

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES "ARAGON"
U. N. A. M.

**ESTUDIO GEOTECNICO PARA LA LOCALIZACION
DE BANCOS DE MATERIALES PARA LA
CONSTRUCCION DE UNA PRESA DE
TIERRA**

T B S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
REYNALDO MONTERO IBARRA

MEXICO, D. F.

1981





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 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

CAPITULO		PAG.
1	INTRODUCCION	1
2	LOCALIZACION DE BANCOS DE MATERIAL	4
3	EXPLORACION Y MUESTREO	
	3.1 EXPLORACIONES	9
	3.2 METODOS DE EXPLORACIONES	10
	3.3 METODOLOGIA PARA LA REALIZACION DE LA EXPLORACION EN LOS BANCOS	26
	3.4 MUESTREO	27
	3.5 METODOS DE MUESTREO	29
	3.6 IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS	44
	3.7 TAMAÑO DE LAS MUESTRAS	45
	3.8 ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS	47
4	PRUEBAS DE LABORATORIO	
	4.1 PRUEBAS INDICE	49
	4.2 PRUEBAS MECANICAS	58
5	ELECCION DE PARAMETROS DE DISEÑO	
	5.1 ESTABILIDAD DE TALUDES	63
	5.2 CONDICIONES DE TRABAJO EN LA ESTABI <u>L</u> DAD DE UNA CORTINA	66
	5.3 PRUEBAS MECANICAS	68
	5.4 MATERIAL IMPERMEABLE	69
	5.5 MATERIAL PERMEABLE	74
	5.6 MATERIAL DE ENROCAMIENTO	77

CAPITULO		PAG.
6	TRATAMIENTO DE BANCOS	
	6.1 TRATAMIENTO EN BANCOS DE MATERIAL IMPERMEABLE	79
	6.2 TRATAMIENTO EN BANCOS DE MATERIAL PERMEABLE PARA FILTROS	82
	6.3 TRATAMIENTO EN BANCOS DE MATERIAL PERMEABLE PARA RESPALDOS	84
	6.4 TRATAMIENTO EN BANCOS DE MATERIAL PARA CHAPA DE ENROCAMIENTO	86
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	91

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

Los suelos son el más viejo material de construcción y el más complejo.

En México los astecas construyeron bordos para regar pequeñas extensiones de terrenos de cultivo, tuvieron grandes fracasos debido a la baja resistencia del suelo, así como los españoles - los tuvieron grandes dificultades para construir sus bordos y estructuras coloniales por no contar con los conocimientos del comportamiento del suelo y materiales utilizados.

Antes del siglo XX no existió interés para investigar científicamente la Mecánica de Suelos. En este campo existen pioneros de labor meritoria, Collin (1845) habló por vez primera - de superficie de deslizamiento curvas en las fallas de los taludes, posteriormente Ch. A Coulomb, habló sobre la falla plana de los taludes, hipótesis menos fecundada, según demostraciones en campo.

A principios de este siglo, en 1913, en los Estados Unidos y en Suecia, se intentó en forma organizada realizar estudios - en el tratamiento de suelos. En enero de este año, la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles nombró un Comité para realizar un Código sobre la práctica a la capacidad de carga de los suelos. En 1916 las ideas de superficie de deslizamiento curvas en las

fallas de taludes fueron resucitadas en Suecia por Petterson e impulsadas por W. Pellenius, uno de los investigadores más importantes en el campo de los taludes. Después, el profesor Karl von Terzaghi, realizó investigaciones en un laboratorio muy modesto, en una Universidad en el Cercano Oriente -- donde nació la Mecánica de Suelos.

Terzaghi publicó en 1925 su (Mecánica de Suelos) en Viena -- naciendo así el término ahora mundialmente usado. Desde entonces ha habido una evolución muy grande en la Mecánica de Suelos, pues hasta fines del siglo XIX, se pudieron construir presas de tierra de 20 m de altura. Las que se hicieron con una altura mayor fracasaron, y se llegó a la -- conclusión de que no era recomendable construir cortinas de tierra de más de 20 m de altura. Actualmente, los técnicos y constructores cuentan con los conocimientos de Geotecnia y -- Mecánica de Suelos, logrando construir cortinas muy elevadas, con materiales adecuados que hace tiempo era imposible realizar.

De todo lo dicho anteriormente se desprende la necesidad que se tiene de contar, tanto en la etapa de proyecto, como durante la construcción de la obra, con un estudio que proporcione datos respecto al suelo con el que se está tratando.

1.1 OBJETIVO

El objetivo principal de esta tesis consiste en indicar la metodología a seguir para realizar un estudio geotécnico de bancos de materiales para la construcción de una presa. Entendiéndose como Geotecnia el conjunto de estudios de campo y laboratorio, recorridos e inspecciones para obtener toda la información y los tratamientos que se requerirán en los bancos de materiales, así como los procedimientos de explotación a utilizar.

La práctica indica que es recomendable dividir un Estudio Geotécnico para bancos de materiales en dos etapas, las -- cuales son:

- 1.- Etapa Preliminar
- 2.- Etapa Definitiva.

Lo anterior es con la finalidad de reducir el costo del estudio y éste sea atractivo.

LOCALIZACION DE BANCOS DE MATERIAL

Una buena o mala localización repercute directamente en el costo total de la construcción, por lo que esta se convierte en una de las tareas más importantes de los técnicos que intervienen en la obra. Si a esta tarea se le da la debida importancia, podrán -- localizarse depósitos de material apropiado cerca del lugar de su utilización, abatiendo los costos de transportación, otras veces se logrará obtener materiales en zonas muy alejadas, aumentando los costos.

En general este capítulo se refiere a la etapa preliminar del Estudio Geotécnico de Bancos de Materiales para la construcción de una presa de tierra.

LOCALIZACION

Las áreas de préstamo se empezarán a localizar en los lugares -- cercanos a la presa y extenderse alejándose en todas direcciones. Todas las áreas de préstamo que queden a una distancia de 5 km - de la cortina deberán estudiarse antes de considerar las fuentes más distantes.

PUNTES DE INFORMACION

Las diferentes fuentes de información que proporcionan datos técnicos, y son importantes auxiliares en la localización de bancos son:

Planos topográficos (DETENAL)

Planos de carreteras y ferrocarriles (SAHOP)

Planos geológicos (DETENAL)

Planos topográficos e hidrográficos (SDN)

Fotografías aéreas (DETENAL)

RECOPIACION Y ANALISIS DE ANTECEDENTES

Se deberá tener un conocimiento lo más amplio posible, de la geología del área en la que se localiza la obra. Por lo anterior el ingeniero deberá recabar toda la información de estudios -- preliminares desarrollados anteriormente, estudiando estos datos hasta obtener un conocimiento suficientemente amplio de la -- geología del lugar. Así como también, se podrán localizar algunos probables bancos de materiales, mediante las fotos aéreas o planos geológicos.

VERIFICACION EN CAMPO

Basándose en la información anterior y con los bancos probables identificados en las fotografías aéreas o planos, la brigada -- formada por:

Un ingeniero civil especialista en suelos.

Un ingeniero geólogo

Un ingeniero civil (Residente)

Un ingeniero civil con experiencia en construcción de presas

realizará un reconocimiento terrestre a los sitios identificados previamente y de ser posible, realizará vuelos que le permitan inspeccionar integralmente el área estudiada.

El ingeniero que realice esta labor previa ha de recurrir siempre a los habitantes del lugar, para complementar la relación preliminar de bancos de materiales. Se identificarán los materiales -- del banco con exámenes visuales y al tacto, se programa una exploración preliminar para comprobar el tipo de material y su potencialidad, con un número mínimo de sondeos necesarios para hacer una comparación preliminar de bancos y tipos de suelos disponibles.

RESUMEN DE LA ETAPA PRELIMINAR

Se elaborará un resumen, con un croquis de localización en el cual se deberá anotar; la calidad del material; el grado de dificultad que cada uno de los sitios presenta para su explotación; la distancia al sitio de la obra; los caminos existentes que pueden utilizarse para la explotación de los bancos localizados, así como su estado de conservación asignado en función de sus características un - orden de factibilidad

Los bancos de materiales que se llevarán hasta la etapa definitiva, se podrán seleccionar en función del siguiente criterio:

Distancia de acarrero
Calidad del material
Dificultad de explotación
Acceso
Regalias.

EXPLORACION Y MUESTREO

Una vez seleccionados los bancos definitivos, se procederá a --- realizar un estudio final, programando las exploraciones y muestros necesarios.

En el presente capítulo se intentará describir la etapa definitiva del estudio geotécnico, los métodos de exploración para bancos de materiales, así como los tipos de muestreo utilizados.

3.1. EXPLORACIONES.

3.1.1. EXPLORACION PRELIMINAR.

Comprende el mínimo de exploraciones o sondeos necesarios, para - obtener información sobre el espesor y clasificación de los materiales de los probables bancos, la profundidad del agua freática y -- además datos que permitan, en un principio, definir si la zona es - prometedora para la implantación de un banco de las características del material que se busca, ó en su defecto evitar gastos innecesarios si estas demuestran que en el lugar existen condiciones desfavorables no previstas en el reconocimiento superficial.

3.1.2 EXPLORACION DEFINITIVA

Con la información de las exploraciones preliminares se seleccionarán los bancos de materiales más convenientes programando su estudio definitivo y cuantificando por medio de este la potencialidad de los bancos.

3.2. METODOS DE EXPLORACIONES.

Los principales métodos que se usan para el estudio de bancos de materiales, en general son los siguientes:

**POZOS A CIELO ABIERTO
PERFORACION CON POSTEADORA Y BARRENOS HELICOIDALES
METODO ROTATORIO PARA ROCA
METODOS GEOPISICOS**

Se mencionarán en forma general los métodos que se usan en el estudio de las cimentaciones para las presas.

**POZOS A CIELO ABIERTO
METODOS CON TUBO DE PARED DELGADA
METODOS ROTATORIOS PARA ROCA
METODO DE PERCUSION Y LAVADO
METODO DE PENETRACION ESTANDAR
METODO DE PENETRACION CONICA
METODO DE PERCUSION CON BARRETON**

3.2.1 POZOS A CIELO ABIERTO

Este método debe considerársele como el más satisfactorio para conocer las condiciones del subsuelo, generalmente, abriendo pozos de 1 m por 1.50 ó 2 m con pico y pala hasta una profundidad de 5 m ó bien hasta encontrar material no excavable con pico y pala, como -- tobas, roca ó agua freática.

Deben cuidarse los criterios para distinguir la naturaleza del suelo "in situ", modificada por la excavación realizada.

En estos pozos se pueden tomar muestras alteradas ó inalteradas de los diferentes estratos que se hayan encontrado.

3.2.2. PERFORACION CON POSTEADORA Y BARRENOS HELICOIDALES.

Sondeos con pala de postear.- Posiblemente más usadas que los barrenos helicoidales, fig. 3.1.b.

Esta pala funciona ejerciendo un giro sobre el maneral adaptado - al extremo superior de la tubería de perforación, existiendo tramos de tubería especiales que se van añadiendo en función de la profundidad del sondeo. El atractivo de este tipo de exploraciones que es de lo más rápido y económico que se conoce a poca profundidad; - se recomienda que el encargado de las exploraciones se encuentre -- presente desde el inicio hasta el final de la exploración.

Sondeos con Barrenos Helicoidales.

El empleo de barrenos helicoidales permite un avance rápido de las perforaciones en suelos que no contienen grava. Un factor importante es el paso de la hélice que debe ser muy cerrado para suelos -- arenosos y más abierto en suelos plásticos, fig. 3.1.a.

Existen dos tipos de barrenos helicoidales, intermitente y continuo:

Perforación Intermitente.

Se hace penetrar el barreno en el suelo, a poca profundidad, y se - saca. El proceso se repite hasta alcanzar la profundidad deseada. Este método se emplea cuando se requieren pozos anchos y de escasa profundidad.

Perforación Continua.

Se emplea para realizar pozos de diámetro comprendido entre 5 y 30 cm

hasta profundidades de 30 m, se emplean secciones de barrenos helicoidales que se van uniendo hasta alcanzar la profundidad deseada, los residuos suben a la superficie por la espiral sin que sea posible determinar de qué profundidad provienen.

Este método presenta la ventaja de no requerir lavado de la perforación, lo que evita cambios en el contenido de agua de las muestras obtenidas arriba del nivel freático. Sin embargo, en suelos poco cohesivos, el pozo tiene que estabilizarse con lodo bentónico.

En las arenas que se encuentran bajo el nivel de aguas freáticas, es difícil extraer muestras con Posteadora y Barrenos Helicoidales recurriendo al uso de cucharas especiales. fig. 3.1.c.

Las muestras obtenidas con cucharas son muy alteradas; por efecto del agua que entra en la cuchara junto con el suelo, por lo que las muestras son apropiadas solamente para pruebas de clasificación.

3.2.3 METODOS ROTATORIOS PARA BOCA

Este método se explicará en el capítulo de muestreo dada la forma de obtener la muestra al realizar la exploración.

3.2.4 METODOS GEOFISICOS

Cada día es mayor el uso que se hace de los métodos geofísicos en el campo de las exploraciones y cuantificación de los bancos de materiales.

Tales métodos proporcionan información que con frecuencia resulta suficiente, a un costo relativamente bajo. Se describen a continuación los principales ensayos geofísicos empleados en la actualidad.

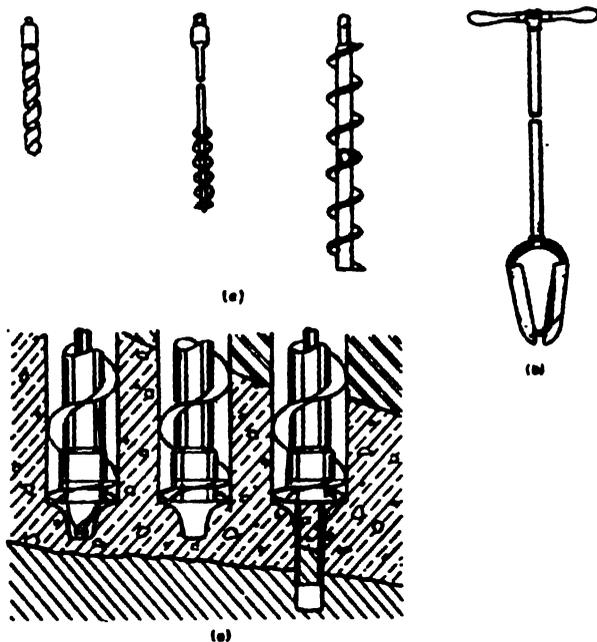


Figura 3.1 Herramientas para cónicas exploraciones por rotación.

- a) Barreras helicoidales
- b) Posteadora

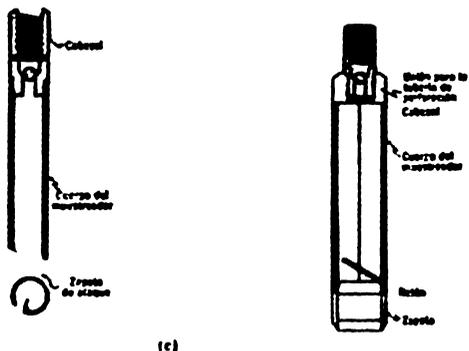


Figura 3.1 Tipos de cucharga muestreadoras

3.2.4.1. METODO SISMICO.

Este método se basa en las diferencias de velocidad de propagación de las ondas vibratorias del tipo sísmico a través de medios de -- constitución diferente, y consiste en provocar las ondas vibrato-- rias por medios artificiales (por impacto, explosiones) y medir el tiempo que tardan las ondas vibratorias inducidas para llegar a -- varios puntos más o menos alejados de la fuente de perturbación. En los puntos de medición, las vibraciones se registran en sismó-- grafos de alta sensibilidad llamados geófonos, separados a distan-- cias que oscilan entre 15 y 30 m y en distancias cortas la veloci-- dad puede suponerse constante, las curvas de llegada distancia de los geófonos al centro de perturbación, serán líneas rectas.

El método sísmico se aplica de dos maneras distintas, por Reflexión y por Refracción.

Método Sísmico por Reflexión.

Mide el tiempo que interviene una onda en hacer el trayecto entre el origen de las ondas vibratorias y el geófono, después de refleja; se en cualquier discontinuidad física o en una superficie de contac to entre dos formaciones de naturaleza distinta. Este método rinde resultados muy precisos por lo que es muy utilizado en exploraciones: para la industria petrolera, pero por su complicación se usa muy poc para resolver problemas de ingeniería civil.

Método Sísmico por Refracción.

Se basa en el hecho de que una onda vibratoria que atraviesa una -- frontera entre materiales diferentes se refracta cuando entra a un material que transmite la onda con velocidad mayor que la que tenía.

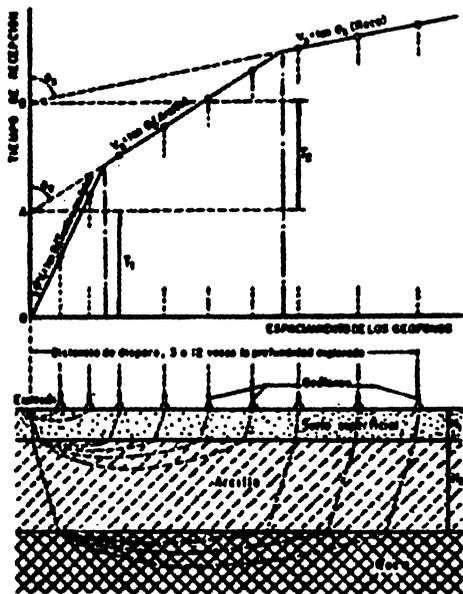
y se refracta hacia un plano perpendicular a la frontera cuando la velocidad de propagación es menor en el material que entra. Los geófonos registran las ondas refractas en donde se utiliza el tiempo en que llega a cada geófono el impulso inicial. Una gráfica como la de la fig. 3.2. se obtiene si los diferentes estratos transmiten - velocidades crecientes. Los geófonos más próximos a la explosión - reciben ondas transmitidas a través de la cobertura superficial; los intermedios las reciben refractadas a través del primer estrato y - devuelven a la superficie, en tanto los geófonos más alejados reciben ondas que se han refractado en el siguiente estrato y devueltas a la superficie. De la curva de la figura mencionada anteriormente se puede deducir la velocidad en cada estrato, con las cuales puede determinarse el espesor de cada estrato.

En la tabla 3.1 se muestra una carta en la que aparecen los rangos de velocidad de propagación de ondas vibratorias que corresponden a diferentes tipos de suelo y rocas.

3.2.4.2. METODO ELECTRICO.

Este método se basa en que los suelos, presentan una mayor o menor conductividad eléctrica, cuando se induce una corriente a través de ellos, y puede ser aplicado de dos formas, por Resistividad y por - Caída de Potencial.

El método de Caída de Potencial da resultados aceptables sobre -- estratos inclinado, pero no en estratos horizontales que es el más frecuente, por lo que únicamente se explicará el método de resistividad para fines de exploración en ingeniería civil.



$$H = \frac{l}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

Donde:

H = Espesor del Estrato Superior

l = Distancia de la Fuente de Perturbación a los puntos de la superficie a los que las ondas directas y refractadas llegan simultáneamente.

V₁ = Velocidad de propagación de onda en el estrato superior.

V₂ = Velocidad de propagación de onda en el estrato inferior.

Figura 3.2 Método sísmico por refracción

TABLA No. 3.1

Material	Condición	Velocidad (km/seg)	Arabilidad
----------	-----------	--------------------	------------

S U E L O S

Limos y Arenas	Compactos	0.4 - 0.7	Arable
	Sueltos	0.2 - 0.4	Arable
Arcillas	Dura	0.6 - 1.0	Arable
	Blanda	0.2 - 0.3	Arable
Boleos y gravas	- -	0.2 - 0.4	Arable

ROCAS IGNEAS

Granito	Sano	4.5 - 6.0	Explosivos Explosivos Explosivos Explosivos 6 Intermedio
	Poco fracturado	1.5 - 4.5	
	Muy fracturado	0.7 - 1.8	
	Alterado	0.4 - 1.0	
Riolita y Andesita	Poco fracturadas	3.8 - 5.0	Explosivos Explosivos Arable
	Muy fracturadas	1.5 - 3.8	
	Alteradas	0.9 - 1.5	
Basaltos	Sanos	5.0 - 6.0	Explosivos Explosivos Explosivos Intermedio 6 Arable
	Poco fracturados	1.4 - 5.0	
	Muy fracturados	0.7 - 1.4	
	Alterados	0.5 - 0.7	
Tobas	Sanas	1.4 - 1.8	Intermedio Intermedio Arable Arable
	Poco fracturadas	1.2 - 1.6	
	Muy fracturadas	0.4 - 1.2	
	Alteradas	0.3 - 0.7	

ROCAS SEDIMENTARIAS Y METAMORFICAS

Calizas	- -	1.5 - 4.0	Explosivos
Arenisca	- -	0.6 - 2.5	Arable hasta 0.8 km/s - aproximadamente; des- pues requiere explosivos
Aglomerados	- -	0.2 - 0.9	Arable
Conglomerados	- -	1.0 - 3.0	Generalmente explosivos
Lutita	Dura	1.2 - 4.0	Explosivos Arable
	Blanda	0.6 - 1.4	

Velocidad de propagación de ondas elásticas en suelos y rocas

Método Eléctrico de Resistividad.

Este método se basa en la mayor o menor resistividad que presentan los suelos, cuando se le induce una corriente eléctrica fig. 3.3. la resistividad de las rocas duras es mucho mayor que la de los suelos saturados sueltos. En general la resistividad depende -- principalmente de la cantidad y salinidad del agua contenida en el subsuelo.

Para medir la resistividad de una zona del subsuelo; se colocan -- cuatro electrodos espaciados igualmente y alineados en la superficie; los dos exteriores (varillas metálicas) son los electrodos de corriente, aplicada por una batería y medida por amperímetro, los dos interiores (recipientes porosos con solución de sulfato de cobre), son los electrodos de potencial y están conectados a un voltímetro, que mide la diferencia de potencial de la corriente que -- circula.

La resistividad se puede calcular a partir de :

$$\rho = 2 d \frac{v}{i}$$

donde:

- ρ - Resistividad
- d - Separación entre electrodos
- v - Lectura de voltímetro
- i - Lectura de amperímetro

Se puede medir la resistividad a diferentes profundidades en un -- mismo lugar, aumentando la distancia (d) entre electrodos. Para medir la resistividad a una misma profundidad, a lo largo de un -- perfil se conserva (d) constante y desplazando todo el equipo sobre

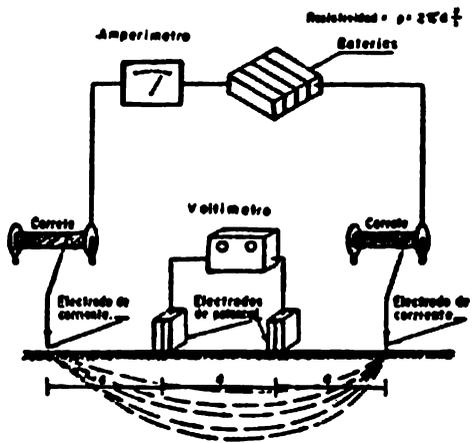


Figura 3.3 Método de resistividad eléctrica

La línea a explorar.

La interpretación de los resultados por medio de este método ha de ser realizado por especialistas en la aplicación del método.

Como complemento de los métodos de exploración, se mencionarán en forma general, los utilizados para el estudio de las cimentaciones de las cortinas. Por medio de estos métodos se obtendrán muestras inalteradas.

Este tipo de muestras no se requerirán en el estudio de bancos de materiales, por lo que el estudio de los problemas de cimentación, se realizará por medio de los métodos de exploración que se mencionan a continuación:

POZOS A CIELO ABIERTO

MÉTODOS CON TUBO DE PARED DELGADA.

MÉTODOS ROTATORIOS PARA ROCA.

Estos métodos se explicarán en el capítulo de muestreo dada la forma de obtener la muestra al realizar la exploración.

Existen otros métodos los cuales se mencionan a continuación y son usados únicamente como auxiliares en el estudio de cimentaciones.

MÉTODO DE PERCUSION Y LAVADO.

MÉTODO DE PENETRACION ESTANDAR.

MÉTODO DE PENETRACION CONICA.

MÉTODO DE PERCUSION CON BARRETON.

3.2.5 METODO DE PERCUSION Y LAVADO

Este es un procedimiento económico y permite un avance rápido - de la perforación para conocer aproximadamente la estratigrafía del subsuelo, aunque la experiencia ha comprobado que se pueden tener errores hasta de 1 m al marcar la frontera entre los diferentes estratos. Las muestras obtenidas por este procedimiento son tan alteradas que no deben ser consideradas representativas para realizar pruebas de laboratorio.

El equipo incluye un trípode con polea y martinete de 100 kg.- cuya función es hincar en el suelo a golpes el ademe necesario, - el cual será de mayor diámetro que la tubería que vava a usarse para la inyección del agua, trépanos, una bomba y un malacate.- Fig. 3.4.

El tipo de trépano empleado depende del material con que se trabaja:

En suelos suaves se emplea el trépano de punta.

En suelos duros se emplea el trépano de cincel.

En grava y cantos rodados se emplea el trépano de cruz.

El trépano se pone en la parte inferior de las barras de perforación para permitir el paso del agua a presión.

Este método consiste en inyectar agua en la perforación, previamente ademada, la cual forma una suspensión con el suelo en el fondo del pozo y sale al exterior a través del espacio comprendido entre el ademe y la tubería de inyección. El ademe se hincaba con un martinete conforme progresa la perforación.

Los golpes del trépano combinados con la acción erosiva del agua permiten el avance de la perforación.

La suspensión que sale del pozo se deja decantar en un recipiente en el cual se puede analizar el sedimento. La muestra así obtenida

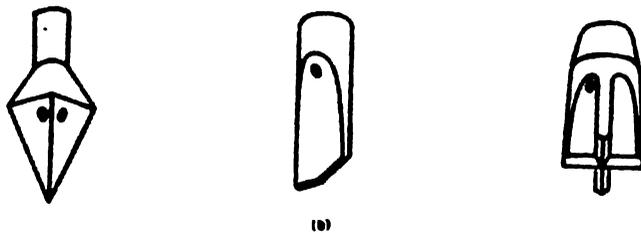
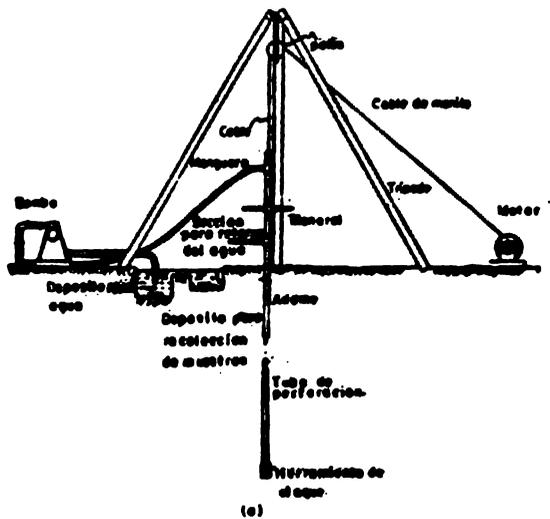


Figura 3.4 Dispositivo para el control por lavado
 a) Conjunto
 b) Herramienta de perforación.

no se considera representativa del material, pero permite observar en forma burda las variaciones de la estratigrafía con la profundidad.

En el método descrito puede utilizarse lodo, en el lugar de agua, - para el lavado de la perforación. El lodo es generalmente, una suspensión de bentonita, cuyo peso específico está comprendido entre 1.09 y 1.15. El empleo de un lodo de alta densidad facilita la evacuación del material desprendido, y reduce el depósito de azolve en el fondo del pozo. El lodo mejora además la estabilidad de las paredes de perforación lo que permite por lo general, eliminar el ademe. Al emplear lodo, se pierde la posibilidad de observar los niveles piezométricos y de apreciar, con claridad, los cambios en la estratigrafía del subsuelo.

El método de percusión y lavado puede usarse prácticamente todos los tipos de suelos, excepto en aquellos con una proporción importante de gravas o boleos.

3.2.6. METODO DE PENETRACION ESTANDAR.

Este método entre todos los exploratorios es el que rinde mejores resultados en la práctica y proporciona más útil información en torno al subsuelo.

En suelos puramente friccionantes la prueba permite conocer la compacidad de los mantos. En suelos plásticos la prueba permite adquirir una idea, aproximada, de la resistencia del suelo. Además el método lleva implícito un muestreo que proporciona muestras alteradas representativas del suelo en estudio. El equipo usado debe perforar un barreno razonablemente limpio antes de la insercción del muestreador. Se usa ademe cuando se perfora en arena, arcilla blanda u otro material que no permita que el barreno continúe abierto.

3.2.7 METODO DE PENETRACION CONICA

Consiste en hacer penetrar una punta cónica en el suelo y medir la resistencia que el suelo ofrece. Los procedimientos para hincar los conos en el terreno, se dividen en Estáticos y Dinámicos.

El Estático se hince a presión, con un gato hidráulico apropiado, en el Dinámico el hincado se logra a golpes dados con peso de 64 kg. con 75 cm de altura de caída. Contándose los golpes para 30 cm de penetración de la herramienta.

En este tipo de pruebas no existen las correlaciones mencionadas en la prueba estándar por lo que los resultados son de muy dudosa interpretación, tampoco se obtiene muestra de suelo con este método lo que se puede ver como una limitación importante.

Como conclusión podría decirse que las pruebas de penetración cónica, estática ó dinámica son útiles en donde la estratigrafía sea conocida y cuando se desee la resistencia del suelo q_u preliminar de un lugar específico; pero son pruebas de muy problemática interpretación. Por lo que para fines de la q_u , del lugar la prueba de penetración estándar debe realizarse en todos los casos que sea posible.

3.2.8 METODO DE PERCUSION CON BARRETON

Con frecuencia es necesario atravesar durante las perforaciones estratos de boleos o graves que presentan grandes dificultades para ser perforadas con los métodos antes descritos.

En estos casos se hace necesario el empleo de herramienta más -

pesada. El método de percusión consiste en levantar y dejar -- caer un barretón de 150 kg. a razón de 30 golpes por minuto. Se agrega agua a la perforación, la cual forma una suspensión con material desprendido por el barretón. Este procedimiento única mente se empleará como auxiliar de avance al encontrar capas - de boleo o grava durante una perforación realizada por otro método.

3.3 METODOLOGIA PARA LA REALIZACION DE LA EXPLORACION EN LOS - BANCOS

Para la exploración y muestreo sistemático de los bancos de - -
préstamo, se solicita el levantamiento topográfico de los mis -
mos a la brigada respectiva trazando una cuadrícula de 100 m -
de lado, realizando en las intersecciones las exploraciones ó -
sondeos. Para una exploración y muestreo preliminar, general -
mente es suficiente abrir pozos a cada 200 ó 300 m, dependiendo
de la extensión del banco. Si se requiere posteriormente un eg
tudío definitivo, se abren pozos intermedios en número conve -
niente para limitar y determinar las áreas de los distintos ma -
teriales, así como la profundidad media estimada y los volúmenes
de material aprovechable.

3.4 MUESTREO

Para realizar la clasificación de laboratorio a los materiales de los bancos explorados, se deberá ejecutar un muestreo a cada uno de ellos.

Naturalmente, la muestra que se extraiga dependerá de la utilización que se pretenda hacerse del suelo, teniéndose cuidado que -- éstas sean representativas de las exploraciones, ya que si no lo son, se harán conclusiones erróneas. Los tamaños necesarios de las muestras dependen de la naturaleza de las pruebas de laboratorio que sean necesarias. Se recomienda que las muestras que no se prueben se guarden para exámenes futuros posibles y pruebas -- hasta que se termine el estudio y se hayan demostrado características de operación satisfactorias.

3.4.1 TIPOS DE MUESTRAS

Se pueden tomar muestras alteradas o inalteradas de los diferentes estratos de un suelo.

Muestras Alteradas

Las muestras alteradas son aquellas que al obtenerse alteran totalmente las condiciones que tenía "in situ".

Muestras Inalteradas

Son aquellas que deberán extraerse con precauciones, protegiéndolas contra pérdidas de humedad envolviéndolas en una o más capas

de manta debidamente impermeabilizada con brea y parafina, con el objeto de que mantengan sus condiciones que tenía "in situ", por lo que su empaque y transporte requiere de cuidados especiales a fin de no alterarlas.

En la construcción de cortinas de presas y en general, las diferentes estructuras de tierra que integran las zonas de riego, el estudio de los materiales provenientes de bancos de préstamo se hace generalmente con base en muestras alteradas. El estudio de los problemas de cimentación de las anteriores estructuras requiere por lo contrario, muestras inalteradas.

3.5 METODOS DE MUESTREO

Los principales métodos que se usan para el muestreo de los bancos de materiales se explican a continuación:

3.5.1 EN POZOS A CIELO ABIERTO

En una de las paredes del pozo, se va abriendo una ranura vertical de sección uniforme de 20 cm de ancho por 15 de profundidad. El material excavado se recibe totalmente si el muestreo es integral en un bote de lámina, en caso contrario, debe recogerse -- por separado si este muestreo se realiza por capas.

Muestreo por Capas

Las muestras que representan una capa deben reunirse en un solo envase, con sus tarjetas de identificación (banco, pozo y profundidad).

Muestreo Integral

El producto de varias capas se colocará en un solo envase, con sus tarjetas de identificación. Si el volumen del material es grande, se puede cuartear y envasar solamente una parte, los pasos a seguir para este cuarteo son los siguientes:

- 1.- Sobre una superficie limpia se revuelve varias veces el material para obtener una mezcla uniforme, se amontona formando un cono.

- 2.- Con pala, se extiende el material hasta formar una capa de - espesor uniforme, y de forma circular se divide en 4 partes- iguales.
- 3.- Se toma el material de dos cuartos opuestos y se desechan -- los restantes. Estas operaciones reducen la muestra a la mi tad y pueden repetirse tantas veces como sea necesario para- obtener la cantidad deseada.
- 4.- Una vez reducida la muestra al tamaño requerido, se envasa - con sus respectivas tarjetas de identificación.

3.5.2 CON PALA POSTEADORA

En estos sondeos las muestras de suelo obtenidas son completamen- te alteradas representativas del suelo, por lo menos en suelo -- muy plástico, sin hacer excavaciones.

Se introduce la pala de postear con un movimiento de rotación; - una vez llena, se saca y se deposita el material sobre una super- ficie limpia.

Esta operación se repite hasta llegar a la profundidad deseada.- El producto de cada pala se deposita en órden, formando hileras- de pequeños montículos de material.

3.5.3 METODO ROTATORIO PARA ROCA

Para obtener una muestra de roca y realizar sus pruebas pertinen- tes, se hace necesario recurrir al empleo de máquinas perforado- ras a rotación, con broca de diamante. En éstas se coloca en el extremo de la tubería de perforación un muestreador especial, --

llamado de "corazón", en cuyo extremo inferior se acopla una broca de acero duro con incrustaciones de diamante industrial, que facilitan la perforación.

La colocación de los diamantes en las brocas depende del tipo de roca a atacar. En rocas duras es recomendable usar brocas con diamante tanto en la corona como en el interior para reducir el diámetro de la muestra, y en el exterior para agrandar la perforación y permitir el paso del muestreador con facilidad.

Como complemento de los métodos para la obtención de muestras, en este capítulo se mencionarán a continuación los métodos para obtener muestras inalteradas en el estudio de las cimentaciones.

3.5.4 CON POZOS A CIELO ABIERTO

Por medio de este método se pueden obtener muestras inalteradas en suelos cohesivos duros y blandos.

Suelos Cohesivos Duros

Para obtener muestras de este tipo de suelos se procede de la siguiente manera :

- 1.- Se limpia y nivela el terreno, se traza un cuadro de 30 cm de lado, aproximadamente.
- 2.- Se excavará alrededor del perímetro marcado, hasta una profundidad mayor que la deseada, labrando al mismo tiempo las cinco caras descubiertas.
- 3.- Se recorta la base de la muestra marcando con una S la cara superior, con el fin de darle una posición similar a la que-

tenía el terreno cuando se ensaye. Además debe indicarse, - en caso que se requiera, la dirección en que fluye el agua.

- 4.- Una vez extraída la muestra, se protegerá en forma inmediata con vendas de manta impregnada de parafina y brea; de ser po sible, esta protección se realizará "in situ", al ir descu - briendo cada cara, para la cual se procederá de la forma si - guiente:

Se calienta la mezcla de parafina hasta que se haya derreti - do completamente, se extiende con una brocha sobre el benda - je de manta hasta que se cubra perfectamente la muestra.

- 5.- Se coloca la muestra en un cajón, a fin de poder empacarla-- con aserrín, papel o paja, de manera que quede protegida con - tra golpes o choques durante su transporte.

Una de las tarjetas de identificación se adhiere a la mues - tra y la otra a la parte exterior del cajón.

Suelos Cohesivos Suaves

Las muestras inalteradas se obtienen utilizando un tubo muestrea - dor de lámina, con filo en una de sus bocas. Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1.- Después de limpiar y nivelar el terreno, se introduce un tu - bo muestreador hasta donde la resistencia del terreno lo per mita.
- 2.- Después de haberlo introducido, se recorta la muestra por su base y se enrasa al tamaño del tubo.
- 3.- Se protegen las bases de la muestra con vendas de manta im -

pregnadas con parafina y brea, y se empaca con un cajón con aserrín, para evitar se golpee durante el traslado al laboratorio.

3.5.5. CON TUBO DE PARED DELGADA

De ningún modo puede obtenerse una muestra que pueda ser considerada como inalterada.

Siempre que se extraiga una muestra por cualquier método se alterarán las condiciones de esfuerzo "in situ". Además no se ha encontrado un método que proporcione a la muestra, en su cara superior e inferior, los mismos esfuerzos que tenía "in situ". Por lo anterior, cuando en Mecánica de Suelos se habla de muestras "inalteradas", se debe entender una muestra que trata de hacer -- mínimos los cambios en las condiciones de la muestra "in situ".

En ocasiones y en suelos muy blandos y con alto contenido de -- agua, los muestreadores de pared delgada no logran extraer la -- muestra saliendo sin ella a la superficie; ésto se evita incando el muestreador lentamente y una vez lleno de suelo, se deja en -- reposo antes de proceder a la extracción.

Al dejarlo en reposo la adherencia entre el suelo y el muestreador crece con el tiempo.

En arenas, bajo el nivel freático se tiene el mismo problema, lo cual hace necesario darle al material "cohesión", que le permite conservar su estructura y adherencia al muestreador. La inyección de emulsiones asfálticas o el congelamiento son métodos que se han usado algunas veces. Afortunadamente ésto no es de gran problema dado que la prueba de penetración estándar, aparece aparte de proporcionar la compacidad de los mantos arenosos, propor-

ciona en forma general las características de los mismos.

Los tubos de pared delgada, entre los cuales los tipo Shelby son los más usados, fig. 3.5.a permiten obtener muestras inalteradas en suelos cohesivos blandos; las experiencias han comprobado que si se desea un grado de alteración mínimo, el hincado debe efectuarse ejerciendo presión continua y nunca a golpes.

Para un diámetro de muestra y un procedimiento hincado a presión, el grado de alteración depende, de la llamada "Relación de Arenas".

$$Ar (\%) = 100 \frac{D_e^2 - D_i^2}{D_i}$$

Donde :

D_e = Diámetro exterior del tubo

D_i = Diámetro interior

Esta relación permanecerá entre 10 y 15 por ciento y que el espesor de las paredes del muestreador quede entre 3 y 4 por ciento del diámetro exterior del tubo.

Antes de bajar el muestreador en el pozo, este debe de limpiarse; las paredes deben de estar perfectamente estabilizadas, con lodo bentonítico o adama.

El muestreador debe hincarse a presión en forma continua, con una velocidad de penetración entre 15 y 30 cm/seg.

Antes de sacar el tubo del pozo, se hacen girar las barras de perforación para cortar el extremo inferior de la muestra.

Se saca el muestreador, se mide la recuperación obtenida, es decir, la relación entre la longitud de la muestra y la profundidad de penetración del muestreador, sellándose los extremos con parafina.

Los tubos Shelby más empleados presentan los diámetros siguientes:

DIAMETRO EXTERIOR (pulgadas)	DIAMETRO INTERIOR (pulgadas)
$2 \frac{1}{2}$	$2 \frac{3}{8}$
3	$2 \frac{7}{8}$
$3 \frac{1}{2}$	$3 \frac{3}{8}$
4	$3 \frac{7}{8}$

Es recomendable barnizar al interior de los tubos para permitir el almacenamiento prolongado de la muestra sin que se oxide el metal.

Otro tipo de muestreador de pared delgada más elaborado es el depistón

MUESTREADOR DE PISTON

Se ha diseñado para evitar que el material entre en el tubo antes de llegar al nivel de muestreo. fig. 3.5.b.

Existen varios tipos de estos muestreadores; los más usados son :

el Pistón Estacionario y el Pistón Retractil.

Muestreador de Pistón Estacionario

Consta de un tubo de pared delgada hasta llegar a la profundidad de muestreo; el pistón se mantiene a esta altura y se hince el tubo muestreador.

Se corta la base de la muestra por rotación y se saca el tubo. - La recuperación obtenida por este procedimiento está próximo al 100 por ciento. Este método presenta el inconveniente de que la muestra debe sacarse en el campo para que se pueda volver a utilizar el muestreador. Esta última operación se realiza con la ayuda del pistón e implica alteración seria de la muestra.

MUESTREADOR DE PISTON RETRACTIL

Este muestreador está constituido por un tubo donde se aloja un pistón.

En este tipo de muestreador, el pistón se retrasa antes de empezar el muestreo, la forma de operar es la siguiente:

Se baja el muestreador hasta el fondo de la perforación con el pistón obturado la entrada del tubo, se sube el pistón hasta su posición superior, una vez fijado éste, se hince el tubo y se hace girar para cortar la base de la muestra y se saca el tubo.

El muestreador de pistón retractil es uno de los más usados en suelos cohesivos blandos, debido a su sencillez y facilidad de operación.

En suelos duros, los tubos de pared delgada se doblan y se alteran la zona en la que se hincan, por lo que se ve la necesidad de recurrir a muestreadores más elaborados. Si el material no contiene grava y presenta cierta cohesión, se emplea generalmente - el muestreador Denison. fig. 3.5.c.

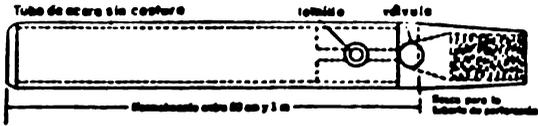
3.5.6. MUESTREADOR DENISON

Consta de dos tubos concéntricos

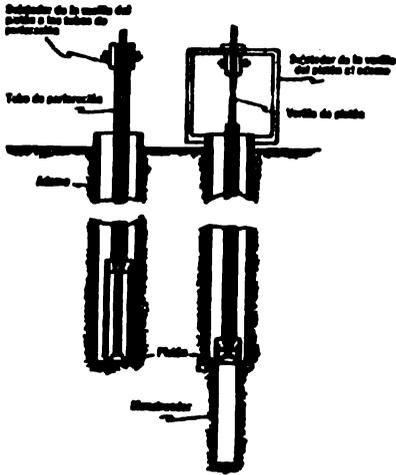
El exterior dispone de una zapata dentada que corta el material por rotación. El interior lleva, en su parte inferior una zapata cortante que sobresale del tubo exterior y está montado sobre baleros, de tal forma que puede permanecer fijo al girar el tubo exterior. Dentro del tubo interior, se aloja una camisa donde la muestra queda retenida. Una trampa de hojas metálicas dificulta la salida de la muestra una vez que se ha introducido. La forma de operar es la siguiente:

Se baja el muestreador al fondo de la perforación y se hince a -- presión la zapata interior. En esta forma, se protege la muestra contra la erosión y se evita que gire el tubo interior al hacerlo el exterior. Se dá al tubo exterior una velocidad de rotación comprendida entre 50 y 200 rotaciones por minuto. Durante toda la operación se aplica presión vertical por medio de un sistema hidráulico y se hace circular agua o lodo de perforación. Una vez lleno el muestreador, se saca y se extrae la muestra y se procede en la forma indicada por tubos de pared delgada.

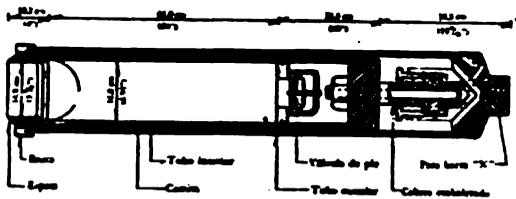
La distancia que guardan entre sí los extremos de las zapatas interior y exterior tienen gran influencia sobre el grado de alteración de la muestra. En suelos blandos, la distancia debe ser máxima (1 cm, aproximadamente), para sustraer la muestra a la --



(a)



(b)



(c)

Figura 3.5. Ilustraciones de tubo de pared delgada

- a) Tipo Shelby
- b) De plato
- c) Denton

erosión de fluido de perforación. En suelos muy duros, esta dig tancia puede ser nula e inclusive, puede convenir que la zapata interior sea más corta que el exterior.

3.5.7 METODOS ROTATORIOS PARA ROCA

Cuando un sondeo alcanza una capa de roca en el estudio de una cimentación, se hace indispensable recurrir al empleo de máquinas perforadoras a rotación, con broca de diamante o del tipo cáliz.

Las perforadoras a rotación con brocas de diamante fué explicada en los métodos para la obtención de muestras en bancos de materiales.

PERFORADORAS A ROTACION CON BROCA DEL TIPO CALIZ

En éstas, los muestreadores son de acero duro y la penetración se facilita por medio de municiones de acero que se hechan a través de la tubería hueca hasta la perforación y actúan como abrasivo.

En roca muy fracturada puede existir el peligro de que las municiones se pierdan. Perforadoras tipo cáliz se han construido -- con diámetros muy grandes, hasta hacer perforaciones de 3.0 m, - en la fig. 3.6 se muestra el equipo utilizado para muestreo de roca.

El éxito de una maniobra de perforación depende fundamentalmente de la velocidad de rotación, presión de agua y presión sobre la broca. Una vez que el muestreador ha penetrado en toda su longitud es preciso desprender la muestra de roca (corazón).

Se explicará a continuación la forma de muestreo de los diferentes métodos auxiliares en el estudio de cimentaciones.

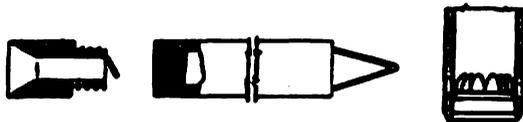
3.5.8 CON EL METODO DE PERCUSION Y LAVADO

El método de perforación por lavado y percusión se combina, generalmente con un muestreo intermitente con muestreadores de media caña, de trampa de muelles y el cucharón raspador fig. 3.7., - - mientras las características de suspensión de suelo no cambien, - es suficiente obtener una muestra de cada 1.50 m aproximadamente. Al observar un cambio en la suspensión, se procederá a un nuevo muestreo.

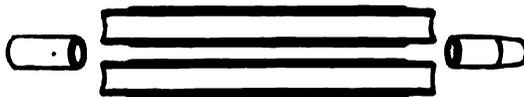
3.5.9 POR EL METODO DE PENETRACION ESTANDAR

El equipo necesario para obtener la muestra, consta de un muestreador espacial (Penetrómetro Estándar) de dimensiones establecidas.

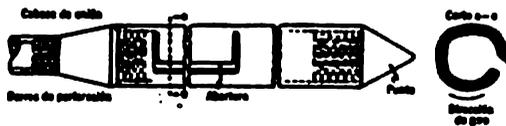
Por lo regular el penetrómetro es de media caña para facilitar la extracción de la muestra que se haya penetrado en su interior. El penetrómetro se enrosca en el extremo de la tubería de perforación y se hace penetrar a golpes con un martinete de 64 kg. y una altura de caída de 75 cm, para lograr una penetración de 30-cm. El martinete guiado por la tubería de perforación es elevado con un cable que pasa por la polea del trípode y dejándose caer desde la altura requerida. Después de cada avance de 30 cm, se retira el muestreador y se remueve la muestra obtenida, la cual debe protegerse contra las pérdidas de humedad en un frasco hermético.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.7 Tipos de muestreadores

- a) Muestreador de marfil
- b) Muestreador de media caña
- c) Cucharon raspador

En suelos arcillosos, las muestras conservan algunas de las características del suelo inalterado, pero solo pueden usarse para clasificar el material y determinar sus propiedades índices.

En suelos friccionantes, el material se compacta durante el hincado y la compacidad realtiva de la muestra no puede considerarse como representativa de los suelos "in situ". Afortunadamente, este último dato puede estimarse a partir de los resultados de la prueba de penetración estándar. En cuanto a la prueba de penetración, la principal utilidad radica en las correlaciones realizadas en el campo y en el laboratorio en diversos suelos, sobre todo arenas en que se relacionan la compacidad, el ángulo de fricción interna ϕ y en arcillas la resistencia a la compresión q_u , con el número de golpes necesarios en el suelo para que el penetrómetro estándar logre entrar los 30 cm especificados. Para obtener estas relaciones basta realizar la prueba estándar en diferentes estratos, obteniendo muestras inalteradas a las que se les puede determinar los valores de los conceptos señalados en el laboratorio y haciendo suficiente número de comparaciones pueden obtenerse correlaciones estadísticas dignas de confianza. En la práctica esto se ha logrado en los suelos friccionantes, para los que existen tablas y gráficas dignas de crédito; en el caso de suelos arcillosos plásticos las correlaciones de la prueba estándar con la resistencia a la compresión q_u , son pocas dignas de crédito, pues los resultados prácticos han demostrado que existen dispersiones y por lo tanto las resistencias obtenidas no deben servir de base para proyecto.

3.6 IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS

Todo sondeo debe ser registrado y referido de modo que se permita su localización, anotando su profundidad, la cota del terreno antes de excavar, la clase de material que se encuentre y las observaciones que se consideren pertinentes, anotando los datos en un registro de campo.

Cada muestra obtenida llevará su identificación tanto interior como exteriormente del envase, con los siguientes datos:

NOMBRE Y UBICACION DE LA OBRA
NUMERO Y COORDENADAS DEL POZO O SONDEO
PROFUNDIDAD A QUE FUE TOMADA LA MUESTRA

3.7 TAMAÑO DE LAS MUESTRAS

La cantidad de suelo que hay que enviar al laboratorio depende del programa de pruebas y será suficiente para repetir los ensayos cuyos resultados sean incorrectos o dudosos.

Puede ser de 50 ó 60 kg. de material las muestras alteradas provenientes de un banco de préstamo.

En la fig. 3.8 se muestra en forma esquemática como se reparte una muestra de acuerdo a las pruebas por realizar en laboratorio.

Cuando el contenido de agua natural de la muestra no tenga importancia mantenerlo, ésta puede ser enviada al laboratorio en costales de malla cerrado ó en cajones de madera.

En caso contrario se protegerá la muestra contra pérdidas de agua en un recipiente hermético.

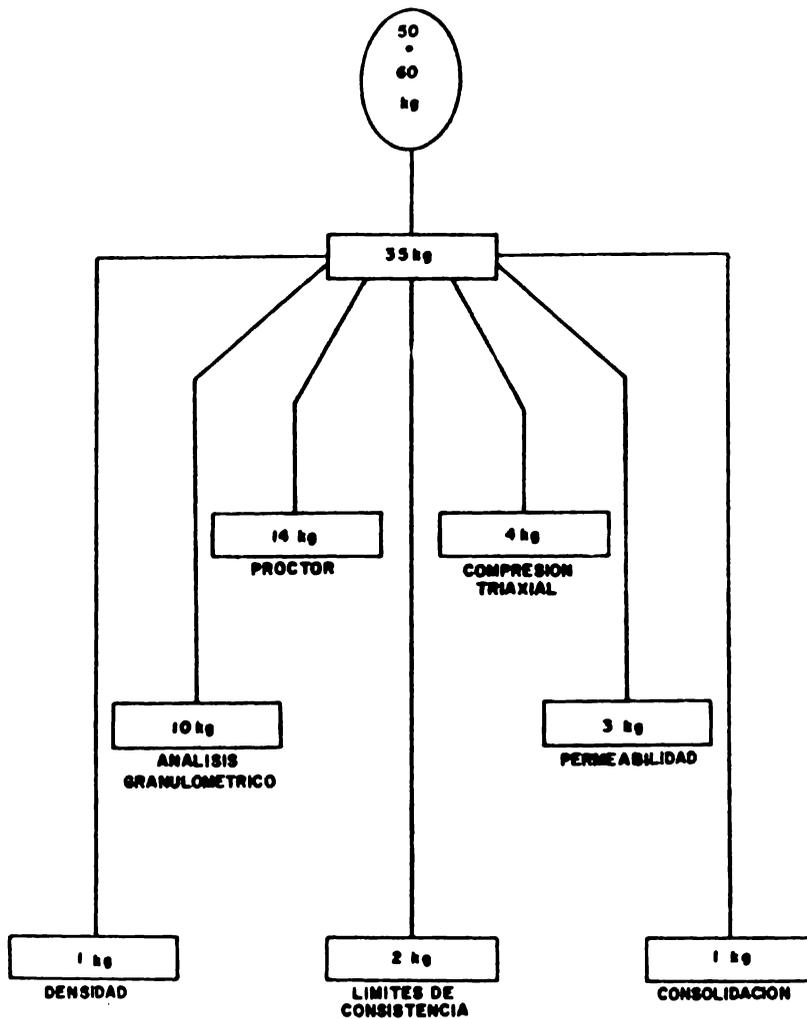


FIG. 3.8

3.8 ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Al llegar al laboratorio, las muestras deben someterse a inspección, en particular sobre su identificación. Se asegura el buen estado del recubrimiento de protección de las muestras inalteradas.

Las muestras inalteradas se almacenarán en un cuerto fresco.

Las muestras alteradas recibidas en costales deben pararse a cajones de madera ó botes de lámina galvanizada.

Los costales comunes se deterioran rápidamente al estar en contacto con el suelo y no son propios para un almacenamiento prolongado.

A pesar de todas las precauciones, siempre existe el riesgo de que ocurran cambios químicos y físicos del suelo durante un almacenamiento prolongado. Las muestras deben, por tanto, probarse tan pronto como sea posible después de su llegada al laboratorio.

PRUEBAS DE LABORATORIO

Después de haber obtenido las muestras representativas de los bancos de materiales, por los métodos de exploración y muestreo ya mencionados en el capítulo anterior, se procederá a realizar les sus correspondientes pruebas de laboratorio, y con los resultados obtenidos se complementará la etapa definitiva del estudio de bancos.

En este capítulo se mencionarán en forma general las pruebas de laboratorio, que deberán realizarse a las muestras, así como la información que resulte de éstas.

Las pruebas de laboratorio realizadas a muestras representativas de cada uno de los bancos de materiales en estudio, son de gran importancia para conocer sus características, por medio de las cuales se determinará la calidad de dichos materiales de -- construcción y en base a ésto autorizar o rechazar su uso.

Se realizarán pruebas índice y mecánicas a las muestras obtenidas de los bancos de material.

- IMPERMEABLE
- PERMEABLE
- ENROCAMIENTO

4.1 PRUEBAS INDICE

Son todas aquellas que se realizan para identificar y clasificar los bancos de materiales cualitativamente, las cuales se mencionan a continuación, de acuerdo al tipo de material en estudio:

4.1.1 EN MATERIAL IMPERMEABLE .- Se realizarán las siguientes pruebas índice :

- ANALISIS Y GRANULOMETRICO SIMPLIFICADO (Por ciento de gravas, arenas y finos).
 - LIMITES DE ATTERBERG
 - COMPACTACION PROCTOR
 - DENSIDAD DE SOLIDOS
 - CONTENIDO NATURAL DE AGUA
-
- ANALISIS GRANULOMETRICO SIMPLIFICADO .- Por medio de la Granulometría una muestra de material se dividirá en diferentes fracciones, obteniéndose una clasificación de acuerdo al tamaño de sus partículas.
-
- LIMITES DE ATTERBERG .- Por medio de estos valores puede clasificarse y determinarse la plasticidad de un suelo fino.
-
- COMPACTACION PROCTOR .- Se realizará la prueba de compactación en laboratorio a muestras de material con el objeto de obtener datos y especificaciones de proyecto, con las cuales

será colocado el material en la cortina; una vez iniciada su construcción, dichas especificaciones serán verificadas, obteniendo calas al azar del material compactado.

- DENSIDAD DE SOLIDOS .- La densidad de sólidos interviene en la mayor parte de los cálculos de mecánica de suelos.

- CONTENIDO NATURAL DE AGUA .- Este contenido natural del agua nos indica si se tiene una mayor o menor humedad en el banco de material con respecto a la humedad óptima, y en base a esto tomar medidas para suministrar o eliminar humedad al material que será colocado y compactado en la cortina.

4.1.2 MATERIAL PERMEABLE .- A estas muestras de material se le realizarán las siguientes pruebas índice:

- ANALISIS GRANULOMETRICO INTEGRAL
- PESO VOLUMETRICO SUELTO DE LA MUESTRA TOTAL
- PESO VOLUMETRICO COMPACTADO DE LA MUESTRA TOTAL

Además se deberán realizar pruebas por separado para fines de concreto a :

- 1) GRAVAS
 - ANALISIS GRANULOMETRICO
 - DENSIDAD

- ABSORCION
- SANIDAD
- ABRASION LOS ANGELES
- SUBSTANCIAS DELETEREAS
- PESO VOLUMETRICO SUELTO
- PESO VOLUMETRICO COMPACTADO

2) ARENAS

- ANALISIS GRANULOMETRICO Y PERDIDA POR LAVADO
- DENSIDAD
- ABSORCION
- CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA
- MODULO DE FINURA
- PESO VOLUMETRICO SUELTO
- PESO VOLUMETRICO COMPACTADO

4.1.3 EN MATERIAL PARA ENROCAMIENTO

- INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D.)
- ABRASION LOS ANGELES
- SANIDAD
- CLASIFICACION PETROGRAFICA

Existen especificaciones que indican los límites que debe cumplir el material permeable y de enrocamiento para que éstos garanticen una calidad satisfactoria y se mencionan a continuación:

- ANALISIS GRANULOMETRICO .- Por medio de este análisis una muestra de material permeable se dividirá en diferentes fracciones, clasificándose de acuerdo al tamaño de sus partículas, tomando en consideración los porcentajes que pasa cada malla:

Por ciento mayor de 76.2 mm (3")
Por ciento que pasa 76.2 mm (3")
y retenido en 38.1 mm (1 1/2 ")
Por ciento que pasa 38.1 mm (1 1/2")
y retenido en 19.1 mm (3/4")
Por ciento que pasa 19.1 mm (3/4")
y retenido en 4.76 mm (No. 4)
Por ciento retenido en malla No. 8
Por ciento retenido en malla No. 16
Por ciento retenido en malla No. 30
Por ciento retenido en malla No. 50
Por ciento retenido en malla No. 100

- DENSIDAD .- Para el diseño de las mezclas de concreto y el cálculo de los consumos de los materiales por metro cúbico de concreto, interesa determinar el volumen de cada uno de los componentes, lo cual resulta posible al conocer la densidad o peso específico aparente de cada uno de los ingredientes del concreto.

- ABSORCION .- Es de gran importancia considerar la capacidad que tienen los agregados para absorber agua, ya que dependiendo de esta capacidad el agregado absorberá o cederá agua al concreto.

- SANIDAD .- La sanidad de los agregados y material para enrocamiento define su aptitud para resistir y permanecer inalterable, bajo condiciones de servicio que generan acciones destructivas.

Estas condiciones de servicio frecuentemente están representadas por efectos de humedad y secado, variaciones extremas de la temperatura y algunos casos por efectos de congelación y deshielo, la prueba con que se mide la sanidad, se denomina Prueba de Intemperismo acelerado.

El método usual consiste en someter a los agregados a periodos sucesivos de inmersión y secado empleando una solución sobresaturada, de sulfato de sodio o de magnesio, obteniéndose pérdidas por desintegración.

La A.S.T.M., establece las siguientes pérdidas máximas permisibles, después de realizar la prueba de sanidad.

SOLUCION EMPLEADA	PERDIDA MAXIMA (%)	
	ARENA	GRAVA
SULFATO DE SODIO	10	12
SULFATO DE MAGNESIO	15	18

- ABRASION LOS ANGELES .- Esta prueba se utiliza cuando el concreto o el material para enrocamiento estará expuesta a cualquier acción que produzca desgaste o erosión, ya sea de carácter mecánico ó hidráulico, los resultados obtenidos se consideran como índice de calidad general y mide la aptitud de los materiales para enrocamiento y para producir concretos resistentes.

Las especificaciones A.S.T.M. C-33 establece en esta prueba, una pérdida máxima permisible de 50 por ciento, pero tolera el empleo de una grava que manifieste una pérdida mayor, si produce resistencias adecuadas en el concreto.

- SUBSTANCIAS DELETEREAS .- Son todas las substancias que se presentan en los agregados y pueden ser perjudiciales para la obtención de buenas propiedades en el concreto o en su comportamiento posterior, las cuales son :

- a) Materiales muy finos
- b) Impurezas orgánicas
- c) Partículas suaves, desmenuzables y ligeras

a) Materiales muy finos .- Estos materiales se presentan en tres formas principales que son: Arcilla, Limo y Polvo de Trituración, que a pesar de ser indeseables se toleran en cierta proporción según las especificaciones A.S.T.M. C-33.

AGREGADO	MATERIAL QUE PASA LA MALLA No. 200 (%)	
	CONCRETO EXPUESTO A LA ABRASION	CONCRETO NO EXPUESTO A LA ABRASION
ARENA NATURAL	3	5
ARENA TRITURADA	5	7
GRAVA NATURAL	1	1
GRAVA TRITURADA	1.5	1.5

Sus efectos pueden consistir en un aumento en el requerimiento de agua del concreto con sus consecuencias probables de-

disminución de la resistencia, aumento de contracción ó ---
bién interferencia en la adherencia entre el agregado y la
pasta.

- b) **IMPUREZAS ORGANICAS** .- Algunos tipos de materia orgánica que puede causar interferencia en la hidratación normal del cemento, estas pueden estar presentes más frecuentemente en la arena que en la grava, por lo que la prueba usual para cuantificar el contenido de materia orgánica, se acostumbra realizarla en arena por medio de la prueba de colorimetría.
- c) **PARTICULAS SUAVES Y DESMENEZABLES** .- Aquí se agrupan todas las partículas, que por escasa resistencia pueden constituir una limitación para la resistencia y durabilidad del concreto endurecido, estas partículas se detectan principalmente en la grava, en donde se supone sus efectos resultan más notables, limitándose a un máximo de 5 por ciento.

Las partículas desmenzables generalmente consisten en terrones de arcilla, que de acuerdo con su tamaño pueden estar presentes en la arena o grava y pueden ocasionar problemas en el concreto endurecido.

Las especificaciones A.S.T.M. C-33 indican los siguientes límites:

AGREGADOS	PARTICULAS DESMENEZABLES (%)
ARENA	1.0
GRAVA	5.0

MODULO DE FINURA .- El módulo de finura se obtiene en la arena a partir de su granulometría y es utilizado para fines de clasificación de la arena.

La especificación A.S.T.M. C-33, establece para cada tipo de arena en cuanto a su módulo de finura, los límites que debe tener ésta:

MODULO DE FINURA	CLASIFICACION
Menor de 2.0	Muy fina
2.0 a 2.3	Fina
2.3 a 2.6	Medio fino
2.6 a 2.9	Medía
2.9 a 3.2	Medio Gruesa
3.2 a 3.5	Gruesa
Mayor de 3.5	Muy gruesa

Sólo son aceptables como arenas para concreto, las arenas que presentan módulos de finura entre 2.3 y 3.2.

El dato de módulo de finura de la grava es poco utilizado en la práctica.

INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D) .- Se define así a la relación de la longitud de la muestra, eliminando los trozos menores de 10 cm., dividido entre el avance del muestreo, expresado en (%). Para tener una idea cualitativa de la roca se usa la siguiente clasificación:

I.C.R.	0-25	25-50	50-75	75-90	90-100
CALIDAD	MUY POBRE	POBRE	ACEPTABLE	BUENA	EXCELENTE

CLASIFICACION PETROGRAFICA .- Por medio de esta prueba se estudiarán las propiedades de cada uno de los minerales constituyentes, la composición química, así como textura y clasificación de las rocas.

4.2 PRUEBAS MECANICAS

Son todas aquéllas que se realizan para obtener los parámetros de diseño de la cortina, dichas pruebas se mencionan a continuación :

4.2.1 EN MATERIAL IMPERMEABLE

- PRUEBAS DE COMPRESION TRIAXIAL
 - PRUEBA DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL
 - PRUEBA DE PERMEABILIDAD
- PRUEBAS DE COMPRESION TRIAXIAL .- Las pruebas de compresión-triaxial usuales se realizan en dos etapas: Consolidación y Ruptura, y se clasifican en función de las condiciones de drenaje durante las dos etapas de prueba.
- NO CONSOLIDADAS - NO DRENADAS (Rápida)
 - CONSOLIDADAS - NO DRENADAS (Rápida - Consolidada)
 - CONSOLIDADAS - DRENADAS (Lenta)

Los materiales utilizados en las pruebas triaxiales son de muestras integrales, obteniéndose de éstas probetas compactadas al 95% de la prueba proctor y saturadas al 100%. Dicha compactación se hará por amasado para dar al material una estructura similar a la que se obtendrá por compactación "in situ".

Para probetas compactadas se forman con el material que pasa la malla No. 4. Las probetas tendrán un diámetro de 3.6 cm.

y una longitud de 9 cm., las que se colocarán en una cámara-triaxial para ser ensayadas.

Las pruebas triaxiales serán mencionadas más ampliamente en el Capítulo V.

- CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL .- Estas pruebas se realizan -- con objeto de obtener la magnitud de las compresiones totales que pueden presentarse bajo distintas cargas, y la evolución con el tiempo de la compresión sufrida por un suelo bajo una carga determinada.

La relación entre reducciones de relación de vacíos y presiones efectivas aplicadas, permite explicar los asentamientos-totales que pueden esperarse en una obra.

Se utilizarán para esta prueba muestras integrales, de las cuales se elaborarán probetas compactadas. Para reproducir el estado de compactación en campo, se empleará un procedimiento de compactación por amasado. La probeta tendrá un diámetro de 7.8 cm y una altura de 2.5 cm. La compactación del material al realizar la probeta se hará por capas delgadas - de 1 cm. escarificando la superficie de cada capa antes de colocar la siguiente .

- PRUEBA DE PERMEABILIDAD .- Para obtener la permeabilidad en suelos impermeables, los tiempos de prueba para obtener el coeficiente de permeabilidad por los métodos directos (Carga constante y carga variable), resultan tan prolongados que la evaporación y las variaciones de temperatura producirían erro

res importantes. En estos suelos muchas veces se obtiene el coeficiente de permeabilidad a partir de una prueba de consolidación. Sin embargo el método utilizado por lo regular para material impermeable en laboratorio es el método de carga variable.

4.2.2 EN MATERIAL PERMEABLE

- PRUEBAS TRIAXIALES

- PRUEBA DE PERMEABILIDAD

- PRUEBAS TRIAXIALES .- Las más usuales en material permeable son:

- PRUEBA TRIAXIAL CONSOLIDADA DRENADA (Lenta)

- PRUEBA TRIAXIAL T.15

- PRUEBA TRIAXIAL T.38

- PRUEBA TRIAXIAL CONSOLIDADA DRENADA .- Esta prueba se realiza por lo general con suelos permeables. En suelos poco permeables, la prueba tiene una duración que la hace de poca aplicabilidad. Con material permeable se prepara una probeta de ensaye con un diámetro de 3.6 y 13 cm de longitud.

- PRUEBA TRIAXIAL T.15 Y T.38 .- Son pruebas especiales que únicamente son llevadas a cabo por dependencias oficiales, en material permeable estas pruebas serán explicadas en el siguiente Capítulo.

- PERMEABILIDAD .- A continuación se menciona la prueba que --

permite determinar directamente el coeficiente de permeabilidad en material permeable.

- PRUEBA DE PERMEABILIDAD DE CARGA CONSTANTE .- Este tipo de prueba se utiliza para suelos relativamente permeables, tales como gravas, arenas y mezclas de grava y arena. Los coeficientes de permeabilidad para estos suelos varían de 10^2 a 10^{-3} cm/seg.

ELECCION DE PARAMETROS DE DISEÑO

Por los riesgos de su falla y por la inversión que representan, las presas han de proyectarse y construirse con máxima seguridad y cuidado, por lo que será de gran importancia la correcta elección y determinación de los parámetros de diseño. En este capítulo se explicará en forma general, basándose en las pruebas mecánicas realizadas a muestras de los bancos de materia - les, el criterio para la elección de parámetros de diseño de una presa de tierra.

5.1 ESTABILIDAD DE TALUDES

La estabilidad de los taludes de una cortina se determina por su capacidad para resistir esfuerzos cortantes, pues la falla se produce por deslizamiento a lo largo de una superficie de corte. Los esfuerzos cortantes provienen de las cargas externas aplicadas, como son las del vaso, las producidas por los terremotos y las internas producidas por el peso del material compactado.

El proyecto y la estabilidad de una cortina de tierra, estará regido por la adecuada obtención de los parámetros de resistencia.

En el análisis de estabilidad de los taludes han intervenido investigadores como Collín que en 1945, habló por vez primera de superficies de deslizamiento curvas en las fallas de los taludes, sin embargo sus ideas no tuvieron proyección debido a las teorías presentadas por Ch. Coulomb sobre superficies de deslizamiento plano. Posteriormente Petterson analizó una falla ocurrida y dedujo que la ruptura había ocurrido en una superficie curva, este análisis fué apoyado por W. Fellenius (1927), resucitando así las ideas de superficies de deslizamiento curvas en las fallas de los taludes. La escuela Sueca propuso que se considerara como superficie de falla real, una cilíndrica cuya traza con el plano del papel sea un arco de circunferencia.

En la actualidad existen varios métodos para el cálculo de la estabilidad de las presas de tierra, los cuales se basan en los estudios e investigaciones anteriores:

- METODO SUECO .- Este método supone que la superficie de ruptura es cilíndrica, con el cual es relativamente sencilla -- analizar la estabilidad de una cortina y el más generalmente usado y se basa en que las fuerzas resistentes al corte son: La cohesión sola, ó la fricción y cohesión combinadas.

- METODO DE LA ESPIRAL LOGARITMICA .- En este método la traza de deslizamiento es más real, pero según experiencias éste - complica bastante los cálculos y proporcionan resultados muy similares al método Sueco, que su uso práctico no se justifica.

En la actualidad existen diferentes procedimientos como el utilizado por la S.A.R.H., en el análisis de cortinas y bordos de protección, el cual está basado en la teoría de Feilenius y se realiza con ayuda de máquinas computadoras.

Es necesario hacer hincapié en que, desde el punto de vista -- del valor de los resultados, no importará cuál método se use - para realizar el análisis de estabilidad ya que todos los métodos son de mecánica simple y sus resultados sólo difieren en - un pequeño porcentaje. En consecuencia, no vale la pena discutir sobre cuál método es el más preciso, ya que la exactitud - de un cálculo de estabilidad no depende de los detalles del -- procedimiento del método que se siga para analizar el equilibrio de un sistema de fuerzas, sino de la correcta elección de los parámetros de resistencia (diseño) al esfuerzo cortante, - efectuada sobre la base de un estudio adecuado.

Causas de fallas en presas de tierra .- Se mencionará en forma condensada, las causas principales de fallas en presas de tierra:

- Fallas debidas a la falta de resistencia del material de la presa o de la cimentación.

- Aquéllas que ocurren cuando el agua vierte sobre una presa o por insuficiencia del vertedor de demasías.

La causa más importante de las fallas es la insuficiente resistencia al esfuerzo cortante, que se presenta principalmente en suelos arcillosos durante la construcción, al incrementarse la carga, después de terminada la presa y cuando el nivel del vaso de almacenamiento baja bruscamente. Se ha observado, basándose en experiencias anteriores que las fallas del talud aguas arriba durante el rápido descenso del nivel del agua, sólo afecta una zona relativamente angosta de la presa, la cual puede repararse rápidamente.

Otra causa es la licuación, la cual es la disminución de la resistencia, que ocurre repentinamente en las arenas sueltas o limos cuando estos suelos están saturados. Este tipo de falla es poco frecuente, pero cuando ocurre es de serias consecuencias.

Muchas fallas de presas han sido debidas a tubificación; es decir, a erosión interna originada por la infiltración del agua, ya sea en la cimentación o en el cuerpo de la presa.

La tubificación a través de la cortina puede comenzar en el talud de aguas abajo, o bien en una grieta transversal por donde el agua fluye abriendo un túnel que de no detenerse por un derrumbe interior o por un descenso en el nivel del agua en el vaso, puede causar la falla de la estructura.

5.2 CONDICIONES DE TRABAJO EN LA ESTABILIDAD DE UNA CORTINA

Para proyectar satisfactoriamente una cortina de tierra, es necesario obtener los parámetros de resistencia para diferentes condiciones de trabajo, las que a continuación se mencionan:

- Condiciones Iniciales de Estabilidad (Durante la construcción)
- Condiciones Finales de Estabilidad (A presa llena y a vaciado rápido).

5.2.1 Condiciones Iniciales

En esta condición las partes poco permeables del terraplén sufren aumentos de esfuerzos cortantes. Las variaciones de esfuerzo cortante y de resistencia son tales que, el factor de seguridad de la cortina contra deslizamiento disminuye al progresar la construcción, por lo que se analizará la estabilidad de la cortina en esta condición suponiendo disipación nula de la presión de poro.

5.2.2 Condiciones Finales

5.2.2.1 Condición de Estabilidad a Presa Llena .- Al llenarse el embalse, los esfuerzos actuantes en la cortina aumentan y se incrementan las presiones de poro en las zonas próximas a la base de la cortina hasta hacerlas máximas cuando alcanza la condición de flujo establecido. Por lo tanto, el factor de seguridad llega a un mínimo en la condición de trabajo a largo plazo con presa llena.

5.2.2.2 Condiciones de Estabilidad a Vaciado Rápido .- Después de cierto tiempo de operación de la presa, en la cortina se ha establecido el flujo hacia aguas abajo. Si en estas condiciones ocurre un descenso del nivel del embalse, el talud de aguas arriba será sometido a ciertas condiciones de inestabilidad al desaparecer el empuje del agua en una porción del paramento mojado. Por esa causa el factor de seguridad representa un mínimo durante el vaciado rápido.

Es de gran importancia la elección del tipo de prueba triaxial que mejor represente las condiciones de trabajo de una cortina, ya que por medio de la prueba elegida se obtendrán los parámetros de resistencia y con éstos se procederá a realizar el análisis de estabilidad.

5.3 PRUEBAS MECANICAS

Las pruebas mecánicas se realizarán en el laboratorio, a muestras procedentes de los bancos de materiales, de acuerdo al tipo de material con que se pretenda construir la cortina, siendo dichas pruebas las siguientes :

- PRUEBAS TRIAXIALES
- PRUEBAS DE CONSOLIDACION
- PRUEBAS DE PERMEABILIDAD

Por medio de estas pruebas se obtendrán los parámetros para di seño y construcción de dicha cortina.

5.4 MATERIAL IMPERMEABLE

Si se pretende construir con este material la cortina, se realizarán las siguientes pruebas mecánicas para obtener los parámetros de diseño.

5.4.1 Pruebas Triaxiales

5.4.2 Pruebas de Consolidación

5.4.3 Prueba de Permeabilidad

5.4.1 Pruebas Triaxiales

Por medio de estas pruebas se pueden determinar los parámetros de resistencia del material impermeable, los cuales son fundamentales para realizar el análisis de estabilidad de una cortina, siendo dichas pruebas las siguientes:

- Prueba Triaxial Lenta (Consolidada Drenada)
- Prueba Triaxial Rápida Consolidada (Consolidada no drenada)
- Prueba Triaxial Rápida (No consolidada no drenada)

- Prueba Lenta .- Primero se sujeta a una probeta preparada de una muestra integral de material impermeable a una presión - hidrostática, teniendo abierta la válvula de drenaje y permitiendo una completa consolidación. La muestra es llevada a la falla a continuación aplicando una carga axial en pequeños incrementos manteniendo el drenaje abierto.

Prueba Triaxial Rápida Consolidada .- En este tipo de prueba la probeta se consolida bajo la presión hidrostática, abriendo la válvula de drenaje. En seguida la muestra es llevada a la falla por un rápido incremento de carga axial, de manera que no se permita cambio de volumen. Durante el periodo de falla no se permite ninguna consolidación de la probeta, lo cual se logra cerrando la válvula de drenaje.

Prueba Triaxial Rápida .- En esta prueba en ninguna etapa se permite la consolidación de la probeta de material impermeable. La válvula de drenaje permanece cerrada. Se aplica al espécimen una presión hidrostática y de inmediato se hace fallar el suelo con la aplicación de una carga axial rápida.

Generalmente cada prueba se realiza en tres o cuatro especímenes bajo diferentes presiones confinantes, los resultados obtenidos se representarán por una serie de círculos cuya envolvente permite obtener los parámetros de resistencia del material estudiado.

Las siguientes pruebas son las que mejor representan las condiciones de trabajo de estabilidad de una cortina.

La Prueba Triaxial Rápida es la más adecuada y que mejor representa la condición inicial de trabajo de una cortina (durante y al final de la construcción), obteniéndose la resistencia del material, sin que se permita la disipación de las presiones de poro generadas.

La Prueba Triaxial Lenta es la que mejor representa la condición a presa llena, obteniéndose la resistencia del material en estudio, después de la disipación de la presión de poro.

La Prueba Triaxial Rápida Consolidada es la más adecuada para representar la condición de vaciado rápido de una presa, determinándose la resistencia de los suelos consolidados sometidos a cargas rápidas.

Se obtienen los parámetros de resistencia (diseño) de una cortina, tomando en cuenta las condiciones más críticas; durante y al final de la construcción, y a vaciado rápido, por medio de la prueba Triaxial Rápida y Rápida Consolidada, considerando con esto la condición menos crítica que es a presa llena, no realizándose la prueba Triaxial Lenta para dicha condición.

Los parámetros de resistencia que se obtendrán de estas pruebas Triaxiales serán :

MATERIAL	PARAMETROS DE RESISTENCIA
PURAMENTE COHESIVO	COHESION - (C)
COHESIVO Y FRICCIONANTE	COHESION Y ANGULO DE FRICCION
	INTERNA - (C) y (ϕ)

5.4.2 Prueba de Consolidación

Las pruebas de Consolidación se realizan a muestras de bancos de materiales de baja permeabilidad con el objeto de obtener:

- La magnitud de los asentamientos que pueden presentarse bajo distintas cargas en la cortina.
- Los asentamientos que puede sufrir una cortina bajo una carga determinada.

La prueba de Consolidación consiste en comprimir verticalmente un espécimen de material de baja permeabilidad por medio de --cargas, reduciéndose la relación de vacíos, debido a la compresión y expulsión de aire contenido en los poros del suelo por causa de dicha compresión.

En base a la determinación de los posibles asentamientos de una cortina, se diseña una contraflecha a lo largo de la corona para asegurar que no disminuirá al bordo libre por consolidación de la cortina.

Para las presas sobre cimentaciones relativamente incompresibles se acostumbra dar de contraflecha al 1% de la altura.

5.4.3 Prueba de Permeabilidad

La utilidad de esta prueba es para tener un conocimiento exacto de la permeabilidad del material que se va a colocar en la cortina.

La permeabilidad depende del tamaño y forma de las partículas que componen el material de una cortina, de su relación de vacíos, forma y arreglo de los poros contenido de materia orgánica.

La permeabilidad en suelos cohesivos es tan baja que, los problemas que plantea tienen poca significación práctica. El coeficiente respectivo varía de 10^{-5} a 10^{-9} cm/seg. La determinación de dicho coeficiente se obtiene con pruebas de carga variable.

La prueba consiste en medir la cantidad de agua que atraviesa una muestra de suelo, por diferencia de niveles en un tubo alimentador.

5.5 MATERIAL PERMEABLE

Si se pretende utilizar este material en la construcción de la presa, para obtener los parámetros de diseño se realizarán las siguientes pruebas:

5.5.1 Pruebas Triaxiales

5.5.2 Pruebas de Permeabilidad

5.5.1 Pruebas Triaxiales

En suelos permeables, tales como arenas limpias se realizará - una prueba Triaxial Consolidada Drenada (Lenta) la cual se desarrolla en forma análoga a la descrita para material impermeable.

Con este material no se puede labrar un espécimen apropiado, - por desmoronarse el material durante su formación, el cual se llega a formar pero resulta complicado e inseguro.

La mecánica de suelos ha desarrollado dos tipos de cámaras --- triaxiales para probar especímenes de grandes dimensiones las cuales se realizan en base al diámetro máximo del material por ensayar y son las que a continuación se mencionan.

- PRUEBA T.15 .- Los especímenes utilizados son de 15 cms. y - tiene por objeto ensayar agregados gruesos, como gravas y -- arenas o la mezcla de éstas con diámetro máximo de 3.75 cms.

- PRUEBA T. 38 .- En esta prueba se utilizan espécimenes de 38-cm. de diámetro y aproximadamente 80 cm. de altura, con partículas con diámetro máximo de 9.5 cm. El principio del funcionamiento de esta cámara y procedimiento son análogos a los anteriormente explicados.

Cabe mencionar que las pruebas anteriormente descritas para espécimenes de grandes dimensiones son pruebas especiales que pocos laboratorios particulares las tienen y sólo dependencias -- oficiales cuentan con éstas. Por esta razón existen medios empíricos para auxiliarse en la obtención en forma preliminar de -- los parámetros de resistencia de material permeable, como el -- que a continuación se menciona:

Los doctores Raul J. Marsal y Daniel Resendis, han estudiado y recopilado resultados de pruebas índice y mecánicas, realizadas a muestras de material permeable de diferentes proyectos de presas del país y del extranjero.

Tomando en consideración los resultados producto de la experiencia, se puedan obtener los parámetros de resistencia de materiales permeables en estudio, por medio de comparación de sus propiedades físicas.

5.5.2 Prueba de Permeabilidad

Por medio de esta prueba se puede obtener la permeabilidad de un suelo permeable utilizando la prueba de permeabilidad de Carga constante. Este tipo de prueba se utiliza para suelos relativamente permeables, tales como gravas, arenas y mezclas de -- arena y grava.

Los coeficientes de permeabilidad para estos suelos varían de -
 10^2 a 10^{-3} cm/seg.

El procedimiento consiste en someter a la muestra de suelo a un
escurrimiento de agua bajo una carga constante.

5.6 ENROCAMIENTO

Podemos decir que este material es el menos estudiado de los materiales que constituyen la cortina.

Los taludes aguas arriba de las cortinas deben protegerse contra el efecto destructivo de las olas. La experiencia ha demostrado que, en la mayoría de los casos, el enrocamiento colocado al volteo constituye el mejor tipo de protección del talud aguas - arriba al costo mínimo.

La roca elegida para dicha protección debe ser dura, densa y durable, además debe resistir largas exposiciones a la intemperie.

La elección del uso de una roca desde el punto de vista de su - calidad, se determina mediante sus pruebas de resistencia al intemperismo y al desgaste; y mediante exámenes petrográficos para determinar y clasificar el tipo de roca. Se hace hincapié - en que las pruebas índice mencionadas anteriormente no son acep - tadas universalmente; ya que éstas han sido propuestas para ca - talogar agregados de concretos y aún no existe un estudio de -- mecánica de suelos o de rocas que correlacione dichas pruebas - con las propiedades de interés en estos campos.

TRATAMIENTO DE BANCOS

Por lo general, al realizar un estudio de bancos de materiales para la construcción de cortinas, se deberá indicar el tratamiento probable, de acuerdo a las características y condiciones en que se encuentren dichos bancos, para poder garantizar que los materiales estén en condiciones de ser utilizados de acuerdo a lo especificado por el proyecto.

En este capítulo se explicará en forma general, algunos tratamientos que pueden ser aplicados en función del tipo de material por utilizar.

6.1 TRATAMIENTO EN BANCOS DE MATERIAL IMPERMEABLE

Los tratamientos que se pueden dar a un banco de material impermeable para poder ser utilizados en la construcción de cortinas, se mencionarán enseguida.

6.1.1 Desmante

Este se realiza principalmente en aquellos bancos en que superficialmente se encuentre vegetación, la cual se elimina para poder realizar el despalle y explotación de dicho banco.

6.1.2 Despalle

Después de realizar el desmante, se deberá realizar dicho despalle con todo cuidado, eliminando únicamente la capa vegetal en la superficie del banco.

6.1.3 Roturación

Esta se realiza en material impermeable muy duro y se hace por lo general con arado o con cuchillas dispuestas en máquinas, -- con el objeto de que el material ya suelto, se le pueda suministrar humedad y lograr homogeneizar ésta con mayor facilidad en dicho material.

6.1.4 Incorporación de humedad

Este tratamiento se dará cuando el banco tenga una humedad inferior con respecto a la óptima.

Hay varios métodos para proporcionar al material por colocar el contenido de humedad necesaria. Se puede colocar el material - en montones sobre el terraplén, regarlo por aspersión y mezclar lo mediante una motoconformadora aunque este procedimiento no - es muy recomendable. Otra forma de suministrar humedad al material es formando bordos de entarquinamiento, complementándose éste con un riego adicional si es necesario al tender la capa - por compactar. Otro método que proporciona mejores resultados - es tender capas sueltas de 15 a 30 cm. de espesor en el sitio - por compactar, someterlo a riegos de aspersión, dejarlo en reposo y mezclarlo con motoconformadora hasta homogeneizar la humedad en el material.

6.1.5 Secado

Cuando el banco de material tenga una humedad superior a la óptima de compactación, se dará este tratamiento.

Existen varios métodos para disminuir la humedad del banco de material hasta alcanzar la óptima especificada. Una forma sería extender capas de material expuestas a la intemperie hasta que pierda la suficiente humedad para ser colocado. Otra forma sería drenar el agua contenida en el banco, existiendo una pérdida de humedad en el material hasta alcanzar la óptima de compactación.

Cabe aclarar que este tratamiento es muy costoso, por lo cual -

no se recomiendan bancos con humedad mayor que la óptima.

- EXPLOTACION

Cuando el material del banco es relativamente homogéneo es aceptable que la explotación se haga por capas, para lo cual es usual usar escrepas o motoescrepas, siempre que la dureza del material sea baja.

Cuando el banco de material está compuesto por varios estratos, e interesa obtener una mezcla de los diferentes estratos hasta cierta profundidad, se acostumbra abrir un frente vertical atacando con pala mecánica o cargador frontal, el tanque con este equipo se realiza mediante cortes entre 2.5 y 5 m .

6.2 TRATAMIENTO EN BANCOS DE MATERIAL PERMEABLE PARA FILTROS

El material permeable es utilizado para formar los filtros de las presas, el cual deberá ser producto de la explotación de depósitos aluviales.

Los tratamientos que se pueden dar a estos bancos de materia - les se mencionan a continuación:

6.2.1 Desmante y Despalse

Este se realizará sólo en caso necesario, de acuerdo a las con - diciones y características que presente el banco.

6.2.2 Cribado

El cribado se realiza cuando se requiere obtener de un mate - rial una granulometría adecuada o para eliminar porcentajes al - tos de partículas mayores que el diámetro máximo especificado. Cuando estas partículas sean del 10 al 15% conviene eliminar - las cribando.

El material que se cribará para la eliminación de tamaños gran - des se maneja por gravedad, recogiendo en un camión el mate - rial que pasa por una malla determinada. Cuando se requiera - una granulometría adecuada ha de recurrirse a plan - tas de criba - do con mallas vibratorias, dispuestas en dos o tres niveles.

6.2.3 Lavado

Este tratamiento se aplica principalmente a materiales contaminados por un alto porcentaje de finos (arcilla o polvos), es usual combinar éste con el cribado.

El lavado se puede realizar de diferentes formas, desde el chiflonaje durante el cribado, hasta el empleo de tanques lavadores, en los que el material es removido con paletas mecánicas, mientras se les somete agua a presión.

- EXPLOTACION

Cuando el material proviene de un banco natural y se extrae éste en presencia de agua se utilizará equipo de dragado, en caso contrario que no se presente ésta, la explotación se ejecuta con -- pala o con cargador frontal.

6.3 TRATAMIENTO DE BANCOS DE MATERIAL PERMEABLE PARA RESPALDOS

Estos materiales pueden ser producto de canteras o depósitos aluviales.

Si se formara una cantera los tratamientos necesarios serán :

6.3.1 Desmote y Despalme

Los cuales solo se realizarán si es necesario, éstos ya fueron descritos anteriormente.

6.3.2 Selección

Después del tratamiento anterior, se obtendrá el material producto de la cantera clasificándolo con el equipo de carga en material para respaldos y chapa de enrocamiento.

El material de respaldos es transportado a la cortina para ser colocado, la fracción más fina próxima a los filtros y la gruesa próxima a los taludes exteriores de la cortina.

- EXPLOTACION

La explotación de este material implica el desarrollo de una cantera y caminos.

Hay dos métodos de ataques en una cantera: Por bancos escalona

dos y coyoterías.

En los primeros se desarrollan frentes verticales de 5 a 15 m. según el material y equipo de carga, por medio de barrenos realizados con track drills, a distancias y profundidades determinadas, en los que se alojan explosivos. El diámetro y profundidad de las perforaciones así como el tipo y cantidad de explosivos, dependen del diámetro del material que se desea obtener.

En el procedimiento de coyoterías se abren túneles normales al banco, que se ramifican interiormente; colocándose la carga de explosivo necesaria para romper y levantar la masa de roca, de manera que al caer, se provoque la fragmentación deseada, este método no es muy utilizado ya que se producen bloques muy grandes que obligan a la barrenación, voladuras secundarias y dificultan los movimientos del equipo para su extracción y carga.

6.4 TRATAMIENTO EN BANCOS DE MATERIAL PARA CHAPA DE ENROCAMIENTO.

El material para chapa de enrocamiento de una cortina se obtiene de canteras, al cual se le dan los siguientes tratamientos:

6.4.1 Desmante y Despalme

Estos ya fueron mencionados anteriormente y se realizan sólo en caso necesario.

6.4.2 Selección

Esta ya fué mencionada y es posterior a la explotación, seleccionándose los fragmentos requeridos para la chapa y el material restante se podrá emplear en los respaldos.

- EXPLOTACION

La explotación de este material se aplicó anteriormente.

La carga de este material producido hace necesario el uso de -- maquinaria pesada y camiones resistentes para recibir el producto y transportarlo a velocidad relativamente alta.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .

- CONCLUSIONES

De acuerdo a las experiencias obtenidas en la construcción de - presas y tomando en consideración el avance en los últimos años de la Mecánica de Suelos, se considera necesario la realización de un Estudio Geotécnico que proporcione datos referentes al -- suelo que se pretende utilizar.

Una buena o mala localización de los bancos de material, repercutiría en el costo total de la construcción, por lo que se le debe dar la debida importancia para que se localicen lo más cerca del lugar de utilización y con ésto abatir los costos de - - transportación, de lo contrario el obtener materiales en zonas muy alejadas, existirá un aumento en los costos debido al sobreacarreo.

Por medio de la etapa preliminar de un Estudio Geotécnico, se - podrá detectar la factibilidad de utilización o rechazo del banco de material en estudio y en base a ésto programar o nó la etapa definitiva.

De los métodos de exploración mencionados para el estudio de -- bancos, cabe aclarar que los más utilizados de acuerdo al tipo de material son: Los pozos a cielo abierto, perforación con posteadora y métodos rotatorios para roca, así como los métodos --

geofísicos que sirven como auxiliares en dichos estudios.

Los métodos de muestreo se realizarán de acuerdo al tipo de material en estudio.

Las muestras obtenidas se identificarán y mandarán al laboratorio para obtener sus características índice y tomando en consideración los resultados obtenidos autorizar o rechazar su uso.

Tomando en consideración las condiciones de trabajo a que estará sujeta la cortina, se realizarán sus correspondientes pruebas mecánicas, con el objeto de obtener los parámetros de diseño y en base a esto realizar el estudio de análisis y diseño de dicha cortina.

La adecuada obtención de los parámetros de diseño para la construcción de una cortina es definitiva y de gran importancia, -- por los riesgos que representa su inversión y construcción.

De acuerdo al estudio realizado en bancos de materiales, se determinan los diferentes tratamientos de acuerdo a las condiciones en que se presente éste; y con esto estar en condiciones -- para ser utilizados en la construcción de la cortina.

- RECOMENDACIONES

Los bancos de materiales que se estudien deberán ser accesibles en vehículos de transportación terrestre y en caso de que al momento de estudiarlos no sea así, sólo se considerará como banco de préstamo si la construcción de un camino de acceso es económicamente costeable en comparación con otros posibles bancos.

Se procurará localizar bancos de tres tipos de materiales con acceso desde una sola margen.

Se considerará como banco de material si los espesores mínimos aprovechables señalados a continuación se cumplen, salvo que -- otras alternativas tengan una distancia de acarreo que los haga incosteables.

- ESPESOR DE MATERIAL APROVECHABLE

	MINIMO	MAXIMO
MATERIAL IMPERMEABLE	2	8
MATERIAL PERMEABLE	2	8
MATERIAL PARA ENROCAMIENTO	5	

En caso de que los espesores aprovechables sean mayores a los-- indicados anteriormente, se deberá consignar que continúa el -- mismo material.

De acuerdo a las experiencias obtenidas se recomienda dividir -- un Estudio Geotécnico para bancos de materiales en dos etapas -- las cuales son:

1) ETAPA PRELIMINAR

2) ETAPA DEFINITIVA

Esto con la finalidad de reducir el costo del estudio y éste -- sea atractivo.

Al final del estudio de bancos se elaborará un informe, el cual deberá incluir la descripción de los materiales de cada banco, - indicando su volumen, método apropiado de ataque y tratamiento- necesario.

Se incluirá el resultado de todos los ensayos de laboratorio.

Se anexará plano particular de cada banco indicando la localización y el perfil estratigráfico de cada sondeo.

Se incluirá el Plano General de localización de bancos de mate-
riales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. R.J. MARZAL Y D. RESENDIZ
PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO
EDIT. LIMUSA, 1979
2. U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR
DISEÑO DE PRESAS PEQUEÑAS
EDIT. C.E.C.S.A.
3. JUAREZ BADILLO Y RICO RODRIGUEZ
MECANICA DE SUELOS
TOMO I Y II
EDIT. LIMUSA, 1977
4. ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO
LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES
VOLUMEN I,
EDIT. LIMUSA, 1978
5. SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
INSTRUCTIVO DE EXPLORACION Y PRUEBA DE BANCOS DE ROCA
6. SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
MANUAL DE MECANICA DE SUELOS, 1970
7. ANUAL BOOK OF A.S.T.M. STANDARS
PARTE 14