

32
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ACATLAN**

**“PROCEDIMIENTOS DE INYECCION DEL SUBSUELO,
TIPOS DE MEZCLAS Y EQUIPO ADECUADO
PARA LLEVARLA A EFECTO”**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A :

JESUS VARELA CORONEL

SANTA CRUZ ACATLAN, EDO. DE MEXICO

1992



**TESIS CON
FALLA DE COPIA**



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.

I N D I C E

Introducción 1

CAPITULO I.- METODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS QUE SE REALIZAN EN SUELOS Y ROCAS

1.1	Método sísmico	6
1.2	Método de resistividad eléctrica	7
1.3	Pozos profundos a cielo abierto	8
1.4	Penetración estándar	10
1.5	Tubo de pared delgada Shelby	13
1.6	Barril tipo Denison	14
1.7	Barril sencillo	16
1.8	Barril doble.....	16
1.9	Barril doble de tubo giratorio	17
1.10	Barril Wire Line	17
1.11	Pozos a cielo abierto, trincheras y socavones	17
1.12	Prueba de granulometría	21
1.13	Prueba LeFranc	26
1.14	Prueba Lugeon	31

CAPITULO II.- MEZCLAS DE INYECCION

2.1	propiedades de las mezclas	33
2.2	características de las mezclas	37
2.3	Mezclas estables	39
2.4	Mezclas inestables	40
2.5	Mezclas con productos químicos	41

CAPITULO III.- EQUIPO DE INYECCION

3.1	Centrales de inyección.....	50
3.2	Estaciones de inyección.....	50
3.3	Mezcladoras.....	53
3.4	Dosificadoras.....	54
3.5	Bombas.....	55
3.6	Manómetros.....	56
3.7	Tuberías y cámara de aire.....	56
3.8	Obturadores.....	60
3.9	Equipo de perforación.....	61

CAPITULO IV.- UTILIZACION Y METODOS DE INYECCION

4.1	Inyecciones para impermeabilizar.....	68
4.2	Inyecciones para consolidar.....	71
4.3	Inyección de contacto.....	72
4.4	Métodos de inyección	73
4.4.1	Inyección simple	73
4.4.2	Inyección por progresiones	75
4.4.3	Inyección por progresiones y obturador.....	77
4.4.4	Inyección con adems	77
4.4.5	Inyección por progresiones controladas.....	79
4.4.6	Procedimiento Joesten	81

ANEXO

	Fotografías del equipo de inyección.....	85
	CONCLUSIONES	91
	BIBLIOGRAFIA	93

I N T R O D U C C I O N

Al observar el panorama general de la inyección de --
suelos y rocas, y su aplicación en diversos países, puede obser
varse la utilización que ha tenido este procedimiento en Méxi
co, el cual ha tenido un gran desarrollo a través de los años
y a las diferentes experiencias que se han tenido, debido a es
to se a podido lograr un mejor procedimiento constructivo, uti
lizandolo como complemento o integrado en el mismo.

Una de las limitaciones que ha tenido la inyección en
México, es el alto costo que tiene el tratamiento de inyecio
nes el cual se ha definido mas como un arte que como una cien
cia, en la que influye más el conocimiento práctico de estos -
trabajos que la aplicación de formulas o teorías.

Para poder conocer y dominar esta técnica se debe pro
curar conocer las experiencias obtenidas en diversos trabajos
efectuados y proseguir investigando nuevos métodos y aplica--
ciones.

En si se puede definir a la inyección como un conjun
to de técnicas o procedimientos realizados para hacer pene---
trar fluidos con una composición y características controla--
bles en el interior de la estructura del suelo o de la roca, y
con esto lograr el fin perseguido, que puede ser una impermea--
bilización, consolidación o simplemente una junta de contacto.

El presente trabajo trata de dar un conocimiento general e acerca de lo que es la inyección haciendo una descripción de las diferentes pruebas que se realizan en los suelos y rocas, las mezclas y el equipo más usuales y finalmente describiendo los diferentes procedimientos de inyección.

**CAPITULO I.- METODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS QUE SE REALIZAN
EN SUELOS Y ROCAS**

- 1.1 Método sísmico
- 1.2 Método de resistividad eléctrica
- 1.3 Pozos profundos a cielo abierto
- 1.4 Penetración estándar
- 1.5 Tubo de pared delgada Shelby
- 1.6 Barril tipo Denison
- 1.7 Barril sencillo
- 1.8 Barril doble
- 1.9 Barril doble de tubo giratorio
- 1.10 Barril Wire Line
- 1.11 Pozos a cielo abierto, trincheras y socavones
- 1.12 Prueba de granulometría
- 1.13 Prueba Lefranc
- 1.14 Prueba Lugeon

Para realizar un trabajo de obra civil, se debe de -- conocer el subsuelo, ya que éste es nuestro principal soporte de la estructura, y como tal debe de ser estudiado. Se debe de tomar en cuenta que el suelo es una acumulación de particu-- las minerales cementadas, formado por la pulverización de ro-- cas, que es debida a la exposición a la interperie, pero hay - que tener presente que no todo es un volumen sólido, sino que dentro de las masas de suelo existen espacios, los cuales son ocupados por aire y/o agua.

Todas las partículas que resulten de la erosión, tie-- nen la misma o algo de la composición de la roca originaria, este fenómeno produce cambios en su estructura física, dando como resultado diferentes partículas, de tamaños diversos y - según la forma, se van a tener diferentes tipos de estructu-- ración que van desde una estructura suelta o floja, medio -- densa y compacta o densa.

Para poder efectuar una inyección es de fundamental importancia contar con datos seguros y confiables respecto - al medio con que se éste tratando y para esto se obtienen -- las propiedades índice y mecánicas, para lograr que en el la-- boratorio se obtengan los resultados precisos del subsuelo, - es necesario que se obtengan una serie de muestras las cua-- les se obtienen con diferentes métodos de exploración.

En todo proyecto es necesario contar con un programa de exploración para obtener información básica y poder defi-- nir los siguientes aspectos :

- La estratigrafía del subsuelo
- Nivel de aguas freáticas

- Condiciones de presión de agua
- Propiedades mecánicas
- Previsión contra dificultades constructivas
(cavernas, huecos o grietas)

Los principales tipos de sondeo que se utilizan para el muestreo de suelos, o rocas y pruebas que se realizan antes de la inyección son las siguientes:

Métodos indirectos para suelos y rocas

- Método sísmico
- Método de resistividad eléctrica

En suelos

- Pozos profundos a cielo abierto
- Penetración estándar
- Tubo de pared delgada Shelby
- Barril tipo Danison

En rocas

- Barril sencillo
- Barril doble
- Barril doble de tubo giratorio
- Barril Wire Line
- Pozos a cielo abierto, trincheras y socavones

Pruebas de laboratorio

- Granulometría

Pruebas de campo (permeabilidad)

- Prueba Lefranc
- Prueba Lugeon

La obtención de muestras representativas alteradas e inalteradas de un sitio, permiten definir su estratigrafía y determinar en el laboratorio sus propiedades índice. Las pruebas de campo son aquellas que se realizan "in situ" para determinar directamente alguna propiedad del suelo.

Los métodos de exploración directa permiten obtener muestras de suelo que se someten a pruebas de laboratorio. - Las muestras alteradas son aquellas cuyo acomodo estructural está afectado en forma significativa por el muestreo, sirven para determinar propiedades índice y para preparar especímenes compactados para las pruebas de permeabilidad y mecánicas.

Las muestras inalteradas son aquellas cuyo acomodo estructural no está afectado, y tiene el mismo contenido de agua que en el sitio.

1.1 METODO SISMICO

Este método se base en medir las velocidades de propagación de las ondas en los diferentes medios del lugar, -- provocando artificialmente perturbaciones dinámicas en un -- punto de suelo que dan origen a ondas longitudinales y transversales, que permiten deducir por el estudio de las reflexiones y refracciones, profundidades, espesores de las capas y - calidad de los materiales. Este método consiste en medir el - tiempo requerido para que las ondas longitudinales viajen -- del punto donde se generan a los detectores o geófonos colocados en línea que captan la señal de llegada y que a su vez

la envían a un aparato registrador.

El equipo necesario para el desarrollo de este método consta de tres partes básicas:

- 1.- El mecanismo generador de la onda
- 2.- El conjunto de geófonos
- 3.- El aparato registrador

La generación de las ondas se provocan mediante un martillo pesado que golpea una placa asentada a la superficie, este tipo de ondas generadas se usa para estudios de poca profundidad.

Para estudios de mayor profundidad se genera una explosión con una pequeña carga de dinamita con detonador instantáneo.

Los geófonos son dispositivos electromagnéticos que captan las oscilaciones del suelo y las transforman en señales eléctricas.

El aparato registrador es un oscilógrafo cuyos elementos sensibles son pequeños galvanómetros que vibran al recibir la señal de los geófonos. Los galvanómetros llevan adheridos pequeños espejos, en los que inciden rayos de una fuente luminosa fina y los refleja a papel fotosensible para registrar el arribo de las ondas.

Los geófonos se hincan en el suelo a lo largo de una línea, se colocan equidistantes entre sí no a menos de dos metros y distancias mayores menores de 20 metros (FIG. 1.1).

METODO DE RESISTIVIDAD ELECTRICA

Este método se basa en la mayor o menor resistividad

eléctrica de los suelos, que depende de su naturaleza. La resistencia se mide colocando los electrodos igualmente espaciados en la superficie y alineados. El número de electrodos es de cuatro, los exteriores van conectados en serie a una batería y los interiores miden la diferencia de potencial de la corriente, estos electrodos son simples varillas metálicas con punta afilada.

En cuanto a valores de resistividad los mayores corresponden a rocas duras, siguiendo rocas suaves, gravas compactas, etc. y los menores a suelos suaves saturados.

(FIG. 1.2).

1.3 POZOS PROFUNDOS A CIELO ABIERTO

Los objetivos del pozo profundo a cielo abierto son el de observar directamente las características estratigráficas del subsuelo, obteniendo muestras alteradas o inalteradas de los estratos representativos. Esta técnica de exploración y muestreo es particularmente recomendable en suelos secos y duros, aunque también se puede realizar en suelos blandos y con nivel freático, tomando en cuenta las recomendaciones necesarias en los sistemas de bombeo.

El pozo a cielo abierto se realiza con herramienta manual, el equipo estará integrado por herramientas menores (picos, palas, botes, etc.); además, si el nivel freático está a una profundidad menor que la que se desee explorar con este método y cuyas filtraciones deban controlarse adecuadamente para permitir que la excavación se desarrolle en seco, se de-

MECANISMO GENERADOR

DE LA ONDA

APARATO REGISTRADOR

GEOFONOS

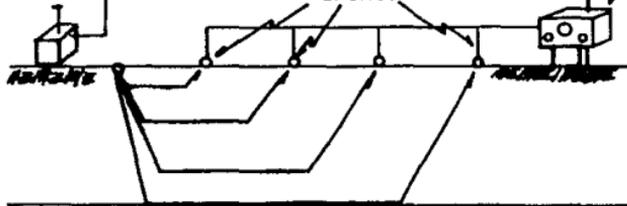


FIG 1.1 METODO SISMICO

MILIAMPERIMETRO (I)

BATERIA

CARRETE

POTENCIOMETRO (V)

ELECTRODO DE
CORRIENTE

ELECTRODO DE
POTENCIAL

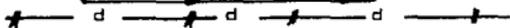


FIG 1.2 METODO DE RESISTIVIDAD ELECTRICA

berán instalar drenes horizontales en los puntos con mayor -
aportación de agua, los drenes serán tubos ranurados metáli--
cos o de PVC y se instalarán a presión o a impacto, dependien-
do de la compacidad del estrato. El pozo puede excavar-se en -
sección cuadrada o circular, siendo la más usual la cuadrada.
La forma de soportar la excavación será mediante tablonas y
marcos estructurales.

1.4 METODO DE PENETRACION ESTANDAR

Los objetivos de la penetración estándar es estimar -
indirectamente la resistencia del suelo mediante el número -
de golpes necesarios para hincar el penetrómetro estándar, y
obtener muestras alteradas para identificar los suelos del -
sitio. Con estas pruebas se pueden conocer las condiciones --
estratigráficas del sitio. Las muestras alteradas recuperadas
únicamente sirven para determinar las propiedades índice, las-
cuales nos dan a conocer el contenido natural de agua y los
límites de consistencia. La estimación de la resistencia al -
corte, mediante el número de golpes, es poco confiable cuando
se trata de suelos blandos.

El penetrómetro estándar es un tubo, que se hince a -
percusión y consiste en un tubo de pared gruesa, partido lon-
gitudinalmente para la extracción de la muestra que haya pe-
netrado en el interior. El penetrómetro se enrosca al extremo
de la tubería de perforación, ésta cuenta con una zapata de -
acero endurecida y una cabeza que lo une al extremo inferior
de la columna de barras con que se hince, eventualmente se u-

utiliza una trampa de paso para recoger muestras. El equipo inicial para el hincado consiste en una masa golpeadora de 63 (± 1) kilogramos con caída libre de 76 centímetros y que es guiada por la misma tubería de perforación y es elevada mediante una polea que está sujeta a un tripode, esta masa impacta con una pieza llamada yunque, a la zapata antes mencionada (FIG. 1.4).

Las muestras deben conservarse en frascos o en bolsas herméticas que mantengan constante el contenido de agua. Las muestras rescatadas con el penetrómetro siempre sufren distorsiones geométricas que alteran el acomodo estructural de sus partículas y por ésto, sólo pueden servir para identificar los suelos.

Este método se puede utilizar en cualquier tipo de suelo, desde suelos finos hasta arenas, tanto arriba como abajo del nivel freático. También se puede utilizar en suelos con gravas aisladas.

Este procedimiento no se debe utilizar cuando el contenido de gravas es alto, existen boleos o fragmentos de roca. Además de la muestra obtenida, se puede conocer la compacidad de los mantos, la cual va a estar en relación con el número de golpes (TABLA A)

No DE GOLPES	COMPACIDAD RELATIVA
0 - 4	muy suelta
4 - 10	suelta
10 - 30	media
30 - 50	densa
50	muy densa

TABLA A.-Relación del número de golpes con la compacidad relativa.

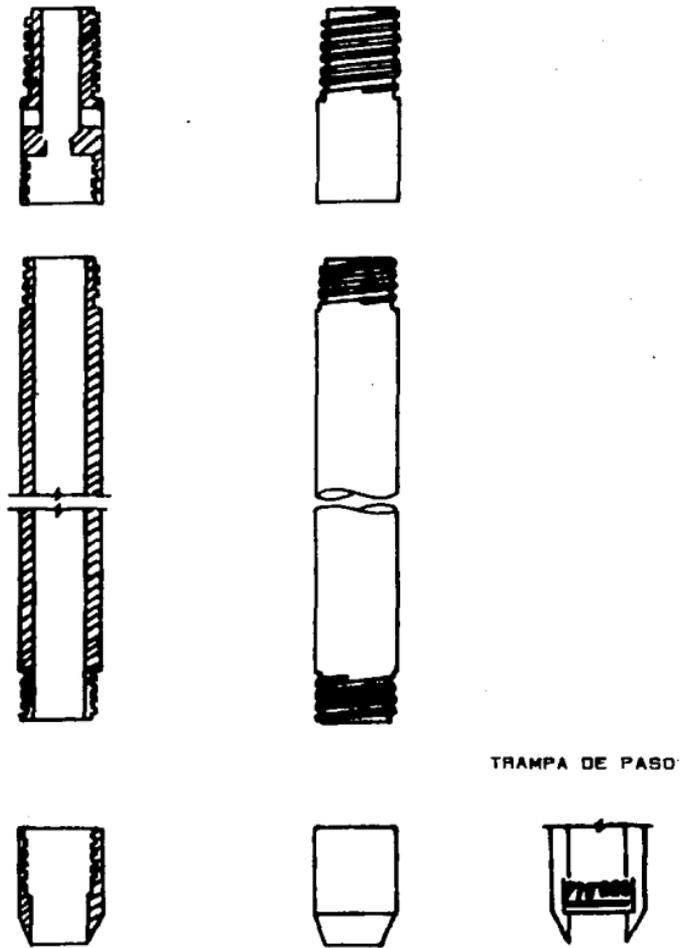


FIG 1.4 PENETROMETRO ESTANDAR

1.5 TUBO DE PARED DELGADA (SHELBY)

El muestreo con tubo de pared delgada permite obtener muestras del subsuelo relativamente inalteradas. Para fines prácticos, esta técnica debe aplicarse selectivamente para suministrar al laboratorio especímenes, en los que se determinen las características de resistencia y compresibilidad que se requieren para el diseño.

Está constituido por un tubo de acero de latón, con el extremo inferior afilado que se encuentra por la parte superior con la cabeza muestreadora. Esta a su vez se encuentra al final de la columna de barras de perforación con las que se empuja el muestreador desde la superficie.

este muestreador presenta dos tipos de unión entre el tubo y la cabeza: el primero es mediante tres tornillos -- ellem y el segundo con cuerda, este último ha sido el más con fiable para trabajar en suelos duros. La cabeza tiene perfora ciones laterales y una válvula esférica de pie que abre du-- rante la etapa de muestreo, para permitir el alivio de la pre sión interior del tubo y, posteriormente, se cierra para pro teger a la muestra de las presiones hidrodinámicas.

Los cuidados que se deben tener con este muestreador es el de pintarlo para reducir la corrosión de la lámina, el cual induce cambios fisicoquímicos al suelo muestreado; el otro, es el procedimiento de afilado que debe de ser lo sufi cientemente preciso para que se obtengan tubos con las dimen siones especificadas; el más sencillo consiste en afilar primero el tubo en un torno y después en un bloque de moldeo -- darle forma.

Este muestreador se hince a una velocidad constante entre 15 y 30 cm/min., se debe dejar una longitud 15 cm. menor a la del tubo, para dejar espacio donde alojar los azolves que pudieran haber quedado dentro del tubo mismo. Después de hincado se deja medio minuto en reposo para que la muestra se expanda en su interior y aumente su adherencia; en seguida se corta la base de la muestra girando dos vueltas el muestreador y se procede a sacarlo al exterior (FIG. 1.5).

1.6 BARRIL TIPO DENISON

Este consta de dos tubos concéntricos montados en una cabeza con baleros; el tubo exterior gira para cortar el suelo mientras que el interior permanece inmóvil y, por presión, toma la muestra, durante el muestreo se inyecta agua o lodo que circula entre los dos tubos, enfriando así la broca y arrastrando al exterior el material cortado.

El barril Denison puede muestrear los suelos en los que el tubo Shelby no puede penetrar, como el caso de las arcillas duras, limos compactos o cementados con pocas gravas. Abajo del nivel freático se puede utilizar agua o lodo como fluido de perforación, arriba del nivel freático es necesario utilizar lodos para disminuir la contaminación que provoca el agua. La broca de corte es una pieza de acero con pestillos de carburo de tungsteno en las partes de mayor desgaste; básicamente puede cortar en toda el área simultáneamente o en escalones para disminuir las vibraciones.

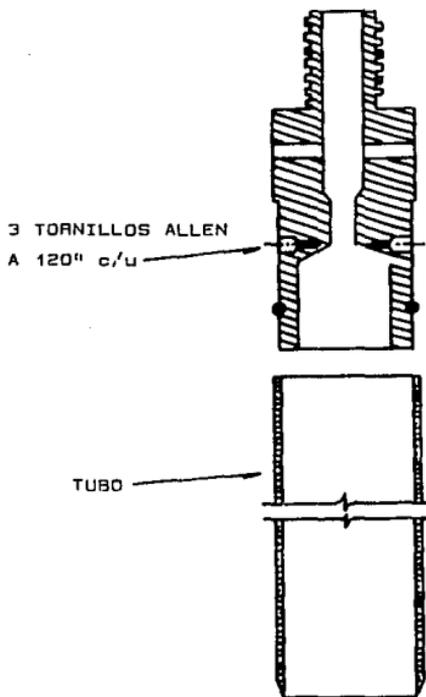


FIG 1.5 TUBO DE PARED DELGADA SHELBY

Para realizar el muestreo en roca, se hace por medio de los llamados barriles muestreadores, éstos son tubos que - llevan en su extremo inferior una broca de insertos de carburo de tungsteno o de diamantes industriales, que por rotación cortan la muestra de la roca; ésta queda alojada en el tubo que soporta a la broca o en un tubo interior protector, éste va en relación con el tipo de barril de que se trate.

A continuación se describen brevemente los barriles usuales para la exploración.

1.7 BARRIL SENCILLO

Es el más rudimentario y el más barato de los muestreadores. Es útil en los trabajos de inyección, cuando solo importa el barrenado producido. Para muestreo tiene el inconveniente de que el fluido de perforación esté en contacto directo con la muestra. (FIG 1.7).

1.8 BARRIL DOBLE

En este tipo, el tubo interior está rígidamente unido a la cabeza del muestreador de tal forma que gira junto con el tubo exterior tiene la desventaja de que el núcleo queda todavía sujeto a la fricción de las paredes interiores del tubo y por ello recupera muestras de buena calidad solamente en formaciones muy duras (FIG. 1.8)

1.9 BARRIL DOBLE DE TUBO GIRATORIO

Es parecido al anterior, pero el mecanismo de éste, - permite al tubo interior permanecer estático eliminando así los esfuerzos de torsión, que se presentan en los anteriores. (FIG. 1.9).

1.10 BARRIL WIRE LINE

Este utiliza un anillo centrador que permite la perforación en cualquier ángulo hasta en el horizontal, evitando la desviación del tubo interior por efecto de gravedad, y un sistema de seguros que permiten la extracción del muestreador desde la superficie mediante un pescador unido a un cable de acero. Con este se logra una mayor velocidad de perforación y mejor estado de las paredes del pozo, así como en la recuperación de la muestra. Este tipo de barril se recomienda para perforaciones mayores de 50 metros de profundidad. (FIG. 1.10)

1.11 POZOS A CIELO ABIERTO TRINCHERAS Y SOCAVONES

Son métodos de exploración que mediante la excavación ya sea con herramientas manuales, equipo neumático, cortadores o explosivos, permiten contar con una exposición de las rocas en sitios donde naturalmente no existen, permitiendo un



FIG. 1.7 BARRIL SENCILLO

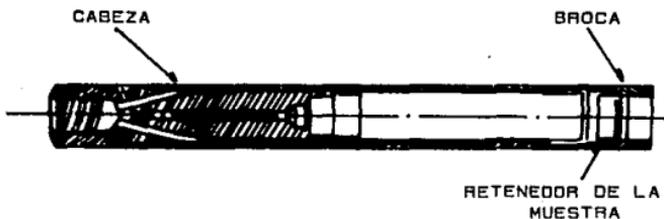


FIG. 1.8 BARRIL DOBLE

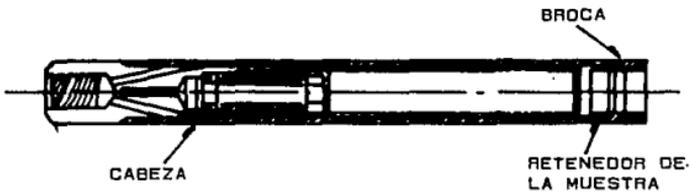


FIG. 1.9 BARRIL DOBLE DE TUBO GIRATORIO

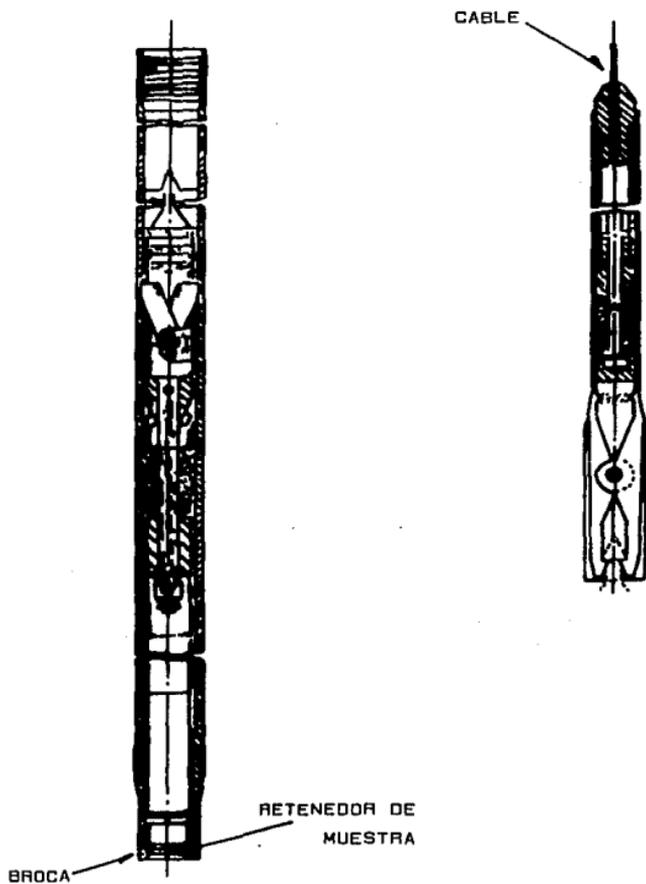


FIG. 1.10 BARRIL WIRE LINE

estudio directo y visual de las condiciones geológicas del -
subsuelo.

Para determinar la calidad de la roca se puede hacer
mediante dos formas que son las siguientes:

1.- Por medio del índice de calidad de la roca (RQD)

En donde éste se define como el porcentaje de nú-
cleos que se recuperan en piezas enteras de 10 cm o
más, del largo total del barrenado, por lo tanto:

$$RQD (\%) = \frac{\text{Long. de los núcleos mayores de 10 cm}}{\text{Largo del barrenado}} \times 100$$

Este normalmente es aceptado cuando se establece en
núcleos de cuando menos 5 cm de diámetro, recuperados con u-
na perforadora de berril doble. El valor de RQD se va a dar -
para cada tramo perforado.

La relación entre el valor de RQD y la calidad de la
roca es la siguiente:

RQD (%)	CALIDAD DE LA ROCA
25	muy mala
25-50	mala
50-75	regular
75-90	buena
90-100	muy buena

2.-Otro medio para establecer la calidad de la roca es por medio de la observación en el sitio con ayuda de la siguiente tabla en donde se determina el espaciamiento entre fisuras, ésta la propuso Deere.

DESCRIPCION	ESPARCIAMIENTO DE LAS FISURAS	APRECIACION DE LA ROCA
muy separado	3 m	sólida
separado	1 m a 3 m	masiva
medianamente cerca	0.3m a 1 m	bloques junteados
cerca	.05m a .3m	fracturada
muy cerca	.05m ..	triturada o molida

1.12 PRUEBA DE GRANULOMETRIA

Este análisis tiene el propósito de determinar lo referente a las formas y distribución de tamaños de las partículas de un suelo, éste estudio se realiza por medio de mallas de diferentes aberturas y su clasificación se puede hacer por medio del SUCS.

La clasificación de las mallas atendiendo a su abertura son:

MALLA No.	ABERTURA (MM)
3"	76.20
2"	50.80
1 1/2"	38.10

1"	25.40
3/4"	19.05
1/2"	12.70
3/8"	9.52
No 4	4.76
No 10	2.00
No 20	0.84
No 40	0.42
No 60	0.25
No 100	0.149
No 200	0.074

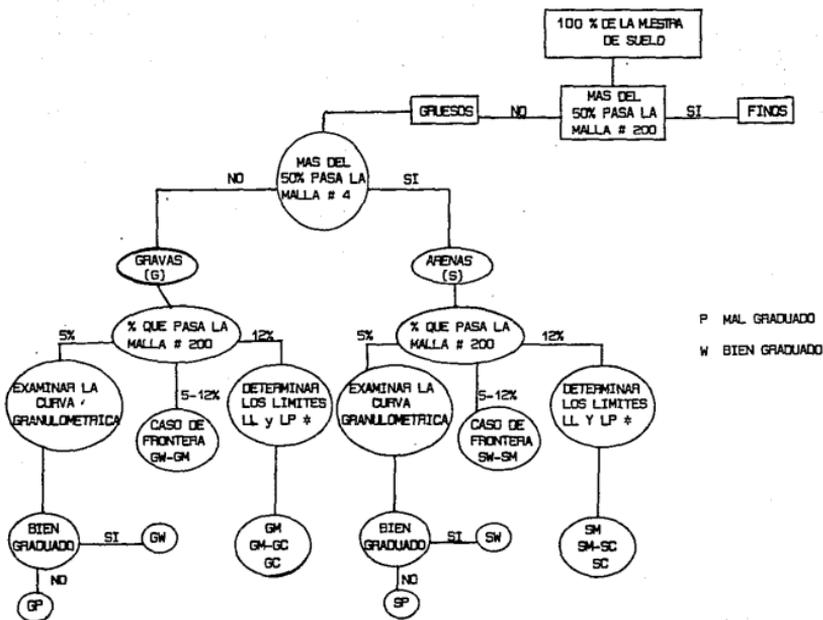
Todo el material retenido en la malla de 3" se considera ya una roca y todo el material que pasa la malla 200 se considera fino. (FIG. 1.11)

En el diagrama se muestra la forma en como por medio del SUCS se clasifica un suelo, esta clasificación va a estar de acuerdo a los porcentajes de material que pasan por las mallas.

Los límites líquido (LL) y plástico (LP) son límites de consistencia del suelo que se les practican a los suelos finos en donde se definen sus propiedades; pero para efectos de trabajos de inyección lo que más importa es su granulometría.

La curva granulométrica se dibuja en papel semi logarítmico, colocando en las abscisas el diámetro y en las ordenadas el porcentaje acumulado que pasa.

Mediante la gráfica se obtienen los parámetros D_{10} ,



P MAL GRADUADO
W BIEN GRADUADO

* ANALISIS POSTERIOR

CLASIFICACION DE SUELOS POR MEDIO DEL ANALISIS GRANULOMETRICO

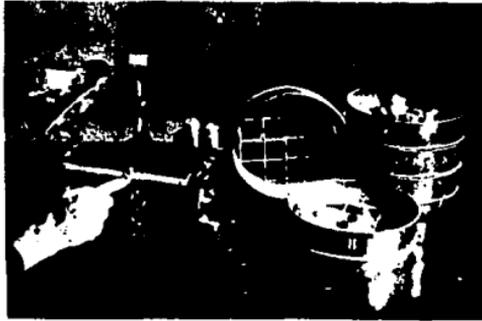


FIG. 1.12 ANALISIS GRANULOMETRICO



D_{30} , D_{60} , los cuales son necesarios para calcular los coeficientes de uniformidad y curvatura que se definen como:

Coeficiente de uniformidad.-

Representa la extensión de la curva granulométrica - esto es que a mayor extensión de la curva se tendrá una mayor variedad de tamaños lo que es propio de un suelo bien -- graduado. Su expresión es:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Para arenas bien graduadas estos valores son mayores de 6 y en gravas mayores de 4.

Coeficiente de curvatura.-

Este trata de indicarnos una curva granulométrica - sin escalones, su expresión es:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} D_{60}}$$

Este coeficiente en arenas bien graduadas se encuentra entre 1 y 3 y en gravas corresponde el mismo límite.

Con este tipo de clasificación, se indican los límites entre los diferentes suelos, se tiene así que la malla No 4 retiene el material que corresponde a las gravas, el material que pasa por esta malla y es retenido en la malla 200, es el que corresponde a las arenas y el material que pasa la

malla 200 es el material que corresponde a los Finos.

Otro tipo de pruebas también tienen importancia en este tratamiento de inyecciones, las cuales son las de permeabilidad en donde destacan por su importancia la prueba Lefranc y la Lugeon.

1.13 PRUEBA LEFRANC

Esta se realiza en materiales granulares, sueltos o poco cohesivos, para los cuales el sondeo deberá de estar ademado con tubo hasta el extremo superior del tramo de prueba, el propósito de este adema es aislar de la columna abierta el tramo por probar; el objetivo de esta prueba es determinar un coeficiente de permeabilidad promedio del estrato.

Consiste en inyectar agua en una cavidad de forma geométrica definida, puede ser efectuada mediante dos tipos de ensayos, que a su vez se dividen en:

1.-Ensayo a Flujo variable.

- a) Flujo variable con descenso del agua dentro de la perforación.
- b) Flujo variable con ascenso de agua dentro de la perforación.

2.-Ensayo a Flujo constante.

- a) Flujo constante por inyección de un gasto, para aplicar cargas constantes.
- b) Flujo constante con extracción de un gasto también para aplicar cargas constantes.

En estas pruebas las cargas máximas aplicables nunca son mayores a una columna de 10 metros de agua (1 kg/cm^2). - Las mediciones de los niveles de agua se efectúan por medio de una sonda eléctrica que se hace llegar a ellos a través de un tubo de PVC que sirve de protección para evitar que la sonda funcione al contacto con agua ajena a la prueba.

(FIG. 1.13).

1a) Flujo variable con descenso del agua dentro de la perforación.

Antes de la realización de esta prueba es necesario determinar el tiempo en que la columna de agua se abate hasta el nivel freático, esto se logra localizando antes el nivel freático.

Una vez determinado el tiempo de abatimiento se inicia la prueba registrando con la sonda eléctrica el nivel de agua para cada observación, de acuerdo al tiempo previsto; es conveniente efectuar como mínimo cinco observaciones para que las velocidades de abatimiento y carga puedan ser graficadas.

Si los puntos quedan alineados en una recta trazada desde el origen se trata de un flujo laminar.

1b) Flujo variable con ascenso del agua dentro de la perforación.

Para esta prueba es necesario que exista un manto freático, el cual se abatirá por medio de la expulsión de agua (bombeo) y se procede a observar la velocidad de recuperación del manto freático. En esta prueba el flujo también

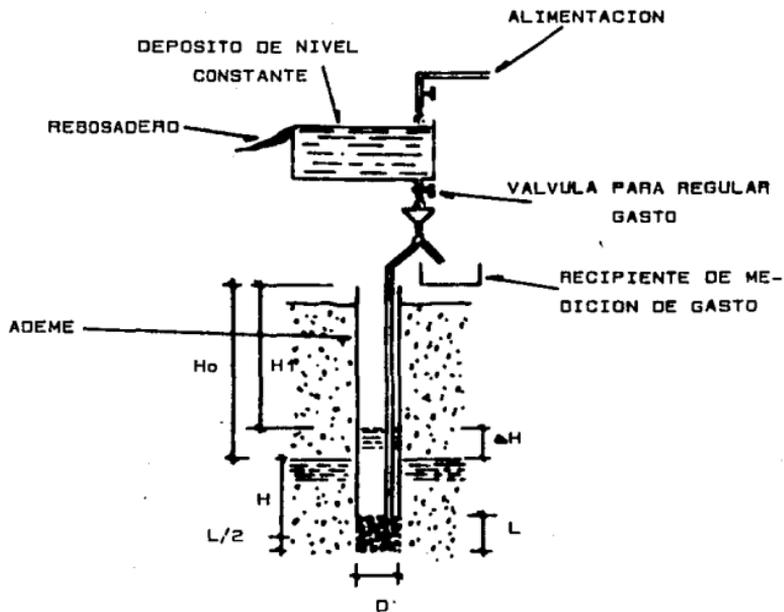


FIG. 1.3 PRUEBA LEFRANC

debe de ser laminar.

El cálculo de la permeabilidad por los métodos de --
carga variable esta dada por:

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

2a) Flujo constante con inyección de agua

Esta consiste en verter agua dentro del pozo a un --
caudal constante y registrar con sonda eléctrica la altura a
la que se establece el nivel del agua. En esta operación se --
inicia con gastos reducidos y se van aumentando.

2b) Flujo constante con extracción de agua por bombeo

Para realizar esta prueba es necesario la existencia
de nivel freático. El ensayo se inicia extrayendo por bombeo
el agua de la perforación y calibrando la velocidad de la --
bomba hasta que el nivel se estabilice dentro del pozo, pro--
curando que sea a más de 10 metros por abajo de la profundi--
dad del manto freático. En estas condiciones se empieza a --
contar el tiempo de la prueba, comprobando con la sonda eléc--
trica que el nivel establecido no varíe; terminado el tiempo
de observación, se mide la lectura del volumen bombeado y pa--
ra el cálculo de la permeabilidad se utiliza la siguiente --
expresión:

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

En ambas fórmulas las constantes son:

K = Coeficiente de permeabilidad en m/seg

A = Area efectiva de la sección en m²

H1 = Carga en el instante T1 en m

H2 = Carga en el instante T2 en m

T1 y T2 = Tiempos correspondientes a las lecturas

H1 Y H2 en seg.

Q = Gasto en m³/seg

H = Carga en m

C = Coeficiente de forma (TABLA B)

TABLA B VALORES DEL COEFICIENTE DE FORMA

RELACION L/D	PERMEABILIDAD LOCAL	COEFICIENTE C
	VERTICAL	20
$0 < L/D < 1$	PROMEDIO	$2\pi D \sqrt{L/D + 1/4}$
$1 < L/D < 4$	HORIZONTAL	$\frac{2\pi L}{\log_e (L/D + (L^2/D^2 + 1)^{1/2})}$
> 4		$\frac{2\pi L}{\log_e (2L/D)}$

1.14 PRUEBA LUGEON

Esta prueba se lleva a cabo en rocas masivas fracturadas con ayuda de un obturador, la longitud del tramo por probar nunca deberá ser mayor de 5 metros, esto porque a mayores longitudes la permeabilidad es menos representativa; el método consiste en medir el gasto de agua en litros por minuto y por metro lineal de perforación, que absorbe la roca bajo una presión de 10 kg/cm^2 .

Una vez alcanzada la profundidad de la prueba, se lava el barrenado; hecho esto, se introduce el obturador que es conducido por medio de la tubería de inyección, sellando la parte superior del tramo a probar; se instala un manómetro en el extremo superior de la tubería de inyección y en el medidor de agua en el tanque, la bomba deberá ser de tipo continuo y capaz de suministrar un gasto de 250 a 300 lt/min a una presión de 10 kg/cm^2 .

Cuando se inicia la inyección, se sostiene durante 1 minuto, se eleva la presión a 10 kg/cm^2 y a continuación se le aplican presiones descendentes para determinar las variaciones de gasto contra presión para interpretar el comportamiento de la roca.

CAPITULO II.- MEZCLAS DE INYECCION

2.1 Propiedades de las mezclas

2.2 Características de las mezclas

2.3 Mezclas estables

2.4 Mezclas inestables

2.5 Mezclas con productos químicos

Los productos que son utilizados en las inyecciones tienen como función la obturación de fisuras, cavidades o intersticios del medio tratado con el objetivo de aumentar la resistencia mecánica de éste, asegurar el estancamiento, así como un medio de liga entre el suelo y la estructura.

El producto que sea utilizado en la inyección, debe tener la capacidad de adquirir una forma sólida en su estado final y ser de buena resistencia mecánica o de una forma -- viscosa, pero a la vez rígida, para que no sufra desplazamiento al ser sometido a diferentes presiones.

La elección de los materiales a inyectar va a depender de las características con que cuente el medio a tratar y de las finalidades que se persigan; esta elección se realiza de acuerdo con la separación de grietas o fisuras, separaciones intersticiales, permeabilidad y granulometría del medio.

2.1 PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS

En general las mezclas deben de cumplir con las siguientes propiedades:

- Viscosidad
- Decantación
- Exprimido
- Tixotropía y reopexia

- Viscosidad

Esta se define como la resistencia que adquiere la mezcla o producto a fluir; la medición de la viscosidad se puede obtener por el método del cono de Marsh.

El método del cono de Marsh es el más sencillo para obtener la viscosidad de la mezcla o producto, éste cuenta con un orificio inferior que se tapa mientras se llena el embudo a través de una malla, el llenado se realiza hasta la marca graduada en donde marca la capacidad de un litro y la medición se hace de acuerdo al tiempo que tarda en salir la mezcla del cono en segundos.

La viscosidad o fluidez adecuada de las lechadas de inyección, medidas en el cono de Marsh, varía entre 32 y 40 segundos, siendo éste el rango más recomendado para la inyección.

- Decantación

Es la propiedad que tienen las mezclas o productos de formar una lámina de agua sobre éstas, después de la sedimentación de sus partículas sólidas.

Esta separación de fases se presenta sobre todo en fisuras y cavidades de tamaño considerable. Este proceso que sufre la lechada antes de fraguar, produce una disminución del contenido de agua de la fase sólida y un aumento de su resistencia.

- Exprimido

Es la separación del agua de una mezcla que se filtra a través del medio poroso y que se origina cuando se somete a la presión de inyección. El aparato empleado para medir el volumen de agua de la mezcla que se filtra en el medio es la filtro-prensa. Este ensayo se realiza bajo una presión constante, en donde la mezcla es presionada contra el filtro que actúa como suelo. A la mezcla se le mide el contenido de agua antes y después de la prueba.

- Tixotropía y reopexia

La tixotropía es un fenómeno que aparece en ciertas mezclas, éste consiste en el aumento de la viscosidad al disminuir la velocidad de circulación del fluido; y el fenómeno inverso es la reopexia, donde la viscosidad disminuye cuando se incrementa la velocidad.

La tixotropía es la más importante, ya que permite que a velocidades altas la lechada penetra y que finalmente al disminuir la velocidad adquiere una viscosidad suficiente para evitar la decantación de la mezcla.

La reopexia por su parte puede provocar obstrucciones en la tubería durante la inyección.

Esta propiedad se puede medir mediante el viscosímetro de cilindros coaxiales; éste consta de dos cilindros de altura "h"; el interior de radio "r" cuelga de un cable de torsión; el exterior es móvil alrededor de su eje longitudinal y su radio es "R". El momento "Mo" aplicado al cilindro interior se mide por medio del cable de torsión que se encuentra conectado a un medidor de torque* y la viscosidad "μ" que puede estimarse aplicando las siguientes expresiones:

Para un líquido Newtoniano

$$\omega = \frac{M_o}{4gh\mu} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right)$$

Para un fluido de Bingham

$$\omega = \frac{M_o}{4gh\mu} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) - \frac{TF}{\mu} \log \frac{R}{r}$$

Donde:

ω Velocidad angular del cilindro exterior

TF límite de fluencia

Conociendo las dimensiones del aparato, la velocidad angular "ω" y el momento "Mo" se obtiene "μ".

* El medidor de torque es conocido como torquímetro y este nos mide el momento ejercido para hacer girar o apretar algo. Sus unidades son peso-longitud (kg-m, lb-pulg, etc).

Para poder determinar la cantidad de agua que puede perder una mezcla, se utilizan los estudios de laboratorio --- siendo estos principalmente la permeabilidad y el contenido de agua del suelo; con esto se puede determinar la penetración del mortero de acuerdo a la cantidad de agua que puede perder durante el inyectado o el fraguado de la mezcla.

2.2 CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS

Además de las propiedades que deben cumplir las mezclas, éstas deben de tener las siguientes características:

- La mezcla debe de ser capaz de modificar las propiedades del suelo como se desea, usualmente en el incremento de la resistencia y disminución de la permeabilidad. Las mejoras temporales pueden ser suficientes durante la construcción, pero generalmente se buscan efectos permanentes.

- La mezcla debe de ser capaz de penetrar el medio por tratar, teniendo una granulometría suficientemente fina.

- Es conveniente que la lechada tenga viscosidad baja para obtener la mejor penetración y facilitar el bombeo. La viscosidad debe permanecer uniforme hasta ocurrir la reacción estabilizadora.

- La lechada debe de ser relativamente insensible a las impurezas del agua o del suelo.
- El proceso debe de ser irreversible.
- Las mejoras que se obtengan en las propiedades de un suelo no deben de disminuir con el tiempo.
- Los productos químicos no deben ser corrosivos al equipo, tóxicos ni explosivos.
- los materiales y métodos deben de ser los suficientemente económicos para justificar el uso de la mezcla en sustitución de otros posibles medios para obtener resultados equivalentes.
- Que sean altamente fluidas para que puedan inyectarse bajo presión proporcionada por una bomba.

Entre los materiales que son empleados para fabricar mezclas de inyección, los más comunes son los siguientes:

- Cemento
- Arcilla
- Bentonita
- Arena
- Bitúmenes
- Sílice
- Aserrín
- Paja

Generalmente las mezclas se clasifican dentro de tres grupos que son:

- Mezclas estables
- Mezclas inestables
- Mezclas químicas

2.3 MEZCLAS ESTABLES

Se clasifican como aquellas mezclas que tienen menos del 5% de decantación. En este tipo de mezclas existe una extensa gama de combinaciones de productos, todos éstos forman una serie de suspensiones de agua de granos suficientemente pequeños, entre los más utilizados son los siguientes:

Mezclas de cemento-bentonita

Estas se emplean en donde circulan fuertes corrientes de agua, esto debido a que la bentonita absorbe varias veces su peso en agua; cuando se trata de rellenar fisuras u oquedades muy grandes se le proporciona arena.

La adición de la bentonita (cuando se tiene una bentonita con un límite líquido del orden de 400 a 500 %) puede ser muy pequeña, del orden de 2 a 4 %, ya que esto ayuda en la disminución de la decantación, sin reducir la resistencia de la mezcla.

La resistencia de la mezcla al igual que en un concre

to, va a depender de la relación agua-cemento, siendo que la influencia de la bentonita puede ser notable y favorable cuando la dosificación de cemento es baja.

Mezclas de arcilla

Existen suspensiones de arcilla en donde el agua es adicionada con productos químicos. Este tipo de mezcla se utiliza para resistir presiones provocadas por el agua al tratar de fluir, este tipo de mezclas no tiene mucha resistencia mecánica y por esta razón no se emplean para aumentar la capacidad de carga.

Otra manera de utilizar la arcilla es hacer una mezcla de cemento-arcilla-arena o cemento-arcilla, con la primera se logra un resultado satisfactorio ya que se obtiene una cierta resistencia mecánica y con la segunda se logra una buena impermeabilización.

Este tipo de mezcla se puede utilizar de dos maneras: la primera, cuando se le agregan cloruros, nitratos, fosfatos y la segunda, cuando se elimina la tixotropia, agregándole mayor cantidad de cemento para que poco a poco se convierta en sólido.

2.4 MEZCLAS INESTABLES

Estas mezclas se caracterizan porque sus partículas sólidas en suspensión tienden a sedimentarse cuando deja de

ser agitada o su movimiento es detenido; la mezcla típica de éstas es la de agua-cemento. Este tipo de mezcla es utilizada en el tratamiento de macizos fisurados, siendo el principal problema que se tiene con este tipo de mezcla, la decantación.

La sedimentación se puede interrumpir mediante la agitación; esto es, que la mezcla se encuentre en agitación mientras se está llevando a cabo la inyección. Otra solución es acelerar el fraguado de la mezcla, pero esto trae como consecuencia que el proceso de inyectado debe de hacerse con cierta rapidez antes de que la mezcla frague. Existen ocasiones en que este tipo de mezcla va acompañado de arena fina.

2.5 MEZCLAS DE PRODUCTOS QUIMICOS

Este tipo de productos se utilizan para inyectar los diferentes medios como son rocas con fisuras muy pequeñas o suelos con espacios intergranulares muy reducidos, por esta razón es necesario utilizar en la mezcla productos que sufren gelificación (al fraguar forman un gel). Entre estos productos se encuentran los siguientes:

Resinas orgánicas

Estas sustancias tienen una viscosidad igual a 1.5 ó 2 veces la del agua, para que estas resinas puedan utilizarse como lechada, es necesario que puedan polimerizarse (unión de partículas pequeñas para formar sólo una), a la temperatura ordinaria y en presencia del agua, actualmente se limita a uti

lizar los siguientes productos:

- AMS (acrilamida)
- Resina formol
- Betún

AMS

Se obtiene de la hidratación del ácido cianhídrico. - Este es un producto casi elástico pero con el tiempo gelifica y se convierte en un sólido más o menos resistente. Se emplea en concentraciones del 3 al 10 % y con esto alcanza una viscosidad de 3 a 4 centipoises. Otra ventaja que se tiene con este tipo de mezclas es que su viscosidad se mantiene constante hasta el momento de su gelificación. Este producto se emplea diluyéndolo en agua y su fraguado es regulable, dependiendo de la concentración de AMS.

Resina formol

Tiene la particularidad de endurecerse al combinarse con el agua en disolución aunque la presencia de ésta sea muy abundante; este producto proporciona una viscosidad al mortero de unos 3 centipoises, que se mantiene constante hasta el fraguado.

Betún (asfalto)

Es un fluido de consistencia suficientemente blanda - y su única aplicación es la de impermeabilizar. Este tipo de -

materiales no aumenta la cohesión del terreno, ya que el betón conserva su plasticidad con el tiempo. Para inyectar este producto es necesario que sea en una emulsión y en caliente.

A las mezclas inestables y estables se les conoce también como mezclas Binomiales y a las químicas como Newtonias.

Las mezclas Binomiales presentan aparte de su viscosidad una rigidez propia, lo que significa que para ser movidas se requiere de una presión; las mezclas Newtonias presentan solamente una viscosidad sin rigidez.

En el cuadro II.1 se da el tipo de mezclas más utilizadas en las inyecciones, en función del tipo de suelo o roca y de la permeabilidad de éstos, así como la resistencia a la compresión simple que adquieran.

En el cuadro II.2 se muestra la decantación y la resistencia a la compresión de mortero cemento-agua con adición de bentonita.

En base a la experiencia obtenida y a los estudios realizados en campo, se cuenta con algunas gráficas, con las cuales es posible seleccionar la mezcla a emplear para la inyección; para utilizar estas gráficas es recomendable y necesario reproducir en el laboratorio la granulometría en particular de los suelos.

Normalmente dichos procesos no son una reproducción fiel del terreno por inyectar; pero sí nos dan los parámetros

TIPO DE MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION	CAMPO DE UTILIZACION
SUSPENSION CEMENTO- AGUA-ARENA	COMPARABLE AL CONCRETO	FIGURAS DE MACIZOS ROCOSOS
CEMENTO-ARCILLA-ARENA	1 a 50 KG/CM ²	FIGURAS ANCHAS
BENTONITA	10 a 20 GR/CM ²	10 ⁻³ M/S
AMS, RESINA, FORMOL	10 a 100 KG/CM ²	PARA INYECCIONES - CORRIENTES 10 ⁻⁵
BETUN CALIENTE	LIQUIDO MUY VISCOSO	CIRCULACION DE AGUA IMPORTANTE

CUADRO II.1 MEZCLAS MAS UTILIZADAS

Mortero con el 2% de bentonita

c/a	DECANTACION %	RESISTENCIA A LA COMPRESION	
		EN 7 DIAS	EN 28 DIAS
		KG/CM ²	KG/CM ²
1	7.0	30	54
1,1	4.0	36	78
1,2	2.5	30	78
1,3	1.5	49	83
1,4	0.0	63	102
1,5	0.0	63	128
1,7	0.0	101	175

Mortero con el 4% de bentonita

c/a	DECANTACION %	RESISTENCIA A LA COMPRESION	
		EN 7 DIAS	EN 28 DIAS
		KG/CM ²	KG/CM ²
1	0.0	26	53
1,1	0.0	39	78
1,2	0.0	39	73
1,3	0.0	68	104
1,5	0.0	72	143
1,7	0.0	124	200

CUADRO II.2 MORTERO CEMENTO-ARENA CON BENTONITA

requeridos para estimar la mezcla, auxiliándonos de las gráficas II.3 y II.4.

Para la verificación de la conveniencia de la mezcla, determinada por medio de la gráfica (II.4), se emplea la siguiente expresión:

$$d \leq c \sqrt{k}$$

Donde:

- d Diámetro medio de los granos de la mezcla en micras.
- k Coeficiente de permeabilidad en m/seg
- c Es un coeficiente de un promedio aceptable de experimentos por Terzaghi para suelos arenosos:

Arenas granos redondeados	c=800
Arenas granos angulosos	c=460
Arenas con limos	c<400

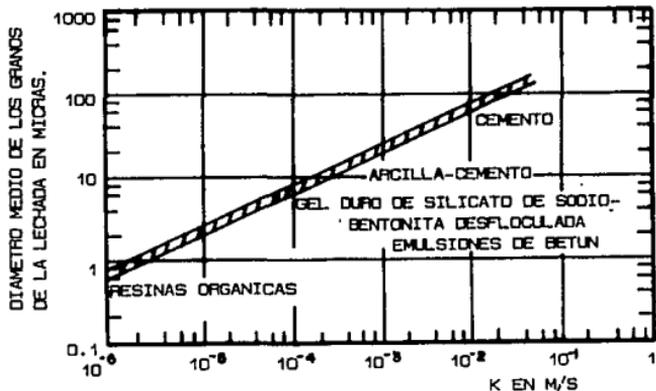
Una serie de reglas en forma más breve y general para escoger el mortero adecuado son las siguientes:

- En rocas fisuradas finas, se utilizara una mezcla de cemento, bastante diluida. Este mortero se utilizará igual para una impermeabilización como para una consolidación.

- En rocas con fisuras grandes, se puede utilizar un mortero cemento-arcilla, rico en arcilla, para imper

GRAVA	ARENA		LIMO	LIMO NO PLASTICO
FINA	GRUESA	MEDIA FINA	GRUESO	SUELO ARCILLOSO
				PRODUCTOS QUIMICOS
				LIGNOSULFITO DE CROMO
				RESINAS
				SILICATOS
				BENTONITA
				CEMENTO

II.3 INTERVALOS DE PENETRABILIDAD CON SUSPENSIONES Y SOLUCIONES COLOIDALES.



II.4 LIMITES DE PENETRABILIDAD DE LOS MORTEROS BASADOS EN LA PERMEABILIDAD DE LOS TERRENOS.

meabilizar. Esto mismo se puede utilizar para una consolidación nada más que el mortero debe de estar rico en cemento y acompañado de arena fina o gruesa según el espesor de las fisuras. (proporción 1:2 ó 1:3)

- En arenas y gravas se emplean morteros estables, siendo éstos mas pequeños que la mayoría de los poros del terreno con el fin de que los flóculos sean tambien menores.

- Para lograr una junta de contacto se emplee la mezcla de bentonita, fabricándola con la misma densidad del terreno.

CAPITULO III.- EQUIPO DE INYECCION

3.1 Centrales de inyección

3.2 Estaciones de inyección

3.3 Mezcladoras

3.4 dosificadoras

3.5 Bombas

3.6 Manómetros

3.7 Tuberías y cámaras de aire

3.8 Obturadores

3.9 Equipo de perforación

Para poder efectuar los trabajos de inyección es necesario contar con todo el equipo adecuado, tenerlo en buenas condiciones y dispuestos en lugares estratégicos para su utilización.

El equipo en si va a ser concentrado específicamente en dos lugares que son:

- Centrales de inyección
- Estaciones de inyección

3.1 CENTRALES DE INYECCION

También son conocidas como centrales de preparación de mezclas, éstas deberán estar en sitios accesibles para el fácil aprovisionamiento de materiales, así como tener el espacio suficiente y condiciones ambientales adecuadas para almacenar y conservar en buen estado los materiales y equipos que se utilizarán en la fabricación de mezclas.

Por otro lado deberán estar localizadas en sitios estratégicos que permitan surtir a las estaciones de inyección con el menor recorrido posible de las mezclas, permitiendo con esto eliminar pérdidas de carga en la conducción. Desde estas centrales se enviarán las mezclas por gravedad o bombeo, según sean las condiciones del terreno, hacia las estaciones de inyección.

3.2 ESTACIONES DE INYECCION

Estas son instaladas lo más cerca posible del barre-

no de tal manera que la circulación de las mezclas sea continua, a través del sistema de inyección, permitiendo un control sensible de las presiones mediante una válvula de alivio colocada cerca del obturador. El fin que se busca al tener las estaciones cerca de los barrenos es que desde éstas se van a controlar las presiones solicitadas por el trabajo que se realice, teniendo las menores pérdidas de carga y una presión que se mantenga constante.

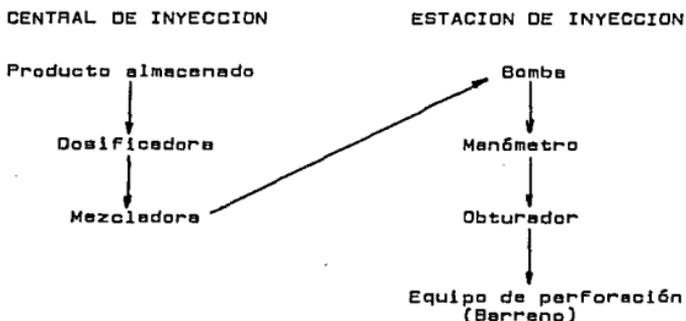
En resumen, la instalación de una central debe de --- cumplir con los siguientes requisitos:

- Topografía del terreno, que influye en la transportación de la mezcla, en donde se aprovechen las pendientes a favor de la conducción y de la gravedad.
- El almacén de productos primarios deberá de contar con el material suficiente para realizar la cantidad de mezcla que se requiera y tener confiabilidad en el ciclo de preparación, de tal manera que las características de viscosidad y peso específico no se alejen de las prefijadas.
- En caso de emplearse productos químicos, deberá contar se con un lugar cerrado, bien ventilado y protegido contra la eventual toxicidad de los elementos constitutivos de la mezcla o de la misma mezcla.

Además, debe existir una protección ecológica en relación con la inyección de productos químicos que son o puedan convertirse en tóxicos.

Un esquema de funcionamiento de la central de inyec-

ción y la estación de inyección es el que se indica enseguida, donde se muestra que debe de existir una continuidad en el ciclo de la mezcla que va desde su fabricación hasta su depósito en el medio a tratar:

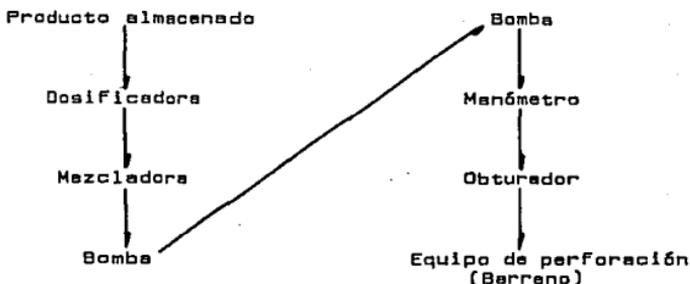


En ocasiones este esquema tiende a cambiar, esto es debido a las condiciones del terreno o a la distancia que existe entre una y otra. El esquema anterior es representativo cuando las pendientes están a favor de la dirección que lleve la mezcla y ésta no es muy viscosa.

Cuando las pendientes no se encuentran a favor de la conducción o las mezclas utilizadas sean muy viscosas o aún teniendo las pendientes a favor, se hace necesario recurrir al siguiente esquema debido a la viscosidad de las mezclas y al recorrido que tengan que realizar:

CENTRAL DE INYECCION

ESTACION DE INYECCION



A continuación se describe el equipo de inyección:

3.3 MEZCLADORAS

Estas son destinadas a preparar los productos de inyección para su posterior introducción en el terreno seleccionado. El tipo y la capacidad de la mezcladora estará en función del mortero y el volumen que se requiera. Entre estos tipos de mezcladoras se encuentran las mecánicas y las neumáticas.

Las mezcladoras neumáticas emplean para su funcionamiento el efecto que producen las burbujas originadas por la inyección de aire comprimido en el fondo del depósito. En este caso, la mezcladora más representativa es la de tipo -- Johnny; este es un dispositivo que puede ser empleado como --

mezcladora y bomba, esto quiere decir que puede desempeñar las funciones de ambos.

Este aparato funciona de la siguiente manera:

La penetración de aire comprimido por el fondo del depósito asegura la agitación del mortero; una vez que es cerrada la válvula de aire comprimido, éste entra por arriba del depósito ocasionando sobre la mezcla una presión que hace que el mortero salga. Cuando se utilice este mezclador, se debe tener cuidado de que no se inyecte aire en las fisuras porque queda atrapado en lechadas muy espesas y de granos grandes.

Este tipo de mezclador tiene la desventaja que sólo puede ser empleado a bajas presiones y solamente se utiliza para inyectar lechadas muy espesas y de granos grandes que no puedan ser admitidas en bombas comunes. Este puede levantar una presión de 6 a 7 kg/cm² con 1 m³ de capacidad. (Fig. 3.1).

Los tipos mecánicos funcionan a base de paletas, turbinas o tornillos sin fin que realizan un mezclado eficiente. La mezcladora mecánica más simple consiste de un tanque cilíndrico provisto con un agitador con espas que giran lentamente. Otra más moderna es la que está provista de una bomba centrífuga de alta velocidad que hace circular la mezcla. (Fig. 3.2a y 3.2b).

3.4 DOSIFICADORAS

Estas se van a emplear para pesar los agregados de -

la mezcla que vayan a ser usados, lo que se hace antes de ver-
tirlos en las mezcladoras. Estas están constituidas por una -
balanza automática que es alimentada por un tornillo sin fin
que se detiene automáticamente cuando se alcanza el peso re-
querido. En la mayoría de los casos es recomendable utilizar
sólo una dosificadora, ya que ésta puede alimentar varias --
mezcladoras, dado que el tiempo para pesar el componente de -
la mezcla es mas corto que el tiempo que se tarda en mezclar
la lechada.

Para controlar la dosificación, ésta se hará en medi-
das de peso para productos en polvo y, en volumen, para líqu-
idos.

3.5 BOMBAS

Este equipo es necesario y uno de los más importan-
tes para llevar acabo las inyecciones, ya que éste va a ser -
el que proporcione la presión necesaria. Las bombas utiliza-
das actualmente para este fin son las de pistones. En esta --
tipo de trabajo, no se utilizan bombas centrifugas, debido a -
que son máquinas delicadas y no permiten aplicar presiones -
altas.

Las bombas de pistones que son utilizadas para este
tipo de trabajo tienen la facilidad de manejar cualquier ti-
po de mezcla y su presión es regulable, obteniendo altas o --
bajas presiones según sean los requerimientos de trabajo.

Los pistones son movidos mediante gatos hidráulicos

los cuales son regulados para ajustar la presión y la descarga del pistón. Este tipo de bomba puede ser utilizada para cualquier tipo de granulometría. (FIG. 3.5.1)

Para trabajos pequeños en donde se requiera rellenar fisuras pequeñas, se emplean jeringas o bombas tecalect. Estos instrumentos no soportan mucha presión, su constitución está formada por la bomba que lleva en su parte extrema una aguja hueca. (FIG. 3.5.2)

3.6 MANOMETROS

Son aparatos que permiten obtener las lecturas de las presiones aplicadas durante la inyección. Estos manómetros no son los comunes, en donde el fluido transportado entra en el interior.

Si se utilizara un manómetro común, el fluido en este caso la mezcla fraguará en el interior de éste y el manómetro registraría una presión constante y se dañaría, los manómetros que se utilizan para este tipo de trabajo, se encuentran protegidos mediante una membrana flexible e impermeable, que permite que en el interior del manómetro se encuentre contenido aceite o agua que está en contacto directo con el interior del manómetro y así se logra que la mezcla o lechada no entre en contacto directo con éste. (FIG. 3.6)

3.7 TUBERIAS Y CAMARAS DE AIRE

La tubería que es utilizada para la conducción de la

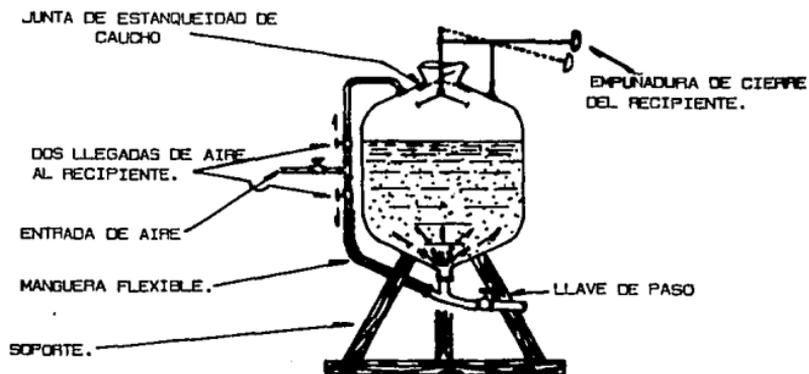


FIG. 3.1 APARATO TIPO JOHNNY.

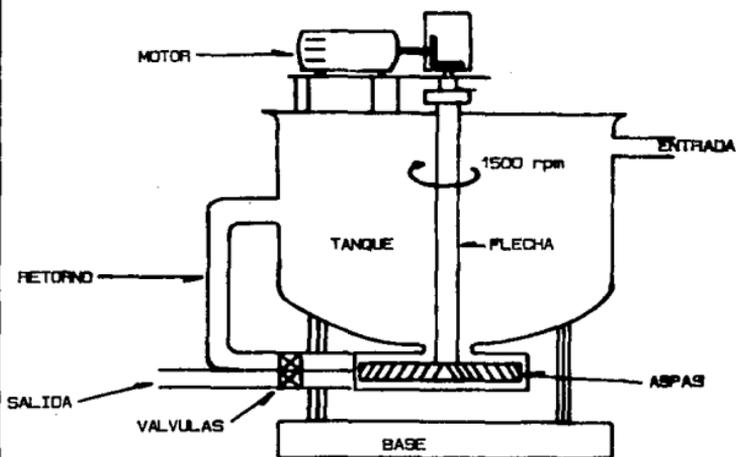


FIG. 3.2a TURBOMEZCLADORA.

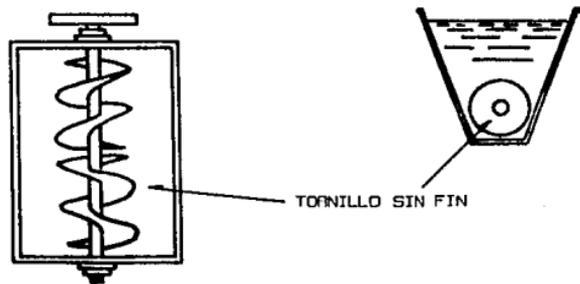


FIG. 3.2b MEZCLADORAS CON TORNILLO SIN FIN.

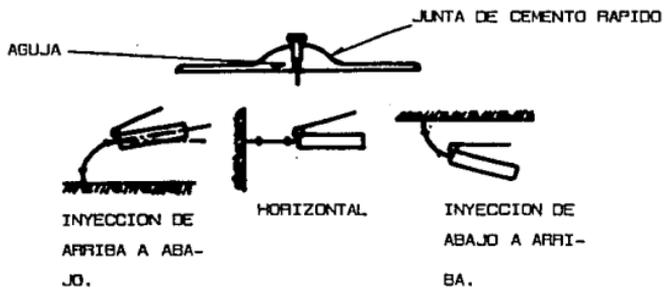


FIG. 3.5.2 jeringas y bombas tecalemit

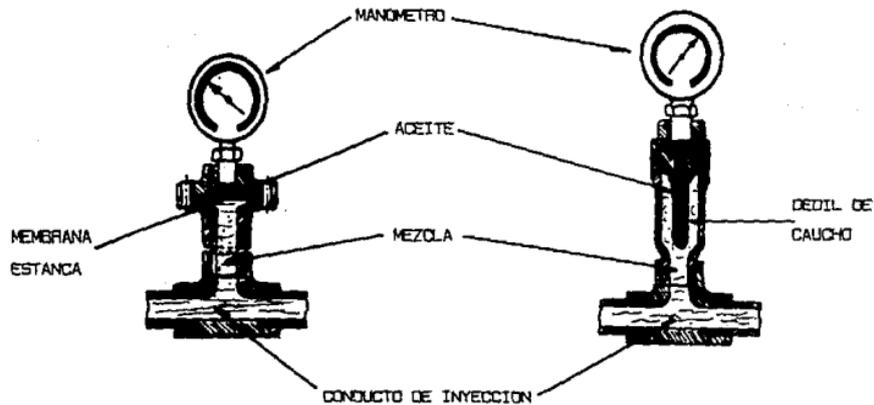


FIG. 3.6 MANOMETROS

mezcla, por lo general es tubería de acero con el diámetro necesario para que pase el gasto con la presión deseada. Otro tipo de tubería es la flexible, ésta va a ir cerca del obturador para su manejo, esto es, que pueda adoptar diferentes posiciones sin tener que mover toda la tubería de acero. En ocasiones esta tubería flexible sirve como aliviador de presión.

Las tuberías de inyección en operación y expuestas a la intemperie deberán protegerse del sol para evitar que aumente la temperatura de las mezclas, ocasionando una aceleración en el fraguado de las mismas; éstas pueden protegerse cubriéndolas con arena húmeda o papel mojado.

La cámara de aire es un aditamento que se acopla sobre la línea de inyección, cerca de la bomba, y tiene como finalidad la de amortiguar la gran fluctuación de presión en cada movimiento del pistón.

3.8 OBTURADORES

Estos van colocados en la parte terminal de la tubería de conducción y son utilizados para darle la salida a la mezcla dentro de la perforación. En la práctica se encuentran los siguientes:

- Obturador copas de cuero o de neopreno

Este es el más recomendable para roca dura en donde la perforación tiene las paredes relativamente lisas y cilíndricas.

dricas. Este tipo de empaque se ha utilizado con buen éxito, ya que su construcción es sencilla, tiene un mantenimiento -- fácil y sólo se necesita una tubería para bajarlo en la perforación. (FIG 3.8.1)

- Obturador neumático

Este tiene la facilidad de adaptarse a cualquier tipo de perforación; consiste en una camisa de hule que, al aplicarse aire comprimido, se expande contra la pared de la perforación ejerciendo una presión. (FIG 3.8.2)

- Obturador tipo manguito

Este se emplea para suelos sueltos, empleando progresiones ascendentes y descendentes.

3.9 EQUIPO DE PERFORACION

Siempre, al inyectarse una perforación, en primer lugar es necesario realizar perforaciones y para ésto las máquinas más empleadas son las de rotación, que utilizan barras helicoidales. Esta barra tiene la función de transportar los recortes que realiza la broca fuera del barrenado.

Este tipo de perforación es recomendable, ya que no altera el contenido de agua en el suelo y se puede utilizar arriba o abajo del nivel freático. En este tipo de perforación se utilizan brocas fabricadas con carburo de tungsteno, -

ya que estas producen perforaciones regulares.

Entre el equipo utilizado se encuentran:

- Pierna neumática

Es el nombre que reciben las perforadoras cuando son articuladas por un brazo o elemento auxiliar que se diseña y se acople perfectamente al martillo giratorio o a la pistola demolidora, para facilitar la perforación tanto en posición vertical como en horizontal o inclinada.

Este elemento o brazo auxiliar consiste en un tubo delgado de acero que proporciona apoyo y avance automático a la perforadora, mediante una válvula de control que se dilata apropiadamente, manteniendo en contacto a la broca con la superficie perforada.

Generalmente la pierna o brazo neumático, que permite al operador barrenar con mayor facilidad, no presenta diferencia alguna con respecto a las perforadoras neumáticas, ya que es únicamente el brazo o elemento auxiliar o que cambia.

Su uso principal es en minas, túneles, para trabajos subterráneos de perforación horizontal, vertical e inclinada y en paredes y techos de poca altura.

- Perforadora de carretilla

Estas máquinas se apoyan sobre un chasis con llantas de hule para la barrenación. Tiene la ventaja de ser manejada por un solo hombre; consiste básicamente de una perforadora neumática articulada a una guía de acero, que accionada por -

medio de un sistema hidráulico o mediante un motor adicional, gira, sube o baja permitiendo que el número de posiciones sea ilimitada.

Asimismo la plataforma que sirve de apoyo a la guía mecánica y que junto a la perforadora o algún otro accesorio optativo, van sostenidos sobre un bastidor de tres a cuatro - ruedas, el cual puede ser remolcado o empujado de uno a otro sitio.

Estas máquinas son de acondicionamiento rotatorio o de percusión, son de motor diesel o gasolina y con mayor frecuencia por un compresor que transmite por medio de mangueras el aire comprimido que requieran.

Se utiliza para perforaciones de barrenos, muestreo de suelos y, sobre todo, para lugares como minas, canteras, túneles y carreteras. (FIG 3.9)

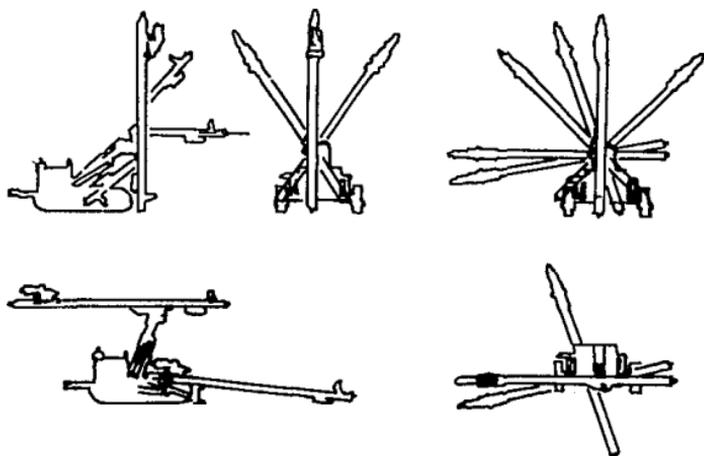


FIG. 3.9 DIFERENTES POSICIONES DEL EQUIPO DE PERFORACION

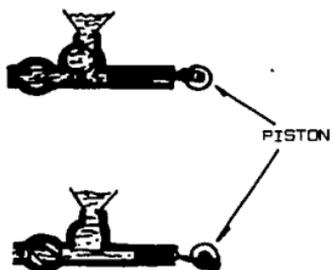


FIG. 3.5.1 CORTE ESQUEMATICO DE UNA BOMBA DE PISTON

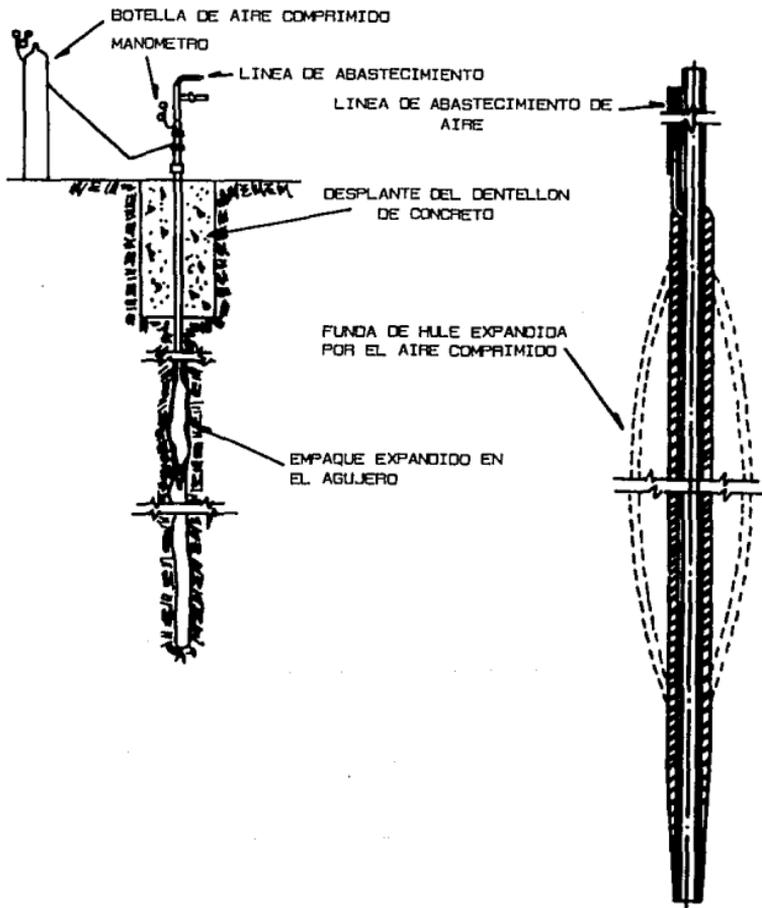


FIG 3.8.2 OBTURADOR NEUMATICO

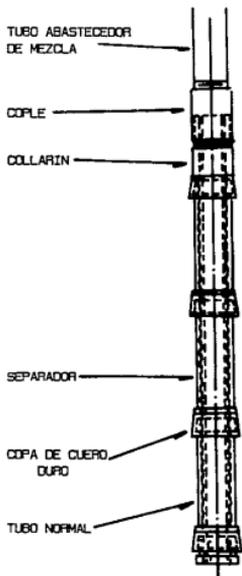
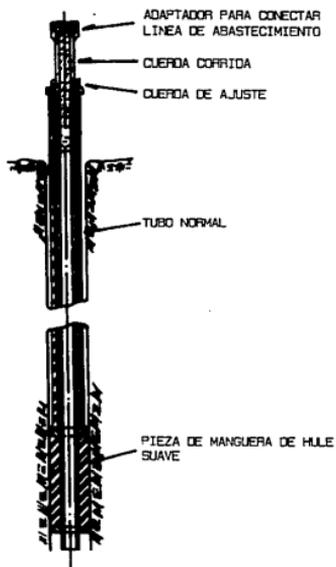


FIG 3.8.1.- OBTURADOR COPAS DE CUERO



OBTURADOR CON ARANDELA DE HULE

CAPITULO IV.- UTILIZACION Y METODOS DE INYECCION

- 4.1 Inyecciones para impermeabilizar
- 4.2 Inyecciones para consolidar
- 4.3 Inyecciones de contacto
- 4.4 Métodos de inyección
 - 4.4.1 Inyección simple
 - 4.4.2 Inyección por progresiones
 - 4.4.3 Inyección por progresiones y obturador
 - 4.4.4 Inyección con adema
 - 4.4.5 Inyección por progresiones controladas
 - 4.4.6 Procedimiento Jossten

Con el fin de seleccionar el método de inyección más adecuado y la naturaleza de la lechada por inyectar, es necesario conocer las características del material a tratar.

Para poder lograr lo anterior, se realizan estudios y ensayos de laboratorio con muestras del lugar, determinando los parámetros de diseño como son: el grado de permeabilidad, el estado de fisuración de la zona y la granulometría. En algunos casos se cuentan con sitios semejantes al medio a tratar, que ya se encuentran estudiados, y no es necesario realizar en forma detallada las pruebas anteriores, debido a que se pueden emplear las experiencias de otras aplicaciones, determinándose más fácilmente el proceso de inyección.

La utilización de las inyecciones se agrupa en tres casos que son los siguientes:

- Inyecciones de impermeabilización.
- Inyecciones de consolidación.
- Inyecciones de contacto.

4.1 INYECCIONES DE IMPERMEABILIZACION.

En la naturaleza existen formaciones permeables, entendiéndose por este concepto como la facilidad que tienen los terrenos al absorber o dejar pasar líquidos a través de ellos. Esta característica dificulta algunos trabajos de ingeniería y es necesario llevar a cabo una impermeabilización, la cual puede ser temporal o permanente y es indispensable para los siguientes casos:

- En obras por excavar o en proceso de excavación.
- Construcción de pantallas impermeables debajo de las cortinas de presas.
- Construcción de lagunas o depósitos artificiales para almacenar agua.

El proceso de inyección en suelos difiere totalmente de las rocas, debido a que en los suelos los huecos a rellenar son de pequeñas dimensiones, de forma irregular y uniformemente distribuidos, mientras que las fisuras de las rocas - están dispuestas siguiendo anchas superficies o largos conductos.

Existen dos formas de inyectar los suelos y son las siguientes:

- 1.-La más frecuente que se hace en los suelos es la de impregnar únicamente los niveles más permeables con un mortero económico y después de haber hecho esta impregnación se completa con la inyección a fuerte presión de un mortero rico en cemento, con objeto de provocar roturas, que al quedar rellenas con este mortero, reducen las circulaciones de agua a través de los niveles inyectables.
- 2.-La otra forma consiste en inyectar sistemáticamente, sin importar el tipo de terreno, un producto químico que pueda penetrar por todos los sitios. Esta forma se uti--

liza excepcionalmente por lo elevado del costo al emplear estos productos.

Cuando se trata de impermeabilizar macizos rocosos - el tratamiento se puede realizar de dos maneras diferentes - que son las siguientes:

1.-Tapetes

Este es un tratamiento superficial, el cual consiste en impermeabilizar una parte del estrato localizado entre 5 y 10 metros de profundidad, formando una membrana impermeable. La realización de los barrenos puede hacerse en forma vertical, inclinada o una combinación de éstas, pero siempre interceptando a las grietas o fisuras. El espaciamiento entre barrenos es normalmente de tres metros, aproximadamente, dependiendo de las dimensiones de las fisuras. En aquellos casos en que las fisuras o las grietas sean de tamaño considerable, deberá agregarse arena o arcilla a la mezcla que principalmente es a base de cemento-agua.

2.-Pantallas

En algunas ocasiones es necesario construir una pantalla impermeable bajo la cortina de una presa para evitar que, por filtración bajo la cortina, las pérdidas de agua almacenada sean muy grandes.

Las pantallas están formadas por la inyección de una serie de perforaciones, dispuestas en línea paralela y cuya profundidad es del orden de la mitad de la carga hidráulica.

La inclinación y espaciamiento de las perforaciones depende del fisuramiento y de los planos de estratificación de las formaciones a tratar. Cuando el inyectado se hace en un solo plano, se inicia el tratamiento con perforaciones espaciadas a cada cinco metros y, mediante los consumos que se tengan de la mezcla, se determinan los tramos que deban intercalarse con otras perforaciones. En ocasiones los barrenos se hacen inclinados en dos direcciones opuestas y contenidas en el mismo plano.

En base a experiencias obtenidas en los trabajos de inyección, se afirma que un macizo rocoso con una permeabilidad menor a tres unidades Lugeon (absorción de tres litros por minuto y por metro lineal de perforación, aplicando una presión de inyección de 10 kg/cm²), no requiere tratamiento de inyección.

4.2 INYECCIONES DE CONSOLIDACION

Este es otro de los casos donde es utilizada la inyección. Es un tipo de tratamiento que se emplea cuando la resistencia al corte de los materiales es muy baja, que es necesario incrementarla, lo que se realiza por medio de la aglutinación de la masa con algún producto de inyección o bien cuando se presente una falla en el material (lo que se conoce como un caído) el cual es preciso recomprimir a fin de impartirle la resistencia necesaria para que soporte el peso propio del material o peso extra.

Este tipo de trabajo es algo complicado y difícil ya que se tiene que trabajar con un material cuya compacidad es mucho menor de la que hay que proporcionarle;ésto se debe a que al inyectar para consolidar con procedimientos ordinarios se presentan grietas y resurgencias.Los mejores resultados se han obtenido utilizando morteros penetrantes tipo resinas,inyectados a baja presión.

4.3 INYECCIONES DE CONTACTO

Este tipo de inyección tiene por objeto rellenar con mortero los vacíos entre un revestimiento y el terreno natural para evitar deformaciones del terreno y concentraciones de carga al propio revestimiento.

El relleno se hace con morteros de cemento,arena,agua y bentonita de una manera sistemática para lograr un contacto efectivo.

Un caso en que generalmente se utilizan este tipo de inyecciones es en las excavaciones por medio de escudos, en donde al avanzar dicho elemento,deja un espacio libre entre las dovelas y el terreno,el cual corresponde a la coraza del escudo.

El proceso de relleno debe de ser rápido,ya que se trate de impedir al máximo que el material que se encuentre alrededor del revestimiento,se reacomode y poco a poco se presenten hundimientos en la superficie.

4.4 METODOS DE INYECCION

Para realizar este tipo de trabajo, tomando en cuenta la estructuración del terreno, así como la finalidad del tratamiento, los métodos de inyección más usuales son los siguientes:

- a) Inyección simple.
- b) Inyección por progresiones.
- c) Inyección por progresiones y obturador.
- d) Inyección con adame.
- e) Inyección por progresiones controladas, a través de tubería con bandas de hule.
- f) Procedimiento Jossten.

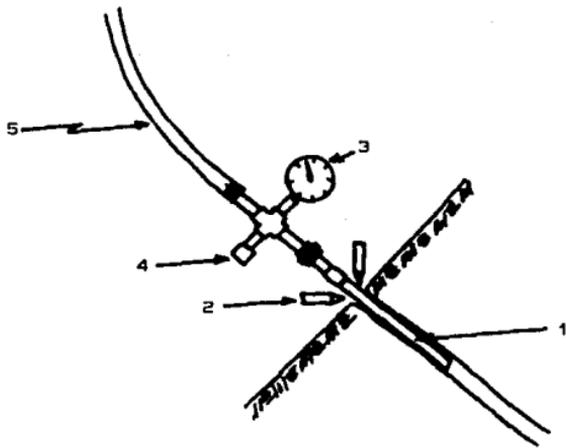
4.4.1 INYECCION SIMPLE

Este método de inyección consiste principalmente en colocar la boquilla a la longitud o profundidad deseada, fijarla al terreno, emboquillarla e inyectarla, todo ésto en una sola operación.

Este tipo de inyectado debe hacerse sólo en casos de poca profundidad y en terrenos con pocas juntas o grietas, - debiendo utilizar altas presiones para garantizar el relleno deseado.

Si el terreno tiene grietas o fisuras superficiales de importancia en el plano de la boca de la boquilla, este método no es conveniente, ya que se tendrán fugas al exterior.

(FIG. 4.4.1)



- 1.- Boquilla
- 2.- Acuñamiento
- 3.- Manómetro
- 4.- Desfoge
- 5.- Línea de inyección

Fig. 4.4.1.- Método de inyección simple

4.4.2 INYECCION POR PROGRESIONES

Se le conoce también como progresiones descendentes, este tipo de inyección se emplea para terrenos no cohesivos de baja resistencia, en el cual la barrenación se va haciendo en etapas junto con la inyección, ya que si se ejecuta el total de profundidad que se programa en la barrenación, se corre el riesgo de que el barreno se cierre y se pierda.

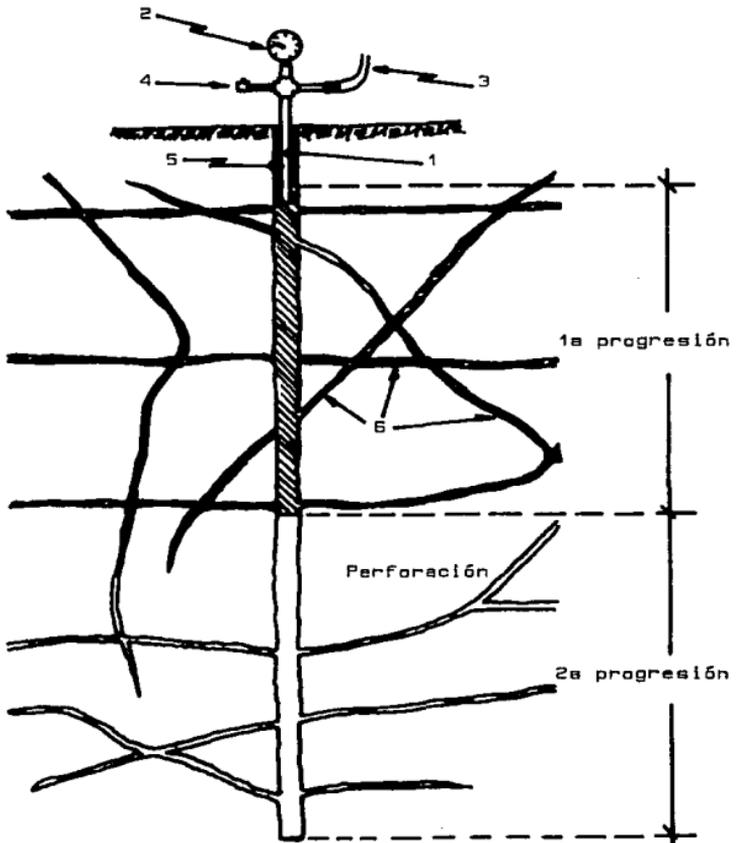
Este método consiste en dividir la longitud del terreno por inyectar, en un número conveniente de progresiones, tomando en cuenta las características del terreno.

El procedimiento de este método consiste: si al estar ejecutando la perforación en cualesquiera de las progresiones se localiza un hueco o una grieta grande, se suspende la barrenación y se procede a inyectar.

En sí las etapas para este método son las siguientes:

- Perforación de la primera progresión.
- Lavado del barreno con aire y/o agua, hasta que salga material producto de la excavación.
- Emboquillado del barreno.
- Prueba de presión de agua.
- Inyección de la mezcla.

Para iniciar la segunda progresión se calculará, el tiempo de fraguado final de la mezcla inyectada, para que después de transcurrido este tiempo, se repita la operación anterior. (Fig. 4.4.2)



- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1.- Obturador | 5.- Boquilla |
| 2.- Manómetro | 6.- Lechada de inyección |
| 3.- Línea de inyección | |
| 4.- Desfogue ó retorno | |

Fig. 4.4.2.- Método de inyección por progresiones

4.4.3 INYECCION POR PROGRESIONES Y OBTURADOR

A este método también se le conoce como progresiones ascendentes, ya que la inyección se realiza del fondo del barrenado hacia afuera, lo que nos permite llevar un mayor control.

El método consiste en las siguientes etapas:

- Perforación del barrenado a toda su longitud.
- Lavado del barrenado.
- Instrumentación del barrenado.
- Prueba de presión de agua.
- Inyectado de la mezcla.

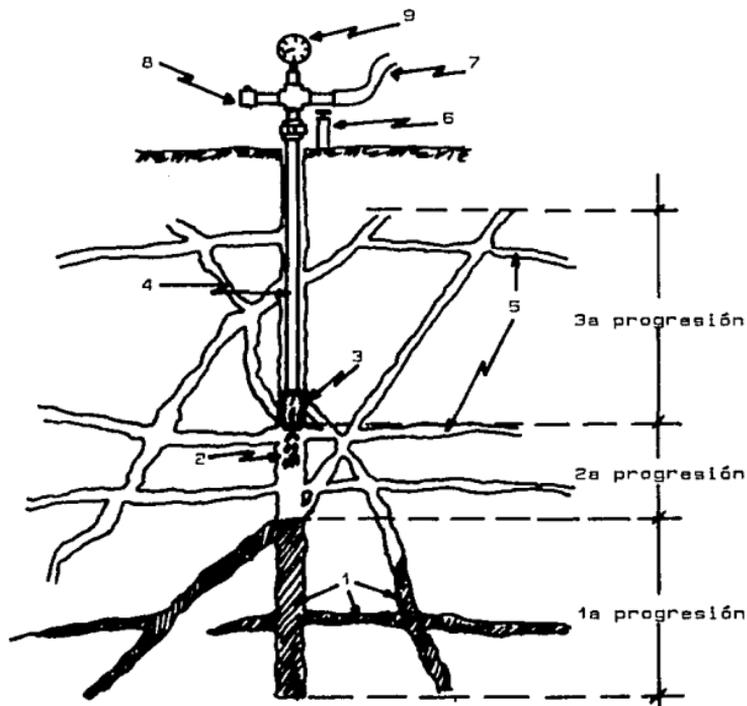
Cuando el terreno se encuentra muy agrietado, se corre el riesgo de que la mezcla a través de dichas grietas o fracturas, fluya y salga entre el obturador y la boca del barrenado, haciendo que la instrumentación quede atrapada; para evitar esto se debe introducir una manguera hasta el obturador, entre la tubería de inyección y la pared del barrenado, y hacer circular agua para remover la lechada.

En este caso, los obturadores más usuales son: El de tipo copas de cuero y el de tipo neumático. (Fig. 4.4.3).

4.4.4 INYECCION CON ADEME

Este método consiste en hincar un ademe metálico hasta la profundidad final; se procede a limpiar el interior del ademe, se emboquilla y se inicia la inyección.

Al ir realizando la inyección y alcanzar el volumen



- 1.- Mezcla inyectada
- 2.- Inyección en proceso
- 3.- Empaque neumático
- 4.- Boquilla
- 5.- Grietas por inyectar

- 6.- Bomba neumática
- 7.- Línea de inyección
- 8.- Desfogue ó retorno
- 9.- Manómetro

Fig. 4.4.3.- Inyección por progresiones y obturador

- 79 -

requerido para rellenar los huecos, se empieza a jalar el s--
deme sistemáticamente a una distancia no mayor de 30 cm y se
vuelve a inyectar, esto se realiza hasta llegar al exterior.
(Fig. 4.4.4).

4.4.5 INYECCION POR PROGRESIONES CONTROLADAS

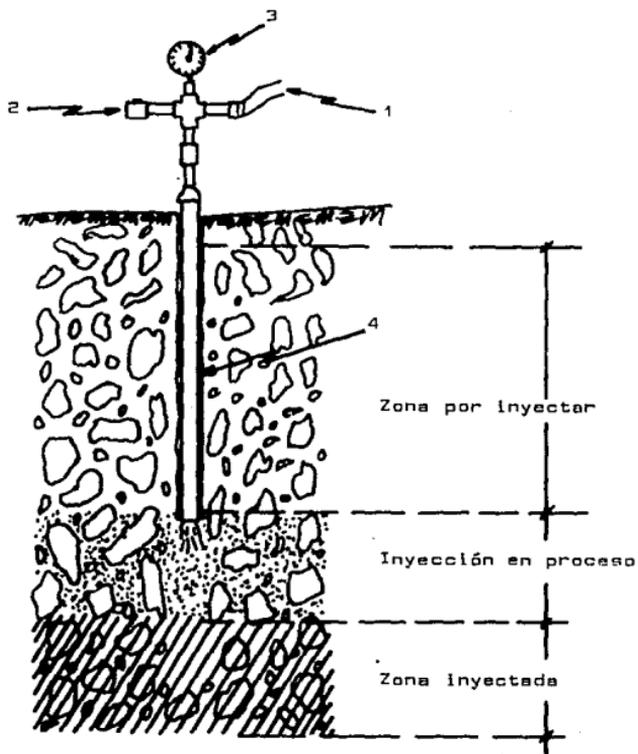
Este método se conoce también como inyección con tu-
bo de manguitos, este método es más aconsejable para terrenos
malos, tanto en lo que se refiere a estabilidad como a la --
permeabilidad. La perforación se realiza en su totalidad.

El tubo de inyección se habilita con tubería de PVC
o metálica, la cual se perfora en secciones a cada 0.5 m; ca-
da sección va a contar con tres o cuatro barrenos, según el -
diámetro de la tubería, estos barrenos son de 6 a 8 mm de --
diámetro.

Sobre las secciones perforadas se coloca una banda -
de hule natural de 3 mm de grueso y de 5 a 10 cm de ancho, -
las cuales son fijadas al tubo por medio de alambre, cinta de
polivinilo o de ambos; en un extremo del tubo se acondiciona
una punta que servirá de guía al introducirlo en el barrano.

Se deberá llevar un estricto control en las distan--
cias que hay de la boca del tubo a las secciones con bandas
de hule, ya que ahí se colocará el centro del obturador al --
estar inyectando.

Para realizar el emboquillado se coloca tela de ---
ixtle entre el tubo de manguitos y la pared del barrano, en -
un tramo de un metro a partir de la boca de perforación, de -
tal forma que esta longitud entre forzada. Posteriormente se



- 1.- Línea de inyección
- 2.- Retorno
- 3.- Manómetro
- 4.- Tubo empotrado

Fig. 4.4.4.- Inyección con ademe

inyectaré la tela de ixtle, lo que formará un tapón para evitar que existan fugas de lechada entre la pared del tubo hacia el exterior. El tipo de obturador a usar es el de copas de neopreno.

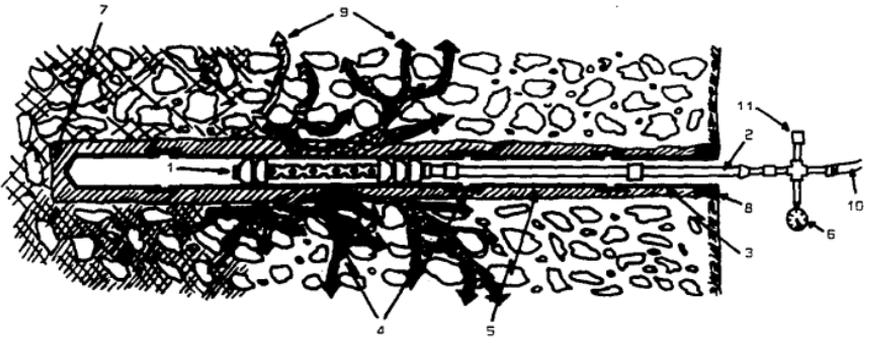
Para que esta operación se pueda realizar se tiene que inyectar una vaina de material semi-plástico. Esta vaina consiste en rellenar el vacío entre la pared del tubo de manguitos y la pared de la perforación, con el propósito de fijar dicho tubo. La forma de inyectado se hace colocando el centro del obturador en las secciones con banda de hule a cada metro e inyectando, teniendo en cuenta que en esta etapa no se aplica presión.

Después de hecho esto, se elaborará una perforación en el interior del tubo de manguitos y a toda la longitud por inyectar, con la finalidad de limpiar todos los residuos de la mezcla utilizada en la vaina.

Para realizar la inyección se introduce el obturador con la línea de inyección hasta el nivel del tramo por tratar y se procede a inyectar, moviendo el obturador después de haber terminado, y así se continúa hasta lograr cubrir la longitud del tubo por inyectar. (Fig. 4.4.5)

4.4.6 PROCEDIMIENTO JOSSTEN

Este procedimiento consiste en inyectar primero silicato de sodio y luego una solución de sales o ácidos; en la práctica se utiliza como un segundo líquido una solución de cloruro de calcio. Este procedimiento se utiliza generalmente



- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1.- Obturador doble | 7.- Perforación |
| 2.- Tubería de inyección | 8.- Calafateo de obturación |
| 3.- Tubo ademe con manguitos | 9.- Manómetro |
| 4.- Manguitos ó banda de hule | 10.- Línea de inyección |
| 5.- Vaina semi-plástica | 11.- Retorno |
| 6.- Inyección de lechada en proceso | |

Fig. 4.4.5.- Inyección por progresiones controladas

en la consolidación o impermeabilización provisional de masas arenosas y no se combina con la inyección de cemento.

Cuando se inyecta después del silicato de sodio, la solución de cloruro de calcio, ésta desaloja al silicato y reacciona con lo que ha quedado adherido por absorción, como una película fina alrededor de cada grano de arena, dejando un pasaje libre en el centro de los poros; la reacción de los dos líquidos es casi instantánea y forma entre los granos una liga capaz de dar a la arena una resistencia muy elevada comparable a las areniscas naturales.

La desventaja de este procedimiento es que las arenas así tratadas son porosas, por lo que este procedimiento no es adecuado cuando se tiene el propósito de impermeabilizar, tampoco es aconsejable en suelos donde la granulometría es muy fina.

SELECCION DE MEZCLAS Y METODOS
DE INYECCION

TIPO DE MEZCLA	CAMPO DE UTILIZACION	METODO DE INYECCION
<p>INESTABLES</p> <p>C/A = 1/10 a 1.5/1 (En peso de cemento) con adición eventual de arena.</p>	Inyección de rocas fracturadas	<ul style="list-style-type: none"> - Boquilla - Progresiones descendentes
<p>ESTABLES</p> <p>Decantación depresible 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.</p>	<p>Inyección de rocas fracturadas, rellenos de huecos grandes, mezclas de grava y arena.</p> <p>$K \ 5 \times 10^{-2}$ cm/seg</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Boquilla - Progresiones descendentes - Progresiones ascendentes - Progresiones ascendentes empleando tubo de inyección
Silicato de sodio	Arenas finas y medias $K \ 10^{-3}$ cm/s	<ul style="list-style-type: none"> - Progresiones ascendentes empleando tubo de inyección.
Bentonite defloculada	Arenas Finas y medias $K \ 10^{-2}$ cm/s	
AM-9	Limas	
Resorcina-Formol	$K \ 10^{-4}$ cm/seg	
Urea - Formol		

1
D
1

A N E X O

FOTO 1.- Central (derecha) y estación (izquierda) de inyección.
Bombas y mezcladoras para la fabricación de la mezcla.

FOTO 2.- Central de inyección.
Mezcladoras y bombas para la preparación del producto.

FOTO 3.- Almacén de productos.
Almacenados, en bultos los de polvo y en tanques los líquidos.

FOTO 4.- Dosificadoras de material.

FOTO 5.- Turbo mezcladora.

FOTO 6.- Mezcladora de retorno.

El mezclado lo hace por medio de un tornillo sin fin que se encuentra en la parte inferior, y este hace que la mezcla este en constante circulación; saliendo por abajo y regresando al depósito por la parte superior.

FOTO 7.- Broca tricónica y equipo de perforación.

FOTO 8.- Tubo de manguitos hincado.

FOTO 9.- Lavado del barreno.

FOTO 10- Preparativos para la inyección utilizando el método de progresiones ascendentes en distancias de 1.5 m

FOTO 11- Estación de inyección provista de varias mezcladoras y bombas.

FOTO 12- Bomba de pistón y sus conexiones.

FOTO 13- Obturador.

El obturador consiste en un tubo con agujeros en tres bolillo y unos anillos de neopreno, este antes de ser introducido en el -- tubo de manguitos es saturado con grasa para que resbale.

FOTO 14- Manómetros.



FOTO 1



FOTO 2

FOTO 3





FOTO 4



FOTO 5

FOTO 6



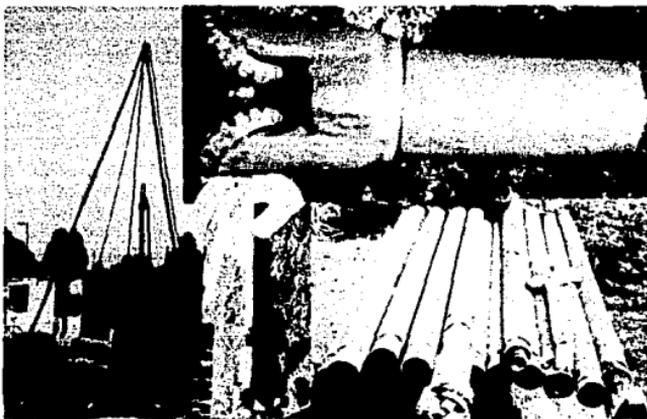


FOTO 7



FOTO 8



FOTO 9



FOTO 10



FOTO 11

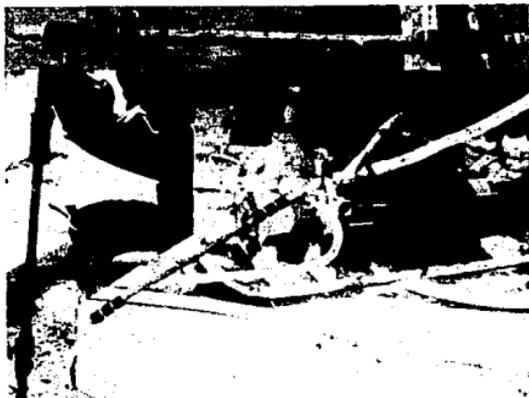


FOTO 13



FOTO 12



FOTO 14

C O N C L U S I O N E S

Al igual que en otros trabajos de ingeniería la inyección puede ser denominada técnica o procedimiento, esta como - en todos los trabajos de mecánica de suelos, presenta una serie de incógnitas y dificultades en su empleo, pero estas no - deben tomarse como riesgos, sino como experiencias, de ahí la - importancia de los estudios de laboratorio y de campo en suelos y rocas, esto a pesar de no proporcionar datos exactos de la naturaleza del medio, nos dan una idea muy cercana a la realidad del comportamiento de este.

Algunos inconvenientes para realizar este trabajo se encuentra cuando el equipo no es eficiente o la selección de este no fue la óptima y lo mismo sucede con las mezclas de -- inyección.

En lo que se refiere al personal de campo, generalmente no está capacitado eficientemente para desarrollar esta tarea, esto se debe a que aprende sobre la marcha y basándose en métodos, equipo y mezclas que el proyectista tome de acuerdo a la experiencia o con base a trabajos realizados en un tipo de suelo que se asemeje más al que va a ser tratado.

En particular las inyecciones se van a realizar para cumplir alguno de los siguientes objetivos:

- El de reducir las filtraciones de agua freática hacia excavaciones profundas realizadas a cielo a-

bierto, o tambien bajo la cimentación de presas.

- Formar grandes depósitos de agua o combustible, impermeabilizando las paredes de una excavación.

- Aumentar la resistencia rellenando cavernas o huecos existentes ya que este va a ser nuestro principal soporte para las estructuras.

- Estabilizar las paredes de tuncles o taludes - construidos en materiales debiles.

- Establecer un medio de unión entre dos medios para que trabajen como uno solo (junta de contacto).

El desarrollo que ha tenido la utilización de las inyecciones, las experiencias obtenidas y la investigación en -- cuanto a técnicas mezclas y equipo a pesar de que ha sido clasificado como un arte, es parte de la mecánica de suelos por -- ello es necesario fomentar mas su investigación en cuanto a -- uso, propiedades y divulgación de soluciones que este procedimiento puede dar a los problemas que se presentan en los suelos.

B I B L I O G R A F I A

- Galabru Paul
Tratado de procedimientos generales de construcción, cimentaciones y túneles. Editorial Reverté S.A. España. 1974
Traducción: Ing Manuel Velasquez

- Schulze y Simmer
Cimentaciones. Ediciones H. Blume. España. 1978.
Traducción: Ing José Rodríguez Ortiz

- Carlos Lesser Jones
Tratamiento de la cimentación de una cortina de presa de almacenamiento por medio de inyecciones. Tesis profesional. UNAM. México. 1963.

- Ing. Cesar Jimenez López
Inyección a presión con empaque, del subsuelo de cimentación. Sección de especificaciones de la CFE. 1958.

- H. Cambefort
Geotecnia del Ingeniero. Reconocimiento de suelos. Editores Técnicos Asociados, S.A. Primera edición. España. 1975.

- Marshal Raúl y Reséndiz Nuñez
Presas de tierra y enrocamiento. editorial Limusa. México 1975.

- H. Cambefort
Inyección de suelos. Ediciones Omega, S.A. Primera Edición
Española. 1968.

- Hoek G. y Brown T.
Excavaciones subterráneas en roca. Editorial Mc Graw-Hill
1a edición. México. 1975.

- Ing. Pedro Barrero Cobo
Seminario internacional sobre métodos constructivos en -
obras de acueducto y alcantarillado. SOLUM S.A. de C.V.

- Ing. Alejandro Rico y Valles
Inyecciones y tratamientos especiales. DERNA (Desarrollo
de recursos naturales) S.A. de C.V.

- Juárez Badillo y Rico Rodríguez
Mecánica de suelos. Tomo I y II. Editorial Limusa. 3a edi-
ción. México. 1986.

- Gabriel Aurmat y Raúl Esquivel
Impermeabilización de lagunas artificiales. Sociedad de -
mecánica de suelos. Editorial Limusa. México. 1986.

- Norman Alegria Celaya y Francisco Zamora Millán
Instructivo de laboratorio para geotecnia. UNAM. Facultad
de ingeniería.

- Manual de diseño de obras civiles CFE. Instituto de in--

investigaciones eléctricas. Geotecnia.

Fascículos:

B.3.5 Tratamiento de macizos rocosos

B.3.4 Pruebas de campo y laboratorio

B.3.2 Obras subterráneas

B.2.1 Exploración y muestreo en suelos

B.2.2 Propiedades físicas y mecánicas de los
suelos.