diferentes estructuras de concreto se lleva a cabo este tipo de inyección llamada comunmente de contacto.

Una inyección de este tipo consiste en rellenar un hueco

delgado, tanto con inyección de cemento como con agentes expansivos, o bien inyectando resina en aquellos casos donde se requiera una buena cohesión.(fig.5.4).

Casi siempre al verter concreto contra la roca el, contacto superior no es perfecto. En tal caso normalmente se recurre a la inyección de cemento. Cuando un tubo de acero es revestido de concreto, normalmente se producen huecos de aire en el contacto inferior. En este caso puede rellenarse esos huecos dejados por el aire inyectando resina.

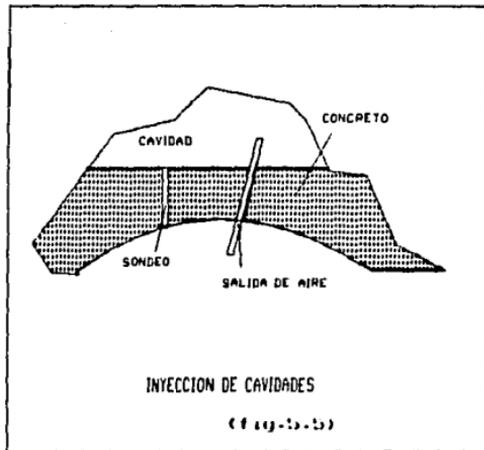
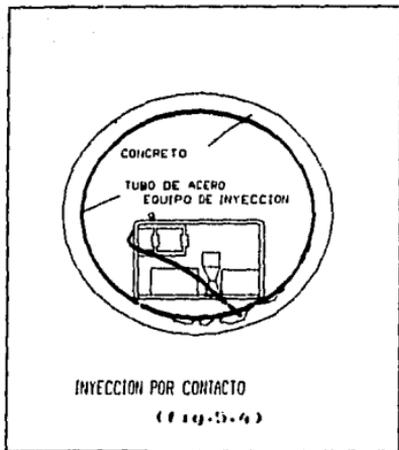
Otro tipo de contacto que puede ser tratado mediante inyección, es el existente entre los dos estribos de un apoyo de la presa. Este tipo de inyección se realiza normalmente a través de un sistema de tuberías con válvulas especiales.

5.5 INYECCIÓN DE CAVIDADES.

La inyección de cavidades se utiliza para llenar cualquier hueco superior a un revestimiento de concreto en una presa o bien para llenar y sellar cualquier filtración a través de las cavidades que se producen en los terrenos cársticos.

La inyección de cavidades terminales se realiza normalmente mediante el relleno de los grandes huecos de mezclas de arena-cemento. Dichos huecos resultan normalmente inevitables cuando un túnel rocoso es revestido de concreto. Como regla general, la inyección de cavidades es necesaria en el techo.(fig.5.5).

Este tipo de inyección puede ser necesaria en formaciones calcáreas y en otro tipo de terrenos donde se pueda aplicar esta solución. Si las cavidades son verdaderamente grandes, puede solucionarse este problema bombeando mortero.



CAPITULO 6

PREPARACION DE LA SUPERFICIE ROCOSA

La parte más crítica en la construcción de una presa, es la zona de contacto existente entre la roca y la propia presa. Para la segura construcción de una presa, es muy importante sellar y consolidar esta parte.

El derrumbamiento de algunas presas ha sido atribuido a la debilidad en esta zona de contacto. Si la inyección puede realizarse después de que la presa ha sido construida, es más probable que se establezca un buen contacto.

Si la inyección tiene que realizarse desde la superficie, sólo se emplearán bajas presiones, ya que la mezcla puede escapar fácilmente hacia la superficie, por esta razón la superficie rocosa debe de darsele un tratamiento especial de sellado en algunos casos, y especialmente en formaciones con grietas muy continuas y poco resistentes, para mejorar los resultados de la inyección y evitar estos resurgimientos en la superficie.

6.1 TRATAMIENTO DE SUPERFICIES AGRIETADAS

En rocas con pocas grietas, normalmente, es suficiente sellarlas con morteros, cuñas de madera, estopa de alquitrán u otras similares, como se hace en el caso de las fugas.

Algunas veces puede emplearse la inyección con lodo para detener las fugas superficiales y para cerrar grietas que está demasiado cerca de la superficie para ser inyectadas desde los sondeos.

Las cavidades deben limpiarse mediante chorros de aire-agua a presión, para extraer el agua y los materiales blandos depositados en ellos, etc. La mezcla de O.S:1 debe aplicarse con escobas duras consolidado con paletas o palaustres, para

introducirla dentro de las grietas y fisuras.

6.2 TRATAMIENTO EN SUPERFICIE DE ROCAS DÉBILES

En perforaciones muy agrietadas o débiles, como solución puede emplearse, ya sean tubos manguitos, cabezales de inyección o anclaje de concreto.

Para resolver el problema de agarre de un obturador en una roca de poca calidad, puede emplearse un tubo manguito o un tubo bajante, que se fija normalmente con mortero unos 50-60 cm dentro de la roca.

El diámetro de este tubo debe ser mayor que el del sondeo para permitir la perforación a través del mismo.(fig-6.2a).

El cabezal de inyección se emplea, cuando un tubo manguito no es suficiente. Es excavado normalmente de un metro de ancho por un metro de profundidad.

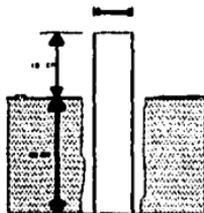
Su excavación debe realizarse con cuidado, a fin de conseguir que sus bordes sean totalmente verticales. Construyendo el cabezal de inyección a lo largo del eje de la presa se mejoran los trabajos de inyección y su refuerzo.(fig-6.2b).

6.3 TRATAMIENTO DE FALLAS

Es similar al empleado con cabezales de inyección. Debe tenerse mucho cuidado de que la falla sea excavada en profundidad suficiente y cubierta con mortero sobre toda su extensión,(fig-6.3) para su inyección ver, inyección en zonas con fallas del capítulo anterior.

PREPARACIONES PARA LA SUPERFICIE ROCOSA

DIAMETRO MAYOR QUE LA DEL SONDEO



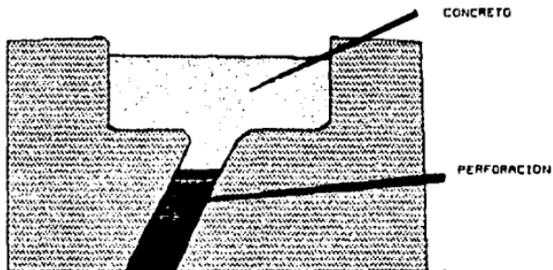
TUBO BAJANTE

(Fig. 6-2a)



CABEZAL DE INYECCION

(Fig. 6-2b)



TRATAMIENTO DE FALLAS

(Fig. 6-3)

CAPITULO 7

PREPARACIONES PARA SONDEOS DE INYECCION

7.1 LIMPIEZA DE LOS SONDEOS DE INYECCION.

Al finalizar la perforación de cualquier etapa y antes de comenzar la inyección, se dejará circular el agua de barrido hasta que el sondeo este limpio.

La cantidad de agua circulando dentro del sondeo durante este periodo de limpieza, deberá ser suficiente para extraer del sondeo los desechos de perforación y los materiales erosionados.

En algunos casos puede emplearse aire y agua para extraer los materiales erosionados, pero esta operación debe realizarse con cuidado y control, ya que el empleo de aire comprimido puede producir cavidades y desprendimiento de rocas.

Para preparar el sondeo para la próxima etapa de inyección, la limpieza se realizará de 2 a 6 horas después de finalizar la inyección, dependiendo de las temperaturas y de la calidad del cemento.

7.2 PRUEBAS DE PRESION DE AGUA.

Efectuar estas pruebas antes de la inyección tiene, algunas veces, el propósito de humedecer una roca seca, pero principalmente, la de indicar la permeabilidad de una determinada etapa de trabajo o del sondeo. Dicha información ayuda a decidir cuando deben comenzar a efectuarse las mezclas y si se requiere alguna medida especial.

Ella nos muestra los resultados de una inyección anterior de secuencias de cierre, también tiene el objeto de descubrir fugas

y la correspondencia con otros sondeos. Las pruebas se realizan después de limpiar el sondeo una vez perforado y antes del comienzo de la inyección.

Estas pruebas no se realizan normalmente después de la inyección en el mismo sondeo, pero si fuesen necesarias, el tiempo mínimo necesario entre el final de la inyección y la prueba sería de 24 horas.

INSTRUCCIONES GENERALES SOBRE OPERACIONES DE CAMPO, DE PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEDON Y LEFRANC.

CONSIDERACIONES GENERALES.

Los estudios e investigaciones que se hacen para determinar la permeabilidad en el subsuelo de una boquilla o vaso, es un complemento de información necesario, ya que la perforación de un pozo de muestreo no es suficiente para conocer el estado real del terreno.

Es indispensable localizar en que perforaciones de reconocimiento se efectuarán estas pruebas de permeabilidad, de las programadas para el estudio geológico de la boquilla y del vaso, ya que de preferencia las pruebas deben hacerse en estos sondeos.

La permeabilidad a través de agrietamientos o fisuras en la roca, se mide por medio de las pruebas Lugeon efectuadas en el sitio de la perforación. La dimensión de los bloques de roca impermeable, separados por agrietamientos, es despreciable, si se compara con la permeabilidad a través de ellos o de fisuras.

Para conocer la permeabilidad de una formación de rocas compactas fracturadas, es necesario que existan éstas para facilitar la cuantificación del gasto que se infiltra al efectuar la prueba de permeabilidad en la perforación que se está haciendo.

Quando la naturaleza del terreno no permite hacer ensayos Lugeon, por ser granulares, se aprovecha su impermeabilización natural para que, en la perforación, se hagan pruebas Lefranc.

En este tipo de pruebas, efectuadas en capas de arena, limos, aluviones, escombros, etc., en los cuales la velocidad del flujo es lenta, la perforación que debe quedar además y, únicamente el tramo de prueba, situado en la parte inferior de la tubería, quedará libre.

PERFORACIÓN.

La perforación, que es una de las condiciones más importantes para la ejecución correcta de una prueba Lugeon o Lefranc, se deberá hacer preferentemente con una perforadora rotatoria con broca de diamante para extraer núcleos de materiales, pero se podrá hacer también con perforadora rotatoria con broca de tungsteno, sin extraer corazones; o como último recurso, con máquina de percusión, siempre y cuando se pueda ir ademando y haciendo un lavado intenso del tramo de prueba.

La broca deberá ser, de preferencia, de tipo Nx, o sea 7.6 cm (3") de diámetro; en caso de usar otro diámetro, se deberá reportar, para tomarlo en cuenta para la cuantificación del coeficiente de permeabilidad.

Es indispensable que el procedimiento de perforación no modifique las condiciones naturales del terreno, por lo que se deberá evitar caídos, ya que con estos se taponarían los pequeños vacíos del material por probar.

La perforación con agua es indispensable, aunque esta condición no es suficiente porque con cualquier perforadora con más o menos intensidad, los sedimentos de los cortes taponarán las paredes del pozo; sin embargo, esto no se puede evitar, pero sí se disminuye con el lavado de la perforación.

Es necesario evitar hacer las pruebas de permeabilidad sobre longitudes de perforación demasiado grandes, si se desea tener una permeabilidad real del terreno. Una longitud máxima de 5.0

metros para un tramo, es conveniente para las pruebas Lugeon cuando se utilice el límite con empaque y el fondo de la perforación, y en el caso de las pruebas Lefrac cuando se tenga como límite la cámara filtrante el fondo de la perforación y la parte inferior de ademe ya que en este tipo de pruebas, la perforación se deberá ademar, quedando únicamente el tramo por probar debajo del extremo de la columna de perforación.

PRUEBAS LUGEON

Procedimiento de realización. Se avanzará la perforación hasta la profundidad de 5.0 metros, suspendiéndole, y se hará un lavado cuidadoso del pozo utilizando el varillaje de perforación la cual se extraerá al terminar la perforación.

La longitud de 5 m, como es tentativa, puede variar por las condiciones que se encuentren al perforar, sobre todo cuando se aprecia pérdida de agua en donde conviene obtener información mediante una prueba de permeabilidad, aún cuando el tramo perforado sea pequeño.

Se introducirá el empaque que deberá quedar situado en la parte superior del tramo por probar, quedará limitado por éste y el fondo de la perforación. Se deberá usar el tipo de empaque que mejor se adapte a la constitución del terreno y a la presión por soportar, ya sea de tipo neumático o mecánico. (fig.7.2).

Cuando se coloca el empaque y éste no obtura perfectamente, al regresar el agua por la perforación se debe a que el empaque no ajusta perfectamente por la irregularidad en las paredes de ésta, o sea la perforación está muy fracturada, por lo que se forma un circuito alrededor del empaque. En ambos casos conviene mover el empaque hasta que haya obturación, reportando el tramo que no se haya probado.

Cuando es necesario hacer primero la perforación o probar en una ya existente la permeabilidad, se podrá proceder en forma ascendente, utilizando dos empaques unidos por un tubo perforado, cuya separación fija la longitud del tramo por probar.

Tubo de inyección



Empaque con copas de cuero

Manguera del aire
64



Funda de hule

Taza

Empaque neumático

Tubo de inyección

Rondana de compresión

Tramos de hule

Empaque

Tubo exterior perforado

Tubo interior de ajuste

Empaque

EMPAQUES UTILIZADOS PARA LA REALIZACION DE LAS PRUEBAS LUGEON

(fig. 7.2)

64

Sonda de permeabilidad de doble empaque neumático

FALLA DE ORIGEN

En los anexos 1 y 2 esquematizan el dispositivo para efectuar las pruebas. Con un sólo empaque, encontrándose probada la formación hasta cierta profundidad, se perforará la siguiente la longitud de tramo por probar; se fija en la parte superior de este nuevo tramo el empaque, que de acuerdo con la formación, puede ser de copas de cuero, de rondanas de hule ajustadas por compresión o neumático y se inyecta agua bajo presión por medio de una bomba de flujo continuo.

Quando se utilizan dos empaques separados, probando en forma ascendente, se debe tener en cuenta la colocación de la sonda para no empalmar tramos de prueba.

PRUEBAS LEFRANC

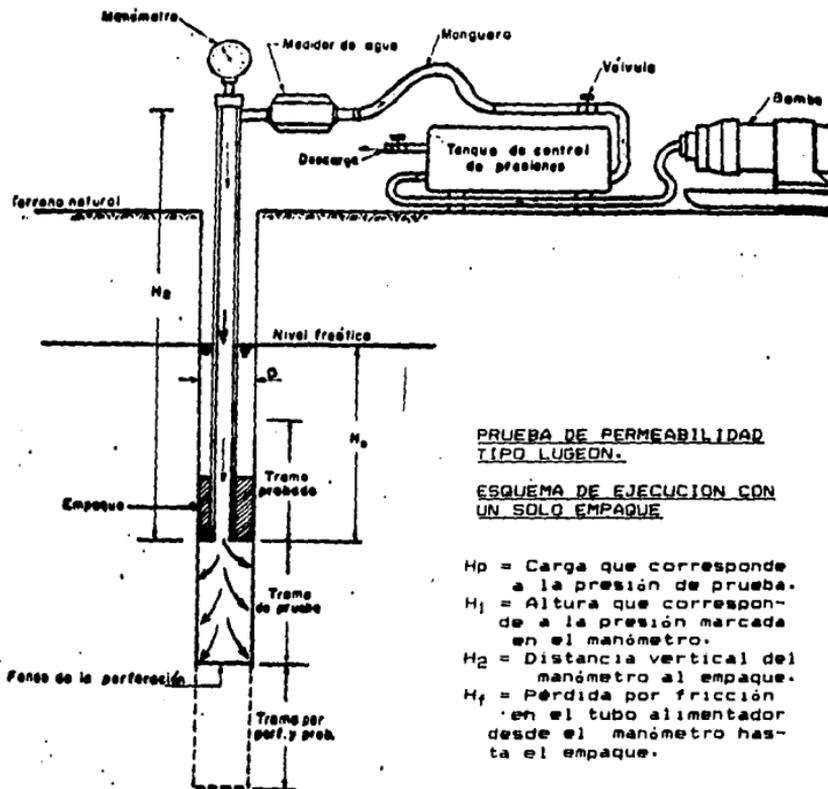
En la mayoría de los casos que se estudian, la herramienta de perforación deja una cavidad uniforme debido a la cohesión del terreno, pero en algunas ocasiones se debe recurrir, para mantener esta condición, al relleno de gravas gruesas, que dejan vacíos suficientemente grandes para que el agua de la prueba no sufra pérdida de carga considerable, o se puede recurrir al acondicionamiento de un tubo del mismo ademe, con perforaciones o ranuras para que a través de ellas circule el agua, teniendo la única condición en este caso, que la superficie ranurada no sea menor del 15% de la superficie total del tubo, cuya longitud es la del tramo de prueba.

Debido a la gran cantidad de condiciones que se presentan al realizar este tipo de ensayos, únicamente nos estamos refiriendo al caso en que se cuenta con una cámara filtrante definida. Para otros, se recurrirá a procedimientos especiales para formar la cavidad.

Procedimiento de realización. De acuerdo con la naturaleza del terreno, dada por el método de perforación, se pueden programar dos tipos de pruebas Lefranc: de flujo constante o de flujo variable.

Las primeras se dividen en ensayos de inyecciones y de

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN



PRUEBA DE PERMEABILIDAD
TIPO LUGEON.

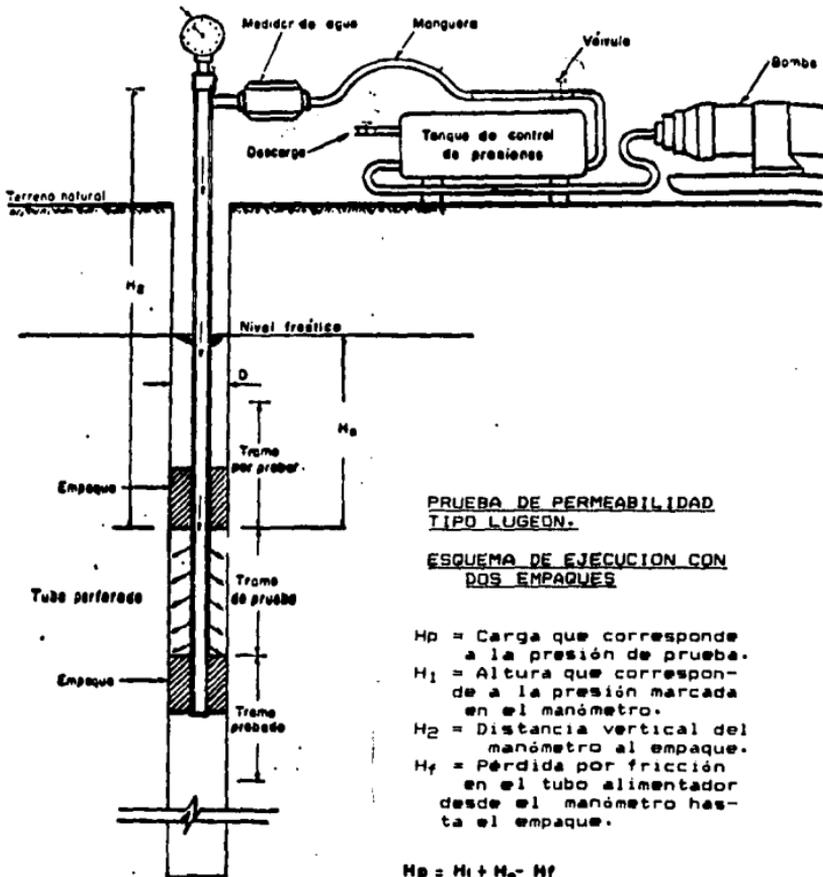
ESQUEMA DE EJECUCION CON
UN SOLO EMPAQUE.

- H_0 = Carga que corresponde a la presión de prueba.
 H_1 = Altura que corresponde a la presión marcada en el manómetro.
 H_2 = Distancia vertical del manómetro al empaque.
 H_f = Pérdida por fricción en el tubo alimentador desde el manómetro hasta el empaque.

$$H_0 = H_1 + H_2 - H_f$$

ANEXO I

FALLA DE ORIGEN



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON

Fecha:

PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON
 (Registro de Campo)

EXPLORACION

Fecha: _____ Elevación: 77.60
 Estación: _____ Ademe: _____
 # de la perf.: Nx Prof. Empaque 15.00
 Alt. del Manómetro Prof. Perf. 20.00
 desde el N.T.: 1-10 m Tramo : 15.00 a 20.00
 Long. del tramo: 5.00

	Presión en kg/cm	Tiempo minutos	medidor de agua		Volumen Lts	Nivel esp. de agua	observaciones
			inicial	final			
a s c e n d e n t e s	1.00	10	475	510	35		
	2.00	10	526	584	58		
	4.00	10	630	745	115		
	6.00	10	810	1225	415		
	10.00	10	375	1375	1000		
d e s c e n t e s	8.0	10	575	1545	970		
	6.0	10	10	370	560		
	4.0	10	571	571	0		
	2.0	10	571	571	0		
	1.0	10	571	571	0		

Bombas: Myno 3L10
 Medidor de agua: Badger 1 1/2 #

bombeo de gasto constante y , las segundas, en ensayos de ascenso y descenso, en la superficie del agua dentro de la perforación.

INYECCIÓN DE GASTO CONSTANTE.

Los anexos 1 y 2 contienen el esquema de las instalaciones necesarias para ejecutar este tipo de pruebas cuando se trata de inyectar pequeños volúmenes, o para grandes consumos.

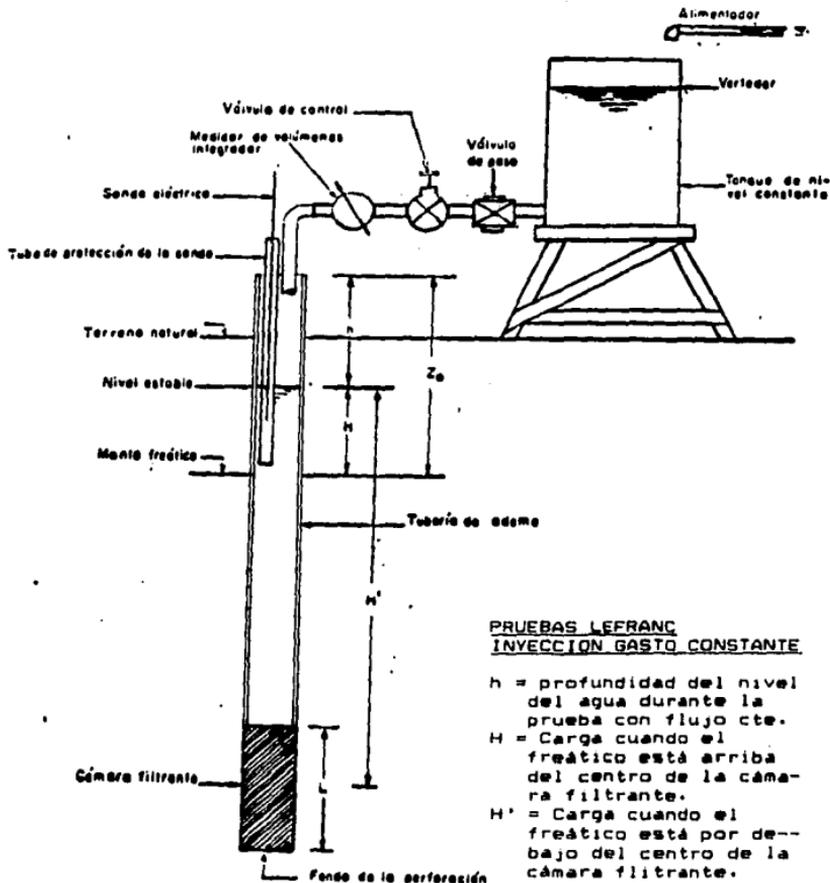
En general, consiste en un tanque, en el que la carga sea constante para el primer caso, o en una bomba, con tanque de control de bombeo, para el segundo.

Además, requiere instalar una válvula de compuerta o globo de control y un medidor de volúmenes, independientemente del cronómetro, la sonda eléctrica y los recipientes con medidas conocidas para hacer las comprobaciones del volumen que se está inyectando.

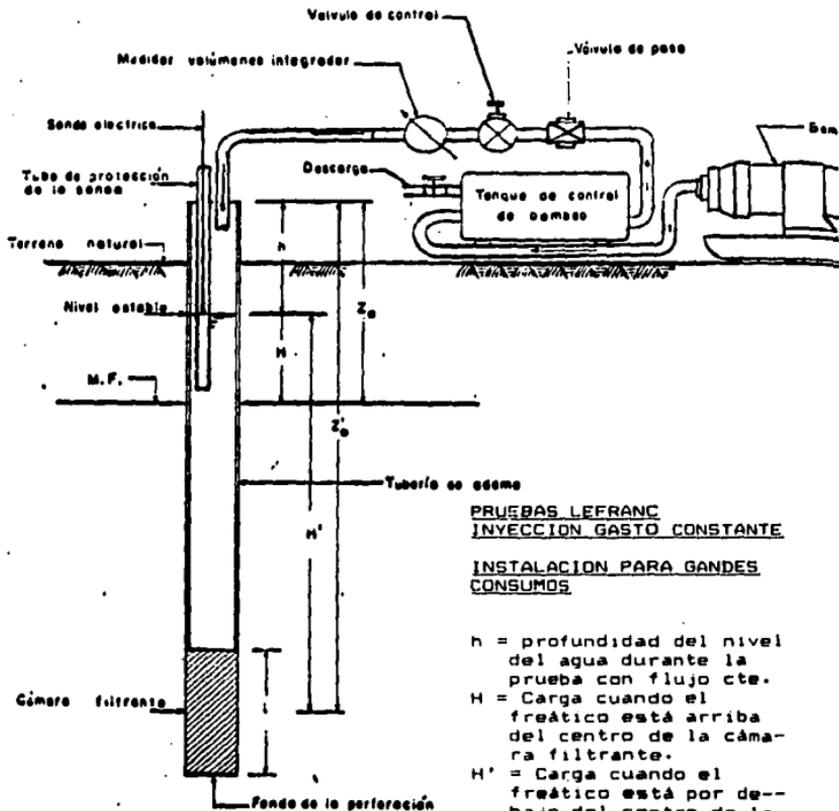
La prueba se iniciará vertiendo agua dentro de la perforación, calibrando con la válvula de control hasta que el nivel se estabilice, con una carga de 10.0 m aproximadamente a partir del centro de la cámara filtrante.

En ese instante se principiará a contar el tiempo de la prueba, que por lo general es de 10 minutos, tiempo en que continuamente se estará comprobando con la sonda eléctrica que no varíe el nivel estable. Terminado el tiempo de prueba, se tomará en el medidor el volumen inyectado.

Para las siguientes observaciones se irá disminuyendo el caudal, con los que los niveles estables irán bajando, y en cada operación se tomará el tiempo y el volumen inyectado. En el anexo 3, se proporcionó un ejemplo de registro de campos para la ejecución de este tipo de pruebas, en el que se ve que, para cinco observaciones, es necesario tomar el volumen agregado en litros, el tiempo de observación en segundos y las profundidades del nivel estable (h).



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON



PRUEBAS LEFRANC
INYECCION GASTO CONSTANTE

INSTALACION PARA GAUNDES
CONSUMOS

- h = profundidad del nivel del agua durante la prueba con flujo cte.
- H = Carga cuando el freático está arriba del centro de la cámara filtrante.
- H' = Carga cuando el freático está por debajo del centro de la cámara filtrante.

U : N : A : M :

E : N : E : P. ARAGON

Prueba de permeabilidad tipo Lefranc

Flujo Constante

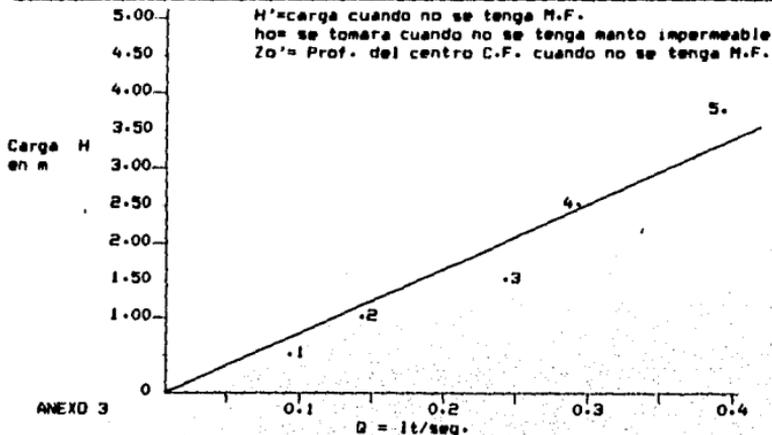
Inyección gasto constante

Boquillas:

Pozo# III A(v)	Estación 0+650	Elev. T.N.	Prueba num. 2
Fecha:		Prueba ejecutada:	
Tiempo: 6:00 a 13:00 m		C.F.= Cámara filtrante	L=5.00
D ϕ de tub.(N \times) 0.0762 m		M.F.= NAF.	1.82
p=Dist. del T.N. de la boca del ademe 0.90		h ϕ =Dist C.C.F al Manto Impermeab.	

OBSERVACIONES

Caudal aplicado y Carga	1	2	3	4	5
Vol. agregado ----- lts	17.37	25.00	42.85	52.94	89.23
Tiemp. de observ. ----- seg	180	180	180	180	180
Q=gasto de prueba----- lts/seg	0.0965	0.1389	0.2380	0.2941	0.3846
Z=prof. M.F o centros C.F----- m	2.270	2.720	2.720	2.720	2.720
h=prof.nivel estable ----- m	2.135	1.835	1.350	0.690	0.000
H=Carga	0.585	0.885	1.370	2.030	2.720



ANEXO 3

En el mismo anexo, se hace una gráfica de ensayos para comprobar que la prueba fue hecha correctamente y en condiciones satisfactorias. A la escala más conveniente, sobre el eje horizontal, se marcan los puntos correspondientes a los gastos en litros/seg., y el eje vertical, las cargas H en m , con lo que se obtendrán tantos puntos como observaciones hayan efectuado. Si el ensayo es correcto, deberán quedar alineados aproximadamente a lo largo de una recta que pase por el origen de los ejes.

BOMBEO GASTO CONSTANTE

En este tipo de pruebas, la perforación y el acondicionamiento de la cámara filtrante es semejante al de la prueba anterior. En el anexo 4 se esquematizan las instalaciones para la ejecución de la prueba.

La prueba se inicia bombeando agua de la perforación, calibrando la velocidad de la bomba hasta que el nivel se establezca dentro del pozo, procurando que no sea a más de 10 m de la superficie del manto. Con estas condiciones se principia a contar el tiempo de la prueba (10 minutos), comprobando periódicamente con la sonda eléctrica que el nivel estable no varíe.

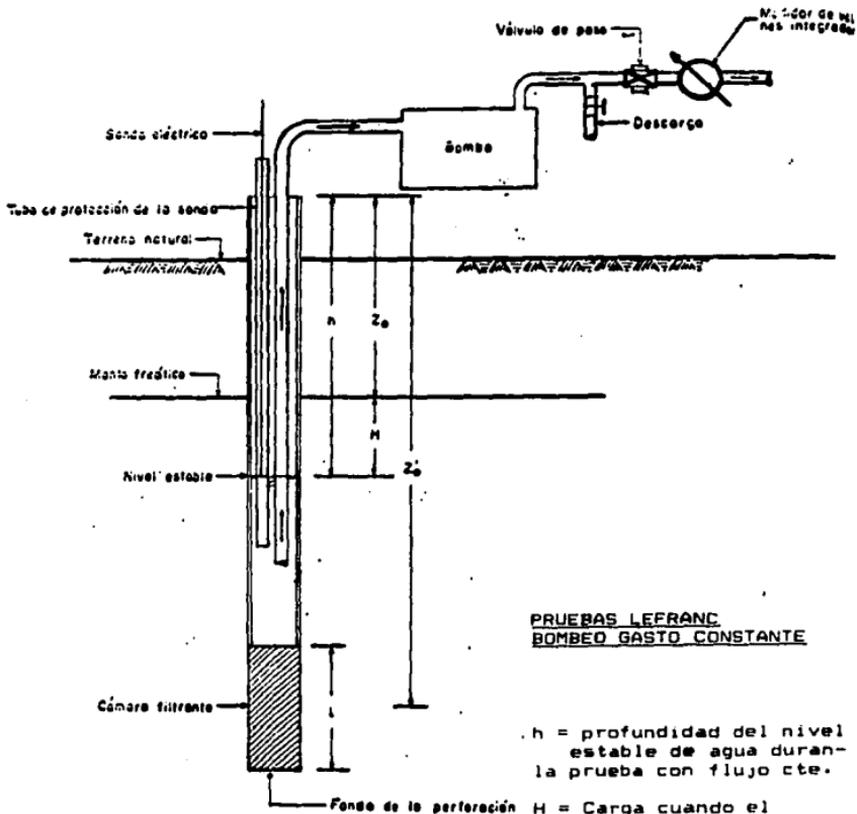
Terminado el tiempo de observación, se tomará la lectura en el medidor, del volumen bombeado.

Para las siguientes observaciones, se irá disminuyendo la aceleración de la bomba, con lo que los niveles estables se irán subiendo y, en cada operación, se tomará el tiempo y el volumen bombeado.

El anexo 5, es un ejemplo de registro de campo para la ejecución de estas pruebas por bombeo, de gasto constante, y en el se hicieron 5 observaciones, tomándose el volumen bombeado en litros, el tiempo de observación en segundos y la profundidad del nivel estable.

En la misma hoja de registro de campo, se grafica la prueba

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN



PRUEBAS LEFRANC
BOMBEO GASTO CONSTANTE

h = profundidad del nivel estable de agua durante la prueba con flujo cte.

H = Carga cuando el freático está arriba del centro de la cámara filtrante.

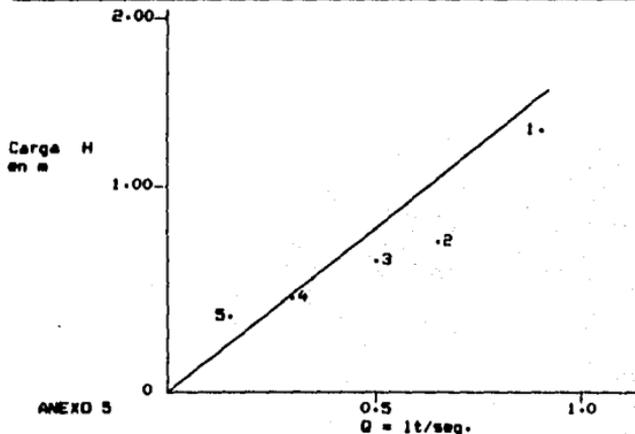
U = N = A = H =
 E = N = E = P = ARAGON
Prueba de permeabilidad tipo Lafranc
Flujo Constante

Bombeo gasto constante

Boquilla:

Pozos III Atv)	Estación 0+340	Elev. T.N.	Prueba num. 1
Fecha:	Prueba ejecutada:		
Tramo: 3.10 a 8.10 m	C.F.= Cámara filtrante		L=5.00 m
D ₅₀ de tub.(N ₁) 0.0762 m	M.F.= NAF.manto freático		0.00 m
p=Dist. del T.N. de la boca del ademe	0.00	h=Dist C.C.F al M.Imperm.	0.00 m

Caudal aplicado y Carga	OBSERVACIONES				
	1	2	3	4	5
Vol. agregado -----lts	250	187	151	103	49
Tiempo de observ.-----seg	380	380	300	300	300
Q=gasto de prueba----- lts/seg	0.833	0.623	0.503	0.343	0.163
Z=prof. M.F o centros C.F----- m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
h=prof.nivel estable ----- m	1.250	0.700	0.580	0.373	0.280
H=Carga	1.250	0.700	0.580	0.373	0.280



de una manera semejante a la explicada para la prueba de inyección de gasto constante; es decir, utilizando el gasto Q y la carga H para obtener los puntos de observación.

En los dos casos de pruebas de flujo constante, es necesario se tomen en consideración, para la mejor evaluación del coeficiente de permeabilidad en un tramo determinado, si el ensayo se hace enseguida del nivel del manto freático, o muy cerca de un manto impermeable, que hay que reportar la distancia del centro de la cámara filtrante a el nivel; del manto freático (h_0) para el primer caso, o la distancia del centro de la cámara al manto impermeable (h_0') para el segundo.

No es posible a veces obtener estos datos durante la ejecución de la prueba, sino que se localizan a medida que avanza la perforación. Sin embargo, se deben reportar cuando se tenga la certeza de su existencia.

FLUJO VARIABLE DE ASCENSO

El principio de este tipo de pruebas, de flujo variable con ascenso de la superficie del agua dentro de la perforación, consiste en ir determinando la velocidad con que varía el nivel dentro del tubo de ademe, habiendo extraído previamente una columna de agua; y, dentro del tiempo que dure el ensayo, no extraer o agregar más líquido.

En este caso se recomienda también que, la carga que se aplica para la prueba al extraer el agua de la perforación, no sea mayor de 10.0 metros contados a partir de la superficie del nivel freático.

Otra condición para que la prueba resulte satisfactoria, es que la longitud del tramo no sea mayor de 5.0 metros, o que satisfaga que la relación L/D sea igual o mayor de 5, en el que L es la longitud del tramo y D el diámetro de la perforación,

El anexo 6 es una prueba de ascenso de la superficie del agua dentro de la perforación. Para la ejecución de este tipo de

de una manera semejante a la explicada para la prueba de inyección de gasto constante; es decir, utilizando el gasto Q y la carga H para obtener los puntos de observación.

En los dos casos de pruebas de flujo constante, es necesario se tomen en consideración, para la mejor evaluación del coeficiente de permeabilidad en un tramo determinado, si el ensayo se hace enseguida del nivel del manto freático, o muy cerca de un manto impermeable, que hay que reportar la distancia del centro de la cámara filtrante a el nivel del manto freático (h_0) para el primer caso, o la distancia del centro de la cámara al manto impermeable (h_0') para el segundo.

No es posible a veces obtener estos datos durante la ejecución de la prueba, sino que se localizan a medida que avanza la perforación. Sin embargo, se deben reportar cuando se tenga la certeza de su existencia.

FLUJO VARIABLE DE ASCENSO

El principio de este tipo de pruebas, de flujo variable con ascenso de la superficie del agua dentro de la perforación, consiste en ir determinando la velocidad con que varía el nivel dentro del tubo de ademe, habiendo extraído previamente una columna de agua; y, dentro del tiempo que dure el ensayo, no extraer o agregar más líquido.

En este caso se recomienda también que, la carga que se aplica para la prueba al extraer el agua de la perforación, no sea mayor de 10.0 metros contados a partir de la superficie del nivel freático.

Otra condición para que la prueba resulte satisfactoria, es que la longitud del tramo no sea mayor de 5.0 metros, o que satisfaga que la relación L/D sea igual o mayor de 5, en el que L es la longitud del tramo y D el diámetro de la perforación,

El anexo 6 es una prueba de ascenso de la superficie del agua dentro de la perforación. Para la ejecución de este tipo de

U : N : A : M :
 E : N : E : P : ARAGON
Prueba de permeabilidad tipo Lefranc
Flujo Variable

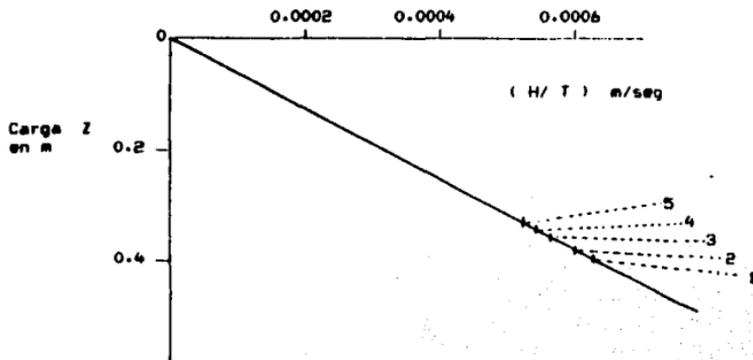
Ascenso de la sup. del agua dentro de la perf.

Boquilla:

Pozo# 11 A(v)	Estación 0+440	Elev. T.N. 2456.82	Prueba num. 4
Fecha: 27 de enero de 1994	Prueba ejecutada:		
Tramo: 17.00 a 22.00 m	C.F. = Cámara filtrante		L=6.00
D=φ de tub. (N°) 0.0762 m	M.F. = NAF.		4.40
p=Dist. del T.N de la boca del ademe 0.00	hc=Dist C.C.F al Manto Impermeab.		

OBSERVACIONES

Caudal aplicado y Carga	1	2	3	4	5
Z ₀ =Prof.M.F. á contra C.F.-----m	4.400	4.400	4.400	4.400	4.400
h ₁ =prof.inicial en T ₁ -----m	12.650	12.280	11.920	11.580	11.270
h ₂ =prof. final en T ₂ -----m	12.280	11.920	11.580	11.270	10.970
Z = h ₂ - h ₁ -----m	0.370	0.350	0.340	0.310	0.320
T = T ₂ - T ₁ -----seg	600	600	600	600	600
Z ₀ - z-----m					
Z/T=velocidades-----m/seg	0.00062	0.00058	0.00057	0.00052	0.0005



ANEXO 6

ensayos, no se requieren instalaciones especiales de equipo, ya que únicamente se necesita extraer el agua dentro de la perforación hasta un nivel en el que se pueda tener la carga especificada; y, con una sonda eléctrica, ir midiendo el ascenso del agua en lapsos determinados, controlados con un cronómetro.

Como comprobación de que la prueba se efectuó en condiciones normales, en la misma hoja de registro se hace una gráfica de ensayos; en el eje de las ordenadas se marcan los valores de Z , que es la diferencia entre h_2 y h_1 , y en el eje de las abscisas, los valores de Z/T en m/seg. Los puntos así obtenidos, tendrán que quedar aproximadamente alineados hacia el origen de los ejes.

FLUJO VARIABLE DE DESCENSO.

En las pruebas de permeabilidad de flujo variable con descenso de la superficie del agua dentro de la perforación, es necesario ir determinando la velocidad con que varía el nivel dentro del tubo de ademe, habiendo vertido previamente una columna de agua, sin que se agregue o extraiga líquido durante el tiempo que dura la prueba.

La carga máxima recomendable no debe ser mayor de 10 metros a partir del centro de la cámara filtrante, o del nivel freático, también, como en el caso de flujo variable con ascenso, la longitud del tramo no debe ser mayor de 5.0 metros o reunir la relación L/D , antes citada.

Con objeto de ver la secuela que se sigue al efectuar en el campo de prueba de flujo variable con descenso del agua de la perforación, se da un ejemplo en el anexo 7.

Para la ejecución de estas pruebas no se requieren instalaciones de equipo especial, necesitándose únicamente verter agua dentro de la perforación hasta un nivel que satisfaga las condiciones de carga especificadas y con una sonda eléctrica ir midiendo el descenso del nivel de agua en lapsos de tiempo determinados, controlados con un cronómetro.

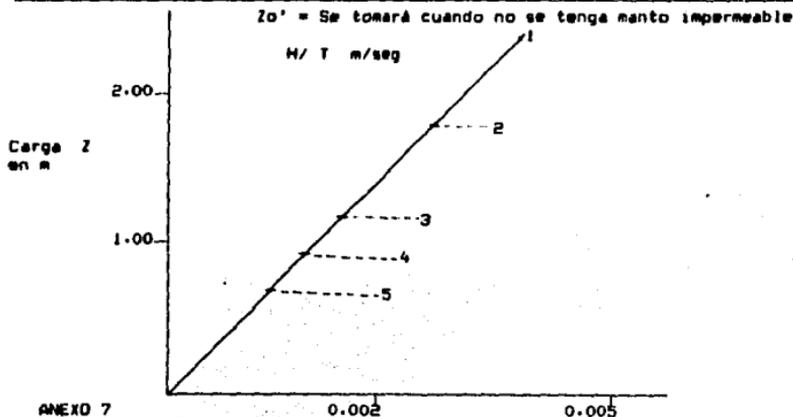
U. N. A. M.
E. N. E. P. ARAGON
Prueba de permeabilidad tipo Lefranc
Flujo Variable

Descenso de la sup. del agua dentro de la perf.

Boquillas:

Pozo# XVIII A(v)	Estación 1+300	Elev. T.N. 2020.02	Prueba num. 5
Fecha: 27 de enero de 1994	Prueba ejecutada:		
Traza: 20.00 a 25.00 m	C.F. = Cámara filtrante		L=5.00
D=φ de tub. (Nx) 0.0762 m	M.F. = NAF.		----
p=Dist. del T.N de la boca del adese 0.50 ho=Dist C.C.F al Manto Impermeab.			

Caudal aplicado y Carga	OBSERVACIONES				
	1	2	3	4	5
Z ₀ =Prof.M.F á centra C.F.-----m	22.550	22.550	22.550	22.550	22.550
h ₁ =prof.inicial en T ₁ -----m	12.500	14.792	16.450	17.537	18.365
h ₂ =prof. final en T ₂ -----m	14.792	16.450	17.537	18.365	18.990
Z = h ₂ - h ₁ -----m	2.292	1.658	1.087	0.823	0.625
T = T ₂ - T ₁ -----seg	600	600	600	600	600
Z ₀ - z-----m					
Z/T=velocidades-----m/seg	0.00382	0.00276	0.00181	0.00138	0.00104



U . N . A . M .

E . N . E . P .

ARAGON

Tramo: 15.00 a 20.00

Fecha:

Boquilla:

Pozo # :

HI Manom. kg/cm	(I) HI+P+p	T min	vol. lts	Q lt/min	Hf	I-Hf-(P-Hn)	
a 1.000	2.610	10	35	3.5	--	2.610	P= 1.500 kg/cm
s 2.000	3.610	10	58	5.8	--	3.610	p= 0.110 kg/cm
e 4.000	5.610	10	115	11.5	--	5.610	P+p= 1.610 kg/cm
n 5.000	7.610	10	415	41.5	--	7.610	Hn=
d 10.000	11.610	10	1000	100.00	0.66	10.950	(P-Hn)=
e n t e s							
d 8.000	9.610	10	970		.615	8.995	L= 5.00 m
e 6.000	7.610	10	560		--	7.610	D= Na .
s 4.000	5.610	10	0		--	5.610	
c 2.000	3.610	10	0		--	3.610	
e 1.000	2.610	10	0		--	2.610	
d e n t e s							

La comprobación de que la prueba se efectuó en condiciones normales, se gráfica de una manera semejante a la explicada para la de la prueba de flujo variable de ascenso, teniendo que llenar los puntos, los requisitos de alineamiento hacia el origen de los ejes.

Procedimiento general sobre el análisis matemático, para el cálculo del coeficiente de permeabilidad de las pruebas de tipo Lefranc y Lugeon.

CONSIDERACIONES TEÓRICAS Y EJEMPLOS.

En el instructivo para operaciones de campo, para ejecutar pruebas de permeabilidad tipo Lefranc, se explica detalladamente el procedimiento que se sigue para efectuar en el sitio del estudio cada uno de los diferentes ensayos, así como el equipo que utiliza y las condiciones que deben existir para escoger el tipo de pruebas más conveniente.

En el caso de las pruebas de flujo constante, ya sea por bombeo o por inyección de agua, en las que se calcula, con los datos de campo, el gasto Q en litros/seg. y la carga H en metros, con el fin de graficar el resultado de la prueba, se utilizan estos mismos datos para calcular el coeficiente de permeabilidad por medio de la fórmula siguiente, convirtiendo a Q en metros cúbicos/seg.

$$K = C \frac{Q}{H} \quad \text{en: } m^3/\text{seg}$$

En la que C es el coeficiente que depende de la forma de la cámara filtrante.

Para nuestro caso, fue considerada la cavidad como una elipsoide de revolución con eje corto igual a D y una distancia focal igual a 1 .

Los anexos 2 y 2A, son unas gráficas para encontrar el valor de C en diferentes diámetros, en función del diámetro de la perforación y la longitud de la cámara filtrante. estas gráficas fueron dibujadas de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$C = \frac{\log [L/D + J(L/D) + 1]}{4 \pi r (L/D)} \quad \text{Gráfica 2}$$

$$C = \frac{\text{Log} (1+JL + D / D)}{L} \quad \text{Gráfica 2A}$$

En estas fórmulas, el valor de C está dado en m-1.

Los anexos 14 y 15, son dos ejemplos de registro de cálculo de permeabilidad; de flujo constante por inyección al primero y por bombeo el segundo, dados en el instructivo de operaciones de campo.

En ambos casos se encuentra la carga H en m y el gasto Q en m cub. por seg., de las cinco observaciones, con los que se va desarrollando el cálculo de cada uno de ellas hasta obtener igual número de coeficientes K en cm/seg., con los cuales se hace un promedio para tener el coeficiente de permeabilidad del tramo.

Para el caso de las pruebas de flujo variable, con ascenso o descenso de la superficie del agua dentro de la perforación, en las que se van obteniendo las profundidades h_1 y h_2 con que va variando el espejo del agua cada determinado tiempo de observaciones delta T, el coeficiente de permeabilidad está dado por la fórmula:

$$K = 2.3CA \frac{\log (H_1/H_2)}{T_2 - T_1}$$

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON

Registro a calculo de permeabilidad
FLUJO CONSTANTE
Inyección Gasto constante

Tramo: 8.00 a 13.00
 Fecha:

Boquilla: El batan
 Pozo N°: VI(v)

Observ	H m	Q m ³ /seg	Q/H	C (Q/H) m/seg	K cm/seg	Prueba# 2
1	0.585	0.000935	0.0001649	0.0000257	2.57x10 ⁻³	L=5.00 m D=Nx.0762 C=0.156
2	0.885	0.0001389	0.0001569	0.0000245	2.45x10 ⁻³	
3	1.370	0.0002380	0.0001737	0.0000271	2.71x10 ⁻³	
4	2.030	0.0002941	0.0001443	0.0000225	2.28x10 ⁻³	
5	2.720	0.0003846	0.00001413	0.0000220	2.20x10 ⁻³ 2.44x10 ⁻³	

OBSERVACIONES

Anexo 14

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON

Registro a calculo de permeabilidad

bombeo Gasto constante

Tramo: 3.10 a 8.10

Fecha:

Boquilla: El batan

Pozo N°: VI(v)

Observ	H m	Q m ³ /seg	Q/H	C (Q/H) m/seg	K cm/seg	
1	1.250	0.000833	0.000666	0.000104	1.04×10^{-2}	L=5.00 m D=11.0762 C=0.156
2	0.700	0.000623	0.000890	0.000139	1.39×10^{-2}	
3	0.560	0.000503	0.000898	0.000140	1.40×10^{-2}	
4	0.373	0.000343	0.000919	0.000143	1.43×10^{-2}	
5	0.280	0.000163	0.0000582	0.0000908	9.08×10^{-2} 1.25×10^{-2}	

O B S E R V A C I O N E S

Anexo 15

En la que C se obtiene igual que en el caso de las pruebas de flujo constante (en las gráficas 2 y 2A), teniendo el mismo significado.

Los anexos 16 y 17, son también los ejemplos dados en las instrucciones sobre operaciones de campo, para pruebas de flujo variable con ascenso y descenso del espejo del agua dentro de la perforación.

En los dos casos es necesario, para las cinco observaciones, anotar en la hoja de registro de cálculo la profundidad Z_0 ó Z_0' en metros, las profundidades h_1 y h_2 y calcular el área de la cámara filtrante de acuerdo con el diámetro D de la perforación.

Con estos datos se desarrolla el cálculo, obteniéndose cinco coeficientes, cuyo promedio se obtiene el coeficiente K en m/seg., del tramo probado.

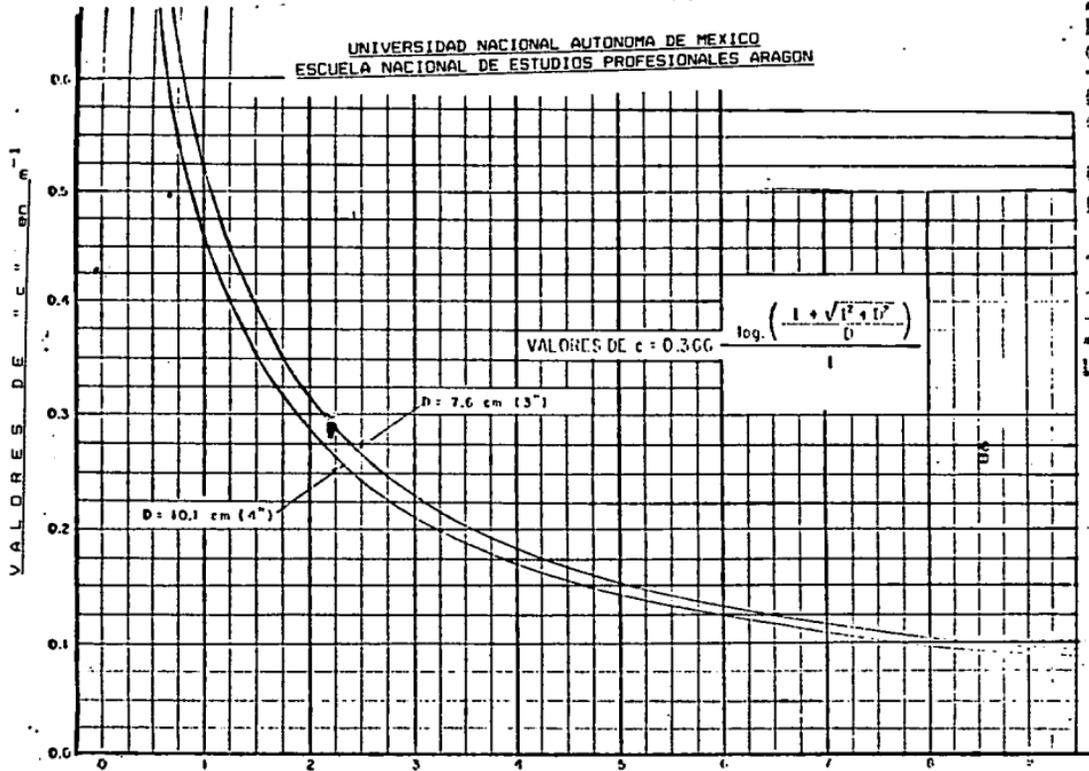
En los dos casos, tanto de flujo constante como de flujo variable, cuando el ensayo se hizo en seguida del nivel freático o muy cerca de un manto permeable, es necesario tomar en consideración que se debe reportar la distancia h_0 ó h_0' , según del caso de que se trate.

El coeficiente C debe hacerse una corrección adicional, calculada de acuerdo con la fórmula:

$$C = \frac{1}{8 \pi h_0}$$

La interpretación de los resultados de estas pruebas, es de suma importancia, que de ello depende la aprobación o el rechazo del estudio de que se trate con respecto a la permeabilidad o a la programación del tratamiento adecuado para la impermeabilización de la boquilla.

Una permeabilidad de 1.0×10^{-6} , de 1.0×10^{-7} ó mayor, se puede considerar como que el material es impermeable. La



FALLA DE ORIGEN

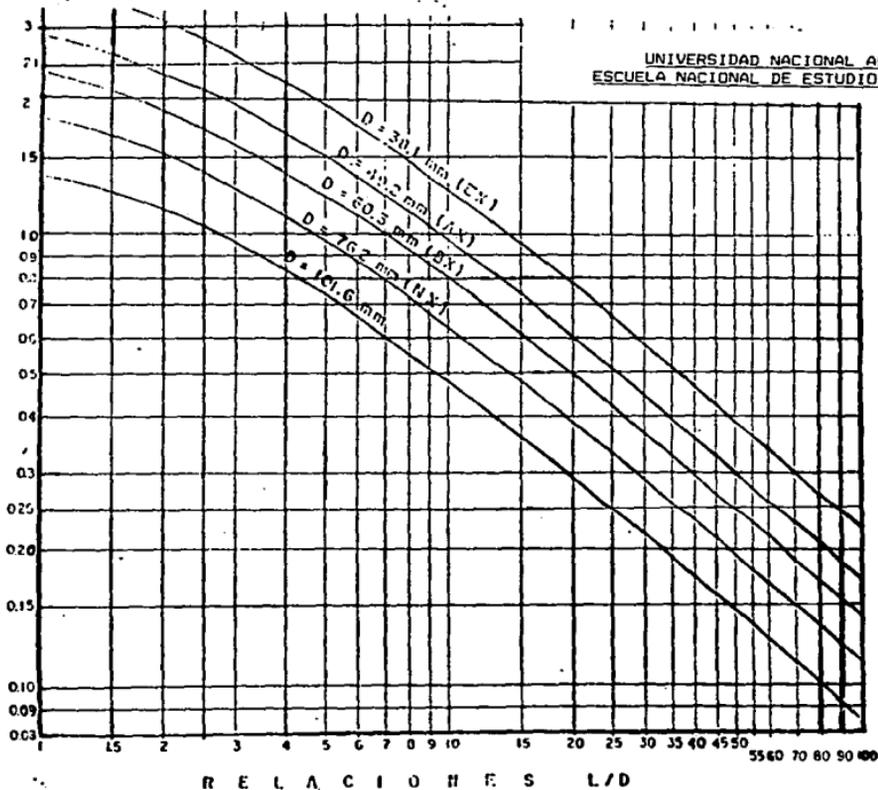
VALORES DE "L" EN METROS

FIG. 2A

FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON



1 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC

VALORES DE "C" EN LA ECUACION

$$K = \frac{4C}{H} \frac{Q}{H}$$

$$C = \frac{109 \left(\frac{L}{D} + \sqrt{\frac{L^2}{D^2} + 1} \right)}{2 \frac{L}{D} D}$$

K = Coeficiente de permeabilidad cm/seg

Fig. II-2

FALLA DE ORIGEN

Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón.

Ascenso de la superficie del agua dentro de la perforación

Tiempo: 17.00 a 22.00
fecha:

Boquilla:
Pozo núm.: II(V)

	o h s	h1	h2	H1	H2	H1	(H1)	T2-T2	LOG(H1/H2)	log(H1)	k =2.3CAH2 m/seg	k cm/seg
		e	e	h1-Zo	h1-Z	H2	LOG H2			T2-11		
A=0.00456	2	12.20	11.92	7.880	7.520	1.048	0.0203	600	0.000033B	5.41x10 ⁻⁸		5.41x10 ⁻⁶
C=0.156	3	11.92	11.58	7.520	7.180	1.047	0.0199	600	0.0000331	5.30x10 ⁻⁸		5.30x10 ⁻⁶
2.3CA=0.0016	4	11.58	11.27	7.180	6.870	1.045	0.0191	600	0.000031B	5.09x10 ⁻⁸		5.09x10 ⁻⁶
D=Hr 0.0762	5	11.27	10.97	6.870	6.570	1.045	0.0191	600	0.000031B	5.09x10 ⁻⁸		5.09x10 ⁻⁶
												5.22x10 ⁻⁶

Anexo 16

FALLA DE ORIGEN

Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón.

Descenso de la superficie del agua dentro de la perforación

Tramo: 20.00 a 25.00
Fecha:

Boquilla:
Pozo núe. XVIII(V)

	o b s	h1	h2	H1	H2	H1	LOG(H1)	AT	LOG(H1/H2)	log(H1)	k cm/seg
		e	e	h1-Zo	h1-Z	H2	H2		T2-T1	T2-T1	
Zo=22.55	1	12.50	14.79	10.05	7.758	1.295	0.1123	600	0.000187	2.99x10 ⁻⁷	2.99x10 ⁻⁵
A=0.00456	2	14.79	16.45	7.758	6.100	1.272	0.1045	600	0.000174	2.78x10 ⁻⁷	2.78x10 ⁻⁵
C=0.1560-1	3	16.45	17.54	6.100	5.013	1.217	0.0852	600	0.000142	2.27x10 ⁻⁷	2.27x10 ⁻⁵
2.3CA=0.0016	4	17.54	18.38	5.013	4.185	1.198	0.0785	600	0.000131	2.10x10 ⁻⁷	2.10x10 ⁻⁵
D=Mx 0.0762	5	18.38	18.99	4.185	3.560	1.175	0.0701	600	0.000117	1.87x10 ⁻⁷	1.87x10 ⁻⁵
											1.26x10 ⁻⁵

FALLA DE ORIGEN

permeabilidad resultante de 1.0×10^{-5} , como poco permeable; 1.0×10^{-3} , como permeable y, entre 1.0×10^{-3} y 1.0×10^{-2} , como altamente permeable. (cm/seg).

La unidad tradicional de las pruebas de presión de agua es un "Lugeon".

La unidad Lugeon es una medida de la permeabilidad obtenida de pruebas de agua inyectada, la definición básica es de una unidad Lugeon, es la toma de agua de un litro por metro de barro-
no por minuto a una presión aproximada de 10 kg/cm^2 (10 Bar) = (1MPa).

Sin embargo esta presión de 10 kg/cm^2 o bien 150 PSI generalmente es demasiado elevada para el trabajo de inyectado de rutina, y por lo tanto se emplean presiones mucho muy bajas, se hace una corrección para relacionar las presiones menores con la de la definición y se aplica como sigue.

$$\text{consumo de agua (lt/m/min)} \times \frac{10 \text{ kg/cm}^2}{\text{presión real (kg/cm}^2)} = \text{valor de Lugeones}$$

o en unidades usuales

$$\text{consumo de agua (ft}^3\text{/ft/min)} \times 0.0107 \frac{150 \text{ PSI}}{\text{presión real PSI}}$$

Para tener un sentido de la proporción de la Unidad Lugeon (UL) puede hacerse notar que:

1 Lugeon = 1.3×10^{-5} cm/seg

o bien

10 ft/año en forma aproximada

Debido a la mayor penetración del agua y su mayor potencial para movilizar la roca, las pruebas de presión de agua en formaciones poco resistentes pueden tener valores inferiores a 10 bar y sólo en formaciones duras pueden ser de 10 bar o mayores, según las profundidades consideradas.

Una admisión estable en un sondeo proporciona una condición uniforme y representativa. Una disminución en la admisión indica que, en las primeras etapas, gran cantidad de agua ha rellenado cavidades vacías. Un aumento en la admisión de agua indica que, o bien la roca es desplazada, o que el material de relleno es barrido fuera de las cavidades.

- 1 lugeon es considerado como el límite de inyección empleando cemento normal. Es también el grado de permeabilidad de las cimentaciones que casi no necesitan inyección y que a veces, se consideran impermeables.
- 3-5 Lugeons representa una cimentación donde la inyección es normalmente necesaria.
- 10 Lugeons justifica el inyectado para la mayoría de los tipos de cortina
- 10-20 Lugeons representa lugares con cavidades considerables

- 100 Lugeons se encuentra en sitios muy fracturados con juntas relativamente abiertas, también se encuentra en cimentaciones poco fracturadas, pero en donde las juntas se encuentran muy abiertas.

La escala Lugeon disminuye en sencibilidad conforme aumenta los valores. La mayor sencibilidad e importancia se tiene en valores 1-5, cuando se alcanza valores tales como 50 se justifica una precisión de aproximadamente ± 10 unidades, y cuando se alcance 100 unidades un rango de ± 30 unidades es la mejor precisión que se requiere, aunque la escala no tiene ningún límite superior.

Los valores superiores a 100 unidades no tiene sentido y para fines de inyectado puede designarse como mayores de 100 Lugeons sin ninguna otra explicación mayor.

Los Lugeones se registran con el número entero más cercano, cuando se trata de valores menores de 30 Lugeones (el empleo de decimales implica una precisión ilusoria que no tiene relación con la realidad). Arriba de este valor es suficiente registrar las unidades a los 5 Lugeones más cercanas.

Hay que señalar, en cambio, que no siempre resulta beneficioso bombear las grandes cantidades de agua al interior del terreno, que se necesitan para mediciones de valores altos Lugeon.

mediante un análisis matemático demuestra que si una cavidad situado en un medio indefinido bañado por un manto acuifero, se crea una sobre presión o una depresión H respecto al nivel estático del manto, el caudal Q que fluye a esta cavidad esta ligado con H por su relación :

$$Q = CKH \dots\dots\dots(1)$$

donde:

- K = Coeficiente de permeabilidad del terreno.
- C = Coeficiente que depende de la forma de la cavidad.

Si la cavidad tiene forma cilíndrica con una base de radio r y una altura m , igual a la potencia de la capa permeable se tiene:

$$C = \frac{(2 \pi m)}{\ln R/r} \dots\dots\dots(2)$$

Siendo R una constante.

Sustituyendo el valor de C de la ecuación 2 en la ecuación 1 y despejando K tenemos:

$$K = \frac{Q}{C H} ; K = \frac{Q}{2 \pi m R/r} = \frac{Q \ln R/r}{2 \pi m H}$$

$$K = \frac{2.30 \log R/r}{2 \pi m H}$$

R = Tramo de prueba para 5.00 metros = 500 cm.

r = Radio de la perforación $\phi/2 = 7.6/2 = 3.8$

Para flujo laminar $K = \frac{2.3 Q \log R/r}{2 \pi m H} \dots\dots\dots \text{DARCY}$

Hasta que el escurrimiento (flujo) sea turbulento y en que seguramente no es aplicada la fórmula de Darcy.

Para poder hacer comparables los datos que se obtengan en las pruebas de permeabilidad se llega a un equivalente del valor de K de la fórmula de Darcy, y el valor de Lugeon, es decir que queden expresadas las permeabilidades en unidades Lugeons y también con sus valores equivalentes en coeficiente K de permeabilidad.

$$K = \frac{2.3 Q \log 500/3.8}{2 \pi m H} \log \frac{500}{3.8} \frac{\text{cm}}{\text{cm}} = \log 131.57 = 2.12$$

$$Q = 1 \text{ lt/min.} = 0.0000167 \text{ m}^3/\text{seg.} = 1.67 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg}$$

Se admite como valor R el de 500 cm y el r como 3.8 cm

$$m = 1m$$

$$H = H_1 + H_2 - H_f = 10 \text{ kg/cm}^2 = 100 \text{ m}$$

$$K = \frac{2.3 \times 0.0000167 \times 2.12}{6.28 \times 1 \times 100} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} = 1.3 \times 10^{-5} \text{ cm/seg} = 1 \text{ UL}$$

$$\text{UL} = \frac{Q \text{ (lt/min)}}{\text{long. del tramo (m)}} \times \frac{1/\text{Pr Kg/cm}^2}{10} = \frac{Q}{b} \frac{10}{p}$$

Q = Gasto de absorción (lt/min)
 b = longitud del tramo ensayado (m)
 p = Kg/cm^2

Ejemplo : Para un gasto de absorción de 1.5 lts/min en prueba con tramo de 5.00 m y presión de 6 kg/cm² se tendrán :

$$\frac{15}{5} \times \frac{10}{6} = 5 \text{ UL}$$

$$K = 6.5 \times 10^{-7} \text{ m/seg}$$

Para un gasto de absorción de 30 lt/min en tramo de prueba de 15.00 m con presión de 10 kg/cm² se tendrá :

$$(60/5)(10/12) = 10 \text{ UL}$$

$$K = 1.3 \times 10^{-6} \text{ m/seg}$$

La unidad Lugeon (UL) es el gasto de un litro por minuto de 1.0 m de longitud en el tramo de prueba, bajo la presión de 10 kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²), con una duración de ensayo de 10 minutos.

Se admite que la perforación en el tramo de prueba no tiene ademe y que es de 7.6 cm (3") de ϕ aproximadamente. Los tramos de prueba conviene que sea de 5.00 metros y que se deben hacer

las pruebas conforme avanza la perforación (descendentes), para que en el fondo de ella constituya el limite inferior de ese tramo, quedando el limite superior el empaque u obturador del tipo que más convenga.

CAPITULO 8

INSTALACION DEL EQUIPO DE INYECCION

Tanto el plan de trabajo como el tipo de equipo que se utilizará en un trabajo de inyección dependerá de la magnitud del proyecto y para esto existe soluciones para cada caso.

8.1 PEQUEÑOS PROYECTOS

En proyectos relativamente pequeños, puede emplearse una unidad combinada de mezclado-bombeo, para ser remolcada o montada sobre una plataforma que pueda ser transportada fácilmente a la siguiente ubicación.(fig.8.1).

Algunas veces para trabajos pequeños, resulta suficiente utilizar un mezclador y una bomba equipados para su transporte manual.

8.2 GRANDES PROYECTOS.

Para proyectos más importantes hay que considerar la solución más flexible de instalar un cierto número de equipos estándar en combinación con una estación central de pesado y mezclado.(fig.8-2).

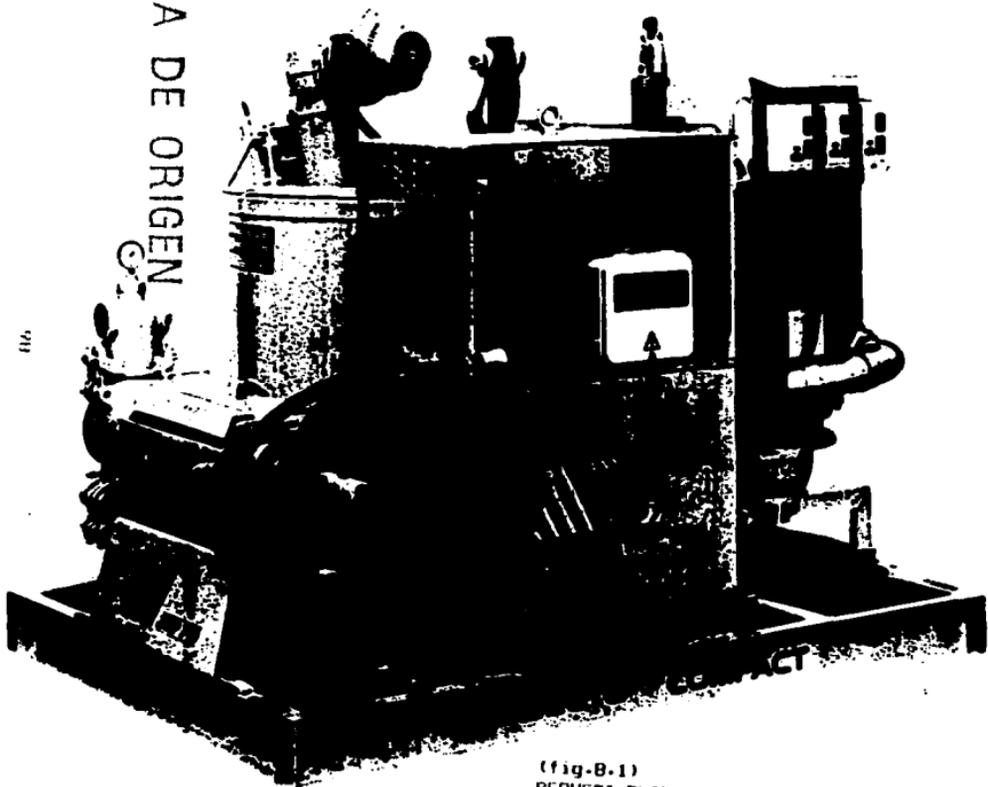
Mediante estos equipos, el desplazamiento de un punto de inyección al siguiente se realiza muy fácilmente, simplificando las comunicaciones y el control del trabajo.

La estación central de inyección no puede desplazarse fácilmente y se encuentra a gran distancia del lugar donde se efectúan las inyecciones.

FALLA DE ORIGEN

96

FALLA DE ORIGEN



(fig.8.1)
PEDUERA PLANTA
DE INYECCION

FALLA DE ORIGEN



FALLA DE ORIGEN

(Fig. 8-2) ESTACION CENTRAL DE INYECCION PARA GRANDES PROYECTOS.

Tales estaciones tienen normalmente silos para el cemento y aditivos, y dispositivos para pesado y mezclado automático, siendo eficientes.

Los inconvenientes son los derivados por la necesidad de instalar largas líneas de inyección y de comunicaciones mediante teléfono o radio.

Conviene por lo tanto, calcular las pérdidas de carga en la conducción comparando las presiones dadas por el manómetro registrador de la central con un manómetro colocado a la entrada de la perforación.

Esta medida debe hacerse para varios caudales y cuando varíe la clase de mezcla inyectado. Este procedimiento es el único correcto, porque siendo las mezclas suspensiones coloidales dotadas de rigidez y de mayor o menor tixotropía, no les es aplicable ninguna fórmula para calcular las pérdidas de carga.

Una vez hecho esto, pueden aceptarse las presiones medidas en la central, pero con las mezclas que se adhieren a las paredes de la conducción, son únicamente admisibles las presiones leídas a la entrada de la perforación.

Si las pérdidas de carga son demasiado importantes, conviene instalar una estación de reactivación de las mezclas en otro punto de la obra, pero estos casos son pocos frecuentes.

No existe un esquema tipo de central. Los aparatos que la componen y su instalación dependen:

- a). De la topografía del terreno.
- b). Del tipo de morteros previstos.
- c). Del acondicionamiento de los materiales (en sacos , a granel, arcilla en polvo o húmeda, productos químicos en polvo o líquidos, etc.).

En las centrales importantes, las dosificaciones se hacen en medidas de peso para los productos en polvo y en volumen para los líquidos. Algunas son más o menos automáticas, pero todas las precauciones son pocas para evitar los errores por lo que el hombre debe intervenir, cuando menos para limpiar los mezcladores.

Son entonces los diagramas de presión quienes indican el culpable, porque ésta depende del más alto grado de viscosidad del mortero o de su composición.

8.3 GALERIAS DE INYECCIÓN

Su construcción tiene por objeto facilitar las inyecciones por debajo de las presas. Normalmente son muy pequeñas, por lo que es muy necesario utilizar equipos adecuados para la perforación y aplicar planes especiales para la inyección.

Las perforadoras que normalmente se emplean se construyen con bastidores de avance de corta longitud.

La inyección en galerías puede hacerse con centrales fijas si las zonas a tratar no están demasiado alejadas de la entrada, pero, frecuentemente, no es éste caso. Es necesario, entonces, prever una central móvil.

Normalmente, se aprovecha la instalación de una vía férrea para situar la central sobre vagones. Para simplificar la instalación no se utilizan más que materiales en polvo, aunque nada impediría preparar en el exterior, con arcilla húmeda, por ejemplo, morteros de base que podrían ser almacenados en vagones-cisternas.

Estas centrales móviles están constituidas por varios vagones. Al menos hacen falta dos: uno con el mezclador y el inyector y el otro con los materiales.

A veces, conviene añadir a esta central un vagón sobre el

que puedan disponerse los materiales de perforación, martillos , quedando así constituido un tren de inyección.

8.4 EQUIPO DE INYECCIÓN EN TÚNELES.

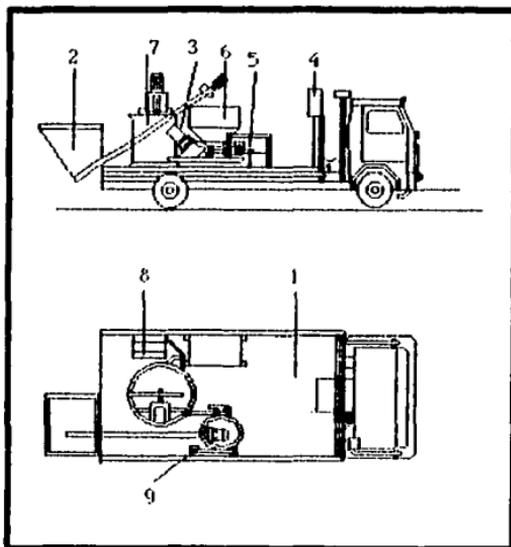
Para inyección en túneles, especialmente en lo que concierne a la pre-inyección, que se realiza durante el avance de la excavación , el equipo de inyección debe ser móvil, la solución es la instalación sobre un camión con panel de mandos, mezclador, agitador, bomba, mangueras, obturadores y provisión de materiales de inyección.(fig.8.4).

Mediante la utilización del panel de mandos, se puede inyectar múltiples sondeos que facilitarán avanzar más rápidamente en la excavación del túnel.

En estos casos y para limitar la dispersión de la mezcla y mantener el tiempo para cortas inyecciones, se emplea una mezcla de baja proporción agua-cemento con un acelerante para regular su endurecimiento.

Como las galerías son pequeñas, el equipo no puede ser grande, y normalmente el empleo de unidades combinadas no es posible, el gran problema que siempre supone el acarreo del cemento y que normalmente se efectúa en sacos, se ha solucionado transvasándolo mediante tuberías.

A veces una estación central instalada en la superficie puede alimentar a un agitador y su bomba de inyección situados en la galería, pero hay que solucionar el problema de obtención de la mezcla correcta.



EQUIPO DE INYECCION MONTADO SOBRE CAMION

(Fig. 8-4)

1. Plataforma
2. Toba para cemento
3. Tornillo alimentador
4. Control y unidad dosificadora de peso
5. Bomba
6. Mezclador
7. Agitador
8. Grupo registrador
9. Elementos de carga

FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 9

PROCEDIMIENTOS PARA LA INYECCION

(Procedimientos de inyectado en roca sobre una presa)

Para reducir la permeabilidad a un nivel aceptable de fugas mínimas sin importancia, adaptando el procedimiento más conveniente para cada caso, y tomando en cuenta la estructuración de la roca, el inyectado se puede hacer por los siguientes procedimientos :

9.1 METODO DEL CIERRE ESPACIADO.

(POR ETAPAS)

Las inyecciones de pantalla pueden realizarse mediante este procedimiento, los sondeos primarios son realizados con una separación constante determinada previamente, que será al menos el doble de separación que se fije para el último.

Normalmente la primera separación se elegirá de 6 hasta 12 metros, cuando estos sondeos hayan avanzado lo suficiente, se perfora una segunda serie de sondeos, interpolándolos entre los primarios, así sucesivamente, la tercera serie, cuarta, quinta, sexta, etc., según sea necesario. (fig.9.1).

Mediante la ejecución de las pruebas de presión de agua, puede conseguirse, en cada etapa, la reducción de la permeabilidad, y si es necesario, tomar una decisión para la segunda etapa.

9.2 INYECCIÓN EN SERIE.

La expresión inyección en serie se emplea, en este caso, como método de inyección de un grupo de 5-10 sondeos, incluyendo su limpieza, pruebas de agua e inyección, simultáneamente.

Este procedimiento consiste en ir formando la pantalla, impermeabilizando la roca por zonas de arriba hacia abajo, haciendo una primera serie hasta la profundidad programada para la primera zona, procediendo a hacer el tratamiento con perforaciones profundas inyectadas por etapas, las cuales deben ser lavadas cuidadosamente, probadas a presión de agua e inyectadas. (fig.9.2).

El propósito de la perforación y limpieza de varios sondeos próximos es conseguir comunicaciones entre ellos, que permitan llevar a cabo barridos cruzados para la extracción de los materiales depositados en las grietas, como arena y arcilla.

La segunda serie consiste en nuevas perforaciones que llegarán a la profundidad de la segunda zona, haciendo el tratamiento también por etapas y así sucesivamente se procede hasta llegar a la zona más profunda programada.

Este procedimiento es poco usual debido a la gran cantidad de perforaciones que se requiere para su ejecución, ya que cada uno de los pozos son independientes para el inyectado de las zonas.

9.3 PROGRESIONES DE UNA INYECCIÓN.

Una progresión es la longitud de la perforación que es tratada cada vez, adaptando el procedimiento más conveniente para cada caso y tomando en cuenta la estructuración de la roca la inyección puede realizarse por los siguientes procedimientos:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

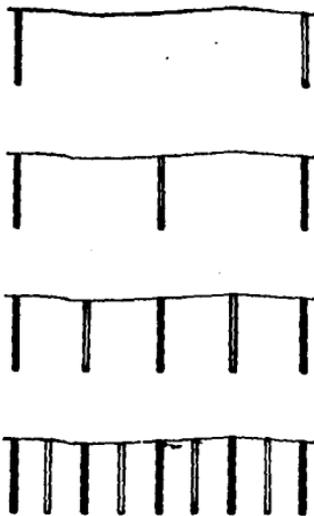


Fig. 9.1 Sondeos espaciados

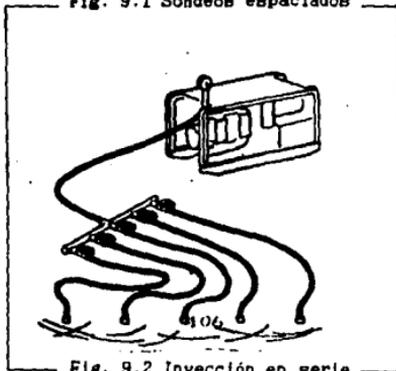


Fig. 9.2 Inyección en serie

Progresiones Descendentes

Progresiones Ascendentes

9.3.1 PROGRESIONES DESCENDENTES.

Estas etapas incluye la perforación e inyección desde la superficie, así como el intervalo de espera para que fragüe la mezcla inyectada, la reperforación hasta el fondo del sondeo y limpieza antes de comenzar la siguiente etapa.(fig.9.3.1).

A continuación se describe este procedimiento paso a paso las operaciones para su ejecución en progresiones sucesivas, una vez programada la longitud de los tramos son como sigue:

a). Cuando se ha perforado el tramo por inyectar se procede a lavar cuidadosamente para remover y extraer todos los residuos de la perforación.

b). Se coloca un enboquillado o empaque mecánico en la parte superficial del pozo, se le hace la prueba de presión con agua y se inyecta.

c). Para continuar con la segunda progresión, se deberá esperar que la mezcla haya alcanzado su fraguado final en las grietas inyectadas, para luego reperforar y continuar con la perforación del siguiente tramo, haciendo el lavado, la prueba de presión y el inyectado.

Normalmente, antes de que comience la perforación de la siguiente etapa, debe transcurrir 24 horas.

En formaciones sueltas es recomendable esperar hasta que la mezcla haya fraguado completamente.

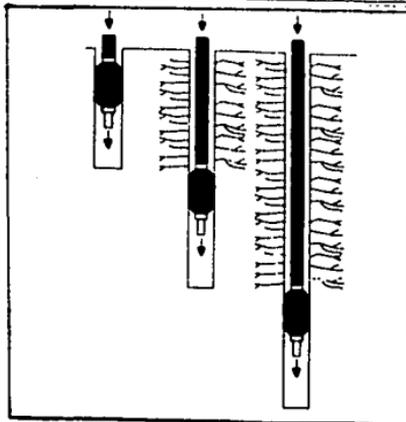


Fig. 9.3.1 Inyección descendente

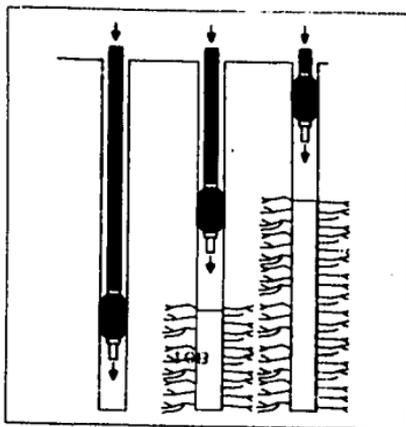


Fig. 9.3.2 Inyección ascendente

d). El procedimiento anterior se repetirá hasta la progresión más profunda con lo que el pozo quedará inyectado en su totalidad, debiéndose rellenar finalmente por gravedad con una lechada espesa.

Si al estar efectuando la perforación se localiza pérdida de agua o aire debido a una fractura abierta o caverna, se debe suspender la perforación para proceder a la operación de inyectado, transcurrido el tiempo de fraguado se continúa hasta el límite inferior de la progresión.

Este procedimiento de inyectar por progresiones descendentes tiene la desventaja de que al ir incrementando las presiones de inyectado en las progresiones más profundas, se aplican estas también a los tramos superiores ya tratados, aunque aparentemente en beneficio porque reinyecta las grietas en las cuales se presenta retracción de la mezcla por el fraguado o la decantación de la misma.

Generalmente es perjudicial aplicar mayor presión de la programada, ya que ocasionan dislocamientos y altos consumos. Además representa la desventaja de ser antieconómica por el considerable movimiento de equipo para perforar, lavar e inyectar cada progresión en un pozo.

En algunos casos en que no se puede aplicar el procedimiento de progresiones ascendentes, debido a las condiciones de fracturamiento de la roca se modifica el de progresiones descendentes, utilizando empaques para limitar el tramo por inyectar con la que se evita se apliquen presiones altas sobre tramos ya inyectados.

Realizando la inyección por este procedimiento, se invierte mucho tiempo y es muy costosa, ya que requiere la reinstalación de la sonda en cada etapa.

Sin embargo, como las etapas superiores son tratadas repetidamente cuando la inyección es efectuada con el obturador emplazado en la superficie, si se produjera fallo en alguna zona, se reforzaría automáticamente.

9.3.2 PROGRESIONES ASCENDENTES.

El inyectado de las perforaciones por medio de este procedimiento, que implica una de las formas para la construcción de una pantalla impermeable, se hace perforando cada barreno hasta la profundidad total; y se inyecta en progresiones sucesivas como sigue:(fig.9.3.2).

a). Una vez perforando el pozo a su profundidad total programada, se lavará concienzudamente para remover y extraer todos los residuos de la perforación.

b). Se colocará en empaque en el extremo superior de la primera progresión, se hará una prueba de presión y se inyectará.

c). En seguida se removerá el empaque, colocándose en la parte superior en la segunda progresión, haciendo circular agua para remover la lechada del tubo de inyectado y se hará la operación de prueba de la presión e inyectado.

d). Lo anterior se repetirá hasta la última progresión con la que la perforación quedará inyectada hasta la parte superior de la roca o dentellón.

e). Cuando el pozo ha sido inyectado hasta la zona más alta, deberá ser llenado hasta la superficie con lechada espesa.

El lavado de una perforación de inyectado, será inmediatamente después de terminada, se inyectará agua de circulación continua, a baja presión, desde el fondo del pozo, utilizando la tubería de perforación o una especial, y se suspenderá cuando el agua del lavado se clarifique.

Si no hay retorno por pérdida de agua, la bomba deberá trabajar a su máxima capacidad durante un tiempo considerable.

Cada progresión deberá ser probada con agua limpia y se aplicará una carga continúa hasta llegar a la presión requerida para el inyectado, con objeto de obtener el gasto en litros por minuto, habrá zonas que no permitan esto, por su permeabilidad, pero debe procurarse llegar a dicha presión.

Cuando se nota un aumento en el consumo de agua, se prolongará el tiempo de la prueba, ya que esto indica que las fracturas se están lavando, debiendo tener cuidado si se presentan fugas hacia la superficie a través de aberturas o perforaciones adyacentes.

La importancia de ejecutar las pruebas de presión antes de la iniciación del inyectado de una progresión, consiste en comprobar el estado del equipo antes de principiar el trabajo, dosificar la mezcla con que se empezará el inyectado de acuerdo con el volumen de agua consumido y la velocidad de toma.

Además los datos obtenidos con la prueba son útiles para la cuantificación del tratamiento.

En caso de que al perforar se localicen pérdidas de agua o de aire, se suspenderá ésta, lavándose y haciéndose las pruebas de presión e inyectado, colocando el empaque 1.0 m arriba de la pérdida.

Transcurrido un tiempo mínimo de fraguado, se continuará la perforación hasta su profundidad total.

Existen tres tipos de empaque para los trabajos de inyección de las cuales las más usuales son los de copas de cuero, el mecánico y el neumático, que son los mismos que se mencionaron para la realización de las pruebas de agua.

Este procedimiento de inyectar por progresiones ascendentes utilizando empaques, una de las mayores ventajas se obtienen es que al aplicar presiones mayores a un tramo profundo de la perforación, no se corre el peligro de dislocar la roca en los tramos superficiales, además se puede tener mayor control del tramo que se está inyectando en lo relativo a cantidades de mezcla de toma y dosificación de la misma.

La mayor ventaja que tiene este procedimiento es la economía

en tiempo, debido a que por lo general se hace la perforación a su profundidad total evitando movimientos de equipo para inyectar y perforar un mismo pozo.

9.4 INYECCIÓN TOTAL DEL SONDEO.

(Inyecciones en una sola progresión.)

Además de los procedimientos de inyectado en la roca antes descritos, que generalmente se utilizan como de impermeabilización, se tiene al de inyectar un pozo al de una sola progresión, que por lo general se utiliza en el tratamiento de consolidación o amacize de rocas en áreas de cimentación.

Este procedimiento consiste en un conjunto de perforaciones poco profundas inyectadas formando una cuadrícula o una red de triángulos equiláteros que se le denominan carpeta o tapete.

En este procedimiento también se hace el inyectado por etapas, acortando la distancia entre los pozos a medida que se avanza con las etapas. El procedimiento consiste en perforar el pozo hasta la profundidad programada de consolidación, lavándose cuidadosamente haciendo la prueba a presión de agua e inyectándose, todo esto en una sola progresión.

9.5 INYECCIÓN CON MANGUITO.

La inyección a través de un manguito o de un tubo bajante, se realiza cuando la superficie rocosa está demasiado fisurada y debilitada para asentar un obturador.

Este procedimiento se describe ampliamente en la inyección de suelos, donde el proceso de ejecución es el mismo sólo que en este caso se debe aplicar a rocas muy fisuradas.

CAPITULO 10

PRESIONES DE INYECCION

10.1 PRESIONES EN ROCAS.

Uno de los problemas más importantes y difíciles que se presenta en una operación de inyección es el de establecer un criterio para definir la presión con que debe inyectarse la mezcla.

Si se pone muy alta, puede dislocarse la roca, y si se usa muy baja, resultará una inyección deficiente.

Las presiones están condicionadas por la resistencia de la roca, en formaciones débiles, se recomienda limitar la presión al peso de la roca subyacente, y no tomar ninguna consideración ninguna viga, travesaño o efecto de retención que pudiera actuar como soporte de los cimientos y contra la dislocación mediante la presión de inyección.

Siempre será conveniente realizar pruebas de inyectado para definir la presión máxima de inyección conocida como presión de rechazo, teniendo siempre cuidado de no producir dislocaciones en la estructura del macizo rocoso que podrían ocasionar serios perjuicios.

El fenómeno de dislocación de la estructura por efecto de la presión hidrostática aplicada en áreas relativamente grandes se conoce como efecto de " gato hidráulico ", la verificación sobre la eficacia de este tratamiento siempre será conveniente para la toma de medidas correctivas.

Los métodos más eficaces son el monitoreo de drenaje y la piezometría, también son eficaces los métodos geofísicos.

La presión de inyección juega un papel preponderante en la penetrabilidad de la mezcla obteniendo con ello una disminución en la barrenación que representa una actividad costosa.

Una mayor penetrabilidad de las mezclas se obtiene cuando las fracturas se abren elásticamente sin producir rotura del macizo rocoso.

Es necesario distinguir presión de rechazo y presión de inyección.

-Presión de rechazo. Es la presión máxima o límite que se alcanza en la operación de inyectado y una vez que se alcanza solo debe aplicarse momentáneamente para evitar una alta presión sostenida y no dar lugar a que se presente el efecto de gato hidráulico.

La presión de rechazo debe ser un poco menor que la presión crítica.

-Presión de inyección. Es la presión que se desarrolla durante la operación de inyectado, con la duración que se juzga conveniente para llenar las oquedades del macizo rocoso, sin llegar a la presión de rechazo.

Factores de la presión. Para seleccionar la presión máxima admisible, se deben considerar los siguientes factores.

- a). Peso de la roca arriba del plano que se inyecta.
- b). Característica física y geológica de la roca.
- c). Relación agua cemento de la lechada.
- d). Inyectados anteriores hechos la zona de influencia.

Una regla general ampliamente aceptada para fijar en forma aproximada la presión máxima de inyectado a usarse, es que dicha

presión en libras sobre pulgada cuadrada (PSI) no deberá ser mayor que tres veces la profundidad en metros del punto más alto del tramo que por primera vez se inyecta, es decir, que si se va a inyectar, una tercera progresión de 15-20 metros, la presión máxima admisible es de 4 PSI.

Lo anterior no es aplicable al inyectado del primer tramo de perforación, porque resulta una presión nula para este tramo se aplicará presiones muy reducidas de 10, 15 PSI.

$$1 \text{ lb/pulg}^2 = 0.070454686 \text{ kg/cm}^2$$

a). Peso de la roca. Donde se supone que la roca pesa 2.3 ton/m³ se podrá aplicar la regla anterior es decir será admisible una presión máxima de 3 PSI por cada metro de profundidad contada desde la boca del pozo hasta el empaque, donde se tiene la roca con un peso volumétrico mayor, podrá usarse una presión un poco más alta.

b). Tipo de roca. En una formación estratificada horizontalmente se puede usar el criterio anterior pero debe tenerse en cuenta que este tipo de formación, cuando una presión actúa sobre un área considerable se puede provocar una dislocación si se da una alta presión, con una estratificación inclinada o en formación en bloques, el peligro de dislocación es menor porque presentan las fugas superficiales que alivian la presión aplicada antes de que se produzca algún daño.

Las presiones que son peligrosas en una roca estratificada horizontal o laminada serán muy conservadoras que en una formación masiva como el granito donde pueden usarse seguramente 6 o más PSI por cada metro de profundidad.

c). Relación agua cemento. Las lechadas delgadas de una relación agua cemento alta tienen mejor penetración que una mezcla espesa, o sea que las primeras actúan en un área más extensa y pueden llegar más lejos de lo que realmente se necesita

en cada perforación y por lo tanto presenta mayor peligro de causar daño a la cimentación.

Por ejemplo en una formación dada se puede inyectar seguramente con una presión de 100 PSI una lechada con relación A/C = 0.8 en tanto que con la misma presión se provocaría un dislocación si se inyecta lechada con relación A/C de 2.0.

Por esta razón pueden causar trastornos las inyecciones que lleguen al manto freático o que se aplican a grietas llenas de agua.

d). De inyección anterior. El procedimiento ideal de inyección de la roca, es llenar toda la grieta, fisura o plano de estratificación con una lechada teniendo la más baja relación agua cemento, puede forzarse a penetrar en los vacíos a una presión permisible, esto se consigue mejor con un tratamiento gradual de la formación, lo cual constituye el criterio básico del inyectado por etapas y sus progresiones.

Factores de presión. Como una ayuda para seleccionar la presión máxima permisible en las lechadas que se inyectan se dan los factores siguientes:

- Por la roca. Roca estratificada horizontalmente, 3 PSI por metro de profundidad.
- Roca firme sana. y compacta 6 PSI/m de profundidad
- Por relación agua-cemento, para lechada aguada multiplicar por 1 el factor de roca.
- Para lechada espesa, multiplicar por 1.5 el factor de la roca.

Por Etapa.

Para primera etapa x 1.0 factor de roca

para segunda etapa x 1.5 factor de roca

para tercera etapa x 2.0 factor de roca

10.2 PRESIÓN DE INYECCIÓN EN LAS PRUEBAS DE AGUA.

Como se ha mencionado anteriormente las pruebas de agua se realizan para determinar la permeabilidad de una zona en que se desea saber la calidad del terreno.

Generalmente en las pruebas de presión de agua, se utilizó una presión más baja que la que se utiliza en la inyección, siempre y cuando se demuestre que la presión que se está utilizando no producen levantamientos ni fracturación del terreno.

El agua al inyectarse transmitirá indefinidamente la presión aplicada las paredes del sondeo, mientras que por el contrario, la mezcla inyectada en una grieta transmite diferente presión y con una cierta pérdida en el transcurso de la penetración.

Dependiendo de la densidad de la mezcla y sus efectos, tan pronto como la mezcla comienza a penetrar lentamente en la junta o fisura la velocidad de introducción disminuye y la transmisión de presión consecuentemente baja.

Lo dicho anteriormente es válido para mezclas espesas con una proporción en peso 3:1 de agua-cemento, pueden en cuanto a la transmisión de presión compararse con el agua, por lo tanto al realizarse una prueba de presión de agua nos da una idea de que presión se va a utilizar en el tratamiento del terreno.

10.3 COMPROBACIONES DE LEVANTAMIENTO Y FRACTURACIÓN HIDRAULICA.

Si se produce un levantamiento, puede detectarse rápidamente por una repentina pérdida de presión o bien, por un incremento imprevisto en la admisión de mezcla. Puede realizarse una comprobación adicional de levantamientos y fracturaciones hidráulicas con manómetros, que siempre se instalan en el lugar de trabajo. (fig.10.3b).

10.4 PRESIONES EN SUELOS.

La presión para la penetración de inyección depende de la permeabilidad y porosidad del suelo, de la viscosidad de la mezcla, del tamaño de sus partículas y del tipo de tuberías y válvulas empleadas en dicha inyección.

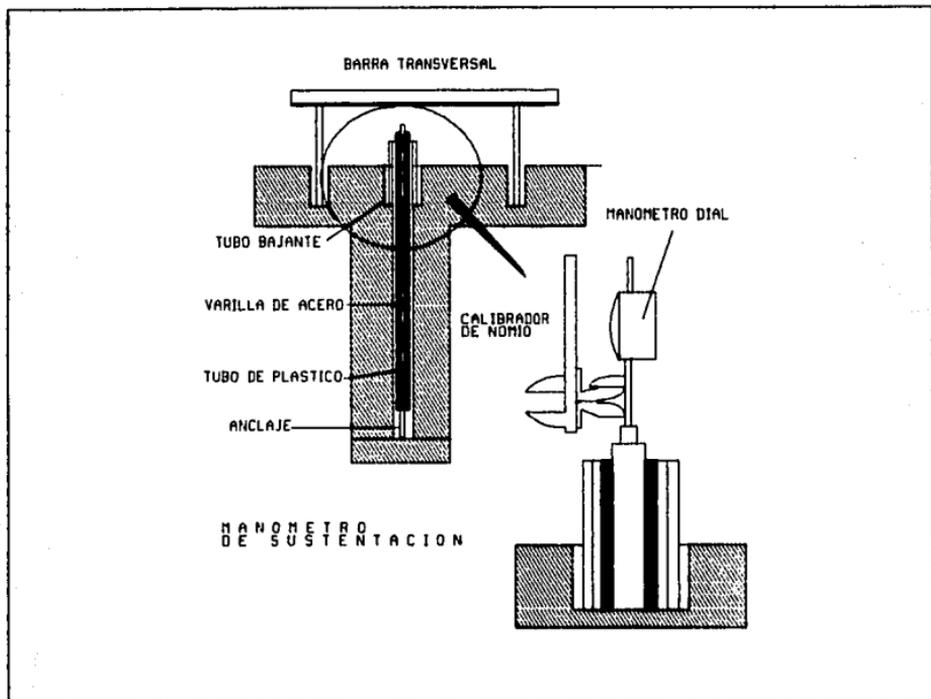
La presión utilizada en la inyección de suelos será la resultante de una prueba de inyección realizada bajo las condiciones existentes en aquel lugar al comienzo del trabajo.

Muchas veces las presiones leídas en la superficie para la penetración de inyección, serán bastante altas debido a las pérdidas de presión en tuberías y válvulas.

Algunas veces puede emplearse la técnica denominada cortes de sable, según la cual, presiones muy altas son momentáneamente utilizadas para causar intencionalmente, una fractura en el suelo la cual es rellenada con mezcla a una presión más baja.

Esta técnica puede emplearse para obturar los cursos de fugas importantes y crear un cierre de paredes entrelazadas en suelos finos, en los que la penetración de inyección es imposible.

Cada vez que se pretende hacer una inyección de cemento en un macizo rocoso fisurado, se plantea la cuestión de saber hasta que presión se puede llegar, concurriendo entonces a un verdadero regateo de kg/cm² entre el capataz y el especialista.



(Fig-10-3b)

MANOMETRO DE SUSTENTACION PARA COMPROBACION DE LEVANTAMIENTOS Y FRACTURACIONES HIDRAULICAS

No hay ni puede haber, reglas absolutas, puesto que es la roca la que determina. Por ello, es necesario considerar un cierto número de hechos para lograr formarse una opinión, consultando experiencias anteriores.

Las diferentes observaciones permiten afirmar que:

-La calidad del cemento depositado en las fisuras aumenta con la presión de inyección;

-La presión de la lechada abre las fisuras, con mayor o menor intensidad según su distancia a la perforación, lo que está de acuerdo con la teoría;

-La inyección a gran presión de las capas superficiales de un macizo rocoso, cuyos planos de estratificación son sencillamente paralelos a la superficie del terreno, no provoca forzosamente contratiempos.

Se han realizado muchas obras en donde se han utilizado presiones muy elevadas en la consolidación de macizos rocosos usando presiones de 100 kg/cm² en barrenos de 2 a 4 m de profundidad, sin ocurrir ningún contratiempo, aumentando su módulo de elasticidad.

Esto no quiere decir que las inyecciones no ofrezcan ningún peligro. De una manera casi general se puede decir que las inyecciones bajo una presa levantan siempre parte de ella.

Pero contrariamente a lo que se puede creer no son las altas presiones las más peligrosas.

Por ejemplo en zonas de arcilla se admitía que la presión de inyección podía ser de hasta 35 kg/cm², no ocurrió nada cuando se alcanzó esta presión, pero aparecieron fisuras en la obra cuando las presiones eran del orden de 5 kg/cm².

Un estudio del fenómeno ha demostrado que bajo esta presión la

pasada de inyección atravesaba una lente de arcilla, que se había fisurado por la inyección en una extensa superficie horizontal y bastaba una ligera presión de la lechada para que trabajase como un gato.

La inyección se detuvo de inmediato, lo que no impidió que la fisura se siguiera abriendo, alcanzando cerca de 10 mm en la superficie del terreno, más tarde se cierra.

Esto nos dice que la lechada se acumuló en una cavidad debida a la compresibilidad de la arcilla, hasta el momento en que se inició la fisuración horizontal, y fue entonces cuando se paró la inyección.

Pero la arcilla, trabajando cual prensa hidráulica, desplazó la lechada desde la bolsada a la fisura. La fisura iniciada se abrió entonces y después, al expanderse, se bajo la presión y la fisura se volvió a cerrar.

Si se quiere inyectar fisuras correctamente, tales incidentes son inevitables. Utilizar a priori presiones muy bajas para estar seguro de no provocar perturbaciones, no permite un trabajo correcto.

Por tal motivo son importantes los ensayos Lugeon para determinar los estratos a inyectar al igual que su profundidad.

Por lo anterior se deduce en que si se quiere inyectar todos los huecos de un terreno con lechada, es necesario:

-Que la lechada pueda penetrar bien en los huecos;

-que la presión de inyección y también su caudal no sean excesivamente elevados; si no, es fácil que se agriete el terreno.

Mientras que la primera condición es evidente, no ocurre lo mismo con la segunda. Muchos especialistas en inyección la ignoran, entonces, para conseguir precios bajos, inyectan con caudales elevados y efectúan trabajos de mala calidad.

Contrapresión de rechazo de morteros inestables

¿ Es necesario alcanzar esta presión rápidamente o progresivamente al final de la inyección.?

Lo esencial es alcanzar la contrapresión de rechazo, es decir, la presión a la que se ha decidido detener la inyección.

Este nombre dá lugar a confusiones porque es suficiente aumentar esta presión para poder continuar inyectando, no existe nunca presión de rechazo, ya que aumentando la presión abre todavía más las fisuras y facilita el paso del mortero.

La presión de rechazo, como la presión de inyección, es una presión medida a la entrada de la perforación.

CAPITULO 11

DIFERENTES TIPOS DE MEZCLAS

Inyectabilidad es la aptitud de penetrar liquido pastoso dentro del medio que se va a inyectar para obtener un tratamiento adecuado, es requisito indispensable, el conocimiento previo o completo que se pueda obtener de las características geológicas del medio que se va a inyectar para poder diseñar el tipo de mezclas a utilizar.

Los productos utilizados en las inyecciones tienen como misión la obturación de las fisuras, cavidades o intersticios del medio tratado con objeto de aumentar la resistencia mecánica de éste, o simplemente asegurar su estanqueidad.

Es necesario, pues, que en su estado final, el producto se presente en una forma sólida, de buena resistencia mecánica o en una forma viscosa y rígida para que no pueda sufrir desplazamientos a pesar de las presiones hidrostáticas a que se verá sometido, además de resistir la acción de las aguas agresivas.

El proceso de inyección impone de por sí un fluido poco viscoso y, sobre todo, poco rígido, para facilitar su penetración, se aumenta de esta forma su radio de acción, la duración de inyección se reduce, el número de perforaciones disminuye, y por lo tanto, el valor de operación se mantiene en su valor justo.

El inyector tiene a su disposición una gran variedad de mezclas, que se obtienen haciendo variar las proporciones de algunos elementos básicos como cemento, arcilla, arena, silicato o betún utilizados aisladamente o combinados.

Todo su arte consiste en saber utilizar en el momento preciso la mejor mezcla adaptado. Casi nunca una mezcla única puede ser suficiente para terminar satisfactoriamente un trabajo

de inyección. El conocimiento de las propiedades de estas diferentes mezclas le es indispensable para orientarle en su elección.

Para obtener una mezcla inyectable que satisfaga las necesidades, es necesario pruebas de laboratorio, para determinar exactamente la proporción exacta de los diversos productos que entran en la composición de las mezclas.

Este estudio debe repetirse en cada nuevo trabajo, ya que en un simple cambio en la naturaleza del agua puede transformar completamente el comportamiento de una mezcla dada, y es necesario, entonces modificarlo e incluso, a veces abandonarlo.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS MEZCLAS.

A. Se puede repartir las mezclas en dos clases:

-Mezclas Binghamias

Esas mezclas a parte de sus viscosidad presentan una rigidez propia, lo que quiere decir que para moverlas se necesita un gradiente.

Esas mezclas se puede considerar : concretos, morteros lechadas de cemento, suspensiones de arcilla.

-Mezclas Newtonias

Esas mezclas presentan únicamente una viscosidad sin rigidez, cuando estan sujetas a un gradiente, esas mezclas se mueven con una velocidad inversa a su viscosidad.

En esas mezclas se pueden considerar : gales, resinas...

Las diferencias entre estas dos clases tienen tres consecuencias importantes :

- 1º) Las mezclas newtonias se inyectan más fácilmente dado la ausencia de rigidez de esas mezclas.
- 2º) Las mezclas binghamias una vez inyectadas en su lugar se quedan ahí. Por el contrario las mezclas Newtonias bajo el esfuerzo, puede moverse después de la inyección.
- 3º) En una arena heterógena, una mezcla newtonia o binghamia inyecta preferentemente los horizontes más permeables. Pero a veces la mezcla newtonia se desplaza por causa de la pesantes y se va a inyectar los horizontes menos impermeables dejando los niveles permeables no inyectados.

Por otra parte se puede diferenciar las mezclas en: mezclas estables y mezclas inestables.

Se conoce como mezclas inestables a lo que se sedimentan relativamente rápido con la cual la capacidad de penetración en las estructuras inyectadas disminuye.

Por otra parte se le conoce como mezclas estables de inyección a las mezclas que no decantan durante el inyectado, la suspensión que se ha utilizado con mayor éxito por presentar un aspecto líquido viscoso y ligeramente sólido, es el de la arcilla por tener granos suficientemente pequeños y propiedad coloidal lo que le da estabilidad a la mezcla.

La fluidez necesaria, para facilitar su inyección y la rigidez requerida (para que no sea arrastrado por la presión de altas cargas hidrostáticas) que definen el estado coloidal de la suspensión, son difíciles de obtener, se logran al fabricar la mezcla asegurando la defloculación de los coloides o acondicionando estos, operación que da mayor rigidez a la suspensión de cemento, con fuerte dosificación de éste.

Básicamente hay tres tipos de mezclas:

- Suspensiones de partículas sólidas en agua, por ejemplo, cemento, bentonita, arcilla o ceniza muy fina.
- Emulsiones, por ejemplo, la emulsión de betún en agua.
- Soluciones uniformes, por ejemplo, soluciones de silicato y una solución de una sal metálica que lentamente se transforma en un concentrado de silico.

11-1 MEZCLA DE CEMENTO.

El prototipo del mortero inestable es la mezcla de cemento, con la condición, sin embargo, de que el cemento esté suficientemente diluido la que es difícil de precisar debido a la naturaleza del cemento.

Como ya se ha mencionado que la más común es la de cemento, que en algunos casos, añadiéndole bentonita o arcilla, mejora su estabilidad.

En un sistema de suspensión, como puede ser una mezcla de cemento, la capacidad para penetrar en grietas o poros del terreno, depende del tamaño y forma de las partículas sólidas más grandes, de la concentración, estabilidad y tixotropía.

Las mezclas ligeras tienen un caudal poco resistente, y también tienen menor estabilidad y duración, debido a discontinuos rellenos de las grietas y al reducido tiempo de fraguado.

La estabilidad de una mezcla es importante, y su ausencia provocará la separación de las partículas y una inyección incompleta o un atascamiento de las tuberías.

Muchas pruebas e investigaciones realizadas en diferentes países han demostrado claramente que el problema de la selección de la viscosidad adecuada queda resuelto en favor de inyecciones espesas, debido a su mayor duración y mínima tendencia a formar cavidades que almacenen agua.

Recientes investigaciones han demostrado adicionalmente, que con el uso de un polímero lubricante, las mezclas espesas han sido capaces de penetrar en grietas más finas que el grosor mínimo de 0.3 mm, se ha demostrado que usando el mismo polímero las mezclas ligeras no han mejorado su penetración.

Por lo anterior las mezclas más ligeras en la proporción 3:1 en peso no pueden emplearse y, muchas veces, es aconsejable emplear una mezcla inicial con la proporción 2:1. El cemento no puede penetrar en las grietas o cavidades más pequeñas que el tamaño de sus propios finos.

El límite para la penetración de cemento normal en una grieta es de 0.2 - 0.3 mm de espesor en suelos D 10, el tamaño del grano del cual 10% atraviesa cribas más finas, será de 0.6 - 0.8 mm, permitiendo que la inyección penetre.

11.2 MEZCLAS CON CEMENTO ESPECIAL.

En vez de cemento Portland corriente, frecuentemente puede emplearse cemento de primera calidad con alta resistencia que, al tener partículas más finas, puede penetrar con mayor facilidad en grietas muy estrechas. Los únicos inconvenientes son su mayor rapidez en fraguar y su elevado costo.

Recientemente, ha sido introducido el cemento superfino, con tamaño de partículas de sólo un quinto del cemento Portland corriente, y es conocido por sus buenas propiedades. El costo de este cemento es elevado y comparable al de las mezclas químicas.

11.3 MEZCLAS DE CEMENTO/BENTONITA Y CEMENTO/ARCILLA

Para mejorar la estabilidad y penetración de una mezcla de cemento, el empleo de la bentonita puede ayudar. Si se añade de 2 - 5% de bentonita sódica, la estabilidad de una mezcla de cemento mejorará totalmente. Y además, su resistencia disminuirá y aumentará su plasticidad, lo cual, en algunas ocasiones, tiene sus ventajas.

Una mezcla con arcilla tendrá básicamente los mismos efectos aunque para lograr la misma estabilidad hay que añadir un mayor porcentaje de arcilla, que reduce su resistencia.

11.4 ADITIVOS PARA MEZCLAS DE CEMENTO

Los aditivos más comunes para las mezclas de cemento son la bentonita y la arcilla mencionados anteriormente. Ambos producen un retraso en el fraguado del cemento, los acelerantes más empleados son silicato y cloruro cálcico.

Los distribuidores de aditivos para concreto también proporcionan los aditivos necesarios para las mezclas de inyección como fluidificantes y plastificantes, algunos de los cuales tienen propiedades de engrosamiento, que evitan la contracción cuando se está relleno o inyectando un contacto.

Otros tipos de aditivos se incluyen la arena, para el relleno de cavidades, y la ceniza muy fina o ceniza combustible pulverizada.

11.5 MEZCLAS QUÍMICAS.

Cuando intervienen las mezclas químicas, que carecen de partículas, podemos disponer de un gran número de diferentes mezclas: lignina de cromo, resinas amino y fenólicas, polímeros, acrílicos, etc., muchas de las cuales están patentadas.

Las soluciones más comunes son aquellas basadas en una solución de silicato sódico con diferentes reactivos para formar un concentrado de sílice.

GELES DE SILICATO DE SODIO

FENÓMENO DE SYNERESIS

La perenidad de los geles de silicato de sodio ha sido discutido debido a resultados de pruebas de laboratorio de lavado de gel recientemente fraguado que no tenían relación con la vida del gel inyectado en terrenos finos formando una masa de mortero.

Si se considera una muestra de puro gel fraguado se observa después de algunos días de esparsión de fase, una fase sólida y una fase líquida encima de la primera.

Este fenómeno observado en laboratorio da de pensar que ocurre una disolución parcial y rápida de la muestra.

En realidad el proceso fisico-quimico es bastante complejo si se explica con la formación de la syneresis. El gel es naturalmente formado de dos fases.

-una fase sólida conteniendo iones silicos resultando de la reacción del reactivo sobre el silicato de sodio. Esta fase agrega el agua absorbida de estaciones.

-una fase liquida conteniendo varios sales (soda, acetatos, silicatos) que se produjeron o que se libraron al momento de la reacción.

Por syneresis se entiende un fenómeno de polycondensación del gel que resulta en la contracción de la fase sólida con exclusión del agua libre (no absorbida). Esta agua contiene algunas sales disueltas y un poco de silica.

Es el fenómeno de contracción que se observa sobre muestras de gel aisladas y que da a pensar en su disolución.

En efecto fue demostrado de manera absoluta que este fenómeno de contracción que no se produce o apenas, dentro del material arenoso tratado.

En los poros del terreno las fuerzas de adhesión que ligan los granos de arena con el gel deben superar a los esfuerzos provocados por el proceso de syneresis.

Resulta que la syneresis, cuyo porcentaje de gel puro puede alcanzar el 60% vea su porcentaje reducido a algunos por cientos de un esqueleto arenoso. Por esta razón, in situ, casi no aparece el fenómeno en el terreno.

Además los grandes éxitos que han resultado en el pasado en el dominio de inyecciones de gels demuestra, a posteriori, que las pruebas de laboratorio no correspondían a lo que ocurre en el terreno.

11.5.1 INYECCIÓN DE DOBLE ACCIÓN

En la técnica denominada inyección de doble acción desarrollada en primer lugar por Joosten, en el terreno es inyectado con una solución de silicato sódico seguido de una solución de cloruro cálcico que instantáneamente, forma un concentrado de sílice de bastante resistencia.

Este método normalmente se emplea para la inyección de arena, pero su utilización es restringida porque es necesario inyectarlo empleando tubos muy reducidos, de 0.5 m aproximadamente, para obtener mejores resultados.

11.5.2 INYECCIÓN DE ACCIÓN SIMPLE.

Desde la presentación de método Joosten, se han desarrollado un gran número de otros métodos denominados inyección de acción simple. El más común está basado en una solución de silicato con un reactivo, que normalmente puede ser una solución de sal metálica, para obtener un concentrado de sílice.

El tiempo necesario para la formación de dicho concentrado puede controlarse variando los componentes, aunque todas estas mezclas producen concentrados poco resistentes, las resistencias que se obtienen normalmente son de 10 kN/m^2 .

Como los concentrados son débiles y no siempre estables, sólo pueden emplearse en condiciones adecuadas y bajo la experiencia calificada de los ingenieros de inyección.

11.5.3 RESINAS.

Entre las mezclas exentas de partículas sólidas, las resinas son de especial interés. Se suministran un gran número de

resinas: para la inyección de grietas en concreto, para grietas secas y húmedas, y para inyecciones de contacto entre un revestimiento de acero y el concreto.

También puede emplearse resina para el sellado y reforzamiento de superficies, dependiendo de su viscosidad, las resinas tienen mejores propiedades de penetración y proporcionan mayor resistencia y cohesión entre muchos materiales.

11.6 MEZCLAS EN SUSPENSIÓN/LIQUIDOS

Algunas veces, en las inyecciones de suelos puede emplearse mezclas de bentonita o arcilla en suspensión, con un aditivo defloculante y una solución de silicato. Estos tipos de mezclas no tienen la misma capacidad de penetración que las soluciones puras, aunque son las más duraderas.

DETERMINACIÓN DE LA MEZCLA DE INYECCIÓN

Uno de los principales factores que determinan la elección de los productos a inyectar, es la dimensión de los huecos del terreno que hay que rellenar, así como la resistencia y el grado de impermeabilización a conferir al terreno.

Las curvas granulométricas de los terrenos, proporcionan datos útiles para la elección de las mezclas de inyección más adecuadas.

También se puede utilizar como criterio de elección la permeabilidad; sin embargo, este criterio puede aplicarse menos a causa de la dificultad, en muchos casos, de obtener datos confiables sobre la permeabilidad del terreno.

Los gráficos siguientes (fig. 1 y 2), permiten obtener una primera aproximación al problema. Están basados en los estudios

realizados por diversas autoridades en la materia, contrastados ampliamente por la experiencia.

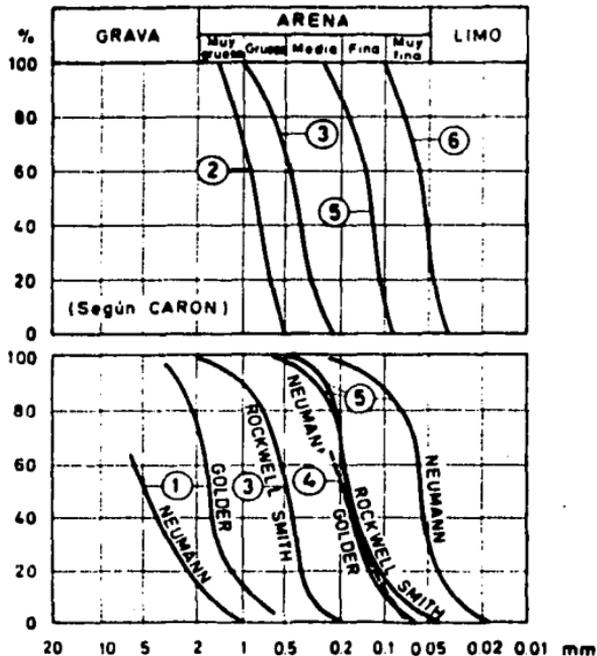
Sin embargo, su uso no debe sobrepasar los límites de un anteproyecto, puesto que la composición óptima de la mezcla a inyectar la debe definir un experto y, si es preciso, mediante ensayos de adecuación en obra.

El siguiente cuadro (fig.3) pretende reunir las características y posibilidades orientativas de los diversos productos de inyección que se acaban de citar.

Una vez escogida la mezcla apropiada se debe dosificar los ingredientes de esas mezclas tomando en cuenta la naturaleza de los materiales de inyección, el agua, los terrenos.

Son varios problemas que se deben resolver con la ayuda de un laboratorio especializado y gente con experiencia.

En efecto esos problemas son más complicados de los que se puede imaginar.



FALLA DE ORIGEN

Límites de inyectabilidad de las mezclas basadas en la granulometría del terreno.

Figura 2

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON**

TIPO DE MEZCLA DE INYECCION		Resistencia a compresión	Precio relativo de 1 m ³	Dominio de utilización	Sistema operacional	
SUSPENSIONES	Lechadas inestables	Suspensión de cemento en agua (+arena) C/A 1/10 à 1/1 à 2/1	Comparables al hormigón	4,2	Fisuras de rotación o de mampost. Huecos a caver.	Cont. sin limitación hasta llegar a una presión dada
	Lechadas estables	Cementos y morteros activados	Prepak Termocel Colcrete	Comparables al hormigón		Releno de grandes huecos.
		Cemento + Arcilla ó Bent. (+ Arena)		1 a 50 Kg /cm ²	1	Fisuras anchas arenas y grav. K > 5 10 ³ cm/seg
Arcillas tratadas		< 1 gr/cm ²	1,5			
LIQUIDOS	Geles duros	Silicato de sosa (+Ca Cl ₂ +acetato)	10-20 Kg/cm ²	10	K > 10 ³ cm/seg.	Cantidades limitadas
			(mortero 40 Kg/cm ²)	12		
	Geles plásticos	Lignosulfito + reactivo	300 gr/cm ²	7 a 8	K > 10 ³ cm/seg	
			(mortero 45 Kg/cm ²)			
	Resinas orgánicas	Silic. de sosa + react. Bent. dispersada	50 gr/cm ²	2 a 4	K > 5 10 ³ cm/seg	
			10-20 gr./cm ²	1,8	K > 10 ³ cm/seg.	
Ligantes hidrocarbonados	AM-9 Resorcina-formol Urea-formol	< 1 Kg./cm ²	50 a 130	K > 10 ³ cm/seg		
		10 gr./cm.-100 Kg/cm ² 20 a 100 Kg/cm ²	20 a 50			
Ligantes hidrocarbonados	F. meros Precan densados (epoxi)	Comp. 1000 Kg/cm ² Trac. 300 Kg/cm ²	150 a 200	Soldadura de fisura de hormigón		
		Emulsiones de Betún (+Reso)	100 gr./cm ² (mort. 10 Kg./cm ²)	6	K > 5 10 ³ cm/seg	
	Betúnes calientes	Líquidos muy viscosos		Circulaciones muy importantes de agua		

Figura 3

FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 12

VISCOSIDAD, TIXOTROPIA, Y PENETRACION DE MEZCLAS

Las soluciones tienen una viscosidad muy baja y sólo ligeramente superior a la del agua (aquellas que son poco densas) y, como no tienen partículas, prácticamente penetrarán en las mismas grietas y poros que el agua, lo cual limita la presión con que puede inyectarse, así como el tiempo de su concentración o fraguado de la mezcla.

Los factores limitantes para la penetración de las mezclas de cemento son: el tamaño de las partículas, la viscosidad y la manera como la tixotropía influye sobre la viscosidad.

Una mezcla de cemento no penetrará en una grieta cuya cavidad sea más pequeña que el de las propias partículas y, normalmente, dichas fisuras necesitan ser dos o tres veces mayores que las partículas que componen la mezcla.

Si se emplea la técnica de inyección por desplazamiento, las presiones utilizadas serán lo suficientemente altas como para desplazar o compactar el terreno para que las fisuras más pequeñas puedan abrirse para recibir la mezcla de cemento.

Excepto en mezclas ligeras, todas las mezclas de cemento tienen características tixotrópicas. Mientras la mezcla es agitada y bombeada a una velocidad razonable a través de adecuadas líneas de inyección, bajando por el sondeo e introduciéndose en las grietas, el efecto de engrosamiento tixotrópico será nulo.

Tan pronto como la mezcla disminuya su velocidad en el terreno, el efecto tixotrópico provocará que la mezcla se convierta en una sustancia fangosa que cada vez tendrá menos capacidad para transmitir presiones hidráulicamente.

En el borde de la penetración de la mezcla, la presión bajará o será nula y, tanto el engrosamiento tixotrópico como el comienzo del fraguado, contribuirán a mantener la mezcla en

su lugar, resistiendo a la contra presión o las filtraciones del terreno.

Debido a lo dicho anteriormente, y para permitir que la mezcla espese, lo más adecuado es continuar cada inyección, manteniendo la presión durante unos 15 minutos.

COMPORTAMIENTO DE LOS LIQUIDOS DENTRO DE LOS MATERIALES.

El flujo de líquidos a través de los materiales granulares siguen las leyes de Darcy o tienen permeabilidad dicho en otras palabras.

En cambio, en las rocas masivas los fluidos se comportan de acuerdo al tamaño, forma y distribución y arreglo de las fisuras o fracturas así como de su continuidad que exista dentro de los bloques unitarios de roca en el macizo rocoso, comportándose el paso de los fluidos a través de dichas fracturas como conductos de secciones variables e irregulares (permeabilidad por fisuración), que no siguen las leyes de Darcy debido a que el paso de los líquidos se transforma en flujo turbulento desafiando el tratamiento riguroso y matemático, siendo necesario apoyarse en gran medida en fórmulas empíricas o semiempíricas para la solución de los problemas prácticos, además el flujo turbulento es variable, variando las condiciones respecto al tiempo.

LA NATURALEZA DE LOS DEPÓSITOS ALUVIALES.

El término aluvión en el sentido estricto de la palabra, se aplica a los depósitos fluviales, sin embargo, para fines de inyección se utiliza para designar todo material terreo, elástico, no cementado, excluyendo las arcillas y aun los limos.

Los sedimentos pueden ser homogéneos en cuanto a su dimensión de las partículas, porosidad y permeabilidad como lo son por ejemplo los depósitos eólicos, o ser muy heterogéneos, como los depósitos glaciales o los originados por derrumbes.

Los sedimentos depositados por los rios, son heterogéneos y estratificados, por lo cual resulta factible por lo general, distinguir estratos arenosos y estratos de grava bien definidos, que corresponden a variaciones de la velocidad de la corriente durante el depósito.

Las propiedades de estos depósitos heterogéneos deben, por lo tanto, investigarse por medio de pruebas que proporcionen datos locales de no poder ser puntuales.

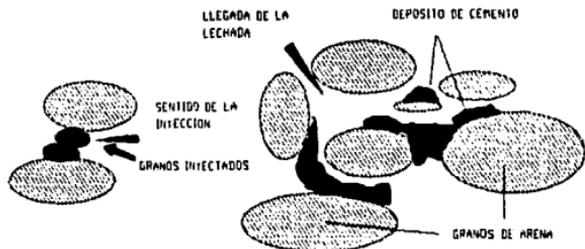
Las pruebas esenciales son las pruebas de granulometria y permeabilidad con objeto de definir la dimensión de los poros del suelo, que esta relacionada con el coeficiente de permeabilidad del suelo al agua.

Las pruebas que se ha de realizar son las pruebas Lefranc, ya que proporciona datos locales, resulta esencial conocer con detalle la permeabilidad de los distintos estratos ya que las propiedades de las lechadas habrán de ajustarse a estas características para poder inyectarse con éxito.

Los problemas fundamentales de las inyecciones en aluviones, ocurren cuando se trata de inyectar lechadas de cemento inestables en arenas finas ocurren dos fenómenos que ocasionan el fracaso de la prueba.

Para que los granos de cemento puedan penetrar en los poros del suelo, es preciso que sus dimensiones sean mucho menores que la de los vacios del suelo. En caso contrario se formaran bvedas de granos de cemento entre los granos del suelo que impide el paso de la lechada, esta condición ha llevado a establecer criterios de inyectabilidad, basados en la granulometria del suelo, criterios semejantes a los empleados para los filtros, uno de ellos es el siguiente:

$$\frac{D_{15} \text{ aluvión}}{D_{85} \text{ lechada}} > 15$$



FORMACION DE UNA BOVEDA
A LA ENTRADA DE UN
INTERSTICIO EN UN
SUELO INCOHERENTE

SEDIMENTACION DE UN MORTERO
DE INYECCION ESTABLE DESDE
SU ENTRADA EN UN SUELO
INCOHERENTE

(Fig. 12)

en el cual

D_{15} aluvión, diámetro en milímetros, tal que el 15% de las partículas del aluvión sean menores que dicho diámetro.

D_{85} Lechada, diámetro en milímetros, tal que el 85% de las partículas de la suspensión sean menores que ese diámetro.

Por ser inestable la suspensión de cemento, en el caso examinado, van a sedimentarse las partículas sólidas al disminuir la velocidad de filtración.

Supongamos que el diámetro del canal de filtración aumente repentinamente pasando del valor " d_1 " al valor " D " con $D > d_1$, en tal caso la velocidad de la corriente de filtración disminuye, y el cemento se sedimenta.

Posteriormente, la presión de la corriente arrastra este depósito y tapa el canal en la parte del diámetro $d_2 < D$ y por lo tanto la inyección ya no progresa.

Este fenómeno implica que para llevar a cabo una inyección en sedimentos cuyo tamaño de granos es menor de 5 ó 10 mm, es preciso emplear lechadas estables, por lo tanto el criterio de estabilidad de la lechada es el siguiente: la sedimentación debe ser nula durante el tiempo necesario a la inyección.

Muchas suspensiones pueden considerarse con buena aproximación como fluidos de Bingham. Sin embargo, las características de este tipo de fluido es que las curvas obtenidas al aumentar o al disminuir la velocidad de escurrimiento son idénticas, ciertas suspensiones de arcilla en agua por ejemplo no verifican tal característica.

Los fenómenos de tixotropía y reopexia resultan importantes en lo referente a las inyecciones, ya que en la tixotropía la que permite el aumento de la viscosidad de la lechada que impide con el tiempo el destapamiento de los canales del suelo inyectado, bajo el gradiente de presión que habrá de soportar, así como la reopexia puede provocar incidentes serios en las tuberías de inyección durante el inyectado.

Finalmente es preciso señalar que las propiedades de contracción de la lechada, en el caso de las inyecciones de impermeabilización, no son importantes, ya que estando la masa de suelo inyectada en contacto con el agua la contracción no ocurre.

CAPITULO 13

ANALISIS DE MUESTRAS

Al programar un tratamiento de impermeabilización o consolidación, es necesario hacer ensayos de laboratorio de las mezclas para conocer sus características y determinar con exactitud la proporción exacta de los materiales que se van a emplear en ella, obteniendo una mezcla fácil de inyectar y llegar a los resultados deseados.

Esos estudios consiste en la medida de a fluidez, la sedimentación, la densidad, la rigidez, etc.

La observación de estos ensayos, no siempre es necesario que hagan con aparatos costosos o difíciles de obtener, si no que para los fines que se desean, es suficiente obtener las medidas, utilizando los procesos siguientes:

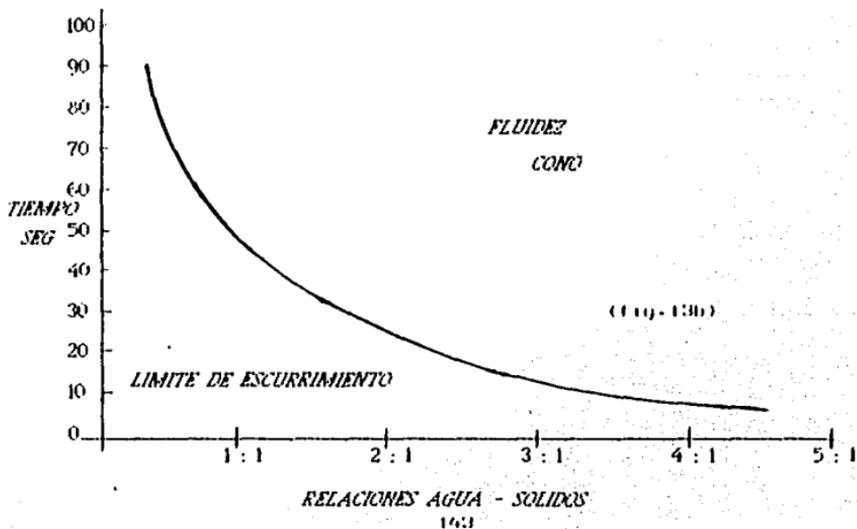
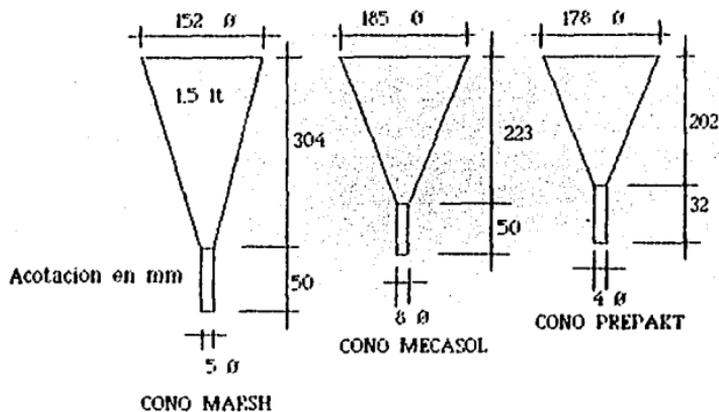
FLUIDEZ.

La fluidez de la mezcla es analizada con un embudo Marsh, (fig.13a), el modo de efectuar las operaciones consiste en verter la mezcla en el cono escogido, a través de una malla, llenándolo hasta el límite superior.

Esta operación se hace tapando con un dedo el orificio de salida, y una vez que se ha llenado, se quita el dedo en el instante en que se pone en marcha en cronómetro; se toma el tiempo en que se vacía el cono anotando en la gráfica la velocidad en segundos, esto dará la viscosidad Marsh.(fig.13b).

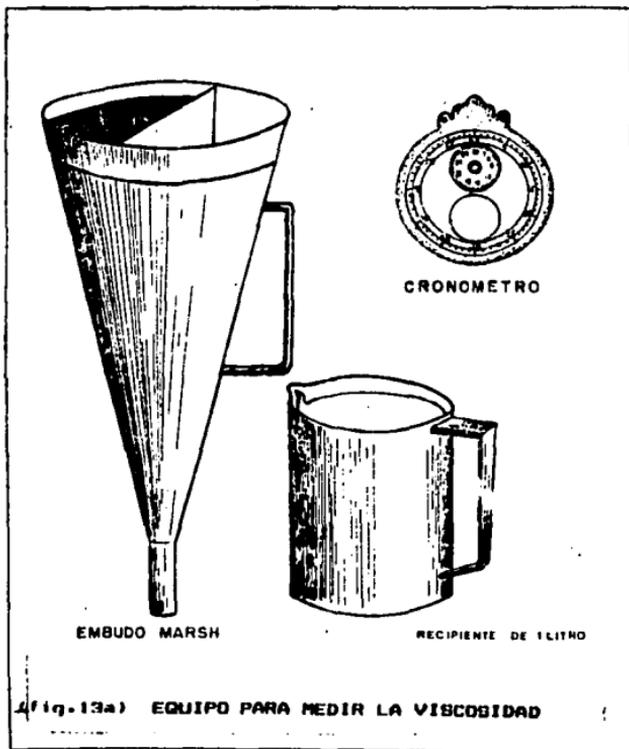
En general, se debe mantener una fluidez constante en cualquier tipo de mezcla de manera que sea bombeable.

Las mezclas de cemento normal tienen viscosidad de 30 - 40 segundos en cono Marsh y dá buenos resultados para su manejo.



FALLA DE ORIGEN

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON



La fluidez es función de la viscosidad de la mezcla pero no es precisamente una medición de la viscosidad, lo cual tiene otros parámetros de medición como el Poise o el Poiseuille.

Quando se presenta dispersión importante de la fluidez, digamos una variancia de 10%, la mezcla debe eliminarse pues habrá una variación importante en la resistencia en mayor o menor valor de la resistencia de proyecto.

TEMPERATURA DE LA MEZCLA.

Es un parámetro importante de controlar pues a temperaturas altas digamos a 45°C la mezcla cambia sus propiedades mecánicas en relación a su resistencia en compresión. Cuando la mezcla exceda una temperatura mayor de 45°C deberá eliminarse.

TIEMPO DE MEZCLA.

Quando la mezcla tenga más de dos horas de haberse fabricado, también cambiará sus propiedades físicas en perjuicio de su resistencia a causa de la formación de grumos por inicio de fraguado, dando lugar a que posteriormente esos grumos no tengan buena adherencia y por lo tanto se pierde su resistencia.

Deberán tomarse como límite dos horas de tiempo para usar una mezcla después de su fabricación (este dato conviene verificarlo para cada caso particular).

CALIDAD DE LA MEZCLA.

La calidad de la mezcla se verifica mediante una prueba de

simple elaboración, con una muestra espesa de 2 a 3 cm, cuando haya fraguado, romperla en trozos. Si las superficies que presentan son uniformes y exentas de bandas, la mezcla realizada es buena.

SEDIMENTACIÓN.

La sedimentación es el ascenso del agua que se produce en la superficie de una mezcla después de la decantación de sus partículas. Para su determinación se utiliza una batidora, probeta graduada de 1000 mililitros. (fig.13.c).

La medida una vez vertido un litro de mezcla en la probeta, tomando el tiempo al momento de llenar hasta el límite de 1000 mililitros, y se continúan tomando lecturas de la sedimentación cada 5 minutos, hasta que la decantación esté completamente terminada.

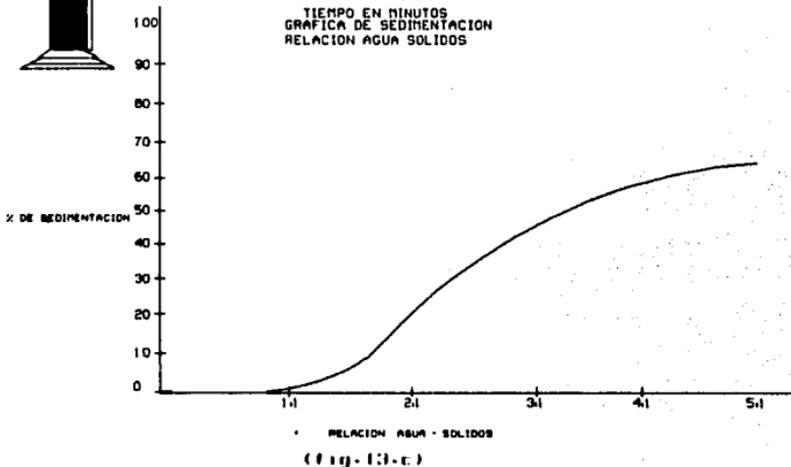
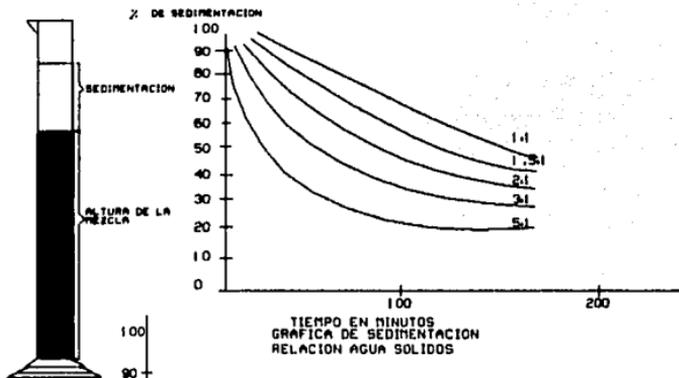
La superficie de separación entre el agua y la mezcla es bien definida; sin embargo no es inmediata esta separación, es debido a que la mezcla tiene características de rigidez y tixotropía.

Es indispensable utilizar siempre el equipo antes descrito, ya que el diámetro de la probeta, la inclinación de la misma o las inclinaciones de las paredes del recipiente, influyen en la sedimentación de una mezcla.

Las observaciones hechas en el laboratorio, rara vez tienen semejanza con lo que sucede en el inyectado. sin embargo, se utilizan mucho para programar las mezclas y hacer comparaciones, ya que el aumento de la sedimentación en éstas, disminuyendo su altura dentro de los huecos, es importante en el inyectado.

Este parámetro se utiliza para clasificar el tipo de mezcla.

Si el agua libre es < 5% la mezcla es estable



Si el agua libre es > 5% la mezcla es inestable.

DENSIDAD.

Para la determinación de la densidad de una mezcla de inyectado, se utilizan como equipo una balanza analítica y un recipiente de volumen y peso conocidos.

La operación consiste en llenar el recipiente con la mezcla que se va a ensayar, previamente batida, pesándose lleno. A este peso se le descuenta el peso del recipiente vacío y se divide entre el volumen del recipiente ocupado obteniéndose la densidad en gr/cc.

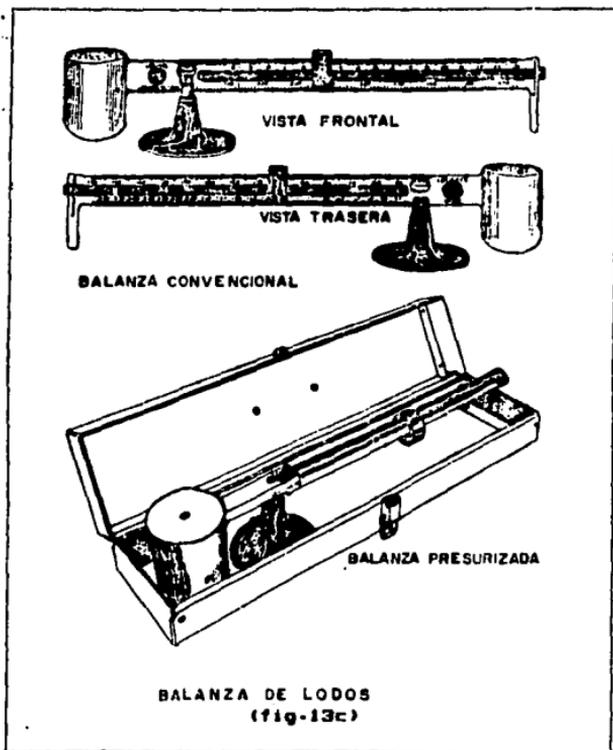
La densidad también se puede comprobar también con una balanza de lodos (fig.13.d), o en caso de que las mezclas que carezcan de tixotropía, mediante un hidrómetro.(fig.13c).

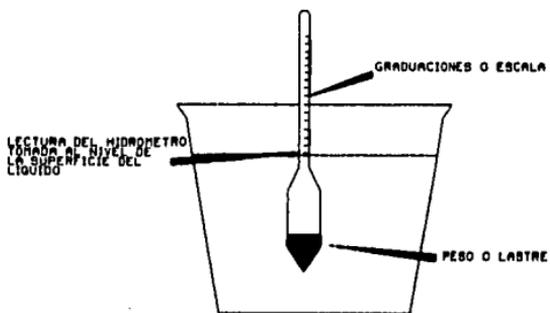
RIGIDEZ

La determinación de la rigidez, después del fraguado de la mezcla, cuando ésta se presenta fuerte, se hace por medio de la resistencia a compresión simple de cubos con aristas de 5 cm, almacenados en el cuarto de curado, quebrándose a los 7, 14 y 28 días, anotando su resistencia del promedio de tres cubos.

Cuando la rigidez es pequeña, como por ejemplo en los geles, se usa una pequeña caja de corte u otros medidores más sencillos.

La temperatura y su influencia en el endurecimiento y concentración de las mezclas son mantenidas bajo control.





HIDROMETRO
(Fig. 13e)

TIPO DE CEMENTO.

En todos los casos convendrá utilizar cementos finos por ejemplo el de tipo III, con finura Blaine mayor o igual a 4200 cm²/gr.

La razón es que entre más pequeño sea el grano de cemento podrá ser transportado por la mezcla a una distancia mayor, y por otro lado, se podrán llenar discontinuidades más cerradas, tomando en cuenta que el diámetro de la partícula deberá ser menor que el ancho de la discontinuidad para evitar el efecto de arco y subsecuentemente el taponamiento de la discontinuidad.

EXPRIMIDO.

Es el fenómeno de separación del agua de la mezcla al penetrar en discontinuidades cada vez más cerradas. El agua es extraída de la mezcla junto con el agua que existía en la discontinuidad por efecto de la presión, por lo tanto su relación agua cemento disminuirá obteniéndose una resistencia mayor.

Se aconseja realizar análisis del terreno y del agua de mezclado por empuje. No siempre es necesario hacer todas las comprobaciones anteriores y, algunas veces, pueden realizarse pruebas complementarias a las mencionadas anteriormente.

No obstante, en todos los lugares de trabajo deberán realizarse comprobaciones regulares de la mezcla y de la planta de mezclado, que deberá quedar registrados en un libro especial.

CAPITULO 14

PROCEDIMIENTOS DE INYECCION

Los procedimientos para la inyección varían bastante dependiendo de los diferentes tipos de rocas y lugares de trabajo.

Cuando se realizó una inyección, cada lugar se comporta individualmente y la práctica del fundamento básico dará su desarrollo.

La especificación y los trabajos de inyección son constantemente revisado por los proyectistas durante el proceso, para llevar a cabo cualquier adaptación a las condiciones locales del terreno durante la realización de los trabajos.

Los procedimientos descritos a continuación son generales y las explicaciones que se dan no son reglas inflexibles, aunque si ejemplos a seguir en los lugares de inyección.

1. La inyección comenzará con una mezcla que irá espesando progresivamente, de acuerdo a los cambios de velocidad de bombeo de presión durante el curso de la inyección.

Para obtener resultados duraderos de inyección, la mezcla inicial deberá tener un porcentaje de 2:1 en peso, excepto cuando las grietas del terreno sean estrechas, 0.5 - 1 mm, en cuyo caso la mezcla inicial tendrá la proporción 3:1.

Esta mezcla también estará justificada en las formaciones secas, donde dicha mezcla perderá significativas cantidades de agua en el terreno.

Comenzar la inyección a una presión relativamente baja y lentamente ir aumentándola hasta llegar a la presión máxima, para detectar fugas, comunicaciones o movimientos de rocas.

Para obtener el mayor espesor y gran duración, es preciso inyectar la mezcla dentro de las grietas lo más pronto posible,

la presión máxima será alcanzada en media hora y se conseguirá el límite de penetración, mientras la mezcla aún se mueva libremente y transmita presiones eficazmente.

Excepto para admisiones más grandes en grietas y fisuras más anchas, la inyección de una sola etapa se complementará normalmente en unas pocas horas.

Cuando se experimente grandes admisiones de mezclas por ejemplo 100 - 200 sacos en una sola etapa, probablemente estará indicando que la mezcla está recorriendo una distancia mayor a la deseada.

Entonces deberá pararse la inyección por un periodo de 24 horas, después del cual se reanudará. Algunas veces, se especifica que deberán inyectarse 200 a 400 kg de cemento antes de cambiar a una mezcla más espesa.

2. Si la presión empieza a aumentar durante la inyección, normalmente es que la mezcla no está demasiado espesa, pero la inyección continuará hasta su acabado.

3. La unión de cualquier sondeo a otro durante la inyección, permitirá que la mezcla se comuniqué hasta que tenga la misma consistencia que al comienzo de la inyección, entonces el sondeo se cerrará mediante una llave de paso, y la inyección continuará hasta su acabado.

A menudo puede emplearse la técnica de inyecciones alternativas a partir de sondeos conectados.

4. Cuando las fugas de mezclas ocurren en la superficie, éstas deberán detenerse mediante taponamiento con cuñas de madera, plomo, etc. Algunas veces, la única forma de detener una fuga superficial es mediante una mezcla espesa seguida de un tratamiento con una mezcla más ligera.

5. Una vez que haya comenzado una etapa de inyección, esta continuará hasta que sea acabada. En general, una etapa puede considerarse terminada cuando la absorción de mezcla a la presión deseada sea menor de 2 litros por minuto durante un periodo de 10 minutos.

Para terminar, mantener la presión durante 15 minutos. Si se observa contrapresiones, deberá cerrarse la llave de paso por un periodo de 6 horas o hasta el tiempo de comenzar el barrido de limpieza.

6. Si las pruebas de presión de agua indican que una etapa es impermeable, no deberá realizarse la inyección y esta parte del sondeo se considerará inexistente.

7. Es normal que después de la terminación de una etapa, se mantenga la presión durante 15 minutos, se desplace el obturador a la etapa siguiente y comience su inyección tan pronto como sea posible.

En algunas ocasiones, es preciso hacer una parada de unas pocas horas antes de proseguir con la siguiente etapa.

En las etapas de inyección que precisan reperforación, el intervalo normal de tiempo entre ellas es de 24 horas, y el periodo de barrido para su limpieza será de 2 a 6 horas, dependiendo del tiempo de fraguado de la mezcla inyectada.

8. La perforación de nuevos sondeos se realiza a una cierta distancia de seguridad de los recientemente inyectados, para evitar que puedan comunicarse entre ellos y que la mezcla inyectada pueda verse afectada por el barrido de limpieza.

A modo de ejemplo, un sondeo secundario podría comenzar a perforarse cuando la última etapa de inyección de los sondeos primarios más cercanos hayan acabado.

9. El tiempo de fraguado de la mezcla de cemento y suspensiones dependerá de su temperatura. Después de que la mezcla haya sido bombeada, alcanzará la misma temperatura del terreno. La variación de la temperatura existente dentro y fuera del terreno deberá ser comprobada.

CAPITULO 15

INYECCION DE TUNELES

En la construcción de túneles pueden emplearse técnicas auxiliares de inyección que permitan modificar la permeabilidad o resistencia del subsuelo a fin de hacerlo apto para su excavación; además, en túneles revestidos, al término del colado del concreto se procede a inyectar el contacto revestimiento-roca.

También las técnicas de inyectado son importantes cuando se opera con aire comprimido, ya que la reducción de las pérdidas de aire pueden ser tan importantes como la reducción de la entrada del agua.

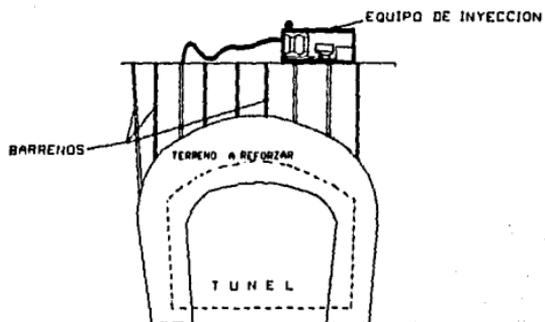
La aplicación de materiales de relleno adecuados en los huecos contribuirá en un aumento de la resistencia al cortante y a la compresión del suelo, al mismo tiempo que reduce la permeabilidad, pero será necesario emplear los materiales y las técnicas de aplicación que convengan al terreno.

Si el volumen que se va a tratar contiene una variedad de suelos, quizá se necesitará más de un tipo de lechada e incluso en un solo estrato se puede necesitar sucesivas inyecciones de lechadas cada vez más finas.

La selección y diseño del material y técnicas más apropiadas y la secuencia y patrón de la inyección, sólo podrá hacerse después de una amplia investigación del sitio.

de lo anterior se deduce que la inyección en túneles puede emplearse para conseguir varios propósitos:

- Reducir filtraciones dentro del túnel (impermeabilización)
- Reforzar la roca y el terreno que rodea el túnel (consolidación). (fig.15a).
- Evitar pérdidas de agua en terrenos asentables



(Fig. 15a)

INYECCION DEL TERRENO
POR ENCIMA DEL TUNEL

- Para inyectar morteros en cavidades, contactos y conducciones de acero.

15.1 REDUCCIÓN DE FILTRACIONES

(Tratamiento de impermeabilización.)

Estos tratamientos se realizan para obturar las fisuras de una roca y disminuir su aporte de agua hacia el túnel o lumbrera, según el caso.

Cuando tales aportaciones son de gran importancia que las operaciones del ciclo de excavación (barrenación, carga, tronada y rezaga), o bien no puede realizarse, o se ejecutan con rendimientos incosteables, o bien cuando las instalaciones de bombeo para evacuar las aguas producto de las filtraciones son insuficientes y se requiere mantener tales filtraciones dentro de límites compatibles con la capacidad de bombeo para evitar inundación del túnel.

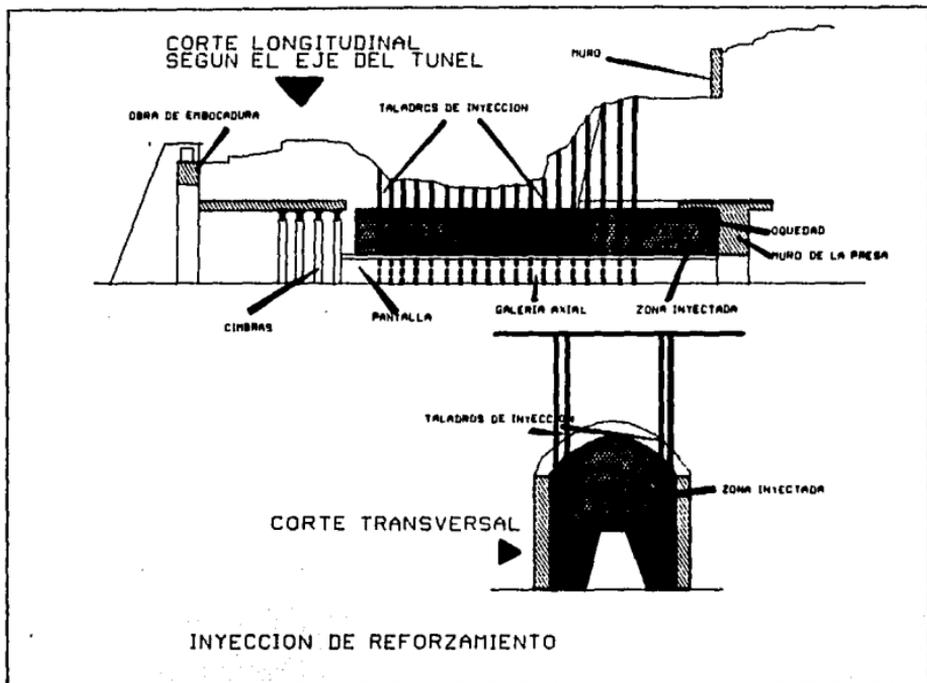
15.2 INYECCIÓN PARA REFORZAMIENTO.

(Tratamientos de Consolidación.)

Se realizan cuando la resistencia al corte de los materiales por excavar es tan baja (arcilla blanda), o bien tienen poca cohesión (suelos granulares), que fluyen hacia el túnel siendo entonces necesario recomprimirlos o aglutinarlos para impartir a la masa la resistencia necesaria para ser excavada.(fig.15.2b).

(tratamientos de contacto)

Tratamientos de contacto. Se realizan para rellenar el espacio libre entre terreno y revestimiento a fin de garantizar el firme asiento del ducto y su estanqueidad.



(14-15-26)

FALLA DE ORIGEN

15.3 INYECCIÓN PARA EVITAR PÉRDIDAS DE AGUA EN EL TERRENO.

Cuando los túneles pasan bajo zonas de arcilla blanda u otro material que se hundirán si baja su contenido de agua, en muchos casos, la única solución es la preinyección sistemática.

Una disminución de un metro de nivel de agua freática en terrenos con arcilla blanda, corresponde a un incremento de carga de 1 ton/m².

En zonas de construcciones urbanas, donde las estructuras se apoyan sobre el terreno o sobre pilotes de madera, la pérdida de agua del terreno, debido a la construcción de túneles por debajo de la zona, ha creado serios problemas.

Para los constructores de túneles, una disminución importante de agua en el terreno puede ser el resultado de pequeñas filtraciones.

Se conocen casos donde filtraciones de algunos cubos al día, causaron asentamientos de varios metros del recubrimiento superficial.

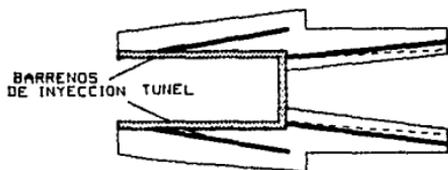
La preinyección sistemática es la única solución factible para conseguir impermeabilizar un túnel.

Se realiza básicamente siguiendo procedimiento de que todos los sondeos de inyección son perforados al rededor de un túnel en forma de abanico, cubriendo una cierta longitud del túnel que será excavado. (fig. 15.3).

Para conseguir un cierto solape, la operación es repetida antes de que la excavación del túnel haya alcanzado al final de la anterior cubierta de inyección.

En forma general se tiene entonces que los tratamientos de impermeabilización se realizan en rocas fisuradas y los tratamientos de consolidación en rocas alteradas o muy tectonizadas, en rocas poco compactas de origen aluvial y en suelos.

A continuación se da un seguimiento para la ejecución de un proyecto de tratamiento de inyección.



TRATAMIENTO DE PRE-INYECCION

(Fig-15-3)

1. Barrenos para inyección.

Para el caso de los tratamientos de impermeabilización y de consolidación, las condiciones del terreno determinadas en base a los estudios geológicos (sondeos, túneles piloto, etc.), permiten definir las dimensiones del volumen de roca o suelo a tratar.

Los barrenos de inyección se alojarán según grupos denominados aureolas, cuyo espaciamiento se define en función del radio de acción de la mezcla en el terreno. Como una primera aproximación puede considerarse en rocas, un espaciamiento entre puntas de aureolas de 4.00 m y para el caso de suelos de 2.00 m.

A medida de que se desarrollan los trabajos, de acuerdo a la información que se va generando, se va definiendo la necesidad de realizar barrenos intermedios en algunas zonas de consumos mayores a los esperados.

En tratamientos de contacto se establece una separación inicial entre aureolas de 8.00 m y posteriormente se realiza una segunda etapa, de tal suerte que la separación entre aureolas queda entre 4,00 m.

Como los vacíos por rellenar usualmente quedan en la media sección superior, se acostumbra que las aureolas de tratamiento se conformen con tres barrenos (1 vertical y 2 a 45 grados). La sección inferior se trata con un barreno a cada 8.00 m. Los barrenos de inyección en estos casos se hacen penetrar 10 cm en la roca.

2. Mezclas de inyección.

Actualmente se tiene experimentada una gran variedad de mezclas de inyección que van desde muy fluidas a muy viscosas dependiendo su selección de la distribución granulométrica, cuando se inyectan suelos, o de la abertura de las juntas y fisuras, para el caso de rocas.

En la tabla número 1 y en la figura número 1 se presentan algunos datos que son de utilidad en la selección de mezclas de

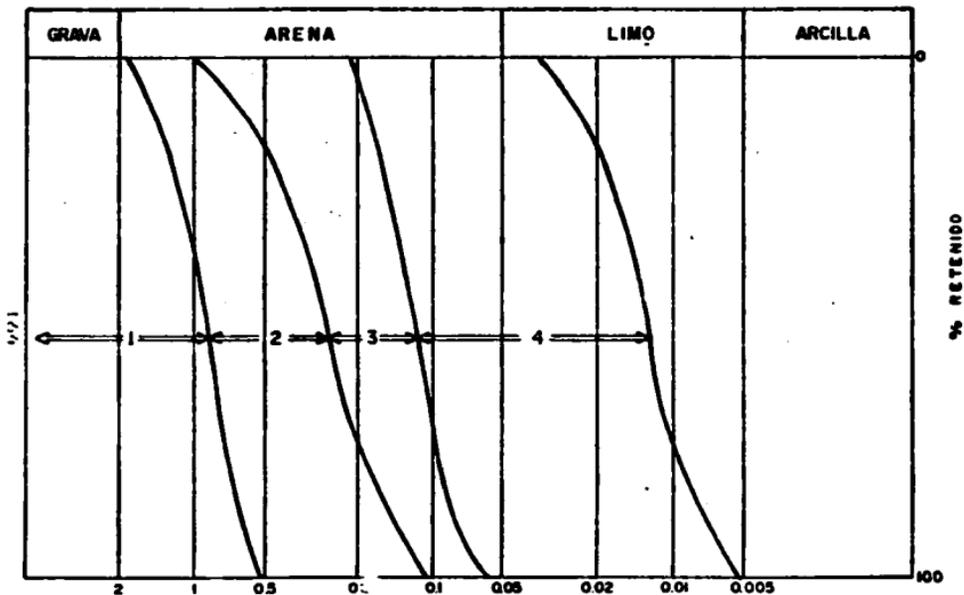
TABLA NO. 1

SELECCION DE MEZCLAS DE INYECCION

Tipo de Mezcla	Campo de Utilización	Método de Inyección	Control Volumen Inyección	Resistencia en Compresión Simple
Instables C/A = 1/10 a 1.5/1 (En peso de cemento) con adición eventual de arena.	Inyección de rocas fracturadas.	- Bogailla - Progresiones descendentes.	Cantidades limitadas parcialmente hasta obtener presión de ruptura.	Superior a 40 Kg/cm ²
Estables (Decoración de apreciada) C/A: 1/4 a 1.5/1, con o sin arena y adición de Silicato de Sodio o bentonita y preparación por medio de agitación energética.	Inyección de rocas fracturadas, rellenos de huecos grandes, mezclas de grava y arena. - - $K) 8 \times 10^{-2}$ cm/seg.	- Bogailla - Progresiones descendentes - Progresiones ascendentes empleando tubo de inyección.	Cantidades limitadas de acuerdo con la porosidad del terreno.	Dependiendo de la cantidad de bentonita pulverizar de 5 a 50 Kg/cm ² .
Silicato de sodio. Cloruro de calcio (Procedimiento - - - - - gosten.	Arenas finas y medias $K) 10^{-2}$ cm/seg.	Inyección en - - - - - los tiempos. - - - - - Poco práctico.		10 a 20 Kg/cm ²
Gel Silicato de Sodio - Acetato de etilo.				Gel: 1.0 Kg/cm ² Mortaro: 40 Kg/cm ²
Gel Lignosulfito - Bioromato de Potasio (Tóxico)	Arenas finas y medias $K) 5 \times 10^{-3}$ cm/seg.		Cantidades limitadas de acuerdo con la porosidad del terreno.	Gel: 0.05 Kg/cm ² Mortaro: 4 Kg/cm ²
Gel Silicato de sodio reactivo - Inorgánico.	Arenas finas y medias $K) 10^{-3}$ cm/seg	Progresiones ascendentes empleando tubo de inyección.		Gel: 0.05 Kg/cm ² Mortaro: 4 Kg/cm ²
Pásticos Bentonita de fluidulada.	Arenas finas y medias $K) 10^{-2}$ cm/seg			0.010 - 0.020 Kg/cm ²
Resinas A.M. - 9 Resorcina-formol	L i m o s $K) 10^{-4}$ cm/seg.	l u e m	l u e m	1 Kg/cm ² 1 - 100 Kg/cm ² 20 - 100 Kg/cm ²
Orgánicas Urea-formol				

FALLA DE ORIGEN

SELECCION DE MEZCLAS DE INYECCION EN FUNCION DE
LA GRANULOMETRIA DE SUELO POR TRATAR



1. Mezclas Arcilla-Cemento
2. Mezclas con Bentonita Tratada

3. Geles de Silicato de Sodio
4. Geles de Resinas Organicas

Figura No. 1

FALLA DE ORIGEN

inyección para algún problema específico, así como los rangos de aplicación de distintos productos de acuerdo a la distribución granulométrica del suelo por inyectar.

3. Presiones de inyección.

La presión de inyección es una variable importante que se fija en función de la carga hidrostática por vencer, las pérdidas de carga que se tienen en la misma inyección y el grado de impermeabilización o consolidación deseado.

Usualmente en tratamientos de impermeabilización y consolidación inyectando lechadas o morteros se emplean presiones de 30 a 50 kg/cm² y en el caso de productos químicos estos son inyectados con presiones de 10 a 15 kg/cm².

En la inyección de contacto, se alcanza 4 o 5 kg/cm² se tiene la seguridad de rellenar todos los huecos.

4. Métodos de inyección.

La secuencia en que se toman los barrenos y la forma en que estos se inyectan define los métodos de inyección.

Usualmente se numeran progresivamente tanto aureolas como barrenos para dividirlos en primarios y secundarios. A este sistema se le denomina inyección por etapas y tiene la ventaja que permite conocer objetivamente la forma en que se van mejorando las características de impermeabilidad o resistencia a medida que avanza el tratamiento.

La inyección propiamente dicha se puede hacer desde boquilla (tratamiento de impermeabilización o contacto) o empleando tubo de inyección (tratamiento de inyección para consolidación de formaciones inestables o suelos), distinguiéndose dos tipos de inyección, la realizada en progresiones ascendentes o en

progresiones descendentes, dependiendo de que la inyección del barreno se ejecute del fondo hacia arriba o viceversa. En las figura 2 y 3 se presentan en forma esquemática ambos procedimientos.

Las principales ventajas del método del tubo de inyección sobre cualquier otro son las siguientes:

1. se puede inyectar varias veces un tramo, con distintos productos (arcilla-cemento, gel de silicato-acetato de etilo) para lo cual bastara lavar o reperforar por dentro del tubo, siendo esta labor por demás sencilla.

2. Debido al espaciamiento reducido entre progresiones es muy fácil localizar zonas débiles que requieran fases adicionales, lograndose tratamientos bastante homogéneos.

II Ejecución de los trabajos.

1. Barranación.

Dependiendo principalmente del material y características de diámetro, inclinación, profundidad y ubicación de los barrenos, es factible seleccionar dentro de una gran variedad de equipos, el más adecuado para un problema establecido, empleando la tabla número 3 que se adjunta.

2. Control de barranación.

Teniendo en cuenta que el proyecto de un tratamiento se basa

progresiones descendentes, dependiendo de que la inyección del barreno se ejecute del fondo hacia arriba o viceversa. En las figuras 2 y 3 se presentan en forma esquemática ambos procedimientos.

Las principales ventajas del método del tubo de inyección sobre cualquier otro son las siguientes:

1. se puede inyectar varias veces un tramo, con distintos productos (arcilla-cemento, gel de silicato-acetato de etilo) para lo cual bastara lavar o reperforar por dentro del tubo, siendo esta labor por demás sencilla.

2. Debido al espaciamiento reducido entre progresiones es muy fácil localizar zonas débiles que requieran fases adicionales, lograndose tratamientos bastante homogéneos.

II Ejecución de los trabajos.

1. Barrenación.

Dependiendo principalmente del material y características de diámetro, inclinación, profundidad y ubicación de los barrenos, es factible seleccionar dentro de una gran variedad de equipos, el más adecuado para un problema establecido, empleando la tabla número 3 que se adjunta.

2. Control de barrenación.

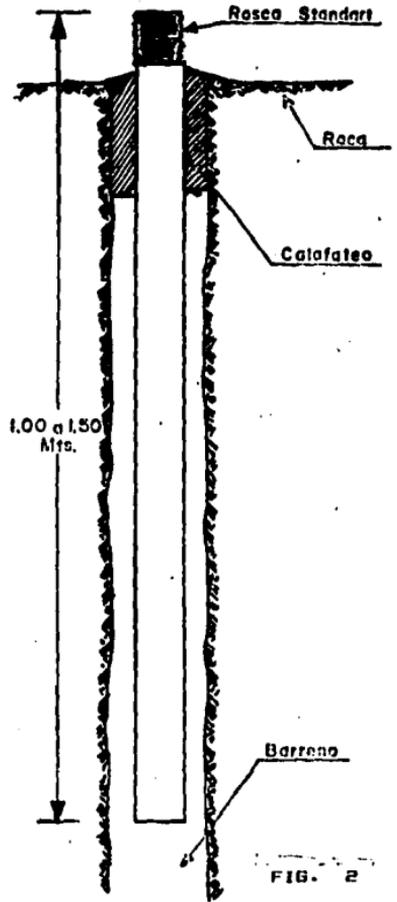
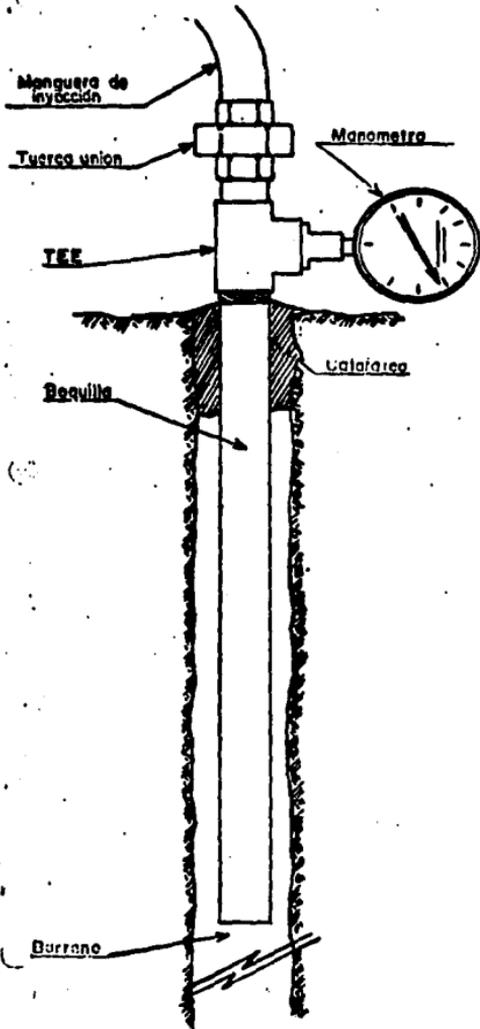
Teniendo en cuenta que el proyecto de un tratamiento se basa

EQUIPOS DE PERFORACION

UBICACION Y CARACTERISTICAS DE LOS BARREROS	CARACTERISTICAS DE LAS PERFORADORAS	TIPO DE MAQUINA	DIAMETRO RECOMENDABLE DE PERFORACION	PROFUNDIDAD RECOMENDABLE (FT)	MATERIALES EN QUE SE EMPLEAN	
TUNELES INCLINADOS	NEUMATICAS PERCUSION	MARTILLOS CON O SIN EMPUJADOR NEUMATICO	ATLAS COPCO BRC-24 M	2"	15.00	ROCA SANA O MEDIANAMENTE FRACTURADA
	NEUMATICAS PERCUSION-ROTACION	VAGONES PERFORADORAS CON MARTILLO COMBINE Y MOTOR DE AVANCE	A. C. BUB-14 STERNICK BBAS A. C. ROC 601 TRACER DRILL	2" 2 1/2" 2" 2 1/2-4 1/2"	18.00 18.00 18.00 25.00	ROCA SANA O FRACTURADA ROCA SANA O FRACTURADA ROCA O SUELO QUE REQUIERE ADEME ROCA COMPACTA
	NEUMATICAS ROTACION	MONTABERT, GARDNER D.	MONTABERT	2"	15.00	MUESTROS Y ROCA SANA
	ELECTRICAS ROTACION	PERFORADORAS CON CABEZAL HIDRAULICO	LONG YEAR 34	3"	25.00	MADERA ACERO
SUPERFICIE BARREROS VERTICALES	NEUMATICAS PERCUSION	MARTILLOS CON O SIN EMPUJADOR NEUMATICO	ATLAS COPCO BRC-24 V		4.00	ROCA SANA O MEDIANAMENTE FRACTURADA
	NEUMATICAS PERCUSION-ROTACION	VAGONES PERFORADORAS CON MARTILLO COMBINE Y MOTOR DE AVANCE	A. C. BUB-14 STERNICK BBAS A. C. C. ROC NOT TRACER DRILL	2" 2 1/2" 2" 3" 3"	30.00 30.00 18.00 C/S 30.00 25.00	ROCA/SANA/MEDIANAM FRACT ROCA/SANA/MEDIANAM FRACT ROCA/SANA/MEDIANAM FRACT/SUAVIA/PRESION SUELOS COMPACTOS, ROCAS BLANDAS RUY FRACTUR. MATE. QUE REQUIERE ADEME ROCA MEDIANAM. FRACTURADA
	ELECTRICAS ROTACION	PERFORADORAS CON CABEZAL HIDRAULICO	LONG YEAR 34 MUSHNER #812	2" 6"	75.00 100.00	MADERA ACERO SUELOS Y ROCAS SUAVES. REPERF.
	COMBUSTION INTERNA ROTACION	PERFORADORAS CON CABEZAL HIDRAULICO	LONG YEAR 34 MUSHNER #812 INGERSOLL RAND SMALL MASTER MOBIL DRILL	1 1/2 - 3" 6" 6" 6" 6"	75.00 100.00 150.00 150.00 150.00	ROCA COMPACTA, ACERO MADERA SUELOS/ROC. BLANDAS, REPERF. CEMENT. ROCAS Y SUELOS COMPACTOS ROCAS Y SUELOS COMPACTOS SUELOS/ROC. BLANDAS, REPERF. CEMENT.

TABLA NUM. 3

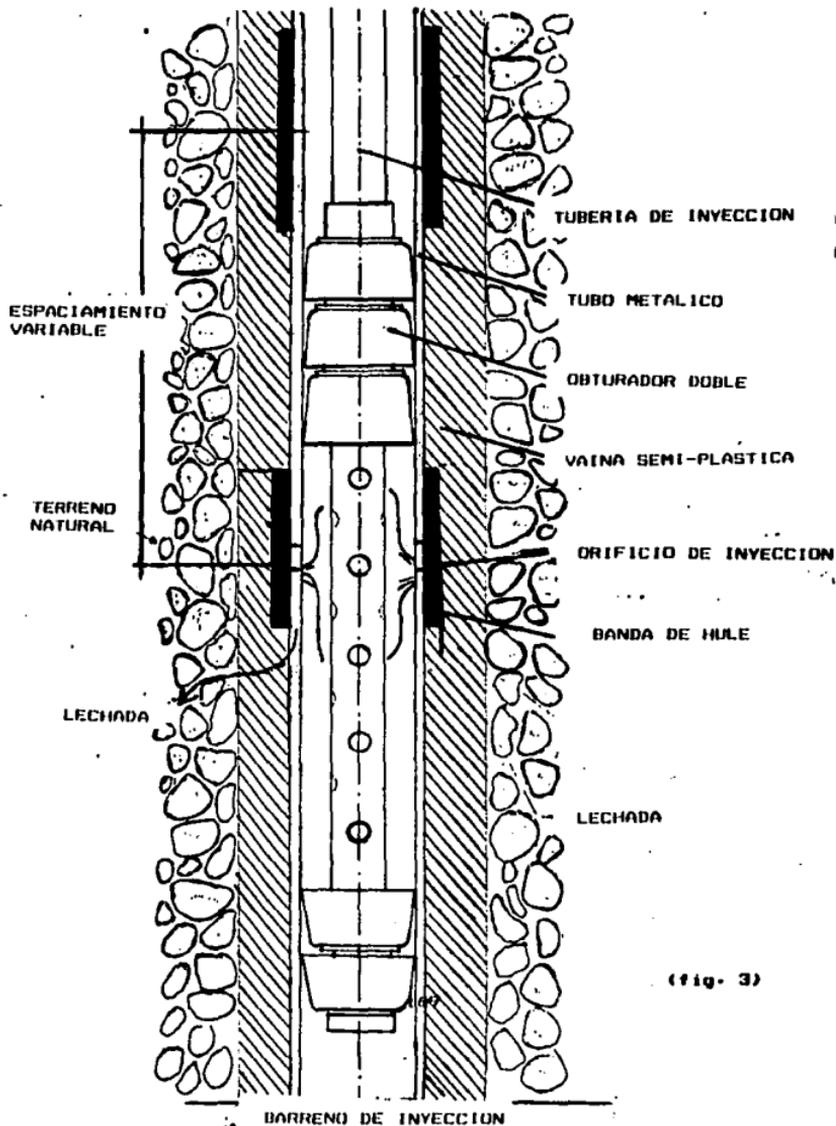
FALTA DE ORIGEN



160

FIG. 2

FALLA DE ORIGEN



FALLA DE ORIGEN

generalmente en las apreciaciones que se efectúan en unos cuantos barrenos de exploración, puede decirse que una buena parte del éxito de una campaña de inyección depende de la interpretación correcta de las observaciones que se realicen en la ejecución de los barrenos (checando y modificando en su caso el corte geológico original y detectando en forma precisa zonas de aportación de agua o de menor resistencia del material, cavernas, etc.), que permitan establecer los sitios que requieran más atención.

3. Inyección.

Dependiendo de las mezclas por inyectar, los volúmenes esperados y las presiones de diseño es posible seleccionar el equipo más adecuado para distintos casos con la ayuda de la tabla número 4. En la figura 4 se presenta un esquema de las instalaciones requeridas para un tratamiento de contacto con consumos fuertes.

4. Control de la inyección.

Durante la realización de los trabajos es necesario tener la seguridad de que las mezclas de inyección son las especificadas, para lo cual se toman probetas, en las cuales se determina viscosidad Marsh, porcentaje de agua libre y tiempo de fraguado, comparando estos valores con los obtenidos en laboratorio.

Así mismo, en la obra se debe hacer un chequeo permanente del estado mecánico de los equipos, la exactitud de las medidas de agua y otros productos líquidos, el vaciado efectivo de los sacos de cemento y el funcionamiento adecuado de los manómetros que controlan la presión de inyección.

TABLA NO. 4

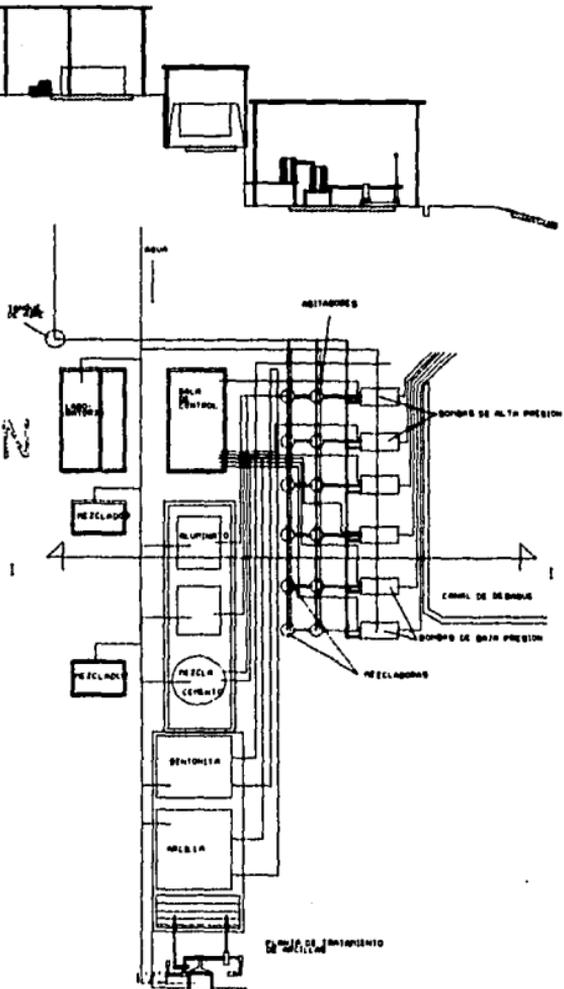
EQUIPOS DE PREPARACION Y BOMBEO DE MEZCLAS DE INYECCION

Tipo de mezcla	PREPARACION			p < 10 Kg/cm ²	BOMBEO	
	Volumen	Equipo de preparaci3n	Equipo auxiliar		10 Kg/p (25 Kg/cm ²)	25 Kg/p (100 Kg/cm ²)
Lechada de bentonita para perforaci3n	Grande (10 m ³ /hora)	Digestor	Tanques de almacenamiento y pozos de decantaci3n	Moyro	Gardner Denver	
Lechadas cemento diversos proporciones	Grande (10-20 m ³ /hr)	Agitador 1,5 m ³	Tanques almacenamiento. Agitador Robin.	Moyro	Gardner Denver Peroni Cosma	Peroni Cosma
Lechadas cemento diversos proporciones	Normal (2 m ³ /hora)	Agitador AC-2		Moyro	Peroni Cosma Gardner Denver	Peroni Cosma
Gel silicato de sodio-acetato de Etilo	Grande (2.5 m ³ /hora)	Dosificador el3ctrico autom3tico	Tanques de presi3n nitr3geno, bomba de engranes para el silicato, contadores de bacias, tanques 40 L.		Peroni Cosma Gardner Denver	
Gel silicato de sodio-acetato de Etilo	Normal (1 m ³ /hora)	Agitador AC-2			Peroni Cosma Gardner Denver	

FALLA DE ORIGEN

SECCION 1 - 1

ALLA DE ORIGEN



PLANTA DE INYECCION

FIG. 4

III. Análisis de Resultados.

Con el objeto de manejar en forma ordenada información que se genera en el desarrollo de los trabajos, a fin de interpretar adecuadamente lo que sucede en el transcurso del tratamiento, es necesario llevar por cada barreno una hoja en que se anoten los datos de barrenación (fecha, geología simplificada, eventualidades) y de inyección (consumos, presiones de inyección).

Un resumen de estas informaciones se pasará diariamente a los planos de avances los cuales permiten visualizar y tomar decisiones referentes a la evolución del tratamiento.

En el campo deberán realizarse reconocimientos periódicos de la zona, estudiar la evolución de filtraciones en barrenos y en el frente de ataque y observar los tramos inyectados, teniendo en mente que recabando mayor información podremos modificar el tratamiento de acuerdo a las condiciones reales, para lograr un trabajo técnicamente bien ejecutado.

CAPITULO 16

REGISTROS

Muchos de los trabajos de inyección se realizan bajo tierra y, por lo tanto, no pueden observarse ni examinarse después de concluirse los trabajos.

Gracias a los registros que informan sobre la perforación, las pruebas de agua y la inyección, el ingeniero y el proyectista pueden seguir el trabajo realizado y determinar cuando ha finalizado.

Por tanto, es muy importante que se tomen registros detallados y correctos para todo aquello que se realice y ocurra durante el desarrollo del trabajo.

Todos los registros deben incluir la fecha, además del tiempo de comienzo y finalización de cada operación.

Se dispondrá de hojas aparte para los perforaciones con testigos y de investigación, para la perforación con entubación y para los sondeos de inyección de cemento.

En ellos, se anotarán todas las anomalías que ocurran, como pérdida de agua durante la perforación, discontinuidades por fallas y grietas, bloqueo que sufre el varillaje y sus causas, etc.

También es muy importante que se mida y registre algunas veces, el tiempo empleado en la perforación de medio metro o más.

En los informes de las pruebas de presión de agua, se anotará cualquier fuga que se produzca en la superficie o en suelos cercanos, así como las dificultades y fugas detectadas en el emplazamiento del obturador.

Los registros de inyección incluyen el tiempo de inicio y de término de las operaciones realizadas, además de la presión desarrollada por cada progresión y cualquier suceso especial ocurrido, como comunicaciones con otros sondeos, fugas en superficie o el repentino ascenso o descenso de presiones tomadas, que podrían indicar movimientos de rocas.

El registro computalizado de la perforación, las pruebas de agua y las características de la inyección, se están empleando en grandes proyectos, que permiten al ingeniero obtener una imagen mejor y más clara del desarrollo del trabajo.

Conectando con un sistema de perfiles y gráficos pueden interpretarse directamente las características contenidas en la computadora.

A continuación se presentan unos ejemplos de registros en donde se muestran los parámetros que se requieren en un proceso de inyectado y sondeos exploratorios.

El lector puede diseñar su propio registro añadiendo o quitando parámetros que se requieran tomar.

REGISTRO PARA CONTROL DE PREPARACION DE MEZCLAS

**FECHA
PLANTA
TIPO DE MEZCLA**

**AREA
MEZCLA**

**FORMA
PAQ.**

PREPARACION MES.	MOMENTO DE PREPARACION		VALORES PREPARADOS LITRO	VALORES MATERIAS LITRO	VALORES REQUERIDOS LITRO	MATERIALES EMPLEADOS				OBSERVACIONES	
	INICIO	FIN				ESTERNO	INTERNO	AG	AG		LITRO

(fig. 16a) Ejemplo de registro para llevar el control de la preparación de mezclas en una planta dosificadora

FALLA DE ORIGEN

REGISTRO PARA CONTROL DE PERFORACION

FECHA:
TURNO:
SOPORTE:

OSMA
LOCALIZACION:

INSTANTANEO
FASE:
UBICACION:

NUM. SOPORTE	LONG. DE PERFORACION		LONGITUD PERFORADO M	PERFORACION ACUMULADA M	TIEMPO DE PERFORACION		INYECCION		VOLUMEN INYECCION LIT	OBSERVACIONES
	PERF. DE M	A M			INICIAL	FINAL	NR. INIC.	NR. FINAL		

(Fig. 16b) Ejemplo de registro para llevar el control de una perforación o inyectado cuando se aprecie pérdida de fluido al estar perforando.

FALLA DE ORIGEN

REGISTRO DE TRATAMIENTO DE INYECCION

FECHA:
TURNO:
SABIDO:

OBRA:
LOCALIZACION:

TRATAMIENTO:
FASE:
UBICACION:

PROGRAMACION	TIPO DE PISTOLA	DENSIDAD	PRESION INYECTOR	PRESION APLICADA	PRESION TEORICA	TIEMPO DE INYECTADO		VOLUMEN INYECTADO LITROS	VOLUMEN ACUMULADO LITROS	OBSERVACIONES
						NO INIC.	NO FINAL.			

(fig.16c) Ejemplo de registro para llevar el control de un tratamiento de inyección.

NOMBRE DE LA OBRA _____ FECHA _____			
SONDEO NO. _____ EQUIPO _____			
COTA DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO _____			
DESCRIPCIÓN DEL SUELO	SITUACIÓN DE CUENTA DE LOS TESTIGOS DE GOLPES	DATOS DEL ENSAYO (CG 4855-2014 2a ed.)	CLASIFICACIÓN DE LABORATORIO
<i>Pavimento y firme</i>	1		
<i>Arcilla arenosa firme, pardamarilla clara</i>	2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	$\frac{10}{7}$ $\frac{28}{12}$	CH 11,8 D 113 RC 3.400
<i>Arena fina arcillosa compacta, parda, húmeda</i>	13 14 15 16 17 18 19 20		
	21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	$\frac{7}{7}$ $\frac{12}{12}$	CH 15,6 D 119 RC 1.100
<i>Arcilla arenosa firme parda clara con bandas amarillas y anaranjadas</i>		Agua	

(fig. 16d) Ejemplo de registro para llevar el control de un sondeo

FALLA DE ORIGEN

REGISTRO GEOLÓGICO DE SONDEO

OBRA
SONDEO Nº
COMPLETADO
PROFUNDIDAD O COTA DEL NIVEL

PROYECTO
SITUACIÓN *Intersección de las líneas "C" y "B"*
COORDENADAS *Nº 5, 565, E 1 45, 687*
TERRAINADO
HIDROSTATICO

COTA DEL TERRENO
PROFUNDIDAD DE RECUBRIMIENTO 3' 0"
SONDEO REGISTRADO POR

ESTADO
ÁNIMO CON LA VERTICAL
DIBUJO DE INCLINACIÓN
SONDISTA

NOTAS Sobre niveles, condiciones de temperatura de agua, carácter del sondeo, etc.	TIPO Y TAMAÑO DEL SONDEO	RECUPERACIÓN DEL TESTIGO %	ENSAYOS DE FILTRACIÓN					COTA	PROFUNDIDAD	REGISTRO	TESTIGOS PARA BASAR	CLASIFICACIÓN Y CONDICIONES FÍSICAS
			PROFUNDIDAD EN (10 cm. o c)	PROFUNDIDAD EN (PES)	PÉRDIDA EN (GPM)	PÉRDIDA EN (PSI)	TIEMPO DEL ENSAYO (MIN)					
<p><i>Revestimiento colocado a 8' 0"</i></p> <p><i>El nivel hidrostatático de 246.3 coincide a la temperatura del sondeo. Cuando se aplicó y agitó se pudo observar una inversión en algunos puntos de agua del sondeo.</i></p> <p><i>Se encontraron grandes cantidades de arena por debajo de las 17" a las 21". La arena a veces se elevaba.</i></p>	<p>Sonda tipo N</p> <p>10 20 30 40 50</p>	0					2555,7	80		<p><i>Arena gruesa, blanca con matriz de limo, sin clasificarse. Bales de hasta 26" de diámetro. (Arena glacial) Compacta.</i></p> <p><i>Granito metamorfo. Muy fracturado. En parte granular. Planchado de ciclo de hierro. Paralelamente.</i></p> <p><i>Granito duro. Muy fracturado. Muchas grietas radiales de centros. Un espacio de faldas a 21" llamado "Z". Parte del hidrostatático está alterado. Testigo en longitud de 1' y 2". Una ficha de muestra de las 28" a las 30" muy buena. Algunos diámetros de corchos. Gr. 5mm.</i></p> <p><i>Granito duro. Hay pocas fracturas. Una fractura o grieta abierta a 41" llamada "A". Testigo en longitud de 12" y 24". Gris.</i></p> <p><i>Pegmatita dura. Sin fracturas. Algunos cristales de mica y berilo. Blancos amarillos. Un testigo de 5' de longitud.</i></p>		
		9,0	16,0	45	10	10	2546,7	10				
		18,0	23,0	10	25	10	2528,7	35				
		18,0	28,0	20	30	10	2520,7	43				
		28,0	35,0	5	25	10	2515,2	48,5				
		28,0	35,0	5	50	10		50				
		36,0	41,0	20	25	10						
		36,0	41,0	35	50	10						
		36,0	41,0	20	25	10						
		44,0	48,0	0	50	10						

LEYENDA

TESTIGO PERDIDO
 TESTIGO RECUPERADO

TIPO DE SONDEO _____ D = DAPUNTA, H = HESTELLIDA, G = GRANALLA, P = PERCUSIÓN
 SONDEO CERRADO _____ R = RELLENO, C = CEMENTADO, Re = REVESTIMIENTO
 TAMAÑO APROXIMADO DEL S.L. (SERIE X) _____ R = 1/2", R = 1/2", R = 2", R = 5"
 TAMAÑO APROXIMADO DEL TESTIGO (SERIE X) _____ R = 1/2", R = 1/2", R = 1", R = 2"
 DIÁMETRO EXTERIOR DEL REVESTIMIENTO (SERIE X) _____ R = 1", R = 2", R = 2", R = 3"
 DIÁMETRO INTERIOR DEL REVESTIMIENTO (SERIE X) _____ R = 1", R = 1", R = 2", R = 3"

SONDEO INCLINADO
 SONDEO VERTICAL

CAPITULO 17

INYECCION DE SUELOS

Es la técnica empleada para inyectar a presión la mezcla en suelos mediante tuberías, con el fin de conseguir un buen reforzamiento y sellado.

El reforzamiento se realiza para intensificar la capacidad de carga del suelo, aumentando su resistencia a la compresión y su coeficiente de elasticidad.

El sellado se realiza para prevenir o reducir la circulación de líquidos o gases. El reforzamiento también proporciona una reducción en las fugas y viceversa.

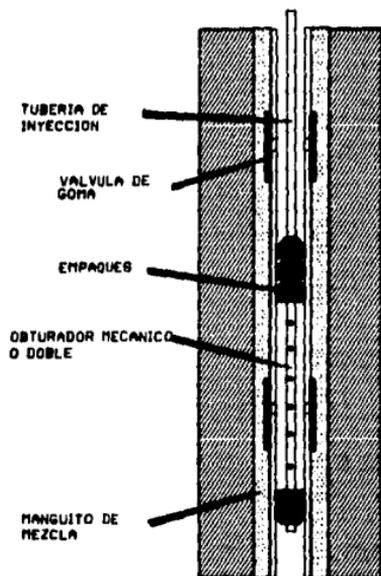
17.1 SONDEOS.

Para realizar la inyección en un suelo, previamente ha de introducirse un tubo o revestimiento. En sondeos poco profundos, puede introducirse un tubo perforado y la inyección se efectuará a intervalos oscilantes.

A profundidades mayores, se emplea una técnica sencilla que consiste en colocar una tubería de revestimiento e inyectar a través de su abertura inferior a medida que se va sacando, como la mezcla puede salir fácilmente de la tubería, las presiones empleadas serán reducidas.

Un método más sofisticado es el denominado "tubo a manchette" que consiste en un tubo perforado con válvulas separadas a una cierta distancia, el cual es introducido y abandonado en el sondeo. (fig.17.1)

Un manguito de mezcla es formado alrededor del tubo, inyectando mezcla hasta rellenar el espacio anular existente. Se utiliza el obturador doble para inyectar cada nivel al mismo tiempo.



(fig.17.1)

TECNICA DE INYECCION DE TUBO
MANGUITO O "TUBE A MANCHETTE"

Un desarrollo de este método es el tubo válvula, donde el propio tubo es el que realiza la perforación y es abandonado después en el terreno.

Este método es explicado más ampliamente mediante la aplicación del procedimiento de inyección de aluviones.

PROCEDIMIENTOS DE INYECCIONES EN ALUVIONES.

Los métodos más conocidos para inyectar aluviones no son semejantes a los utilizados para inyectar rocas fisuradas, debido a que es imposible mantener abierto, sin ademar, un pozo de cierta profundidad.

Uno de los procedimientos es el de inyectar la perforación de arriba hacia abajo, aprovechando la perforación rotatoria de la máquina.

Es necesario empotrar en la boca de la perforación de un tubo de ademe hasta determinada profundidad. Este tubo deberá tener una adaptación en la boca para prensar un empaque grafitado, a través del cual para la tubería de perforación como se indica en la siguiente figura. (fig-17.1a).

Una vez perforado un tramo, se inyecta la mezcla por la tubería de perforación, levantándola progresivamente de acuerdo con la presión y el volumen de mezcla que se desee inyectar o que vaya considerándose como zona inyectada.

La corona de perforación impide la formación de bloqueos en la tubería, al circular la mezcla y retornar al tanque de agitación por la purga situada en la boca del pozo.

Cuando el tamaño de los huecos y el tipo de mezcla lo ameritan, se puede cerrar la purga del emboquillado, con el cual toda la mezcla será inyectada, con el inconveniente de que al perforar e inyectar también se inyectan todos los sedimentos de la perforación.

Con este procedimiento se pueden tratar aluviones a gran profundidad, que contengan bloques difíciles de atravesar con

otro tipo de perforación; sin embargo, el control del inyectado es muy difícil de llevar.

Debido al procedimiento de ir inyectando según avanza la perforación, no es posible ir tratando por separado las capas más permeables, o de ir adaptando el tipo de mezclas más convenientes de acuerdo con la permeabilidad.

El procedimiento de ir inyectando aluviones de abajo hacia arriba, es el más sencillo, necesitando introducir un tubo hasta la profundidad máxima que se desea inyectar, limpiando el interior de tubo e instalándose la conexión con la bomba de inyección.

Se levanta el tubo a una longitud pequeña (que no exceda de 0.30 m) y se inyecta la mezcla hasta que se introduzca el volumen calculado a la presión programada; se vuelve a levantar el tubo y se inyecta nuevamente, y así sucesivamente hasta la superficie del terreno. (fig.4).

En algunos casos se ha aprovechado la tubería de ademe cuando se perfora con máquina rotatoria; sin embargo, esto es muy peligroso debido a que por lo regular se presentan resurgencias de la mezcla alrededor del tubo y la pared del pozo, aprisionándolo, haciendo muy difícil su extracción, sobre todo a profundidades de consideración.

Otro inconveniente, es el de que cuando se hinca el tubo en el terreno y se requiere mayor profundidad, es necesario acoplar tubería, presentándose el problema anterior; además, el tratamiento se efectúa sin conocer las condiciones del terreno, ya que se cuenta únicamente con la resistencia de este al introducir el tubo.

En este procedimiento se han adoptado mejoras, tales como la de utilizar una lanza de inyección colocada en la parte inferior del tubo, por la cual se inyecta la mezcla, o cuando se perfora utilizando ademe, se introduce dentro de este, hasta el fondo, un tubo liso con un check en el extremo inferior, después se retira el ademe y se rellena la parte exterior del tubo y la pared del pozo con un mortero de poca resistencia. El check evita que este mortero se introduzca en el tubo.

Una vez fraguado el mortero, se procede a inyectar, acoplado al extremo superior del tubo la conexión hacia la bomba de inyectado, levantándolo progresivamente.

Al inyectar la mezcla que sale por el Check, esta debe romper con la presión de inyectado, con lo que principia la mezcla a introducirse dentro del aluvión. (fig.5).

La inyección de aluviones, utilizando el tubo de manguitos, patentado por la Sociedad Soletanche, consiste en que una vez ademado y perforado el pozo hasta el límite más profundo que se desee inyectar, se introduce dentro del tubo de ademe, y hasta el fondo, un tubo de 0.05 m (2") de diámetro.

Este tubo debe estar perforado con cuatro perforaciones cada 90 grados, sobre un mismo plano, y cada sección de perforaciones a una equidistancia de 1.00 m cada una de ellas estará recubierta por un tramo de 0.10-0.15 m, de tubo de hule, que tiene la función de una válvula, ya que permite salir la mezcla por las perforaciones para no retornar al tubo (a este tubo de hule es al que se le denomina manguito). (fig.17.1b).

Simultáneamente al ir extrayendo la tubería de ademe, se va rellenando el espacio anular entre las paredes del pozo y el tubo de manguito con una mezcla de cemento arcilla, hasta la boquilla de la perforación, dejándose fraguar. Este mortero forma un recubrimiento semi-plástico, que fija el tubo al terreno.

Al colocar una sonda de dos obturadores opuestos centrada en una sección de perforaciones, e inyectar agua o mezcla a presión, tiene que romperse el recubrimiento plástico y, por estas roturas, se inyecta el tramo de la perforación.

Las presiones que se aplican para hacer la rotura, pueden ser bajas o muy altas, dependiendo del estado de las paredes de la perforación, de la composición del mortero de recubrimiento o de la elasticidad del terreno.

Algunas ocasiones no se logra romper el recubrimiento por un desprendimiento o caído en el pozo al estar levantando la tubería del ademe, o por utilizar más cemento del debido en el mortero de recubrimiento.

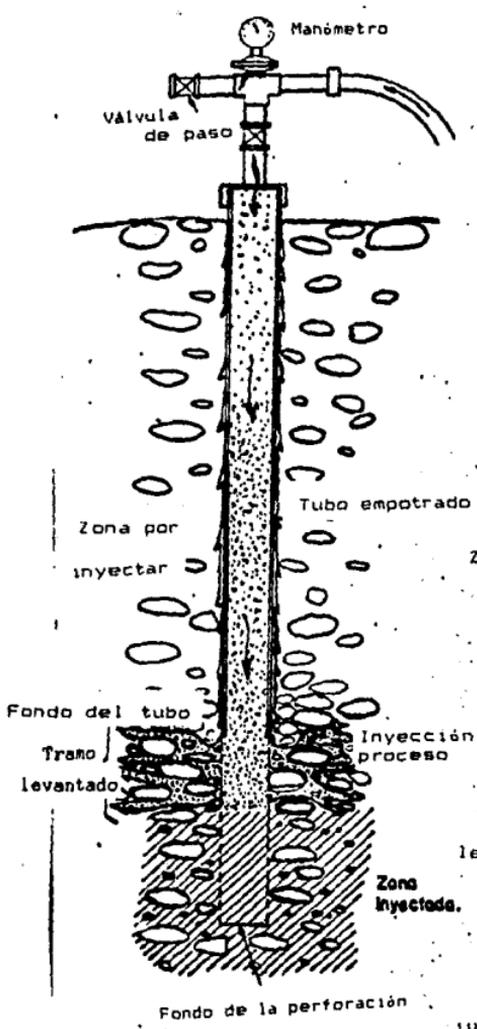


Fig. 4

107

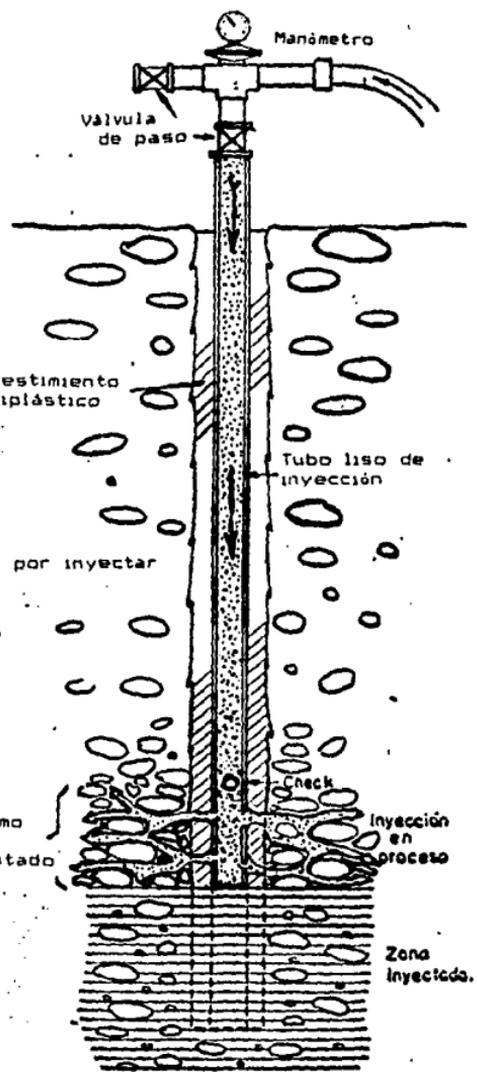
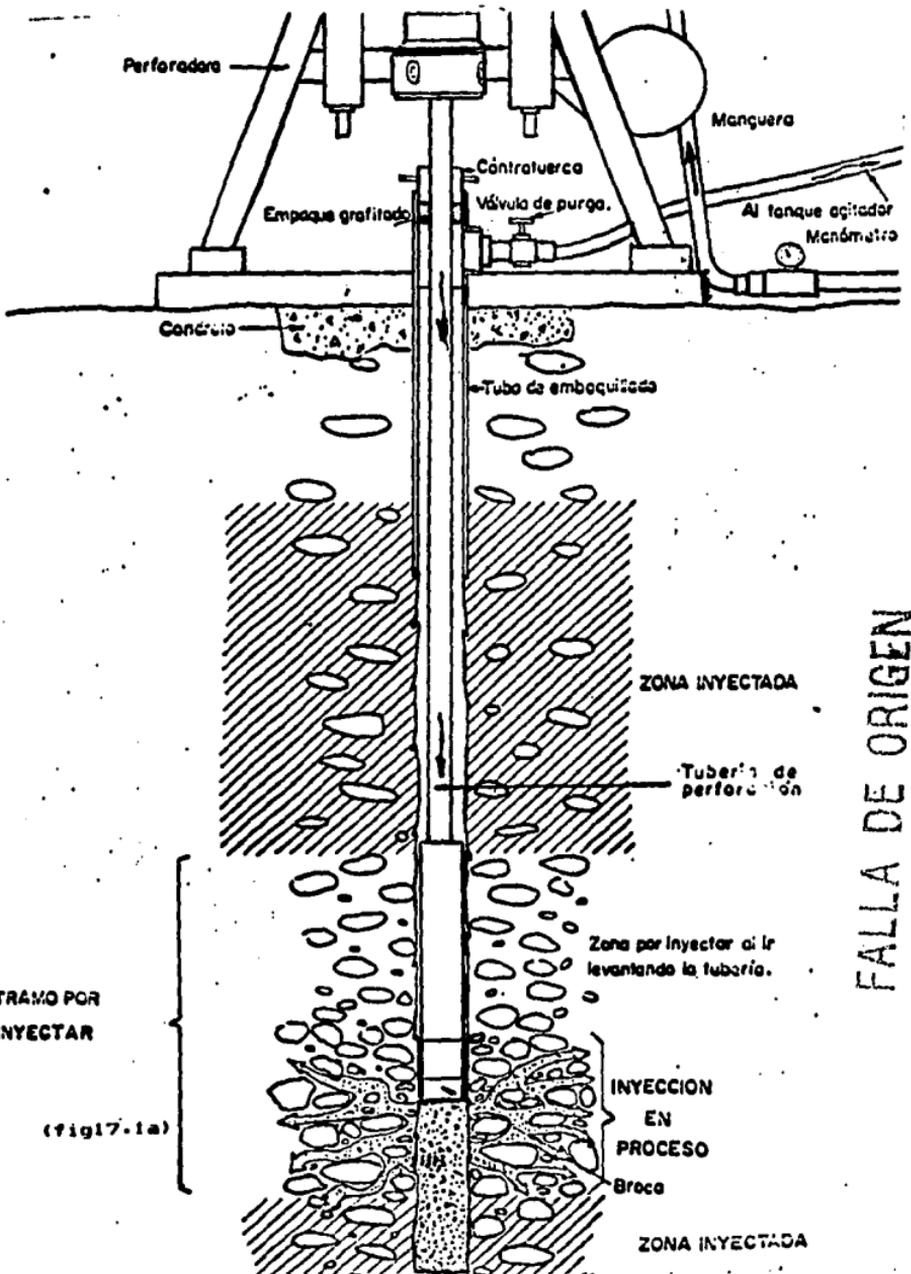


Fig. 5

FALLA DE ORIGEN



FALLA DE ORIGEN

TRAMO POR INYECTAR

(fig17-1a)

ZONA INYECTADA

Tubería de perforación

Zona por inyectar al ir levantando la tubería.

INYECCION EN PROCESO

Broca

ZONA INYECTADA

FALLA DE ORIGEN

Revestimiento semiplástico
entre la pared y el tubo

tubo dentro del pozo

Tubo de inyección

Aluvión

Zona inyectada

Pared del pozo

cinturón de hule
(manguito)

perforación para
inyección

Inyección en
proceso

Doble empaque

(fig. 17.1b)

18

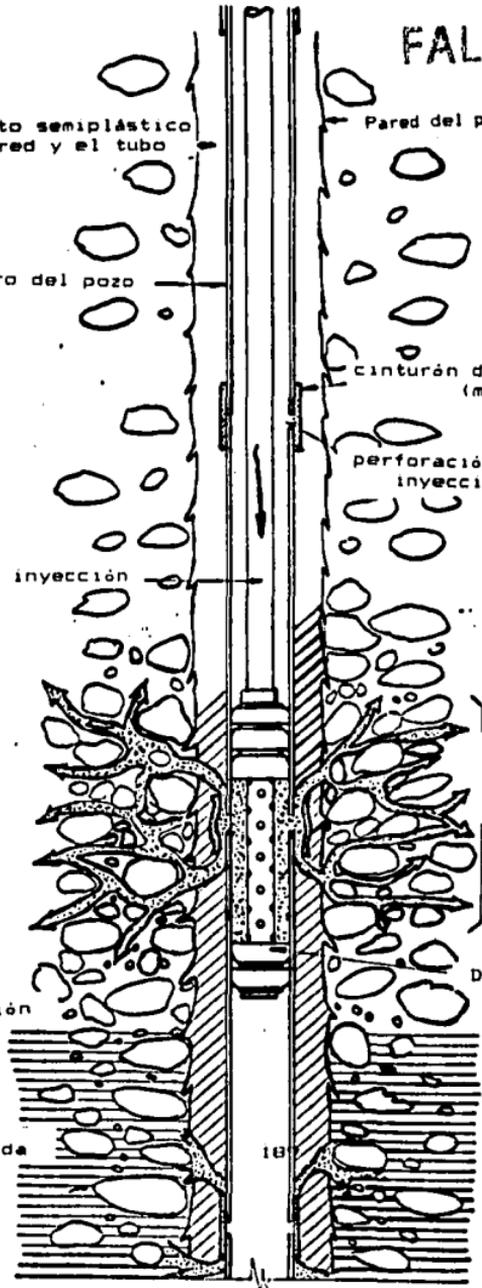


Fig. 6

En general la composición de este mortero es determinante para el éxito de la operación, ya que si es demasiado plástico, por falta de cemento, no se romperá fácilmente, desprendiéndose del tubo y ocasionando resurgencias a lo largo de este, llegando a salir a la superficie.

Por lo anterior se recomienda hacer ensayos de morteros de recubrimiento a fin de escoger el más indicado para cada zona a tratar.

La presión que se debe aplicar para romper el mortero de recubrimiento, debe ser superior a la de inyectado; sin embargo, de una idea de la que se debe aplicar en este, por ser senciblemente proporcional, teniendo en cuenta que con el tiempo el mortero endurece más y se requiere mayor presión para romperlo.

La presión que se aplica para inyectar los aluviones para impermeabilizarlos, y que está en función de la permeabilidad de los mismos, no es independiente de la presión de rotura del recubrimiento ya que efectivamente se rompe también el terreno, pero cuando los huecos en los aluviones son bastante abiertos, únicamente se rompe el recubrimiento y en seguida continúa la impregnación del terreno.

El inyectado de la mezcla para impermeabilizar, se hace también utilizando la sonda de dos obturadores opuestos, colocado en el centro de la sección de un manguito y bombeando a presión la mezcla.

Como se podrá observar en este procedimiento, las operaciones de perforación e inyectado se hacen separadamente, además, el tratamiento se puede principiar a la profundidad que se desee, por ejemplo; en las zonas más permeables.

Sin embargo, en la práctica esto se hace rara vez, ya que es preferible ir adaptando el tipo de mezcla para cada tramo, conociendo de antemano la permeabilidad.

17.2 INYECCIÓN DE SUELOS.

Empleando el método de "tubo a manchette" la inyección puede llevarse a cabo a cualquier nivel y tiempo y repetirse con diferentes tipos de lechadas en niveles previamente inyectados.

Esto, normalmente, es necesario para obtener una inyección satisfactoria.

Tanto si la inyección comienza tanto con cemento o con cemento /bentonita, es preciso asegurar que cualquier estrato de material tosco quedará convenientemente obturado.

Después de esto, se continúa con una inyección de bentonita-silicato, una solución, o bien con ambas, las últimas inyecciones son necesarias para la penetración en arenas y suelos finos, pero son demasiado débiles e inestables para consolidar arenas gruesas y gravas.

17.3 CRITERIOS PARA LA PENETRACIÓN.

Un límite aproximado para la penetración consiste en las partículas de la mezcla tengan un diámetro de 0.1 a 0.2, en relación con las partículas más pequeñas del terreno en que va a ser inyectada la mezcla. Si son mayores, las partículas de la mezcla deben ser cribadas. Un aumento de la presión sólo provocará fracturación hidráulica.

17.4 PRESIONES PARA LA INYECCIÓN DE SUELOS.

Las presiones empleadas para la penetración de inyección de suelos, dependen de la permeabilidad y porosidad del terreno, de la viscosidad de la mezcla, del tamaño de las partículas y del tipo de tuberías y válvulas utilizadas en la inyección.

Como la presión depende de muchas variables que son difícilmente evaluables, ésta se decidirá mediante una prueba bajo las condiciones actuales existentes en ese lugar al comienzo del trabajo.

En algunas ocasiones, las presiones suelen leerse en la superficie, que serán bastante elevadas al realizar una penetración de inyección debido a pérdidas en las tuberías y válvulas.

17.5 TÉCNICAS SIN PENETRACIÓN.

Para realizar cortes en suelos compactos, pueden utilizarse la técnica denominada "cortes a sabie", se emplean presiones momentáneamente muy elevadas para provocar, intencionalmente, una fractura hidráulica en el suelo.

Esta grieta es entonces rellenada con una mezcla, inyectada a baja presión, utilizando presiones adecuadas desde un sondeo, se puede establecer un sistema laminar de inyecciones entrelazadas.

Otra técnica sin penetración es la denominada inyección de compactación, donde una mezcla es bombeada dentro del terreno con el propósito de compactarlo o desplazarlo. Este método ha sido utilizado para compactar terrenos, evitando el establecimiento y levantamiento de estructuras.

17.6 PRUEBAS.

El resultado de las inyecciones en el suelo es difícil de juzgar a partir de los registros. Por lo tanto, suelen realizarse algunas pruebas que, en ciertos casos resulta inconvenientes, pero normalmente es difícil encontrar un método de comprobación que no tenga ningún inconveniente.

Si el suelo es lo suficientemente tosco como para haber sido inyectado sólo con mezcla de cemento, se tomarán muestras inalteradas y se realizará una prueba de presión de agua.

Sin embargo, suelos inyectados con mezclas débiles pueden ser dañados seriamente por una prueba de agua y perderse algunos de sus importantes logros conseguidos.

En tales casos, hay que tomar muestras, pero también aquí, las mezclas débiles causan problemas. Si la resistencia del suelo es menor de 2 - 3 MPa, es difícil tomar muestras sin alterarlas.

Para medir el nivel de agua en tubos verticales a favor y en contra de la corriente, el único método seguro para comprobar el resultado es, normalmente, inyectar el suelo antes y después de la inyección.

7

CAPITULO 18

INYECCION DE JUNTAS DE CONSTRUCCION

Las juntas de construcción o de contracción dispuestas en las grandes masas de concreto para evitar su fisuración, se inyectan generalmente antes de la definitiva puesta en servicio de la obra.

Las juntas de construcción que pueden ser tratadas con inyecciones son, por ejemplo, la junta de construcción entre dos pilares, en una presa de concreto, el contacto o cavidad entre un tapón o un revestimiento, ambos de concreto, y la roca de un túnel y el contacto entre una incrustación de concreto y un revestimiento de acero.

18.1 INYECCIÓN DE CONTACTO CON CEMENTO

Para la inyección de contacto entre una masa rocosa y el concreto, puede emplearse una inyección de cemento puro en la proporción 1:1 o más espesa.

Para prevenir contracciones de la mezcla, se añade un producto expansivo. Para rellenar grandes huecos denominado normalmente inyección de cavidades puede emplearse el mismo tipo de mezcla con arena u otro material de relleno.

Los sondeos para las inyecciones por contacto y de cavidades se sitúan en núcleos de 1 a 3 metros.

Otra aplicación de la inyección por contacto es la empleada en las juntas de construcción entre, por ejemplo, dos pilares de concreto.

Antes de colar un segundo pilar, se fija un sistema de tuberías con válvulas a cierta distancia, cuando la contracción del concreto ha finalizado, normalmente al cabo de dos meses, el contacto es inyectado con mezcla de cemento.

Ranuras de inyección. Las ranuras de inyección están destinadas a repartir lo más uniformemente las lechadas en las juntas. Son sencillas conducciones revestidas de un simple encofrado y se deja al construir en la superficie plana de la junta y en comunicación con ella.

Después de la primera inyección se abstienen por lo que no pueden emplearse más de una vez, separados unos 4 metros, permiten realizar una buena inyección, sin embargo como no están provistas de válvulas conviene que se inyecten todas a la vez.

Se utilizan dos métodos para su construcción, los dos se apoyan en la existencia de una ranura triangular, en una de las caras de la junta que se deja de colar, el primer método consiste en colocar en esta ranura antes del colado de la otra cara de la junta, un tubo de caucho de unos 50 mm de diámetro exterior.

Se dispone de forma que su eje coincida con la superficie plana de la junta para que pueda extraerse el tubo después del endurecimiento del concreto, conviene hincharle ligeramente de aire o, si no es demasiado largo, mantenerle recto introduciendo una barra de acero. Su extracción entonces es muy fácil. ver figura anexa. (fig. 18.1a).

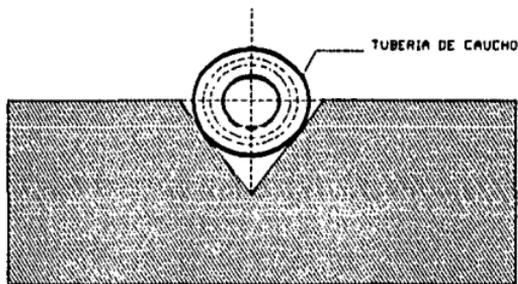
El segundo método no necesita tubo de caucho, la ranura triangular queda cerrada por una plancha de concreto, esta plancha está recubierta de hilos de alambre con objeto de evitar el contacto con las caras de la ranura y hacerla solidaria de la segunda parte de la junta.

De este modo, la retracción que se produce al fraguar el concreto ocasiona una abertura suplementaria de los pasos de lechada provistos. durante la colocación, la plancha se mantiene recibida con mezcla, que tiene además por finalidad impedir que el concreto cierre la ranura. (fig. 18.1b).

En las ranuras verticales pueden ser necesarias unas tapas que impidan su obstrucción. Estas ranuras se prolongan por tubos que van a parar a una de las caras del macizo con objeto de poder derivar la conducción.

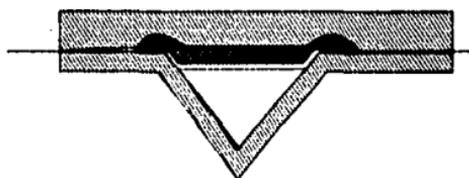
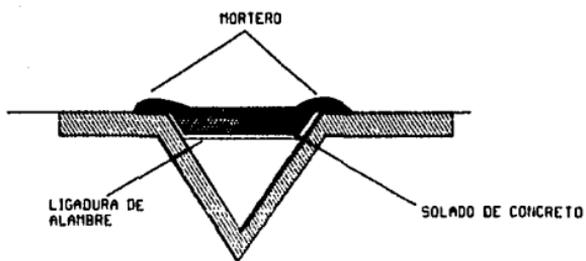
Por otra parte los tubos de válvulas para distribución de la inyección al contrario que las ranuras y como su nombre lo indica estos tubos están provistos de unas válvulas que regulan el paso de la lechada de inyección en un sólo sentido.

RANURA DE INYECCION CON TUBO
DE CAUCHO EN SU INTERIOR



TUBERIA DE CAUCHO

(Fig. 1B. 1a)



RAJURA DE INYECCION

(Fig. 10.1b)

Estos tubos pueden utilizarse cuantas veces se desee, limpiándolos después de su empleo. Son tubos de acero de una a dos pulgadas de diámetro que van provistos, bien de perforaciones o de ramificaciones con válvulas para regular la entrada de la lechada.

En la siguiente figura (fig. 18c), puede verse la disposición de los tubos para la inyección de una doble junta de presa bóveda.

Las ramificaciones, lo más corta posible, terminan en la superficie plana de la junta, en una válvula constituida por una simple arandela de caucho. (fig. 18d).

Para que pueda abrirse la válvula con una presión razonable de lechada, hay que rodearla de un medio relativamente compresible; por ejemplo, arena fina. Independientemente de este medio, tiene que estar limpia de restos de concreto o de lechadas precedentes de válvulas próximas.

Así el sistema funciona perfectamente pero con tubo de 3/4" la lechada sale por todas las válvulas a la vez. Además la limpieza de las ramificaciones es difícil por no decir imposible.

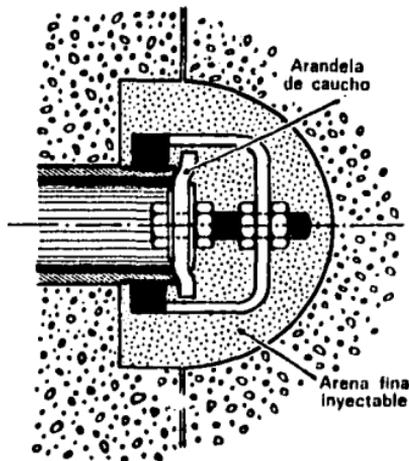
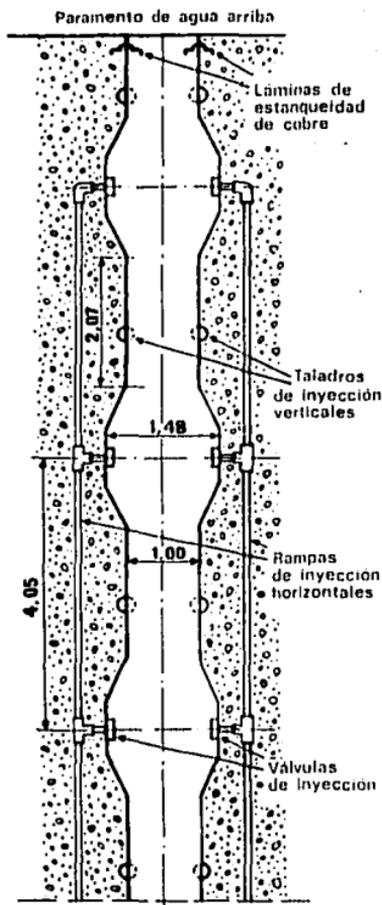
Estos inconvenientes fueron eliminados con el sistema que comprende en primer lugar, un tubo de 40 mm de diámetro interior en el que puede introducirse un doble obturador, con el fin de no inyectar más que el ramal que se desee. (fig. 18e).

Después los ramales de forma cónica quedan obturados por un tapón de caucho, de este modo es fácil el lavado del conjunto. Por último el tapón de caucho lleva en su cara exterior una parte cilíndrica de caucho blando, en la que existen unas cavidades, aisladas unas de otras.

Este conjunto muy compresible y elástico, sustituye a la arena fina del sistema anterior. El tubo se coloca en obra con un tapón provisional de manera que asegure el afloramiento del ramal en la superficie de la junta.

Otro sistema de tubos con válvula esta formado por los tubos de manguitos, pero para que los manguitos funcionen como con las válvulas del primer dispositivo, rodeándolos de un cierto volumen de arena fina o de cualquier otro material que pueda comprimirse, sobre la junta o en comunicación con ella.

(Fig-11c)



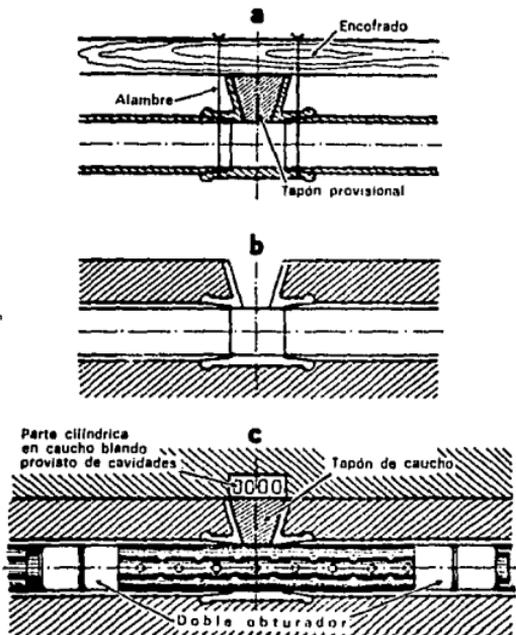
VALVULA DE INYECCION

(Fig-11b)

DISPOSICION DE LOS TUBOS DE VALVULAS DE DISTRIBUCION DE LA LECHADA, UTILIZADOS PARA LA INYECCION DE UNA JUNTA DOBLE.

FALLA DE ORIGEN

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON



TUBO DE VALVULA QUE PERMITE LA INYECCION SUCESIVA

(fig. 18e)

Para evitar esto se construyeron manguitos con un tubo de caucho duro recubierto de un tubo de caucho espumoso ver figura anexa. (fig. 18f), estos dos últimos dispositivos permiten una inyección simultánea o sucesiva por los diferentes puntos de salida por la lechada.

Son además fáciles de limpiar y pueden utilizarse frecuentemente.

18.2 INYECCIÓN CON RESINA.

Existen en el mercado una amplia gama de resinas, cada una de las cuales dispone de propiedades para empleos diferentes, tanto para aplicaciones húmedas como en seco.

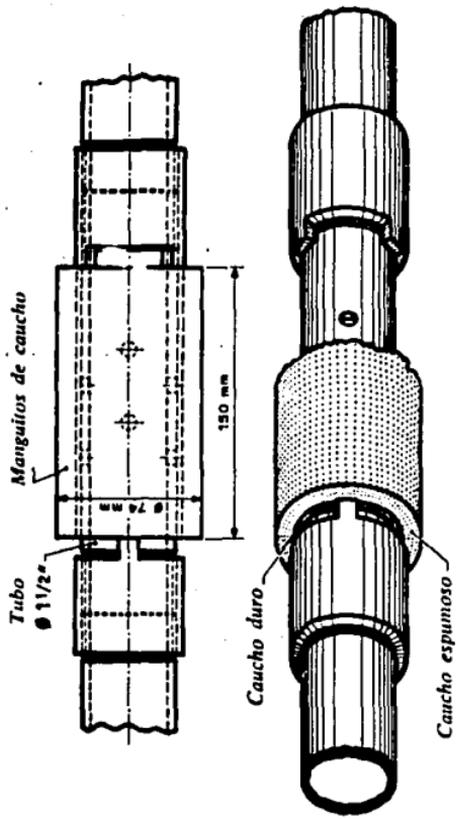
Una variante de las tuberías con válvulas, anteriormente mencionadas, es la manguera Jekto, que está fabricada con una membrana que no permite a la pasta de cemento entrar en la manguera, pero que se abre cuando comienza la inyección de la mezcla. El material normalmente empleado en esta mezcla es la resina.

Cuando un revestimiento de acero es incrustado en concreto, normalmente algunas burbujas de aire quedan atrapadas en el contacto inferior. La inyección con resina es el remedio más habitual contra esto, debido a su buena adherencia.

En las estructuras impermeables construidas en agua, como torres y presas de concreto, en algunas ocasiones pueden aparecer pequeñas grietas, a pesar del gran reforzamiento y alta calidad del concreto, dichas grietas pueden sellarse mediante la inyección con resina.

Para facilitar su operación se previeron distintos sistemas de inyección y las mezclas utilizadas en estas inyecciones son generalmente mezclas inestables a base de cemento pero nada impide utilizar mezclas estables.

La elección depende del resultado que se quiera alcanzar.



Tubo de manguitos para la inyección de juntas.

(fig. 18-1)

CAPITULO 19

INYECCION PARA REFORZAMIENTO

Las técnicas de sellado, anteriormente descritas, también pueden emplearse para el reforzamiento. Incluso, aunque el objetivo principal no fuese el reforzamiento, también se consolidaría la consistencia de la roca o del terreno.

Además de las aplicaciones que se mencionan el reforzamiento del terreno y de las rocas superficiales expuestas a la intemperie, permiten realizar cimentaciones y excavaciones profundas en zonas importantes de construcción.

En otras aplicaciones se encuentran las siguientes:

- La inyección del terreno por debajo de una cimentación puede mejorar la capacidad de repartimiento de carga.
- Las excavaciones profundas próximas a una estructura, en algunos casos, solamente son posibles de realizar efectuando el reforzamiento completo del terreno mediante su inyección.
- La inyección por debajo de una cimentación que soporta una máquina puede mejorar su asentamiento al suelo y eliminar posibles averías por las vibraciones que se producen en su funcionamiento.
- La inyección bajo el pie de un pilote mejora su capacidad de soporte.
- Los hastiales de una excavación se refuerzan con una inyección cuando su entibado no es posible.

- Una inyección refuerza la parte inferior de una excavación contra presiones ascendentes.

- Una inyección es, otra vez, la solución cuando vaya a construirse un túnel en terrenos flojos y rocas poco consolidadas.

Además la inyección puede llegar a utilizarse en la regeneración de obras o estructuras, esto es la regeneración del concreto cuyo aglomerante ha desaparecido, la calidad de estos resultados depende del costo, por eso en algunos casos será mejor rehacer las estructuras dañadas.

La regeneración de las obras por medio de la inyección se presentan bajo dos aspectos que son los siguientes:

a). Uno, al relleno de fisuras claramente abiertas.

b). Y, a la regeneración del mortero cuyo aglomerante ha desaparecido.

La obturación de grandes fisuras es el caso más sencillo, aunque no muy frecuente que una estructura pueda deteriorarse tanto como para presentar grandes fisuras. Serían necesarias destrucciones con explosivos, como en las guerras, para que esas reparaciones se presenten.

También se pueden utilizar las inyecciones en la obturación de fisuras en depósitos de agua, en estos tipos de depósitos de agua generalmente tienen paredes de poco espesor, que muy frecuentemente se encuentran surcadas por finas fisuras.

También se encuentran fisuras finas en obras de arte, no más anchas que la de las paredes de los depósitos de agua. Pero mientras que para estas últimas no tiene importancia el color de la mezcla de relleno, no sucede lo mismo que para obras de arte, donde es preferible que las fisuras queden camuflajeadas por un mortero y vuelvan a reaparecer, a que se ecentúen más por haber empleado un color oscuro en la composición del mortero.

Las mezclas utilizados para estos trabajos puede ser un betón puro, espesado con brea fundida, caucho disuelto en un disolvente; latex natural añadiendo un polvo deshidratante o una mezcla conveniente de los diferentes productos, la viscosidad de los betunes disminuye calentándolos; la de las otras mezclas por la adición de una dosis conveniente de disolvente y de polvo deshidratante.

El método para la inyección de estos productos consiste en la de introducir en las fisuras pequeñas agujas por las que se inyecta la mezcla. Para las fisuras extraordinariamente finas pueden ser simplemente agujas hipodérmicas.

Después de la inyección, las agujas se cierran con un tapón roscado, así se pueden dejar ante la posibilidad de realizar una nueva inyección.

En algunas estructuras antiguas pueden existir, además, fisuras y zonas donde las mezclas hayan sido deslavados, en estos casos se puede por comenzar a inyectar una mezcla de cemento con objeto de economizar productos plásticos que son mucho más costosos.

Antes del endurecimiento del cemento se destapan las agujas y se procede al tratamiento de las fisuras.

Las fisuras que se encuentran en las obras de arte pueden tratarse por un procedimiento análogo al indicado anteriormente pero el más recomendable es el siguiente:

Para suprimir la resurgencia de mezcla, se pega sobre la fisura una cinta adhesiva. Después se realizan con un taladro varios agujeros que recortan la fisura, alcanzando distancias cada vez más alejadas del paramento.

En un taladro de 13 a 14 mm de diámetro puede introducirse un micro-obturador fijado en el conducto de la inyección, esto facilita las operaciones de inyección y respeta el paramento, pudiéndose proceder a continuación con la inyección.

La mezcla que se debe emplear debe ser incoloro para que cuando se despeguen las bandas adhesivas no aparezcan sobre los paramentos. Si se quiere rellenar las fisuras con un producto duro se utiliza, por ejemplo, una resina cuya resistencia sea

superior a la del concreto, si por el contrario, se desea que la fisura pueda tener algo de juego, incluso estando obturada, debe emplearse el AM9.

El elevado costo de estos productos no cuenta en estos casos porque las cantidades inyectadas se valoran por centímetros cúbicos. Por el contrario los trabajos preparatorios, como la instalación, pegado de las bandas adhesivas, perforación de taladros, y la propia inyección, que es bastante delicada, constituyen el gasto principal.

Puede suceder que en ciertos macizos de concreto en contacto con el agua que en su paramento seco aparecen manchas de humedad, debido a la compacidad del concreto es localmente insuficiente, cuando el macizo es grueso, la inyección permite corregir estos defectos.

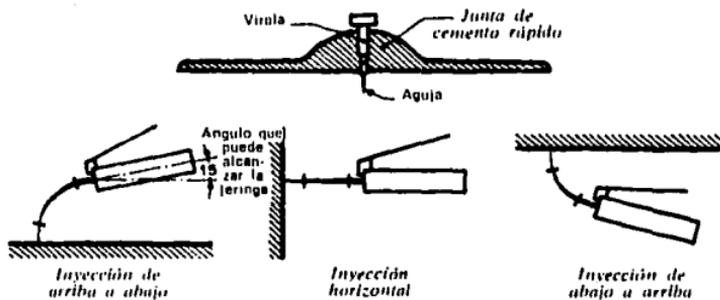
El tratamiento consiste en realizar perforaciones perpendiculares al paramento y detenerlos a la mitad del espesor del macizo, después de inyectar una resina orgánica, la inyección se hace con una pequeña bomba de mano o una jeringa, las presiones que son bajas son del orden de 1 kg/cm^2 . (fig. 19a).

Se realizan de esta forma una serie de perforaciones sobre la superficie de la mancha con una separación de 50 centímetros, este trabajo no representa mayores dificultades, pero exige una paciente labor.

Por otra parte frecuentemente, se hace uso de la inyección para rellenar huecos inaccesibles que quedan detrás de los revestimientos donde el interior no puede rellenarse con concreto por existir dentro de él gran cantidad de acero de refuerzo que impiden su acceso y tampoco podían colocarse agregados inyectándolos después.

Este tiene por objeto asegurar una buena ligazón entre el órgano considerado y su soporte, a pesar de que esto ya se busca durante su construcción, pero cuando este soporte es un macizo rocoso fisurado por explosivos hay que regenerarlo.

También los cosidos se utilizan especialmente cuando existen posibilidades de circulación de aguas. Conciernen principalmente a las galerías de conducción de agua y a las presas.



(fig. 19a) PEQUEÑAS BOMBAS DE MANO

Como se ha visto en la consolidación de macizos alrededor de galerías. Estas inyecciones comprenden una primera fase que no es otra cosa que un cosido. (fig.19b).

Para ejecutar este cosido basta con realizar perforaciones que atraviesen la estructura y penetren en el macizo. Generalmente se disponen una perforación por cada 2 ó 2.5 m². Se inyecta una mezcla a presión relativamente baja por ejemplo 5 kg/cm² aunque en muchos casos esta presión se haya elevado a 10 kg/cm² ó más.

Para que estas elevadas presiones no provoquen ningún desorden hay que tener la seguridad de que no existen oquedades importantes después del revestimiento, que pudieran originar que la mezcla a presión produjera graves trastornos.

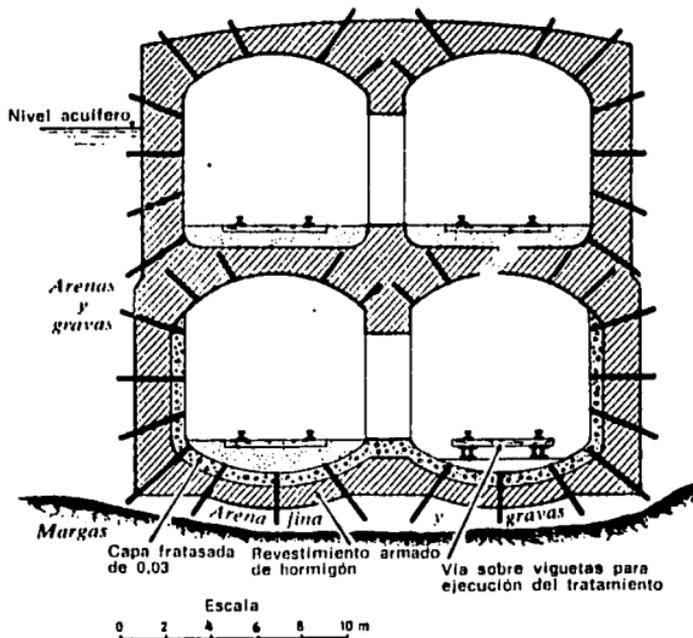
El cosido debe estar precedido por un primer tratamiento de relleno de huecos. La penetración de las mezclas detrás del revestimiento se logra realizando algunas perforaciones previamente taponándolos a medida que se vayan comunicando, solamente de este modo puede aumentarse después la presión.

Cuando existe un revestimiento metálico sobre la estructura de la galería es fundamental asegurar el íntimo contacto entre ambos (contacto concreto-chapa), con el fin de evitar el arrastre del revestimiento por las aguas que circulan a gran velocidad.

La realización de esta unión es muy delicada y en este caso no se trata de adoptar presiones demasiado elevadas. Cuando se ha determinado la presión, en función del espesor del metal y del diámetro de la conducción, hay que regular correctamente las indispensables válvulas de seguridad o trabajar con presión constante, manteniendo el depósito a una altura conveniente.

El espacio a inyectar, de débil espesor, queda limitado por una chapa perfectamente estanca y por un mortero que salvo excepción, puede ser también estanco.

No es conveniente inyectar con lechada de inyección inestable porque el agua que transporta los granos no puede evacuarse, con esta lechada se comprueba que después de la inyección quedan zonas donde la conducción suena a hueco, estas zonas corresponden a bolsas de agua que no han podido vaciarse.



INYECCIONES DE CUSIDO EN UNA GALERIA SITUADA EN ALUVIONES

(Fig. 17b)

El empleo de resinas orgánicas constituye una solución perfecta pero es cara para aplicarla sistemáticamente, por eso se utiliza las mezclas de cemento - arcilla.

Entre todas las posibles composiciones para la confección de estas lechadas hay que elegir una, suficientemente rica en cemento, para que el producto final tenga después del fraquado una buena resistencia mecánica, de lo contrario se corre el riesgo de que el cosido sea poco eficaz.

Para la ejecución de este cosido, puede realizarse frecuentemente unas perforaciones en la conducción metálica que permitan inyectar por ellos.

Conviene asegurarse, antes de que se produzcan pérdidas al colar detrás de la conducción, que todas las perforaciones estén provistos de tapón, ya que de lo contrario la lechada circularia por huecos realizando un cosido muy localizado que impediria la buena ejecución de posteriores inyecciones.

Estos tapones se desatornillarán en las perforaciones próximos al punto de inyección para la progresión de la lechada.

Por otra parte el cosido de firmes delgados y macizos de grueso espesor se efectúa siguiendo el mismo principio que para las galerías, disponiendose de una perforación cada 3 o 4 m². En este caso, es fácil al ejecutar la obra dejar unas perforaciones en el concreto que servirán posteriormente para la inyección prolongándolos varios metros en el suelo.

Si aparecen fisuras en el macizo antes del concreto, hay que colocar unos tubos que permitan su inyección directamente. estos tubos no se engloban en el dispositivo de cosido si se alejan demasiado de los nudos de la red de inyección.

Las presiones de rechazo dependen esencialmente del espesor que tenga el concreto antes de la inyección. Para limitar los posibles desórdenes se comienza a inyectar a baja presión y a pequeña profundidad para taponar los huecos que puedan producirse entre el concreto y el macizo.

Una vez terminada esta primera fase es posible inyectar el macizo propiamente dicho, a presiones más elevadas, por ejemplo de 5 a 10 kg/cm².

Cuando el macizo a coser es de gran espesor y muy ancho se puede prever la colocación sobre la roca, antes de colarlo, de unos tubos con válvulas análogas a los que se describen en las juntas de construcción.

CAPITULO 20

TECNICAS ESPECIALES DE INYECCION

A continuación se explica, algunas de las técnicas especiales de inyección más utilizadas.

20.1 ELEVACIÓN CON LODO

Esta técnica es empleada para elevar una estructura utilizando la inyección de mezcla igual que un gato hidráulico, tanto la mezcla como el lodo denso pueden ser bombeados bajo una pista, una carretera de concreto, etc., que están asentadas y, a través de sondeos efectuados, el lodo empleado actúa como un gato hidráulico para su elevación, cuando se haya alcanzado el nivel previsto, la presión es mantenida hasta que la mezcla se haya solidificado.

La elevación con lodos es uno de las posibilidades menos conocidas de la inyección ya que la reposición de obras a su nivel normal no es otra cosa que obras de recalce.

Este tipo de procedimientos son muy delicados porque se deben tener un conocimiento perfecto de lo que se va a ejecutar ya que ponen a prueba una de las posibilidades más peligrosas de la inyección, como es la de levantar todo el medio afectado por la inyección.

Por lo tanto es necesario, conocer el sistema para poder utilizarlo con plenitud de conocimiento.

Reponer a su nivel un bloque de carretera, de pista o incluso el fondo de un depósito no es muy complicado, pero se han visto grandes obras que han sido restablecidas por este procedimiento. En pocas palabras estamos ante un procedimiento de recalce que completa las aplicaciones de la inyección relativa a la consolidación de suelos.

Como ejemplo podemos citar la inyección de un pavimento de concreto hidráulico, en este tipo de pavimentos que recubren las carreteras o las pistas de aeropuertos frecuentemente reposan sobre cimientos rudimentarios.

Igualmente contribuyen al reblandecimiento del suelo, las aguas que penetran a través de las juntas o fisuras que llegan a ellas.

Por efecto del tráfico rodado, estos bloques de concreto llegan a oscilar provocando cavidades que terminan por ocasionar su ruina o deterioro.

Una solución especial consistiría en sustituir los bloques averiados pero esta solución sería muy costosa y hasta molesta, sobre todo en una carretera o aeropuerto donde el tráfico es intenso.

Puesto que la causa de estas anomalías o desórdenes es debida a la presencia de cavidades debajo de la losa de concreto, es lógico pensar en la inyección para remediarlos, siempre que se proceda a su aplicación desde el momento de aparición de las primeras perturbaciones.

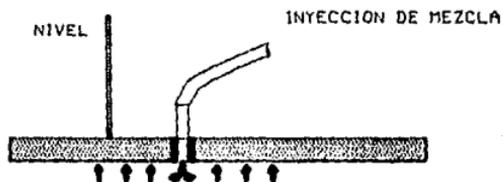
Este procedimiento es muy utilizado en E.E.U.U. donde los recubrimientos de concreto son muy frecuentes en las autopistas.

La inyección se realiza por medio de agujeros de 40 a 50 mm de diámetro, atravezando el concreto, que no es preciso prolongar en el terreno, de preferencia hay que prever un agujero por cada 3 ó 4 m² de superficie.

Es conveniente disponer estos agujeros a una y otra parte de las juntas o fisuras a 30 - 40 cm de éstas y cada 1.50 m aproximadamente.

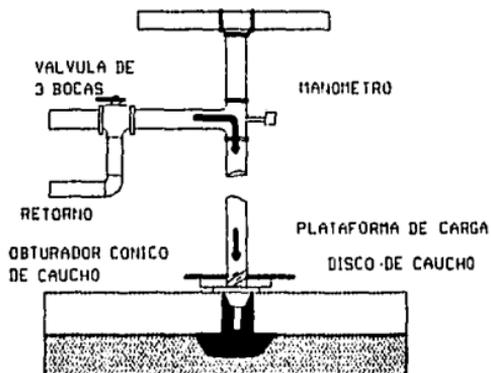
A continuación se coloca sobre los agujeros una manga de inyección provista de un obturador en su base ver (fig.20-1a) por el peso del peón, de pie sobre la plataforma de carga, el obturador desciende comprimiéndose contra el concreto y asegura un acoplamiento estanco, entonces se inyecta la lechada.

Al alcanzar la presión de rechazo cuando la válvula de descarga empieza a funcionar, retorna la lechada al depósito, accionando una llave de paso colocada para tal fin.(fig.20-1b).



(Fig. 20-12)

ELEVACION CON LODOS



CONDUCTOS PARA LA INYECCION BAJO PAVIMENTOS

(Fig. 20. 1b)

La presión normal de inyección no sobrepasa los 3 ó 4 kg/cm² es preciso hacer notar que esta presión no tiene nada que ver con el peso de los bloques de concreto, situados sobre la zona por donde se propaga la lechada.

Como es de suponerse que en la teoría permitía prever este resultado, pero es la forma de las cavidades la que determina la evolución de las presiones, fuertes al principio, pueden decrecer para volver a subir a continuación y seguir ascendiendo progresivamente hasta el rechazo.

A veces no es necesario inyectar todos los agujeros. Ya que una resurgencia por un agujero permite, efectivamente, suponer que las cavidades próximas ya han quedado rellenas.

El verter agua sobre la superficie de la losa facilita la observación de los movimientos de ésta que de otra forma serían poco visibles.

esta inyección puede realizarse con cualquier clase de lechada, pero para este tipo de trabajos son recomendables los betunes calientes los que dan mejor resultado.

En algunos laboratorios se han hecho ensayos comparativos entre el cemento y el betún y se han obtenido los siguientes resultados.

1. El betún, al igual que el cemento, rellena perfectamente los huecos que existen debajo de las losas.

2. Este relleno no se aleja mucho de los agujeros de inyección (salvo existencia de cavernas); conviene por lo tanto, construir una correcta densidad de agujeros.

3. Al hacer la inyección el terreno almacena gran cantidad de agua en las zonas tratadas por inyección de cemento, mientras que en la inyección de betún caliente expulsa el agua que pudiera existir bajo las losas de concreto.

4. La inyección con betún es mucho más rápida que con la inyección realizada con cemento, esto es una gran ventaja cuando se requiere rapidez en los trabajos.

5. La circulación de la inyección de betún bajo las losas de concreto es más fácil de vigilar por la salida de betún a las perforaciones de control ya que en el caso de la inyección de cemento, hay que controlar si cada agujero admite la inyección, siendo poco visible por las perforaciones de control la circulación de las lechadas.

6. Tiempo después de realizados los trabajos, la reparación conseguida por ambos métodos son satisfactorias y no presentan nuevos desordenes. por lo tanto parece difícil dar preferencia a uno u otro método, pero se debe de apreciar los elementos siguientes en su elección:

a. El cemento puede cerrar las juntas si éstas no han sido cuidadosamente acondicionadas con un procedimiento plástico, antes de la inyección. El repaso correcto de las juntas se impone en los dos casos.

b. El betún permitiría, mejor que el cemento, obtener una buena obturación en las fisuras de las losas de concreto.

c. La inyección de cemento deja mucha agua en la cimentación, lo que puede provocar una disminución de la resistencia según sea la sencibilidad al agua de la cimentación y la posibilidad o no de su evacuación.

d. El betún puede sufrir, una sensible retracción durante su enfriamiento, con lo que traería consigo la posible aparición de huecos residuales.

Es difícil precisar si esta retracción es más o menos importante que la del cemento.

e. Al ser el betún materia plástica, su deformación con el tiempo puede igualmente provocar huecos residuales. Por el control, la plasticidad del betún contribuye a disminuir la posibilidad de fisuración de las losas.

Generalmente, para perfeccionar este trabajo de inyecciones se coloca sobre las losas una gruesa capa impermeable para impedir la llegada de agua por la superficie.

20.2 INYECCIÓN A ALTA PRESIÓN

Esta es la técnica de inyección dentro del terreno a presiones muy elevadas, desde una lanza o tubería de perforación especial que baja y gira en el terreno. El material existente a una cierta distancia radial de la lanza, es mezclado con la inyección y forma una columna. (fig.20.2).

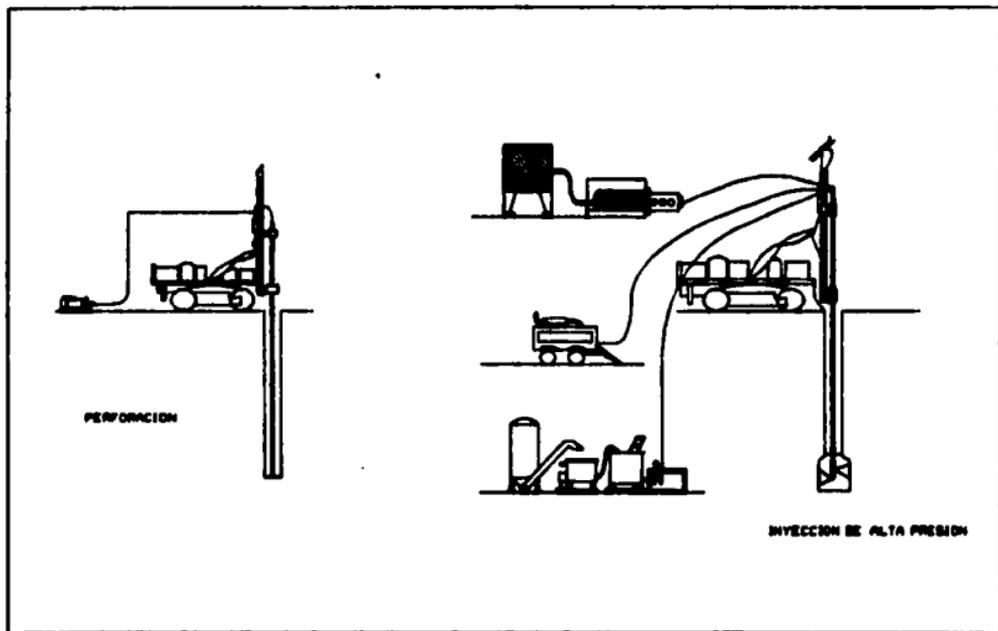
Dependiendo de la distribución de los sondeos, pueden desarrollarse el sellado de una presa, el reforzamiento de una zona y del terreno con buena capacidad de resistencia.

Si el terreno no es el apropiado para unirse con la mezcla inyectada, dicho material puede ser barrido y remplazado por otro más conveniente y una mezcla adecuada.

20.3 INYECCIÓN DE CONGLOMERADOS.

Es el método de rellenar con agregados una estructura que después es inyectada con mezcla desde abajo. Mediante este sistema se evita la contracción de los materiales y, por tanto, la formación de grietas de construcción en el conglomerado es menos frecuente.

Para conseguir buenos resultados, han de efectuarse meticulosamente unos preparativos previos. Todos los materiales han de lavarse antes de ser agregados, ya que, después de emplazados es imposible moverlos.



(fig.20-2) EQUIPO DE INYECCION A ALTA PRESION

El equipo retrocederá libremente, ya que una interrupción de los trabajos, podría deteriorar los resultados. La inyección se realizará con una mezcla de cemento - arena y un producto expansivo.

Los materiales agregados serán de tamaño 8-10 veces mayor que los granos de arena, para asegurar una buena penetración.

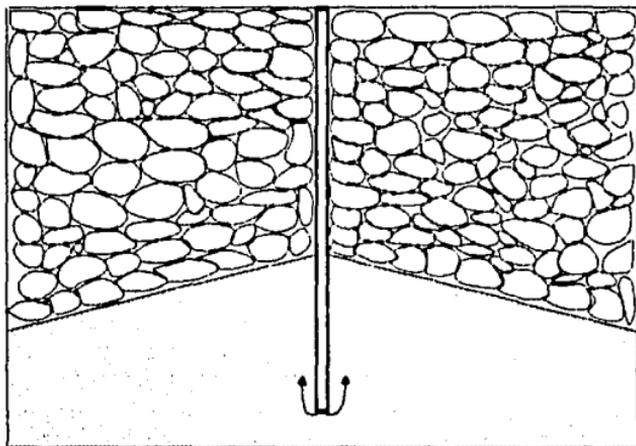
Aparte de utilizarse para la construcción de estructuras de tipo ornamental, donde en ocasiones se quita la pasta de cemento superficial para que se vea mejor los materiales agregados, el conglomerado también se construye cuando se cuele una bancada para soportar una máquina y en otras aplicaciones similares, que necesitan gran precisión y no permiten su instalación directa.

20.4 INYECCIÓN DE PERNOS DE ROCA.

Los pernos de roca con cabezas de anclaje de expansión son normalmente inyectados para protegerlos de la corrosión, mediante un tubo de plástico de 10 metros que dispone también de un tubo de ventilación que en la parte superior del perno, para garantizar que se llene completamente.

Los sondeos para espigas de roca son normalmente inyectados con una mezcla que pasa a través de una manguera al fondo del sondeo, donde a continuación será insertado el perno.

Para la fijación de los pernos pueden emplearse cartuchos de resina y cemento de fraguado rápido. Los cartuchos son colocados en el interior del sondeo y con la ayuda de la máquina de perforación, el perno es girado y presionado dentro del sondeo.



INYECCION DE CONGLOMERADOS
(Fig. 20-3)

20.5 INYECCIÓN DE CABLES.

Los cables de concreto pretensado tienen que ser inyectados para protegerlos de la corrosión después de su tensado, puede emplearse una mezcla de cemento puro con un producto expansivo. (fig.20.5a).

Para conseguir su relleno completo, es muy importante disponer de tubos de inyección en las zonas más inferiores y de tubos de ventilación en lugares más elevados, se permitirá que la mezcla de cemento rebose hasta que tenga la misma consistencia que la inyectada al principio, en la figura siguiente (fig.20.5b) se presenta el equipo más utilizado para este tipo de trabajo.

20.6 INYECCIÓN DE ANCLAJES EN ROCAS Y SUELOS.

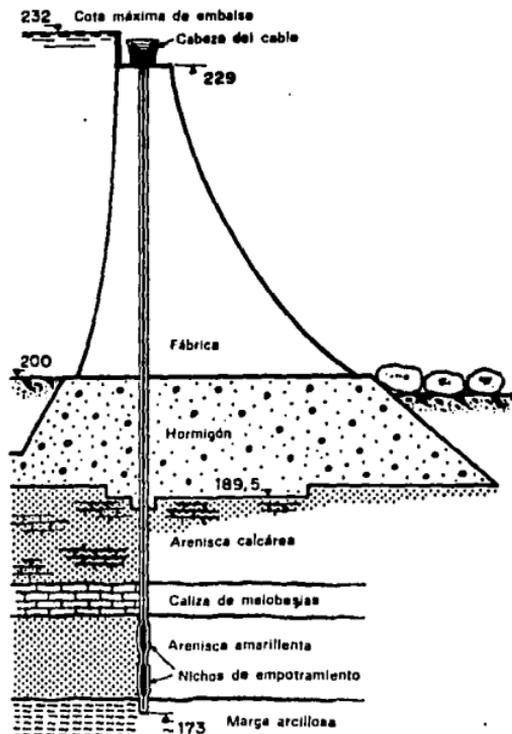
Los anclajes pueden ser más largos que los pernos para resistir cargas más pesadas. Los anclajes en roca son inyectados normalmente mediante un tubo situado en el fondo del sondeo.

En algunas ocasiones, llevan un revestimiento para duplicar la protección de corrosión que será inyectada después de tensar el anclaje.

Los anclajes en suelos pueden fijarse de la misma manera que los anteriores, si la formación del suelo es lo suficientemente fuerte como para resistir cargas.

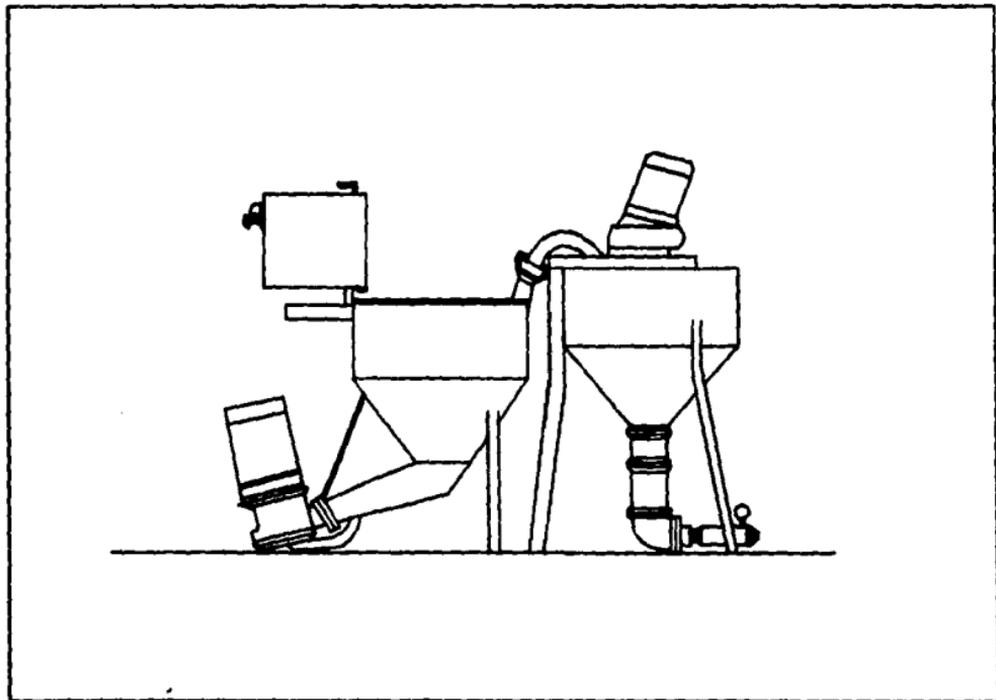
Algunas veces, un cuerpo de anclaje ha de crear en el suelo la fuerza necesaria para resistir dichas cargas, esto puede realizarse mediante una herramienta escarriadora o con la inyección si el terreno lo admite.

El empotramiento de barras o anclaje del extremo de un cable en una perforación, se hace por medio de lechadas a base de cemento.



EJEMPLO DE UTILIZACION DEL EMPOTRAMIENTO DE UN CABLE

(fig.20-5a)



(fig-20.5) EQUIPO DE INYECCION PARA BULONADO Y CABLES PRETENSADOS

La lechada puede ser una simple suspensión de cemento en el agua, morteros de cemento arena fina muy diluida, o, también un mortero que no experimente retracción.

Según sea el caso se coloca en obra por gravedad o por inyección a presión, antes de ser inyectado puede conservarse la perforación tal como queda después de su ejecución o impermeabilizar sus paredes con una inyección.

Existen tantas realizaciones como posibilidades, ninguna sobresale de la otra, el ingeniero impone un método o desestima otro según crea oportuno.

Generalmente el resultado es bueno, a veces el anclaje se afloja en el momento de la primera puesta en tensión, pero después se bloquea definitivamente, son muy poco frecuentes los casos en que se desprende seriamente.

Si no se ha puesto ninguna escuela es que todas son buenas, lo esencial es colocar en obra una mezcla de inyección que convenga, que es lo fundamental. Se puede perfectamente anclar una barra en la perforación, rellenando simplemente de arena el espacio libre que existe al rededor de la barra.

A la primera tensión que experimente, la barra se desliza un poco, los granos de arena se desplazan, se acodalan unos contra otros y bloquean el conjunto.

Experimentalmente se comprueba que un anclaje de este tipo puede desarrollar esfuerzos horizontales muy elevados. Si el macizo en que se van a ancladas las barras no es indefinido, un muro de concreto por ejemplo puede romperse en el momento de su puesta en carga o al ser pretensada.

Algo de lo que sucede en las presas bóvedas muy atrevidas puede aplicarse a los anclajes: ningún calculo puede justificar su comportamiento. Se conocen numerosos casos en que su comportamiento es distinto a lo previsto.

Si hacemos abstracción de la adherencia del cable al mortero, que depende de las curvas y contracurvas de los hilos; de la existencia de una placa de anclaje o cuña de acero para sujeción prefabricada, el comportamiento de un anclaje depende:

a). De la resistencia a la rotura del medio encajante, el anclaje se comporta como un barreno.

b). del deslizamiento entre las paredes de la perforación y el producto de sujeción.

c). del grado de trituración de éste

Según la calidad de la roca, el peso del explosivo y la profundidad del barreno, se producirá un embudo o humadera, los mismos fenómenos se encuentran en los anclajes, basta simplemente con asimilar la potencia de un tirante al peso del explosivo.

El anclaje de un tirante en un muro puede hacer que éste reviente, para evitarlo hay que prever un zuncho aunque perjudique la adherencia del empotramiento en el concreto.

Por lo anterior, la rotura de los muros y la posibilidad de empotramiento en arena pura, indica que un anclaje sometido a esfuerzo provoca en el medio envolvente, tensiones cuya componente normal al tirante es muy elevada.

Es pues inútil, como experiencia confirmada, querer calcular la longitud de anclaje multiplicando su superficie lateral por la resistencia al corte del mortero endurecido, igualmente por esta razón, y salvo casos muy especiales, los zunchos son más perjudiciales que útiles.

Para que un anclaje ofrezca una buena resistencia tiene, primeramente, que realizarse en un agujero que no tenga las paredes lisas, de este modo se facilitan los acondicionamientos.

Tratándose de una perforación siempre debe actuarse así ya que, por otra parte, es muy fácil lograrlo. Es necesario sobre todo, que el producto utilizado en el relleno pueda soportar considerables esfuerzos sin sufrir deformaciones importantes. Por eso hay que estudiar los morteros que han de emplearse.

Existen diferentes clases de empotramientos de cables de pretensados y anclajes. Como el empotramiento de cables de concreto pretensado, Este empotramiento consiste en solidarizar el cable sometido a tensión con su revestimiento.

Este tiene que ser forzosamente estanco con objeto de que nada pueda bloquear el cable durante el colado del concreto, por eso es conveniente rellenar por inyección un volumen en que, casi la totalidad de las paredes sea estanca.

Además, frecuentemente se exige que ese producto de relleno sea resistente. Para cables cortos se puede muy bien llegar a este resultado inyectado una mezcla inestable, este caso puede darse con poca frecuencia.

Con cables largos, no puede eliminarse completamente el agua que transporta el cemento, para eso hay que lograr una mezcla cuya composición, después del endurecimiento y sin eliminación de agua, dé un producto duro. Esto es asunto del laboratorio.

No existe ninguna receta infalible. Son los productos de que se dispone los que mandan, mejorándose con algunos aditivos.

La inyección se realiza a través de una de esas cuñas de anclaje especialmente colocada para ese fin. Se observa la llegada de la mezcla a la otra cuña y si esta última embutida en el concreto es inaccesible hay que prever un tubo que conduzca la mezcla hasta ella y observar como se realiza la llegada de la mezcla.

De otro modo puede hacerse una inyección inoperante, esta disposición o parecida, es la utilizada para el empotramiento a presión de los tirantes de anclaje.

El empotramiento de barras o cables en toda su longitud es muy parecido al caso anterior pero existen dos diferencias:

La primera concierne a la cuña de sujeción que generalmente en este caso existe, al no estar las barras o cables sometidos a tensión, si no simplemente bloqueados.

Por otra parte, la segunda diferencia es esencial. Las barras se introducen en perforaciones cuyas paredes están lejos

de ser tan impermeables como los revestimientos de los cables de concreto pretensados.

Simplemente, eso facilita la utilización de mezclas menos especiales que cuando tiene un revestimiento impermeable o, por el contrario, complica la operación a consecuencia de las importantes pérdidas de mezcla.

En este último caso puede ser ventajoso inyectar los barrenos antes de la introducción de las barras, así la absorción de la mezcla de empotramiento se reduce a lo estrictamente necesario.

Sin embargo, impermeabilizando las paredes de la perforación se está obligado a la utilización de una mezcla de empotramiento de composición bien estudiada como en el caso de bloqueo de cables de pretensado.

Además si solamente es accesible un extremo de las barras hay que prever un tubo de conducción de mortero al fondo de la perforación con el fin de asegurar un buen relleno.

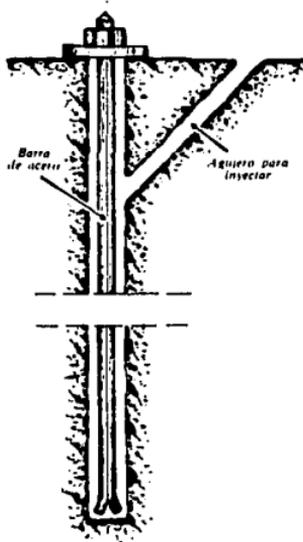
Cuando son permeables las paredes de la perforación, como generalmente ocurre, se inyecta directamente por la entrada de la perforación pero si el dispositivo de bloqueo de la barra obtura éste, se realiza una perforación oblicua para la introducción de la mezcla, ver figura anexa.(fig.20.6a).

Si se ha previsto un pequeño macizo de anclaje de concreto, puede alojarse ahí un tubo de inyección.

Las mezclas inestables son los que producen las resistencias más fuertes. El relleno correcto del espacio vacío se obtiene con una presión de rechazo como mínimo de 5 kg/cm². Frecuentemente se alcanzan presiones de 10 a 15 kg/cm².

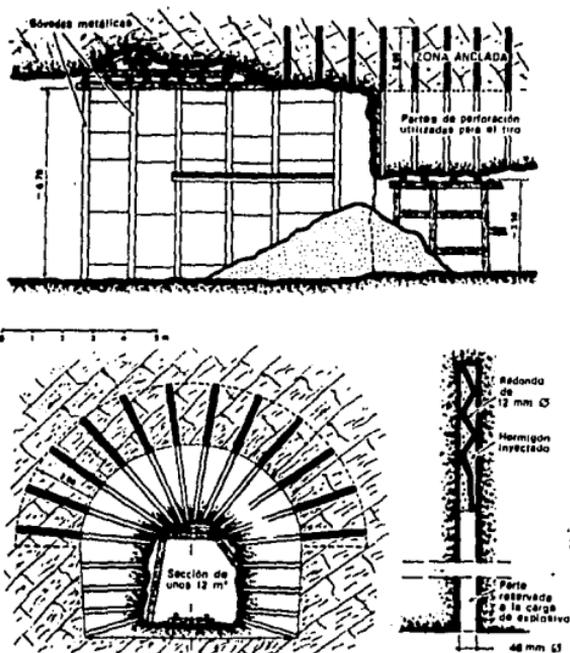
Reflexiones sobre los morteros de anclaje.

Como ha podido observarse, el empotramiento de barras y, especialmente, el anclaje de cables no están ligados a la inyección más que por la composición de los morteros.



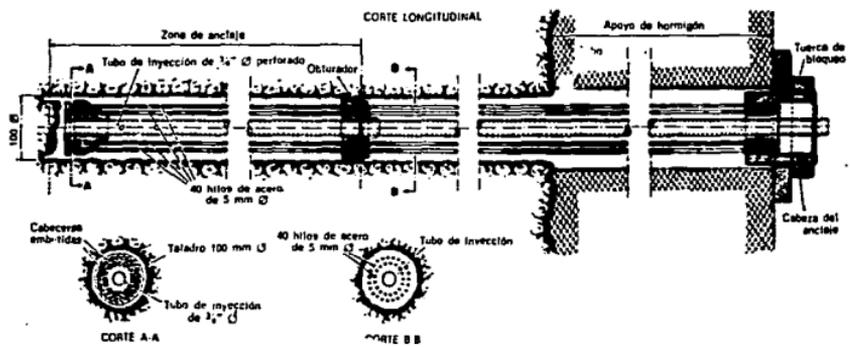
PRINCIPIO DE EMPOTRAMIENTO
DE UNA BARRA DE ACERO

(fig. 20-6a)



ANCLAJE DE UNA BOVEDA ANTES DE LA EXCAVACION TOTAL

(fig.20-6b)

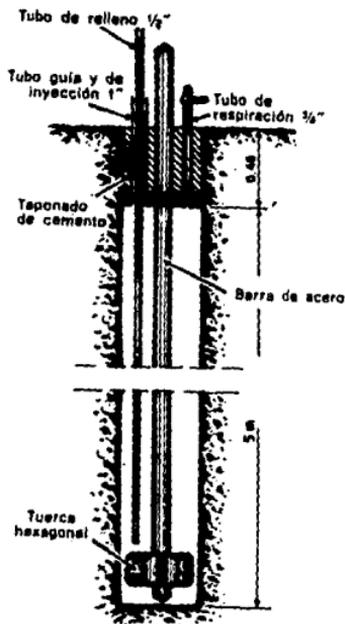


EJEMPLO DE CABLE

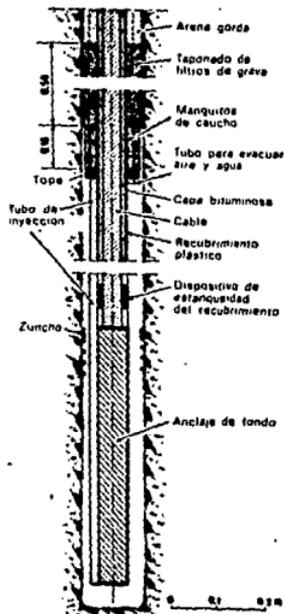
(fig-20-6c)

107

FALLA DE ORIGEN



PRINCIPIO DE EMPOTRAMIENTO
DE ANCLAJES DE ENSAYO



ANCLAJE DE CABLE
PROVISTOS DE CUNA DE
SUJECION

(fig. 20-6d)

La calidad del cemento tiene una importancia determinante, sobre todo cuando se utiliza solo. Los deslizamientos de anclajes que han podido comprobarse con mucha frecuencia, antes del bloqueo definitivo, proceden únicamente del empleo de una mezcla que se adapta mal a este tipo de trabajo.

Cuando el cemento empleado es el indicado, poco importa que se utilice puro o con arena; que se inyecte a presión o que se proceda a un simple relleno; que el macizo haya sido previamente inyectado o no, los empotramientos son buenos y es inútil querer calcularlos, el único determinante es el cemento.

Puede decirse que el mejor cemento para un concreto es el menos indicado para un empotramiento, puede mejorarse añadiendo arena fina o diversos productos, pero esto es delicado de hacer y a priori, no conduce necesariamente a la elaboración de una buena mezcla.

La adición de arena no es forzosamente suficiente para dar resistencia, para que sea así, es necesario que, después de la decantación de los granos sometidos a esfuerzos, puedan acomodarse unos con otros sin desplazamientos apreciables.

la colocación de la mezcla a presión puede resultar necesaria con el fin de aumentar la compacidad del depósito.

En definitiva, el método de empotramiento depende esencialmente de la calidad del cemento que se dispone y de las posibilidades del laboratorio que condiciona la naturaleza de las mezclas.

Si esta correlación no se toma en cuenta, puede haber anclajes que resistan, pero otros se deslizarán antes de engancharse y, por último, otros se aflojarán totalmente.

CAPITULO 21

CONCLUSIONES

En el desarrollo del presente trabajo se proporciona a los lectores información de lo que consiste un tratamiento de inyección utilizado en gran variedad de obras de ingeniería civil ya sea esta pequeña, mediana o de gran magnitud, su ejecución es sencilla, siempre y cuando se aplique correctamente cada uno de los conceptos en la selección de métodos, mezclas, soluciones y equipo para la inyección, tomando en cuenta el tipo de terreno y el lugar donde se realizará (tipo de obra).

El tratamiento por inyecciones de un terreno ya sea para cimentar una presa o un edificio o al realizar una obra subterránea en un área es, todavía en nuestro país, una técnica que rara vez cuenta en las previsiones de un proyecto y, si se llega el caso de aplicarla durante la obra, se utiliza como última alternativa, después de haberlo intentado todo, esto nos hace suponer que en la mayoría de los casos, haber manipulado el terreno y haberlo alterado, y, como consecuencia de ello el tratamiento en extremo mediante inyecciones se realiza con escasos datos o, lo que es peor, con datos inexactos, casi improvisándose, resultando muy costoso y las posibilidades de éxito son mucho menores de lo que podrían haber sido con el terreno virgen.

Ante estos problemas que aparecen de improviso en la ejecución de una obra en el subsuelo de una ciudad, porque no se habían previsto en el proyecto, que se presentan para el responsable de los trabajos en curso y para cuya solución se puede acudir frecuentemente como salvación a las inyecciones, siempre que se encuentre con alguien que, seguramente llevado por un espíritu de servicio, pero con poca experiencia, escasos recursos técnicos y gran fe en el éxito, se arriesga a resolver con inyecciones lo que quizá las inyecciones no puedan resolver, como consecuencia en muchos casos de esta naturaleza, el resultado no es satisfactorio, se ha malgastado dinero, el problema sigue latente y por lo tanto el salvamento supone un descrédito de las inyecciones.

Realmente, las inyecciones como técnica alternativa o auxiliar de solución para proyectos de cimentaciones urbanas, todavía no se han incorporado lo suficiente por lo proyectistas al contrario de lo que sucede en las obras hidráulicas, debido probablemente a las siguientes razones:

- a). La falta de colaboración entre proyectistas y especialistas de tratamientos.
- b). Al desconocimiento de las posibilidades y a la desconfianza en los resultados de las inyecciones.
- c). A la creencia generalizada de su altísimo costo.

La inyección, tiene muy poca difusión como técnica auxiliar necesaria en la ejecución de obras importantes, como las grandes líneas del metro, túneles, pasos a desnivel, sótanos profundos, que se están haciendo hoy en las ciudades, donde no se puede elegir el terreno, si no que hay que mejorar las características de la que se tiene.

Es frecuente en la actualidad examinar un proyecto importante, brillante, completo y detallado, salvo en el capítulo dedicado a las cimentaciones que pueden ser asombrosamente modestos e imprecisos.

Como consecuencia de ello, el problema de la cimentación sólo se aborda seriamente al comenzar su ejecución; es decir después de haber sido contratada la obra, con lo que el contratista se convierte al mismo tiempo en proyectista apresurado porque tiene un plazo que cumplir de la cimentación siendo esta situación frecuente motivo de discusiones, desconfianzas y forcejeos al proponer un tratamiento de inyección ante los problemas que aparecen también de improviso porque no había nada previsto en el proyecto.

Esta carencia de difusión de los tratamientos especiales de terreno por inyecciones y sus posibilidades, crea una cierta desconfianza y recelo del proyectista de una obra frente a esta técnica, quizá debido al escaso empleo que se le ha dado hasta ahora la inyección, quizá debido a como y cuando se ha aplicado

en las obras, debido a lo poco abordable que resulta para el no especialista su control y su tecnología, aparentemente imprecisa y no intuitiva, el caso es que, en general, hablar de inyecciones en una obra es como hablar de una sala de recuperación o de vigilancia intensiva de un hospital a un enfermo, el problema debe ser grave cuando hasta ha habido que emplear inyecciones.

Muchos consideran un tratamiento de inyecciones caro. La estimación de caro o barato es relativa y depende de como se le considere.

Si el tratamiento se le presenta como un imprevisto es caro, porque puede desequilibrar su presupuesto e, incluso, obligarle a renunciar a parte de la obra proyectada.

Realmente, la causa de esta situación se debe a no haber previsto en el proyecto, mediante a un buen conocimiento previo del problema, las dificultades que se podrían presentar en el subsuelo.

A veces se espera más de las inyecciones de lo que éstas pueden dar. En este caso, La propiedad se siente defraudada y automáticamente piensa que el tratamiento es muy caro y que su costo no se justifica a la vista de los resultados obtenidos que, siendo incluso óptimos para un experto, no lo son a juicio de quien no lo es. Tal puede suceder cuando se habla de impermeabilizar, por ejemplo, un fondo de excavación; si no se aclara que este concepto equivale realmente a reducir la permeabilidad del terreno hasta lograr que, mediante un achique razonable, cuya cuantía se debe estimar, se pueda ejecutar la obra en seco.

Igualmente sucede cuando se habla de estabilizar con inyecciones un talud inestable que hay que excavar. Si en el ánimo de la propiedad esta que la excavación, al abrigo de las inyecciones, se puede hacer con excavadoras y en grandes tramos, pensará, cuando llegado el momento se les recuerde que hay que seguir unas normas y precauciones especiales, que le costarán más de lo que pensaba, que las inyecciones son demasiado caras para lo que sirven... cuando, realmente, gracias a ellas ha logrado excavar un talud imposible de excavar antes.

Para encajar con la mayor precisión posible el tipo de tratamiento a seguir y su costo, será necesario que el especialista disponga de datos y análisis suficientes, y, si se considera preciso, realice algún ensayo de tratamiento a escala

natural con diversas disposiciones de taladros y mezclas de inyección obteniéndose importantes ahorros de tiempo y dinero.

En algunos países donde la tecnología está más avanzada que en el nuestro, los tratamientos por inyección del terreno y otras técnicas especiales aplicadas a la construcción de obras subterráneas urbanas, disponen de una normativa oficial y están lo suficientemente divulgadas como para considerarse elemento de trabajo en el proyecto y ejecución de las obras de esta naturaleza.

Entre nosotros flota todavía la creencia de que la aplicación de estas técnicas a las obras subterráneas es algo así como soluciones de lujo que un país con los recursos económicos del nuestro no se puede permitir todos los días, pero de cara al futuro, es que ya casi en presente, las obras que abordan nuevas grandes sumas de dinero, el tiempo es oro y la relación costo/edificio es lo que debe ponderarse, más que la del sólo el costo.

La función de estas técnicas es ayudar a resolver los problemas que continuamente nos plantea el suelo, donde cada vez más buscamos ubicación para las necesidades que surgen en las ciudades al aparecer nuevos conceptos sobre la vivienda, los transportes y el « habitat », que responden a las demandas sociales sobre el bienestar y la calidad de la vida.

A estos niveles de inversión, no podemos permitirnos el lujo de improvisar sobre la marcha, si no tenemos suerte con el terreno, porque de una cosa podemos estar seguros, y es de que los costos de la improvisación serán mucho mayores, podemos decir que despilfarras incontrolados, mientras que una planificación realizada en íntima colaboración entre técnicos especializados, reducirá al mínimo esos imprevistos que siempre aparecerán, pues la madre naturaleza parece tener un gusto especial por lo imprevisto y no puede entregarse fácilmente a los deseos del hombre, que, en continuo reto desde su aparición sobre la tierra, trata de dominarla poco a poco.

EXPRESIONES PROPIAS DE LA INYECCION

MEZCLA. Se compone normalmente de agua y otros materiales como cemento, bentonita, arcilla, productos quimicos, etc., formando suspensiones, emulsiones o soluciones, que son bombeadas o inyectadas dentro de suelos y rocas, para su tratamiento.

Añadiendole otros materiales, la mezcla adquirirá distintas propiedades de viscosidad, tixotropia, duración, el tiempo de solidificación o fraguado, etc.

INYECCION. Es el proceso de introducir mezclas a presión dentro de rocas, suelos y cavidades para su consolidación, reforzamiento, estabilización y relleno de huecos.

MEZCLA EN SUSPENSION. Es aquella que, conteniendo materiales con granos y partículas de cemento, arcilla, bentonita, mezclados con gran turbulencia, se mantienen en suspensión agitándola.

LA MEZCLA COLOIDAL. Se consigue efectuando su mezclado turbulento en un mezclador coloidal que separa cada grano o partícula de las demás. Las fuerzas intermoleculares tienden a mantener las partículas separadas y en suspensión.

EMULSION. Es la dispersión de pequeñas gotas, como por ejemplo, asfalto en agua mediante un agente adecuado.

SOLUCION. Es una mezcla de inyección que no contiene granos ni partículas.

MEZCLA QUIMICA. No contiene partículas y es otra denominación para la aplicación anterior.

MEZCLA DE RESINA. Es la denominación empleada para las inyecciones químicas de resina, poliuretano, acrílicos, etc.

VISCOSIDAD DE UNA MEZCLA. Es su resistencia a fluir, las mezclas ligeras tienen baja viscosidad, mientras que las espesas tienen o poseen elevada viscosidad. Una mezcla química ligera puede llegar a tener casi la misma viscosidad que el agua.

VISCOSIDAD MARSH. Es el tiempo en segundos que tarda en pasar una mezcla a través del embudo especial Marsh.

TIXOTROPIA. Es la tendencia de una mezcla a espesarse cuando no es suficientemente agitada o mantenida en movimiento.

REOPEXIA. Es la tendencia de una mezcla a espesarse cuando aumenta su agitado.

PERIODO DE ENDURECIMIENTO DE UNA MEZCLA QUÍMICA. Es el tiempo necesario para su solidificación o endurecimiento, prácticamente el mismo que se precisa para el fraguado del concreto aunque sus reacciones químicas y consolidación no sean las mismas.

INYECCION DE SUPERFICIE O DE CAPA. Es el tratamiento para consolidar una determinada zona rocosa bajo una presa, mediante varias filas de sondeos.

INYECCION DE PANTALLA. Es el tratamiento con inyecciones profundas bajo una presa mediante una o más filas de sondeos para su impermeabilización.

INYECCION POR CONTACTO. Es el relleno de huecos y grietas, normalmente para establecer la unión entre dos superficies.

INYECCION CON LODO. Es el método empleado para tratar una superficie rocosa agrietada, con una mezcla espesa que es introducida en las grietas superficiales mediante paletas o una escoba dura.

TUBO-MANGUITO. Es colocado en la superficie, cuando la masa rocosa no es suficientemente resistente como para permitir la fijación de un obturador.

CABEZAL DE INYECCION. Es excavado en una superficie rocosa poco resistente para facilitar la colocación de un obturador y obtener, en estas formaciones, es una buena inyección.

OBTURADOR. Es el medio de unión al sondeo, donde es expandido y fijado, para aislar una cierta parte del mismo.

PRUEBA DE PRESION DE AGUA. Es el proceso de bombeo de agua dentro del sondeo para establecer la permeabilidad del terreno.

INYECCION POR EL METODO DEL CIERRE ESPACIADO. Es el tratamiento de consolidación mediante la inyección de una primera fila de sondeos que se van interpolando entre los primeros, y así sucesivamente, hasta conseguir el tratamiento del espacio total.

INYECCION EN SERIE. Es la realización de los procesos de perforación, barrido, pruebas de agua e inyección de 5-10 sondeos en un solo grupo.

PROGRESION. Es la longitud del sondeo tratado cada vez.

PROGRESIONES DESCENDENTES. Consiste en la perforación e inyección de una etapa superior, seguida de los trabajos de profundización.

PROGRESIONES ASCENDENTES. Se realiza desde el fondo del sondeo. Cuando una etapa haya finalizado, el obturador es elevado a la zona de la siguiente etapa.

INTRADOS. Se refiere a la superficie concavá de un túnel, bóveda o galería.

TRASDÓS. Superficie exterior de un túnel, bóveda o galería.

FENOMENO DE DISLOCACION. En inyección se refiere al efecto de mover una estructura de su lugar por efecto de una fuerza aplicada.

EFFECTO DE GATO HIDRAULICO. Dislocación de una estructura por efecto de una presión hidrostática

PRESION DE RECHAZO. Es la presión máxima o límite que se alcanza en la operación de inyección.

PRESION DE INYECCION. Es la presión que se desarrolla durante la operación de inyectado, con la duración que se juzge conveniente, sin llegar a la presión de rechazo.

PENETRABILIDAD. Es la distancia que se alcanza desde un barreno hasta el extremo de la mezcla inyectada.

HASTIAL. Cara lateral de una excavación

ENTIBADO. Colocación de alguna estructura destinadas a sostener la tierra en las excavaciones.

BIBLIOGRAFIA

Apuntes de Fluidos de Perforación.
Facultad de Ingeniería.

Cimentaciones Urbanas
Calidad y Moderna Tecnología
Editores Técnicos Asociados S.A.

Construcciones en Roca
Colegio de Ingenieros Civiles de México

Curso Internacional de Mecánica de Suelos
- Mecánica de Suelos Aplicada al Diseño y construcción Presas
- Mecánica de Suelos Aplicada al Diseño de Obras Subterráneas

Estudio de Suelos y cimentaciones en la Industria de la Construcción.
de Gordon A. Fletcher and Vernon A. Smoots.
Edit. Limusa.

Geotecnia del Ingeniero
(Reconocimiento de Suelos).
Henri Casbefort.
Editores Técnicos Asociados.

Inyección de Cemento para Reforzamiento.
Orjan Sjöstrom, Equipo de Roca AB
Editor: Hans Olof Mattainen, Diamant Boart Craelius AB.

Curso de Inyecciones y Muros colados in Situ
Facultad de Ingeniería
Palacio de Minería.

Inyección de Suelos
Henri Casbefort
Ediciones Omega, S.A.

Manual de Barreras-
Hughes Tool Company U.S.A.
Tri - Cone.

Métodos, Planteamiento y Equipos de Construcción
R.L. Peurifoy
Edit. Diana.

Principios de Geología y Geotecnia para ingenieros
Dimitri P. Krynine
Edit. Omega.

Procedimientos de Sondeos (Teoría Práctica y Aplicaciones)
Jesús Puy Huarte
Servicios de Publicaciones de la J.E.N.

Túnel S.A. de C.V.
Memoria Técnica de las Obras de Drenaje Profundo del D.F.

Túneles, planeación, diseño y construcción
Vol. I y II
T.M. Megaw & J.V. Bartlett.
Edit. Limusa