



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

28  
185

**EXCAVACIONES EN  
EDIFICACION.**

**T E S I S**

**Que para obtener el Título de  
INGENIERO CIVIL  
P r e s e n t a**

**Pedro Pablo Torres Ovando**

**México, D. F.**

**1984**

**DONADO POR D. G. B. - R. C.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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

PAG.

INTRODUCCION : .....	1
<b>CAPITULO I.</b>	
CLASIFICACION DE LOS TERRENOS Y SUS CARACTERISTICAS: ....	4
Introducción. Constitución de los Suelos. La clasificación de los suelos. Tabla A—Clasificación de la Aeronáutica (Casagrande). Tabla B—Clasificación PRA de Suelos. Tabla C—Clasificación de suelos según George J. Young.	
<b>CAPITULO II.</b>	
ABUNDAMIENTO Y ASENTAMIENTO : .....	14
Abundamiento. Asentamiento.	
<b>CAPITULO III.</b>	
TALUD NATURAL DE LA EXCAVACION : .....	22
Talud Natural.	
<b>CAPITULO IV.</b>	
PROCEDIMIENTOS PARA EL ABATIMIENTO DEL NIVEL FREATICO : ..	28
Introducción. Método de Zanjas y sumideros. Método de los pozos filtrantes. Método Siemens. Método Well Point. Método para excavaciones profundas. (Escalones, Pozos profundos, Pozos sangría). Método de bombeo y vacío combinados. Método de bombeo combinado y electrosmosis. Impermeabilización. Pilotes secantes de concreto. Tableros de concreto. Trincheras flexibles. Pantallas de inyección.	
REFERENCIAS : .....	58

## **INTRODUCCION.**

La ejecución de los movimientos de tierra es una de las ramas más importantes de las obras públicas.

Los movimientos de tierra forman la parte principal de gran número de obras, especialmente de la construcción de vías de comunicación (carreteras, ferrocarriles, túneles, canales, aeródromos).

Forma igualmente una parte importante de los trabajos portuarios: excavación de dársenas, aumento de profundidad de canales, constitución de terraplenes.

Por fin, representan una parte notable de la ejecución de las estructuras y edificios que frecuentemente plantean problemas de la máxima delicadeza (cimentaciones).

La ejecución de los movimientos de tierras no es en principio un trabajo difícil pero se complica en muchos casos entre los que citaremos las obras en terrenos malos (terrenos poco consistentes); las obras profundas, especialmente cuando se encuentra agua; las obras subterráneas o bajo el agua.

La ejecución de los movimientos de tierras plantea un doble problema:

1. La extracción de los escombros;
2. La evacuación de los escombros y constitución de los terraplenes.

Los movimientos de tierras se dividen en movimientos de tierra en general y las excavaciones de cimentación para estructuras, que es el que estudiaremos en este trabajo.

Los movimientos de tierra en general son movimientos-

de grandes masas que se ejecutan generalmente al aire libre sin condiciones particulares, sea en seco sea bajo el agua (dragado). Se prestan a la organización de grandes tajos donde se emplean máquinas de gran rendimiento de explotación económica.

Citaremos por ejemplo :

- La ejecución de las trincheras y terraplenes para carreteras y ferrocarriles;
- la ejecución de presas de tierra;
- la excavación de canales;
- la explanación y nivelación del conjunto del terreno para la construcción de edificios y estructuras;
- la construcción de aeródromos;
- los dragados marítimos o fluviales y los rellenos portuarios.

Las cimentaciones para estructuras son movimientos de tierras sometidos a múltiples condiciones de ejecución (agotamiento cuando se está bajo el agua) y que afectan generalmente a volúmenes reducidos. Exigen la organización de tajos restringidos y numerosos en los que el trabajo es difícil y que no se prestan al empleo de máquinas de gran rendimiento.

Tenemos por ejemplo :

- Las excavaciones para la ejecución de cimentaciones de estructuras;
- las excavaciones en túneles y obras subterráneas;
- la excavación de zanjas estrechas para colocación de tuberías.

Como consecuencia de estas limitaciones, el precio de costo de las excavaciones para cimentación de estructuras siempre es notablemente más elevado que el de los movimientos de -- tierras generales y los ritmos de ejecución son también mucho -- más lentos.

La presencia del agua influye mucho en el método de -- ejecución de los movimientos de tierras.

En ausencia de agua se ejecutan los movimientos de -- tierra en seco a mano o con máquinas terrestres: es el caso de los movimientos de tierras normales en carreteras.

Si se encuentra agua en las excavaciones o en las zanjas por debajo del nivel para la plataforma de circulación de -- las máquinas, a menudo es posible continuar el trabajo con las mismas máquinas cuyos útiles trabajan en el agua. A veces se facilita el trabajo evacuando el agua mediante agotamientos. Este caso, que difiere poco del anterior, es el de movimiento de tierras con agua.

En otros casos es necesario ejecutar los movimientos -- de tierras bajo el agua cuando ésta recubre el terreno por completo. Es el caso de los dragados marítimos o fluviales que exigen el empleo de máquinas flotantes (dragas).

La forma de evacuación de los escombros está también -- condicionada por la presencia del agua.

En tierra los escombros se evacuan mediante camiones -- o vagones; en agua se utilizan gánguiles o barcazas.

La organización de los tajos es, pues, muy diferente -- según se trate de trabajos en tierra o de dragados.

## CAPITULO I.

### CLASIFICACIÓN DE LOS TERRENOS Y SUS CARACTERÍSTICAS.

#### 1.1.- INTRODUCCION.

La maquinaria en excavaciones se destina a trabajar el suelo y a transportar tierra. Es lógico, pues, que nos ocupemos en primer lugar de la materia que se ha de excavar, de cortar, de apisonar, etc., y de desplazar.

Nunca se insistirá demasiado en la conveniencia de poseer unos conocimientos sobre el suelo lo más amplios posible, cuando se trata de emprender trabajos de movimiento de tierras. Pero hay dos aspectos de la cuestión que deben interesar en particular.

Primeramente, la clasificación de los terrenos, función del comportamiento del material bajo la herramienta de corte, permitiría establecer presupuestos precisos y "situaciones" indiscutibles. Esto conviene al jefe de obra tanto como al empresario. Pero la mecánica del suelo todavía no puede solucionar el problema, difícil, porque los suelos, en general, no son homogéneos ni isótropos. Nos hemos de contentar con ir recordando que "la capacidad horaria o rendimiento es función de la naturaleza del terreno". A menudo se dan valores para las condiciones del terreno "buenas", "medias" y "malas", a falta de mayor precisión. No obstante, reproduciremos algunas de las clasificaciones que empiezan a emplearse mucho en EE. UU. y en Europa.

En segundo lugar, si pudiésemos sustituir el - - - -

empirismo actual por reglas precisas para la determinación de los ángulos y de las velocidades de corte así como los "avances" de las herramientas empleadas en la maquinaria de movimiento de tierras, la mecanización de las obras experimentaría nuevos progresos. Pero aquí también nos encontramos con el obstáculo de la falta de homogeneidad del material. Sin embargo, cabe esperar que algún día sea superada esta dificultad.

### **I.2.- CONSTITUCION DE LOS SUELOS.**

Los suelos están formados por materiales sólidos, por agua y por aire, en partes variables. La densidad absoluta de los suelos, es decir, la relación entre el peso del suelo seco y el volúmen de materia seca, oscila entre 2,65 y 2,85. Un alto contenido en materias orgánicas puede rebajar el valor inferior y la presencia de minerales pesados puede incrementar el valor superior.

Se llama densidad seca o aparente, la relación entre el peso de materias sólidas secas y el volúmen total.

El índice de vacíos es la relación entre el volúmen de los huecos y el volúmen de materias sólidas secas. Se entiende por vacío o hueco el volúmen que ocupan el aire o el agua.

### **I.3.- LA CLASIFICACION DE LOS SUELOS.**

La clasificación de los suelos, cuestión que desde hace varios años interesa a círculos cada vez más extendidos, puede tomar aspectos muy diversos según el objetivo que se proponga.



Para los trabajos de excavación suele bastar la clasificación de los suelos en cinco grandes grupos :

- tierra
- hard pan<sup>+</sup>
- roca disgregada (loose rock)
- arcilla solidificada (shale)
- roca

+ Suelo que ofrece una gran resistencia a la penetración del útil. En general es margas o arcilla compacta.

Para los suelos no homogéneos es frecuente limitarse a indicar los porcentajes de materias de los grupos citados en el suelo, por ejemplo: tierra con 20 % de roca. Esta clasificación no representa demasiado bien las diversas condiciones de los suelos.

Cabe considerar otra clasificación elemental que presenta la siguiente terminología que se establece por simple - examen visual :

- pedras y gravas
- suelos arenosos
- limos orgánicos (organic silts)
- limos inorgánicos (inorganic silts) y harina de roca (rock flour)
- arcilla inorgánica (inorganic clay)
- margas (marl)
- greda (loam)
- barro, arcilla adherente (gumbo)
- barro, lígamo (slime)

Todos estos materiales pueden ir mezclados con cascos, grava, arena, etc. Por otra parte, todos los grupos citados pueden ser excavados con maquinaria sin empleo de explosivos.

Además de estas clasificaciones elementales, se utilizan otras más científicas, tales como la mineralógica o la geológica, la clasificación por origen, la estructural, etc. A partir de importantes estudios realizados en EE. UU. sobre la cuestión, se adoptan en general una de las siguientes clasificaciones americanas en lo que concierne a los trabajos de terraplenado.

La clasificación de la aeronáutica (según Casagrande) dada en la tabla A, la clasificación de la administración de carreteras (Public Road Administration o PRA), dada en la tabla B y la clasificación de los ingenieros del ejército, que no reproducimos.

En la tabla A se encontrarán, además de los datos comparativos para la clasificación PRA, los números de categorías de otra clasificación, la de los Indices de Resistencia de California (Californian Bearing Ratio). Esta última se define por la relación (en %) entre la presión de hundimiento en el suelo considerado sobre muestra saturada de agua y la presión de hundimiento en un suelo de referencia.

Por último, la tabla C nos da la clasificación propuesta por George J. Young del Institute of Mining and Metallurgical engineers. Esta es la más usual. Los materiales que en ella se designan por las clases I y II no requieren tratamiento

previo alguno antes de la excavación, mientras que los de la --  
clase III precisan muy a menudo una disgregación previa con re-  
ja o "ripper", con escarificador o con grado, incluso pueden te  
ner que dinamitarse si no se dispone de maquinaria muy potente.

Los materiales de la clase IV deben disgregarse con -  
un explosivo débil, los de la clase V con explosivo de potencia  
media y los de la clase VI con un potente explosivo rompedor

Tabla A Clasificación de la Aerofútica (Casagrande)

CLASIFICACION GENERAL	GRUPOS Y DESIGNACIONES	SÍMBOLO DEL ORGANIS MO DE EE.UU.	VALOR COMO CIMENTOS (SIN HIELO)	ACCION DEL HIELO	ELASTICIDAD (CONTRACCION, DILATACION)	VALOR COMO DRENAJE	COMPORTAMIENTO AN TE COMPACTACION, MATERIAL A EMPLEAR	DENSIDAD MAXIMA EN SECO	INDICE DE VACIOS	CATEGORIAS SECUN CLASIFICACIONES C.B.R.* P.R.A.**	
SUELOS DE ELEMENTOS GRANESOS.	Grava y mezclas de grava-Arena, de buena granulometría - Con pocos finos o sin ellos.	G W	Excelente	Nula a muy ligera	Casi N u l a	Excelente	Excelente Tractor vibrador	2,0	0,35	30	A <sub>3</sub>
	Mezclas de grava-Arena-Arcilla de buena granulometría.	G C	Excelente	Medía	Muy escasa	Prácticamente impermeable.	Excelente-Rodillos patas de cabra	2,10	0,30	40	A <sub>1</sub>
	Gravas y mezclas de grava- Arena de mala granulometría-Con pocos finos o sin ellos.	G P	Buena a Excelente	Nula a muy ligera	Casi N u l a	Excelente	Buena Tractor vibrador	1,85	0,45	25-60	A <sub>3</sub>
	Gravas con finos-Gravas muy-fangosas-Gravas arcillosas.- Mezclas grava-Arena-Arcilla de mala granulometría.	G F	Buena a Excelente	Escasa a media	Casi nula a escasa	Regular a prácticamente impermeable.	Buena-Estricto control esencial-Rodillos sobre neumáticos-Tractor.	1,95	0,40	20	A <sub>2</sub>
Arenas y suelos arenosos	Arenas y arenas con grava de buena granulometría-Con pocos finos o sin ellos.	S W	Excelente a bueno	Nula a muy ligera	Casi N u l a	Excelente	Excelente Tractor vibrador	1,95	0,40	20-60	A <sub>3</sub>
	Mezclas de arena-Arcilla de buena granulometría-Aglutinante excelente.	S C	Excelente a bueno	Medía	Muy escasa	Prácticamente impermeable.	Excelente-Rodillos patas de cabra.	2	0,35	20-60	A <sub>1</sub>
	Arenas de mala granulometría -Con pocos finos o sin ellos.	S I	Regular a bueno	Nula a muy ligera	Casi N u l a	Excelente	Buena Tractor vibrador	1,60	0,70	10-30	A <sub>3</sub>
	Arenas con finos, Arenas muy-fangosas-Arenas arcillosas.- Mezclas de arena-Arcilla de mala granulometría.	S F	Regular a bueno	Ligera a fuerte	Casi nula a media	Regular a prácticamente impermeable.	Buena-Estricto control esencial-Rodillos sobre neumáticos.	1,70	0,60	8-30	A <sub>2</sub>
SUELOS DE ELEMENTOS FINOS	Fangos inorgánicos, Arenas - muy finas. MO, harina de roca -Arenas finas fangosas o arcillosas de poca plasticidad.	M L	Regular o malo	Medía a muy fuerte	ligera a media	Regular a malo	Buena a regular-Rodillos sobre neumáticos.	1,60	0,70	6-25	A <sub>4</sub> A <sub>6</sub> A <sub>7</sub>
	Arcillas inorgánicas de base de plasticidad media, arcillas-arenosas, arcillas fangosas, arcillas negras.	C L	Regular a malo	Medía a fuerte	Medía	Prácticamente impermeable.	Regular a bueno-Rodillos patas de cabra.	1,60	0,70	4-15	A <sub>4</sub> A <sub>6</sub> A <sub>7</sub>
	Fangos orgánicos, fangos. Arcillas de poca plasticidad.	O L	Malo	Medía a fuerte	Medía a alta	Regular	Regular a malo-Rodillos patas de cabra.	1,45	0,90	3-8	A <sub>4</sub> A <sub>7</sub>
	Arenas finas y suelos fangosos con mica o diatomas, -- fangos elásticos.	M H	Malo	Fuerte	Medía	Regular a malo	Malo a muy malo-Difícil de compactar.	1,60	0,70	7	A <sub>3</sub>
Suelos de elementos - finos de alta compresibilidad.	Arcillas inorgánicas de gran plasticidad. Arcillas grasas.	C H	Malo a muy malo	Fuerte	Medía	Prácticamente impermeable.	Regular a malo-Rodillos patas de cabra.	1,45	0,90	6	A <sub>6</sub> A <sub>7</sub>
	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta.	O H	Muy malo	Fuerte	Medía	Prácticamente impermeable.	Malo a muy malo-Difícil de compactar.	1,60	0,70	4	A <sub>7</sub> A <sub>8</sub>
Suelos de elementos - orgánicos - fibrosos de altísima compresibilidad.	Turba y otros suelos pantanosos de alto contenido en materias orgánicas.	Pt	Extremadamente malo.	Muy fuerte	Muy alta	Regular a malo	Imposible de compactar.	--	--	--	A <sub>9</sub>

\* C.B.R. = California Bearing Ratio = Índice de resistencia de California.

\*\* P.R.A. = Public Road Administration = Administración de Carreteras de EE. UU.

Tabla B Clasificación PRA de suelos, según la Administración -  
de Carreteras USA.

(Public Road Administration).

CARACTER GENERAL	DESIGNACION	CARACTERISTICAS
Dominante Arenosa o de grava	A <sub>1</sub>	Material con gruesos y finos de buena granulometría, con buen aglutinamiento. Muy estable bajo cargas rodantes, con independencia de la humedad.
	A <sub>2</sub>	Mismo elemento que A <sub>1</sub> , pero con peor granulometría y aglutinante inferior -Estable en seco- Se reblandece por lluvia o hidratación capilar en caso de recubrimiento estanco -Polvoriento en tiempo seco-.
	A <sub>3</sub>	Materiales gruesos sin aglutinante -Muy impermeable- No afectados por la humedad -Excelente soporte para recubrimiento elástico de espesor medio y para recubrimiento rígido delgado.
Dominante fangosa	A <sub>4</sub>	Fangos sin materias gruesas y sin apreciable arcilla coloidal -Inestables si absorben agua -Compresibles- Malos como soporte- Sensibles al hielo.  ..... ## .....

CARACTER GENERAL	DESIGNACION	CARACTERISTICAS
Dominante fangosa	A <sub>5</sub>	Similar a A <sub>4</sub> . Su elasticidad no se presta a buena compactación ni a recibir aglutinante.
Domi- nante Arcillosa	A <sub>6</sub>	Arcilla sin materiales gruesos -Pueden infiltrarse en los macadams una vez desleídos y provocar deslizamientos- Deben compactarse y afirmarse para proporcionar un buen soporte -Su elevado coeficiente de -- contracción y dilatación ante la humedad -- provoca fisuras en los recubrimientos rí-- gidos.
Inclusión de materias orgánicas	A <sub>7</sub>	La misma naturaleza que A <sub>6</sub> pero mayores -- elasticidad e higrometría, lo que agrava -- los defectos de A <sub>6</sub> .
	A <sub>8</sub>	Turbas y barros. No sirven para soportar -- revestimientos sin previa compactación.

Tabla C Clasificación de suelos según George J. Young,-  
 Institute of Mining and Metallurgical Engineers.

DESIGNACION	C A R A C T E R I S T I C A S
CLASE Ia	Arena - Grava fina - fango (silt) con poca agua o sin agua.
CLASE Ib	Arena movediza, barro y arcilla (mud and clay)- con más o menos agua.
CLASE II	Arenas y suelos con piedras, bloques de piedra, grava gruesa y restos de roca.
CLASE III	"Hardpan", "compact harpan", arcilla esquisto--sa, rocas tiernas más o menos fisuradas, carbón gravas minerales compactas más o menos agrega--das por aglutinante o masas de rocas muy debili--tadas por estratificación.
CLASE IV	Rocas medias y duras como gres, calcáreas, piza--rras, tobas volcánicas, cenizas volcánicas vi--trificadas, brechas, gravas aglomeradas, masas--rocosas debilitadas por estratificación, rocas--muy alteradas y minerales tiernos. <div style="text-align: right;">.... ## .....</div>

DESIGNACION	C A R A C T E R I S T I C A S
CLASE V	Rocas duras y compactas, calcáreas silíceas, rocas igneas o metamórficas, gneis, rocas moderadamente alteradas, cuarcita y la mayoría de minerales.
CLASE VI	Rocas muy duras, rocas igneas no alteradas, como el granito, la diorita, la disbasa, las rocas metamórficas duras como el sílex y el jaspe minerales densos, hematites y magnetita y minerales silíceos no debilitados por roturas.



## CAPITULO II.

### ABUNDAMIENTO Y ASENTAMIENTO .

Cuando se excava tierra o se vuela roca quitándola de su posición original se rompe en fragmentos o terrones, que quedan sueltos y apoyados entre sí. Esta nueva disposición crea espacios o huecos, con lo que aumenta su volúmen. A este aumento de los metros cúbicos medidos en el banco a los metros sueltos se llama **abundamiento**.

El abundamiento se expresa como un porcentaje del volúmen en el banco. Si un metro en el banco aumenta a  $1 \frac{1}{4}$  metros sueltos, el aumento es de  $\frac{1}{4} \times 100$ , o sea, del 25 %.

Para convertir los metros en el banco a metros sueltos, la medida se aumenta en el porcentaje de abundamiento. En el ejemplo anterior, 10 metros en el banco pueden convertirse como  $10 \text{ más } 10 \times 0.25$ , o como  $10 \times 1.25$ , lo que da 12.5 metros sueltos.

Abandonados bajo la acción de los agentes atmosféricos, los materiales extraídos disminuyen de volúmen y **asientan**. En otras palabras, el coeficiente de abundamiento disminuye tendiendo hacia un límite.

Por lo tanto se distinguen :

Un coeficiente de abundamiento inicial, **F**, que se mide a la extracción de los materiales;

un coeficiente de esponjamiento final o persistente, **F'**, que debe medirse después del asentamiento de los materiales de excavación.

Se puede definir también un coeficiente de asentamiento de los materiales que es la disminución relativa del volumen aparente de estos materiales después de un asentamiento definitivo respecto al volumen inicial de los materiales recién extraídos. (Fig. II-A).

**COEFICIENTES :**

ABUNDAMIENTO INICIAL :  $F = \frac{V - V_0}{V_0}$

ABUNDAMIENTO PERSISTENTE :  $F' = \frac{V' - V_0}{V_0}$

ASENTAMIENTO DE LOS MATE-  
RIALES DE EXCAVACION : ...  $T = \frac{V - V'}{V} = \frac{F - F'}{1 + F}$

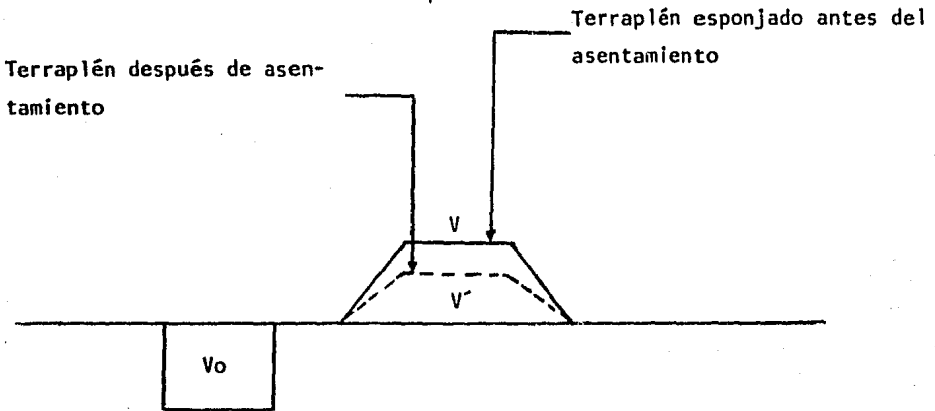


Fig. 11-A.

Si se designa por  $V_0$  el volúmen del terreno in situ, -  
 $V$  el volúmen de los materiales extraídos antes de su asentamiento  
y  $V'$  el volúmen de los materiales después de su asentamiento,  
el ccefciente de abundamiento inicial vale :

$$F = \frac{V - V_0}{V_0} ;$$

el coeficiente de abundamiento persistente es :

$$F' = \frac{V' - V_0}{V_0} ;$$

y el coeficiente de asentamiento es :

$$T = \frac{V - V'}{V} = \frac{F - F'}{1 + F}$$

Los valores de los coeficientes  $F, F'$  y  $T$  son, como media, según la naturaleza de los terrenos :

Naturaleza de los terrenos	Coeficiente de abundamiento		Coeficiente de asentamiento de los Materiales T
	Inicial F	Persistente F'	
Tierra vegetal, arena .....	10-15%	1-1,5 %	8-12 %
G r a v a .....	15-20%	1,5-2 %	12-15 %
Tierra grasa mezclada con arena.	20-25%	2-4 %	15-17 %
Tierra arcillosa .....	25-30%	4-6 %	17-19 %
Arcilla .....	30-35%	6-7 %	19-21 %
Marga .....	35-40%	7-8 %	21-23 %
Arciíla y marga muy compac- tas. ....	40-65%	8-15 %	23-30 %
Conglomerados .....	30-40%	8-15 %	17-18 %
Roca compacta extraída con- explosivos .....	40-65%	25-40 %	10-15 %

Para los productos de excavación sueltos, el coeficiente de abundamiento inicial varía del 10 al 65 % y el coeficiente de asentamiento del 8 al 30 %, siendo estos coeficientes tanto más elevados cuanto mayor es el contenido del terreno en arcilla y más elevada la consistencia del terreno. También aquí la arcilla desempeña un papel particularmente peligroso en la estabilidad de los terraplenes.

En las excavaciones de materiales rocosos el coeficiente de abundamiento inicial es elevado, presentándose los elementos rocosos extraídos con barra en bloques, pero el coeficiente de asentamientos es relativamente pequeño (10 al 15 %). Los terraplenes rocosos son estables y asientan menos que los de material térreo.

Estos coeficientes sirven para resolver diversos problemas que se presentan frecuentemente. Así la organización de la evacuación de los materiales de excavación mediante vehículos de capacidad dada exige el conocimiento del coeficiente de abundamiento inicial.

Para construir un terraplén con un volúmen definitivo  $V'$  es necesario obtener un volúmen provisional abundado del asentamiento cuyo valor es :

$$V = \frac{V'}{1 - T}$$

y extraer el volúmen de materiales in situ de :

$$V_0 = \frac{V}{1 + F}$$

Esto permite determinar la cubicación del préstamo necesario para conseguir un terraplén de perfil dado.

Prácticamente, el asentamiento se traduce en una disminución de la altura de los terraplenes después de su ejecución (fig. II-B).

La disminución relativa de altura es muy sensiblemente igual al coeficiente de asentamiento si el terraplén se ejecuta sin cuidados especiales.

Para obtener un terraplén que tenga una vez asentado su nivel superior a una cota determinada que debe ser generalmente muy exacta, es necesario dar al terraplén durante su construcción un perfil provisional con un exceso de altura conveniente y excesos de anchura adecuados, por lo que es necesario conocer el coeficiente de asentamiento que determina este exceso de altura.

Después del asentamiento, el perfil obtenido se regulariza para obtener las cotas definitivas del proyecto.

Es bueno observar que es mejor quedarse alto después del asentamiento que excesivamente bajo, pues es más fácil y económico eliminar de las capas superficiales el exceso de altura extendiendo la tierra sobre los taludes laterales que añadir nuevos terraplenes para elevar una plataforma excesivamente baja.

No debe empezarse a construir sobre un terraplén más que cuando éste haya alcanzado su equilibrio definitivo; generalmente en los terraplenes de carreteras o vías férreas se deja pasar una estación lluviosa que facilite el asentamiento de las tierras..

Es necesario evitar la erección de construcciones o -

Plataforma antes del asentamiento. Plataforma después del asentamiento.

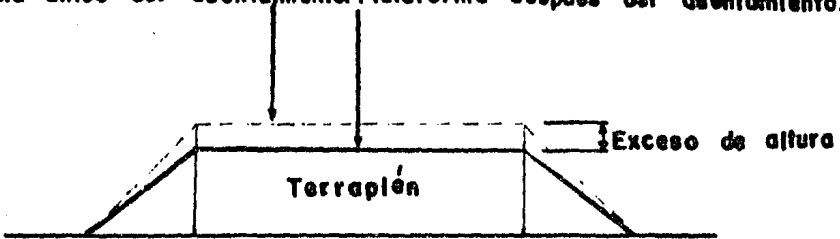


Fig. II.B. Asentamiento de los terraplenes.

estructuras sobre terrenos heterogéneos que comprendan en planta zonas en que los asentamientos sean diferentes.

Hay terrenos que asientan mucho más que otros cuando se los utiliza en terraplenes. En el caso de los terrenos arcillosos deben evitarse tanto como sea posible en la construcción de terraplenes, especialmente si son de gran altura.



## CAPITULO III.

### TALUD NATURAL DE LA EXCAVACION.

Los taludes que limitan las excavaciones deben tener cierta inclinación con la horizontal para mantenerse en equilibrio estable. Se define esta inclinación bien por el valor del ángulo  $i$  del talud con la horizontal (Fig. III-A) o bien por el valor :

$$\frac{H}{B} = \operatorname{tg} i,$$

sea por el valor :

$$\frac{B}{H} = \operatorname{cotg} i.$$

El ángulo de inclinación  $i$  debe ser inferior a cierto límite que es el ángulo de talud natural del terreno, talud que es el que toma por sí mismo el material abandonado a la acción prolongada de los agentes atmosféricos.

El ángulo del talud natural depende esencialmente de la naturaleza del terreno y su grado de consistencia. Es más -- grande para los terrenos naturales in situ (taludes de excavación en terreno natural) que para los terrenos transportados -- (taludes de excavación en terreno transportado, talud de terraplén).

El conocimiento del ángulo de talud natural y la determinación del ángulo de inclinación  $i$  son indispensables :

- a). Para el estudio de los proyectos de movimientos de tierra: para fijar los perfiles y determinar -

la cubicación de los movimientos de tierras o la superficie de expropiación que son tanto más grandes cuanto menor es el ángulo  $i$ .

- b). Durante la ejecución, para dar a los taludes una inclinación correcta compatible con una buena estabilidad de las obras.

La experiencia y práctica demuestran que el ángulo de talud natural es mayor para terrenos secos o ligeramente húmedos que para terrenos muy húmedos o impregnados de agua; es aún menor para terrenos enteramente sumergidos.

En el Cuadro adjunto damos, no el valor del ángulo -- del talud natural, sino el del ángulo de inclinación  $i$  (así como el valor redondeado de  $\text{tg } i = H/B$ ) adoptado generalmente para los taludes.

En la práctica, estos valores representan valores mínimos por debajo de los cuales no es prudente descender.

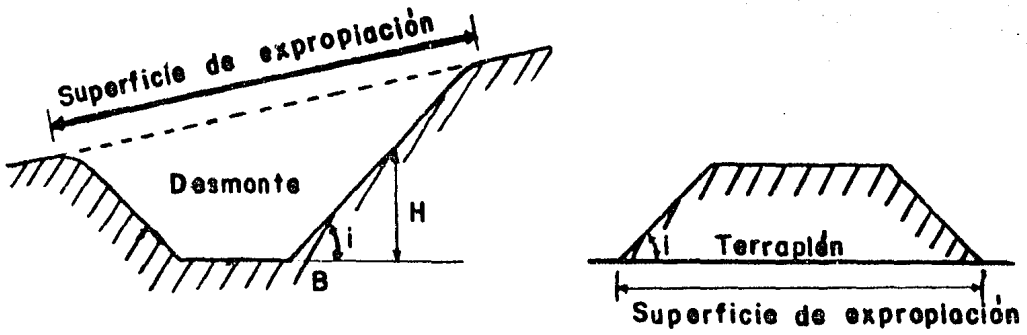


Fig.III-A.-Inclinación de los taludes.

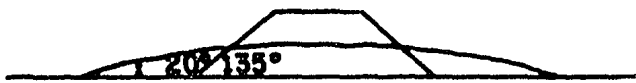


Fig.III-B.-Deformación de un terraplén arcilloso bajo la acción

de la lluvia.

NATURALEZA DEL TERRENO	TALUD DE EXCAVACION EN TERRENOS NATURALES				TALUD DE EXCAVACION EN TERRENOS TRANSPORT. TALUD DE TERRAPLEN			
	TERRENOS SECOS		TERRENOS SUMERGIDOS		TERRENOS SECOS		TERRENOS SUMERGIDOS	
	i	tg	i	tg	i	tg	i	tg
Roca dura .....	80°	5/1	80°	5/1	45°	1/1	45°	1/1
Roca blanda o fisurada ....	55°	3/2	55°	3/2	45°	1/1	45°	1/1
Detritus rocosos, guijarros ....	45°	1/1	40°	4/5	45°	1/1	40°	4/5
Tierra adherente mezclada con -- piedra y tierra vegetal .....	45°	1/1	30°	1/2	35°	2/3	30°	1/2
Tierra arcillosa, arcilla, mar-- ga .....	40°	4/5	20°	1/3	35°	2/3	20°	L/3
Grava, arena gruesa no arcillo-- sa .....	35°	2/3	30°	1/2	35°	2/3	30°	1/2
Arena fina no arcillosa ...	30°	1/2	20°	1/3	30°	1/2	20°	1/3

Estas cifras sugieren los comentarios siguientes :

Los valores dados para los terrenos sumergidos, corres-  
ponden a taludes bajo el agua o enteramente saturados de agua --  
por abundantes infiltraciones.

Los valores correspondientes a terrenos secos deben --  
utilizarse en excavaciones fuera del agua pero tienen en cuenta la -  
acción normal de las lluvias.

De hecho, si el terreno está enteramente seco, por - -  
ejemplo, en Verano, puede admitir inclinaciones más acentuadas,-  
pero, sería peligroso ejecutar en la estación seca excavaciones -  
con pendiente acentuada, que se derrumbarían en la estación de -  
lluvias.

Esto es especialmente importante en todos los terrenos que contienen arcilla.

En tiempo seco, una excavación en tierra arcillosa se mantiene con un ángulo de  $50^\circ$  o más mientras que en tiempo de lluvia el ángulo desciende a  $40^\circ$ . Una excavación en arena arcillosa seca se mantiene con un ángulo de  $40^\circ$  mientras que en tiempo de lluvia el ángulo desciende a  $30^\circ$  o menos.

La presencia de arcilla en el terreno hace que el comportamiento de éste mejore en tiempo muy seco y por el contrario, sea más fácil su desprendimiento impregnado de agua, acción agravada aún más si el terreno está totalmente sumergido.

La figura III-B indica la forma que tomaría un terraplén arcilloso ejecutado en Verano con una inclinación  $i$  de  $35^\circ$  si estuviera sometido en Invierno a precipitaciones muy abundantes que hicieran descender su ángulo de talud natural a  $20^\circ$ .

La presencia de agua disminuye siempre la estabilidad del terreno, siempre que éste no es rocoso y tanto más cuanto más arcilloso es.

Nunca es excesiva la prudencia en este aspecto especialmente para las grandes trincheras y terraplenes; por lo tanto, deberán aplicarse de la forma siguiente las cifras anteriores :

Si el terreno está sumergido : cifra correspondiente a "terreno sumergido";

Si el terreno es seco, sin capa freática y no puede estar sometido más que a lluvias débiles : cifra correspondiente a "terreno seco";

Si el terreno está sometido a infiltraciones subterráneas o a lluvias abundantes y especialmente si es arcilloso : - cifra intermedia entre las dos anteriores con tendencia a acercarse como medida de seguridad a la cifra correspondiente a - - "terreno sumergido" .

Por otra parte, es necesario combatir enérgicamente, - la acción del agua saneando los taludes mediante drenajes que - recojan y evacuen las aguas superficiales y capten las profundas.

## CAPITULO IV .

### PROCEDIMIENTOS PARA EL ABATIMIENTO DEL NIVEL PRÁCTICO :

#### IV.1.- INTRODUCCION.

Quando en obras de Ingeniería Civil, como instalación de servicios públicos subterráneos, construcción de sótanos profundos para edificios, casas de máquinas, túneles, presas y diques secos, se necesite ejecutar excavaciones, el Ingeniero se puede ver ante el problema de realizarlas más allá del nivel de aguas freáticas, lo que implica abatir dicho nivel por debajo del fondo de la excavación para que los trabajos se realicen en seco.

El problema en sí es el de elegir el procedimiento -- más adecuado para abatir el nivel freático, de acuerdo con las características del proyecto y del subsuelo.

La elección puede lograrse tomando en cuenta factores tales como : la profundidad a que debe llegar la excavación -- por debajo del nivel freático y la permeabilidad del subsuelo -- que circunda la excavación.

En obras de importancia, la elección del procedimiento más adecuado de abatimiento requiere de datos exactos de la permeabilidad del subsuelo, es decir que el método se defina de acuerdo con la permeabilidad media del subsuelo.

Si en una excavación se elige un procedimiento adecuado, se obtendrán ventajas económicas en la obra al abatir en -- forma más efectiva dicho nivel.

A continuación se describen los procedimientos para el abatimiento del nivel freático.

#### IV.2.- METODO DE ZANJAS Y SUMIDEROS :

En este método, el drenaje de la excavación a cielo abierto se efectúa generalmente conduciendo por gravedad el agua de filtración hacia zanjás poco profundas o a pozos practicados en el fondo de las mismas que reciben el nombre de sumideros, de los cuales se extrae el agua mediante bombas (Fig.IV.1)

Esta forma de abatimiento del nivel freático puede ser tolerable en algunos casos, cuando el gasto que fluye hacia el interior de la excavación es relativamente pequeño, es decir 5 a 10 lt/seg. y no se produce el arrastre de partículas de suelo por el agua. Tales condiciones se presentan cuando se excava en suelos cohesivos como arcillas, limos arcillosos, arenas arcillosas, gravas arcillosas; es decir, todos aquellos suelos con algún contenido de arcilla que produce cierta cohesión entre las partículas y ofrece cierta resistencia a la erosión.

Sin embargo, en cualquiera de estos casos las filtraciones que se generan hacia la excavación producen fuerzas de filtración que tienden a provocar el deslizamiento de los taludes, lo que obliga a construirlos con pendientes muy tendidas.

Por el contrario, cuando se excava con este procedimiento en suelos no cohesivos, tales como los limos no plásticos, las arenas limosas y las arenas finas, se produce el deslizamiento y la erosión de los taludes y del fondo de la excavación, aún cuando la profundidad sea apenas de uno o dos metros-



bajo el nivel freático. Además, las filtraciones ascendentes - en el fondo de la excavación, al tratar de levantar las partículas de suelo, aflojan su estructura y lo convierten en un material suelto, con lo cual se reduce importantemente la capacidad de carga y se aumenta la compresibilidad del suelo que queda bajo el fondo de la excavación. Si el gradiente hidráulico a la salida de las filtraciones del fondo es cercano a la unidad, -- las partículas del suelo no cohesivo entran en ebullición; es - decir, se produce la condición de una arena movediza. Este fenómeno es mas evidente en el caso de la excavación para una pila de puente que se muestra en la Fig. IV.2; las fuerzas de filtración ascendentes provocan el levantamiento del material del fondo comprendido entre las tablaestacas, lo cual puede anular el empuje pasivo que actúa en el empotramiento, dando por resultado la falla de las tablaestacas por "pateo".

Si la excavación se hace en suelos de alta permeabilidad, como las gravas y las arenas gruesas, el gasto de filtración se vuelve tan grande que se convierte en un serio inconveniente para la seguridad y la buena ejecución de la obra. De - aquí, la necesidad de controlar en todos estos casos las filtraciones, a fin de eliminar los efectos de inestabilidad, de ebullición o de arrastre de los suelos durante la excavación.

#### **IV.3. METODO DE LOS POZOS FILTRANTES :**

Consiste básicamente en conducir las filtraciones mediante instalaciones convenientes de bombeo, extrayéndolas del suelo antes de que lleguen al sitio de la excavación; estos - -

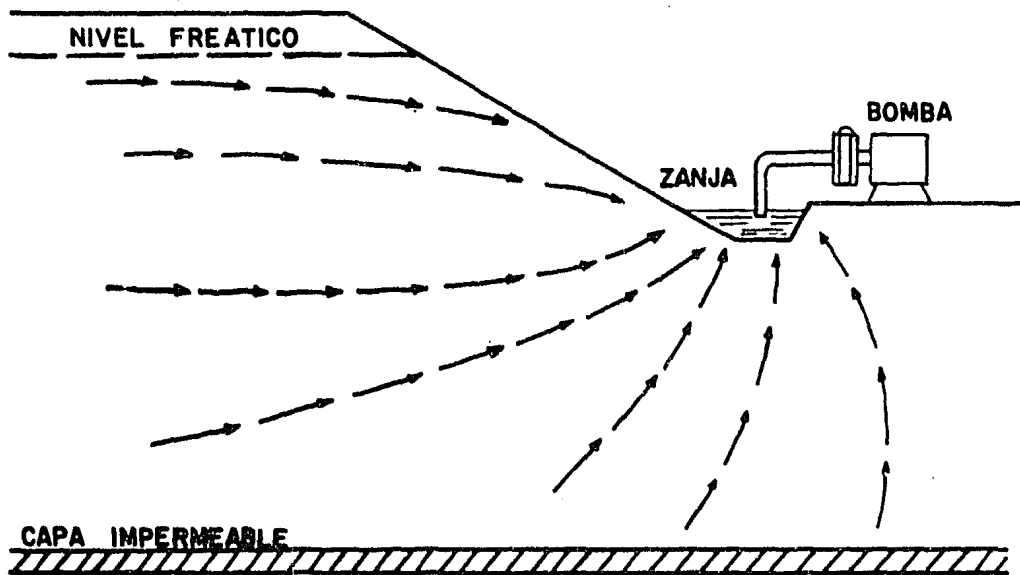


Fig. IV.1. Método zanjas y sumideros. Filtraciones hacia el interior de una excavación en talud.

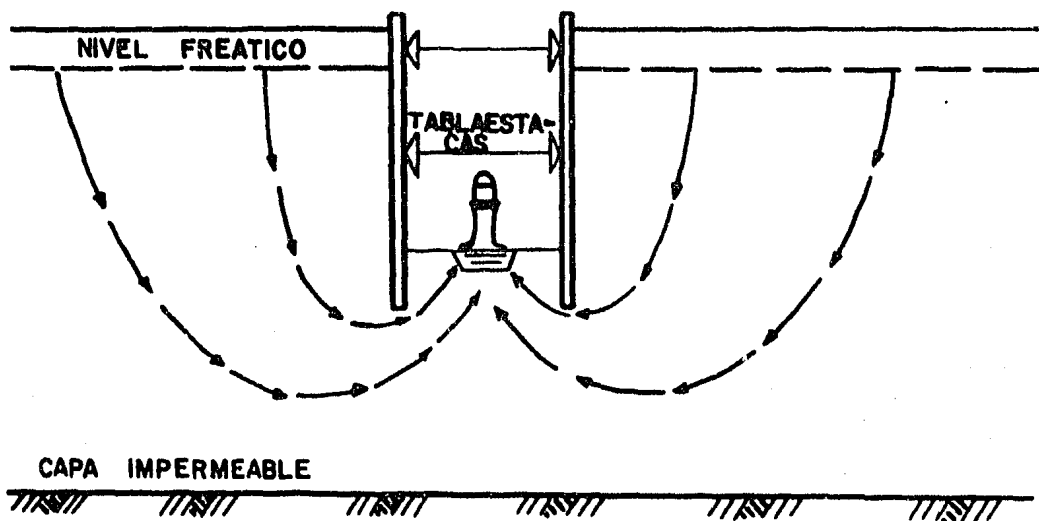


Fig. IV.2. Filtraciones en una excavación en trinchera ademada.

métodos permiten abatir el nivel freático, en forma local, en el sitio en que se excava, previamente a la ejecución de la excavación y/o disminuir las fuerzas de filtración que actúan sobre los taludes de la excavación. Puede subdividirse en :

#### **IV.3.1.- METODO SIEMENS :**

En éste las camisas del pozo tienen comunmente un diámetro de 8 pulgadas y están perforados en una longitud de 4.5 a 9 m. a partir de su extremo, la parte perforada va recubierta de una malla de bronce que hace las veces de filtro, obteniéndose mejores resultados cuando la abertura de la malla está comprendida entre los diámetros  $D_{60}$  y  $D_{15}$  del suelo que la rodea. La distancia entre pozos varía de 12 m. para suelos muy permeables a 6 m. para suelos menos permeables, que aún pueden ser drenados en forma efectiva.-  
Fig. IV.3.

#### **IV.3.2.- METODO WELL POINT :**

El esquema de la Fig. IV.4. muestra este sistema que consiste en una serie de tubos verticales de unos 6 m. de longitud y diámetro de 1 1/2" a 2", en cuyo extremo se acopla un tubo especial formado por una fina malla metálica o de plástico, en cuyo interior se aloja un tubo perforado; esta última parte tiene unos 0.60 m. de longitud y en su extremo inferior está provista de una válvula de pie. Estos tu-

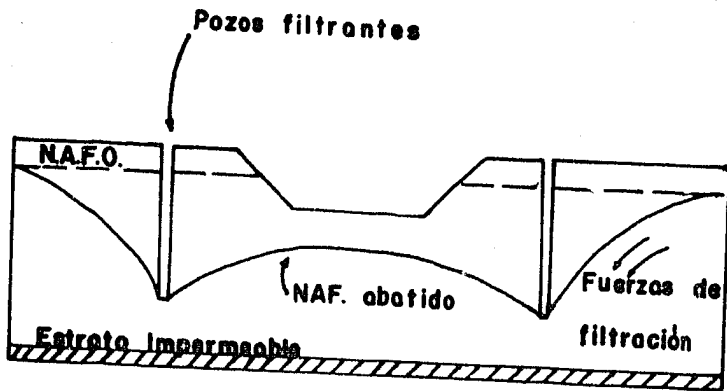
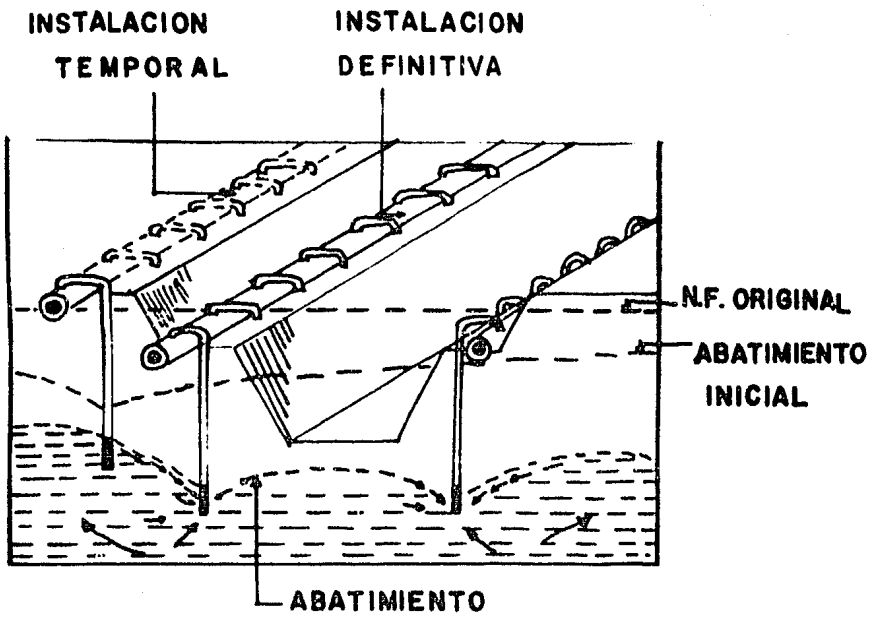
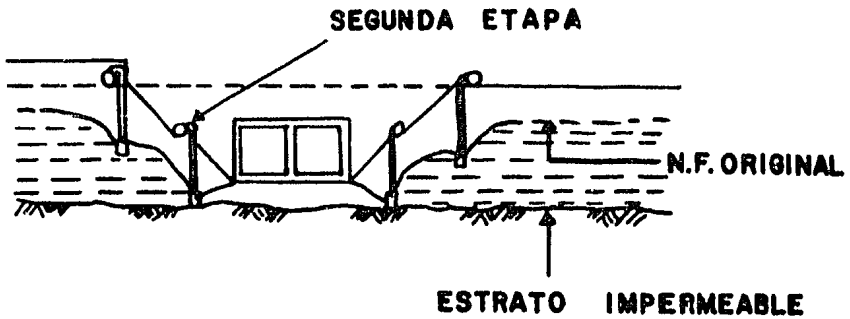


Fig. IV.3. Método Siemens.



PRIMERA ETAPA  
DE ABATIMIENTO  
Y EXCAVACION

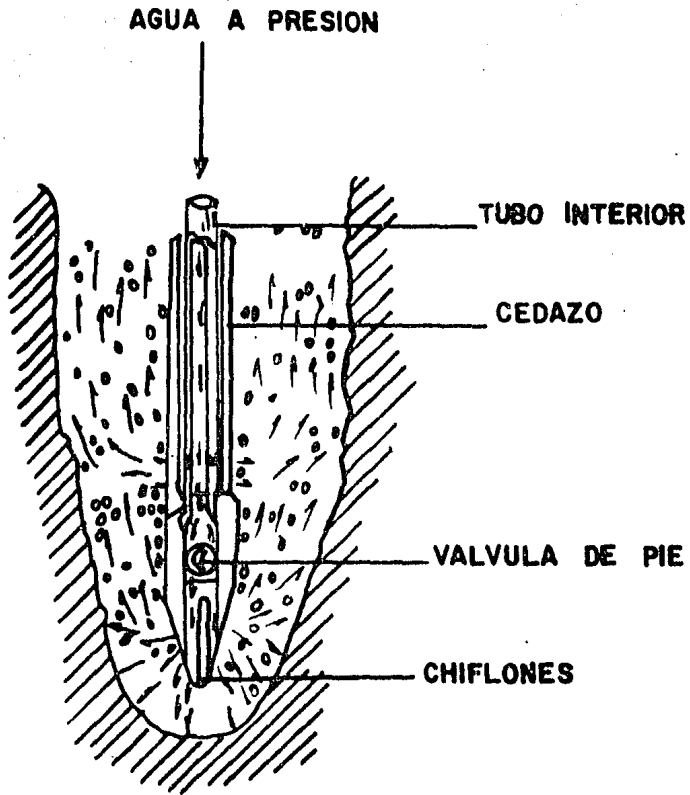
FINAL



**Fig. IV. 4. Método Well Point. Abatimiento del nivel freático mediante pozos - punta.**

bos se instalan en el terreno hincándolos con el auxi-  
lio de un chiflón de agua que circula por el propio -  
tubo y sale por el extremo inferior alrededor de la -  
válvula de pié, como se muestra en la Fig.IV.4.A; di-  
chos "tubos-punta" se colocan en líneas alrededor de-  
la excavación, con separaciones entre una y otra "pun-  
ta", que varían de 0.5 a 2 m.; excepcionalmente esa -  
separación llega a ser de 3 m. El extremo superior-  
de cada uno de los tubos se conecta a una tubería --  
con diámetro de 8" a 10", la cual a su vez conecta al  
extremo de succión de una bomba centrífuga de impul-  
sor abierto, provista de una trampa de aire; una bom-  
ba de vacío conectada también en la tubería de suc- -  
ción, complementa el sistema. Al crear el vacío en -  
la tubería de succión, la válvula de pié de las pun-  
tas, cierra el extremo interior de éstas y el agua --  
del suelo pasa solamente a través del cedazo con lo -  
cual se evita el arrastre de partículas de arena y li-  
mo.

Cada una de estas puntas es capaz de succionar un gas-  
to de 0.5 a 1.0 lt/seg., dependiendo de su diámetro; así pues, -  
la separación de las puntas dependerá del gasto que haya de bom-  
bear por metro lineal de perímetro del sistema, el cual está re-  
lacionado con la permeabilidad del suelo, de manera que si se -  
conoce ésta, se puede estimar el gasto por unidad de longitud, -  
así el diámetro de las puntas y su separación. Para fines de -  
orientación a este respecto, puede decirse que, en arenas de --



**Fig.IV.4.A. Hincado de la punta por medio de chiflón de agua.**

tamaño medio a fino, cuya permeabilidad es del orden de 10-2 -- cm/seg., pueden requerirse puntas de 2" con una separación de 0.50 m., mientras que, en arenas finas limosas con permeabilidad del orden de 10-3 cm/seg., bastarán puntas de 1 1/2" con separación de unos 2 m.

Este sistema solo permite abatir el nivel freático -- hasta unos 6 m. de profundidad, por lo que, si se requiere mayor profundidad de abatimiento, es necesario instalar varios -- circuitos de punta escalonados como indica el croquis de la -- Fig. IV.5.

#### **IV.4.- METODO PARA EXCAVACIONES PROFUNDAS :**

Para excavaciones profundas se pueden adoptar los siguientes procedimientos :

##### **IV.4.1. ESCALONES :**

Utilizando el sistema de escalones (Fig.IV.5) La profundidad a la que se puede abatir el nivel freático depende de la capacidad de succión de la bomba, es decir, cuando el espesor del estrato por drenar es mayor que dicha capacidad, es necesario dividir el estrato en escalones cuyo espesor será menor que la altura a la que la bomba puede elevar el agua y que no se ponga en peligro la estabilidad del talud que forma dicho escalón, riesgo que se origina por las fuerzas de filtración que actúan sobre esa masa de suelo drenado.



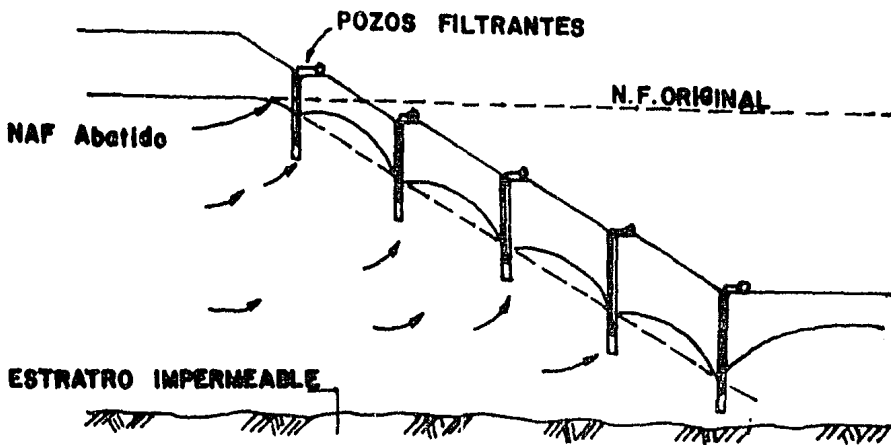


Fig. IV.5. Abatimiento mediante varias etapas escalonadas.

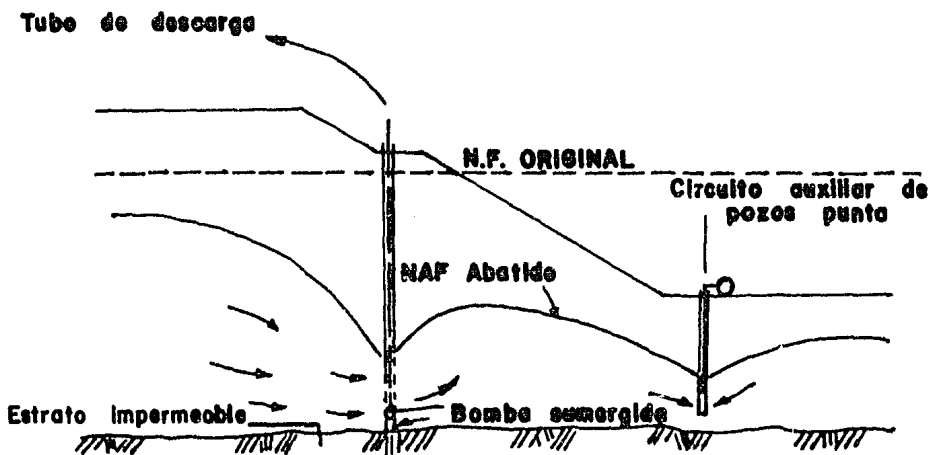


Fig. IV.6. Abatimiento de N.F. mediante pozos profundos.

#### IV.4.2.- POZOS PROFUNDOS :

Como una alternativa a la instalación de puntas escalonadas, se recurre al uso de pozos profundos que se instalan en un solo circuito perimetral a la -excavación, según se ve en la Fig. IV.6. Las bombas- de pozo profundo se fabrican en una amplia gama de capacidades que va desde unos 5 a 10 lt/seg., hasta gastos mayores de 100 lt/seg. lo cual permitiría diseñar una instalación que lograra controlar cualquier gasto de filtración y a cualquier profundidad que pudiera -requerirse en la práctica, aún tratándose de excava-- ciones de gran profundidad en depósitos de grava y -- arena gruesa y limpia, cuya permeabilidad sea mayor - de 10-1 cm/seg.; bastaría para ello conocer la permea- bilidad media y la estratigrafía del depósito para determinar, mediante el trazo de una red de flujo, el -gasto por metro lineal que se obtendrá a lo largo de- la línea de bombeo. Puesto que es indispensable que - los conos de abatimiento de cada uno de los pozos a - lo largo de la línea de bombeo se traslapen completa- mente, es necesario que la separación entre pozos no- sea mayor que la mitad de la profundidad de abatimien- to requerida y que el espejo del agua abatida en cada pozo de bombeo se encuentre de 2 a 3 m. abajo de la - profundidad de abatimiento deseada en la excavación.- Sobre estas bases se puede elegir la capacidad y número de las bombas que se requiera. Sin embargo, cuando

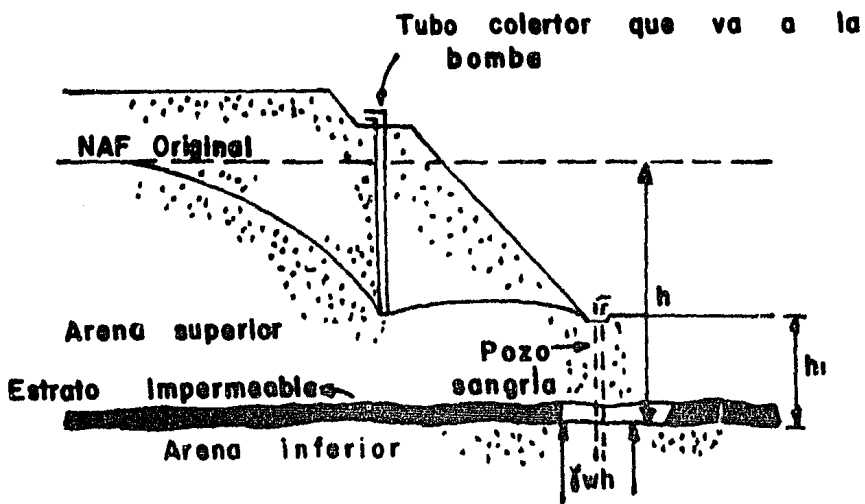
se trata de permeabilidades de 10-1 cm/seg., o mayores (gravas y arenas limpias), los gastos que se bombean llegan a ser tan grandes que requieren de fuertes inversiones en equipo y costo de operación; en tales circunstancias puede justificarse mejor, desde un punto de vista económico, evitar las filtraciones mediante métodos de impermeabilización que se discutirán más adelante.

Para evitar hacia el pié de los taludes el flujo de la pequeña cantidad de agua que se filtra en el espacio entre pozos profundos, ésta se capta con una fila de pozos de 2 pulgadas de diámetro (Fig. IV. 6).

#### **IV.4.3.- POZOS SANGRIA :**

Si la parte inferior de los pozos filtrantes se encuentra por encima de un estrato impermeable (Fig. IV.7), puede producirse el levantamiento del fondo de la excavación. Para evitar esta falla deben disponerse escapes o pozos de alivio de presión, que se conocen con el nombre de pozos sangría.

El método más simple para construir pozos de este tipo consiste en introducir por inyección pozos filtrantes de 2 ó 2.5 pulgadas de diámetro, formando un espacio anular entre el pozo y el suelo que posteriormente se llena con arena gruesa.



Cuando  $\gamma_{wh} > h_1$ , el fondo se levanta

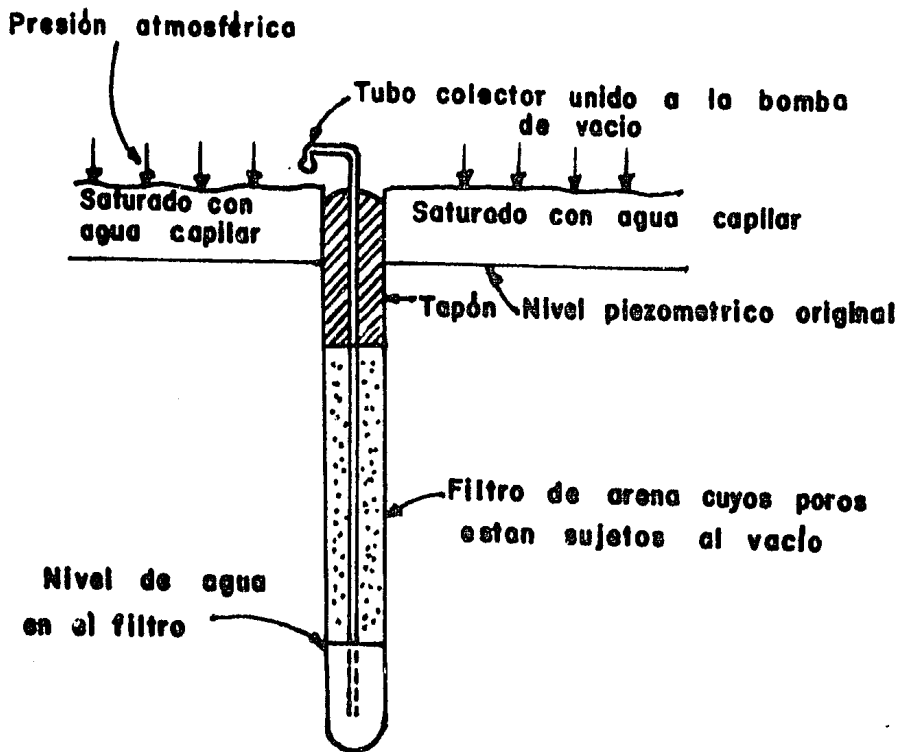
Fig. IV.7. Pozos sangría.

#### IV.5.- METODO DE BOMBEO Y VACIO COMBINADOS :

Cuando se tienen depósitos de limos o limos arenosos-- cuya permeabilidad varía entre  $10^{-3}$  y  $10^{-5}$  cm/seg., los sistemas de bombeo de gravedad por sí solos pueden requerir de un -- tiempo de bombeo demasiado prolongado, o bien ser totalmente -- ineficientes para los limos menos permeables; en tales condiciones se recurre al auxilio de un sistema de vacío que, combinado con el equipo de bombeo produce un vacío que actúa en las paredes del pozo, a través del filtro, según se muestra en la Fig.- IV.8. Esto se logra : antes de aplicar el vacío, tanto la superficie límite superior de la capa de suelo de grano fino, como el suelo que rodea el filtro se hallan sujetos a la presión-atmosférica  $P_A = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ . Después de haberse producido el - vacío, la presión en el suelo que rodea el pozo filtrante ha aumentado en una cantidad igual a la presión atmosférica.

El método más común para la construcción de pozos filtrantes es el siguiente :

- 1.- Se ejecuta la perforación con cualquier medio mecánico, que deberá ser mayor que el diámetro del-tubo ademe filtro.
- 2.- Se introduce el tubo ademe filtro hasta la profundidad deseada.
- 3.- Se rellena el espacio comprendido entre el tubo y el suelo con arena a manera de filtro, hasta que-el nivel de la misma llegue un metro debajo de la superficie superior del estrato de granos finos.
- 4.- El resto del espacio que no se rellenó con arena,



**Fig. IV.8. Principio del método del drenaje al vacío.**

se sellará con arcilla o limo, de manera que sirva como tapón.

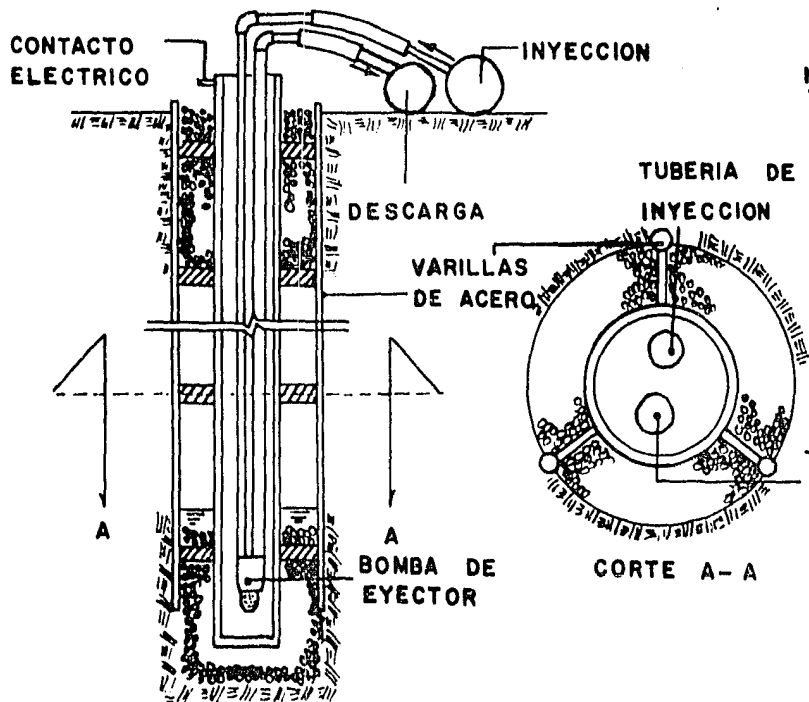
Este sistema aumenta el gradiente de las filtraciones hacia el pozo y desarrolla un estado de tensión en el agua de los poros del suelo que, a su vez, se traduce en un aumento de la presión intergranular y, por lo tanto, de la resistencia al corte del suelo. De esta manera, no solamente se logra la eliminación de las fuerzas de filtración, sino que además, el estado de tensión creado en el agua mejora notablemente las condiciones de estabilidad de los taludes de una excavación, lo que permite aumentar el ángulo del talud y reducir el volúmen de tierra excavada.

#### **IV.6.- METODO DE BOMBEO COMBINADO Y ELECTROSMOSIS :**

Cuando se trata de suelos de baja permeabilidad como, las arenas arcillosas, los limos arcillosos y las arcillas de mediana o alta plasticidad, cuyo coeficiente de permeabilidad es del orden de  $10^{-6}$  cm/seg. o menor, la aplicación del sistema de vacío es insuficiente para lograr el abatimiento rápido del nivel freático; en estos casos el bombeo puede auxiliarse con la aplicación de un gradiente de potencial eléctrico que acelera el flujo del agua a través de los poros del suelo y desarrolla, de manera semejante al sistema de vacío, un estado de tensión en el agua de los poros del suelo que incrementa temporalmente la resistencia al corte, efecto que unido a la eliminación de las fuerzas de filtración, estabiliza los taludes.

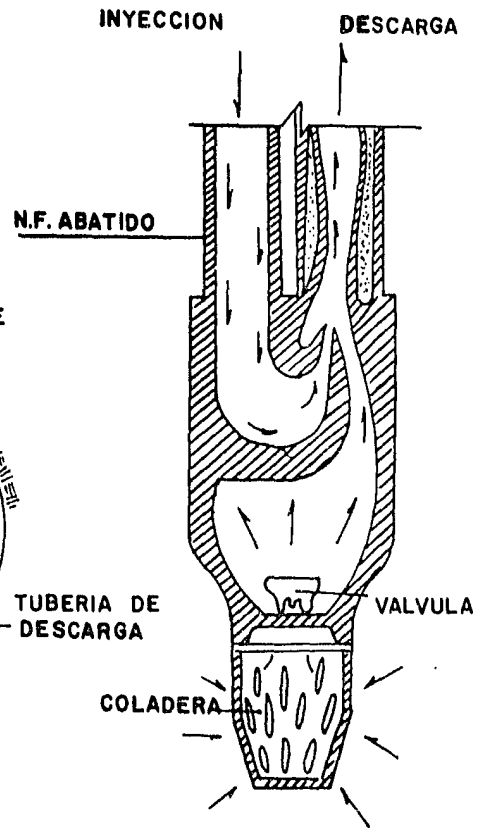
Ya se ha dicho que en este tipo de suelos, dada su --

Fig. IV.9.



INSTALACION DE UN POZO CATODO

45.



DETALLE DE LA BOMBA DE EYECTOR



baja permeabilidad, se producen gastos de filtración muy pequeños que son fáciles de manejar desde el interior de la excavación; además, por ser suelos cohesivos no son fácilmente erosionables y puede excavarlos en ellos hasta profundidades razonables sin necesidad de abatimiento previo del nivel freático. Sin embargo, cuando la profundidad de la excavación va más allá de los límites de la estabilidad de los taludes, el empleo de la electrólisis y el bombeo combinados es conveniente para mejorar las condiciones de estabilidad de los taludes y alcanzar con toda seguridad la profundidad de excavación final.

En el caso de excavaciones en arcillas blandas y expansivas, como las del Valle de México, se producen expansiones del fondo de la excavación, como consecuencia de la descarga que sufren los suelos que quedan bajo el nivel del fondo, al retirar la tierra que se encuentra arriba de ese nivel. En excavaciones realizadas en estos suelos a profundidades de 6 a 8 m., se han registrado expansiones mayores de 60 cm., las cuales se recuperan en forma de asentamientos al volver a cargar las arcillas con el peso de la estructura. En esta forma, una cimentación totalmente compensada que, teóricamente no debería sufrir asentamientos se hunde una cantidad igual a la expansión provocada durante el proceso de excavación. En estos casos el abatimiento local del nivel freático, previo a la excavación, produce una sobrecarga local de igual magnitud que la descarga que provocará posteriormente la excavación. Es bien conocido que el abatimiento local del nivel freático produce hundimientos por consolidación de la arcilla, cuya magnitud es función del

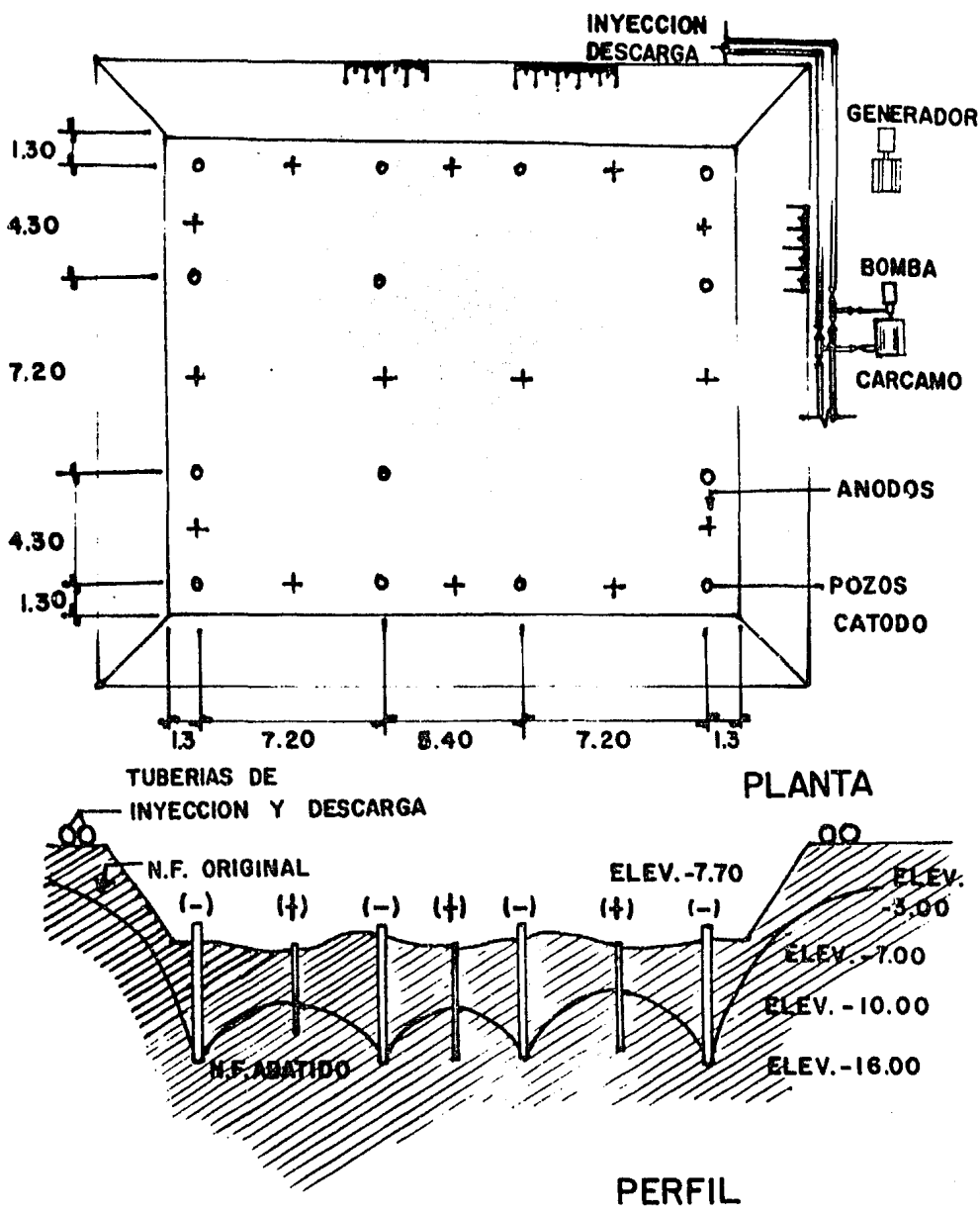


Fig. IV.10. Instalación para abatimiento electrosmotico en arcillas.

tiempo que actúa la sobrecarga producida por el abatimiento. - Si el abatimiento se logra en un tiempo corto, alrededor de una semana, los hundimientos locales no exceden de unos 10 cm. Este abatimiento rápido se consigue con el auxilio de la electrólisis. Al ejecutar la excavación después de haber abatido el nivel freático, pueden excavar grandes áreas, produciéndose expansiones de magnitud muy semejante a los asentamientos provocados previamente durante la etapa de abatimiento del nivel freático. Las Figs. IV.9 y IV.10, ilustran la instalación de este sistema en el que se emplean pozos de bombeo cuyo ademe metálico está diseñado para servir también como electrodo negativo hacia el cual fluye el agua del suelo impulsada por el potencial eléctrico creado en el terreno mediante la instalación de varillas de acero colocadas entre los pozos, las cuales sirven de electrodos positivos. Los pozos-cátodo ( - ) y las varillas-ánodo ( + ), se conectan a los bornes correspondientes de un generador de corriente continua, creandose así el gradiente de potencial eléctrico, cuyo valor se mantiene entre 0.1 y 0.3 volts/cm. de separación entre electrodos. El agua extraída del interior del ademe mediante una pequeña bomba de pozo profundo, del tipo eyector (trompa de vacío) operada por chiflón de agua producido por una bomba centrífuga de alta presión; el agua inyectada en el eyector, junto con la extraída del suelo, fluyen por una tubería de retorno que regresa hasta el cárcamo de la bomba centrífuga que se encuentra en la superficie, desde donde es recirculada y reinyectada para la operación continua de los eyectores.

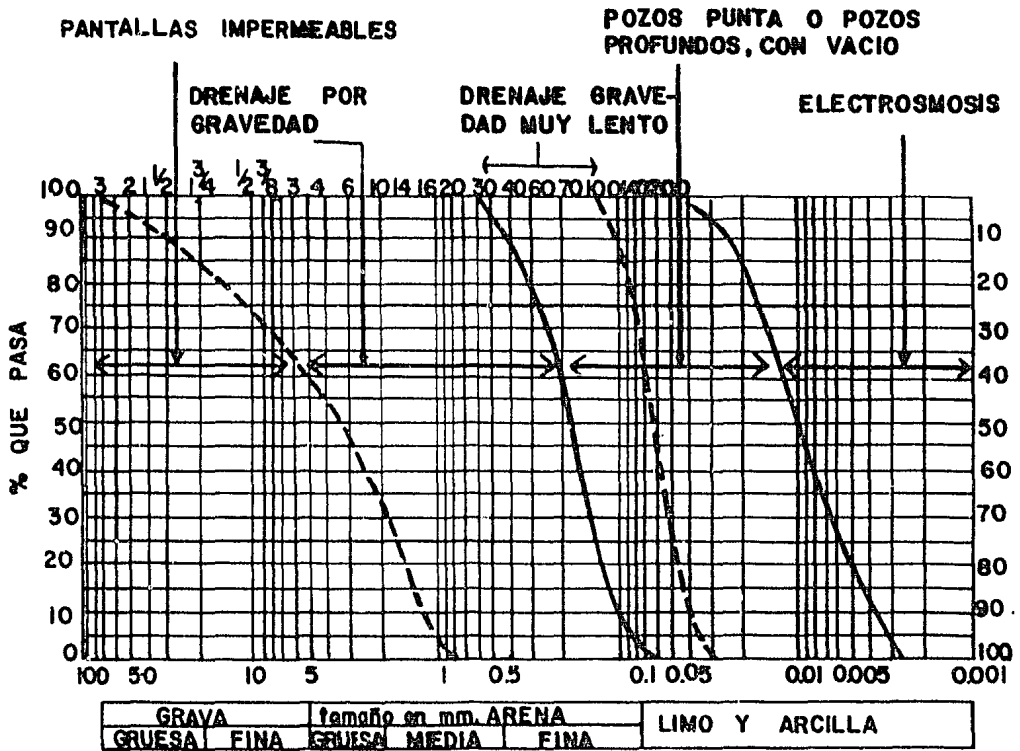


Fig.IV.II. Rangos de aplicación de diferentes sistemas de drenaje para abatir el nivel freático.

En arcillas de alta comprensibilidad la distribución de los electrodos en el área de la excavación y el gradiente de potencial aplicado se diseñan de manera tal que se reduzcan al mínimo los asentamientos de la corona de los taludes y de la zona vecina a la excavación, con el fin de evitar daños a estructuras vecinas y prevenir el agrietamiento de los taludes, lo cual empeoraría su estabilidad.

La Fig. IV.11 muestra los rangos de granulometría de suelos dentro de los cuales son aplicables los distintos métodos de abatimiento antes mencionados. En ello puede observarse que para aquellos depósitos de grava y arena cuyas partículas son de tamaños mayores que los correspondientes a las arenas gruesas, los métodos de drenaje por gravedad no son recomendables, pues aunque es posible lograr buenos resultados, los grandes gastos de bombeo y el alto costo de las instalaciones de los pozos hacen el procedimiento antieconómico. En estos casos es preferible recurrir a los métodos de impermeabilización.

#### **IV.7.- IMPERMEABILIZACION :**

Para construir barreras o pantallas impermeables capaces de interceptar las filtraciones hacia el interior de la excavación, se dispone de los siguientes procedimientos :

**Pilotes secantes de concreto.**

**Tablero de concreto.**

**Trincheras flexibles.**

**Pantallas de inyección.**

## **PILOTES SECANTES DE CONCRETO :**

Las pantallas de pilotes secantes se forman mediante pilotes de concreto colados *in situ*, dentro de una perforación estabilizada con lodo bentonítico; el concreto se coloca dentro de la perforación con el auxilio de una trompa de colado o tubo Tremie que deposita el concreto de alto revenimiento, mayor de 15 cm., en el fondo de la perforación, de manera que el concreto vaya desplazando a la bentonita hasta sustituirla completamente. El trabajo se hace en dos etapas, Fig. IV.12 : En la primera se cuelan pilotes alternados a lo largo de la hilera -- que formará posteriormente la pantalla, y en la siguiente se -- cuelan los pilotes intermedios. Los pilotes tienen un diámetro de 50 a 60 cm. y la longitud suficiente para que su extremo inferior empotre en un estrado impermeable. Si no existe un estrado de estas características dentro de una profundidad razonable, se puede formar artificialmente mediante la inyección de lechadas de bentonita y cemento, o de productos químicos, a fin de impedir la entrada de las filtraciones por el fondo de la excavación.

## **TABLEROS DE CONCRETO :**

La ejecución de perforaciones en depósitos fluviales con alto contenido de cantos rodados, presenta serias dificultades por la necesidad de triturar dichos cantos rodados para que sean extraídos por el lodo bentonítico en circulación en el pozo; esta operación hace muy lento el proceso constructivo de la pantalla de pilotes. En estos materiales resulta ventajoso --

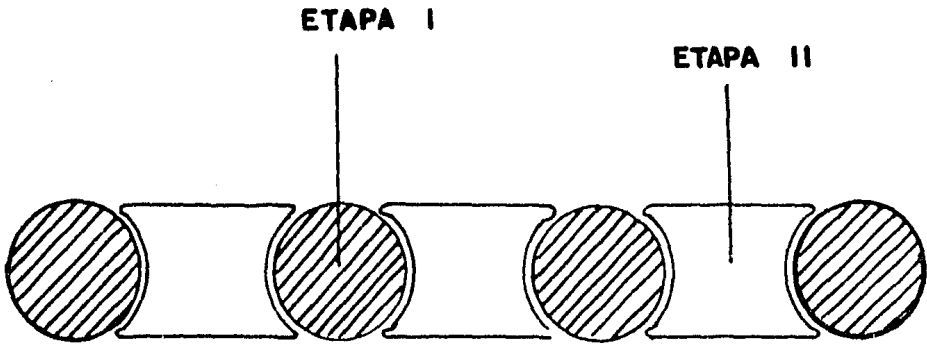


Fig. IV.12. PILOTES SECANTES.

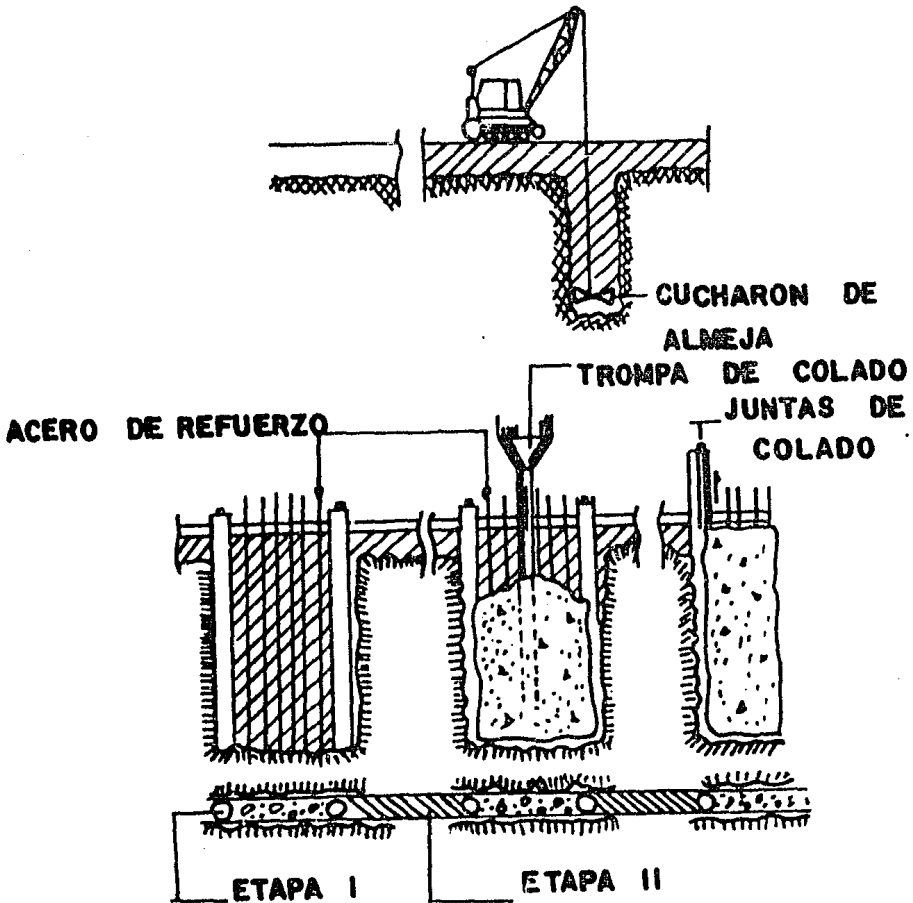


Fig. IV.13. Tableros de concreto colado en situ.

hacer la excavación en tableros de planta rectangular de 3 a 6 m. de longitud y 50 a 80 cm. de ancho, Fig. IV.13, utilizando para ello un cucharón de almeja especialmente diseñado para este objeto. A medida que la excavación se va profundizando, se mantiene llena de lodo bentonítico, el cual ejerce una presión contra las paredes de la zanja y las estabiliza, evitando el derrumbe de los materiales del depósito hacia el interior de la excavación. Una vez alcanzada la profundidad deseada, la zanja se rellena de concreto de alto revenimiento (mayor de 20 cm.), depositándolo con trompa de colado, hasta desplazar toda la bentonita y formar un tablero de concreto. De manera semejante al caso de la pantalla de pilotes, los tableros se cuelan alternadamente en dos etapas. La máxima profundidad alcanzada hasta ahora con este procedimiento es de unos 90 m., en la pantalla impermeable de la presa "La Villita". En la construcción de cimentaciones, estos muros de concreto se construyen frecuentemente con refuerzos de acero, de tal manera que, además de funcionar como pantallas impermeables sirven como estructuras de contención durante la excavación y se integran después a la propia estructura de la cimentación.

#### **TRINCHERAS FLEXIBLES :**

Cuanto el objeto de la pantalla es exclusivamente el de impedir las filtraciones, las zanjas estabilizadas con lodo-bentonítico pueden rellenarse con una mezcla de grava y arena bien graduada a la que se agrega un 20 a 25 %, en peso, de arcilla de mediana o alta plasticidad, a esta mezcla se adiciona-



agua hasta darle un revenimiento mayor de 20 cm. y se coloca en la zanja de igual manera que el concreto del caso anterior. -- Obviamente esta solución representa alguna economía en relación con los tableros de concreto del caso anterior. La excavación de la zanja puede hacerse con el mismo cucharón de almeja que se emplea en el caso anterior o bien puede utilizarse una draga con bote de arrastre, una retroexcavadora o una zanjadora, dependiendo de la profundidad de la pantalla y del equipo disponible, como ilustra la Fig. V.14. El relleno de la zanja puede también hacerse desde el extremo opuesto a aquel en que avanza la excavación, utilizando para ello un **bulldozer** que va empujando la mezcla y haciéndola deslizar dentro de la excavación, con lo cual se va desalojando el lodo bentonítico que estabiliza las paredes de la zanja. Se han construido pantallas flexibles de este tipo, hasta profundidades de 30 m., para interceptar depósitos fluviales de arena, grava y cantos rodados, utilizando draga de arrastre y bulldozer.

#### **PANTALLAS DE INYECCION :**

Se han utilizado con éxito pantallas impermeables formadas mediante la inyección de lechadas de bentonita, de bentonita con cemento, o bien de productos químicos como el silicato de sodio con alcohol isopropílico, o con el cloruro de calcio, resinas de lignosulfonato de cromo u otras resinas comerciales. Las lechadas a base de bentonita penetran en depósitos que tienen poros grandes como las arenas gruesas y las gravas, cuya permeabilidad es mayor de 10-1 cm/seg. En las arenas medianas-

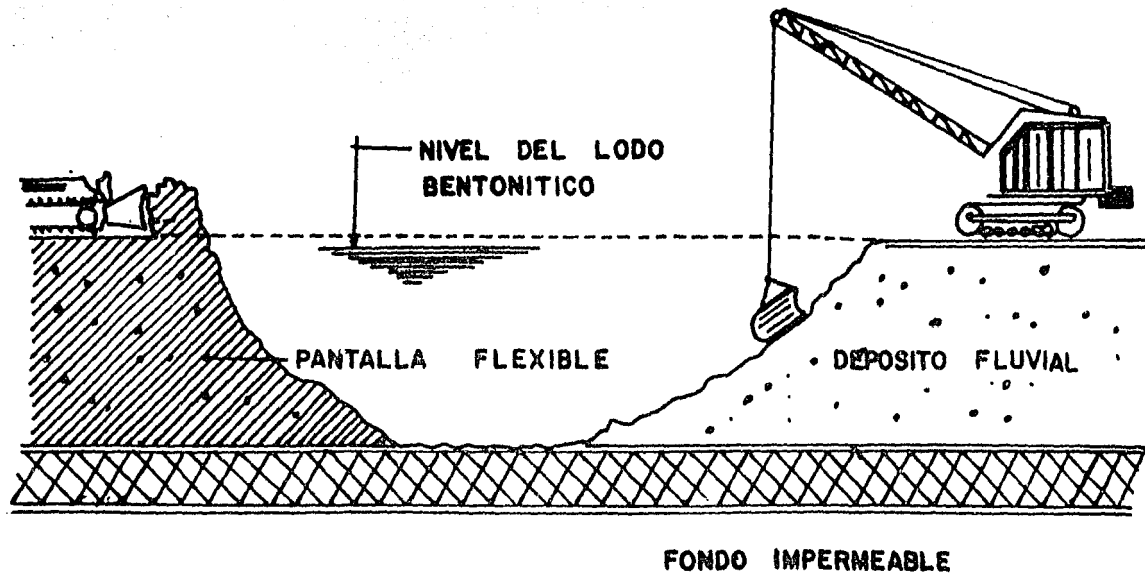


FIG. IV.14. PANTALLA FLEXIBLE.

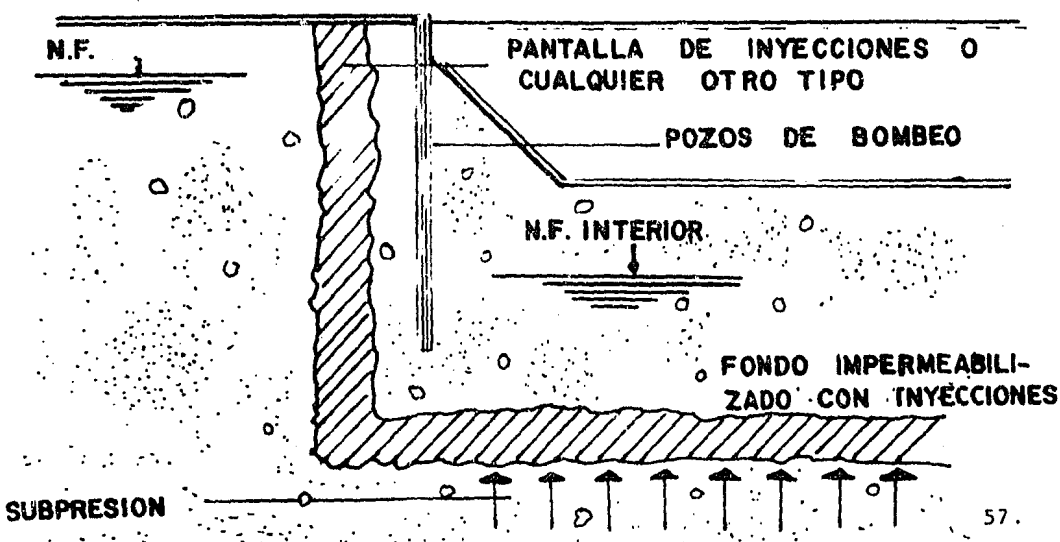
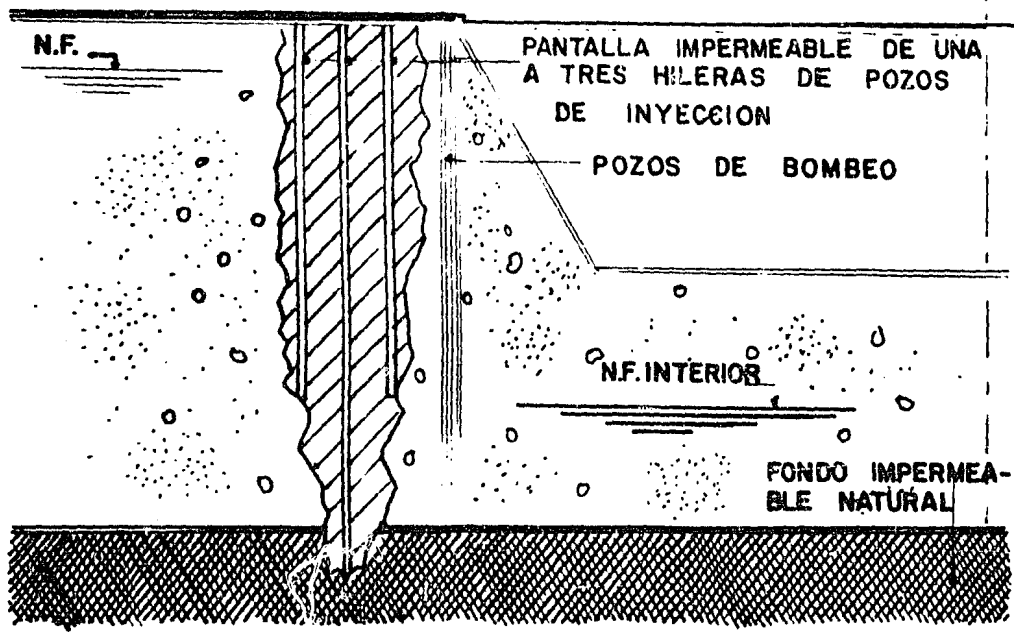
de menor permeabilidad las partículas de bentonita y cemento no son capaces de penetrar a través de los poros y se hace necesario entonces recurrir al empleo de productos químicos.

Las lechadas o los productos químicos se inyectan en el terreno a través de una o varias hileras paralelas de perforaciones separadas entre sí una distancia variable de 1.50 a -- 2.00 m., de manera que la zona de influencia de cada uno de los pozos de inyección se traslape con la de los pozos vecinos y -- forme así una pantalla impermeable. Como es frecuente encon- -- trar depósitos formados por capas o lentes de distinta permeabi- lidad, es común que las pantallas de inyección se formen utili- zando lechadas de bentonita para los estratos o lentes de mayor permeabilidad y productos químicos para los menos permeables. -- Cuando no existe una capa impermeable en la cual se apoye el ex tremo de la pantalla se recurre a formar dicha capa artificial- mente mediante la inyección, a la profundidad requerida, a tra- vés de una retícula de agujeros distribuidos dentro del área -- por excavar. La profundidad de esta capa impermeable horizon- tal debe ser tal que la fuerza de subpresión sea equilibrada -- por el peso del material que quede entre el fondo de la excava- ción y la capa impermeable, para evitar que ésta sea levantada- por la subpresión.

La elección de cualquiera de éstos métodos para inter- ceptar las filtraciones es una cuestión económica y de disponi- bilidad de equipo.

Ver Figura IV.15.

Fig. IV.15. PANTALLA DE INYECCION.



**REFERENCIAS :**

- 1). Leonards - "Foundation Engineering"  
Capítulo sobre el abatimiento del Nivel Freático (Dewatering). (J. Wiley).
  
- 2). La Electrósmosis y Fenómenos Conexos - Leo Casagrande.  
- Revista de Ingeniería.- Abril 1962.
  
- 3). G. Schneebeli - "Le Párais Moulees dan Le Sol",  
( Eyrolles ).
  
- 4). H. Cambebort.- "Injections del Sols.- ( Eyrolles ).
  
- 5). Maquinaria general en obras y movimientos de tierras.  
GALABRU.
  
- 6). Obras de Tierra. FROMENT.