



1e 13

Señorita GONZALEZ HUESCA IRMA SILVIA.
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Prof. Ing. - Mariano Ruiz Vázquez, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO GEOLOGO.

"LA GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA CIVIL"

- I. INTRODUCCION.
- II. PLANEACION Y ETAPAS DE INVESTIGACION.
- III. DATOS GEOLOGICOS DE INTERES PARA INGENIERIA CIVIL.
- IV. DESCRIPCION INGENIERIL DE LAS ROCAS.
- V. METODOS DE EXPLORACION GEOLOGICA.
- VI. PRESENTACION DE DATOS GEOLOGICOS.
- VII. ELEMENTOS DE MECANICA DE ROCAS.
- VIII. BANCOS DE MATERIAL.
- IX. PRESAS.
- X. TUNELES.
- XI. EXCAVACIONES A CIELO ABIERTO.
- XII. VIAS TERRESTRES.
- XIII. OBRAS PORTUARIAS.
- XIV. CANALES Y DUCTOS.
- XV. EDIFICACIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar -- Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como -- requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así -- como de la disposición de la Coordinación de la Administración -- Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los -- ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado,

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D.F., Febrero 7 de 1984.

EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rascón Chávez



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

	Pág.
1. INTRODUCCION	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivos.	
1.3. Método de trabajo.	
1.4. Generalidades.	
1.4.1. Definiciones.	
1.4.2. Importancia de la Geología en la --- construcción de obras civiles y par- ticipación del geólogo dentro de las mismas.	
2. ETAPAS DEL ESTUDIO.....	3
2.1. Estudios preliminares.	
2.2. Estudios de detalle.	
2.3. Estudios durante y después de la construcción Planeación.	
3. DATOS GEOLOGICOS DE INTERES PARA INGENIERIA CIVIL.	12
3.1. Litología y Estratigrafía.	
3.2. Geología Estructural y Discontinuidades.	
3.3. Hidrogeología.	
3.4. Geomorfología.	
3.4.1. Geodinámica externa.	
3.4.2. Geodinámica interna.	
4. DESCRIPCION INGENIERIL Y CLASIFICACION GEOTEC-..... NICA DE SUELOS Y ROCAS.	30
4.1. Clasificación geotécnica de suelos.	
4.2. Descripción del material rocoso.	
4.3. Descripción de macizos rocosos.	
4.4. Descripción de núcleos de roca.	
5. METODOS DE EXPLORACION GEOLOGICA.....	51
5.1. Métodos Indirectos.	

5.1.2.1.	Métodos eléctricos.	
5.1.2.2.	Métodos sísmicos.	
5.2.	Métodos Directos.	
5.2.1.	Levantamientos geológicos.	
5.2.2.	Pozos a cielo abierto y trincheras.	
5.2.3.	Túneles o socavones.	
5.2.4.	Perforaciones.	
5.2.4.1.	Métodos de perforación.	
5.2.4.2.	Diferentes tipos de muestras.	
5.2.4.3.	Muestreo en suelos.	
5.2.4.4.	Muestreo en rocas.	
6.	PRESENTACION DE DATOS GEOLOGICOS.....	106
6.1.	Informes técnicos.	
6.2.	Mapas geológicos y geotécnicos.	
6.3.	Diagramas estereográficos.	
6.4.	Perfiles geotécnicos.	
6.4.1.	Perfiles geotécnicos individuales.	
6.4.2.	Perfiles geotécnicos integrados.	
7.	ELEMENTOS DE MECANICA DE ROCAS.....	123
7.1.	Definición y alcances de la Mecánica de Rocas.	
7.2.	Principales aplicaciones de la Mecánica de Rocas	
7.3.	Propiedades índice de las rocas.	
7.4.	Propiedades mecánicas de las rocas.	
7.5.	Determinación de las propiedades mecánicas de-- las rocas.	
8.	BANCOS DE MATERIALES.....	176
8.1.	Generalidades.	
8.2.	Agregados para concreto.	
8.3.	Enrocamientos.	
8.4.	Cemento.	
8.5.	Materiales finos o granulares.	
8.6.	Balasto.	
8.7.	Otros usos.	
8.8.	Exploración de bancos de material.	

9.	PRESAS.....	186
9.1.	Generalidades.	
9.1.1.	Usos de las presas.	
9.1.2.	Partes de una presa y obras auxiliares.	
9.1.3.	Tipos de cortinas.	
9.2.	Problemas geotécnicos.	
9.2.1.	Fenómenos de geodinámica externa.	
9.2.2.	Filtraciones.	
9.2.3.	Asentamientos.	
9.2.4.	Bancos de material.	
9.2.5.	Asolvamiento.	
9.3.	Exploración de presas.	
10.	TUNELES.....	225
10.1.	Generalidades.	
10.1.1.	Definición y tipos de túneles.	
10.1.2.	Métodos de excavación.	
10.2.	Problemas geotécnicos.	
10.2.1.	Fallas.	
10.2.2.	Estratificación.	
10.2.3.	Anticlinales y sinclinales.	
10.2.4.	Filtraciones.	
10.2.5.	Naturaleza de la roca o suelo en --- los portales de entrada o de salida.	
10.2.6.	Rocas sometidas a esfuerzos.	
10.2.7.	Altas temperaturas y gases.	
10.3.	Exploración de túneles.	
11.	EXCAVACIONES A CIELO ABIERTO.....	241
11.1.	Generalidades.	
11.2.	Problemas geotécnicos.	
11.2.1.	Estabilidad de taludes.	
11.2.2.	Condiciones de excavación	
11.2.3.	Movimiento de tierras.	
11.3.	Exploración de excavaciones a cielo abierto.	

12.	VIAS TERRESTRES.....	257
12.1.	Generalidades.	
12.1.1.	Partes de una carretera.	
12.2.	Problemas geotécnicos.	
12.3.	Exploración de vías terrestres.	
13.	OBRAS PORTUARIAS.....	271
13.1.	Generalidades.	
13.1.1.	Tipos de puertos.	
13.2.	Problemas geotécnicos.	
13.2.1.	Erosión y asolve.	
13.2.2.	Problemas de evolución de la costa.	
13.2.3.	Bancos de material.	
13.2.4.	Cimentación de estructuras.	
13.3.	Exploración de puertos.	
14.	CANALES Y DUCTOS.....	286
14.1.	Generalidades.	
14.2.	Problemas geotécnicos y exploración.	
15.	EDIFICACIONES.....	295
15.1.	Generalidades.	
15.1.1.	Definición de cimentación.	
15.1.2.	Tipos de cimentaciones.	
15.2.	Problemas geotécnicos.	
15.3.	Exploración de edificios.	
	BIBLIOGRAFIA.....	308

1.- INTRODUCCION

1.1 Antecedentes.

Las grandes obras civiles de infraestructura: vías terrestres, presas, puertos marítimos, etc. son de la mayor importancia dentro de la vida económica de un país. El buen funcionamiento de estas obras depende en gran medida de la forma en que fueron construídas y geotécnicamente adaptadas a las condiciones geológicas del terreno, al grado de que para fines de cálculo se tienda a considerar a las masas de roca o suelo como parte integrante de la estructura por construir.

De esta manera los conocimientos teóricos de la Geología, ya en la práctica tienen una importante aplicación para resolver problemas que se presentan en las obras de Ingeniería Civil.

La aplicación de la Geología a la resolución de problemas de Ingeniería Civil es relativamente reciente, pero de la década de los 50 a la fecha adquiere cada día una mayor importancia.

Conforme se va ampliando el campo de la Geología aplicada a la Ingeniería Civil resulta más evidente que los descubrimientos y deducciones del geólogo deben traducirse en aplicaciones y términos prácticos. Esta traducción exige que el geólogo tenga conocimientos sustanciales de Ingeniería Civil relacionados con la construcción de obras, de mecánica de suelos y de rocas de tal manera que le permitan en un momento dado ayudar en la solución de problemas de construcción de proyectos ingenieriles.

1.2 Objetivos.

El objetivo principal de este trabajo es que los estudiantes de Ciencias de la Tierra, particularmente de Geología y Geofísica se den cuenta del papel tan importante que desempeñan los profesionistas de estos campos en la construcción de obras ci---

viles; donde además de proporcionar la metodología adecuada - para el estudio de cada obra específica, se señalan los problemas geotécnicos que son susceptibles de presentarse.

De esta manera el geólogo y el geofísico sabrán concretamente cuál es la información que requiere el Ingeniero Civil y éste a su vez conocerá que información puede proporcionarle aquél y cuales son sus limitaciones.

1.3 Método de Trabajo.

Este trabajo es el resultado de una reconilación bibliográfica, además de la contribución de especialistas de las diferentes ramas de la Geotecnia, así como la revisión por parte de los profesores que imparten la materia de Geología aplicada a la Ingeniería Civil en la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

1.4 Generalidades.

1.4.1 Definiciones.

La Geotecnia es una disciplina Tecno-científica que --- agrupa a la Geología, Mecánica de Suelos y Mecánica de Rocas, relacionándolas. De esta forma la Geología Aplicada a la Ingeniería Civil es aquella parte de la Geotecnia que utiliza los conocimientos geológicos en la resolución de los problemas prácticos de la Ingeniería. Esta disciplina utiliza conjuntamente ingenieros geólogos e ingenieros civiles en la construcción de obras. - Para obtener resultados satisfactorios y para que exista una buena comunicación entre ambos, el geólogo debe tener conocimientos de Mecánica de Suelos, Mecánica de Rocas y de los fundamentos de la Ingeniería Civil; por su parte el Ingeniero Civil y los mecanicistas de suelos y rocas deben conocer los elementos de la Geología-Física.

1.4.2 Importancia de la Geología en la construcción de obras - civiles y participación del geólogo dentro de las mismas

Puede aseverarse sin temor a equivocación que no existe obra civil, sobre todo si ésta es de gran magnitud que no necesite de la geología, más aún se puede decir que el conocimiento geológico de un sitio es el punto de partida para la construcción de cualquier obra.

Se trata desde luego del conocimiento geológico a pequeña escala, a una escala de relojería, que nos hable de la litología, estratigrafía, de las discontinuidades, de los fenómenos de geodinámica (externa e interna) y de la geohidrología. Es justamente en la búsqueda de estos conocimientos donde hace acto de presencia el geólogo.

Se ha escuchado con frecuencia que cuando una obra civil falla se dice que falló la geología y aunque el noventa por ciento de las obras fallan por falla del terreno, no se trata de falla de la geología sino falla de quien hizo la investigación geológica. De ahí la importancia de que el estudio geológico se haga con el mayor detalle, sin escatimar, ni tiempo, ni dinero ni esfuerzo.

2.- ETAPAS DEL ESTUDIO

El objetivo general de las investigaciones que se realizan en un sitio es determinar las condiciones geotécnicas del terreno que intervengan en el proyecto, diseño, costo y vida útil de un proyecto ingenieril propuesto. O bien en el estudio de las condiciones de proyectos terminados o parcialmente terminados.

Antes de comenzar con el análisis de los métodos de exploración geológica es conveniente establecer una secuencia ordenada y bien planeada para realizar los estudios, lo cual se traduce en mayor rapidez, eficiencia y menor costo en los trabajos.

El costo del conjunto de estudios que se realizan en un sitio podría decirse que es relativamente bajo del orden del 1 al 8% del costo total de una obra, por lo que no deben escatimarse gastos para hacer un estudio lo más completo y consecuentemente lo más confiable posible, ya que una información insuficiente de las características del terreno puede traer como consecuencia un diseño inadecuado, no satisfactorio, el que posteriormente puede resultar en un serio peligro o alguna falla para la obra en cuestión.

En la investigación de un sitio es necesario realizar tres etapas, las cuales de acuerdo con Fookes (1967) son las siguientes:

- 1.- Estudios preliminares
- 2.- Estudios de detalle
- 3.- Estudios durante y después de la construcción

En la Fig. 2.1 se muestran esquemáticamente las etapas básicas de investigación. Es conveniente realizar estas etapas en el orden mostrado, sin embargo, aquí influyen diversos aspectos, como el tipo de obra, su importancia, aspectos financieros o las condiciones geológicas, entre otros. Por ejemplo si la obra es muy pequeña, poco importante y además con una geología sencilla, es posible que no se justifiquen los estudios detallados (etapa II, ocasionando que después de la etapa I se pase directamente a la etapa III). Por lo tanto cada obra requiere la planeación particular de sus etapas, con sus objetivos y actividades a realizar.

2.1 Estudios Preliminares.

Los estudios preliminares que deben realizarse durante la etapa de anteproyecto consisten esencialmente en un análisis de la información bibliográfica y cartográfica existente del área del proyecto y de visitas de reconocimiento al sitio, con el fin de contar con las observaciones y datos que permitan definir los lugares más adecuados para la construcción de

la obra, con base en las condiciones geológicas y geotécnicas de la zona.

Esta etapa por lo regular no requiere de grandes erogaciones - pero es importante que en ella colabore un geólogo con experiencia en geotécnica, ya que estos trabajos serán la pauta para la planeación de estudios posteriores. Las actividades que comúnmente se realizan en esta etapa y en la secuencia que se muestra a continuación son las siguientes:

- Recopilación de información. Es necesario obtener la mayor cantidad de información, derivada de estudios desarrollados en el área o cercanos a ella recurriendo a las dependencias u organismos que dispongan de ella; esta información debe ser analizada y sintetizada para obtener datos generales relacionados con topografía, hidrología, (superficial y subterránea), litología, estratigrafía, fenómenos de geodinámica, problemas geotécnicos característicos de la región, etc.
- Inspección de las fotografías aéreas e imágenes de satélite existentes.
- Reconocimiento preliminar. Es la inspección del sitio que permite evaluar la información recopilada previamente y complementarla con observaciones de campo para determinar la factibilidad de construcción de alguna obra civil y fundamentar el programa detallado de exploración.

El reconocimiento debe proporcionar información acerca de la accesibilidad, recursos humanos, del marco geológico general, identificar las estructuras geológicas importantes, localizar discontinuidades (fracturas, fallas, planos de estratificación discordancias), conocer la geomorfología, los procesos de geodinámica interna (sismicidad, vulcanismo), geodinámica externa (erosión, movimientos en masa del terreno), la hidrología superficial y subterránea y la existencia de materiales de construcción.

Fig. 2.1 Desarrollo de las Etapas de Exploración.

ETAPA		ESTUDIO		DESARROLLO			
I	Reconociendo Preliminar	Topografía	Recopilación de la información disponible Fotogrametría				
		Geotecnia	Recopilación bibliográfica y cartográfica Fotogeología Estudios de sensores remotos Otros Recorridos de campo				
II	Exploración e investigación detallada	Topografía	Fotogrametría Levantamientos topográficos				
		Geotecnia	Levantamientos Geotectónicos	Litología, estratigrafía y estructuras Fallas Fracturas y juntas Estratificación Discordancias Reconocimiento de Discontinuidades Fenómenos de Geodinámica Externa: Estabilidad de taludes Zonas de alteración y erosión Interna: Fallas activas Vulcanismo y sismicidad Tectónica			
			Geofísica	Localización de roca sana Localización del nivel freático Estratigrafía Calidad de los materiales			
		Geotecnia	Perforaciones	Muestras de suelos alteradas e inalteradas Recuperación de núcleos de roca y muestreo integral Inspección de las paredes de los pozos (TV y Fotografía).			
			Excavaciones	Muestras cúbicas de suelos y rocas Estratigrafía Características estructurales de los macizos Observación de fallas y fracturas			
			Pruebas de campo	Resistencia y deformabilidad Permeabilidad Estado de esfuerzo tectónicos			
		Geotecnia	Pruebas y estudios de Laboratorio	Propiedades índice Propiedades mecánicas Mineralogía y petrografía			
III	Construcción	Geotecnia	Localización y ubicación de bancos y ensayos de materiales	Obtención de materiales de construcción Definición de métodos constructivos			
IV	Operación		Instrumentación y Control	Piezometría Instrumentación de fallas y taludes Pruebas de inyección Influencia de la obra en los procesos geológicos			

(Tomada del manual de Diseño de Obras Civiles B.1.4, 1979.)

El alcance de este primer acercamiento con la región dependerá de la importancia de la obra y de las características del subsuelo. Algunas veces basta este reconocimiento para desechar o aceptar el sitio previamente elegido.

De los estudios preliminares debe resultar un informe en el que se indique la planeación de los estudios de detalle de la etapa siguiente.

2.2 Estudios de Detalle

Siempre precedidos por los estudios preliminares constituyen la etapa II designada "exploración e investigación detallada"; sin embargo su uso no queda restringido a esta parte de la investigación de un sitio, resultando útiles también en la etapa de construcción y operación de la obra. La finalidad de esta etapa es lograr una comprensión a fondo de la geología del sitio y sus alrededores.

La amplitud de los trabajos de investigación de esta etapa depende de la extensión, importancia y tamaño de la obra por construir. Se debe concluir con un informe que describa las características geotécnicas del terreno o macizo rocoso y que pueda ser utilizado para fines de diseño.

Las actividades que se realizan durante un estudio detallado son las descritas en la etapa II de la Fig. 2.1 y que se describen a continuación:

- Elaboración de un mapa geológico-geotécnico de la superficie del terreno en la zona de construcción de la obra, a escala adecuada (1:100 a 1:5000), auxiliado de una fotointerpretación detallada, con la finalidad de presentar toda la información que aparece en la parte correspondiente a levantamiento geotécnico en la Fig. 2.1.

- Mapeo geotécnico del subsuelo, el cual se lleva a cabo con el auxilio de técnicas directas e indirectas que permiten conocer la distribución de las unidades litológicas y sus características geológicas e ingenieriles (isopacas, isopiezométricas, etc.)
- Obtención de muestras del subsuelo para estudios de laboratorio, y/o realización de pruebas "in situ" para conocer las propiedades índice y mecánicas de los macizos rocosos. (ver capítulo 7)
- La información obtenida de las actividades anteriores debe ser procesada e interpretada adecuadamente para que sea de máxima utilidad en el diseño.

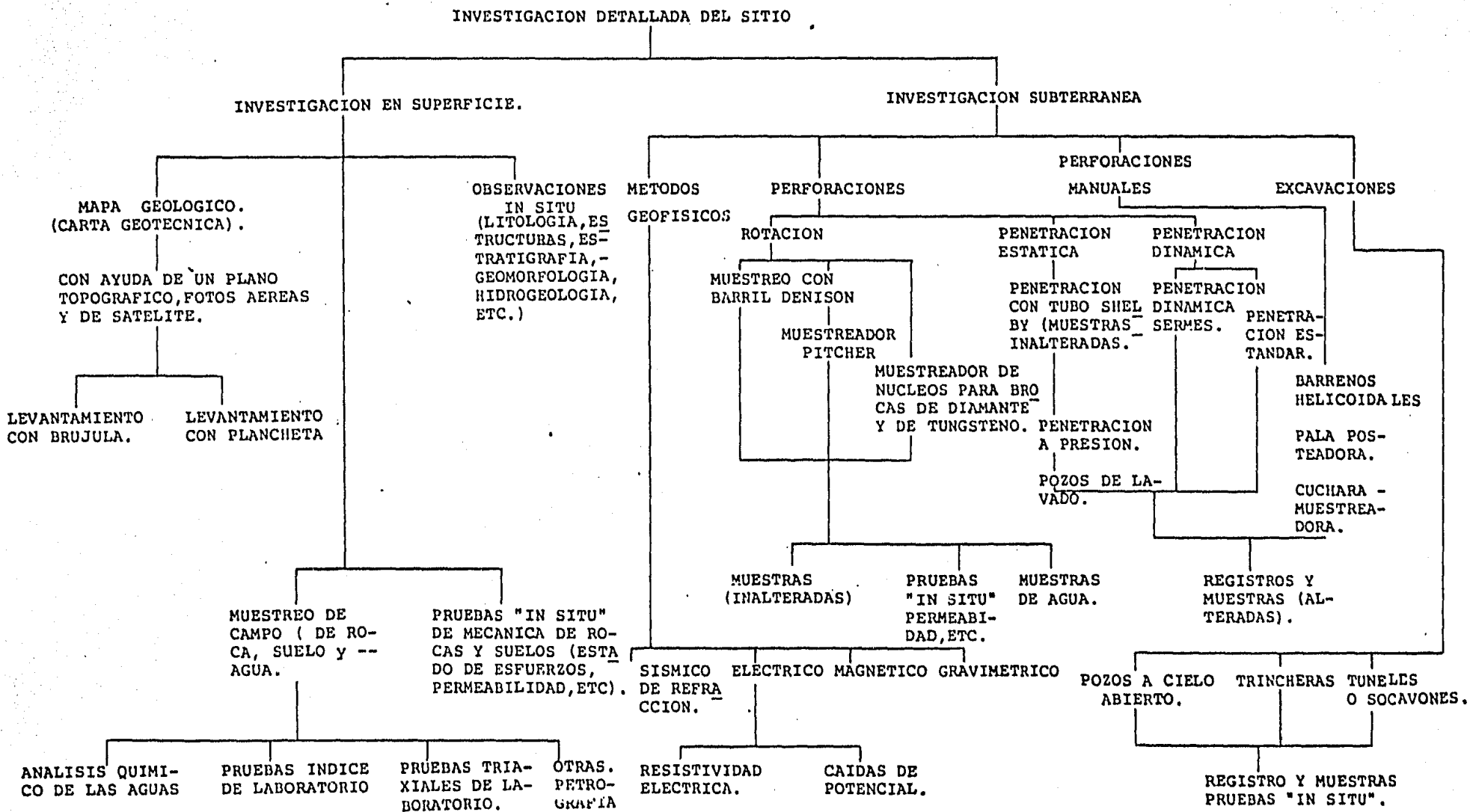
Existen una gran variedad de técnicas que pueden ser usadas para un estudio detallado completo (Figura 2.2.), sin embargo la selección y la programación adecuada de ellas ayudará a mantener los costos bajos y obtener la información adecuada. Sin embargo como ya se dijo, no deben escatimarse gastos de exploración pues la falta de información o su mala calidad pueden provocar un diseño inadecuado que ocasione fallas peligrosas, problemas constructivos y económicos o bien un mal funcionamiento de la obra.

2.3 Estudios durante y después de la construcción.

En esta etapa III se llevan a cabo levantamientos geológicos adicionales así como estudios de mecánica de suelos y de rocas si estos son necesarios. A veces estos trabajos son una confirmación de lo que se anticipó durante las investigaciones previas, aunque pueden aportar nuevos y valiosos datos que modifiquen el diseño o el procedimiento constructivo. De esta forma las actividades que se desarrollan durante esta etapa incluyen:

- Levantamientos geológicos y geotécnicos de las obras durante la excavación de túneles, trabajos de limpieza que incluyen --

Fig. 2.2 Investigación Detallada del Sitio de Construcción de una Obra Civil.



(Tomada de Fookes, 1967, con modificaciones)

desmontes, remoción de escombros y descubrimiento de la roca sana, apertura de cortes y trincheras, explotación de bancos de material, etc. Deben realizarse a medida que avanza la obra.

- Mapeo geotécnico superficial y del subsuelo; elaborando planos y secciones geotécnicas con información completa y actualizada. (ver capítulo 6)
- Muestreo para la realización de pruebas de laboratorio, así como pruebas "in situ" en zonas de interés o con problemas.
- Instrumentación directa.

Esta información servirá para ajustar o modificar, en caso necesario, el diseño de las obras.

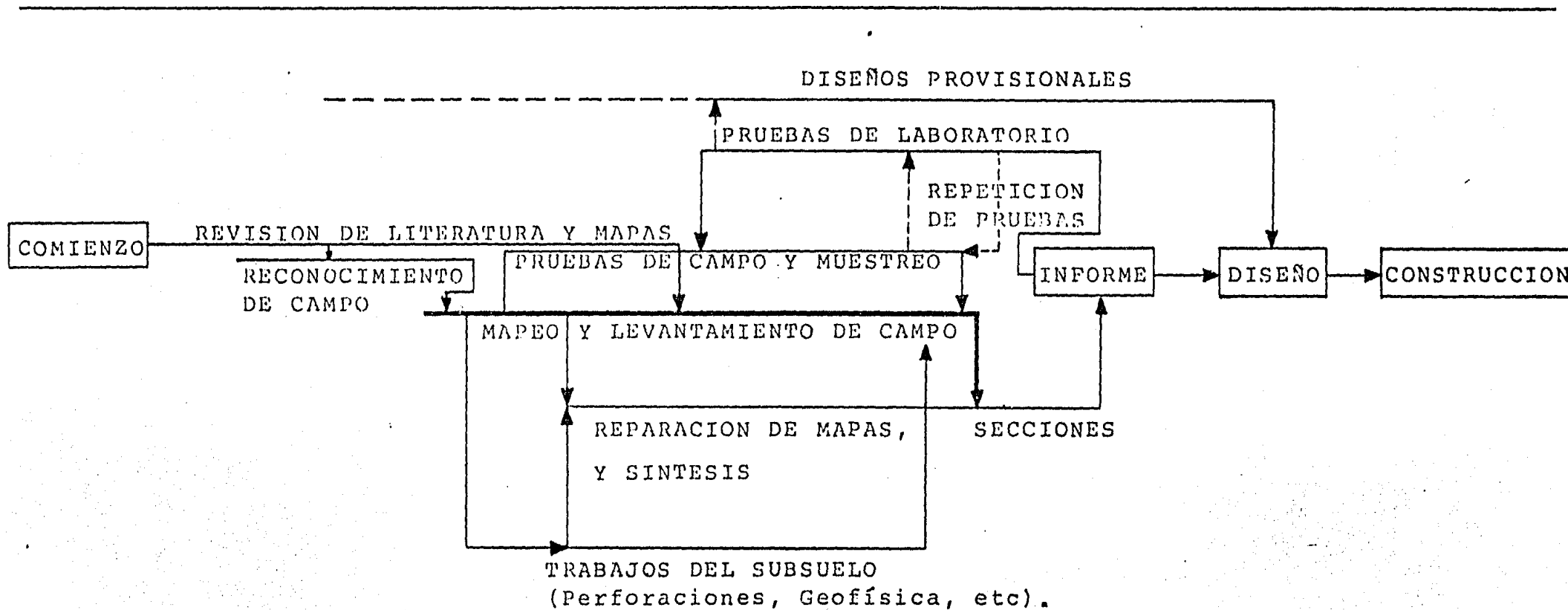
En ocasiones hay un traslape de las investigaciones de la etapa II con la III pues algunos estudios se ejecutan durante la construcción de la obra, ya que es más fácil obtener muestras para pruebas de laboratorio cuando las áreas de desplante están abiertas y con fácil acceso.

PLANEACION

Las tres etapas deben desarrollarse en una secuencia adecuada de técnicas para realizar un trabajo eficiente y a bajos costos. Esto puede lograrse estableciendo planes con rutas críticas que se basen en las condiciones geológicas del sitio y en las mejores técnicas que permitan evaluar la información y predecir los problemas geotécnicos. Cada sitio requiere su ruta crítica, la cual debe ser diseñada y modificada según los avances de trabajo y la información geológica. Por ejemplo la figura 2.3 es una idealización generalizada de una ruta crítica durante las etapas I y II para una presa media a grande, donde el aluvión o cubierta superficial no cubre totalmente el sitio. En este caso la investigación se desarrolla principalmente durante el mapeo geológico ingenieril.

FIGURA 2.3 ORGANIZACION DE INVESTIGACIONES: EJEMPLO DE UN PLAN DE RUTA CRITICA PARA UNA PRESA DE TAMAÑO MEDIO.

RUTA CRITICA GENERAL PARA INVESTIGACIONES



(Tomada del Curso "La Geología en la Mecánica de Rocas", 1984
Div. de Educación Continua, Fac. de Ingeniería UNAM)

La investigación comienza en gabinete con el exámen de las fo to gra f í a s a e r e n t e s y con una re visi ón de literatura y mapas geol óg i c o s y topogr á f i c o s, seg u i d a por re co no c i m i e n t o s de cam p o re al i z a d o s de ma n e r a co n j u n t a por i n g e n i e r o s ge ó l o g o s y ge o t e c n i s t a s. Lo s t r a b a j o s de cam p o pro p r i a m e n t e co m i e n z a n co n un m a p e o geol óg i c o y sim u l t á n e a m e n t e pu e d e e m p e z a r t a m b i e n la i n v e s t i g a t i o n de subs ue l o por me d i o de per fo r a c i o n e s, geof i s i c a (s í s m i c a y e l é c t r i c a), so c a v o n e s y po z o s a ci e l o abi e r t o. Lo s po z o s a ci e l o abi e r t o y l a s t r i n c h e r a s se re al i z a n para co m p l e m e n t a r el lev a n t a m i e n t o geol óg i c o y para de f i n i r al g u n a z o de co n t a c t o, fall a o al g u n a s o t r a s dis co n t i n u i d a d a d e s tr a t i f i c a c i o n disc o r d a n c i a s y fr a c t u r a s). Se g u n el ti p o de o b r a l a s m ue s t r a s co l e c t a d a s son en vi a d a s al labor a t o r i o para ef e c t u a r l e s pr ue b a s, m i e n t r a s se pro c e d e a labor a t o el pl a n o y per f i l e s geot é c n i c o s, i n c l u y en ellos la in f o r m a c i o n pro v e n i e n t e de l a s per fo r a c i o n e s, la geof i s i c a, lo s so c a v o n e s y de l a s pr ue b a s de cam p o y labor a t o r i o.

Los problemas geotécnicos específicos del sitio deben haber sido amplia y claramente investigados. Finalmente, cuando se tiene toda la información analizada y cada aspecto ha sido probado, se procede a preparar el informe final.

3.- DATOS GEOLOGICOS DE INTERES PARA INGENIERIA CIVIL

Toda la información de carácter geológico es necesaria para definir la factibilidad de construcción de una obra civil; esta información sirve en consecuencia para realizar el estudio geotécnico del sitio.

Los datos geológicos son necesarios en primer término en la etapa de anteproyecto, durante la cual se selecciona, en gabinete, uno o varios sitios para la construcción. En esta etapa los datos geológicos se obtienen de fotografías aéreas, planos geológicos y de toda la información bibliográfica geológica o geotécnica existente. En la etapa de reconocimiento preliminar la información geológica y geotécnica, se obtiene de

la inspección de campo y en la etapa correspondiente a estudios de detalle, los datos geológicos se obtienen de levantamientos, perforaciones, pozos a cielo abierto, socavones, y de la aplicación de algún método geofísico. Durante la construcción, ya sea al iniciar los trabajos de limpia o excavación, o bien estando ya bien avanzada la obra se requiere de información geológica. Tengase en cuenta que sobre todo tratándose de obras subterráneas profundas, nunca se puede decir que un sitio esté perfecta o completamente investigado.

Finalmente estando la obra en operación también serán necesarios los datos geológicos.

Para garantizar el éxito en la obtención de los datos geológicos es necesario contar con técnicos experimentados para los trabajos de campo y propiciar durante todas las etapas de exploración geológica una íntima colaboración entre el geólogo, el geotécnico y el proyectista.

La omisión de alguno o algunos datos geológicos puede llevar a una interpretación o resultados equivocados en el estudio geotécnico, al retraso en la construcción o al encarecimiento de la obra y en ciertos casos al fracaso de la misma, (Terzaghi, 1967 p. 6). A continuación se incluye la tabla 3.1, en donde se encuentran en forma esquemática los datos geológicos requeridos, considerando el tipo de obra por construir y las necesidades impuestas al terreno por la obra misma.

3.1 Litología y Estratigrafía.

La litología comprende tanto el estudio de suelos como de rocas. Los primeros según la definición de Terzaghi son aquellos agregados naturales de partículas minerales que pueden ser disgregados por agentes mecánicos tales como agitación en agua y las segundas son los agregados naturales de partículas minerales unidas firmemente por fuerzas cohesivas permanentes. De esta manera es necesario determinar la o las unidades litológi-

TABLA 3.2 Datos geológicos requeridos en obras civiles

DATOS GEOLOGICOS	TIPO DE OBRA										
	PRESA		OBRA SUBTERRANEA	EXCAVACION A CIELO ABIERTO	VIA TERRESTRE	LINEA DE TRANSMISION	CANAL	PUENTE	PUERTO	AEROPUERTO	CIMENTACION
	CORTINA	VASO									
1. LITOLOGIA											
1.1 SUELOS											
Espesor en metros	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E
Extensión	RE	P	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
Clasificación	RE	R	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
Composición	E		EC	E	E	E	E	E	E	E	E
Textura	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E
Estructura	EC		E	E	E	E	E	E	EC	EC	EC
Porosidad	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E
Permeabilidad	E	E	E	EC	E	E	EC	E	E	E	EC
1.2 ROCAS											
Profundidad roca sana	EC		EC	EC	E	E	E	E	E	E	E
Clasificación	RE	R	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
Textura	RE		RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
Estructura	RE		RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
Porosidad	RE	R	RE	RE	E	E	EC	E	E	E	EC
Permeabilidad	REC	RE	RE	RE	E	E	EC	EC	E	E	EC
Recuperación	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E
Índice de calidad de la roca (R.Q.O.)	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E
2. DISCONTINUIDADES											
2.1 FALLAS Y JUNTAS (DIACLASAS)											
Presencia	RE	H	RE	RE	RE	H	RE	RE	RE	R	R
Tipo	RE	R	RE	RE	RE	H	RE	RE	RE	R	R
Frecuencia	E		EC	EC	EC		E	EC	E	E	EC
Rumbo y echado	REC	RE	REC	REC	REC	H	P	REC	RE	R	R
Características											
—Amplitud	RE	E	RE	RE	RE		RE	RE	RE	R	R
—Relleno	RE	E	RE	RE	RE		RE	RE	RE	R	R
—Paredes	RE	E	RE	RE	RE		RE	RE	RE	R	R
2.2 PLIEGUES											
Presencia	RE	RE	RE	RE	R	RE	RE	RE	RE	R	R
Intensidad	REC	RE	REC	REC	REC	RE	RE	RE	RE	R	R
Tipo	REC	RE	REC	REC	REC	E	RE	RE	RE	R	R
Rumbo	REC	RE	REC	REC	REC	RE	RE	RE	RE	R	R
2.3 DISCORDANCIAS											
Tipo	RE	RE	RE	RE	RE		RE	RE	RE		
Magnitud	RE	RE	RE	RE	RE		RE	RE	RE		
2.4 CAMBIOS DE FACIES	EC	E	EC	EC	EC		E	E	E		
3. ESTRATIGRAFIA											
Formaciones o unidades litológicas	P	P	RE	RE	RE	R	RE	RE	RE	RE	E
Espesores	RE	P	RE	RE	RE	E	RE	RE	RE	RE	E
Distribución	RE	P	RE	RE	RE	H	RE	RE	RE	RE	E
Posición en la secuencia entre diferentes unidades	REC	R	EC	EC	EC	P	E	E	E	E	E
Ambientes de depósito	RE		E	E	E	R	E	E	E	E	E
4. GEOMORFOLOGIA											
Génesis de las formas del relieve	RE	RE	R	RE	R		R	RE	R		
Evolución de las formas del relieve	RE	RE	R	RE	R		R	RE	R		
Interrelación de las formas del relieve con otros accid.	REC	RE	REC	REC	REC	H	RE	RE	RE	RE	RE
Topografía	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE	RE
Carsticidad	RE	R	RE	RE	RE		P	RE	R		
5. HIDROLOGIA											
5.1 FLUJO DE AGUA SUPERFICIAL	P	P	R	RE	RECO	R	RE	RE	RE	R	RE
5.2 ACUIFEROS											
Niveles piezométricos	ECO	ECO	ECO	ECO	ECO		ECO	E O	ECO	E	ECO
Artesianismo y manantiales	RE	RE	RE	RE	RE		RE	RE	RE	R	RE
Composición del agua	E		EC	E	E		E	E	E	E	E
Temperatura del agua	E		EC	E	E		E	E	E	E	E
Flujo de agua subterránea	EC	E O	ECO	ECO	EC		EC	EC	ECO	E	ECO
6. GEODINAMICA EXTERNA											
Erosión e intemperismo	REO	RE	RECO	REC	RECO	RE	RECO	RECO	RECO	RE	OC
Transporte	RE	RE	RE	RE	RE	R	P	RE	RE	R	R
Acumulación		E O		E	E		RE	RE	RE		
Movimiento en masa del terreno	P	P	R	P	R	R	R	R	R	R	R
—Soliflucción	E			ECO	ECO	E	ECO	EC	EC	R	RECO
—Crep (flujo plástico)	E		EC	ECO	ECO	E	ECO	EC	EC	R	RECO
—Deslizamientos	E		EC	ECO	ECO	E	ECO	EC	EC	RE	RECO
—Avalanchas	E		EC	ECO	ECO	E	ECO	EC	EC	R	RECO
Perturbaciones cíclicas	R			ECO	ECO	R	ECO	EC	EC	R	R
7. GEODINAMICA INTERNA											
Volcanismo	H	R	RE	R	P	RE		R	RE	R	R
Sismicidad y focos sísmicos	R	R	R	R	P	RE		R	RE	R	R
Esfuerzos tectónicos	P	P	RE	R	P	RE		R	RE	R	R
Terreno expansivo o estruible	E		E	E	EC			RE	RE	RE	EC
Terreno explosivo			EC	EC	EC						
Presencia de gases o vapores y gradientes geotérmicos			EC	EC	EC						
8. MATERIALES DE CONSTRUCCION											
Agregados	P		R	R	R	R	R	R	R	R	RE
Enrocamientos	H										
Suelos finos	H										
Calidad de los materiales	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E
Volumen de los materiales	E		E	E	E	E	E	E	E	E	E
9. MODIFICACIONES DEL MEDIO NATURAL DEBIDAS A LA ACCION DEL HOMBRE	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO

(Manual de diseño de Obras Civiles, 1979)

Datos geológicos que deben obtenerse

- (A) en la selección del sitio y en el RECONOCIMIENTO preliminar
- (B) durante la EXPLORACION del sitio de construcción
- (C) en la etapa de CONSTRUCCION de la obra
- (D) durante la OPERACION de la obra

cas presentes en el sitio donde se construirá la obra civil,--
indicando en el caso de rocas: su mineralogía, característi--
cas texturales, estructuras, clasificación, grado de sanidad,
propiedades ingenieriles, espesor, distribución y origen de -
las diferentes unidades.

Suelos.- Origen, clasificación SUCS, espesor y sus propieda--
des ingenieriles (resistencia al corte, compresibilidad, poro
sidad, permeabilidad, etc.).

La clasificación de suelos y rocas se realiza primeramente en
el campo, de manera macroscópica, pero es necesario verificar
esta clasificación en el laboratorio ya que existen ciertos -
componentes que pueden observarse solo con microscopio y que
pueden ser importantes tanto en la clasificación de la roca -
como en su comportamiento durante la construcción. Ejem: Are-
nas cementadas con carbonatos.

Los datos sobre permeabilidad se obtienen mediante pruebas u
observaciones preferentemente de campo, efectuadas en suelos-
y rocas.

Es importante conocer además la estratigrafía. Según P. Termi
er la estratigrafía nos cuenta la historia de la tierra, de-
tal manera que es a veces de la mayor importancia decir el --
origen, espesor, distribución y posición en la secuencia, de-
las distintas unidades litológicas presentes. Cual ha sido la
evolución histórica del sitio.

Se debe mencionar el nombre de las unidades y formaciones ---
existentes y se dará su definición para facilitar la comunica
ción entre geólogos y geotecnistas.

En ciertas ocasiones será necesario determinar el ambiente en
el que se depositaron suelos o rocas ya que de esto depende--
rán cambios litológicos o texturales que pueden ser importan-
tes en la etapa de exploración.

Muchas veces, se divide a las unidades litológicas no en formaciones sino, en unidades geotécnicas esto es en base no solo a características litológicas, sino a propiedades mecánicas, in-temperismo, etc. Estas unidades son de carácter local.

3.2 Geología Estructural y Discontinuidades

Para una mejor comprensión del comportamiento de una obra civil en un sitio determinado, se necesita conocer las estructuras geológicas y discontinuidades de las rocas y/o suelos donde quedará asentada la estructura como son: pliegues, fallas, juntas o diaclasas, fracturas, foliación, estratificación, discordancias.

A continuación se hará una descripción de estas estructuras y discontinuidades haciendo énfasis en las características que deben tomarse en cuenta para un estudio geotécnico.

Pliegues: Es importante reconocer los diferentes tipos de pliegues en el campo, describiendo su orientación, rumbo, echado, dimensiones e intensidad. A veces los pliegues pueden influir en la elección del sitio para el emplazamiento de la cortina de una presa, de un túnel o una carretera.

De entre los diferentes tipos de pliegues, los sinclinales tienen mucha importancia en ingeniería, como consecuencia de su capacidad para acumular fluidos. Hay serios problemas de aguas subterráneas que pueden afectar la construcción y mantenimiento en servicio de túneles que cortan sinclinales en que existan estratos permeables. Si se pone de manifiesto un sinclinal de ese tipo, antes del período de proyecto, podría variarse la elevación del túnel planeando con objeto de situarlo en estratos más secos.

Fallas: Una falla es una estructura geológica donde existe rompimiento y desplazamiento apreciable de las rocas de la corteza terrestre. Tienen gran importancia y trascendencia y son -- susceptibles de ocasionar graves y lamentables problemas en ingeniería civil pudiendo determinar la exclusión de un emplazamiento por razones de seguridad, o condicionar la viabilidad de un proyecto por razones técnicas y/o económicas.

Estos accidentes tectónicos, o no, pueden ser de diferentes -- longitudes, pudiendo llegar a medir hasta centenas de kilóme-- tros; dependiendo de la edad, y desde luego si son o no acti-- vas, como se verá mas adelante, las fallas pueden generar te-- rremotos a lo largo de ellas, causando daño y destrucción de -- las estructuras construídas sobre ellas o en la vecindad, por la energía liberada. Estos fenómenos también pueden cambiar -- las propiedades geotécnicas del terreno, disminuyendo la resis-- tencia, modificando las condiciones de permeabilidad; poniendo en contacto formaciones litológicas distintas y activar en la -- mayoría de los casos la erosión diferencial. Una falla activa -- *"es aquella falla que se ha movido en el pasado geológico reciente y que puede moverse en el próximo futuro. Por pasado -- geológico reciente se entiende al Holoceno (últimos 10 000 años) y por próximo futuro a la vida de la estructura. La AIZA pro-- puso además el término de falla capaz semejante al de falla ac-- tiva definiéndola como aquella falla que ha presentado deforma-- ción tectónica en los últimos 500 000 años o cualquier otra fa-- lla en relación estructural con la primera, o con macrosismici-- dad asociada.

Sin embargo, aunque no se presentan todos estos problemas so-- bre todas las fallas, es de sumo interés para el desarrollo na-- cional, el bienestar de la sociedad y futuros asentamientos hu-- manos, conocer los problemas que pudiera ocasionar la presen-- cia de una falla con relación a las obras civiles.

* González de Vallejo, L (1978) Fallas activas y sus implica-- ciones en la Ingeniería.
III Congreso Geológico Peruano .
Lima, Perú.

Por lo tanto, el geólogo además de identificar en el campo una falla, deberá precisar las siguientes características que en ocasiones son difíciles o imposibles (a veces momentáneamente) de determinar. Entre estas características están;

- 1) La orientación
- 2) La distribución
- 3) La longitud
- 4) La orientación y magnitud del salto neto y en ocasiones sus componentes de desplazamiento.
- 5) Su clasificación (decir si es normal, inversa o de transcur-rencia).
- 6) La edad (sobre todo si se trata de fallas recientes, que -- pueden ser activas.)
- 7) Amplitud, presencia o no de relleno, tipo de pared, (lisa a labeada, rugosa, con estrías o relices).
- 8) La disposición y relación con otras estructuras.
- 9) El estado mecánico, es decir si se trata de fallas tensionales, compresionales o de cizalla.
- 10) La determinación de si es activa o inactiva.

- Fracturas- Es un término general para cualquier rotura en una roca, sea esto causa o no de desplazamiento, debido a esfuerzos de tensión. Las fracturas tienen una - abertura mayor que las fisuras.

Son una manifestación de la intensidad y dirección de - los movimientos neotectónicos. Su estudio se realiza -- cuantificando sus orientaciones (mediante la roseta de - fracturas) y desarrollo (densidad). En una zona de cizalla se presentarán en mayores cantidades. También es necesario determinar si tienen o no relleno y que características presenta éste.

- Juntas o diaclasas- Son fracturas en una roca, general- mente más o menos verticales o transversales a la estratificación, a lo largo de las cuales no ha ocurrido un-

movimiento apreciable. La superficie de fracturamiento es usualmente plana y siempre ocurren en grupos paralelos. Se estudian de la misma manera que las fracturas.

- Discordancias- Son accidentes estructurales que presentan ausencia de correspondencia o conformidad entre rocas o capas de roca, plegadas o no, horizontales, inclinadas o verticales de modo que presentan diversas inclinaciones. Las discordancias son evidencias de que han existido movimientos orogénicos o epirogénicos, períodos de erosión y posterior sedimentación. Se trata de discontinuidades que pueden corresponder a zonas de debilidad o permeabilidad y que por lo regular corresponden a cambios notables de litología.

- Estratificación- Es la disposición de las capas o estratos de un terreno, representada por un plano o superficie de discontinuidad. Este plano o superficie de discontinuidad puede ser abierto o solo ser definido por un cambio de coloración de la roca depositada.

3.3 Hidrogeología.

En la investigación geológica para fines de construcción de una obra civil o para fines geotécnicos, el estudio de la hidrogeología tiene una finalidad distinta a la comúnmente usada, pues en este caso no se trata de definir volumen de agua para el consumo o actividades humanas sino que por el contrario, en un estudio para los fines mencionados, es importante determinar la presencia e información del agua en las obras civiles por los múltiples problemas de carácter operativo, a que da lugar ocasionando retrasos en tiempo de ejecución e incrementos de presupuesto que pudieran no haber sido considerados inicialmente.

En términos generales, las obras de ingeniería civil pueden ser clasificadas: en obras construidas en la superficie del terreno y en obras subterráneas. En los dos casos a veces es necesario trabajar por debajo del nivel de aguas freáticas o en la zona de fluctuaciones del mismo; en ocasiones también se construyen obras en presencia de agua de infiltración, zona de aguas vadasas o en la zona de influencia de escurrimientos superficiales.

Las obras en que es particularmente importante el conocimiento del flujo o escurrimiento del agua superficial, son los puentes, presas y vías terrestres, debido a los problemas destructivos que ésta les puede ocasionar.

En el caso de estabilidad de taludes, cortes en vías terrestres, cimentaciones y obras subterráneas, se necesitará la información relativa a la presencia y comportamiento del agua subterránea, porque puede provocar, entre otras cosas, fenómenos de geodinámica, alteración y deformación de los materiales.

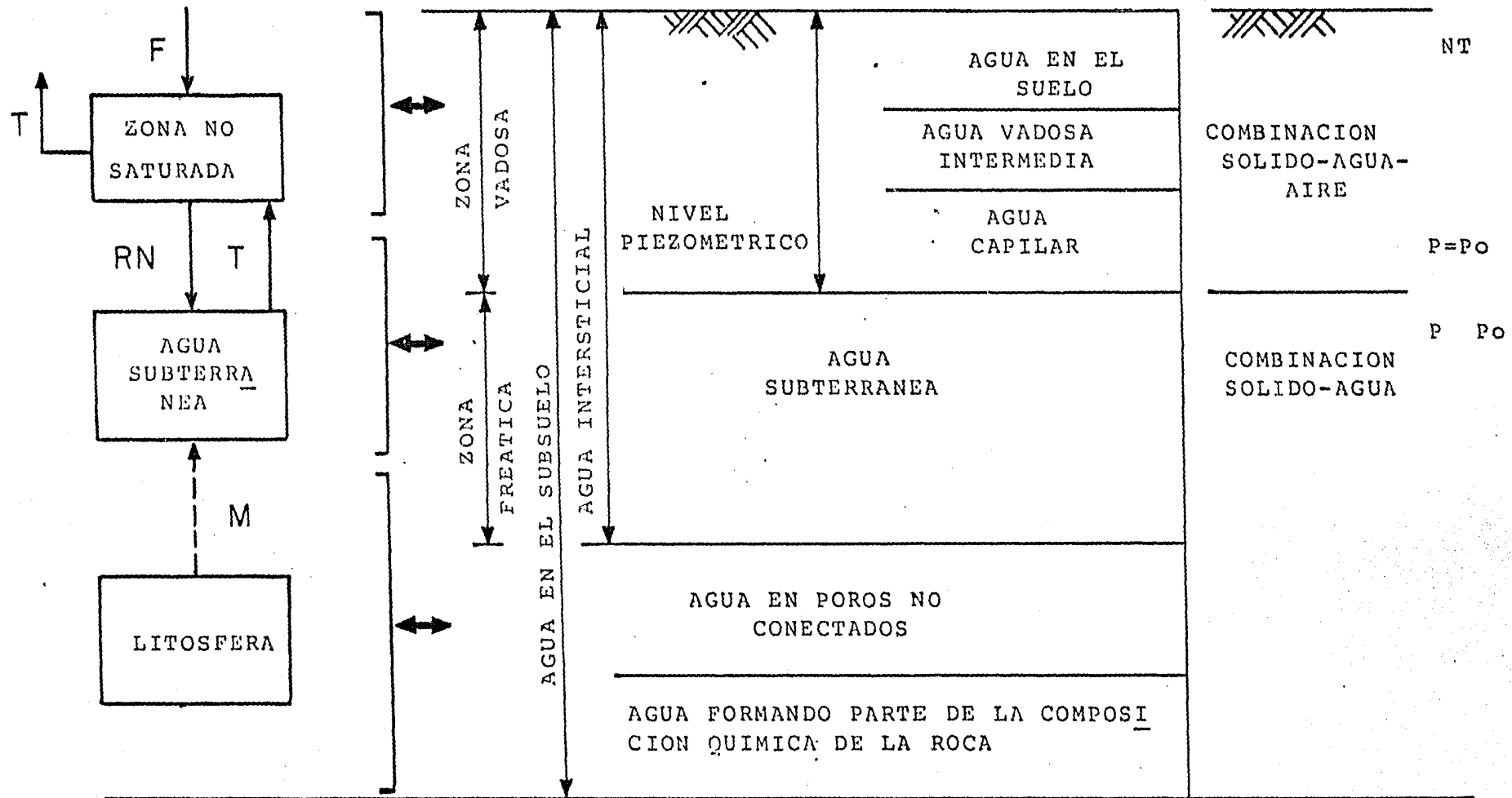
Sin duda la presencia de aguas subterráneas es uno de los factores que ocasionan serios problemas en una obra civil, sobre-

todo si es de acción permanente y se aporta un gran volumen de agua en función del tiempo. (Figura 3.2)

La información necesaria para conocer el comportamiento del agua en la obra y sus alrededores es:

- Manifestaciones de agua subterránea y superficial, las cuales se mantendrán en observación periódica para conocer sus variaciones en cantidad y calidad, así como las relaciones que tienen entre sí.
- Geología de detalle, dando prioridad a la litología, estratigrafía y estructura para definir los tipos de acuíferos existentes.
- Cuantificación y distribución de los parámetros de conductividad hidráulica, transmisividad y capacidad de almacenamiento de agua en las rocas.
- Definición de la geometría de los acuíferos.
- Relación cualitativa y cuantitativa del agua subterránea con otros elementos del ciclo hidrológico.
- Observaciones de datos climatológicos históricos y recientes.
- Medidas directas en forma periódica de niveles de agua en pozos, obras o piezómetros, que se construyen para tal fin; estas medidas tienen el objeto de conocer la distribución de presiones de agua en diferentes partes de la obra y la distribución de la carga hidráulica para la construcción de redes de flujo.
- Historia del comportamiento del agua en otras obras civiles y los problemas que se han presentado.

FIG. 3.2 DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL SUBSUELO



(Tomada del curso "La Geología en el Mecánica de Rocas", (1984), Div. de Educación Continua, Fac. de Ingeniería, UNAM).

Dentro del estudio geohidrológico es necesario llevar a cabo - exploraciones directas, realizar pruebas de permeabilidad (Lugeon y Lefranc), instalar piezómetros y construir pozos equipados para realizar las pruebas de hidráulica subterránea.

La información hidrogeológica se presenta en planos que muestran las características de permeabilidad de las unidades geológicas y la distribución de cargas hidráulicas en la zona de interés, así mismo en ocasiones es importante conocer la influencia climática e hidrológica, por lo que es necesario incluirlos en el plano geotécnico.

En términos generales los problemas que ocasiona la presencia de agua superficial y subterránea dentro de las obras civiles son:

- Disminuye la estabilidad de taludes, paredes, muros y techo, incrementando las fuerzas que tienden a provocar el deslizamiento y desprendimiento de materiales.
- Disminuye la velocidad de avance y seguridad en el tuneleo.
- Dificulta la barrenación.
- Disminuye el efecto de las voladuras.
- Aumenta el intemperismo químico de la roca provocando un cambio en sus características geomecánicas.
- Disminuye el efecto de soportes y anclajes.
- Dificulta e incluso imposibilita trabajar en algunas zonas de la obra, principalmente a profundidad, sobre todo si se trata de agua termal.

- Produce oxidación y corrosión del equipo de trabajo.
- Aumenta la humedad de la roca, aumentando su costo de transporte.
- Necesidad de desaguar y ¿dónde desaguar?
- Incrementa los costos de excavación.
- Se requiere de inversión en equipo de extracción y conexión de agua, que en general aumenta conforme avanza la obra.
- Presencia de aguas incrustantes que deterioren los equipos de extracción. (aguas selenitosas)

3.4 Geomorfología. **

La construcción de una obra de ingeniería civil requiere de un estudio previo del relieve de la región donde ésta se proyecta.

En el caso de una obra pequeña, el estudio será elemental, en el caso de una obra de grandes dimensiones, como una presa, un túnel, una carretera, etc. el estudio será más complejo.

Precisamente la geomorfología tiene por objeto de estudio, al relieve terrestre, considerándolo en función de su génesis, - de su morfología, de su edad y de la dinámica de los procesos actuales.

La orientación que se da a un estudio geomorfológico aplicado a la ingeniería depende de varios factores: el tipo de obra en proyecto; su posición tectónica regional, las estructuras geológicas locales, la escala y calidad de las cartas topográficas y las fotografías aéreas y los problemas que se consideren más importantes dentro de la obra.

Y es que además se sabe que existe una interrelación entre las formas del relieve con otro tipo de accidentes, como pueden -- ser la presencia de fallas y fracturas que influyen en el modelado de una región; por ejemplo: alineamiento de ríos o arroyos debido a la orientación de fallas o fracturas, escarpes -- producidos por fallas regionales, etc.

Aplicaciones del análisis del relieve:

- 1.- Conocimiento de los valores de pendiente, lo cual permite proyectar una obra y evaluar el trabajo de excavación. La pendiente es uno de los factores principales que controlan los procesos gravitacionales. Los derrumbes se originan en pendientes fuertes, de 25 a 40°; los corrimientos de tierras se producen en pendientes de 18 a 25°; los deslizamientos de bloques se favorecen con inclinaciones de 6 a -

**NOTA: Tomado del artículo "La Geomorfología y sus aplicaciones a la Ingeniería Civil" del Dr. José María...

18°; las corrientes de solifluación ("corrientes de suelos") se realizan en terrenos con pendientes de 3 a 8°; la acumulación se lleva a cabo en las zonas de menor pendiente, --- siendo un caso ideal donde esta no supera los 0.5°.

- 2.- Estudio del relieve en función del factor tectónico, indicando que tipo de factor endógeno lo ha originado, además de los tipos e intensidades de los movimientos tectónicos recientes, así como las formas del relieve resultantes. Esto es lo que conoce como estudio geomorfológico estructural, que tiene como objetivo principal explicar la relación que existe entre el relieve y la estructura geológica interna.

De una importancia fundamental resultan elementos tales como fisuras de las rocas (microrelieve) hasta las fracturas profundas de dimensiones subplanetarias.*

Las rupturas tienen relación con las corrientes de aguas superficiales y subterráneas, ya que son trabajadas en forma diferencial por los agentes niveladores.

No sólo tiene importancia el estudio de las rupturas con desplazamiento (fallas), activas o inactivas, sino el análisis de las fracturas de las rocas, que son una manifestación de la intensidad y dirección de los movimientos tectónicos más recientes. El estudio general de estos elementos se puede llevar a cabo cuantificando sus orientaciones y desarrollo (densidad), mediante la elaboración de rosetas de fracturas.

- 3.- Los datos relativos a la génesis del relieve influyen directamente en las construcciones. Por ejemplo un relieve Kárs-tico exige un estudio detallado que permita considerar las-infiltraciones de agua y los posibles asentamientos. En el-relieve fluvial, las terrazas primera y segunda son favora-

* El término subplanetaria se refiere a las discontinuidades de la corteza terrestre con dimensiones continentales.

bles para el trazo de carreteras. Otro tipo de consideraciones se deben hacer cuando la obra se proyecte en una zona -- donde predomina el relieve eólico, ya sea denudatorio (prevalece la remoción de materiales) o acumulativo.

Lo mismo se puede decir del relieve marino, en donde se reconocen dos tipos de formas bien definidas: abrasivas o destructivas y acumulativas.

- 4.- El análisis de la dinámica de los procesos geomorfológicos se refiere a las intensidades y direcciones de desarrollo de estos en la actualidad. Este factor es indudablemente de una gran importancia en la ingeniería civil, ya que permite inferir como puede ser afectada una obra en el futuro, o sea el pronóstico de la futura evolución de determinadas formas del relieve.

Algunas porciones de la superficie terrestre se transforman constantemente a la vista del hombre; por ejemplo los fenómenos de erosión y depósito en los barrancos, algunas líneas de costa, los meandros, los conos de deyección, etc., siendo necesario, -- cuantificar sus desplazamientos. Indudablemente, este factor dinámico, es uno de los principales aspectos a considerar en ciertos trabajos de ingeniería civil, como puede ser una vía terrestre, azolvamiento de un embalse u obras de protección de litoral.

- 5.- La edad del relieve se define como el tiempo transcurrido -- desde su formación y se representa por los símbolos utilizados comúnmente en Geología. Obviamente, existen casos en que hay coincidencias entre edades geológicas y geomorfológicas. La edad del relieve, unida a los demás factores antes mencionados, permite determinar la etapa de desarrollo en que se encuentra la región en estudio.

El relieve se presenta gráficamente en cartas geomorfológicas. Pero surge el problema de que elementos se deben considerar - en su representación, ya que resultaría imposible representar los todos: morfología, génesis, dinámica y edad.

Las limitaciones a la cartografía dependen también del objetivo del trabajo y de la escala utilizada.

Ya que no existe un modelo universal de cartas geomorfológicas aplicadas a la ingeniería civil, estas deben elaborarse - considerando el tipo de obra, las condiciones naturales del terreno y los problemas que se consideren de mayor importancia.

3.4.1 Geodinámica externa.

Es la actividad de los agentes modificadores del relieve que se desarrollan externamente en la corteza terrestre. Estos agentes pueden ser agua, lluvia, viento, cambios en la temperatura, nieve y acción de la gravedad.

A continuación se presentan una serie de ejemplos donde se puede apreciar la influencia de los fenómenos de geodinámica externa en la construcción de obras de ingeniería civil:

- En obras de toma, túneles de desfogue y vertedores puede presentarse el fenómeno de erosión regresiva o remontante, por acción del choque del flujo de agua.
- Al construir un bordo en un río, se cambia el gradiente de corriente, por lo que es posible que aguas arriba se incrementa la actividad erosiva del mismo, con el fin de recuperar su equilibrio original.

- En la construcción de un puerto la alteración de las corrientes puede provocar una mayor actividad erosiva en una parte del litoral y provocar azolvamiento en otra.

Uno de los fenómenos de geodinámica externa que más se debe tomar en cuenta es el movimiento en masa del terreno. Si este movimiento es rápido tenemos avalanchas y deslizamientos, si es lento tenemos reptación o "creep" y soliflucción.

El estudio de este fenómeno debe incluir tanto los vestigios de su existencia en épocas pasadas como la posibilidad de su ocurrencia futura debida a la modificación del medio realizada por el hombre.

3.4.2 Geodinámica interna.

Es la actividad de los agentes modificadores del relieve que se originan en la superficie terrestre y bajo ella. Como ejemplos tenemos los fenómenos de vulcanismo, los sismos, los suelos expansivos y las rocas explosivas.

Es necesario señalar la existencia de rocas o materiales que puedan presentar fenómenos de expansión debido a su avidez de agua; como ejemplo de estas rocas tenemos a las anhidritas y las rocas bentoníticas.

El fenómeno de rocas explosivas (popping rock) se produce cuando las rocas están o han estado sometidas a una "deformación elástica intensa debida posiblemente a la permanencia de presiones horizontales, dejadas por fenómenos de plegamientos tectónicos no disipados o debida a otras causas no definidas aún". (Juárez Badillo II, 1973).

En regiones afectadas por fenómenos intrusivos o volcánicos pueden presentarse gases tóxicos durante la construcción de obras subterráneas; el gradiente geotérmico en

estas regiones con frecuencia es más elevado que en aquellas donde no se presentan estos fenómenos.

4.- DESCRIPCION INGENIERIL Y CLASIFICACION GEOTECNICA DE SUELOS Y ROCAS.

A continuación se darán una serie de recomendaciones con el fin de definir y describir las características geotécnicas esenciales de los suelos y de las rocas, tomando en cuenta su mineralogía y textura, además de ciertas propiedades mecánicas, con el fin de que la clasificación que se obtenga sea -- más significativa para propósitos de ingeniería.

Estas recomendaciones se basan en la clasificación de Antoine y Fabre y en los trabajos realizados por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (Ref. 1) y la Sociedad Geológica de Londres, a través de su grupo de trabajo de ingeniería (Ref. 2).

La clasificación de los suelos toma en cuenta el criterio granulométrico, los límites de Atterberg y el SUCS.

La clasificación de las rocas se divide en tres partes: -- descripción del material rocoso, del maciso rocoso y núcleos de roca.

Estas descripciones se refieren exclusivamente a observaciones y pruebas sencillas efectuadas en campo, por esta razón la descripción de las masas rocosas y sus discontinuidades es necesariamente una operación subjetiva y no debe esperarse el mismo grado de estandarización que puede lograrse en un espécimen de roca al probarse en laboratorio.

- Ref.1: Internatinal Society for Rock Mechanics (1978), Suggested Method for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. Int. J. Rock Mechanics and Mining Sci. -- and Geomechanical Abstracts. Vol. 15, pp. 319-360.
- Ref.2: Geological Society of London (1979), The Logging of Rock Cores for Engineering Purposes. Quat. Jour. of. Engineering Geol. Vol. 3, pp. 1-24.

4.1 Clasificación geotécnica de los suelos.

Según Antoine y Fabre (págs. 33 a 39) la clasificación de los suelos es el complemento lógico de su identificación. El técnico espera en efecto, que la clasificación le permita por una parte un medio de denominación seguro, libre de la subjetividad de las descripciones geológicas, ya que descansa sobre un pequeño número de pruebas simples fácilmente reproducibles y por otra parte le permita preveer las principales propiedades mecánicas de los terrenos identificados.

Entendida de esta manera, la clasificación de los suelos se convierte en una herramienta de trabajo que si es reconocida y empleada por todos, (tanto geólogos como ingenieros), -- trae como consecuencia evidente una contribución decisiva, a la puesta en práctica de un lenguaje común.

Los medios naturales sin embargo se prestan mal, en razón de su complejidad a una sistemática demasiado rígida. Los factores susceptibles de variar son numerosos y la clasificación, si se quiere que sea clara y cómoda, no puede utilizar sino un número limitado de estos factores. Los criterios utilizados deberán ser tales que se aproxime a una universalidad que convenga al conjunto de los estudios y de los trabajos. Tal parece que la geología no se toma siempre en cuenta, pues su papel dentro del contexto, a menudo decisivo pasa desapreciado. Le toca pues al geólogo hacer lo necesario a fin de que la simplificación indispensable no tenga consecuencias no gratas.

Los criterios de clasificación generalmente utilizados son: el granulométrico y los límites de Atterberg.

Según el criterio granulométrico los granos que constituyen el "esqueleto" de los suelos forman un conjunto cuyos caracteres de forma, tamaño y arreglo son heredados de la historia geológica de la formación --

que los contiene. El estudio de estos caracteres permite reconstruir su proveniencia y las particularidades de su deposición; es ésto lo que es práctica corriente de la sedimentología, tan familiar a los geólogos.

En geotécnia la secuencia de estudio de los distintos caracteres puede resultar muy útil, sin embargo y para simplificar se toma únicamente el parámetro más fácil de medir o determinar: la granulometría.

Son clásicas las técnicas de medida de la granulometría por tamizado y sedimentometría. El tamizado puede efectuarse en seco o en agua y concierne a las partículas cuyo diámetro es superior a la malla más pequeña (40 a 80 micras); para los sue los más finos se recurre a la sedimentometría, técnica que utiliza la relación física que existe entre el diámetro equiva lente de los granos y su velocidad de sedimentación en un líquido (ley de Stokes).

En el caso de utilizar los tamices se determina de una cantidad X, la parte que pasa el tamiz o malla respectivo y la que es retenida y de esta manera, en un sistema coordinado, se construye una curva granulométrica que resulta de anotar en el eje de las abscisas y con escala logarítmica el diámetro de la partícula y en el de las ordenadas el por ciento acumula do del material tamizado.

Se denomina material bien clasificado o bien graduado, a aquél en el cual todas las dimensiones de los granos están igualmente representados mientras que un material mal clasificado o mal graduado es aquel en el cual predominan uno o varios diámetros.

Las características de la granulometría pueden expresarse numéricamente por coeficientes tomados de valores leídos sobre la curva. Los más utilizados son: El coeficiente de uniformidad que es igual a la relación entre los diámetros que corres

ponden respectivamente a los tamizados del 10% y de 60% -----

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

El coeficiente de curvatura que traduce la forma más o menos-regular de la curva, vale: $C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \times d_{60}}$; para un suelo bien

clasificado se traduce: $C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$

Tomando en cuenta solamente a la granulometría se puede establecer una clasificación de suelos.

Existe una clasificación decimal debida a Atterberg (1905) utilizada particularmente en Francia expresada en la forma siguiente:

Enrocamiento	> 200	mm
Cantos	200- 20	mm
Gravas	20- 2	mm
Arenas gruesas	2- .2	mm
Limos	20- 2 μ	
Arcillas	< 2 μ	

Este tipo de clasificación es aceptable o suficiente para suelos gruesos. Pero a partir de que un suelo tiene una cierta proporción de material fino (limo y arcillas) sus propiedades dependen de la composición química y mineralógica de la parte fina.

Límites de Atterberg.

Son aquellos de conocimiento universal relativos a propiedades índices de los suelos que corresponden a cuatro diferentes estados y que toman en cuenta el contenido de agua para pasar de un estado a otro.

De esta manera se tienen:

Estado sólido sin contracción

Estado sólido con contracción

Estado plástico y

Estado líquido

El límite de contracción (L_c) corresponde al contenido de agua alcanzando en el momento del secado de una muestra, cuando el espesor de la película de agua es tal que los granos sólidos y el agua líquida pueden estar en contacto, lo que impide cualquier contracción ulterior.

El límite plástico (L_p) corresponde al contenido de agua suficiente que permite una cierta libertad de desplazamiento relativo de las partículas pero demasiado débil para alejarlas al punto de reducir fuertemente las fuerzas de liga entre ellas.

Límite líquido (L_l) corresponde al contenido de agua que permite una separación de las partículas.

*En la Tabla 4. A se resume el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

4.2 Descripción del Material Rocoso:

Los parámetros que pueden ser utilizados para describir el material rocoso son:

- Tipo de roca.- Indicando la clasificación geológica de la -

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS)

INCLUYENDO IDENTIFICACION Y DESCRIPCION

TABLA 4.A

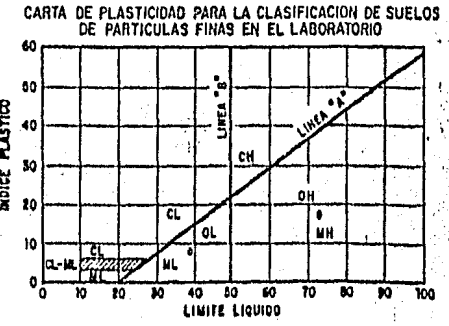
TIPO	PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO (Se excluyen las partículas mayores de 7.6 cm (3 pulg) y se basan las fracciones en pesos estimados)	SIMBOLOS DEL GRUPO (*)	NOMBRES TÍPICOS	INFORMACION NECESARIA PARA LA DESCRIPCION DE LOS SUELOS	CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO	PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACION PARA SUELOS FINOS O FRACCIONES FINAS DE SUELO EN EL CAMPO			
GRANDES LIMPIAS (Pocas partículas finas e intermedias)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con pocas finas o ninguna	Dese el nombre típico, indiquense los porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo, angulosidad, características de la superficie y dureza de las partículas gruesas; nombre local y geológico; cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis. Para los suelos inalterados, agréguense información sobre estratificación, compactación, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje. EJEMPLO: Arena lítica con grava; con 20% de grava de partículas duras angulosas y de 1.5 cm de tamaño máximo; arena gruesa a fina de partículas redondeadas a subangulosas; alrededor de 15% de finas no plásticas de baja resistencia en estado seco; compacta y húmeda en el lugar; arena aluvial (SM)	<p style="text-align: center;">Determine los porcentajes de grava y arena de la curva granulométrica, dependiendo del porcentaje de finos (fracción que pasa la malla No. 200), los suelos gruesos se clasifican como sigue:</p> <p style="text-align: center;">Menos de 5% : GW, GP, SW, SP, Más de 12% : GM, GC, SM, SC, 5 a 12% : Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles</p>	Estos procedimientos se ejecutan con la fracción que pasa la malla No. 40 (aproximadamente 0.5 mm). Para fines de clasificación en el campo, si no se usa la malla se quitan a mano las partículas gruesas que interfieren con las pruebas.			
	Predominio de un tamaño o intervalo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con pocas finas o ninguna			MOVILIDAD DEL AGUA (Reacción al agitado)			
	Fracción fina poca o nada plástica (Para identificarla véase grupo ML)	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo			<p style="text-align: center;">Límites de plasticidad abajo de la línea A o I_p menor de 4</p> <p style="text-align: center;">Límites de plasticidad arriba de la línea A con I_p mayor de 7</p>	<p style="text-align: center;">Arriba de la línea A con I_p entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles</p>		
	Fracción fina plástica (Para identificarla véase grupo CL)	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla						
	GRANDES CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	SW			Arenas bien graduadas, arenas con grava, con pocas finas o ninguna	<p style="text-align: center;">Determine los porcentajes de grava y arena de la curva granulométrica, dependiendo del porcentaje de finos (fracción que pasa la malla No. 200), los suelos gruesos se clasifican como sigue:</p> <p style="text-align: center;">Menos de 5% : GW, GP, SW, SP, Más de 12% : GM, GC, SM, SC, 5 a 12% : Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles</p>	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$, mayor de 4; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$, entre 1 y 3	<p>Después de quitar las partículas mayores que la malla No. 40, prepárese una pastilla de suelo húmedo igual a 15 cm³ aproximadamente; si es necesario, añádase suficiente agua para obtener un suelo suave pero no pegajoso.</p> <p>Colóquese la pastilla en la palma de la mano y agítela horizontalmente, golpeando vigorosamente contra la otra mano varias veces. Una reacción positiva consiste en la aparición de agua en la superficie de la pastilla, la cual cambia adquiriendo una consistencia de higado y se vuelve lustroso. Cuando la pastilla se aprieta entre los dedos, el agua y el lustre desaparecen de la superficie, la pastilla se vuelve tiesa y, finalmente, se agrieta o se desmorona. La rapidez de la aparición del agua, durante el agitado, y de su desaparición durante el apretado, sirve para identificar el carácter de los finos en un suelo.</p> <p>Los arenos limpios muy finos dan la reacción más rápida y distintiva, mientras que las arcillas plásticas no tienen reacción. Los limos inorgánicos, tales como el típico polvo de roca, dan una reacción rápida moderada.</p>
		Predominio de un tamaño o intervalo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP			Arenas mal graduadas, arenas con grava, con pocas finas o ninguna		$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$, mayor de 6; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$, entre 1 y 3	
Fracción fina poca o nada plástica (Para identificarla véase grupo ML)		SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	<p style="text-align: center;">Límites de plasticidad abajo de la línea A o I_p menor de 4</p> <p style="text-align: center;">Límites de plasticidad arriba de la línea A con I_p mayor de 7</p>	<p style="text-align: center;">Arriba de la línea A con I_p entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles</p>				
Fracción fina plástica (Para identificarla véase grupo CL)		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla						
PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACION EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA No. 40									
		RESISTENCIA EN ESTADO SECO (Características al rampamiento)	MOVILIDAD DEL AGUA (Reacción al agitado)	TENACIDAD (Consistencia cerca del límite plástico)					
SUELOS DE BAJA RESISTENCIA (Mayor de 50)	Nula o ligera	Rápida a lenta	Nula	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos	<p>Después de eliminar las partículas mayores que la malla No. 40 molétese un espécimen de aproximadamente 15 cm³ hasta alcanzar la consistencia de masa. Si el suelo está muy seco, debe agregarse agua, pero si está pegajoso, debe extenderse el espécimen formando una copa delgada que permita la pérdida de humedad por evaporación. Posteriormente el espécimen se rueda con la mano sobre una superficie lisa, o entre las palmas hasta hacer un rollo de 3mm de diámetro aproximadamente, se amasa y se vuelve a rodar varias veces. Durante estas operaciones, el contenido de humedad se reduce gradualmente y el espécimen llega a ponerse tieso, pierde finalmente su plasticidad y se desmorona cuando se alcanza el límite plástico. Después de que el rollo se ha desmoronado los pedruzcos deben juntarse continuando el amasado entre los dedos hasta que la masa se desmorone nuevamente.</p> <p>La preponderancia de la fracción coloidal arcillosa de un suelo se identifica por la mayor o menor tenacidad del rollo al acercarse al límite plástico, por la rigidez de la muestra al romperse, finalmente entre los dedos. La debilidad del rollo en el límite plástico y la pérdida rápida de la coherencia de la muestra al rebasar este límite indican la presencia de arcillas inorgánicas de baja plasticidad o de materiales tales como arcilla del tipo coquina y arcillas orgánicas que caen abajo de la línea A. Las arcillas altamente orgánicas dan una sensación de debilidad y son esponjosas al tacto en el límite plástico.</p>			
	Medio o alta	Nula a muy lenta	Medio	CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres				
	Ligera a medio	Lenta	Ligero	DL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad				
	Ligera a medio	Lenta a nula	Ligera a medio	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos aldisicos				
	Alta a muy alta	Nula	Alta	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas				
	Medio a alta	Nula a muy lenta	Ligera a medio	OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de plasticidad media				
PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACION EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA No. 200									
	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (Características al rampamiento)	MOVILIDAD DEL AGUA (Reacción al agitado)	TENACIDAD (Consistencia cerca del límite plástico)						
SUELOS DE ALTA RESISTENCIA (Menor de 50)	Nula o ligera	Rápida a lenta	Nula	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos	<p>Después de eliminar las partículas mayores que la malla No. 40 molétese un espécimen de aproximadamente 15 cm³ hasta alcanzar la consistencia de masa. Si el suelo está muy seco, debe agregarse agua, pero si está pegajoso, debe extenderse el espécimen formando una copa delgada que permita la pérdida de humedad por evaporación. Posteriormente el espécimen se rueda con la mano sobre una superficie lisa, o entre las palmas hasta hacer un rollo de 3mm de diámetro aproximadamente, se amasa y se vuelve a rodar varias veces. Durante estas operaciones, el contenido de humedad se reduce gradualmente y el espécimen llega a ponerse tieso, pierde finalmente su plasticidad y se desmorona cuando se alcanza el límite plástico. Después de que el rollo se ha desmoronado los pedruzcos deben juntarse continuando el amasado entre los dedos hasta que la masa se desmorone nuevamente.</p> <p>La preponderancia de la fracción coloidal arcillosa de un suelo se identifica por la mayor o menor tenacidad del rollo al acercarse al límite plástico, por la rigidez de la muestra al romperse, finalmente entre los dedos. La debilidad del rollo en el límite plástico y la pérdida rápida de la coherencia de la muestra al rebasar este límite indican la presencia de arcillas inorgánicas de baja plasticidad o de materiales tales como arcilla del tipo coquina y arcillas orgánicas que caen abajo de la línea A. Las arcillas altamente orgánicas dan una sensación de debilidad y son esponjosas al tacto en el límite plástico.</p>			
	Medio o alta	Nula a muy lenta	Medio	CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres				
	Ligera a medio	Lenta	Ligero	DL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad				
	Ligera a medio	Lenta a nula	Ligera a medio	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos aldisicos				
	Alta a muy alta	Nula	Alta	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas				
	Medio a alta	Nula a muy lenta	Ligera a medio	OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de plasticidad media				
PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACION EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA No. 200									
	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (Características al rampamiento)	MOVILIDAD DEL AGUA (Reacción al agitado)	TENACIDAD (Consistencia cerca del límite plástico)						
SUELOS DE ALTA RESISTENCIA (Menor de 50)	Nula o ligera	Rápida a lenta	Nula	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos	<p>Después de eliminar las partículas mayores que la malla No. 40 molétese un espécimen de aproximadamente 15 cm³ hasta alcanzar la consistencia de masa. Si el suelo está muy seco, debe agregarse agua, pero si está pegajoso, debe extenderse el espécimen formando una copa delgada que permita la pérdida de humedad por evaporación. Posteriormente el espécimen se rueda con la mano sobre una superficie lisa, o entre las palmas hasta hacer un rollo de 3mm de diámetro aproximadamente, se amasa y se vuelve a rodar varias veces. Durante estas operaciones, el contenido de humedad se reduce gradualmente y el espécimen llega a ponerse tieso, pierde finalmente su plasticidad y se desmorona cuando se alcanza el límite plástico. Después de que el rollo se ha desmoronado los pedruzcos deben juntarse continuando el amasado entre los dedos hasta que la masa se desmorone nuevamente.</p> <p>La preponderancia de la fracción coloidal arcillosa de un suelo se identifica por la mayor o menor tenacidad del rollo al acercarse al límite plástico, por la rigidez de la muestra al romperse, finalmente entre los dedos. La debilidad del rollo en el límite plástico y la pérdida rápida de la coherencia de la muestra al rebasar este límite indican la presencia de arcillas inorgánicas de baja plasticidad o de materiales tales como arcilla del tipo coquina y arcillas orgánicas que caen abajo de la línea A. Las arcillas altamente orgánicas dan una sensación de debilidad y son esponjosas al tacto en el límite plástico.</p>			
	Medio o alta	Nula a muy lenta	Medio	CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres				
	Ligera a medio	Lenta	Ligero	DL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad				
	Ligera a medio	Lenta a nula	Ligera a medio	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos aldisicos				
	Alta a muy alta	Nula	Alta	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas				
	Medio a alta	Nula a muy lenta	Ligera a medio	OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de plasticidad media				

Usese la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo en el campo

Determine los porcentajes de grava y arena de la curva granulométrica, dependiendo del porcentaje de finos (fracción que pasa la malla No. 200), los suelos gruesos se clasifican como sigue:

Menos de 5% : GW, GP, SW, SP,
Más de 12% : GM, GC, SM, SC,
5 a 12% : Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles

EQUIVALENCIA DE SIMBOLOS
G-Grava M-Limo O-Suelos orgánicos W-Bien graduada L-Baja compresibilidad
S-Arena C-Arcilla PI-Turba P-Mal graduada H-Alta compresibilidad



Comparando suelos a igual límite líquido, la tenacidad y la resistencia en estado seco aumentan con el índice plástico

* de frontera - Los suelos que posean las características de dos grupos se designan combinando dos símbolos, por ejemplo: GW-GC; mezcla de grava y arena bien graduada con cementante arcilloso.
requis de los mapas son los U.S. Standard

roca en función de su origen ya que es posible hacer ciertas generalizaciones acerca de la textura, estructura y algunas propiedades mecánicas de la roca. Se recomienda utilizar una clasificación sencilla como la que se da en la Tabla 4.1.

- Color.- Es un índice cualitativo de escasa utilidad que consiste en tres componentes: matiz, tono y valor. La tabla 4.2 da los términos usados:

TABLA 4.2
COLORES Y TONOS

MATIZ	TONOS	VALOR
GRIS	GRISACEO	CLARO
CAFE		OBSCURO
AMARILLO	AMARILLENTO	
ROJO	ROJIZO	
NEGRO	NEGRUSCO	
VERDE	VERDOSO	
BLANCO	BLANCUSCO	
ANARANJADO	ANARANJADO	

- Intemperismo.- Es el resultado de los procesos mecánicos, orgánicos y químicos en la superficie de la tierra o cercana a ella, cuando los minerales originales (primarios) se descomponen y otros minerales (secundarios) se forman modificando su color, textura, composición, dureza o forma y disminuyendo generalmente las propiedades mecánicas de la roca intacta.

El intemperismo generalmente se presenta cerca de la superficie, pero puede extenderse a grandes profundidades como en las rocas muy fracturadas que permiten el fácil acceso del oxígeno atmosférico y la circulación de aguas superficiales; normalmente se presentan varios estados de intemperismo, de--

creciendo en intensidad a mayor profundidad generalmente, aunque no siempre.

La Tabla 4.3 define un esquema de clasificación propuesto por Fooks (1972) de acuerdo con el grado de intemperismo que presenta la roca.

- Estructura.- Se refiere a las características a gran escala que afectan a las rocas, las cuales están en función del origen de la roca: a continuación se dan ejemplos de estructuras de acuerdo al tipo de roca:

Rocas volcánicas.- derrames lávicos, estructura fluidal, vesículas, amígdalas, etc.

Rocas intrusivas.- batolitos, stocks, diques, mantos, lopolitos, etc.

Rocas sedimentarias.- Estratificación: cruzada, ondulada, graduada, masiva o laminar, fisilidad, nodulos, arrecifal, etc.

Rocas metamórfica.- Foliación, esquistosidad, bandeada, granoblástica, etc.

En la tabla 4.1 se muestran las estructuras características de los diversos tipos de rocas.

- Textura.- Se refiere al arreglo y disposición que existe entre los granos o minerales individuales, con respecto a su tamaño, forma y grado de cristalización. La textura es una propiedad compleja que depende principalmente del origen de la roca y de las características de los granos. Es importante conocerla ya que se relaciona íntimamente con propiedades índice y mecánicas como la porosidad, permeabilidad y resistencia de las rocas.

TABLA 4.1 CLASIFICACION DE ROCAS (CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES)

TIPO DE ROCA	ROCA	COMPOSICION	TEXTURA	ESTRUCTURA	TONALIDAD	Densidad	POROSI DAD	RESISTENCIA COMPRESION	RESISTEN CIA A LX	RESISTEN CIA AL CORTE	INFORMACION COMPLEMENTARIA
VOLCANICA O EXTRUSIVAS	Riolita	1.2.4 (1) SiO ₂ (cuarzo)	Afanítica o porfirítica	A veces fluidal	Clara	2.4-2.6	4-5	1550-3000	150-500		Las rocas volcánicas incluyen además piroclásticas y no piroclásticas como ceniza (no cementada), lapilli - brecha, aglomerado, ignimbrita, obólidiana su composición es variable y depende del magma que le da origen. Su textura puede ser granular, granoblastica o vítreo. Llegan a observarse estratificadas e incluyen también estructuras anticlinales o sinclinales.
	Daicita	1.3.2 (2) KAlSi ₃ O ₈ (ortoclasa)	Afanítica a porfirítica	Derrames lávicos	Clara						
	Traquita	2.5 (3) CaAl ₂ O ₃ -NaAlSi ₃ O ₈ (plagioclasas)	Afanítica a porfirítica	Derrames lávicos gruesos y cortos	Clara	2.2-2.3	10-15				
	Andesita	3.5 (3) CaAl ₂ O ₃ -NaAlSi ₃ O ₈ (plagioclasas)	Afanítica a porfirítica	Derrames lávicos gruesos y cortos	Grisácea	2.2-2.3	10-15				
	Basalto	6.7.3	Afanítica	Vesicular, anguloidal en coladas	Oscura	2.8-2.9	0.1-1.0	1500-3000	100-300	200-600	
PLUTONICAS O INTRUSIVAS	Granito	1.2.4 (4) Silicatos ferro - magnesianos	Fanerítica	Grandes cuerpos intrusivos (batolitos)	Clara a moteada	2.6-2.9	0.5-1.5	1000-250	70-250	140-500	Rocas plutónicas de textura fanerítica que tiene un desarrollo cristalográfico muy importante cson dentro del grupo de las pegmatitas y llegan a constituir desde cuerpos tabulares hasta grandes intrusivos. Ocasionalmente presentan minerales de mena como berilo, micas, cristal de cuarzo, etc.
	Granodiorita	1.3.5 (5) Micas (biotita y muscovita)	Fanerítica	Cuerpos intrusivos pequeños	Moteada						
	Sienita	2.5 (5) Micas (biotita y muscovita)	Fanerítica	Cuerpos intrusivos pequeños	Clara						
	Ulorita	3.5 (6) Anfíboles y piroxenas	Fanerítica	Cuerpos intrusivos	Grís a oscura						
	Diábase	6.7.3 (7) Olivino	Afanítica ó diabásica	Diques y mantos	Oscura	2.7-3.05	0.1-0.5	1000-350	150-350	250-600	
	Gabro	6.7.3 (7) Olivino	Fanerítica	Cuerpos intrusivos	Oscura	2.8-3.1	0.1-0.2	1500-300	150-300		
CLASTICAS O MECANICAS	Conglomerado	Más del 25% de fragmentos de roca arredondados 2 cm de diámetro.	Rudices. Fragmentos 2 cm de diámetro.	Estratificación gruesa cuerpos lenticulares y relleno de cauces	Variable						Otras rocas de textura rudicea o granular, son las brechas de talud y lomas, que llegan a constituir cuerpos o depósitos de extensión considerable. Existen además depósitos glaciares, fluvio-glaciares y lahares.
	Arenisca	Cuarzo, feldespato, fragmentos de roca, micas, calcita, minerales arcillosos, minerales pesados, siderita, dolomita y colofano	Arenicea. Fragmentos de 1/16 a 2 mm de diámetro	Estratificación cruzada Ondulada, graduada, masiva y laminar	Clara	2.0-2.6	5-25	200-1700	40-250	80-400	
	Limolita	Materiales arcillosos, micas arcillosas, clorita e hidróxidos de hierro.	Limosos fragmentos de 1/16 a 1/256 de diámetro	Estratificación delgada Laminación característica, fisil, concreciones bolosas de lodo	Clara Gris a oscura	2.0-2.4	10-30	50-1000	20-100	30-300	
NO CLASTICAS O ORGANICAS Y QUIMICAS	Caliza	Minerales carbonatados (calcita, dolomita, etc.) con trazas de silicatos, feldspatos y minerales arcillosos.	masiva, de grano fino, cristalina, porosa ooolítica	masiva, estratificada, nodular	Clara a oscura	2.2-2.	5-20	300-2500	50-250	100-500	Rocas de origen químico de textura cristalina como la geyscrita y cuerpos vetiformes de calcita, son originados por procesos hidrotermales, pudiendo corresponder a depósitos de manantiales. Otros cuerpos que sólo en determinado lugar llegan a ser de importancia relevante son las esalas de potasio y el azufre que junto con la halita (NaCl) tienen una elevada solubilidad (su presencia en algunos casos corresponde a domos salinos).
	Marga	Calcita y minerales arcillosos	Cristalina, de grano fino	Estratificación delgada y laminar	Grisácea						
	Creta	CaCO ₃ (foraminíferos)	Granular cristalina	Estratificada	Blanca						
	Órganicas	CaCo (calcita)	Cristalina porosa	Reticular	Clara						
	Travertino	CaCO ₃ (calcita)	Cristalina	Capas, estalactitas, gotas, vetas, estalagmitas	Clara						
	Coquina	Fósiles de calcita	Bioclastada	Arrecifal	Clara						
	Dolomita	Ca(Mg,Fe)(CO ₃) ₂	Cristalina y sacaroidal	Estratificada, vetas y masas irregulares	Clara	2.5-2.6	1-5	3000-2500	150-250		
	Sal	NaCl (halita)	Cristalina	Lenticular, estratificada y en vetas	Blanca						
	Yeso	CaSO ₄ 2H ₂ O	Cristalina	Vetas y lentes paralelos o cruzando los estratos	Blanca						
	Anhidrita	CaSO ₄	Cristalina	Lenticular, en vetas o estratificadas	Blanca						
Caliche	CaCO ₃	Granular	Estratificada modular, bandeada	Clara a grisácea							
	Federal	SiO ₂ (cuarzo, opalo y calcedonia)	Microcristalina	Estratificada, nojular o en salclicna	Clara a oscura	2.5-2.7					
	Fosforita	P ₂ O ₅ (apatita)	Criptocristalina	masiva, estratificada u nodular	parda						
	Carbón	C.H.O.N.S.	Criptocristalina	masiva, estratificada u nodular	Negra			50-500	20-50		
FOLIADAS O METAMORFICAS	Pizarra	Cuarzo, micas, clorita	Foliación perfecta, crucero pizarroso	Foliado	Grís a oscura	2.6-2.7	0.1-0.5	1000-2000	70-200	150-300	
	Filita	Cuarzo, micas, clorita, sericita y otros	Intermedia entre pizarrosa y esquistosa	Foliada	Parda a grisácea						
	Esquisto	Micas, piroxenos, clorita, cuarzo, calcita, feldspatos	Esquistosa	Foliada	Grís a oscura						
	Gneiss	Cuarzo, feldspatos, mica, hornblenda, granate	Bandeada (gneissica)	Foliada	Monteada	2.0-3.0	0.5-1.5	500-2000	50-200		
NO FOLIADAS O METAMORFICAS	Morfels	Mica, piroxenos, clorita, cuarzo, feldspatos y carbonatos	Afanítica, hornblésica	No foliada	Clara a oscura						
	Cuarcita	Cuarzo, granate, mica, silicatos	Granoblástica	No foliada	Clara	2.6-2.7	0.1-0.5	1500-3000	100-300	200-600	
	Márcol y Skarn	Calcita, dolomita, diópsida, y silicatos de calcio y olivino	Granoblástica	No foliada	Clara a oscura	2.6-2.7	0.5-2.0	1000-2500	70-200		

(tomada del curso "La Geología en la Mecánica de Rocas" (1984), División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, UNAM)

TABLA 4.3
 CLASIFICACION PARA GRADO DE INTEMPERISMO
 EN LA ROCA

GRADO	GRADO DE DESCOMPOSICION	RECONOCIMIENTO DE CAMPO	
		SUELOS (Rocas Suaves)	ROCAS (Rocas Duras)
I	ROCA FRESCA	-El suelo original no muestra decoloración u otros efectos debido a intemperismo	-La roca original no muestra decoloración o disminución de resistencia u otros efectos debido a intemperismo.
II	LIGERAMENTE INTEMPERIZADO	-El material esta compuesto de fragmentos angulares de suelo fresco, el cual puede o no estar descolorido. -Algunos materiales alterados comienzan a penetrar hacia dentro de las discontinuidades separando los bloques.	-La roca puede estar ligeramente decolorada particularmente junto a las discontinuidades. -Las discontinuidades pueden estar abiertas y tener superficies ligeramente decoloradas.
III	MODERADAMENTE INTEMPERIZADA	-El suelo esta compuesto de largos relictos del suelo original separados por materiales alterados. -El intemperismo penetra por medio de las superficies de las discontinuidades.	-La roca está descolorida. -Las discontinuidades pueden estar abiertas y las superficies estaran descoloridas por la alteración y la estructura original de la roca cerca de la discontinuidad esta alterada penetrando hacia adentro. -La roca intacta esta notablemente más débil, que la roca fresca. -El macizo rocoso no es friable.
IV	ALTAMENTE INTEMPERIZADO	-El suelo esta muy alterado con algunos fragmentos del suelo original. -Poco o nada de la traza de la estructura original.	-La roca esta descolorida. -Las discontinuidades pueden estar abiertas y tener descoloradas las superficies. -La estructura original de la roca se encuentra alterada cerca de las discontinuidades. -El intemperismo penetra profundamente hacia abajo, pero los núcleos de la roca estan todavía presente. -El macizo de roca esta parcialmente friable.
V	COMPLETAMENTE	-El suelo está descolorido y alterado, sin ningún indicio de su estructura original.	-La roca esta descolorida. -Esta totalmente descompuesta y deleznable pero su estructura original esta preservada. -Las propiedades de la roca dependen en parte de la naturaleza de la roca original.
VI	SUELO	-El suelo original esta totalmente cambiado a uno con nueva estructura y composición. Y esta en armonía con las condiciones del terreno superficial existente.	-La roca esta descolorida y completamente cambiada a un suelo, en la cual la estructura original esta totalmente destruida. -Hay un gran cambio de volumen.

(Tomada de Fookes, 1972)

Para propósitos ingenieriles se puede describir la textura -- con los siguientes términos, según el tipo de roca (ver tabla 4.1).

a) Rocas Igneas.- Afanítica (Cuando los minerales no pueden determinarse u observarse a simple vista o con ayuda de lente de mano.

Fanerítica (los cristales si son observables a simple vista o con la ayuda de una lupa).

Porfirítica (se observan a simple vista fenocristales, en una matriz afanítica.

b) Rocas Sedimentarias.- Clásticas (Agregados de granos o minerales de carácter fragmentario claramente visible. Los agregados tienen una amplia gama de tamaños de partículas).

No clásticas (conjunto de cristales entrelazados de origen químico u orgánico, en donde los agregados pueden o no estar visibles a simple vista. Las texturas más comunes de estas rocas son: macrocristalina (granos mayores de 0.75 mm), mesocristalina (0,20-0.75 mm), microcristalina (solo visibles con microscopio 0,01-0.20 mm), y criptocristalina o amorfa (menor de 0,01 mm).

c) Rocas Metamórficas.- Foliada (minerales visibles orientados en franjas paralelas de granos planos o alargados, se describe en función del espesor de la foliación.)

No foliada (de textura densa, los cristales no se distinguen a simple vista y no muestran una dirección preferencial).

Las figuras 4.4, 4.5, 4.6 se presentan para describir los componentes generales de las texturas de los tres tipos de rocas

como son forma, redondez y porcentaje de granos o minerales.

La tabla 4.7 muestra una clasificación sencilla que puede usarse con fines ingenieriles, para la definición de tamaño de grano.

- Cementación.- Es de gran importancia la determinación del tipo y grado de cementación que presentan las rocas, principalmente las rocas clásticas sedimentarias y las rocas ígneas piroclásticas ya que estas características se relacionan ampliamente con la porosidad, permeabilidad y con la estabilidad de los macizos rocosos.

Los tipos más comunes de minerales cementantes son:

- Calcita
- Dolomita
- Sílice
- Siderita

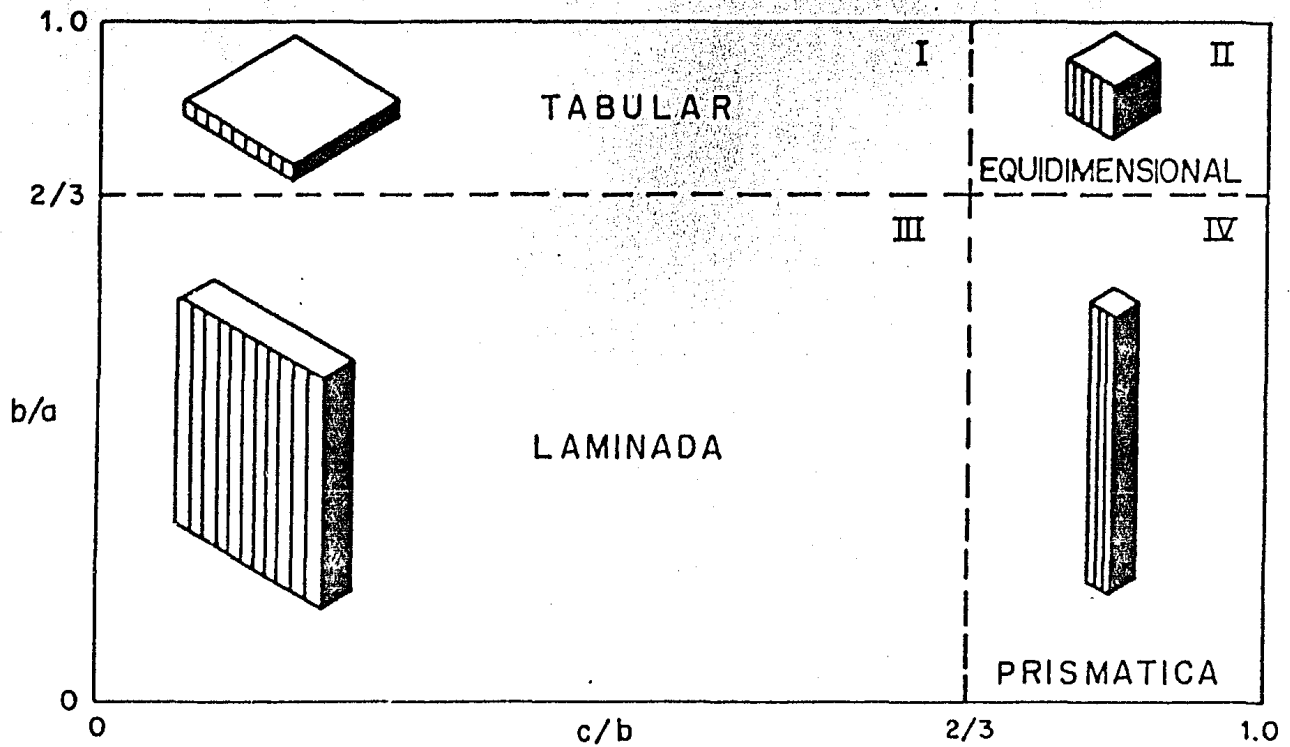
El grado de cementación puede describirse en términos cualitativos como:

- Muy Bien cementado
- Bien cementado
- Pobremente cementado
- Sin cementación

- Resistencia.

Es muy importante distinguir entre la resistencia de una probeta o simple pieza de roca en el laboratorio y la del macizo rocoso completo, la cual está determinada principalmente por las discontinuidades. Existen pues pruebas de laboratorio y aquellas realizadas "in situ" que miden la resistencia de la roca. Sin embargo, aquí se pretende mostrar una forma de estimar y describir la dureza de la roca en el campo y la correlación con prueba de resistencia a la compresión simple (Tabla 4.8)

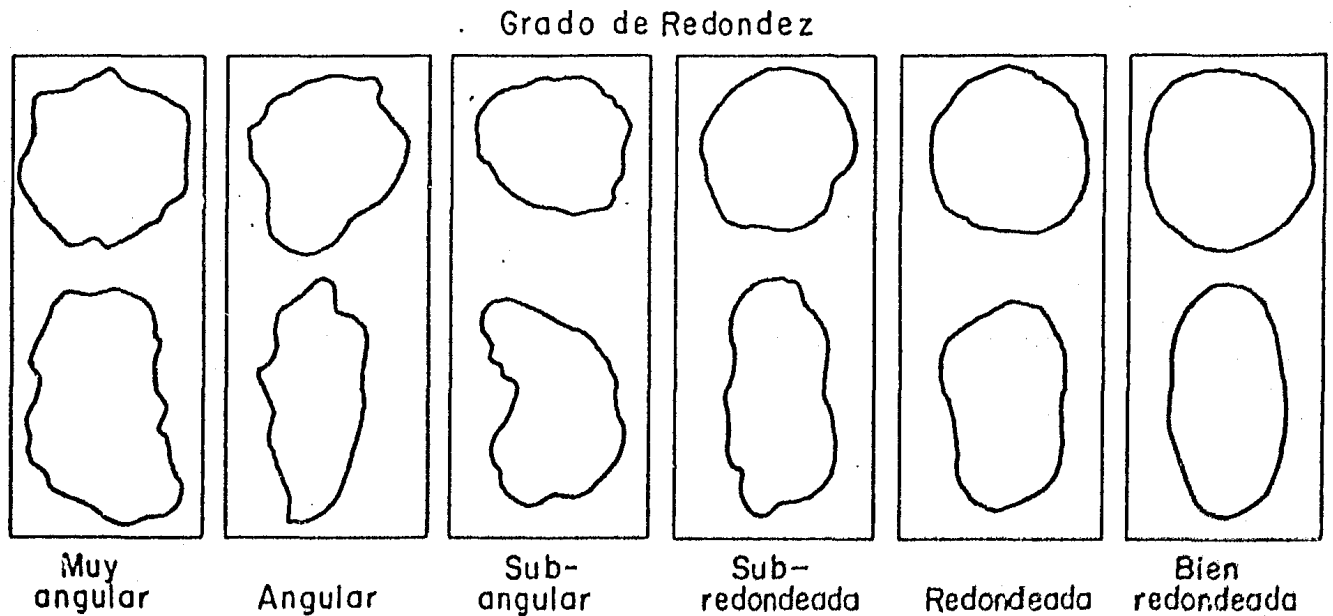
Fig. 4.4 Clasificación de la forma de los granos



a, LONGITUD ; b, ANCHO ; c, ESPESOR

(Tomado de Zingg, 1980)

Fig. 4.5 Clasificación del grado de redondez y esfericidad.

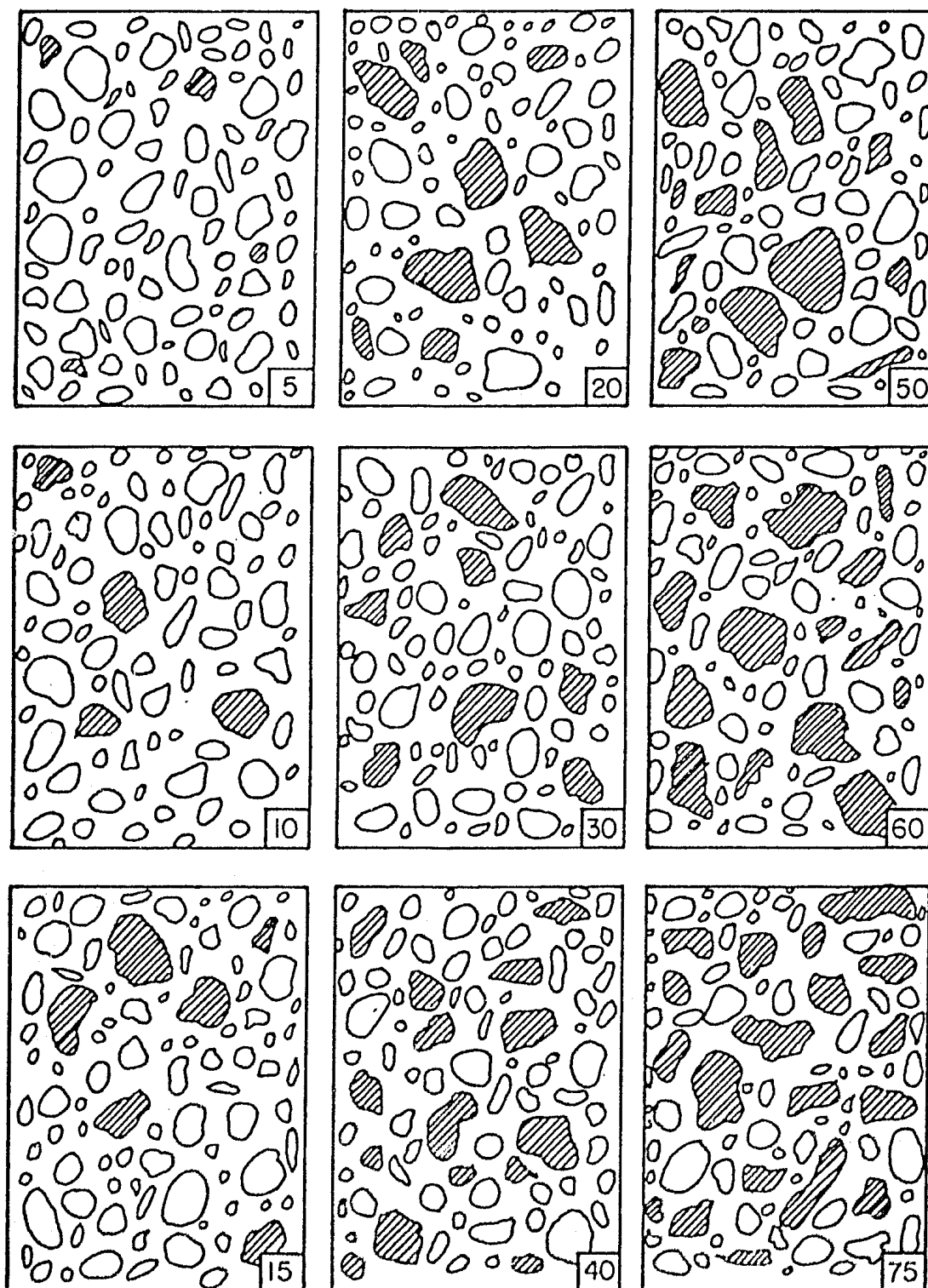


(Tomado de Swanson, 1981)

La figura muestra una carta para estimar el porcentaje de un tipo de roca, mineral o tamaño de grano.

Fig. 4.6

CARTA PARA LA ESTIMACION DE PORCENTAJES



(De Swanson, 1981.)

TABLA 4.7

TAMAÑO DE LOS GRANOS

TERMINO	LIMITES DE TAMAÑO	EJEMPLO
Bloque	Mayor a 300 mm	Mayor pelota Basquetbol.
Canto Rodado	75 - 300 mm	Naranja a Sandia
Grava Gruesa	20 - 75 mm	Uva a Naranja
Grava Fina	4.7. - 20 mm	Chicharo a Uva
Arena Gruesa	2 - 4.7 mm	Sal de Cocina
Arena Mediana	0.42- 2 mm	Azúcar
Arena Fina*	0.074 - 0.42 mm	Azúcar en Polvo
Finos	Menores que 0.074 (MNo, 200)	

* Las partículas menores que la arena fina no se pueden distinguir a simple vista a una distancia de 20 cm.

(Tomada de PEMEX, 1975)

TABLA 4.8
RESISTENCIA DE LA ROCA

(Tomada Anónimo, 1977)

TERMINO	ESTIMACION DE CAMPO DE LA DUREZA	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE (MPa)
Roca muy dura	Requiere más de un golpe de martillo para romper la muestra de mano.	100
Roca Dura	La muestra se rompe con un simple golpe de martillo.	50-100
Roca suave	Se logran hacer hoyos de 5 mm con el pico del martillo.	12.5-50
Roca moderadamente suave	Muy duro de romperse con la mano un espaciamento triaxial.	5.0-12.5
Roca muy suave	El material se desmorona bajo golpes de martillo.	1.25-5.0
Roca muy débil o suelo duro	Quebradizo o tenaz, se rompe con la mano con dificultad.	0.60-1.25
Muy duro	Puede ser mellado con las uñas.	0.30-0.60
Duro	No puede ser moldeado en los dedos.	0.15-0.30
Firme	Puede ser moldeado solo por fuerte presión con los dedos.	0.08-0.15
Suave	Fácilmente moldeado con los dedos.	0.04-0.08
Muy suave	El suelo se escurre entre los dedos cuando se remueve en las manos.	0.04

4.3 DESCRIPCION DE MACIZOS ROCOSOS

El comportamiento mecánico de los macizos rocosos está gobernado principalmente por las discontinuidades que afectan generalmente a las rocas. Por lo tanto, la descripción se enfocará a ellas, determinando todas sus características de importancia.

Las discontinuidades son planos de debilidad de los macizos rocosos, a lo largo de los cuales la roca tiene una baja o nula resistencia a la tensión, o una baja resistencia al corte. Esos planos incluyen fracturas, fallas, juntas, cruce-ro, foliación, esquistosidad, vetas, planos de estratificación y discordancias.

INDICE PARA DESCRIBIR LAS DISCONTINUIDADES DE LOS MACIZOS ROCOSOS:

1) ORIENTACION.- Lugar de la discontinuidad en el espacio.

Descrita por el rumbo y echado de la línea de máxima inclinación en el plano de discontinuidad. De gran importancia para diferenciar y representar los diferentes sistemas de discontinuidades.

2) ESPACIAMIENTO.- Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Es decir la distancia entre una discontinuidad y otra que normalmente, se refiere al espaciamiento del sistema principal o predominante de fracturas.

3) PERSISTENCIA.- Es la longitud de traza de la discontinuidad como se observa en un afloramiento. Puede ser una burda medida de la extensión de un área dada o una longitud de penetración de una fractura. La terminación en roca salida o en otras discontinuidades reduce la persistencia.

4) RUGOSIDAD.- Se refiere a la rugosidad y ondulación in

herente al plano principal de una discontinuidad. Ambas características contribuyen a la resistencia al corte del macizo rocoso. Ondulaciones de gran magnitud pueden llegar a alterar los echados localmente. La rugosidad estará influenciada por la textura, tamaño de los granos o minerales y el grado de descomposición de algunos minerales.

5) RESISTENCIA DE LAS PAREDES.- Es equivalente a la resistencia a la compresión de las paredes de las rocas adyacentes de una discontinuidad. Puede ser menor que la resistencia del bloque de roca debido al intemperismo o alteración de las paredes. Es un importante componente de la resistencia al corte si las paredes de roca están en contacto.

6) APERTURA.- Es la distancia perpendicular entre las paredes de roca adyacentes de una discontinuidad, en la cual el espacio intermedio está relleno de aire o agua.

7) RELLENO.- Es el material que separa las paredes de roca adyacentes de una discontinuidad o que ocupa el espacio existente entre los planos de una discontinuidad y que es usualmente más débil que la roca madre. Los materiales típicos de relleno son arena, limo, arcilla, brecha, materia orgánica ganga y milonita. También se incluyen delgadas capas minerales y cicatrices de discontinuidades, por ejemplo vetas de cuarzo y calcita que pueden tener una resistencia mayor que la roca madre o roca encajonante.

8) FILTRACIONES.- Flujos de agua y humedad visible en las discontinuidades individuales o en la masa rocosa en conjunto.

9) NUMERO DE JUEGOS.- El número de juegos de fracturas o juntas abarca los sistemas de fracturas que se intersectan. El macizo rocoso puede ser nuevamente dividido por discontinuidades individuales.

10) TAMAÑO DE BLOQUES.- Las dimensiones de los bloques de roca son resultado de la orientación de los sistemas de fracturas que se intersectan y del espaciamiento de los sistemas individuales. Las discontinuidades individuales pueden además influenciar la forma y tamaño del bloque.

4.4 DESCRIPCION DE NUCLEOS DE ROCA

Los núcleos de roca obtenidos con máquinas perforadoras proporcionan una valiosa información geotécnica de los materiales del subsuelo.

Una descripción ingenieril de los núcleos debe comenzar con los siguientes parámetros:

-RECUPERACION TOTAL DE NUCLEOS (R).- Es la suma total de todas las piezas recuperadas expresadas como un porcentaje de la longitud perforada que debe ser medida y registrada.

$$R = \frac{\text{Longitud Recuperada}}{\text{Longitud Perforada}} \times 100$$

Cuando los núcleos están muy fragmentados la longitud de esas porciones es estimada uniendo los fragmentos y estimando la longitud del núcleo que los fragmentos aparentan representar.

La recuperación normalmente se describe por corridas o barrenos completos, y no define unidades de roca, aunque a veces es recomendable referir la recuperación a las unidades litológicas. Es necesario tener cuidado en la interpretación ya que en ocasiones la recuperación depende de factores tales como la calidad de la roca, tipo de maquinaria y herramienta de corte, velocidad de rotación, presión del fluido de perforación, presión aplicada sobre la barrena y tipo de muestreador.

El término "Recuperación de núcleos compactos", se emplea cuando los materiales que se recuperan son únicamente pedruzcos de núcleos compactos de diámetro completo, sin material fragmentario ni material suave o friable.

- FRECUENCIA DE DISCONTINUIDADES (F).- Se define como el número de discontinuidades naturales cortadas en una longitud unitaria de recuperación de núcleo, debe ser contada para cada metro de corazonces de roca.

Deben tomarse en cuenta cuando las fracturas son naturales y no cuando son resultados de roturas por el proceso de perforación o cuando son producidas al extraerse del barril muestreador.

- INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (RQD).- Se refiere a un porcentaje de recuperación modificada en la cual todas las piezas del núcleo de roca sana, mayores de 10 cm son tomadas en cuenta como recuperación, y es expresada como un porcentaje de la longitud total perforada, los fragmentos pequeños de fracturas poco espaciadas, fallas o roca intemperada son eliminadas. Según Deere, et. al. (1967) debe ser utilizado únicamente para diámetro NX o NQ.

$$RQD = \frac{\text{Suma de fragmentos mayores de 10 cm de roca sana}}{\text{Longitud total perforada}} \times 100$$

Si el núcleo se rompe por manejos o por procesos de perforación los fragmentos rotos deberán unirse juntos y contarse como una sola pieza, probablemente ellos formen la longitud requerida de 10 cm

Los materiales obviamente débiles que se presenten en el núcleo se deben descontar, aún cuando parezcan piezas intactas de 10 cm o más.

La longitud de los fragmentos individuales debe ser tomada a lo largo de la línea central del núcleo, así que las discontinuidades que aparezcan paralelo al agujero de perforación calificarían indebidamente el RQD de la masa rocosa masiva.

Se sugiere que el valor de RQD se determine para longitudes de corridas de núcleo variables más que para fijas.

Este parámetro es de suma importancia para conocer la calidad de la roca, la densidad de fracturamiento y una valiosa ayuda para las clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos.

INFORMACION GEOLOGICA.- En un núcleo de roca es posible obtener todos los parámetros que se describieron para el material rocoso o "roca intacta". Sin embargo, en cuanto a las características del macizo rocoso es posible obtener con mayor certeza parámetros como la orientación, espaciamiento y número de sistema de las discontinuidades, siempre que esté adecuadamente muestreado.

Si se planean y ejecutan cuidadosamente las perforaciones seguidas por una descripción detallada del núcleo y una inspección del agujero, pueden proporcionar información aproximada acerca de muchos de los 10 parámetros específicos o índices para describir los macizos rocosos descritos en el capítulo 4.2.

De acuerdo con el grupo de Ingeniería de la Sociedad Geológica de Londres (1970) la información geológica relativa o litológica y otras características que deben obtenerse en forma sistemática en la descripción de núcleos de roca es la siguiente:

a) Estado de Alteración

- b) Estructura y discontinuidades
- c) Color
- d) Tamaño de grano
 - d.1) Tamaño de las partículas subordinadas
 - d.2) Textura
 - d.3) Estado de alteración
 - d.4) Estado de cementación
- e) Resistencia del material rocoso
- f) Nombre de la Roca
 - f.1) Tipo de Minerales

5. METODOS DE EXPLORACION GEOLOGICA

5.1 Métodos Indirectos:

5.1.1 Fotogeología.

Se considera a la fotogeología como un método indirecto para hacer geología en la superficie del terreno teniendo como base la interpretación de fotografías aéreas.

Es una forma de reconocer, geológicamente en gabinete, -- áreas de grandes extensiones, en un tiempo sumamente corto -- (Puig. 1970, p. 200); sin embargo, para que el estudio en gabinete tenga validez, es necesario complementar el estudio -- fotogeológico con la correspondiente verificación en campo de los aspectos dudosos de la fotointerpretación.

En geotécnica, la fotointerpretación se utiliza principalmente durante la primera etapa de exploración y, en menor grado, durante la etapa de investigación detallada del sitio de construcción de una obra civil.

La escala de las fotografías aéreas depende del tipo de

estudio. Para estudios de reconocimiento se utilizan las de 1:25,000 a 1:50,000 y para trabajos de detalle de 1:200 a 1:5,000 y 1:20,000 particularmente si son en color.

El análisis fotogeológico es de vital importancia en las exploraciones para obras de ingeniería civil. En la etapa de reconocimiento se localizan las zonas de interés para la edificación de obras de Ingeniería Civil. La inspección fotogeológica de una región permite seleccionar áreas donde el terreno reúne las características mínimas indispensables para proyectar una obra determinada y por tanto ser sujeto de procedimientos exploratorios detallados.

Una vez seleccionados los sitios, el objetivo del estudio fotogeológico es determinar, en una primera aproximación sus características litológicas y estructuras generales, así como sus relaciones estratigráficas. Con la información obtenida se decide la estrategia y los métodos más adecuados para las investigaciones directas. Las características principales, susceptibles de ser reconocidas en un estudio fotogeológico son las siguientes:

- a) Litológicas: Tipo de roca, homogeneidad litológica, permeabilidad, cohesión, solubilidad, grado de intemperismo.
- b) Estructurales: Rumbo y echado de los estratos, pliegues, diaclasas, fallas, lineamientos regionales, fallas, fracturas, delizamientos.
- c) Estratigráficas: Columna estratigráfica, discordancias.
- d) Geohidrológicas: Sistemas de drenaje superficial, zonas de posible infiltración, determinación de cuencas de captación.
- e) Geomorfológicas: Morfología y fisiografía de la región.

f) Geotécnicas: Planeación del trazo de carreteras, vías de ferrocarril, canales, combustoleoductos, localización de sitios que requerirán de un puente, delimitación y ubicación de bancos de material para construcción, estabilidad de las pendientes que causen duda, estudios preliminares de boquillas y vasos en presas, etc.

Las fotografías aéreas comunes pueden ser complementadas con fotografías tomadas a partir de satélites artificiales. Una sola de estas fotografías cubre una superficie de 35,000-Km²; normalmente las escalas utilizadas son de 1:250,000 a 1:500,000.

En estudios geológicos regionales, la gran ventaja de las fotografías de satélite radica en la relativa facilidad con que se delimitan las provincias estructurales y geomorfológicas mayores, permitiendo, de esta forma, diferenciar unidades litológicas.

Dentro de la geotecnia las fotografías de satélite se han utilizado para delimitar cuencas hidrológicas, en localización de fallas a nivel regional, en la ubicación de bancos de material, etc.

5.1.2. Métodos Geofísicos.

Dentro de la Ingeniería Civil, los métodos geofísicos son recomendados en múltiples casos, ya que proporcionan información de la litología y de las estructuras geológicas del subsuelo, lo cual es de primordial importancia para todo tipo de proyectos, como puede ser el estudio de las condiciones de cimentación en una presa o edificio; determinación de la profundidad a la que se encuentra la roca sana, de algunas propiedades físicas para un proyecto de túnel o bien para investigar los bancos de materiales para la construcción de una carretera, cortina, etc. La gran cantidad de información que-

proporcionan justifica plenamente su utilización tanto en estudios preliminares (factibilidad) como en las etapas subsiguientes de la exploración y construcción de obras civiles.

Entre los métodos geofísicos más comunes se encuentran los siguientes:

- Sísmico.
- Eléctrico
- Magnetométrico
- Gravimétrico
- Radiométrico

En esencia todos consisten en determinar las variaciones en el espacio o en el tiempo de uno o varios campos de fuerzas. El valor de estos campos viene determinado, entre otros factores, por la naturaleza de las estructuras del subsuelo y por el hecho de que las propiedades físicas de las rocas, o al menos una de ellas, varían ampliamente, de unas zonas a otras. Con frecuencia las discontinuidades físicas corresponden a límites geológicos, por lo que numerosos problemas estructurales se reducen a la interpretación de los campos medidos en superficie en función de la forma de estas discontinuidades (ver Griffiths y King, 1972). Evidentemente, la mayor o menor facilidad de efectuar la interpretación dependerá considerablemente del grado de contraste de las propiedades físicas de las rocas presentes en la estructura analizada, la elección del método se hará en función de la propiedad física que, dentro de la estructura que presenta el subsuelo, ofrezca mayores contrastes.

Sin embargo no es éste el único factor que hay que considerar en el momento de elegir un método de prospección geofísica, ya que algunas técnicas se prestan más que otras a una interpretación cuantitativa, de ahí la necesidad de una mayor precisión en la interpretación, aún cuando esto implique tra-

bajar con magnitudes físicas que presenten menores contrastes entre sus valores.

Las propiedades de las rocas que más se utilizan en prospección geofísica son: elasticidad (método sísmico), conductividad eléctrica (método eléctrico), susceptibilidad magnética (método magnetométrico), densidad (método gravimétrico), radiactividad, (m. radiométrico).

Los métodos de propección gravimétrico y magnético estudian campos de fuerzas naturales. Por otro lado, los métodos sísmico y eléctrico, consideran las propiedades elásticas y eléctricas de las rocas y requieren de la introducción de energía en el terreno (Griffith y King et. al.). Debido a que en estos métodos es necesario generar la energía artificialmente, la distancia entre la fuente y el receptor puede variar, lo que se traduce en la posibilidad de interpretar las medidas de forma unívoca y más detallada que en los métodos de campo natural.

Por ser los métodos sísmico de refracción y eléctrico de resistividad los más utilizados en la Ingeniería Civil, sus principios y aplicaciones se tratarán párrafos más adelante.

También son empleados, aunque en menor grado, los métodos magnetométricos y gravimétricos.

Una de las principales ventajas del uso de los métodos geofísicos es que permiten cubrir grandes áreas y profundidades en poco tiempo y a un costo menor que otras técnicas exploratorias (perforaciones, socavones, etc.), dando lugar a una mejor planeación de los estudios geológicos de detalle (Rosas y Prieto, 1978).

Es muy importante y se podría decir que indispensable -- que estos métodos se complementen con la información geológica de las perforaciones o de otras exploraciones directas (so_u cavones, trincheras, etc.) para hacer mejores interpretaciones.

El papel de geólogo en los estudios de prospección geofísica es el de plantear problemas concretos, cuya solución requiere de dicha técnica, y el de escoger las zonas más adecuadas de acuerdo a los objetivos planteados; el geofísico es quien determina el método más apropiado y su modo de aplicación. Sin embargo, en el momento de interpretar los datos es fundamental el trabajo conjunto del geólogo y el geofísico -- para darle un significado apropiado a la información obtenida.

5.1.2.1 Métodos eléctricos.

En los métodos eléctricos, con el auxilio de una fuente de poder se aplica una corriente eléctrica al suelo por medio de electrodos; su principio se basa en que las variaciones de la conductividad del subsuelo alteran el flujo de corriente en el interior de la tierra, lo que ocasiona una variación de la distribución del potencial eléctrico. El mayor o menor grado de las anomalías del potencial eléctrico en la superficie del terreno depende del tamaño, forma, localización y resistividad eléctrica de los cuerpos del subsuelo.

Existen diferentes métodos eléctricos de exploración, -- los más útiles en geotécnica son el de resistividad y el de relación de caídas de potencial.

*Método de resistividad. -- En éste método la corriente penetra en el terreno a través de dos electrodos y se mide la caída de potencial entre un segundo par de electrodos situados entre los anteriores y alineados con ellos (Fig. 5.1).

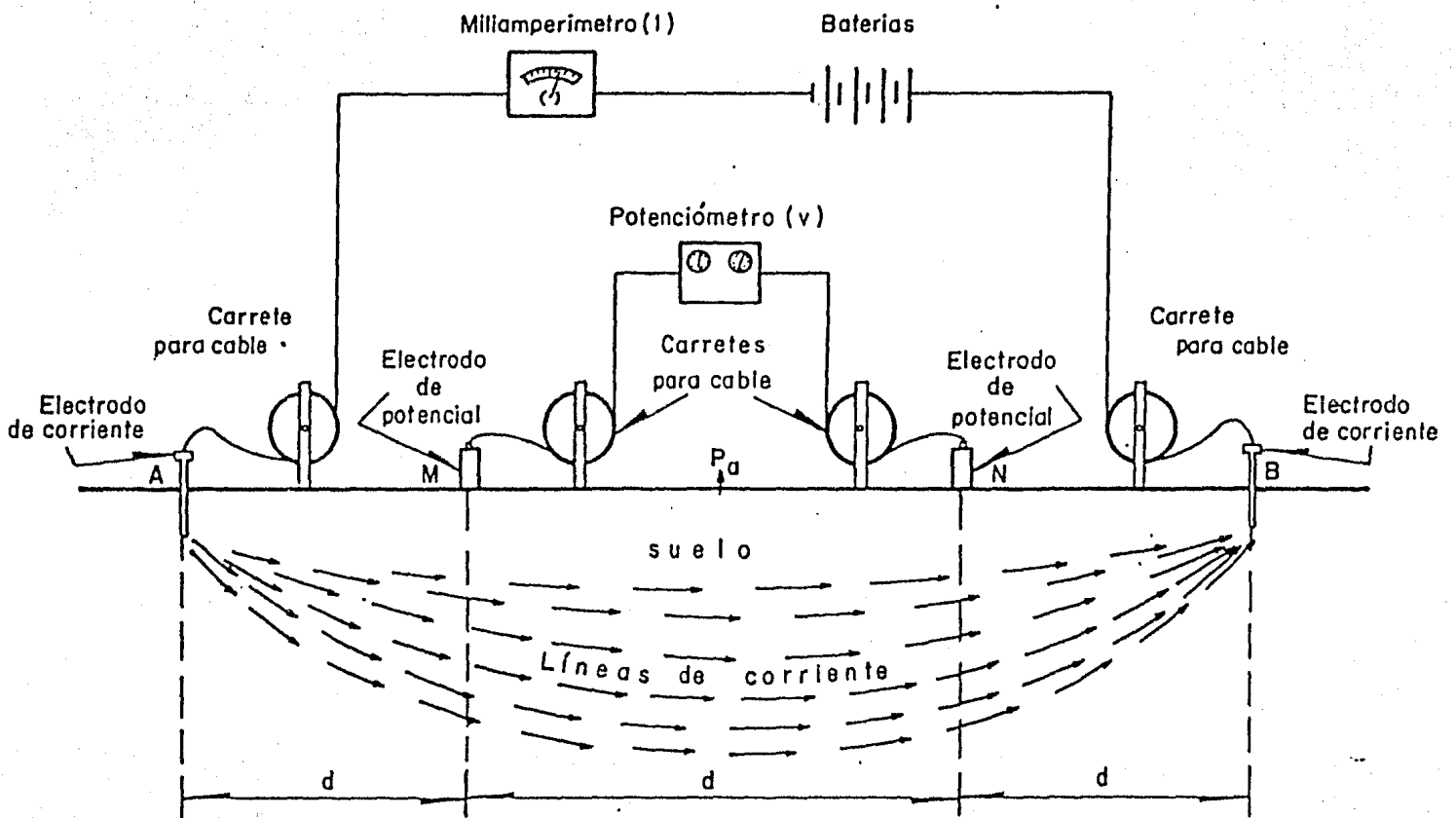


Fig. 5.1 Método Eléctrico de Resistividad, equipo empleado.

A partir de los valores medidos de la intensidad de corriente inducida al terreno, de la caída de potencial y de la separación entre los electrodos puede determinarse el valor de una nueva magnitud: la resistividad aparente. Si el subsuelo es homogéneo, el valor obtenido coincide con la resistividad verdadera del subsuelo, en caso contrario (subsuelo no homogéneo como sucede generalmente) el valor obtenido depende de las resistividades de las distintas formaciones que atraviesa la corriente.

La conducción eléctrica en la mayoría de las rocas es esencialmente electrolítica. Esto es debido a que las rocas (sus minerales) son aislantes en sí, por lo que la conducción eléctrica se realiza a través del agua intersticial que normalmente contienen y que siempre tiene, en mayor o menor grado, sales disueltas que la hacen conductora. Por consiguiente, la resistividad de una formación será función de su contenido en electrólitos que a su vez depende de la porosidad efectiva de la roca y del grado de saturación.

En el caso de los sulfuros metálicos y, en el más general, de las rocas que contienen un cierto porcentaje de arcilla esto no es absolutamente cierto, ya que estos minerales toman parte en el proceso de conducción.

En las rocas cristalinas, por su baja porosidad, la conducción eléctrica se efectúa principalmente a lo largo de grietas y fisuras, de hecho en este tipo de rocas, y a menos que el agua sea salada, el grado de fisuración es el factor que más influye en su resistividad.

Como se puede observar no existe una ley general que correlacione litología con resistividad. No obstante pueden establecerse criterios de tipo general, tales como el que la resistividad de las formaciones crece en el orden siguiente: arcilla, arena, grava, caliza; las rocas cristalinas tienen resistividades aún mayores. En la Tabla 5.1 se dan los valores en

tre los que suelen oscilar las resistividades de las rocas -- más comunes, pero es posible encontrar rocas de alguno de estos tipos, con resistividades mayores o menores que las aquí indicadas.

TABLA 5.1

Valores usuales de la resistividad de suelos y rocas.

MATERIALES	RESISTIVIDAD
arcillas	3-30
margas	10-100
esquistos	30-300
arenas y gravas	100-1000
Calizas	300-3000
Rocas intrusivas	1000-10000

Para la exploración eléctrica se utilizan principalmente dos arreglos electródicos que son:

a) Sondeo eléctrico vertical (SEV) con arreglo Schlumberger (Fig. 5.2)

a) Arreglo Schlumberger

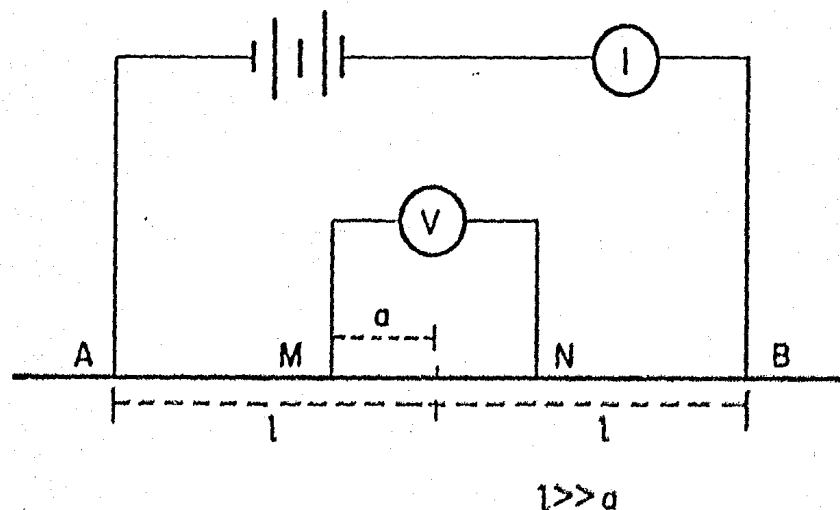


Fig. 5.2 Sondeo eléctrico vertical con arreglo Schlumberger

Consiste en hacer una serie de mediciones con arreglo eléctrico de 4 polos, para obtener la resistividad a distintas profundidades en un punto dado de la superficie. Los electrodos de potencial (M,N) se fijan en una posición y se toman varias lecturas moviendo los electrodos de corriente (A,B); cuando las lecturas ya son lejanas, llegando como máximo a una separación $AB = 1/5 MN$ se moverán los electrodos de potencial a una nueva posición fija y se continúa la secuencia.

b) Sondeo eléctrico vertical (SEV) con arreglo Wenner (Fig. 5.3).

b) Arreglo Wenner

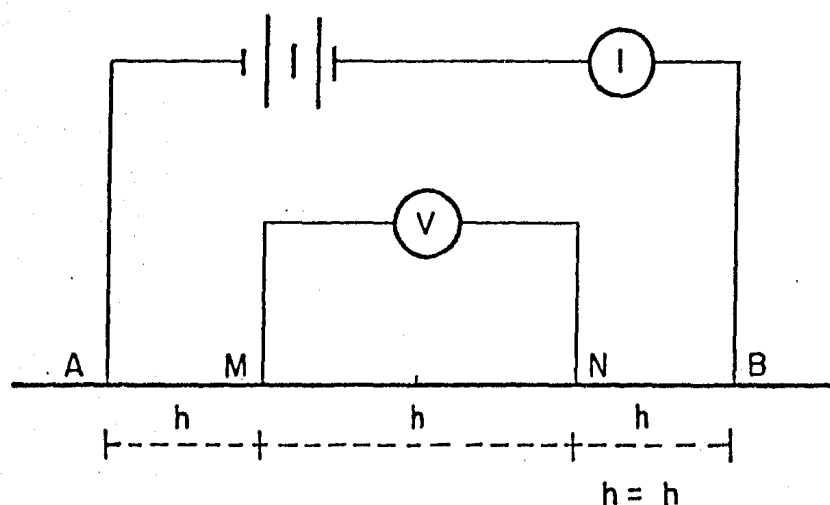


Fig. 5.3 Sondeo Eléctrico vertical con arreglo Wenner

También consiste en un arreglo eléctrico de 4 polos, en donde los electrodos quedan en una línea con separación equidistante "h", el sondeo se realiza manteniendo el centro del arreglo fijo e incrementando la separación "h".

La mejor calidad de las curvas de campo, la mayor sencillez de las operaciones y ventajas económicas hacen preferible el arreglo Shlumberger sobre el Wenner en la mayoría de los casos.

Este método es más efectivo si las formaciones geológicas sobre las que se aplica tienen un echado menor de 30° y su resistividad es homogénea lateralmente y contrastante verticalmente, finalmente el relieve no debe ser muy abrupto por que no es posible hacer correcciones por relieve.

Las principales aplicaciones de este método son:

- Determinación del espesor y profundidad de materiales; de zonas permeables o impermeables.
- Localización de niveles de agua, existencia y profundidad del agua subterránea.
- Salinidad de las aguas.
- Localización de posibles zonas cársticas (cavernas).
- Delimitación en la zona litoral del contacto del agua dulce con el agua salada.
- Estudio de la secuencia de estratos y una estimación de la profundidad y espesor de dichos estratos.
- Cuantificación de bancos de material.
- Localización de fallas, diques, vetas, etc.
- Determinación de algunas propiedades índice de los suelos, sobre todo arenas, como es el caso de la relación de vacíos "e".

*Método de Caídas de Potencial - En este método las mediciones de campo eléctrico se hacen a lo largo de una línea A-D normal a la línea primaria A-B', mediante tres electrodos de potencial B, C, D. (Fig. 5.4)

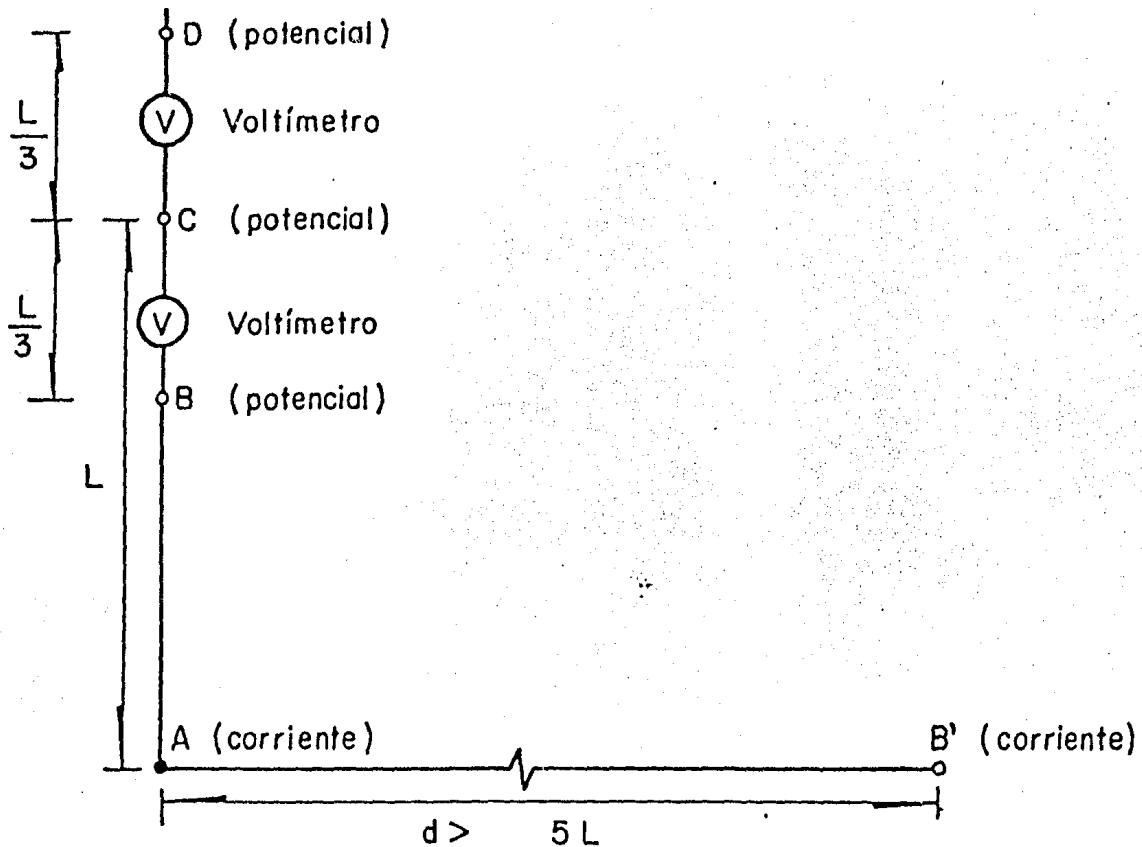


Fig. 5.4 Método de Caídas de Potencial

(Tomada de Alberro, inédito)

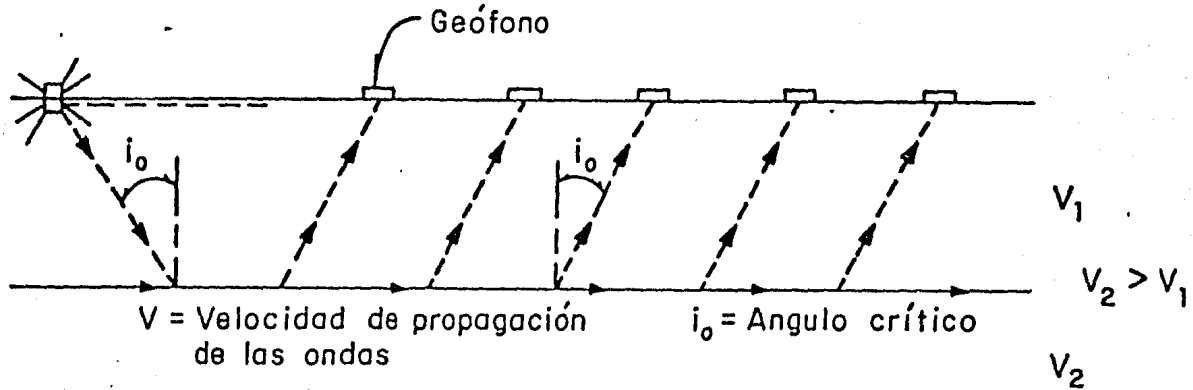
El método permite, en ciertos casos, obtener mayor detalle -- que con el método de resistividad (como en el caso de estructuras verticales y de espesor reducido como fallas, diques, etc.) En el caso de heterogeneidad local de los mantos superficiales no es recomendable su empleo.

El método tiene la ventaja de que no se necesita conocer la intensidad de la corriente.

5.1.2.2 Geosísmica.

En el método sísmico, se provocan perturbaciones dinámicas artificiales en o cerca de la superficie del terreno (mediante la detonación de una carga de dinamita o el golpe de un martillo). Estas perturbaciones originan ondas elásticas, longitudinales y transversales que se registran en pequeños detectores o "geófonos" (Fig. 5.5).

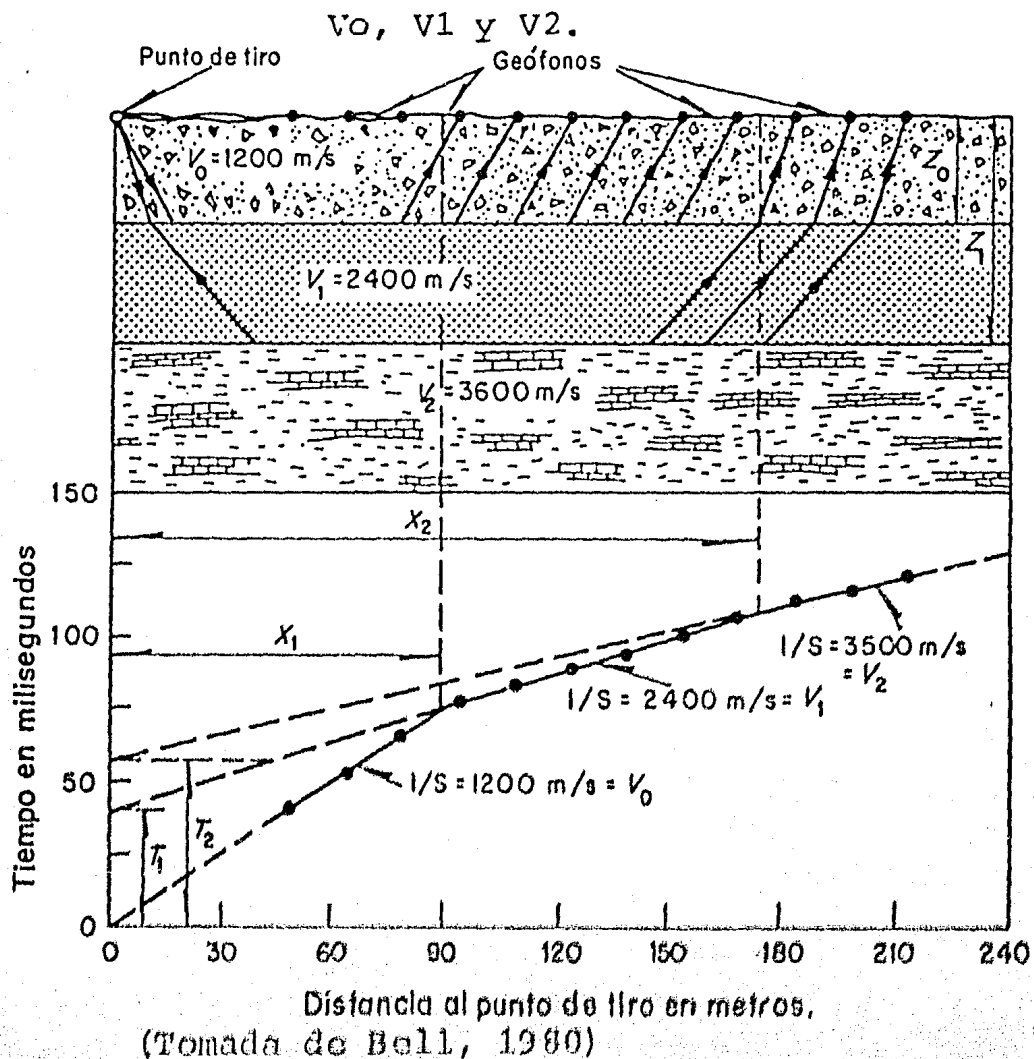
Fig. 5.5. Propagación de las ondas sísmicas



(Tomada del Manual de Diseño de Obras Civiles, B.1.4)

La medición de los intervalos de tiempo que transcurren desde que se genera el impulso hasta su recepción en los geófonos colocados a diferentes distancias y que a su vez lo envíen al oscilógrafo o aparato registrador, permite construir una gráfica de tiempo-distancia conocida como dromocrónica que permite determinar la velocidad de propagación de las ondas en el terreno (Fig. 5.6)

Fig. 5.6 Dromocrónica en el caso de tres velocidades:



Como generalmente éste no es homogéneo, en lo que a sus propiedades elásticas se refiere, la velocidad variará tanto en profundidad como lateralmente. Los límites entre capas de distinta velocidad generalmente coinciden con límites geológicos por este motivo un corte transversal en el que se representen las interfaces de velocidad puede parecerse a un corte geológico transversal, aunque los dos no sean necesariamente iguales.

Las velocidades de propagación de las ondas longitudinales -- permiten por comparación, inferir los posibles tipos de materiales de cada estrato, según puede observarse en la siguiente tabla:

MATERIAL	VELOCIDAD (m/s)
Suelo superficial	170-500
Arcilla	1000-2800
Arcilla arenosa	975-1160
Arcilla arenosa cementada	1160-1280
Limo	760
Aluvión	550-1000
Aluvión profundo	1100-2360
Depósito glacial	490-1700
Dunas	500
Loess	400-475
Arena seca	300
Arenisca	2400-4000
Lutita	1800-3800
Marga	3000-4700
Caliza	3000-5700
Granito	3000-5000
Basalto	4000-6000
Dolerita	4000-7000
Gabro	4000-7000
Mármol	3500-6000

MATERIAL	VELOCIDAD (m/s)
Cuarcita	5000-6500

(Tomada de Rosas y Prieto, 1978).

Mediante estas velocidades también es posible obtener propiedades de interés geotécnico, como son: porosidad, constantes-elásticas de los materiales y grado de saturación.

Las principales aplicaciones de este método son:

- Determinación de los espesores y estratigrafía en el subsuelo.
- Determinación de la profundidad al basamento, espesores de aluvión.
- Auxiliar en la identificación de estructuras.

A continuación se mencionan algunas condiciones que se requieren para hacer interpretaciones más seguras:

- En general, deben ser rocas estratificadas y sus echados deben variar cuando más de 0 a 35°.
- La interpretación será mejor, mientras más homogéneas sean las formaciones y el contraste de velocidades entre cada una de ellas sea mayor.
- Es importante que las velocidades se vayan incrementando con la profundidad, pues se puede dar el caso de que no se detecten ciertas capas cuando los materiales de alta velocidad se encuentran en la superficie. (Como puede ser por ejemplo una colada de basalto).

5.2 Métodos Directos

Los métodos directos de exploración permiten conocer -- las condiciones geológicas y geotécnicas del sitio de estudio, mediante la observación de las características "in situ" de -- suelos y rocas, complementadas con la obtención de muestras -- de las mismas.

Se incluyen dentro de estos métodos los levamientos geológicos superficiales, perforaciones, trincheras, pozos a cielo abierto y socavones.

5.2.1 Levantamientos geológicos

El objetivo principal de los levantamientos geológicos -- es inspeccionar y obtener la información que permita definir -- con precisión las condiciones geológicas presentes en la zona de estudio. Se tienen 2 tipos de levantamientos geológicos: -- los superficiales y los de obras subterráneas.

a) Levantamiento geológico superficial.- Son inspecciones de -- campo para identificar, clasificar y cartografiar las prin -- cipales unidades geológicas existentes en el área bajo estu -- dio y reconocer características estructurales como: rumbo, -- echado, pliegues, contactos, fallas, fracturamiento, etc.

De acuerdo con la etapa de exploración en que se realicen --- (ver capítulo 2), la obra de que se trate y la exactitud que se requiera, se dividen en levantamientos regionales y levanta -- mientos locales.

Los estudios regionales se realizan con base en mapas fotogeo -- lógicos previamente elaborados, localizando en ellos puntos -- de verificación. Estos sitios se escogen considerando la acce -- sibilidad y exposición de los materiales que permita hacer ob

servaciones relacionadas con las características de rocas y suelos.

Las escalas que se manejan para este tipo de levantamientos varían de 1:25,000 a 1:50,000.

Los levantamientos con carácter local se llevan a cabo en áreas de extensión reducida, utilizando: brújula, cinta o plancheta. Se utilizan escalas que varían de 1:500 a 1:10000. Estos levantamientos permiten conocer las condiciones geológicas particulares del lugar, tales como: existencia y características de discontinuidades importantes (fallas, diques, etc.), localización y cubicación de materiales de construcción, etc.

Del estudio detallado de los afloramientos en ambos tipos de levantamientos, se contará con información relativa a rumbo y echado de capas, fracturamiento y fallas existentes, ubicación del lugar, separación de fracturas, además de enriquecer la información con datos acerca de la mineralogía, textura y estructura de las rocas.

Todas las observaciones hechas, deberán quedar asentadas detalladamente en la libreta de campo, anotando claramente los sitios donde fueron realizadas.

La obtención de fotografías durante el levantamiento, complementa adecuadamente las descripciones realizadas en el campo.

Con los datos obtenidos de las observaciones de campo y de estudios complementarios de laboratorio de las muestras colectadas, se elaboran los mapas y secciones geotécnicas.

(ver Capítulo 6).

b) Levantamiento de obras subterráneas.

Consiste en el estudio minucioso del techo y las paredes

de un socavón, galería o túnel, mediante el uso de brújula, cinta y flexómetro, su objetivo es obtener datos, relacionados con las unidades geológicas que estas obras atraviesan, tales como: tipo de roca, grado de alteración, estratificación, rumbos, echados, fallas, fracturamiento, filtración de agua, mineralización, etc.

El levantamiento se puede complementar con fotografías de los aspectos relevantes de la excavación, o inclusive con una secuencia que registre una o ambas paredes a todo lo largo de la obra. Esto permite conservar un registro objetivo de los socavones y galerías, aún cuando ya no sean accesibles para estudios posteriores.

Los resultados obtenidos se integran en las secciones geotécnicas correlacionándolos con los obtenidos de la exploración superficial y las perforaciones efectuadas en el área.

(capítulo 6.4)

5.2.2. Pozos a cielo abierto y trincheras.

Pozos a cielo abierto: Son excavaciones realizadas con equipo manual, que se efectúan desde la superficie del terreno en sentido vertical, de profundidad variable y excepcionalmente mayor de 10m, de sección cuadrada aproximadamente de 1.5 a 2.0 m por lado. Se emplean en estudios someros, en materiales que permiten la excavación con pico y pala, aunque algunas veces llegan a utilizarse explosivos. Se utilizan tanto en la etapa de investigación preliminar como en la detallada. Por medio de ellos es posible conocer directamente la columna geológica, las características de cada uno de los materiales atravezados y la profundidad a la que se encuentra la roca sana. Se debe llevar un registro de las condiciones que presenta el subsuelo durante la excavación.

Las ventajas que presenta la utilización de este método son:

- La obtención de muestras, sin emplear equipo especial de perforación.
- La recolección de muestras inalteradas (Fig. 5.7)
- La realización de observaciones y pruebas "in situ" (S.P.T., prueba de placa, etc.)
- La posibilidad de utilizarlos como pozos de correlación para establecer el perfil estratigráfico del sitio.

Las desventajas del método son:

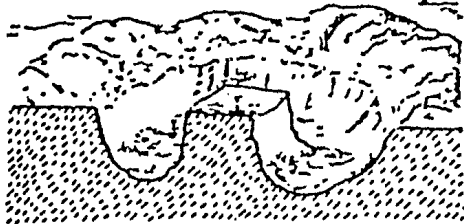
- Es demasiado lento por realizarse en forma manual y los materiales o las condiciones en las que se encuentran, pueden variar de un día para otro.
- El costo de la excavación se incrementa notablemente con la profundidad, siendo económica hasta 4 ó 5 m.
- Si se presentan grandes cantos rodados o bloques de roca, se dificulta el avance del pozo, siendo necesario usar explosivos que quizás alteren la constitución de los materiales de la zona.
- Si el material no está cementado y la profundidad es grande se requerirán ademes, elevándose el tiempo de excavación y el costo.
- Si se excava por debajo del nivel freático, pueden presentarse problemas de extracción de agua o deformaciones en el suelo por el flujo de agua, limitando de esta manera la profundidad.

Trincheras: Son excavaciones realizadas a partir del terreno-

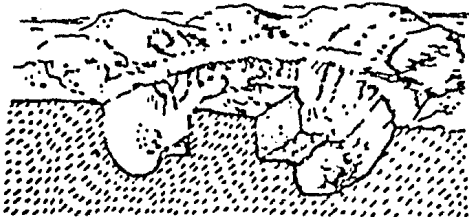
Operaciones para obtener una muestra en (A) del fondo de un pozo de prueba o superficie a nivel. En (B) de las paredes de una Trinchera.

A

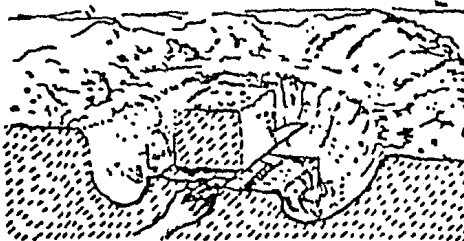
B



1. Emparéjese la superficie del suelo y márquese el contorno de la muestra.
2. Cuidadosamente excávese una zanja alrededor de la muestra.



3. Profundícese la excavación y lábrense los costados de la muestra al tamaño deseado con cuchillo.



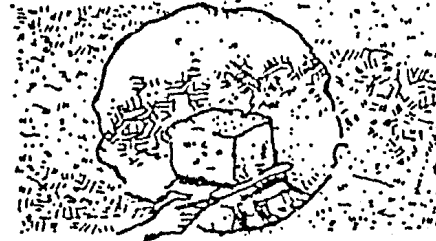
4. Córtese la muestra del estracto correspondiente o empáquese la muestra en una caja antes de cortarla si la muestra se desmorona fácilmente.



1. Emparéjese cuidadosamente la superficie y márquese el contorno de la muestra.



2. Excávese cuidadosamente alrededor y atrás de la muestra. Confórmese aproximadamente la muestra con un cuchillo.



3. Córtese la muestra y quítese del agujero, o empáquese en una caja antes de desprenderla si la muestra se desmorona fácilmente.

(De U.S. Dept. of
Interior, 1966.)

Fig. 5.7 Recolección de Muestras Inalteradas.

natural con poca profundidad y alargadas; es decir, tienen -- una de sus dimensiones mayor a las otras dos; más largas que anchas y profundas. Su principal ventaja es la posibilidad de elaborar un perfil geológico continuo del terreno en 2 - dimensiones (Fig. 5.8) pues es posible también la observa--- ción directa y la toma de muestras. Se puede excavar una sola trinchera a lo largo del eje deseado (que puede ser una - discontinuidad) o bien una serie de trincheras separadas a - intervalos regulares entre sí.

La decisión de usar pico y pala o maquinaria en su excava--- ción depende de la extensión y profundidad requerida.

En general tienen las mismas ventajas y desventajas que los pozos a cielo abierto.

5.2.3. Túneles o socavones

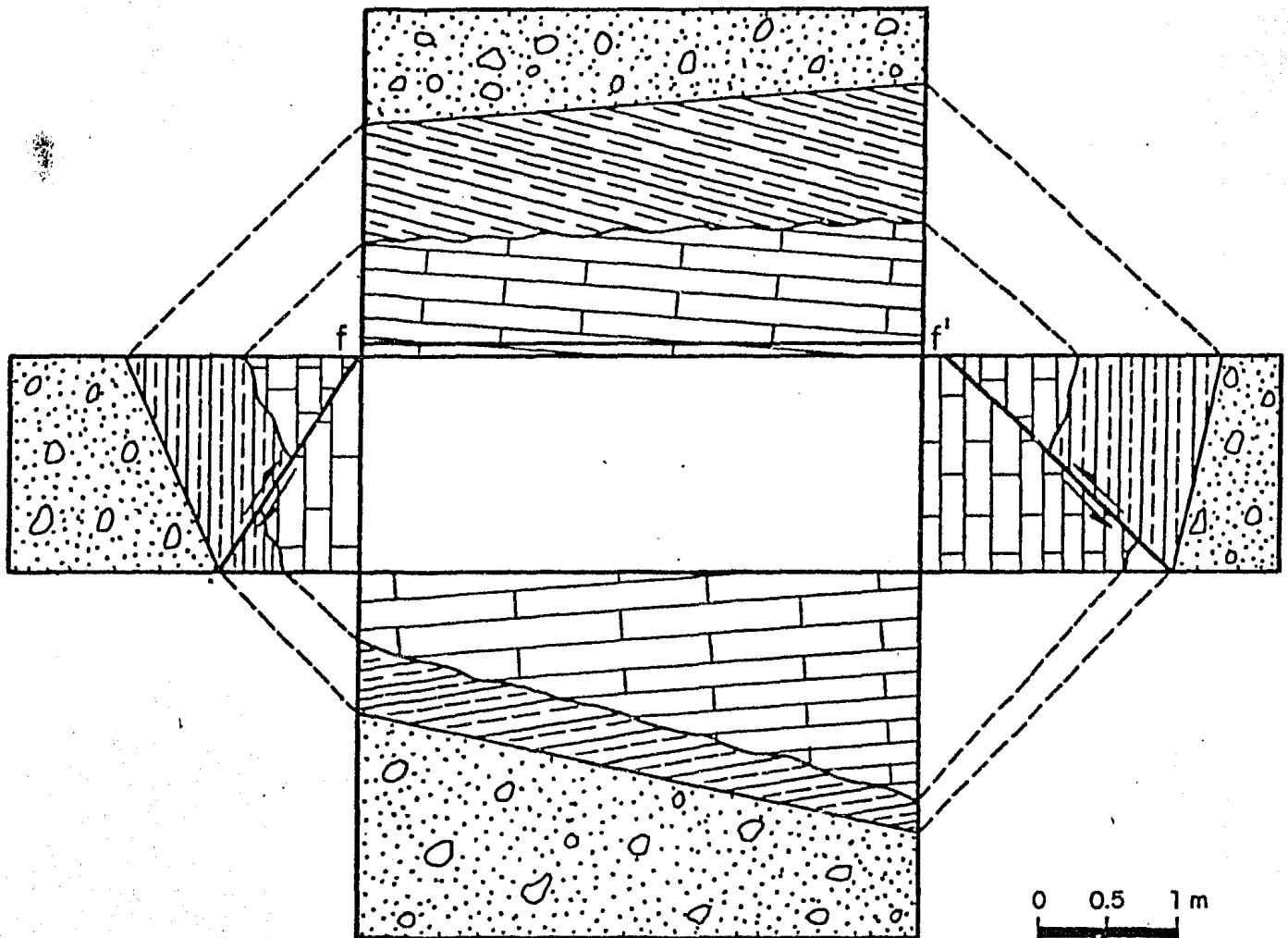
Son excavaciones lo suficientemente grandes para que un hombre pueda trabajar dentro de ellas (1.5 a 2.0 m de anchura y 2.0 a 2.5 m de altura). Siendo trabajos que por su costo elevado solo se realizan en obras civiles de importancia (obras subterráneas y presas). Son sensiblemente horizontales y a-- largadas (una dimensión es mucho mayor a las otras dos) ---- (Fig. 5.9) Se recomienda sin embargo que tengan una pendiente hacia afuera con objeto de hacer más fácil su drenaje en caso de existir agua o para la extracción del material de - desecho de la excavación.

El número de socavones, su localización y profundidad dependen de las condiciones geológicas del sitio.

Este tipo de exploraciones requieren de equipos simples de - barrenación y el uso de explosivos. A veces requieren el uso de ademes (particularmente en la entrada).

Fig. 5.8 Perfil geológico de una Trinchera

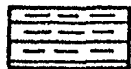
Perfil de una trinchera



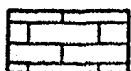
Simbología



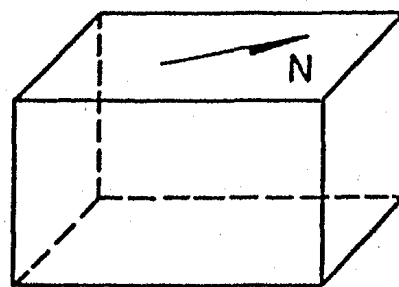
Gravas



Lutitas

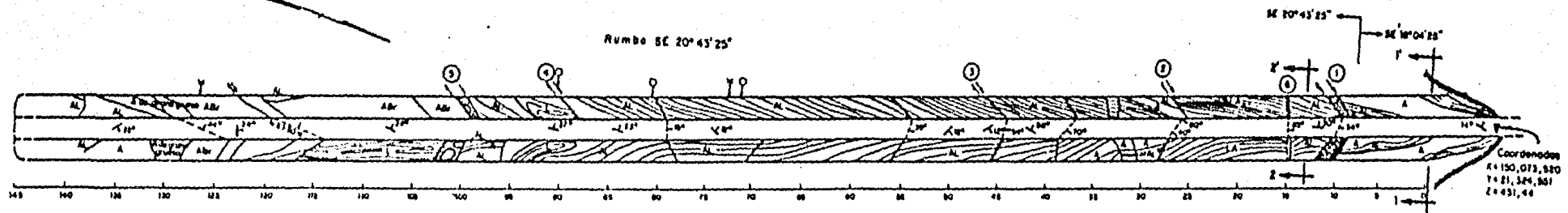


Calizas

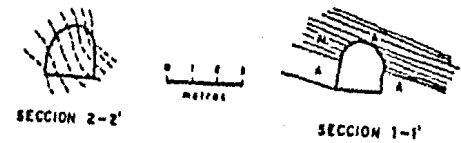
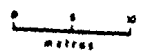
Falla (rellena con arcilla,
espesor de 3 a 5 cm)

(Tomada del manual de Diseño de Obras
Civiles B.1.5.)

Fig. 5.9 Perfil geológico de un socavón

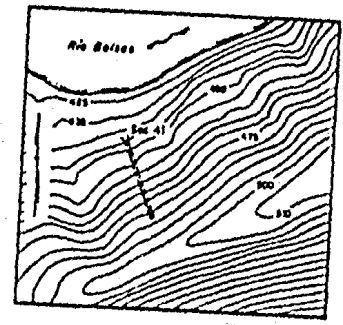


Coordenadas
 E = 150,073,520
 N = 21,524,861
 Z = 431,46



- A** Areniscas
- ABr** Areniscas líticas o brechoides
- AL** Areniscas y lutitas
- L** Lutitas
- Arcilla de relleno empaquetada a pequeños bloques
- Escurrimiento de agua o filtrado
- Protrusión de vetillas de cuarzo y calcita
- Punto de deflexión

- 1 Fosa abierta 0.60 m rellena de material brechado y arcilla húmeda poco compacta, desplazamiento mayor de 2.00 m
- 2 Fosa abierta 0.40 m en la pared izquierda y 6 cm en la pared derecha, rellena de arcilla
- 3 Fosa abierta 0.40 m rellena de arcilla y material brechado, el salto es mayor a 2.00 m
- 4 Fractura ligeramente abierta con escurrimiento de agua
- 5 Fosa quizás la principal ya que en este lugar se encuentran intercalados 3 folios que provocaron una sobre excavación de 2 2.00 m de espesor, el relleno es arcilloso que empaqueta algunos bloques
- 6 Fosa de 0.30 m de ancho, rellena de arcilla con desplazamiento mayor de 1.00 m



(Tomada del Manual de Diseño de Obras Civiles, B.1.5)

Dentro de los socavones se puede:

- Hacer el levantamiento de unidades litológicas, fallas, rum bos y echados, se observa el relleno de grietas, fallas, etc.
- Obtener muestras para ensayos de laboratorio.
- Realizar pruebas de campo para conocer la permeabilidad, re sistencia y compresibilidad de la roca, así como el estado de esfuerzos "in situ".
- Hacer la ampliación de la obra misma para utilizarla como obra definitiva sea como túnel de desfogue, túnel de desvío en el caso de una presa o túnel de visita tratándose de una casa de máquinas subterránea.

Aunque estas obras de exploración son generalmente rectas, -- eventualmente llegan a ser irregulares cuando es necesario in vestigar algunas discontinuidades; de esta manera a partir de un socavón pueden construirse obras perpendiculares (cruce---ros) u oblicuas con la finalidad antes mencionada.

5.2.4. Perforaciones

Después de haber realizado los estudios preliminares que defi nen la factibilidad geológica para la ubicación de una obra - civil, es necesario efectuar perforaciones que proporcionan - información sobre las características físicas del terreno --- (permeabilidad, resistencia, etc) y nos ayuden a solucionar - problemas de interpretación en sitios donde existan dudas.

Con esa información se podrán elaborar perfiles geológicos, - se podrá detallar la columna estratigráfica del lugar, y ayu- dar en la elaboración de planos geológicos y geotécnicos.

Las perforaciones proporcionan información acerca de: la com-

posición, espesor y extensión de cada una de las formaciones del área, la profundidad a la que se encuentra roca sana; la profundidad del agua subterránea, permiten la realización de pruebas de permeabilidad o los registros geofísicos de pozo; también se obtienen muestras a las cuales se les harán diferentes pruebas de laboratorio.

Independientemente de las características que se acaban de --mencionar, es posible obtener la siguiente información adicional de los sondeos:

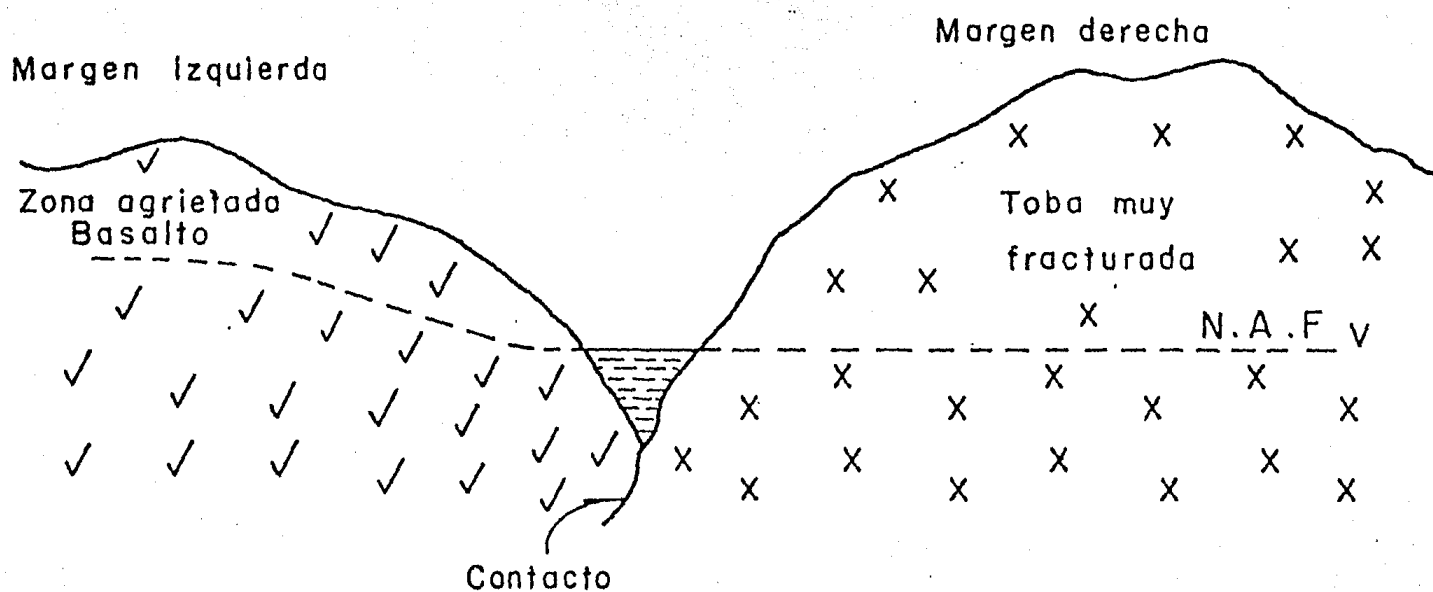
- Velocidad de rotación y avance: Esta se correlaciona con el tipo de roca, en rocas duras no muy fracturadas a pesar de --que la velocidad de rotación será alta el avance será lento --mientras que para rocas alteradas la velocidad puede ser muy baja y el avance alto. El registro de la velocidad de rota---ción y del avance, así como cualquier cambio de los mismos, --proporcionará un esquema de las profundidades en las cuales --hay cambios en la naturaleza de las rocas traversadas, situa---ción que se confirmará una vez que las muestras sean recuperadas.

- Pérdida de Agua (total o parcial) - La pérdida es parcial --si el gasto de retorno es menor que el de inyección; es total --si el gasto de retorno es nulo. Para que esta información tenga sentido se debe especificar la presión y el gasto de inyección aplicados. La información obtenida se registra a lo largo del sondeo y ayuda en la identificación de unidades litológicas permeables, cavernas, fallas.

- Nivel freático y presencia de aguas artesianas Es importante conocer la posición del N.A.F. En ciertos casos la topografía de la superficie libre del agua puede ser indicativa --de cambios repentinos de permeabilidad (Fig. 5.10).

Debido a la inyección de agua, durante la perforación se puede medir erróneamente el NAF; por lo cual se recomienda hacer

Fig. 5.10 Ejemplo de la relación entre la posición del nivel freático, con los cambios de permeabilidad en las rocas.



(Tomada de Alberro, inédito)

dicha medición después de un tiempo suficiente de suspensión de las maniobras en el sondeo, de preferencia en la mañana antes de iniciar nuevamente la perforación.

- Brusco descenso de la broca: Indica la presencia de huecos o cavernas, que en algunas rocas son pequeñas como en el basalto (producidas por desprendimiento de gases); en las calizas se pueden presentar cavernas muy grandes (por disolución del Ca CO_3). También puede atribuirse el brusco descenso de la broca a la presencia de alguna cavidad hecha por el hombre (caso de alguna mina abandonada).
- Necesidad de ademar: Al atravesar, durante la perforación ciertos materiales, (depósitos no cohesivos), se puede presentar el caso de inestabilidad de las paredes, debiéndose estabilizar la perforación con ademe o bien con lodos de perforación (bentonita).

Cuando las paredes del sondeo se derrumban, la herramienta de perforación se atora; para recuperar el muestreador se utiliza agua y aire a presión.

- Naturaleza de los recortes, traídos por el fluido de perforación: Un problema común durante un muestreo se presenta al perforar rocas estratificadas con intercalaciones de materiales blandos en los planos de estratificación; normalmente no se logra recuperar ninguna muestra de estos materiales teniéndose como único indicio de su presencia, el cambio de coloración en el agua de retorno.
- De las muestras obtenidas, se determinan los parámetros ya mencionados con anterioridad como son el R.Q.D. y el porcentaje de recuperación de las mismas.

"El número, tipo y profundidad de los sondeos que deben ejecutarse dependen de la complejidad geológica del sitio y de la-

importancia de la obra. Las condiciones geológicas, así como razones de tipo económico son las que ejercen más influencia en la elección del equipo de perforación, así como en la intensidad de su utilización, aunque no se deben olvidar factores como tipo de material, accesibilidad y topografía" (Krynine 1976, p. 266).

Es muy importante planear adecuadamente el número de perforaciones y la toma de muestras para obtener una información que de una representación exacta y verdadera de las condiciones del subsuelo, sobre todo si se tiene en cuenta el costo tan elevado de este tipo de exploraciones.

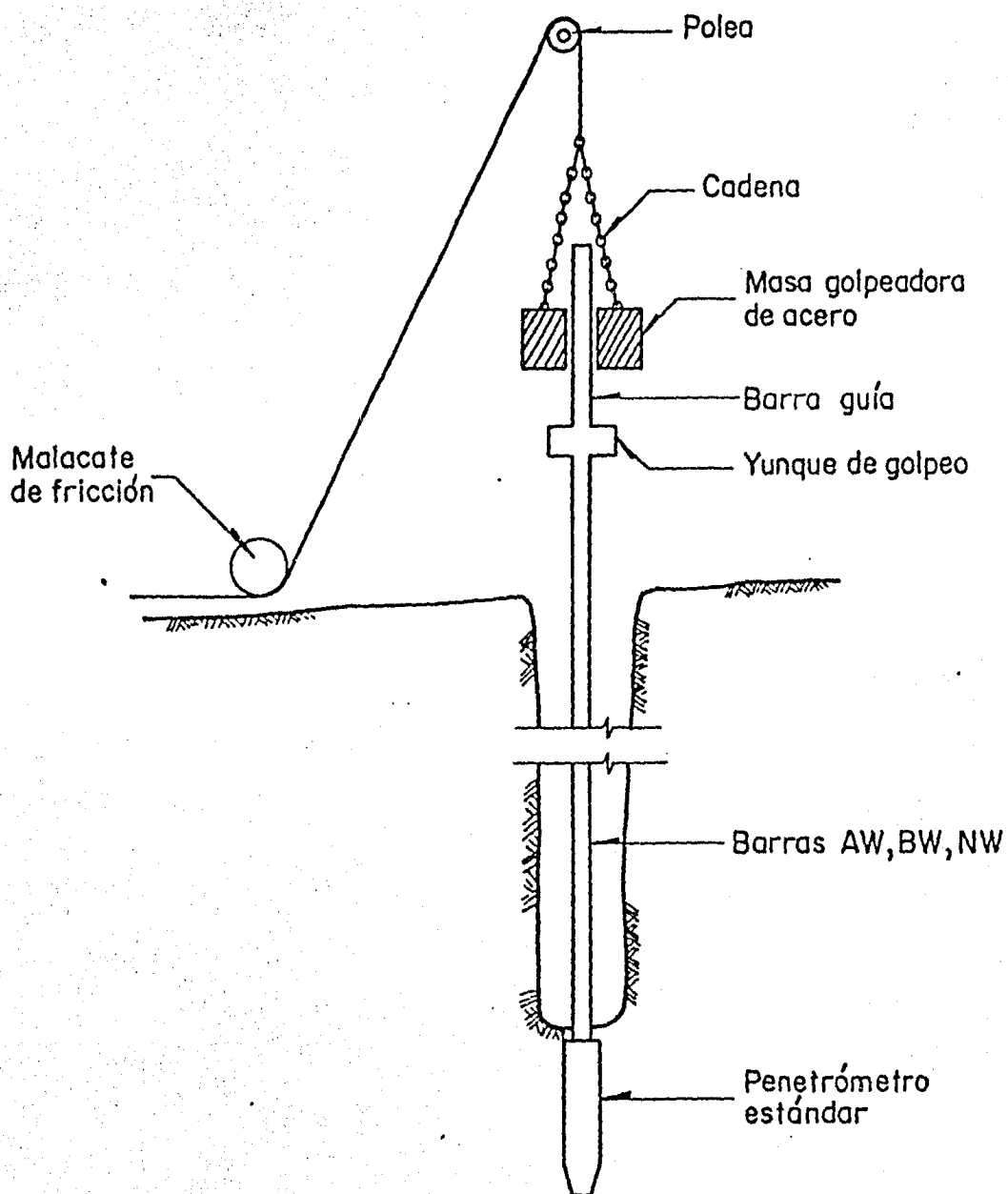
5.2.4.1. Métodos de Perforación.

Se describirán a continuación los métodos de perforación más utilizados en Geotécnia; estos consisten básicamente en tres:

- Percusión (dinámico)
 - Presión (estático)
 - Rotación
- Percusión: consiste en hincar en el terreno un penetrómetro por medio del impacto de una masa. El método más difundido es la prueba de penetración estándar. (Fig. 5.11).
- Presión: En este caso el penetrómetro se hinca directamente ejerciendo presión en el terreno. En este caso el penetrómetro holandés es el de uso más difundido (Fig. 5.12).
- Rotación: El motor está conectado a una cabeza de rotación que hace girar la tubería de perforación con una corona en su extremo inferior que corta, desmenuza y muele el terreno. (Fig. 5.13).

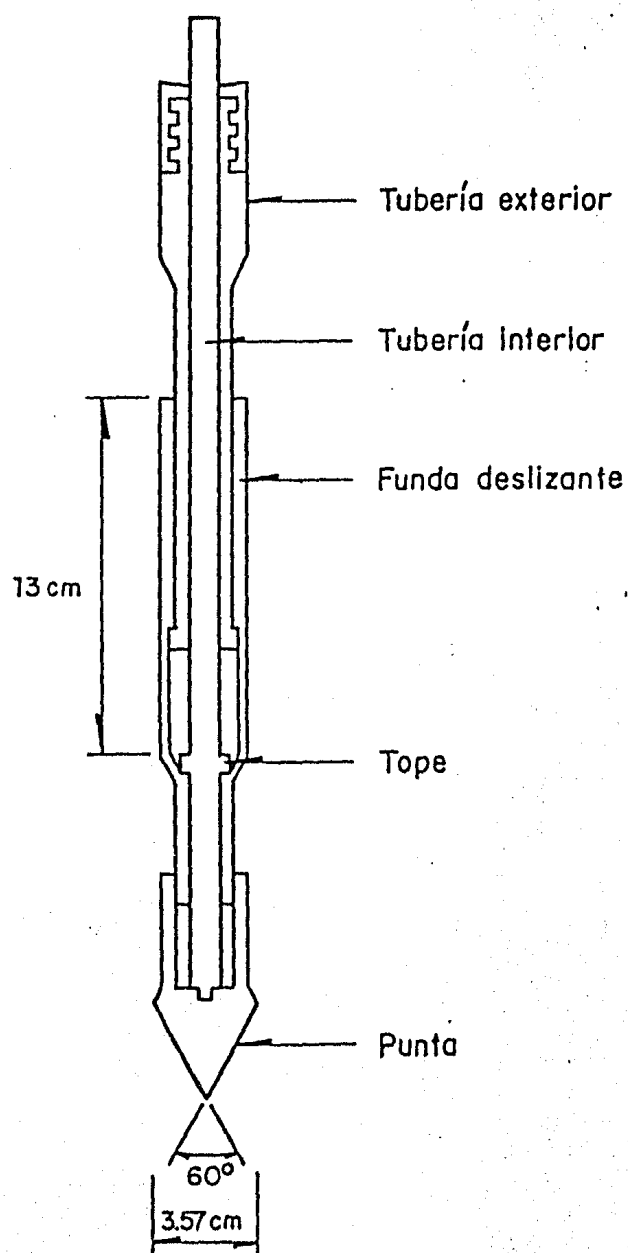
5.2.4.2. Muestreo

Fig. 5.11 Prueba de Penetración Estándar

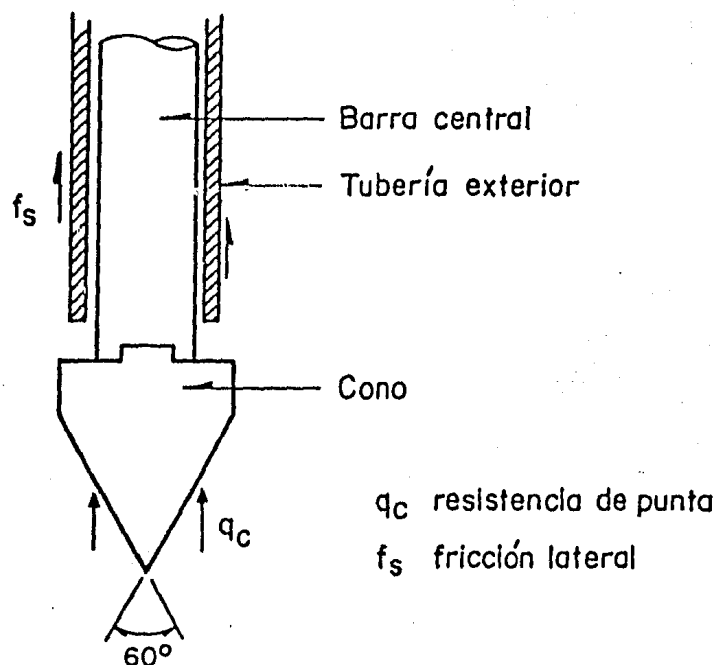


(de PEMEX, 1975)

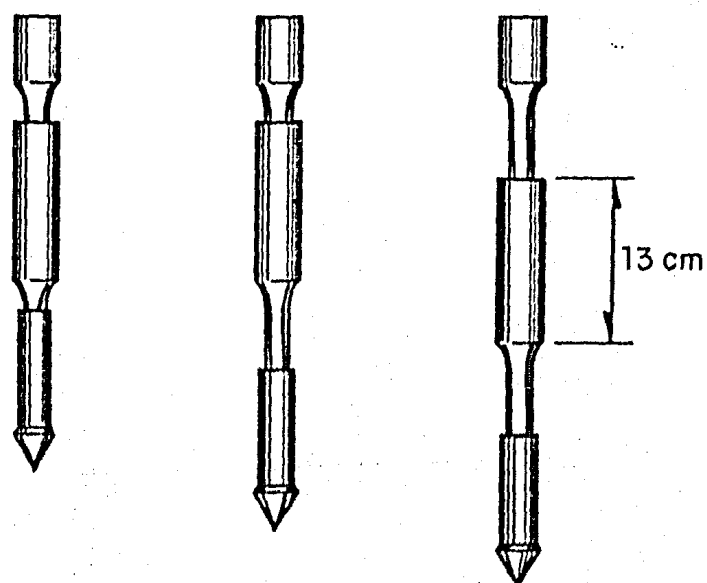
Fig. 5.12 Operación del Cono Holandés



a) Cono Holandés



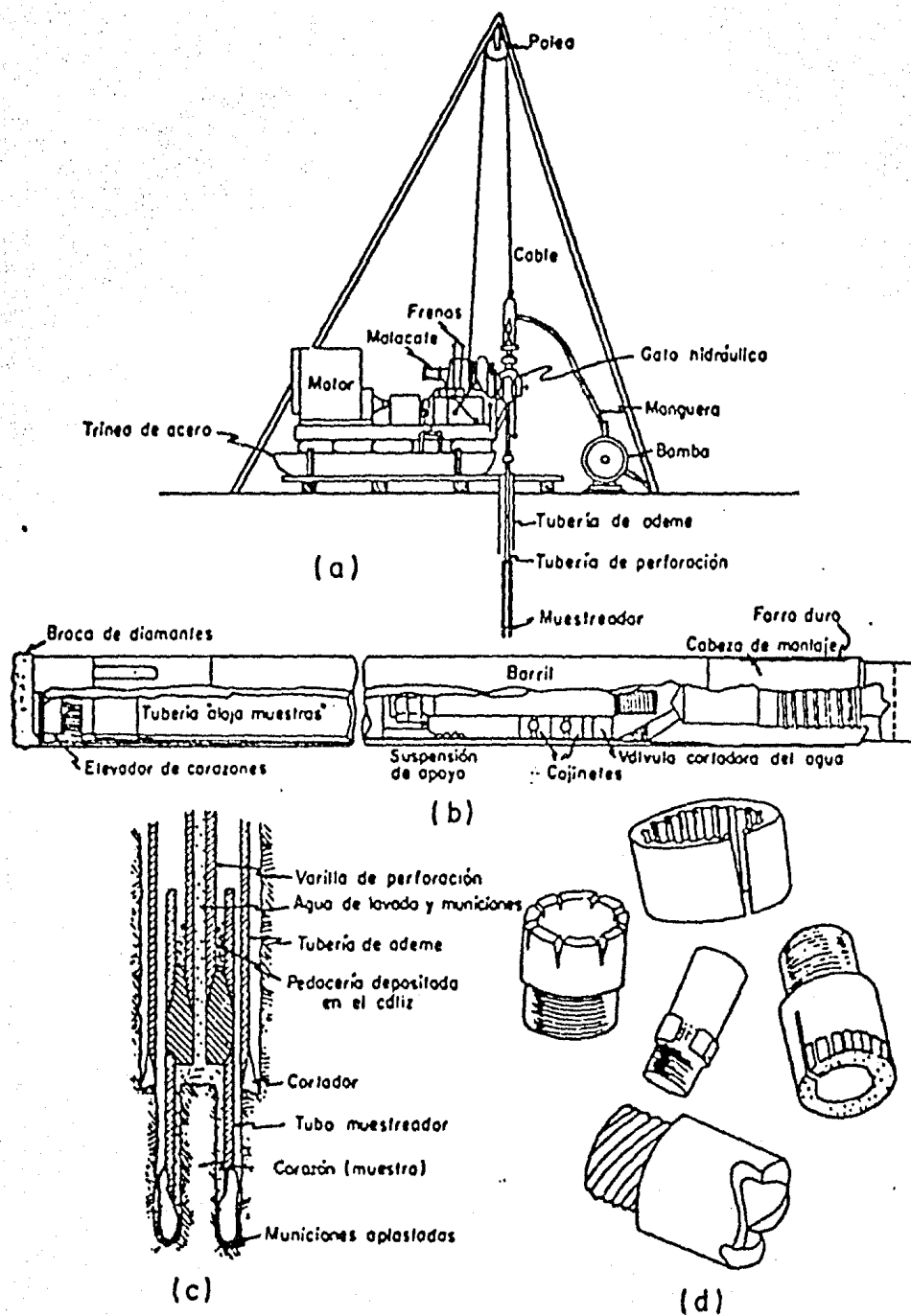
b) Cono de Penetración



c) Cono en Operación.

(Tomada del Manual de Diseño de Obras Civiles B.2.1)

Fig. 5.13 Equipo de perforación a rotación.



- a) Máquina perforadora
- b) Muestreador para broca de diamante
- c) Muestreador tipo cáliz
- d) Algunos tipos de brocas

(De Juárez Badillo y Rico R., 1975)

Los procedimientos de muestreo son las técnicas que se aplican para obtener especímenes alterados o inalterados a diferentes profundidades del subsuelo con los que posteriormente se realizan pruebas de laboratorio para conocer sus propiedades índice y mecánicas. (Capítulo 7).

De acuerdo con el Manual de Diseño de Obras Civiles, (B.2.1.) las muestras pueden ser alteradas o inalteradas:

Muestras alteradas: Son muestras cuyo acomodo estructural se pierde a consecuencia de su extracción; se utilizan en el laboratorio para identificar el tipo de suelo o roca que correspondan, realizar pruebas índice y someterlos a pruebas mecánicas.

Muestras inalteradas: Son muestras donde el material ha sido sujeto a una pequeña alteración y el contenido de humedad es conservado hasta el máximo posible. Son usadas para determinar propiedades físicas de los materiales, además de efectuar pruebas índice y mecánicas.

5.2.4.3 Muestreo en Suelos

A) Métodos de perforación con muestreo alterado o destructivos.

A.1) Métodos manuales y mecánicos

Las muestras obtenidas por medio de estos métodos son alteradas, pero son representativas del suelo en lo referente al contenido de agua (Juárez Badillo, p. 616), por lo menos en suelos muy plásticos.

Las herramientas más utilizadas son la pala posteadora, los barrenos helicoidales y las cucharas muestreadoras:

- Pala posteadora: Son muy usadas en México (ver Fig, 5.14);- esta se hace penetrar en el terreno ejerciendo un giro sobre la manija superior adaptada al extremo superior de la tubería de perforación.
- Barrenos helicoidales: Dependen del tipo de suelo a penetrar y son accionados por motor o manualmente; son utilizables solamente por arriba del nivel freático y donde no exista arcilla blanda o gravas gruesas que entorpezcan su avance. El principio de operación resulta evidente al ver la fig. 5.14 Un factor importante es el paso de la hélice que debe ser muy cerrado para suelos arenosos y mucho más abierto para el muestreo de suelos plásticos.
- Cucháras Muestreadoras: En la fig. 5.15 se muestran 2 tipos de cucharas muestreadoras, estas se montan en una barra maestra y se hacen girar gradualmente, mientras se golpea el fondo. Cuando la "cuchára" está llena se vacía simplemente volcándola. Se utilizan solamente por encima del nivel freático, y siempre que no se encuentren boleos es muy rápida

Las muestras obtenidas por medio de "cucharas" están más alteradas que las obtenidas con barrenos helicoidales y posteadoras; la razón es el efecto del agua que entra en la cuchara junto con el suelo, formando una seudosuspensión parcial del mismo. Estas muestras sólo son apropiadas para hacer clasificación del tipo de suelo.

A.2) Método de lavado

Consiste en perforar con una columna de tubos que llevan en la parte inferior un trépano en forma de punta, cola de pescado, cincel o cruz, con orificios que permiten la salida del fluido de perforación (Fig. 5.16). La acción combinada de percusión y de chiflón permite cortar el material, que es llevado a la superficie por el fluido de perforación, el cual-

puede ser agua o lodo (Manual de Pemex p. 29). El equipo que se requiere se muestra gráficamente en la fig. 5.17.

Este procedimiento de muestreo es utilizable en arenas no muy cementadas con pocas y pequeñas gravas y en suelos cohesivos abajo del nivel freático, en suelos inestables se puede utilizar ademe metálico o lodo para mantener las paredes de la perforación.

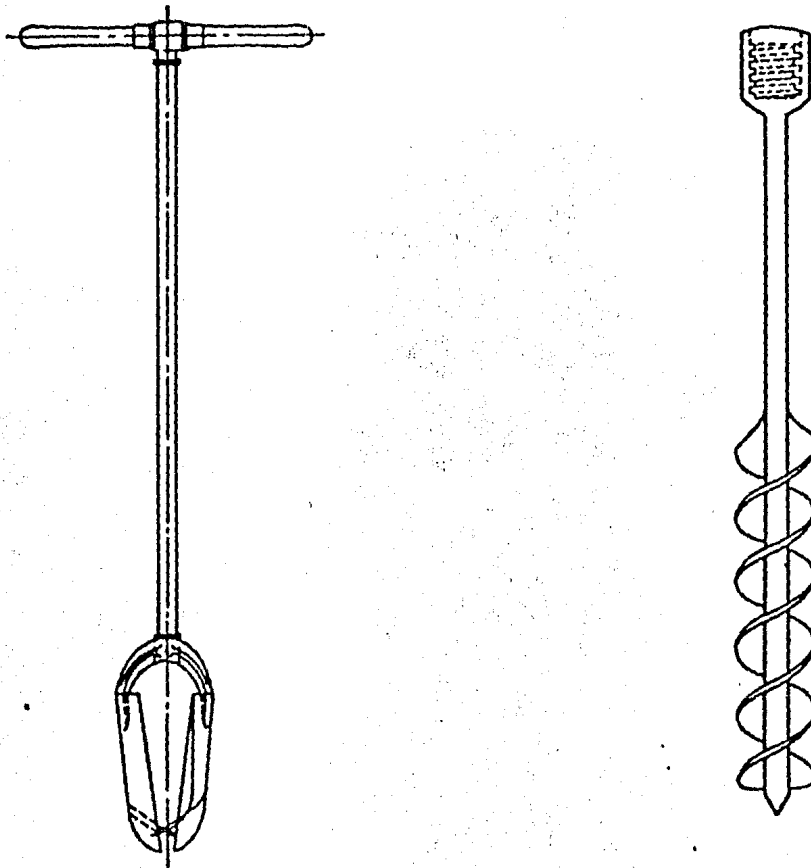
Es de los métodos más utilizados en la exploración de suelos ya que el equipo empleado es ligero y puede transportarse a sitios de difícil acceso. "Es el procedimiento más rápido y económico para conocer aproximadamente la estratigrafía del suelo". (Juárez Badillo et. al. 1975, p. 618). Se usa también como ayuda para avanzar con mayor rapidez en otros métodos de perforación. Se aplica en aquellos sitios localizados en el litoral que van a ser objeto de dragado o bien de hincado de pilotes.

A.3) Penetración Estándar (dinámica).

Este método consiste en hincar en el terreno un penetrómetro o muestreador por medio de percusión, obteniendo así muestras alteradas representativas del suelo, se utiliza principalmente en arenas y en suelos limo-arenosos.

La prueba consiste en introducir en el terreno por medio de golpes un penetrómetro colocado en el extremo de la tubería de perforación. Los golpes son proporcionados por un martinete de 64. Kg. que cae desde una altura de 76 cm; es necesario contar el número de golpes requeridos para que penetre los 30 cm. intermedios. Después de penetrar 60 cm. se saca el penetrómetro y se extrae la muestra de él.

Fig. 5.14 herramienta manual de Perforación.

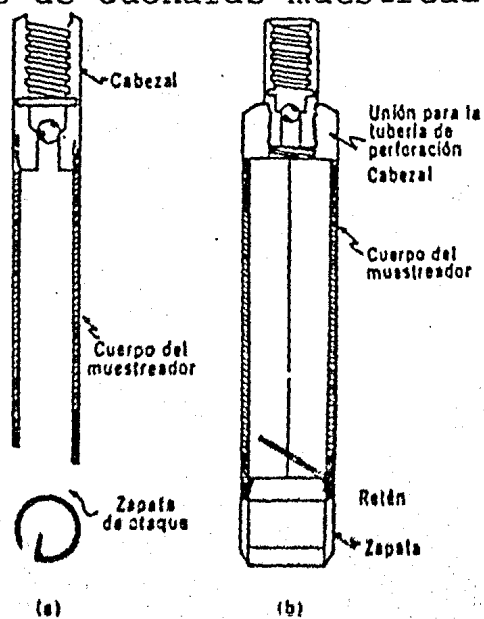


a) Pala posteadora

b) Barrena helicoidal

(Del Manual de Diseño de Obras Civiles B.2.1., 1979)

Fig. 5.15 Tipos de cucharas muestreadoras



(De Juárez Badillo y Rico R., 1975)

Fig. 5.16 Tipos de Trépanos utilizados en el método de lavado.

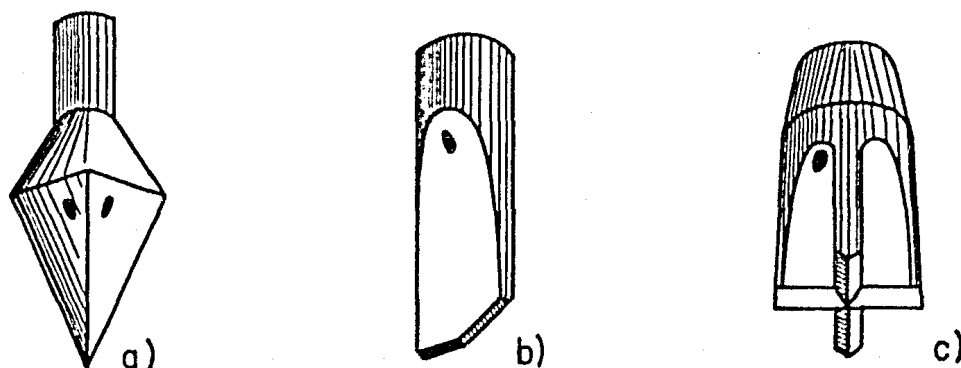
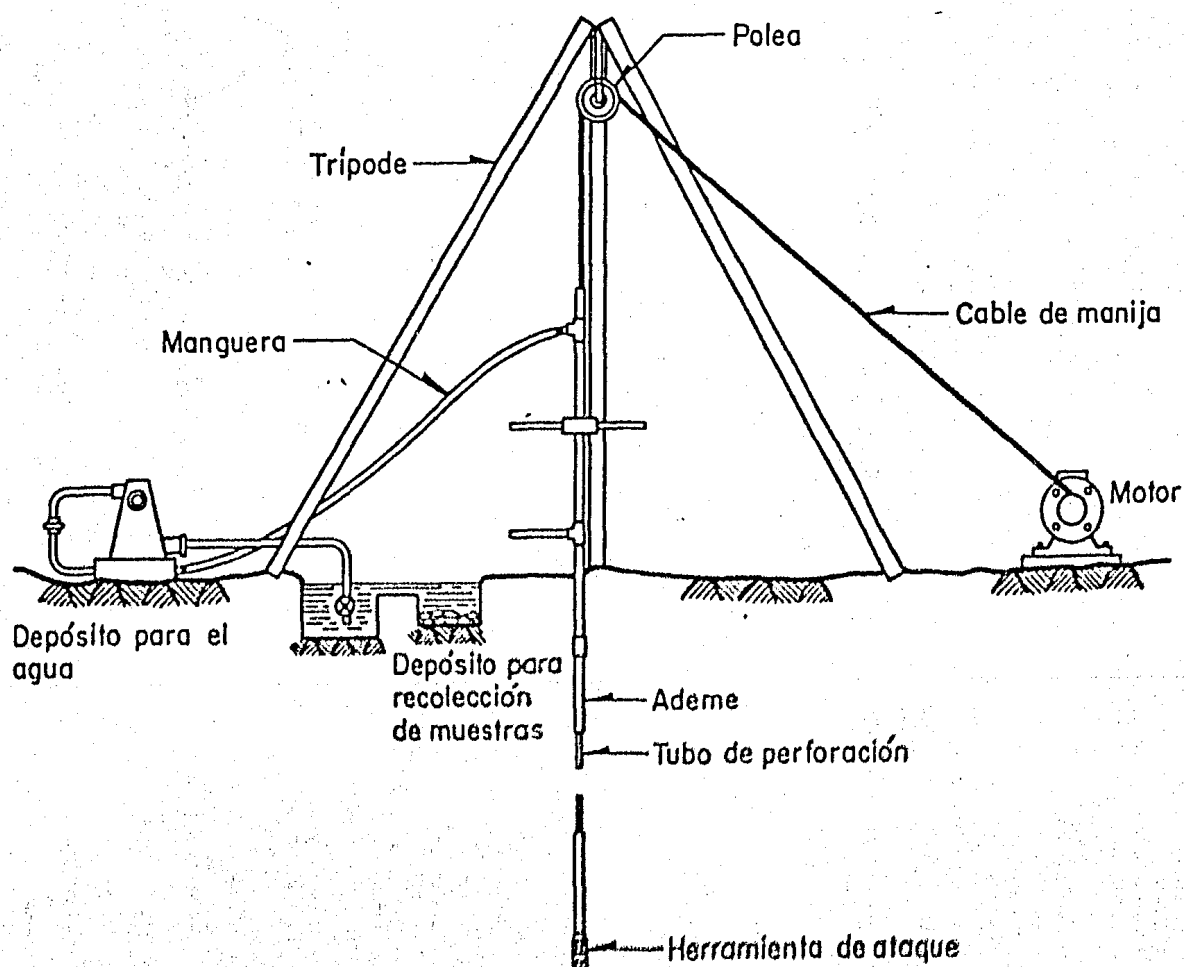


Fig. 5.17 Equipo necesario en el método de lavado.



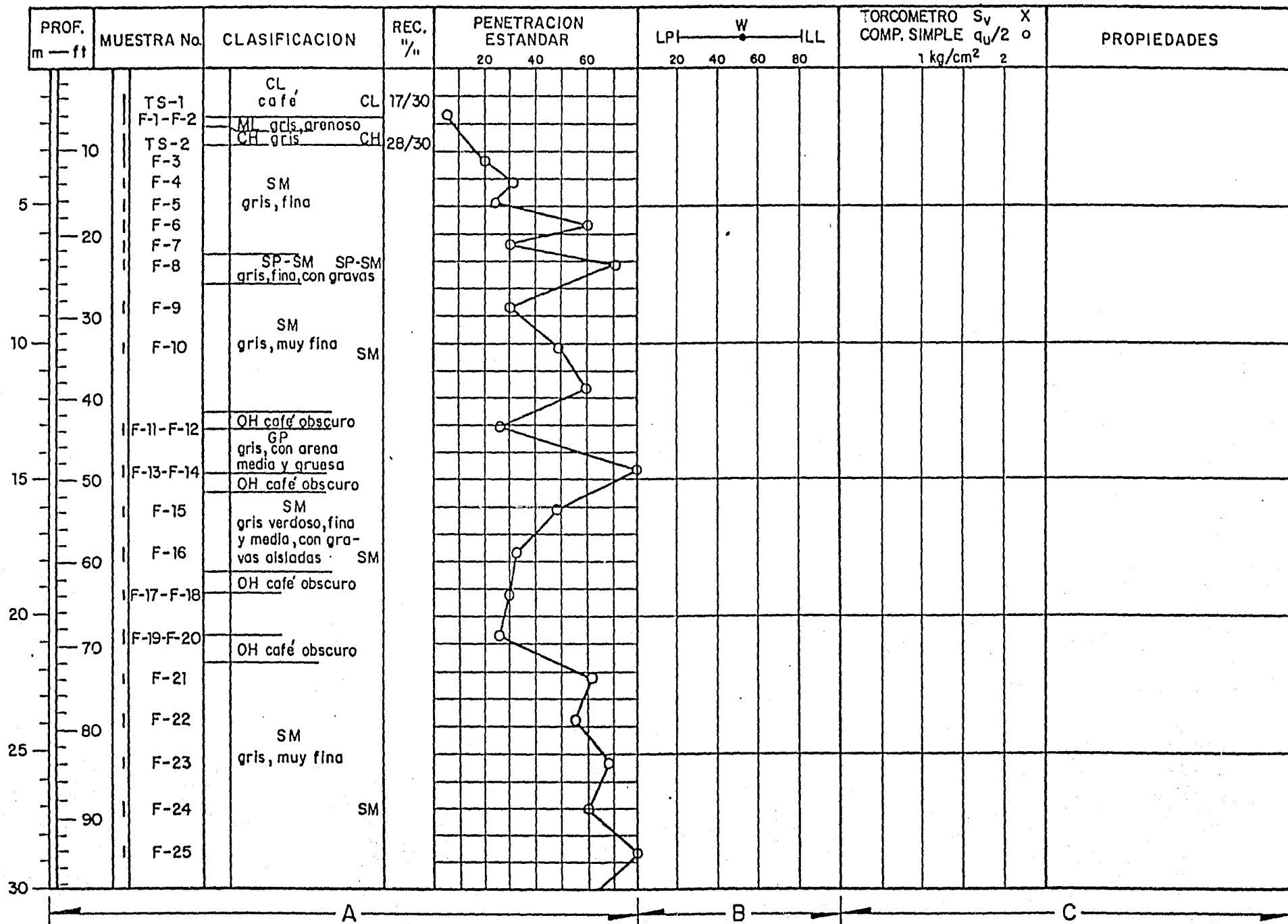
El muestreador o penetrómetro estándar debe ser de dimensiones establecidas, pudiendo ser un tubo liso entero ó de media caña, el cual está partido longitudinalmente, para facilitar la extracción de la muestra. La zapata por donde se introducirá la muestra es de acero endurecido y es sustituible. La válvula de la cabeza funciona evitando que salga la muestra.

Es conveniente realizar esta prueba en cada estrato importante. Después de sacar el muestreador, es conveniente efectuar una ampliación del pozo de perforación con métodos rotatorios para evitar fricciones excesivas en el tubo.

La interpretación de la prueba se realiza elaborando un perfil en el que se confrontan el número de golpes con la profundidad, este perfil acompañado de la clasificación de los suelos, el contenido de agua y otras propiedades, permitirá la determinación de la estratigrafía del sitio (ver Fig. 5.18a)

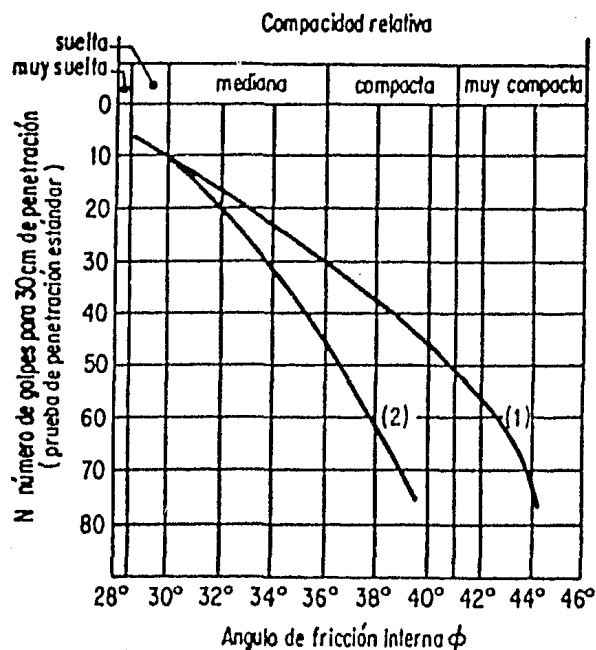
La utilidad e importancia de la prueba de penetración estándar radica en las correlaciones encontradas en el campo y el laboratorio en diversos suelos, que permiten relacionar -- aproximadamente la compacidad y el ángulo de fricción interna ϕ , en arenas y el valor de la resistencia a la compresión simple, que, en arcillas, con el número de golpes necesarios en ese suelo para que el penetrómetro estándar logre entrar los 30 cm especificados. La fig 5.18 b representa resultados experimentales que demuestran que el número de golpes corresponde a diferentes compacidades relativas, según sea la presión vertical actuante sobre la arena, la cual, a su vez, es función de la profundidad a que se haga la prueba.

En arcillas las correlaciones no son del todo confiables pues hay mucha dispersión y deben usarse con cuidado. Para pruebas en arcillas, Terzaghi y Peck, 1955, dan la correlación que se presenta a continuación:

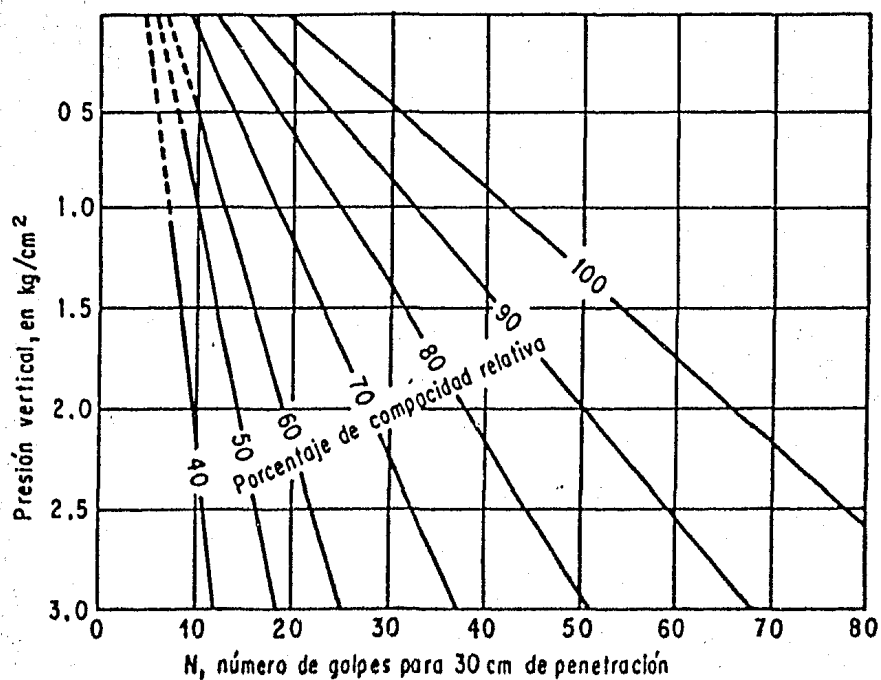


PEMEX PERFIL ESTRATIGRAFICO	FECHA DE EJECUCION	EQUIPO PERFORACION	SUPERVISOR	FECHA LABORATORIO	REVISO
	SONDEO	X=	X=	Z=	HOJA

Fig. 5.18.a Gráfica de una prueba de Penetración Estándar.



- (1) Relación para arenas de grano anguloso o redondeado de mediano a grueso
- (2) Relación para arenas finas y para arenas limosas



(De Juárez Badillo, 1975).

Fig.5.18.b Correlaciones más utilizadas para interpretar la prueba de penetración estándar.

CONSISTENCIA	NO. DE GOLPES (N)	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE (qu) Kg/cm ²
Muy blanda	< 2	< 0.25
Blanda	2-4	0.25-0.50
Media	4-8	0.50-1.0
Firme	8-15	1.0 -2.0
Muy firme	15-30	2.0 -4.0
Dura	> 30	> 4.0

A:4 Barrena tricónica.

Consiste en perforar mediante una columna de tubos en cuya parte inferior lleva una broca tricónica o una broca drag- (Fig. 5.19). Para enfriar la broca y arrastrar el material -- cortado a la superficie se inyecta agua o lodo.

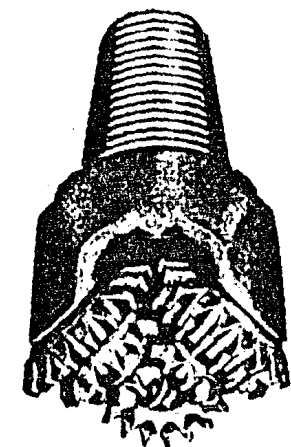
Se requiere una máquina de perforación rotaria que generalmente va montada en un camión (Fig.5.20) . Para realizar - la perforación se aplica carga axial y rotación, inyectando - agua o lodo fluido de perforación en excavaciones sobre el nivel freático; abajo de este nivel puede usarse agua o lodo según sea la condición de estabilidad de las paredes.

El método de rotación con agua o lodo es aplicable en casi todos los terrenos; en suelos granulares se utilizan lodos densos ó ademes metálicos para estabilizar las paredes de la perforación.

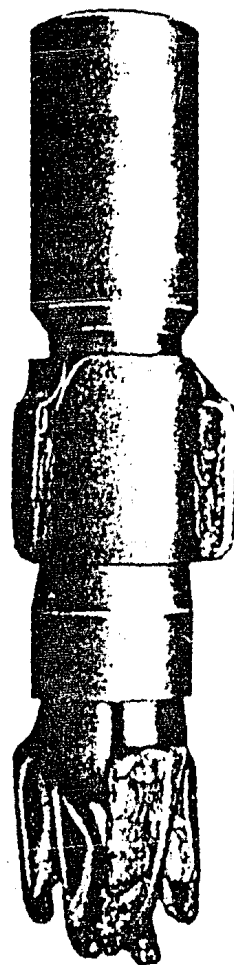
B) Métodos de Perforación con muestreo inalterado

Debe tenerse muy en cuenta que de ningún modo y bajo ninguna circunstancia puede obtenerse una muestra de suelo que - pueda ser rigurosamente considerada como inalterada. En efec- to, siempre será necesario extraer la muestra de suelo por me

Fig. 5.19 Tipos de brocas utilizadas en el método de rotación

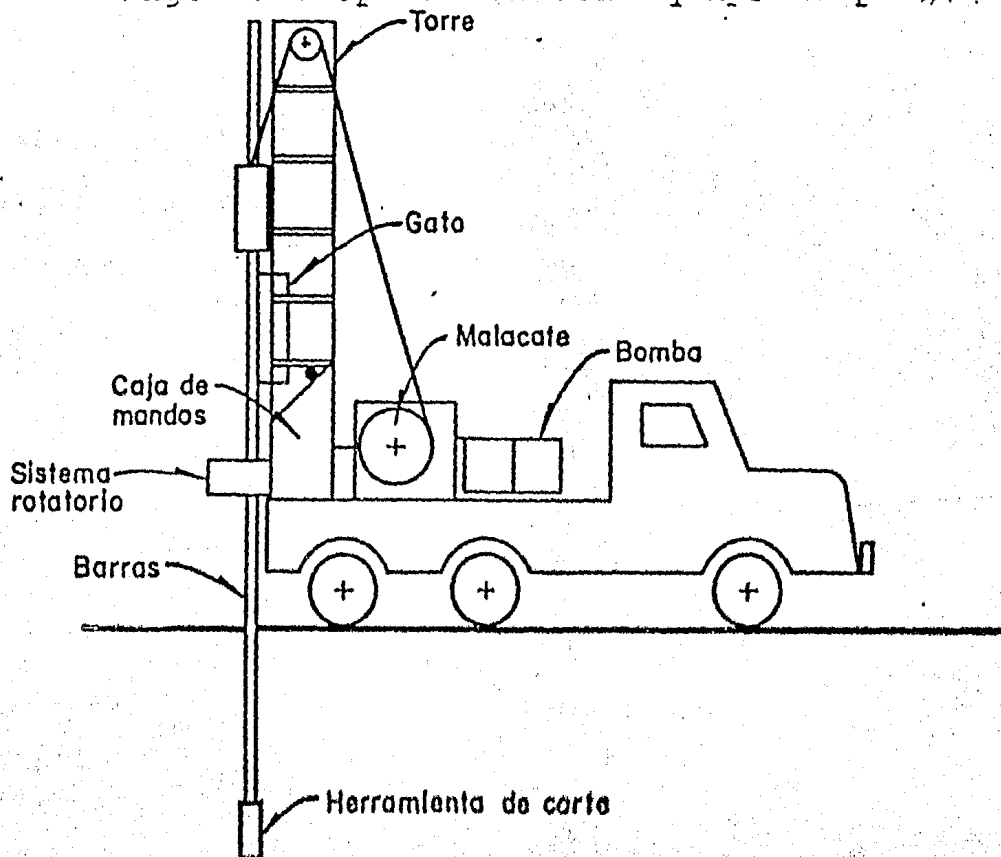


Broca tricónica



Broca Drag

Fig. 5.20 Operación del equipo de perforación a rotación



(de PEMEX, 1975)

dio de herramientas que alteran el estado de esfuerzos en el - que se encuentra sujeto, así como el contenido de agua (al permitir evaporación), etc.

Por lo anterior, cuando se hable de muestras "inaltera---das", se debe entender en realidad como un tipo de muestra obtenida por cierto procedimiento que trata de hacer mínimos los cambios en las condiciones de la muestra "in situ", sin interpretar la palabra en su sentido literal.

B.1) Tubo de pared delgada (Shelby)

Actualmente existe una gran variedad de modelos de tubos de pared delgada y es frecuente que cada institución especializada desarrolle el suyo propio.

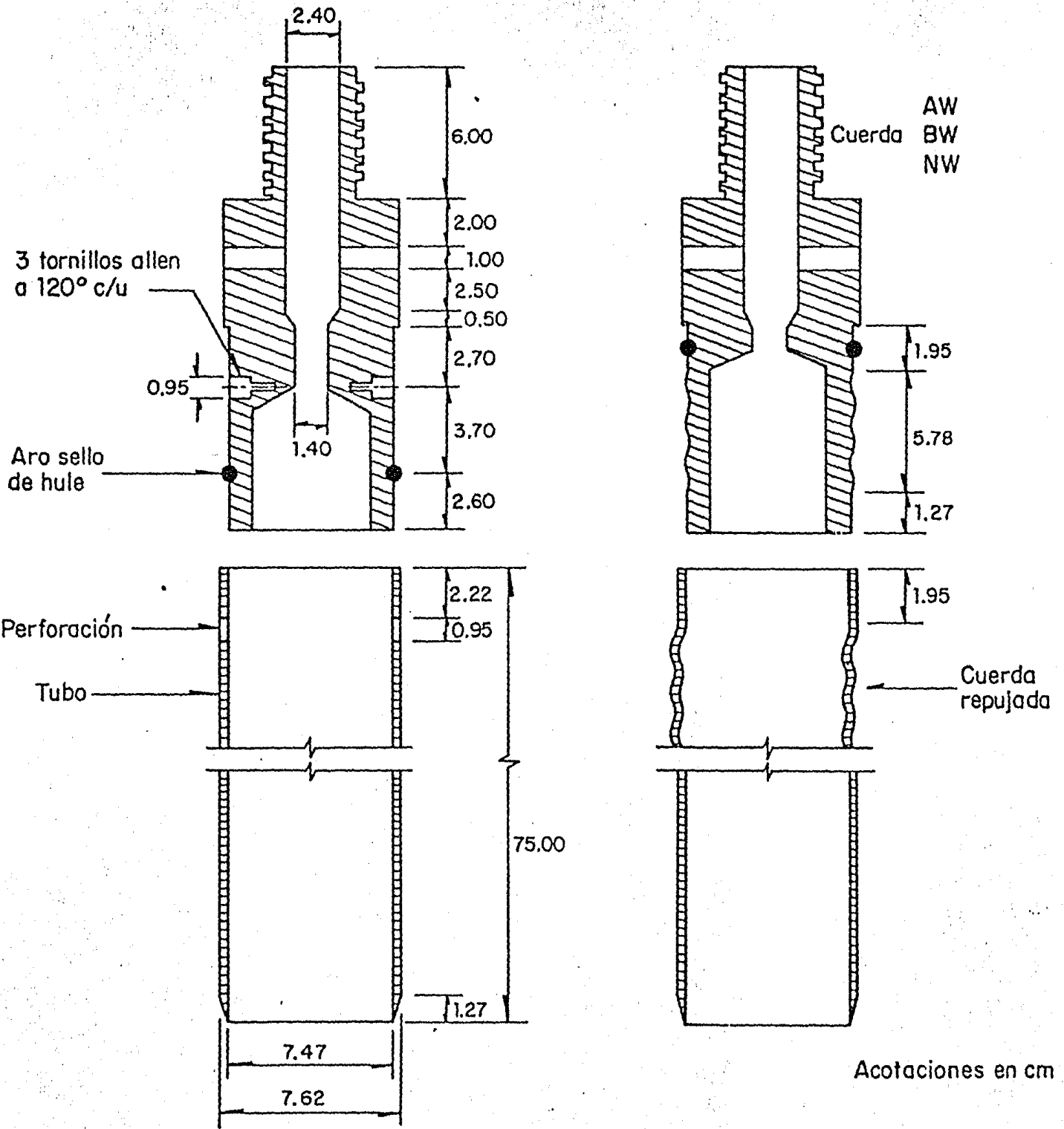
De manera general consisten en un muestreador que se ator- nilla en la parte inferior de la tubería de perforación. El -- muestreador es un tubo de acero o latón de diámetro exterior - variable entre 7.5 a 10 cm, de espesor máximo de 1.5 mm. y lon- gitud entre 80 cm y 1 m. Es común cortarlo longitudinalmente - al extraer la muestra cuidando así el efecto de fricción late- ral.

Se hinca el muestreador ejerciendo una presión continúa - de una manera lenta, a una velocidad constante entre 15 y 30 - cm/seg; se hace reposar un cierto tiempo aumentando así la ad- herencia, y después se gira el muestreador para cortar la base de la muestra y extraerla. En la (Fig. 5.21) se muestra un es- quema del tubo Shelby.

Este tipo de muestreador se utiliza principalmente en sue- los cohesivos blandos o semiduros, sin importar que se locali- cen encima o debajo del nivel freático.

B.2) Muestreador Denison

Fig. 5.21 Tubo de Pared Delgada (Shelby).



Unión con tornillos allen

Unión con cuerda

(Tomada del Manual de Diseño de Obras Civiles B.2.1)

Como se indica en la Fig. 5.22 , el muestreador consiste en 2 tubos concéntricos, en el interior que se hinca a presión, se rescata la muestra de suelo; mientras que el exterior, con la broca de corte en su extremo gira y corta el suelo que lo rodea. Para operar este muestreador se hace circular fluido de perforación entre los 2 tubos.

Los detritos son expulsados del pozo por el agua inyectada entre los 2 tubos, la que además realiza la función de enfriar la broca. Según el Manual de Diseño Obras Civiles (1979 B.2.1) la cabeza del muestreador tiene una tuerca de ajuste que controla la posición relativa entre ambos tubos; de esta manera el tubo interior penetra en el suelo antes que la broca, protegiendo de esta forma a la muestra de la erosión y contaminación que le pueda ocasionar el fluido de perforación.

Según el manual de Pemex (1975, pág. 69) es importante variar la distancia entre el tubo interior y la broca de acuerdo con el tipo de suelo, como se anota en la siguiente tabla:

S U E L O	d (cm)
Blando	2
Duro	0.5
Muy duro	0 ó menos (remetido en el tubo interiores)

Este muestreador se emplea preferentemente en arcillas duras, limos compactados y en arenas algo cohesivas en donde otros muestreadores no pueden penetrar.

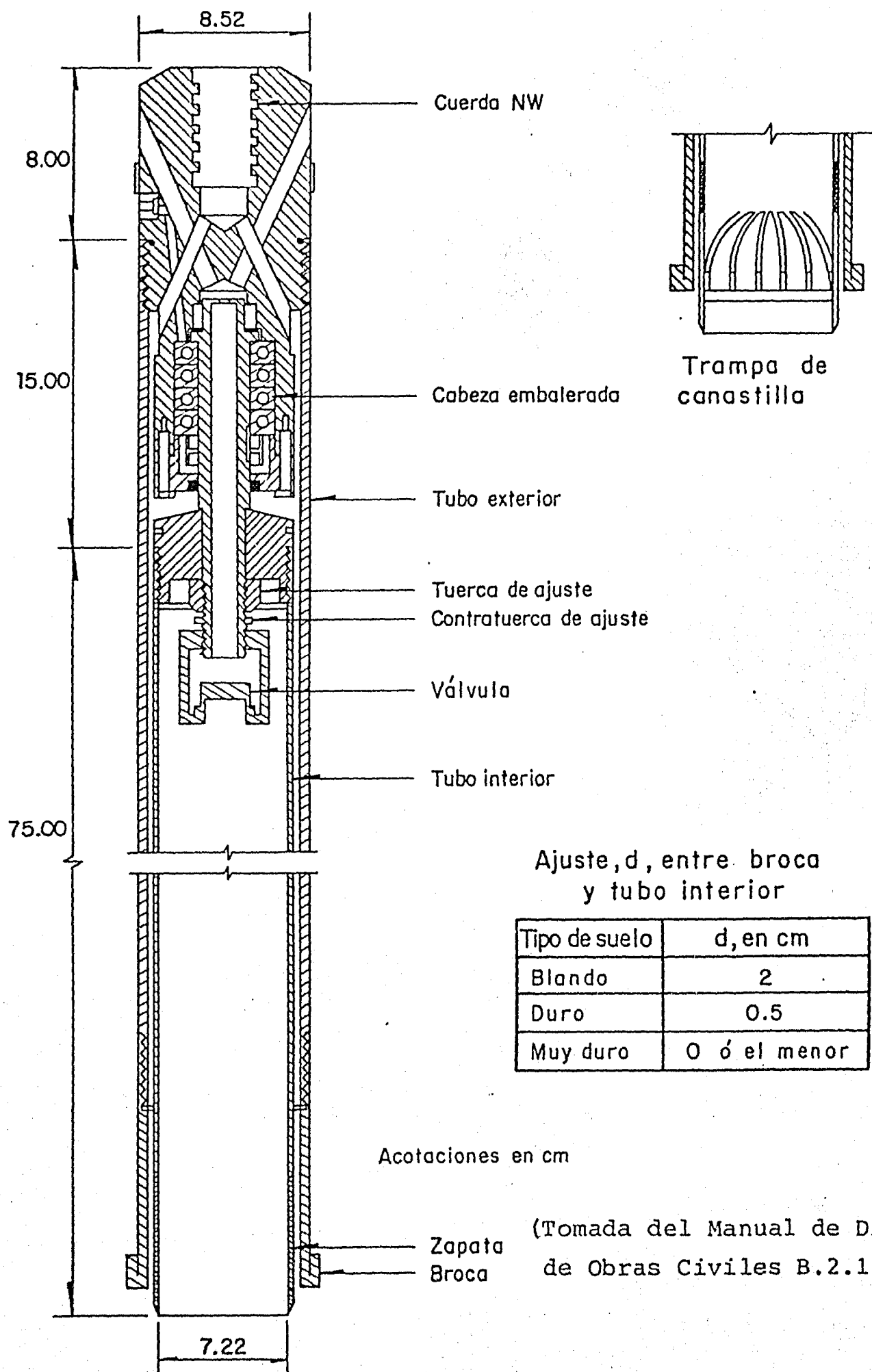


Fig. 2.22. Muestreador Denison

B.3) Muestreador Pitcher

Es similar al Denison excepto porque la posición del tubo interior se regula con un resorte axial; mientras que el exterior, con la broca de corte en su extremo, gira y corta el suelo alrededor. (ver Fig. 5.23). Su operación requiere -- también de fluido de perforación.

Es de utilidad en suelos de diferentes durezas y espesores, pues en suelos blandos funciona como un tubo Shelby y en suelos duros como un muestreador Denison logrando así buena calidad de muestras.

5.2.4.4. Muestreo en Rocas

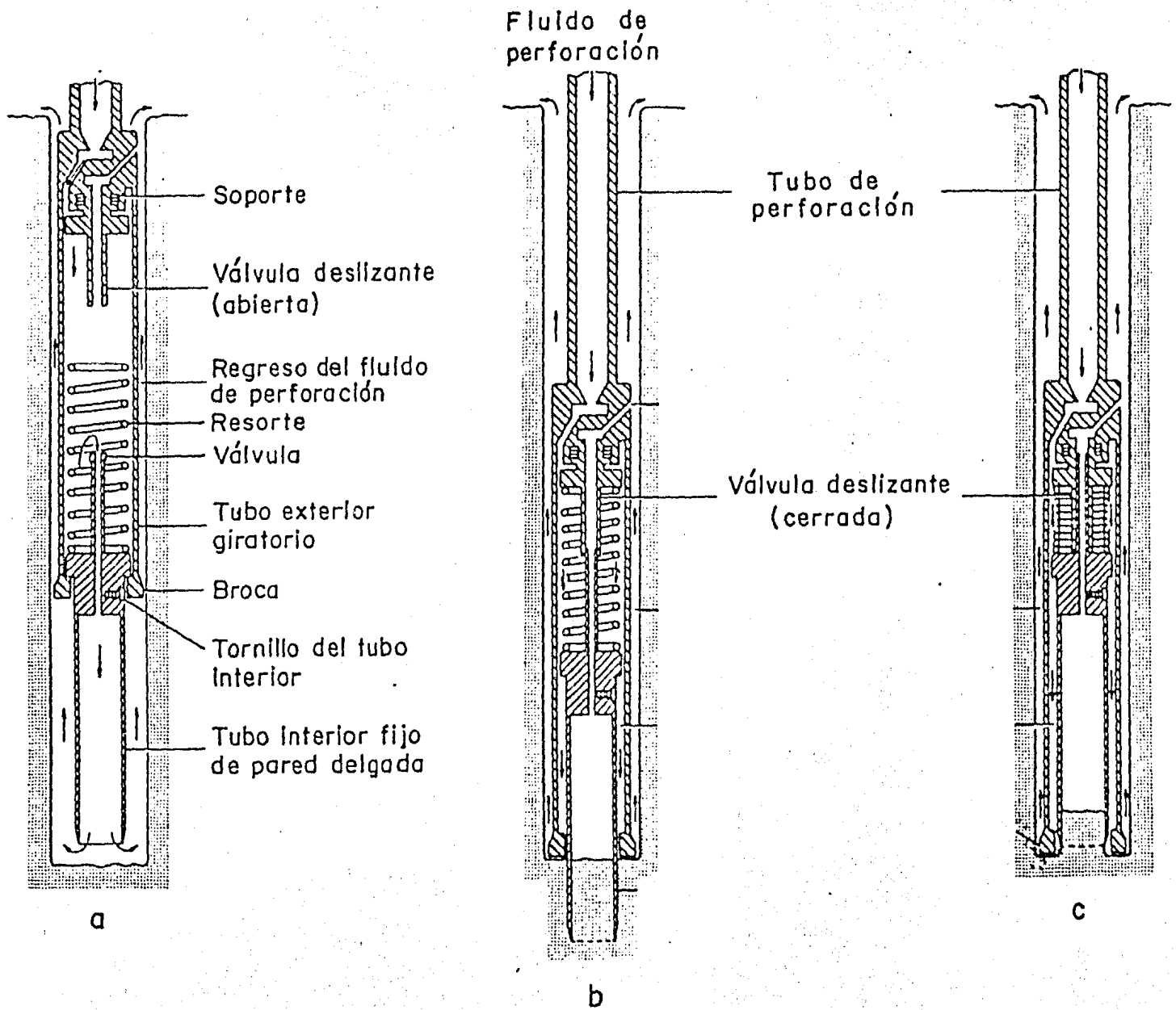
En la exploración geotécnica, es común realizar la perforación y muestreo simultáneamente usando barriles muestreadores; estos consisten en tubos que llevan en su extremo inferior una broca que puede ser de varios tipos: de diamante, de carburo de tungsteno, de acero duro o del tipo cálix.

En la Fig. 5.13 se muestra el equipo para muestreo en roca incluyendo una máquina de perforación rotatoria, algunos tipos de barriles y brocas.

El éxito de una perforación rotatoria, depende del equilibrio de tres factores: velocidad de rotación, presión del agua y presión sobre la broca.

La velocidad de rotación va a variar de acuerdo a la dureza de la roca por atacar y el diámetro de la broca, como se indica en la tabla siguiente:

5.23 Muestreador Pitcher



(del Manual de Diseño de Obras Cíviles B.2.1.)

Dureza de la Roca	Velocidad de Rotación	Velocidad Tangencial (m/seg)	Velocidad Rotación (RPM)	
			Diámetro N.	Diámetro B.
Muy Dura	Alta	4.0	1000	1250
Dura	Media	2.1	550	650
Blanda	Baja	1.2	300	350

De acuerdo con el Manual de PEMEX (1975 pág. 81) el gasto de agua o de lodo inyectado en forma continúa con el objeto de arrastrar el material cortado y de enfriar la broca debe ser de 0.3 a 0.6 m/seg. según sea la dimensión del espacio anular y considerando que se trate de agua y que el tamaño medio de los fragmentos sea de 1 mm.

La presión que se ejerza sobre la broca depende de la dureza de la roca, el número de diamantes que tiene la broca y la fuerza que pueda aplicarse a cada diamante.

El equipo de perforación rotatorio trabaja usualmente en cuatro diámetros, en la tabla 5.1 aparecen sus dimensiones usuales y sus nombres típicos.

TABLA 5.1

Broca	Diámetro Exterior del Ademe		Diámetro Exterior de la Broca		Diámetro interior de broca	
	mm	plg.	mm	plg.	mm	plg.
EX	46	1 13/16	37.5	1 15/32	20.5	27/32
AX	57	2 1/4	47.5	1 7/8	20.5	13/16
BX	73	2 7/8	51.5	2 11/32	42	1 21/32
NX	89	3 1/2	75.5	2 61/64	55	2 5/32

En la exploración con fines geotécnicos es recomendable utilizar -- el barril doble giratorio (ver inciso 5.2.4.4. 1.B) y obtener muestras NX de 54 mm de diámetro, ya que a mayor diámetro la calidad del muestreo se incrementa, particularmente en rocas fracturadas.

5.2.4.4. 1 Muestreadores Convencionales

En la figura 5.24 se muestra los barriles sencillo, doble rígido y doble giratorio que pueden ser utilizados en rocas semiduras a duras, de acuerdo con el Manual de Diseño de Obras Civiles (1979, B.1.4)

A) Barril simple o sencillo: Es el más rudimentario y por tanto el más barato de los muestreadores. Es útil en los trabajos de inyección y anclaje, cuando solo interesa el barrenado producido. Para muestreo tiene la inconveniencia de que el fluido de perforación está en contacto directo con la muestra, originándole torsiones y erosión del agua que provoca roturas y despredimiento del material que la forma.

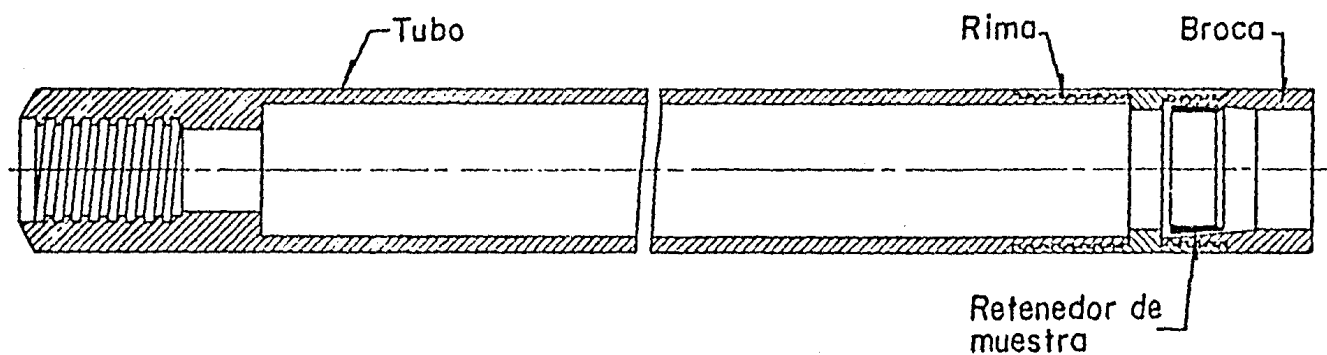
b) Barril Doble: Con este se elimina la acción erosiva del fluido de perforación y se obtiene un mayor porcentaje de recuperación de muestra que con el sencillo. Consiste esencialmente de un tubo exterior y uno interior en donde se recupera el núcleo; se fabrica en dos tipos:

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

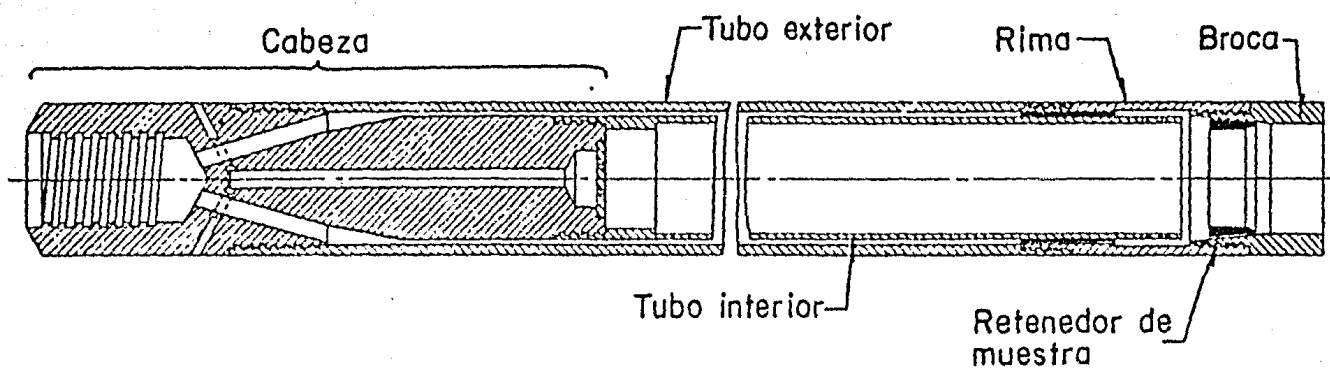
*Barril doble giratorio: En este caso el mecanismo, permite al tubo interior permanecer estático, eliminando así los esfuerzos de torsión que se presentan en los anteriores, por lo cual se tiene una muestra con la menor alteración posible por lo que es el más recomendable en exploración geotécnica.

5.2.4.4.2 Muestreadores no Convencionales.

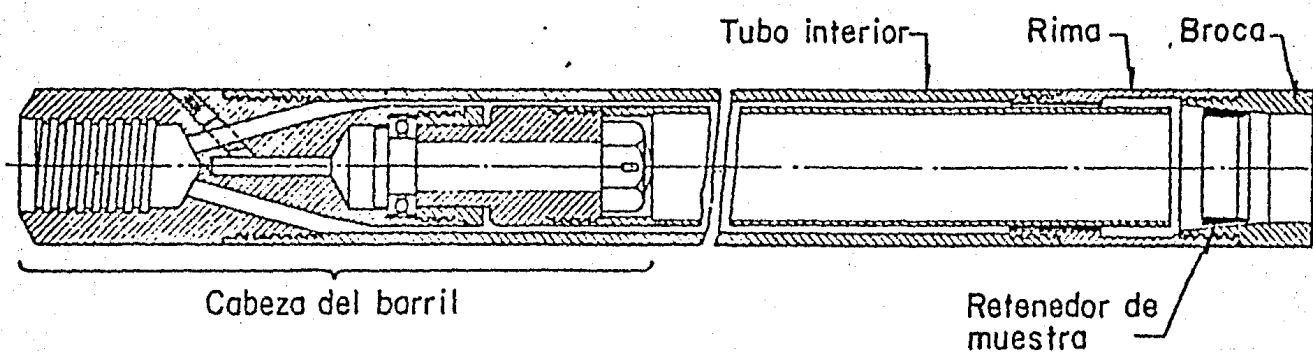
Fig. 5.24 Barriles Muestradores Convencionales



Barril simple



Barril doble rígido



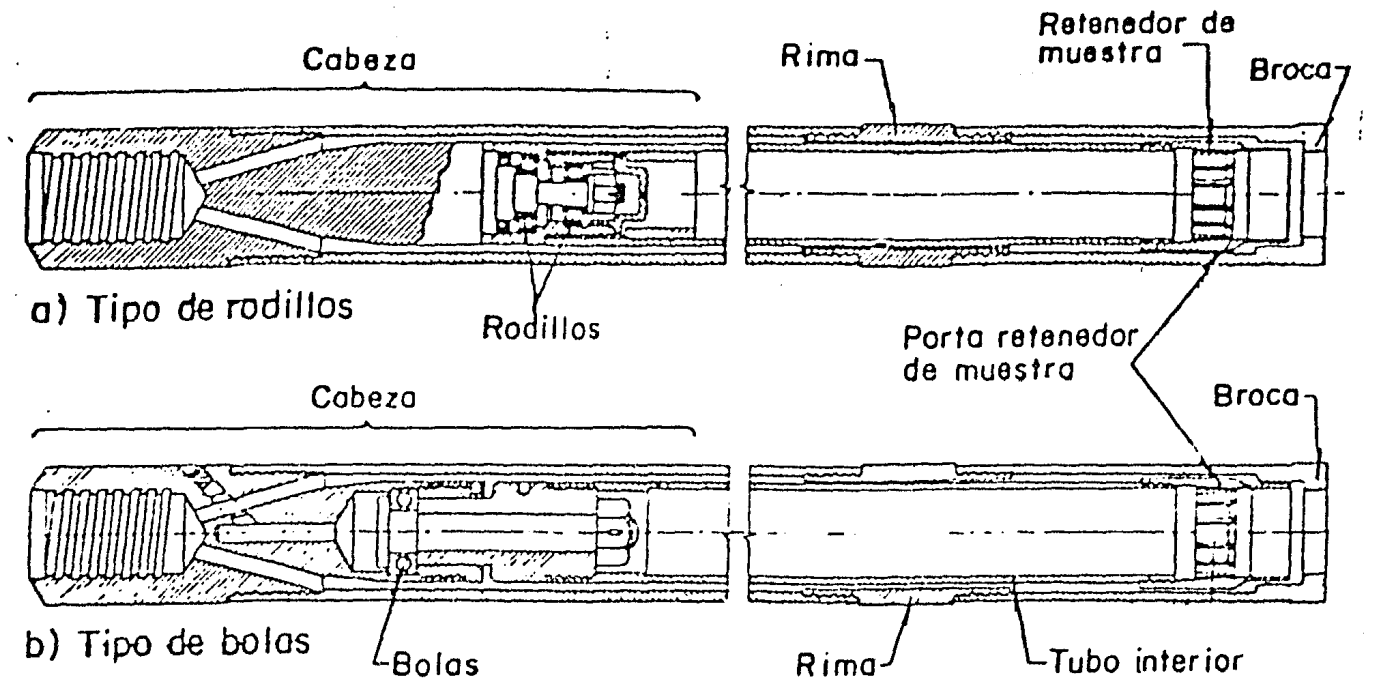
Barril doble giratorio

(Tomada del Manual de Diseño
de Obras Civiles B.1.4)

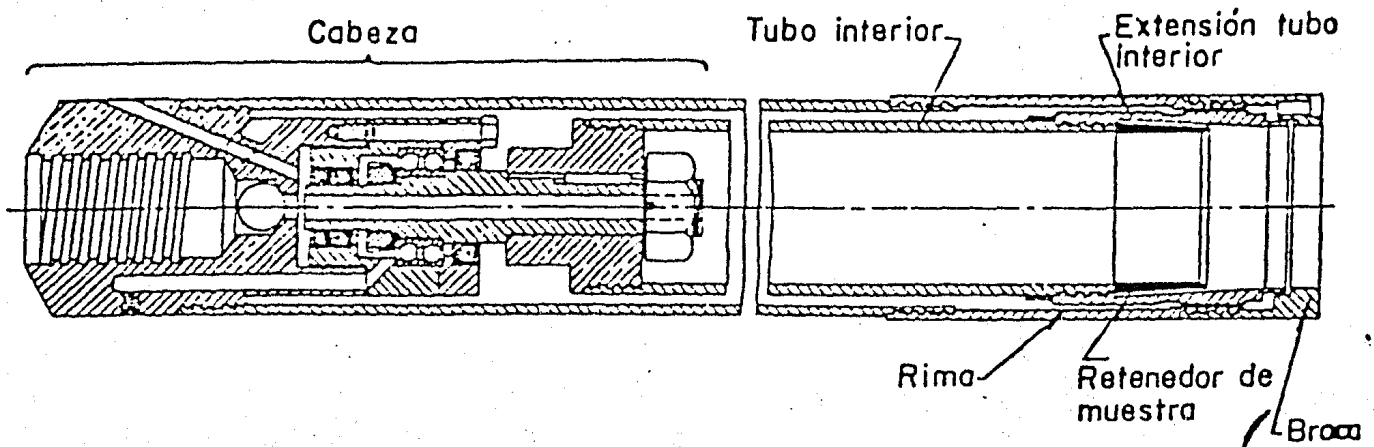
A) Serie M: Este grupo de barriles muestreadores desarrollado por Sprage and Henwood, Inc. se diferencia básicamente de los convencionales porque tiene una extensión de tubo interior -- que llega casi hasta la broca, con lo cual se logra que el -- fluido de perforación entre en contacto sólo con una pequeña -- parte de la muestra antes de que esta penetre el tubo inte--- rior. Para este grupo se tienen dos tipos como se muestra en la figura 5.25. Son útiles en la extracción de muestras de materiales fácilmente erosionables.

b) Serie XL: Este diseño desarrollado por Long year, Co. introduce arriba del sistema de baleros axiales una válvula de hule, lo suficientemente blanda para expanderse al recibir un - bloqueo en el tubo interior; en las formaciones fracturadas, - al deslizarse un fragmento de roca con el tubo contiguo origina un bloqueo que impide la entrada de la muestra en el tubo interior; esto es suficiente para que empuje el tubo interior hacia la cabeza del barril, originando que la válvula produzca el cierre de la circulación del fluido de perforación, lo que es avisado al operador en el manómetro de la bomba, procediendo de inmediato a retirar su barril del fondo del barreno, para liberar el bloqueo, eliminando al máximo la pérdida de muestra y elevando la eficiencia en la perforación. Su -- uso tiene resultados óptimos en barrenas verticales, de formaciones suaves o muy fracturadas.

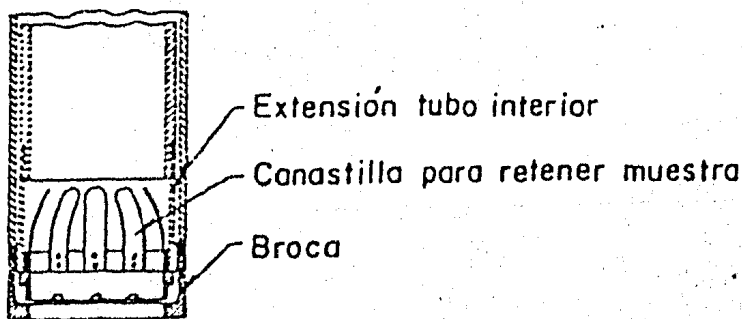
c) Wire Line: Su diseño utiliza las modificaciones de los barriles M y L además de la utilización de un anillo centrador que permite la perforación en cualquier ángulo hasta el horizontal, evitando la desviación del tubo interior por efecto - de la gravedad; y un sistema de seguros que permite la extracción del muestreador desde la superficie mediante un pescador unido a un cable de acero sin necesidad de extraer la tubería de perforación, redundando en una mayor velocidad de perforación y mejor estado de las paredes del pozo, así como mejoras en la recuperación de la muestra (ver Fig. 5.26). Es conve--- niente usar este sistema para perforaciones mayores de 50 m.



Barriles del grupo "M"



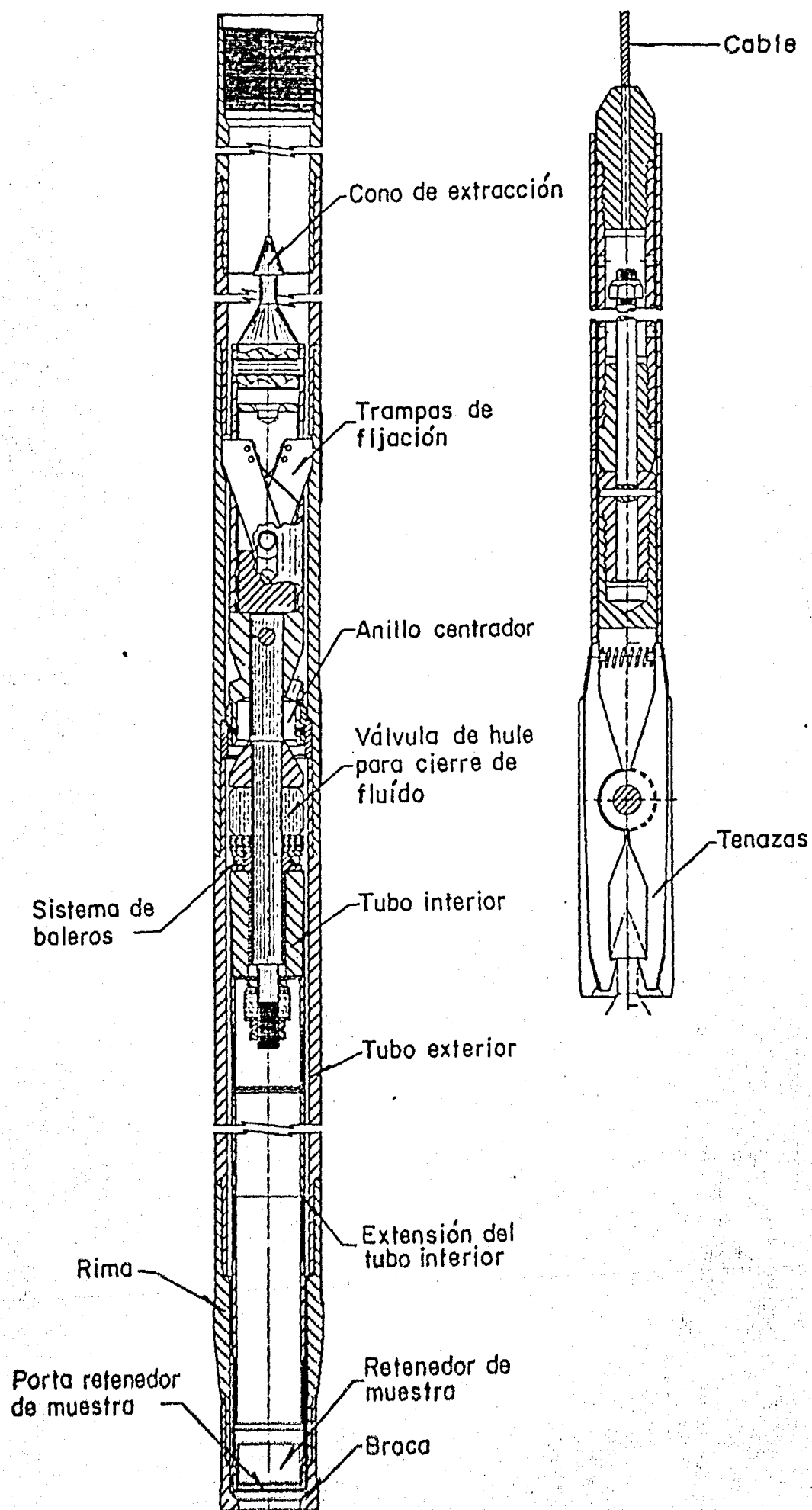
Barriles de gran diámetro



(Manual de Diseño de Obras Civiles, CFE, 1979).

Fig. 5.25 Barriles Muestreadores No-Convencionales.

Fig. 5.26 SISTEMA "WIRE LINE"



(Tomada del Manual de Diseño de Obras Civiles B.1.4)

de profundidad.

c) Triple Tubo: Este tipo de muestreadores incluyen un tercer tubo o camisa delgada que sirve de forro o empaque a la muestra recuperada.

5.2.4.4.3 Brocas

Como ya se mencionó existen varios tipos de brocas: de diamante, de carburo de Tungsteno, de acero duro o del tipo cálix.

Para elegir el tipo de broca que debe usarse debe tenerse en cuenta según el manual de PEMEX (1975 pág. 77) las siguientes características:

- a) Número y tamaño de diamantes, que se puede definir por medio de la Tabla 5.2.
- b) La dureza del metal de la matriz en donde se empotran los diamantes (Tabla 5.2).
- c) La forma, ya sea convencional o escalonada, puede tener un número variable de canales para la salida del fluido de perforación. Según el Manual de PEMEX (1975) la forma escalonada reduce las vibraciones blandas con un avance rápido, mientras que la convencional se utiliza en formaciones duras y fracturadas.
- d) Además según la dureza de la roca por atacar, Juárez - Badillo et. al. (1975 pág. 629) recomienda: "En rocas duras usar brocas con corona de diamante; que tenga además diamantes en el interior para reducir el diámetro de la muestra y en el exterior para agrandar la perforación permitiendo así el paso del muestreador con mayor facilidad. En rocas medianamente duras es su

Tabla 5.2 - Número de Diamantes/Tipo de Roca.

RECOMENDACIONES PARA DIAMANTES Y MATRICES													P E T R O G R A F I A																
MATRIZ	TAMAÑO PIEDRA (piedro/quilate)					CALIDAD DIAMANTE			ESTRUCTURA					ABRASIVIDAD			DUREZA			ROCA									
	H 20-30	H 30-40	H 40-50	40 - 60	30 - 40	20 - 30	25 - 20	10 - 15	SEGUNDA	PRIMERA	EXTRA	GRANO MUY GRUESO	GRANO GRUESO	GRANO MEDIO	GRANO FINO	DENSO	MUY GRUESO	MUY ABRASIVA	ABRASIVA		MODERADA ABRASIVIDAD	NO ABRASIVA	EXTREMADAMENTE DURA	MUY DURA	DURA	MEDIO DURA	BLANDA		
EXTRA DURA H 40-50	△	△	△				X	○	○	○	○	○	○	○	○														ROCA
DURA H 30-40	△	△				X	○	○	○	○																			MARGA
NORMAL H 20-30	△	△	△					○	○	○																			CALIZA
						X		○	○	○																			DOLOMIA
							X		○	○																			PIZARRA
									○	○																			ESQUISTO
																													MICA-ESQUISTO
																													ARENISCA CALCAREA
																													ARENISCA CUARCITICA
																													MARMOL
																													GNEIS
																													CUARCITA FINA
																													CUARCITA MEDIA
																													GRANITO

(de Pemex, 1975)

ficiente emplear brocas con inserciones de carburo de Tungsteno en la corona. En rocas suaves como lutitas, pizarras, etc., hasta usar broca de acero con dientes de sierra.

6.- PRESENTACION DE DATOS GEOLOGICOS

6.1. Informes Técnicos.

Todos los datos obtenidos durante la exploración geológica de un sitio, tanto en la etapa preliminar como en la detallada o durante la construcción y operación se presentarán en uno o varios informes geológicos que podrán ser de carácter general o especial de acuerdo con el Manual de Diseño de Obras Civiles, (1979, B.1.5).

El informe de carácter general por lo regular se divide en 2 partes: La primera corresponde a todos aquellos datos generales sobre la región (condiciones socio-económicas, climáticas, ecológicas, vías de comunicación) y características del sitio en estudio.

La segunda parte esta formada por una serie de comentarios y explicaciones de las exploraciones realizadas, así como los datos geológicos y geotécnicos obtenidos. Se recomienda presentar estos datos en las formas que se describen en este capítulo.

Estos datos se obtienen por métodos directos o indirectos de exploración y es recomendable presentarlos con el mayor detalle posible (ver Capítulo 3).

Por último se presentarán las conclusiones obtenidas de la información geológica con sus correspondientes recomendaciones con el fin de detectar los principales problemas geotécnicos del lugar; así como definir si es necesario, la ubicación y el tipo de futuras exploraciones.

Los informes de carácter especial se refieren a problemas concretos que se ponen en estudio, sin entrar en temas -- que fueron desarrollados en el informe de carácter general. -- En estos informes especiales se deben señalar las causas del problema o las características geotécnicas del sitio explorado para de esta manera dar los lineamientos para la exploración adicional que deba ejecutarse y que proporcione información base para la solución del problema.

Durante las etapas de exploración de un sitio los informes tienen las siguientes características:

- Investigación Preliminar: La información obtenida de recopilación bibliográfica así como del reconocimiento general, proporcionan al geólogo el material base para desarrollar un primer informe acerca de las características geológicas regionales del área así como una primera localización de los sitios con posibilidades o no para el emplazamiento de la obra.

- Investigación Detallada: En los informes correspondientes a esta etapa de exploración se deben tomar en cuenta los problemas que se relacionen directamente con el tipo de obra proyectada para de esta forma desarrollar investigaciones definidas con miras a descubrir la existencia de estos problemas y/o la posibilidad de su presencia en el futuro. En esta etapa los métodos de exploración geológica deben auxiliarse de métodos geofísicos de exploración, cuyos resultados deberán quedar incluidos en los informes geológicos.

- Investigación durante la Construcción y Operación de la obra: Los informes que se realizan en estas etapas deben enriquecer en aspectos muy específicos el conocimiento que se tenga de la zona y deben contribuir a la solución de los problemas que se presenten.

Por otra parte son documentos de gran valor para obras - futuras en sitios cercanos o de condiciones geológicas similares y proporcionan la información básica para dar un mejor -- mantenimiento a la obra. Además tengase en cuenta que mientras la investigación detallada, previa a la construcción, es puntual, la investigación o el levantamiento geológico durante la construcción nos muestra la geología y los accidentes - estructurales en toda su magnitud.

6.2 Mapas geológicos y geotécnicos.

La mayoría de los mapas geológicos se realizan con propósitos generales y carecen de información cuantitativa sobre las propiedades mecánicas de suelos y rocas, cantidad y tipo de las discontinuidades, extensión de intemperismo, condiciones geohidrológicas, etc. que pueden ser de más utilidad para la construcción de obras de Ingeniería Civil. En este tipo de mapas se representan unidades geológicas, es decir unidades - con idéntica litología o de la misma edad. Aunque hay buenas razones geológicas para ello, una de las principales desventajas de estos mapas para su uso en geotécnica radica en que rocas de diferentes propiedades ingenieriles pueden estar agrupadas en la misma unidad, por ser de la misma litología o de la misma edad.

Es evidente que se obtiene una información valiosa sobre las propiedades y el comportamiento de una roca cuando se indica su nombre geológico; sin embargo para efectos ingenieriles el nombre geológico por sí solo es insuficiente y debe acompañarse de una clasificación ingenieril.

Una solución para este problema sería elaborando mapas geotécnicos, cuyas unidades se definieran de acuerdo con sus propiedades ingenieriles, o bien a otras características determinadas por la finalidad específica del mapa. En general, los límites entre unidades marcarán variaciones en esas propiedades

y algunas líneas pueden coincidir aproximadamente con ciertos límites geológicos. Sin embargo existen ciertos problemas para delimitar fronteras, cuando por ejemplo existen cambios graduales - en algunas propiedades físicas de suelos y rocas.

Resumiendo, los mapas geotécnicos son planos que contienen datos geológicos e información de utilidad práctica para un proyecto de ingeniería determinado (Manual de Diseño de -- Obras Civiles, 1979). Esta información provendrá tanto de observaciones detalladas de campo como de pruebas de laborato-- rio. En la Fig. 6.1 se presenta un ejemplo de plano geotéc-- nico.

Un plano geotécnico debe contener, en forma general, información referente a:

__ Topografía y Toponimia.

- Litología (distribución y descripción de las unidades litológicas).
- Propiedades de Suelos y Rocas (resistencia, comprensibilidad, permeabilidad, etc.)
- Espesor de suelos.
- Discontinuidades (datos estructurales: fallas, fracturas, - rumbos, y echados, plegamientos; características de ellas; diagramas estereográficos, etc); discordancias.
- Hidrogeología (acuíferos, movimiento del agua, permeabili-- dad, calidad del agua, zonas de filtración, etc.)
- Factores geodinámicos (velocidades de erosión y sedimenta-- ción; zonas inestables por deslizamientos, avalanchas, soli fluxión y creep; sismicidad, movimientos de dunas de arena rocas expansivas, etc.)

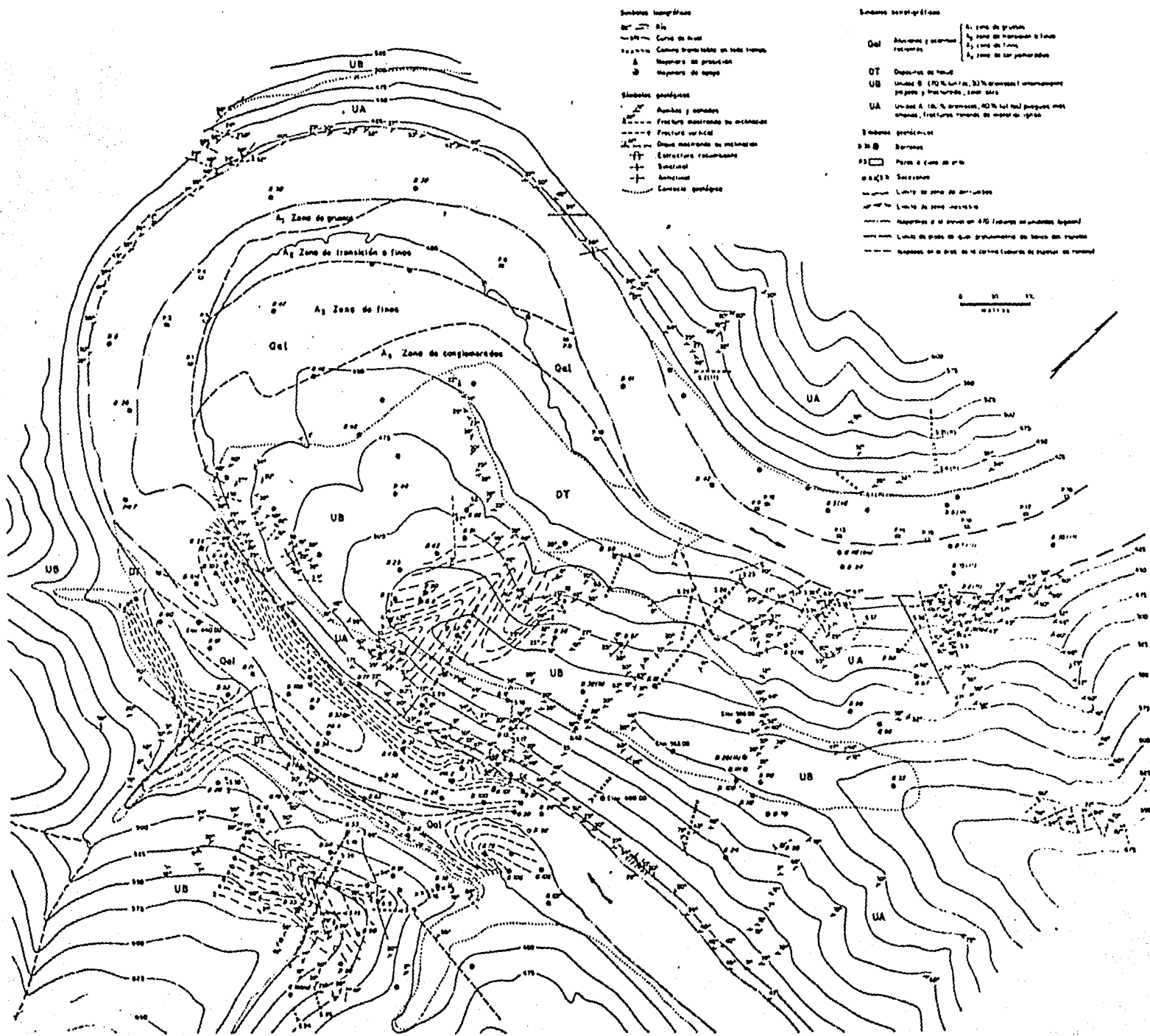


Fig. 6.1 Plano Geotécnico del Proyecto Hidroeléctrico El Caracol.

(Manual de Diseño de Obras Civiles, 1979).

- Bancos de material.
- Exploraciones existente (registro de toda la exploración -- geotécnica realizada en la zona.
- Riesgos geológicos (por ejemplo, probabilidad de desliza--- mientos o terremotos, áreas de concentración de esfuerzos - tectónicos, etc.)

Los mapas geotécnicos se clasifican en función de la etapa de estudio en que son elaborados, la información que contienen, el objetivo de cada mapa y la escala utilizada.

La tabla 6.1 pretende establecer una clasificación de mapas geotécnicos, regionales y locales, para que sean utilizados de manera conveniente durante el desarrollo de cual---- quier proyecto. Como puede observarse en dicha Tabla, las escalas varían en función del tipo de obra y de la etapa misma para la que se refiera.

Dichas escalas serán de preferencia grandes, es decir - entre 1:100 y 1:10,000 y ocasionalmente a escalas menores --- 1:25,000 o 1:50,000 cuando el trabajo requiere una explora--- ción regional.

Un plano geotécnico puede contener una gran cantidad de información en un sólo mapa, lo cual da una idea de la complejidad de su cartografía y del ancho de márgenes que requiere. En la figura 6.2 se muestra una compilación realizada por - la Comisión Federal de Electricidad, donde se tiene una lista de símbolos que pueden ser usados en la elaboración de planos geotécnicos.

Sin embargo, una alternativa para evitar un mapa geotécnico complejo, es elaborar una serie de mapas enfocados a di-ferentes especialidades de acuerdo con las necesidades del --

TABLA 6.1 CLASIFICACION DE MAPAS GEOTECNICOS.

Tipo de mapa	Información contenida	Escalas usuales	Preparados por:	Método de elaboración	Aprovechamiento ingenieril
A. MAPAS GEOTECNICOS REGIONALES	Datos de geología general, enriquecidos con información de interés ingenieril e interpretaciones	1:10 000 o menores	Instituciones gubernamentales ó centros de investigación	Fotografías aéreas, observaciones de campo, mapas topográficos previos e información geológica existente	Planeación y reconocimiento preliminar. Información general sobre la región y de los materiales existentes en ella
B. MAPAS GEOTECNICOS LOCALES					
a) Etapa de reconocimiento preliminar	Clasificación y descripción de suelos y rocas, geomorfología, hidrografía, geodinámica externa, sismicidad y vulcanismo, discontinuidades y localización de materiales	1:500 o 1:10 000	Ingenieros geólogos especialistas en minas, geología estructural, geomorfología o geotecnica	Fotointerpretación, recorridos de campo, uso de brújula, cinta y clisímetro	Planeación y reconocimientos detallados
b) Etapa de investigación del sitio	Datos sobre propiedades específicas de los materiales, levantamiento de unidades de diferente comportamiento ingenieril	1:100 o 1:5 000	Ingenieros geólogos de mecánica de suelos o rocas y geotécnicos	Los anteriores, más los datos obtenidos de las pruebas mecánicas de laboratorio efectuadas en los materiales obtenidos de	Detalles sobre sitios propuestos y problemas que se pudieran presentar
c) Etapa de construcción de una obra	Datos sobre aspectos importantes durante la construcción	1:100 o 1:2 000	Ingenieros geólogos de mecánica de suelos o rocas y geotécnicos	sondeos, PCA, socavones y muestreo superficial	Detalles observados durante la obra y reconocimiento de problemas no previstos

Fig. 6.2. Simbología utilizable en cartografía geotécnica.



proyecto y la complejidad del sitio. Tales mapas serían por -- ejemplo:

- Mapas tectónicos
- Mapas Hidrogeológicos
- Mapas Geomorfológicos
- Mapas de Propiedades Mecánicas
- Mapas Geofísicos
- Mapas de riesgo sísmico.

6.3 Diagramas estereográficos.

Existen varias técnicas para representar la orientación de los datos geológicos, entre las que destacan la roseta de fracturamiento y la geometría descriptiva, esta última tiene una limitación en cuanto al número de datos con los que se -- puede trabajar, ya que cuando la información sea del orden de decenas, centanas o inclusive millares de datos, la solución será sumamente complicada, difícil de visualizar y de mucho tiempo de análisis.

Por el contrario un método rápido, fácil y sin limita---ción de datos es la proyección estereográfica, la cual es una excelente herramienta para representar las estructuras geológicas tridimensionales en dos dimensiones. Este método se basa en las relaciones angulares entre líneas y planos como pueden ser los pliegues, fallas, fracturas, esquistosidad, foliaciones, discordancias o cualquier tipo de discontinuidades o lineamientos relacionados con trabajos geotécnicos.

Otros ejemplos de líneas y planos que pueden ser repre--sentados podrían ser también los rebajes de Taludes, orientación de perforaciones, etc.

Existen diferentes tipos de redes estereográficas y su empleo esta determinado por la naturaleza del problema. Entre las más comunes están la red de Wulff, la de Schmidt (o de -

igual área), la polar y la de Kalsbeek. En ocasiones basta utilizar una de ellas pero otras veces es necesario usar como complemento alguna o algunas de las otras para llegar a soluciones con un grado de exactitud satisfactorio.

Los diagramas estereográficos tienen múltiples aplicaciones, desde la obtención de echados aparentes o verdaderos -- hasta la determinación de la orientación de los esfuerzos en una región facilitando de esta manera la interpretación tectónica.

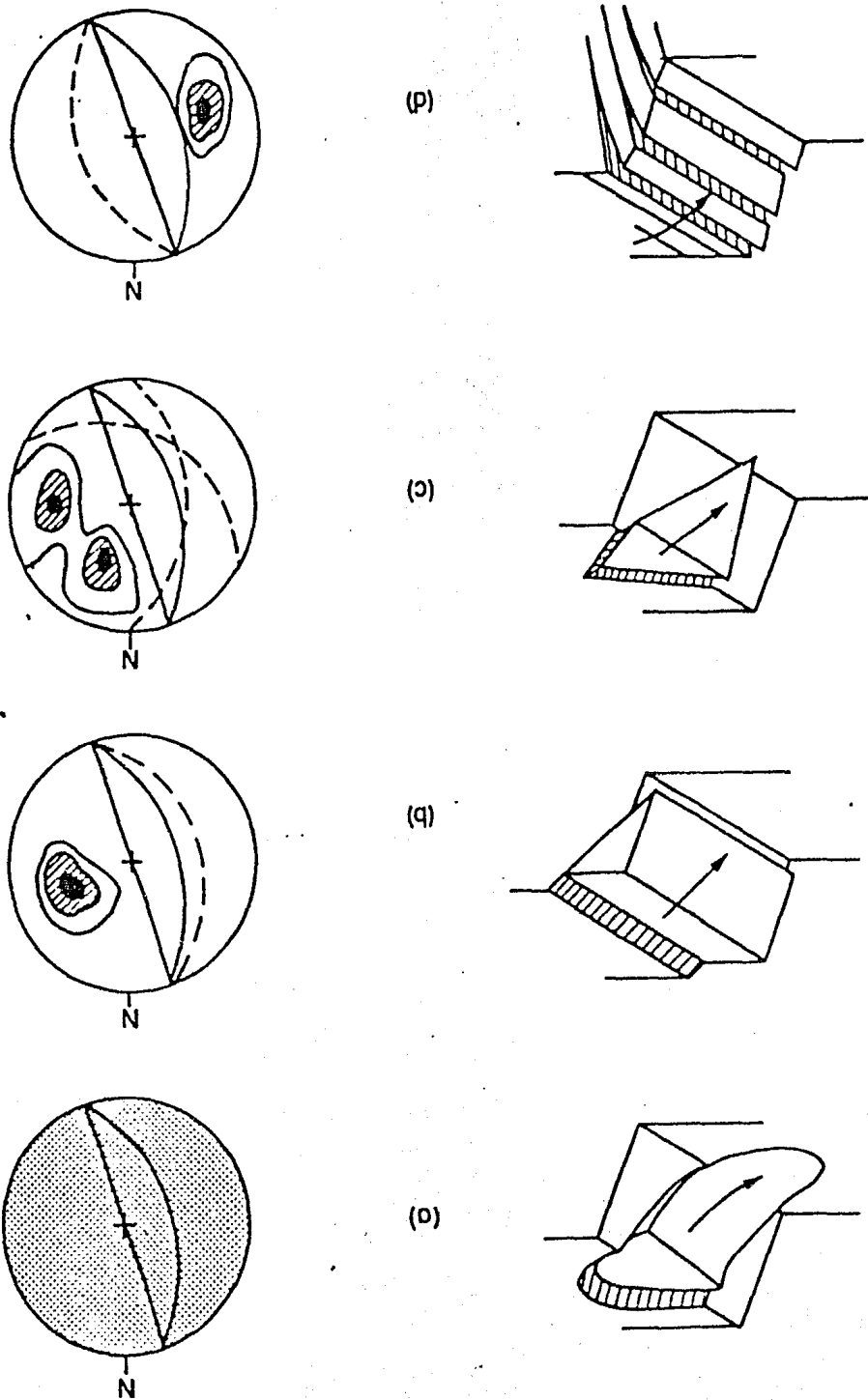
Dentro de la Geotécnica se utiliza principalmente en la determinación de orientaciones preferenciales de familias de discontinuidades, ya que es posible reunir un gran número de observaciones dispersas en torno a un origen único, elaborando una figura de la que se pueden obtener conclusiones sobre la presencia de una estructura geológica de orientación crítica.

De esta manera, y en forma preliminar, se pueden anticipar las zonas con posibilidades de deslizarse, para tomar las debidas precauciones. (Figura 6.3).

Por medio de esta técnica también es posible establecer la dirección e inclinación que deben llevar los barrenos para que atraviesen el mayor número de fallas o fracturas con la mejor incidencia y de esta manera programar mejor los trabajos de inyección del macizo rocoso o las pruebas de permeabilidad.

Por último, toda la información estereográfica puede ser tratada por medio de programas de computadora, con lo cual el ahorro de tiempo, al analizar la información, es todavía mayor.

6.4 Perfiles geotécnicos.



(De Bell, 1980)

Fig. 6.3 Uso de la red estereográfica en estabilidad de taludes - Se muestran los principales tipos de fallas que se presentan en un talud, así como - su apariencia en una red estereográfica.

La información del subsuelo obtenida de las exploraciones geotécnicas puede representarse en dos formas: individual o integral.

A continuación se describen las características de cada uno y se dan ejemplos de algunos de ellos.

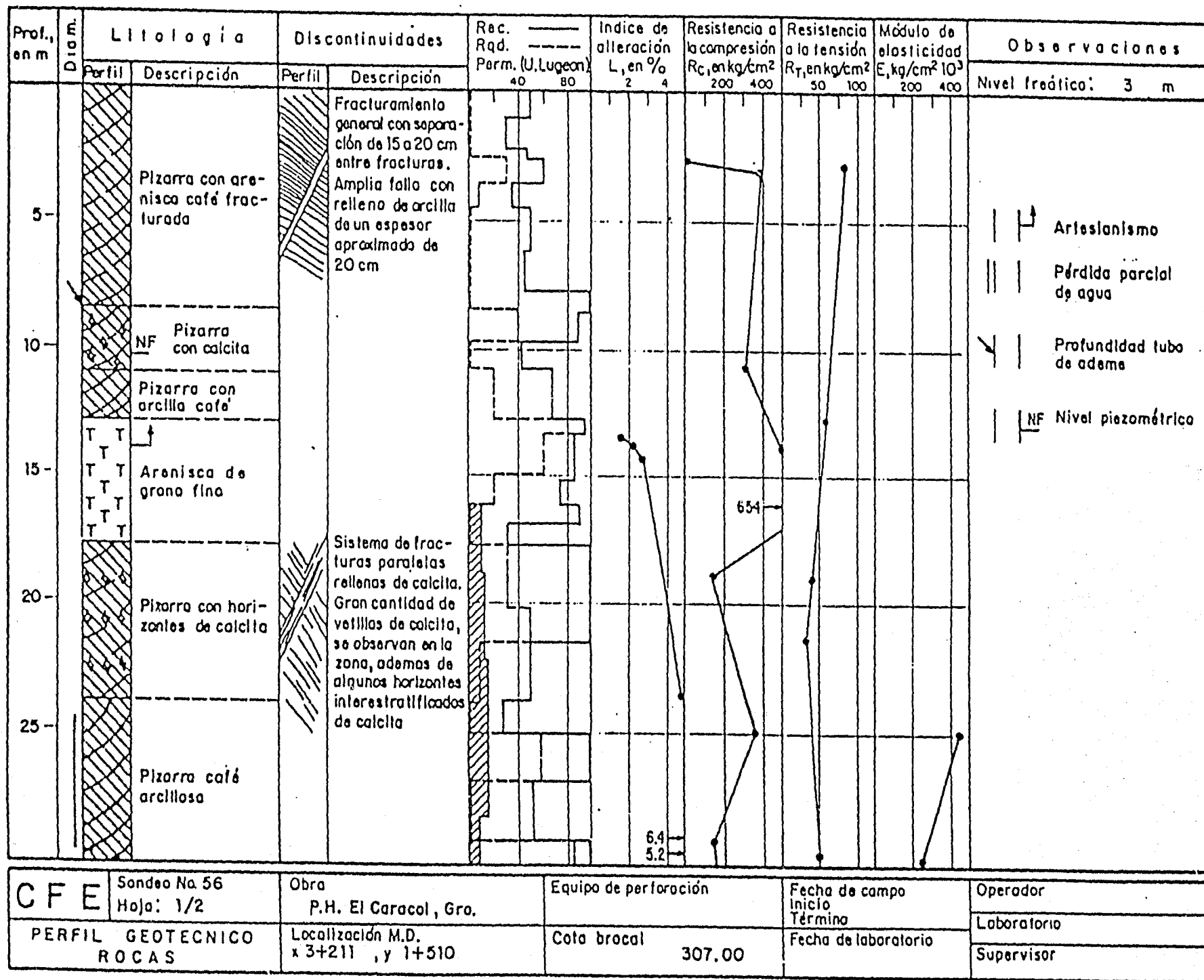
6.4.1. Perfiles geotécnicos individuales.

Existen cinco tipos de perfiles:

- Perfil de un sondeo
- Perfil de un socavón
- Perfil de un pozo a cielo abierto
- Perfil geofísico de una sección
- Perfil de una trinchera.

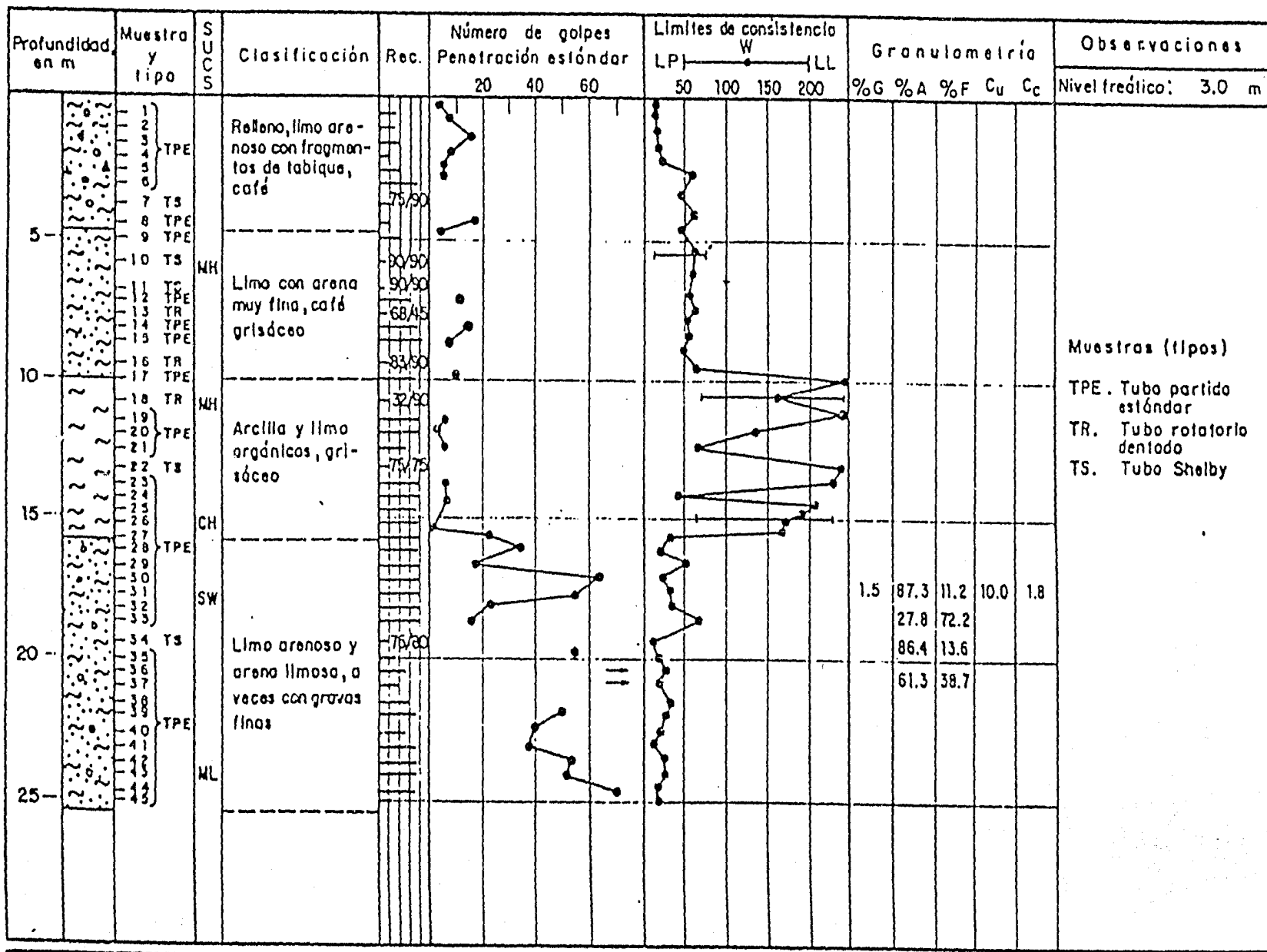
- Perfil de un Sondeo: Es la representación gráfica de los datos y las propiedades de los núcleos recuperados en un sondeo, mediante un análisis cuidadoso de ellos en el campo y de pruebas sobre estos, desarrolladas en el laboratorio.

- Para su elaboración se utilizan diversos patrones, como los mostrados en las figuras 6.4.a y 6.4.b, en donde se van a cian los datos obtenidos de las pruebas y observaciones de campo así como de laboratorio, con lo que se tendrá un perfil del sondeo que incluye: la descripción de las unidades cortadas, la descripción de las discontinuidades y las gráficas de los valores obtenidos de las pruebas de laboratorio. En la construcción del perfil se anotarán, en la columna de observaciones, todo aquello que no se encuentre claramente especificado en el mismo y represente cierta importancia para su análisis (fugas parciales o totales de agua, derrumbes en la pared del pozo, ademado, caídas bruscas de la broca, características del material en suspensión en el agua de retorno, etc.).



CFE	Sondeo Na 56	Obra	Equipo de perforación	Fecha de campo	Operador
	Hoja: 1/2	P.H. El Caracol, Gro.		Inicio	Laboratorio
	PERFIL GEOTECNICO	Localización M.D.	Cota brocal	Término	Supervisor
ROCAS	x 3+211, y 1+510		307.00	Fecha de laboratorio	

Fig. 6.4.a Forma para Perfil Geotécnico en Rocas.



CFE	Sondeo No. SM 6	Obra	Equipo de perforación	Fecha de campo	Operador
	Hoja: 1/1	LA VENTA	LONG YEAR, MOYND	Inicio 6 Mar 78	Laboratorio
	PERFIL GEOTECNICO SUELOS	Localización x0+157 y 2+326	Cota brocal 207.05	Término 7 Mar 78	Supervisor
				Fecha de laboratorio 9 Mar 78	

Fig. 6.4.b. Forma para perfil geotecnico en Suelos.

Las escalas que se recomiendan en estos perfiles son --- 1:100 y 1:200 con el fin de poder presentar en ellos el mayor número de datos claramente; sin embargo se pueden utilizar escalas menores.

Estos perfiles son útiles en el conocimiento de las propiedades y características de las rocas y suelos del proyecto, y en la elaboración de secciones geotécnicas necesarias para el análisis global de las condiciones del área estudiada.

- Perfil de socavones, Pozos al cielo abierto (PCA) y Trincheras: Son la representación gráfica en planta de todos los aspectos que se pueden observar en un socavón, en un pozo a --- cielo abierto o en una trinchera.

La elaboración de ellos es simplemente el dibujo de los rasgos que aparecen tanto en el piso como en las paredes de la obra, en un desarrollo en plano de la misma y presentando la litología, grado de alteración de la roca, las discontinuidades y estructuras presentes, contactos, estratificación echados, cavidades de disolución, etc.

Las escalas que se utilizan en este tipo de representaciones son grandes, es decir de 1:100 a 1:500, a fin de conocer con mayor exactitud las características de la zona donde se desarrolla la exploración.

En las figuras 5.8 y 5.9 se presenta un ejemplo de levantamiento estructural en socavones y trincheras.

Conviene observar la evolución de las rocas y suelos bajo la acción de la intemperie después de abierta la excavación, con objeto de valorar el grado de alterabilidad que presentan en intervalos de tiempo relativamente cortos.

- Perfil geofísico de una sección: La utilización de los métodos geofísicos de exploración puede redundar en una economía,-

al reducir la magnitud de las exploraciones directas.

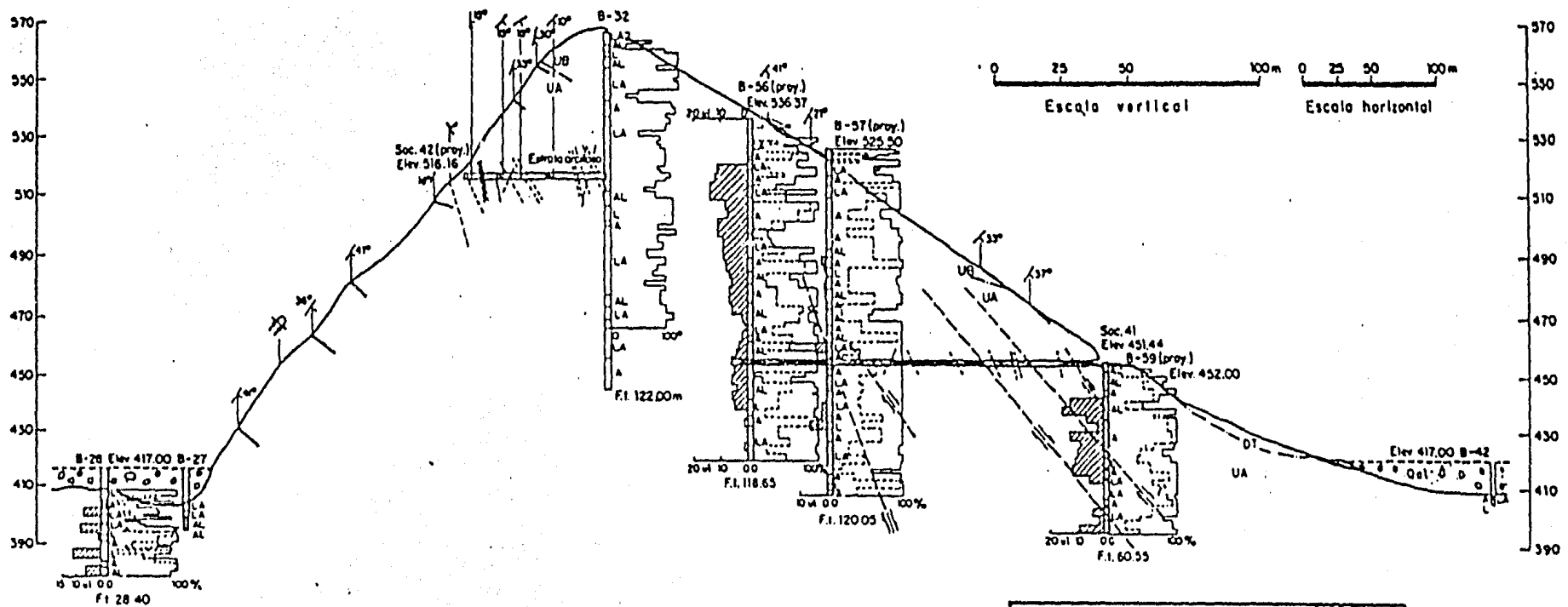
Es preciso calibrar los resultados de estos métodos, comparándolos con los datos obtenidos en un sondeo por lo menos. La correlación así establecida entre las magnitudes medidas con estos métodos y el corte estratigráfico del sondeo permite deducir, posteriormente los cortes geológicos. Por esta razón la representación de los resultados obtenidos de una exploración geofísica se asociará siempre a uno o varios cortes geológicos, inclusive como parte de las secciones geotécnicas integradas como dato más para la interpretación de las condiciones geotécnicas del sitio.

6.4.2. Perfiles geotécnicos integrados (secciones geotécnicas):

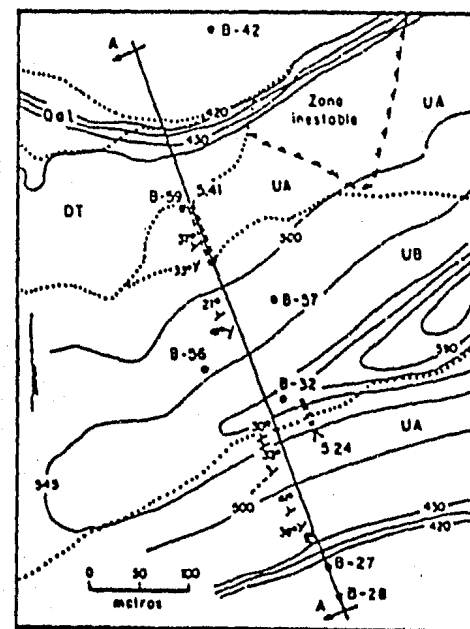
Es la representación de una serie integrada de perfiles geotécnicos individuales (sondeos, socavones, trincheras, P.-C.A) distribuidas sobre una sección de interés para el estudio, que permitirá interpretar la geología de la sección.

Una buena interpretación del perfil integrado ayudará a conocer las relaciones estructurales, la disposición de los materiales en el subsuelo, los niveles piezométricos y será de gran utilidad para los análisis de estabilidad de laderas, excavaciones subterráneas, el estudio de la geometría de los depósitos, el volumen de materiales de relleno el conocimiento de la dirección de flujos subterráneos el análisis del estado de esfuerzos, etc.

La presentación de estos perfiles se puede hacer en escalas de 1:500 a 1:5000, siempre y cuando la que se use permita observar con claridad los principales elementos estructurales y la distribución de suelos y rocas. En la Figura 6.5 se presenta un ejemplo de sección geotécnica.



- | | |
|--|--------------------------------|
| Qal Depósitos aluviales | R Rumbo y echado |
| DT Depósitos de talud | F.I. Fondo total |
| UB Unidad B, predominancia de lutillas sobre areniscas, ambas de color ocre, muy plegadas y alteradas | Iga Diques dioríticos |
| UA Unidad A, predominancia de areniscas sobre lutillas, de color gris claro a gris oscuro | L Lutillas |
| Recuperación | LA Lutillas y areniscas |
| R.Q.D. | AL Areniscas y lutillas |
| Permeabilidad | A Areniscas |
| Contacto geológico | |
| Fracturas | |
| Fallas | |



(Manual de Diseño de Obras Civiles, 1979).

Fig. 6.5 Sección Geotécnica Integrada.

7.- ELEMENTOS DE MECANICA DE ROCAS.

7.1. Definición y alcances de la Mecánica de Rocas.

Con anterioridad se mencionó, que la mecánica de Rocas se agrupa junto con la Mecánica de Suelos y la Geología dentro de una disciplina tecno-científica denominada GEOTECNIA.- Cada una de estas disciplinas se relacionan entre sí, porque existe una gran variedad de condiciones estructurales dentro de la corteza terrestre, resultando algunas veces difícil fijar las fronteras entre suelo y roca, o bien es posible encontrar estructuras geológicas donde se combinan suelos y rocas. Un ejemplo de esto lo constituyen las discontinuidades contenidas en las masas rocosas que frecuentemente se encuentran rellenas de materiales arcillosos o granulares o combinaciones de ambos.

La Mecánica de Rocas según la definición del Comité de Rocas de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos: "es la ciencia teórica y aplicada que trata del comportamiento mecánico de las rocas; es la rama de la mecánica que estudia la reacción de las rocas a los campos de fuerza de su entorno físico". Se define también como: la ciencia que estudia el comportamiento mecánico de las masas rocosas que se encuentran bajo la acción de fuerzas producidas por fenómenos naturales (vulcanismo, tectónica de placas, flujo o presencia de agua, etc.), o impuestas por el hombre (cimentaciones, excavaciones, voladuras, etc.) M. Panet (1976) dice que "la mecánica de rocas, como la mayor parte de las otras disciplinas de las ciencias de la tierra, encuentra su origen por una parte en la búsqueda de explicaciones cualitativas y cuantitativas de los fenómenos naturales observados con minuciosidad por el naturalista y por otra en la actividad industriosa de los ingenieros investigando las mejores soluciones técnicas para definir y controlar el comportamiento del terreno en los trabajos de explotación de recursos naturales y en las obras civiles y mili-

tares".

Para lograr la solución de problemas en este campo es necesario el conocimiento de:

a) La deformabilidad de los macizos rocosos, así como la relación entre esfuerzo-deformación.

b) La resistencia de los macizos rocosos así como las condiciones que provocan su ruptura.

c) El estado de esfuerzo inicial o residual al que se encuentra sometido el macizo rocoso.

d) Los estados de esfuerzos que se desarrollan en el macizo, en virtud de las sollicitaciones (estáticas y/o dinámicas) aplicadas, incluidas las debidas a flujo de agua.

7.2. Principales aplicaciones de la Mecánica de Rocas.

La Mecánica de Rocas tiene multiples aplicaciones dentro del campo de la Ingeniería como pueden ser:

- Excavaciones Subterráneas para diversos propósitos tales como: explotación de minerales, túneles o cavidades para almacenamiento de agua, petróleo, gas, armamento, desperdicios atómicos, túneles para conducción de agua (potable, aguas negras, desvío, vertedores, desfogueo y para alojar tuberías de presión; túneles para fines de transporte terrestre, submarinos y subfluviales para, trenes, tranvías, vehículos automotores y peatonales, cavidades en zonas urbanas (estacionamientos, centros comerciales y casas habitación), y casas de máquinas en hidroeléctricas.

- Excavaciones a Cielo Abierto, para explotación de bancos de roca cuyo producto se empleará en diversos fines a saber: escolleras, relleno para soporte de estructuras, pedraplenes, ba-

lasto, agregados para concreto, enrocamientos, fachadas de casas e interiores, etc. Excavaciones para extracción de minerales, cortes en vías terrestres, canales para conducción de agua y otros materiales.

- Cimentación de presas, plantas nucleoelectricas, torres de transmisión, edificios y casas, otras estructuras urbanas, reactores, radares, puentes, etc.

- Otras aplicaciones: Uso del fracturamiento hidráulico para extracción de petróleo o activación de pozos geotérmicos, Tratamiento de masas rocosas mediante inyecciones, etc.

7.3. Propiedades índice de las rocas.

Las propiedades índice de las rocas nos permiten encuadrar a una roca dentro de un grupo cuyas propiedades mecánicas sean similares. Son propiedades cualitativas y se utilizan comparativamente. Entre las más comunes tenemos:

- | | |
|-----------------------|-------------------|
| 1.- Porosidad | 5.- Alterabilidad |
| 2.- Contenido de Agua | 6.- Sensitividad |
| 3.- Peso volumétrico | 7.- Mineralogía |
| 4.- Alteración | 8.- Densidad |

Las tres primeras se definen en forma similar a las correspondientes definiciones de la Mecánica de Suelos.

- Porosidad (n). Es la relación entre el volumen de vacíos (Vv) y el volumen de la muestra (Vm), esta relación se expresa en porcentaje:

$$n(\%) = \frac{Vv}{Vm} \times 100$$

Las rocas son materiales porosos, o sea tienen huecos que pueden tener formas diferentes; en el basalto y la caliza la porosidad puede llegar a valores del 20%. Las rocas ígneas intrusivas (granito por ejemplo) tienen valores de $n=0.1\%$, es -

decir que el intervalo de variación de la porosidad es muy amplio dependiendo del tipo de roca, de la historia geológica y de los tratamientos que ha sufrido. En Ingeniería petrolera, las rocas porosas tienen más posibilidades de almacenar mayor cantidad de hidrocarburos; en Ingeniería civil, por ejemplo - la porosidad sirve para relacionarla con otras propiedades -- como la resistencia al esfuerzo cortante.

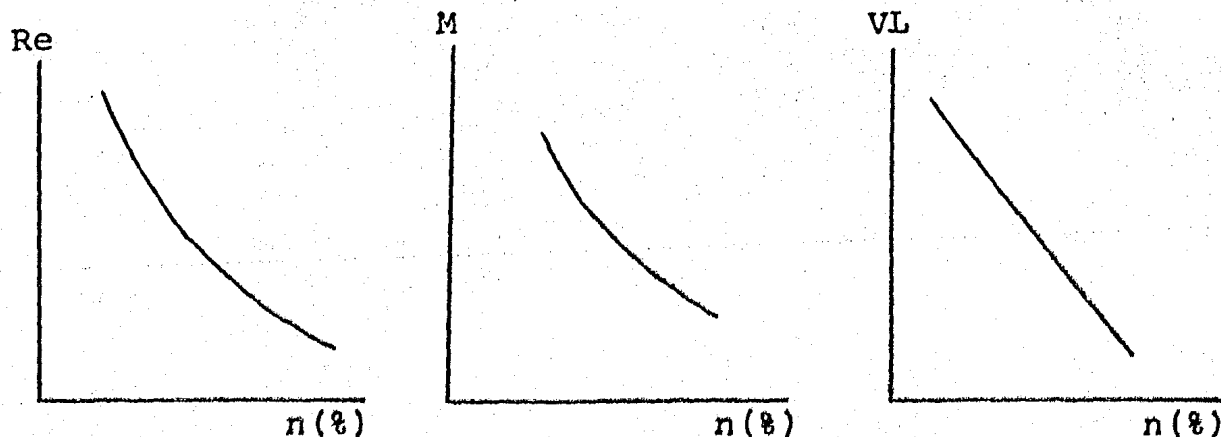
Se consideran dos tipos de porosidad:

1) Porosidad absoluta y 2) Porosidad de fisuración.

Para diferenciarlas consideremos el esquema de una roca en la cual, existen huecos por enfriamiento, sin estar conectados; además existen fisuras con direcciones variables interconectadas entre ellas. (ejem. basalto).

Entonces para establecer la diferencia, se dice que las grietas alargadas dan origen a la "porosidad de fisuración" y el total de huecos a la "porosidad absoluta".

Cabe mencionar que la porosidad de fisuración se relaciona con la mayoría de las propiedades mecánicas de las rocas.



Dónde: R_c = Resistencia a la Compresión Simple

M = Módulo de Deformabilidad de la Roca

V_L = Velocidad de las ondas sísmicas longitudinales.

-Contenido de Agua (w).- Se define así la relación entre el peso del agua contenida en una roca y el peso de su fase sólida. Suele expresarse como un porcentaje.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} = \frac{W_m(\text{nat}) - W_m(\text{seco})}{W_m(\text{seco})}$$

en donde:

$W_m(\text{nat})$ = peso del material en estado natural

$W_m(\text{seco}) = W_s$ = peso del material seco

W_w = peso del agua

W_s = peso de los sólidos

El contenido de agua (W) esta muy ligado a la porosidad de la muestra y a la profundidad de la que proviene la misma.

En ciertos materiales porosos, se ha observado que la disminución de la resistencia al variar el contenido de agua es muy grande; a mayor contenido de agua menor resistencia y viceversa; las tobas del sitio de la presa Sta. Rosa en Jalisco, en estado seco resisten 210 KG/cm² con $w=20\%$ y al saturarse baja su resistencia a 30 Kg/cm².

- Peso volumétrico (γ_m).- Se define así a la relación entre el peso de la muestra y el volumen de la muestra.

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

La determinación del peso y el volumen de una muestra cilíndrica en estado natural, se hace pesándola en el aire suspendida de una balanza y luego pesándola sumergida en mercurio,

puesto que se supone que la roca es impermeable al mercurio.-
(ver figura 7.1)

$$V_m = X - 13.6 V_m + W_m$$

$$X = 13.6 V_m \Rightarrow V_m = \frac{x}{13.6}$$

$$\gamma'_m = \frac{13.6 W_m}{x}$$

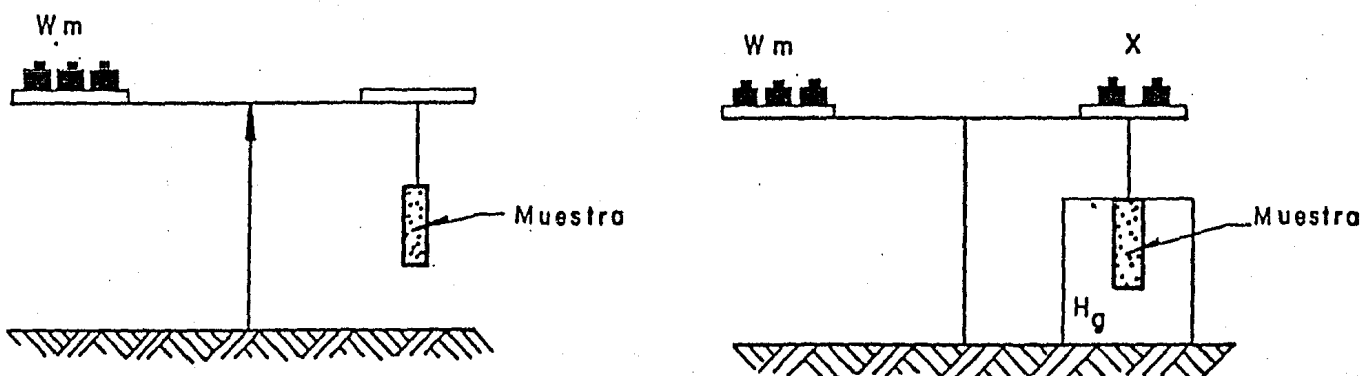


Fig. 7.1 -Determinación del Peso volumétrico de una muestra en el laboratorio.

-Alteración (i).- Las rocas, al estar sometidas a la acción agresiva del ambiente, sufren modificaciones en su estructura y composición mineralógicas, es decir se alteran.

El grado de alteración de una roca es un parámetro con el que se trata de definir el estado presente de la roca.

Cuando se altera una roca aumenta su porosidad. Así, las clasificaciones de las muestras que provienen de una formación rocosa dada, adoptando como criterio el grado de alteración o la porosidad, serán, por tanto, idénticas. Sin embargo resulta difícil determinar con exactitud la porosidad de una roca.

Por esta razón, tomando en cuenta la existencia de una relación entre esta magnitud y el peso del agua absorbida por la muestra previamente secada, al sumergirla (Krynine y Judd, 1957), se ha optado por definir el grado de alteración, como:

$$i(\%) = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100$$

dónde: P_2 = Peso de la muestra sumergida en agua durante un tiempo "t".

P_1 = Peso de la muestra secada en horno a 105°C

Este parámetro se relaciona directamente con la porosidad como lo muestra la siguiente tabla (tomada del libro "Principios de Geología y Geotécnia para Ingenieros" de Krynine & Judd).

ROCAS	POROSIDAD (%)	ABSORCION DE AGUA (%)
GRANITOS	3.98	1.55
	1.11	0.44
	0.44	0.20
ANDESITAS	10.77	4.86
	0.72	0.28
	0.10	0.05
CALIZAS	4.36	1.73
	1.70	0.65
	0.27	0.12
ARENISCAS	1.62	0.66
	9.25	4.12
	26.40	13.80
GNEISS	2.24	0.84
	0.78	0.30
MARMOL	2.02	0.77
	0.62	0.23

*Nota: El tiempo "t" no está normalizado, pero se recomienda - para una misma familia de rocas que se quieren comparar usar el mismo tiempo (1.5 h. a 3 h).

El grado de alteración se relaciona con la resistencia y deformabilidad de la roca: a mayor grado de alteración, menor resistencia y mayor deformabilidad.

- Alterabilidad, - Es la capacidad de una roca para alterarse en el futuro, bajo las condiciones ambientales reinantes en el sitio, o sea, es el potencial de la roca para intemperizarse con el tiempo.

La estimación cualitativa de la alterabilidad de una roca depende de los siguientes factores:

- a) Composición mineralógica
- b) Fisuración de la roca
- c) Agentes agresivos
- d) Tratamiento mecánico a que va a estar sometida

a) Composición mineralógica.- Para comprender la influencia de este factor considérese una roca compuesta principalmente por cuarzo, material que es inerte a los agentes agresivos; su alterabilidad será menor que la de una roca constituida básicamente por feldespatos, material fácilmente alterable a arcillas.

b) Fisuración.- Al estudiar la alterabilidad de una roca es necesario subrayar la importancia que tiene su microfisuración. De hecho, las discontinuidades de la matriz rocosa juegan un papel fundamental en el proceso de alteración; las fisuras abiertas permiten el acceso del agua hacia la matriz rocosa, agua que actúa entonces sobre áreas importantes de los minerales. Sin fisuras ni porosidad, la alteración de la masa rocosa sería prácticamente nula.

c) Agentes Agresivos.- Una manera para valorar la agresividad del ambiente es tomar una muestra de roca, pulverizarla y colocar el polvo de roca que pasa la malla 300 en un recipiente con una solución al 1% de ácido sulfúrico a 80°C. Se deja actuar la solución durante 1, 3, 5, 7 horas, se elimina el líquido, se seca el polvo y se pesa para conocer su pérdida en peso; de esta manera se define la "alterabilidad específica" o sea la alterabilidad de los minerales.

$$A = \frac{P_i - P_f}{P_i} \quad \text{dónde} \quad \begin{array}{l} A = \text{Alterabilidad específica} \\ P_i = \text{Peso inicial} \\ P_f = \text{Peso final} \end{array}$$

Nota: Si $\frac{P_i - P_f}{P_i} > 18\%$ después de 7 hrs. de acción de SO_4H_2

se dice que la alterabilidad específica es muy fuerte.

Sin embargo este procedimiento es discutible, pues no todos los agentes agresivos contienen ácido sulfúrico, por lo que la llamada "alterabilidad específica" puede resultar, a veces, engañosa. Para eliminar esta dificultad se podría tomar una muestra del agente agresivo local, sin embargo, esta modificación al procedimiento acostumbrado implicaría emplear mucho tiempo para lograr la alteración durante la prueba.

d) El tratamiento mecánico.- Para que los agentes agresivos puedan atacar los minerales tienen que estar en contacto con ellos, lo cual se facilita notablemente, por la fisuración que sufre la roca al ser sometida a métodos de ataque como son los explosivos. Una roca que es inalterable in situ -- por ser su permeabilidad al aire inferior a 10^{-7} cm/seg. puede tornarse alterable si los procedimientos de excavación utilizados aumentan en forma notable su fisuración.

La alterabilidad aceptable en una roca depende del uso que de ella se haga. La tabla 7.1 muestra la relación entre los factores constantes de la alterabilidad y las características de la roca de acuerdo con su utilización.

-Sensitividad.- El concepto de sensitividad de una muestra de roca se establece analizando la variación de su permeabilidad al cerrarse o abrirse sus fisuras bajo el efecto de una modificación del estado de esfuerzos aplicados.

Para medir dichas variaciones de la permeabilidad, se realiza una prueba que consiste en labrar una probeta de roca cilíndrica con una perforación central, la cual se somete a dos tipos de flujo: (ver fig. 7.2)

a) Flujo convergente (presión hidráulica exterior) que producirá esfuerzos de compresión y originará que las fisuras se cierren.

TABLA 7.1 USO DE LA ROCA DE ACUERDO A SU ALTERABILIDAD

FACTORES DE ALTERABILIDAD

Fisuración	Alterabilidad Específica	Agregado para concreto	fachadas	túnel	cimentación
Baja $K < 10^{-7}$ cm/seg	Baja	utilizable	por lo general utilizable	revestimiento innecesario	utilizable
	Alta	impropia	impropia	revest. no siempre necesario	tratamiento de relleno de la macrofisuración
Alta $K > 10^{-7}$ cm/seg	Baja	utilizable	por lo general utilizable	revestimiento innecesario	utilizable sin tratamiento
	Alta	impropia	impropia	revestimiento necesario	tratamiento necesario

TABLA 7.1 USO DE LA ROCA DE ACUERDO A SU ALTERABILIDAD.

b) Flujo divergente (presión hidráulica interior) que producirá esfuerzos de tensión y ocasionará que las fisuras se abran.

La presión provocada por el flujo divergente no deberá ser muy grande, ya que puede ocasionar falla por tensión.

A partir de los resultados de estas pruebas, se define la sensibilidad como:

$$S = \frac{K \text{ div.}}{K \text{ con.}}$$

K div. = Permeabilidad de la roca cuando se aplica flujo divergente ---
(P=1 Kg/cm²)

K con. = Permeabilidad de la roca cuando se aplica flujo convergente ---
(P=50 Kg/Km²).

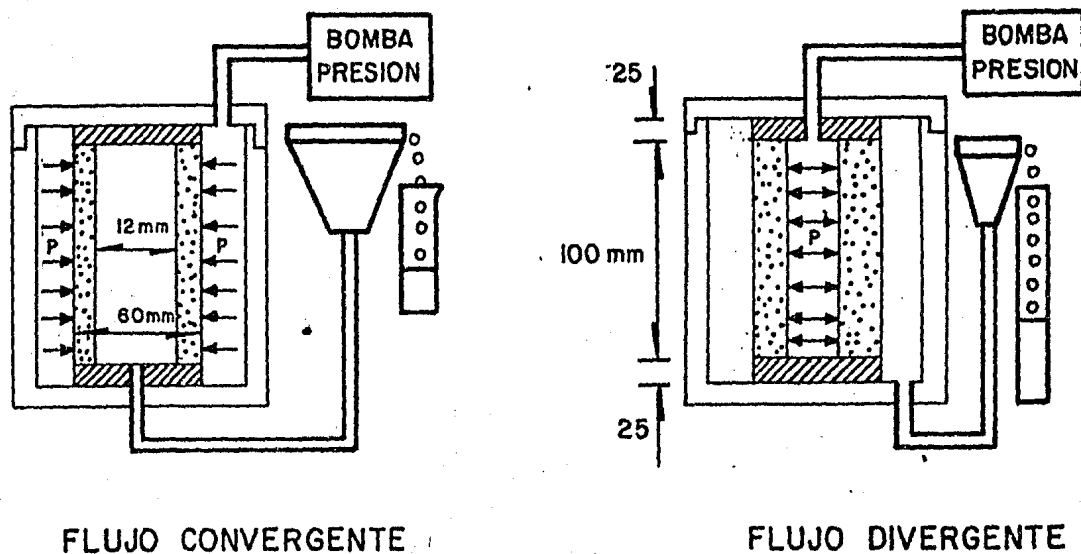
La sensibilidad y la fisuración están íntimamente relacionadas. La sensibilidad de rocas porosas no fisuradas es igual a 1 y alcanza valores de 10 000 para las muy fisuradas. Se ha observado (Sabarly, 1968) que al inyectar agua con presión p en una masa rocosa fisurada, el gasto de inyección Q sigue la ley:

$$Q = Ap^4$$

donde A es una constante y Q el gasto correspondiente al paso del agua a través de las fisuras preexistentes. En otros términos la permeabilidad de la masa rocosa depende de la magnitud de la presión aplicada pues provoca la apertura de las fisuras preexistentes. Esta correspondencia ha sido verificada al ejecutar ensayos Lugeon como los presentados por Alberro, 1975 (fig. 7.3)

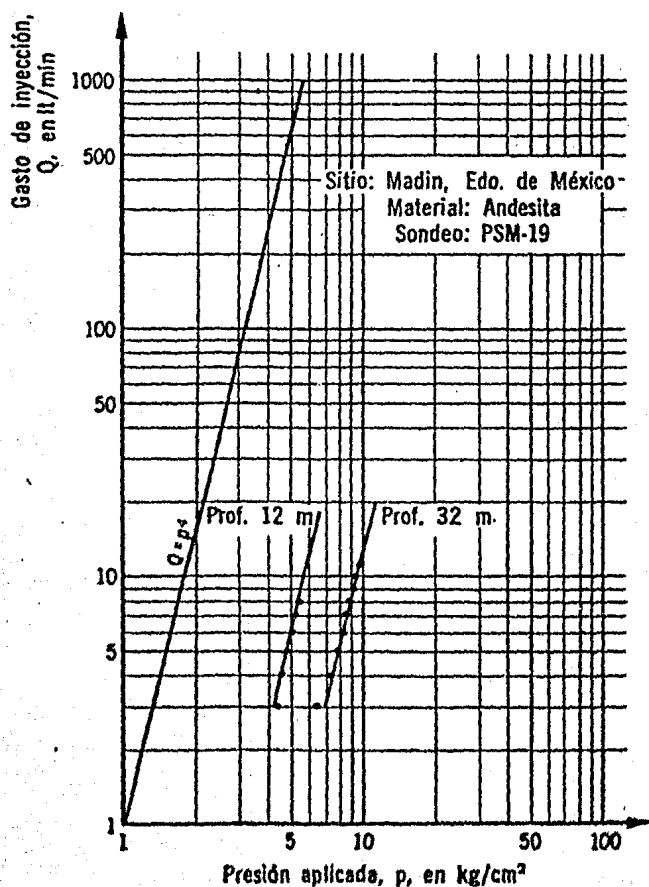
En conclusión, la permeabilidad de la roca, a pequeña o gran escala, es variable de acuerdo al estado de esfuerzos aplicados, por el efecto que provoca en el ancho de las fisu

ras, tanto microscópicas como macroscópicas, al abrirlas o cerrarlas.



(De Alberro, inédito)

Fig. 7.2 Tipos de flujo para obtener la sensibilidad de una muestra de roca.



(de Marsal y Résendi 1975)

Fig. 7.3 Resultados de las pruebas de permeabilidad Lugeon.

7.4 Propiedades mecánicas de las rocas.

Son de tipo cuantitativo, permiten predecir el comportamiento mecánico de los macizos rocosos y son directamente aplicables dentro del diseño ingenieril.

Estas propiedades alimentan a los modelos de predicción matemática para conocer el comportamiento de las estructuras ingenieriles que se construyen sobre macizos rocosos.

Las propiedades mecánicas más importantes son:

- Deformabilidad
- Resistencia
- Permeabilidad

Deformabilidad: Cuando sometemos una muestra de roca a una carga ésta tiende a cambiar de forma, de volumen o bien las dos cosas simultáneamente. En cualquiera de estos tres casos la roca está siendo deformada.

La deformación puede medirse haciendo referencia a la variación de longitud de una línea situada dentro de la roca y/o a la variación del ángulo ψ entre dos líneas (deformación de cizalla). La deformación se produce cuando un material está sujeto a un esfuerzo (fuerza/área) provocado por fuerzas de superficie externas, por fuerzas de tipo gravitatorio o por otras causas, como por ejemplo cambios en el equilibrio térmico interno del mismo. Durante el período de aplicación del esfuerzo, éste y la deformación son de hecho inseparables por lo que se acostumbra estudiar a la deformabilidad mediante gráficas esfuerzo-deformación. (Fig. 7.4)

Resistencia: En el estudio de las propiedades de resistencia de una roca hay que considerar, en general, tres clases de esfuerzos: (ver fig. 7.5) esfuerzos de compresión (que tienden a disminuir el volumen de material); esfuerzos-

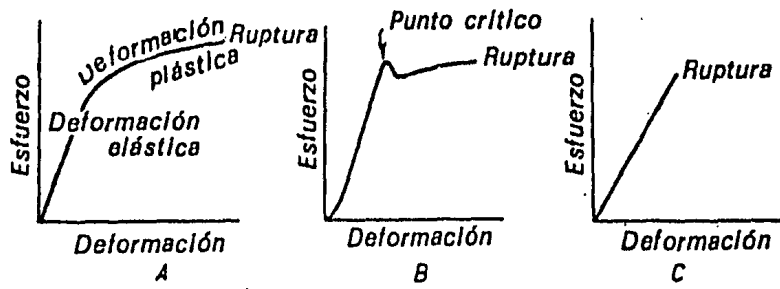


FIG. IV-11. — *Curvas esfuerzo-deformación.*

En cada caso la curva termina en el punto de ruptura (fractura) del material.

- A. Substancia dúctil; B. Hierro dulce, con punto crítico; C. Substancia frágil.

(De Sherbon Hills, 1977).

FIG. 7.4 Curvas Esfuerzo-Deformación

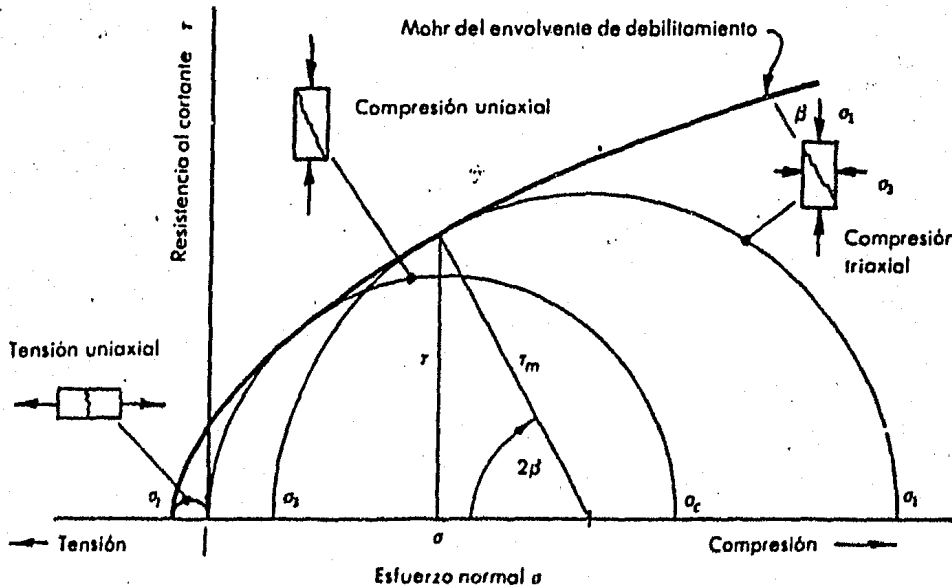
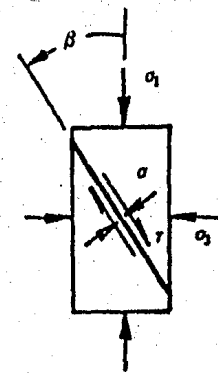


Figura 67. Representación gráfica de las condiciones de los esfuerzos para debilitar a la roca inalterada.



Relación entre los esfuerzos cortante y normal esfuerzos principales

$$\tau = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\beta$$

$$\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) - \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \cos 2\beta$$

donde β es el ángulo entre el plano de la dirección del debilitamiento esfuerzo principal mayor σ_1 .

(Tomada de Hock y Brown, 1985)

Fig. 7.5 Tipos de Esfuerzos. (Representación en el Círculo de Mohr).

de tensión (que tienden a crear fracturas en el material) y esfuerzos cortantes (que tienden a desplazar unas partes de la roca con respecto a las otras). De acuerdo con esta clasificación la roca puede presentar resistencia a la compresión y resistencia al esfuerzo cortante, la resistencia a la tensión en cambio puede desprejarse; como consecuencia aquellas estructuras o parte de estructuras que han de experimentar tensiones no se construyen con material rocoso, sino de otros materiales para ello apropiados, tales como el hormigón armado o el acero.

Permeabilidad: Es la propiedad de algunos materiales de permitir el paso de fluidos a través de ellos sin modificar su estructura interna. Una roca se considera permeable cuando permite el paso de una cantidad medible de fluido en un período de tiempo finito. Existen varios factores que influyen en la permeabilidad, por ejemplo: la temperatura, estructura, estratificación, existencia de cavidades (vesículas, fracturas), etc.

7.5 Determinación de las propiedades mecánicas.

En la tabla 7.2 se han agrupado los procedimientos para obtener las propiedades mecánicas de las rocas tanto en el Laboratorio como en el campo. Se incluyen además las pruebas para la determinación "in situ" de los esfuerzos tectónicos (las cuales ayudan a la comprensión del estado de esfuerzos presentes en el macizo rocosos).

7.5.1 Pruebas de Laboratorio

A) RESISTENCIA

-Compresión Simple: Consiste en aplicar a los especímenes de roca cargas axiales sin confinamiento (fig. 7.6). Los especímenes son generalmente cilindros de 2.5 a 7.5 cm.-

TABLA 7.2

DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ROCAS

	RESISTENCIA	DEFORMABILIDAD	PERMEABILIDAD
DETERMINACION EN LABORATORIO	<ul style="list-style-type: none"> - Compresión simple - Compresión Triaxial <p style="text-align: right;">} Compresión</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Módulo de elasticidad estático - Relación de Poisson - Consolidación - Expansión - "Creep" (flujo plástico) 	<ul style="list-style-type: none"> AL AGUA { Permeámetro de carga constante Permeámetro de carga variable Permeámetro radial
	<ul style="list-style-type: none"> - Tensión directa - Tensión indirecta - Prueba puntual - Prueba centrífuga - Flexión <p style="text-align: right;">} Tensión</p>		
DETERMINACION EN EL CAMPO "IN SITU"	<ul style="list-style-type: none"> - Corte directo - Corte simple - Corte doble - Punzocortante - Torsión <p style="text-align: right;">} Corte</p>	<ul style="list-style-type: none"> Procedimiento Estático { *Pruebas Superficiales: Prueba de placa Túneles presurizados, gato radial en túneles *Pruebas Profundas: Aparatos en Barrenos. 	<ul style="list-style-type: none"> Arriba del * NAF { Matsuo-Nasberg Debajo del * NAF { - Lugeon - Lefranc - Trazadores radioactivos - Micromolinet.
	<ul style="list-style-type: none"> - Compresión simple 		

DETERMINACION EN CAMPO (ESFUERZOS TECTONICOS)

*NAF=Nivel de aguas freáticas

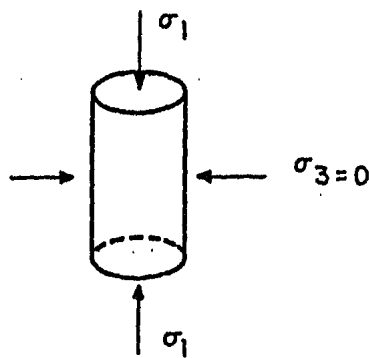
Magnitud { - Superficiales (Gato plano)

- Profundos (aparatos en barrenos)

Dirección { -Superficiales (Prueba de Roseta)

-Profundos (Aparatos en barrenos)

de diámetro y altura igual a dos diámetros.

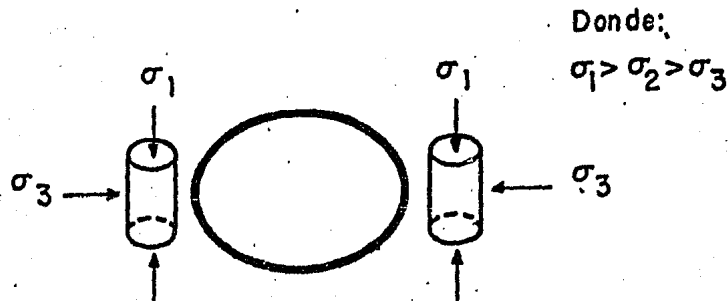


Donde:

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$

Fig. 7.6 Prueba de Compresión Simple

Para cada incremento de carga se mide la deformación longitudinal del espécimen; este tipo de pruebas reproduce las condiciones de esfuerzos en un túnel:



Donde:

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$

Fig. 7.6.a Sección de un túnel (mostrando la distribución de esfuerzos)

La resistencia del espécimen es el valor del esfuerzo bajo el cual el material falla. Dicho esfuerzo se calcula generalmente en megapascales ($1 \text{ MPa} = 10 \text{ bares} = 10.197 \text{ Kg/cm}^2$). La resistencia a la compresión simple en rocas varía de 5 a 400 MPa. Dentro de este gran intervalo han surgido varias propuestas de subdivisión que no son totalmente satisfactorias, pero que pueden resumirse en la Tabla 7.3.

-Pruebas Triaxiales: Simulan el estado de esfuerzos en el que se encontraba la roca en el campo. El Estado de esfuerzos es factible de representar con los esfuerzos normales denominados principales ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$), los cuales son ortogonales entre sí.

En los ensayos triaxiales, por simplicidad los esfuerzos principales laterales (σ_2 y σ_3) permanecen constantes-

durante la prueba. (ver Fig. 7.7)

Donde:

$$\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$$

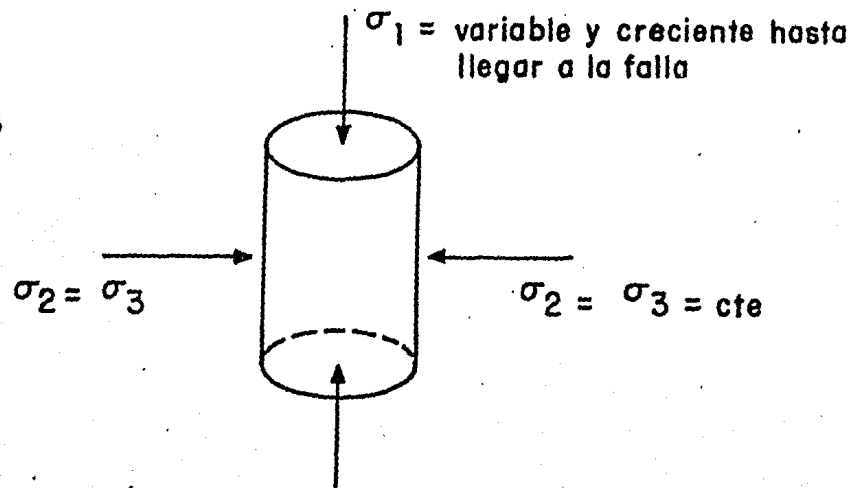


Fig. 7.7. Pruebas Triaxiales

Para analizar los resultados de los ensayos de compresión deben trazarse sus círculos de Mohr en la falla, para obtener la envolvente de falla (ver fig. 7.8) que nos da la ley de resistencia de la roca.

- Tensión directa o Axial: Los ensayos de tensión en especímenes de roca se han derivado de las pruebas desarrolladas para probar cilindros de concreto.

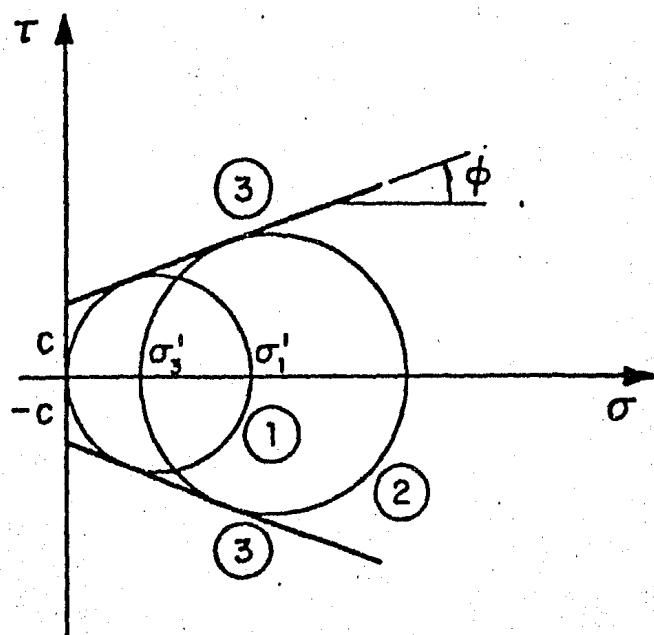
La resistencia a la tensión es la propiedad mecánica de la roca más sensible a la dimensión del espécimen.

En la figura 7.9 se muestra el estado de esfuerzos de un espécimen de roca sometido a Tensión Axial (directa).

Resistencia, en MPa	CONDICION	DESCRIPCION
5 a 20	Muy débil	Sedimentarias alteradas y débilmente compactadas
20 a 40	Débil	Sedimentarias y esquistos débilmente cementados
40 a 80	Resistencia media	Sedimentarias competentes; y rocas ígneas cuarzosas - de densidad un poco baja
80 a 160	Resistencia alta	Igneas competentes, metamórficas; y algunas areniscas de grano fino
160 a 320	Resistencia muy alta	Cuarcitas; rocas ígneas densas de grano fino

(Tomada del Manual de Diseño de Obras Civiles, B.3.4.)

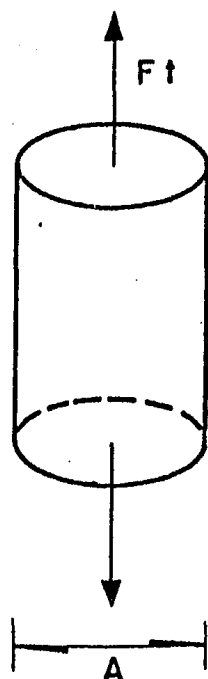
Tabla 7.2 Clasificación de las rocas de acuerdo con su resistencia a la compresión simple.



- ① Círculo de falla de una prueba de compresión triaxial
- ② Círculo de falla de una prueba de compresión triaxial
- ③ Envolvente de falla
- c Cohesión
- ϕ Angulo de fricción interna

(Tomada del manual de Diseño de Obras Civiles. B, 3, 4)

FIG. 7.8 Círculos de Mohr y envolventes de falla de una prueba de compresión simple y una Triaxial.



$$R_t = \frac{F_t}{A}$$

R_t = Resistencia a la tensión, cuando la muestra falla.

F_t = Fuerza de Tensión

A = Área Transversal

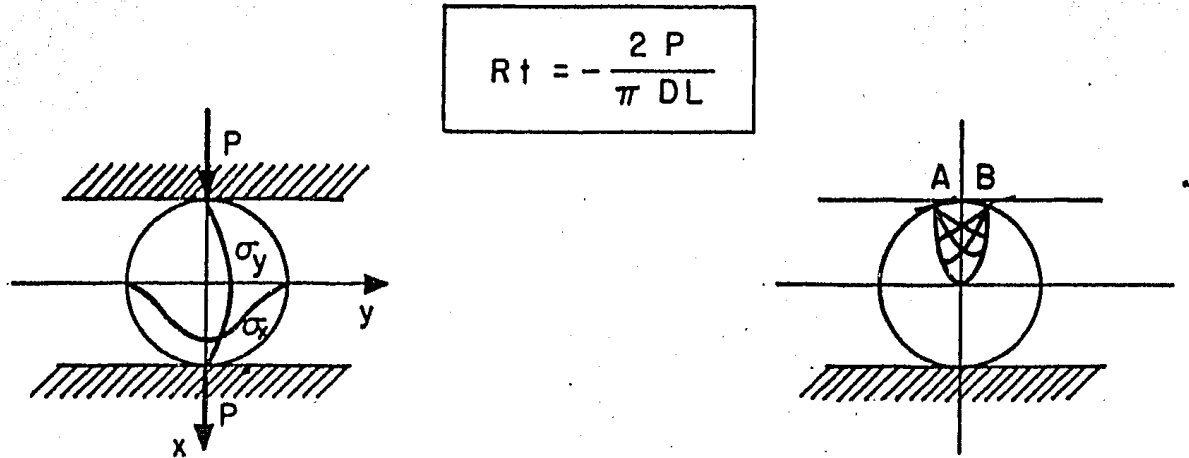
Fig. 7.9 Prueba de Tensión directa

- Tensión indirecta (prueba brasileña): Esta prueba es más común que la de tensión axial. Consiste en someter a compresión diametral a un espécimen cilíndrico produciéndose así esfuerzos de Tensión σ_y , y de compresión σ_x , como se indica en la fig.(7.10a) cuyos valores máximos son:

$$x = \frac{6 P}{\pi D l} \quad \text{de compresión (verticalmente)}$$

$$y = \frac{2 P}{\pi D l} = \frac{-\sigma_x}{3} \quad \text{de tensión (horizontalmente)}$$

A pesar de que el esfuerzo de tensión inducido es menor que el de compresión, el espécimen falla a lo largo del eje vertical (Fig. 7.10b) debido a su menor resistencia a la tensión.



a) Diagramas de esfuerzos-
de compresión, σ_x y de
tensión σ_y .

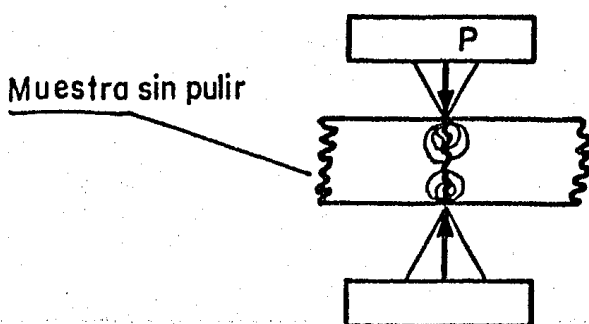
b) Zona de ruptura en -
una prueba brasileña

(Tomadas de Jaeger, 1979)

Fig. 7.10 Prueba brasileña

- Prueba puntual: Genera esfuerzos a la tensión pero no da valores de resistencia a la tensión.

La ventaja de esta prueba es que no hay que pulir las -
caras del espécimen para efectuarla (Fig. 7.11)



$$I_s = \frac{P}{D^2}$$

donde:

I_s = índice de prueba puntual.

P = carga

D^2 = diámetro al cuadrado

Fig. 7.11 Prueba Puntual

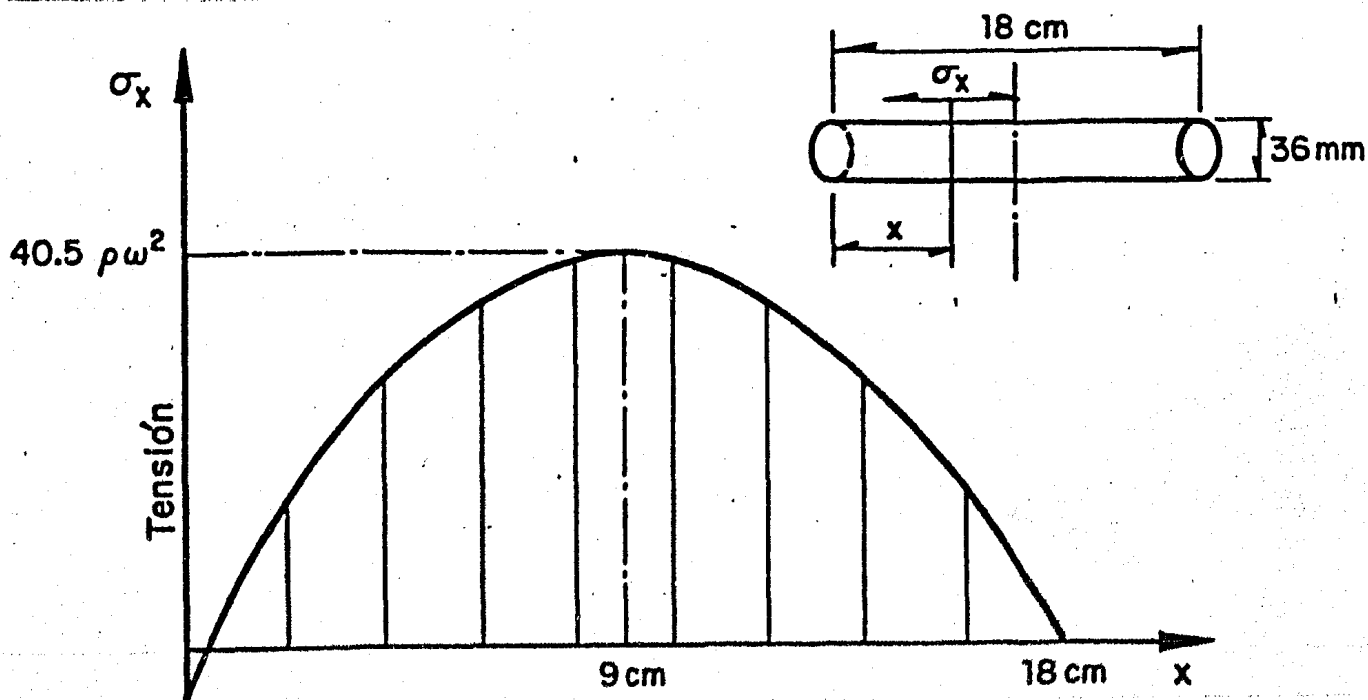
- Prueba centrífuga: Es un método poco usual para obtener la resistencia a la tensión. Se utiliza una máquina centrífuga en la que se introduce el espécimen de roca de 3.6 cm. de diámetro y 18 cm de longitud en un recipiente cilíndrico de acero de longitud un poco mayor, que se puede girar según el eje ortogonal central. Al iniciar la rotación, el espécimen desliza, apoyándose sobre una de sus bases en el interior del recipiente, creándose en el espécimen un estado de esfuerzos de tensión no uniforme que alcanza su valor máximo en su parte media (Fig. 7.12). Conociendo la velocidad angular W y la densidad de la roca P , el esfuerzo a una distancia X de los extremos de la probeta es:

$$\sigma_x = 1/2 \rho W^2 (Lx - x^2)$$

donde:

L = Longitud del espécimen

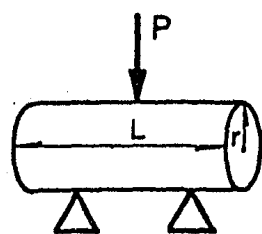
ρ = Cociente del peso específico entre la aceleración.



(Tomada del Manual de Diseño de Obras Cíviles, CFE, B.3.4.)

Fig. 7.12 Distribución de esfuerzos longitudinales en una probeta, durante la prueba centrífuga

-Flexión: Consiste en someter a un espécimen de roca apoyado simplemente en sus dos extremos, a una carga en el punto medio del claro. Cuando los esfuerzos son más altos que la resistencia a la Tensión de la roca, el espécimen falla. (Fig. 7.13)



$$R_f = \frac{PL}{r^3}$$

R_f = Resistencia a la flexión

P = Carga aplicada

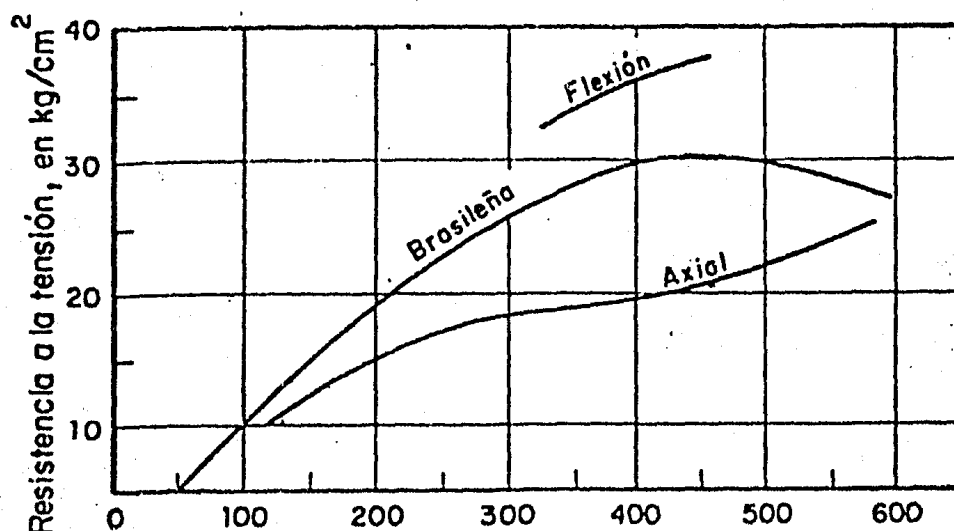
L = Longitud

r^3 = radio al cubo

Fig. 7.13 Prueba de Flexión

Los valores de la resistencia a la tensión obtenida de pruebas de flexión son siempre mayores que los alcanzados en pruebas de tensión directa.

La gráfica de la figura 7.14 muestra una comparación entre los resultados de pruebas de tensión (directa, brasileña y flexión).



RESISTENCIA LA COMPRESION, Kg/cm²

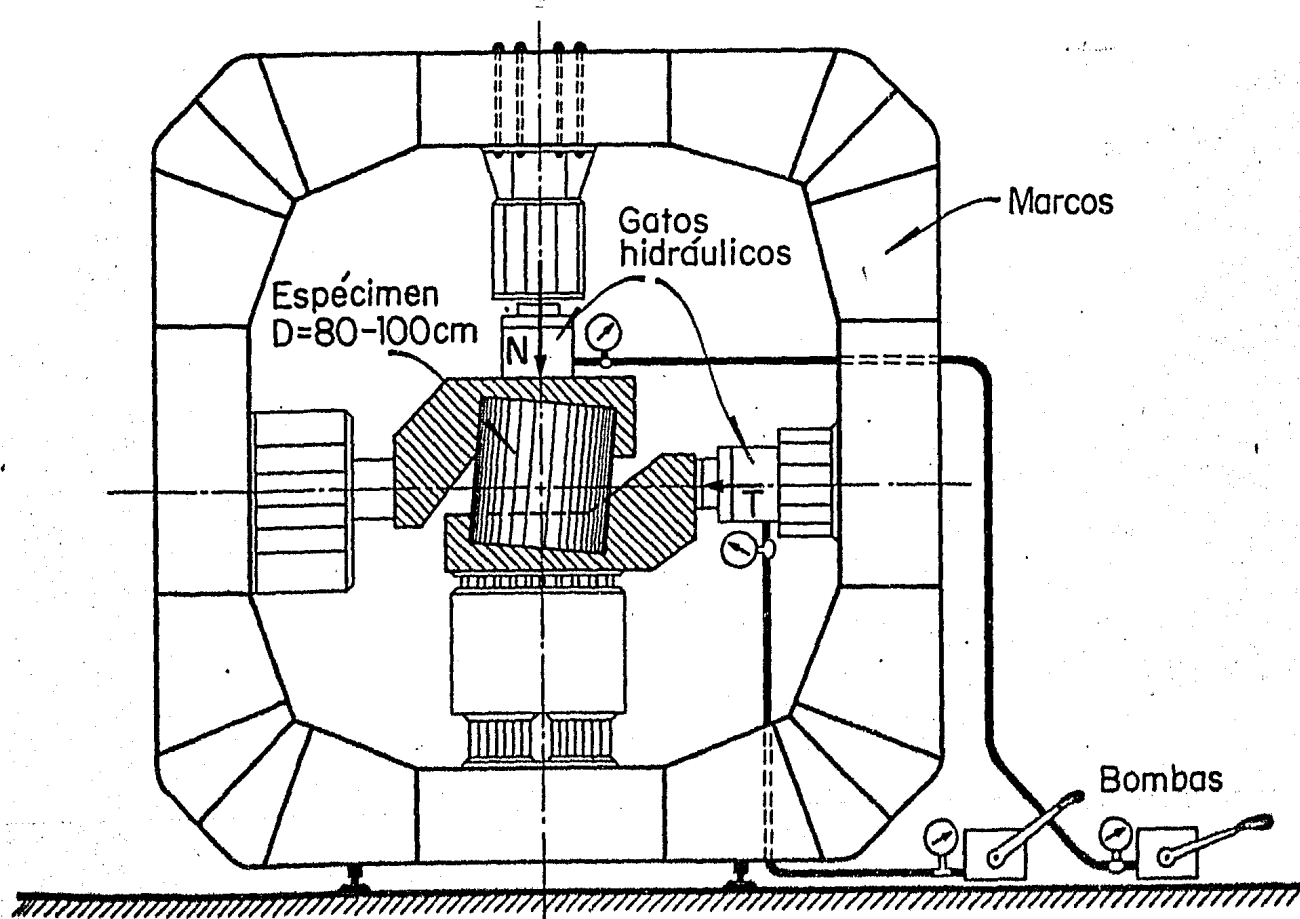
(Tomada del Manual de Diseño de Obras Civiles, CFE, B.3.4.)

Fig. 7.14 Comparación de las resistencias a la tensión obtenidas por diferentes métodos de Laboratorio

-Ensayos de Corte: La resistencia al corte es una propiedad tanto de la roca intacta como de las juntas o planos de debilidad de los macizos rocosos. Existen diferentes procedimientos de laboratorio para obtener la resistencia al corte, (ver fig. 7.15) en general consisten en provocar una falla por corte a través de la roca intacta en un plano seleccionado previamente o a través de un plano de debilidad preexistente. La muestra se prepara con una ranura o cementándola en un molde (fig. 7.16)

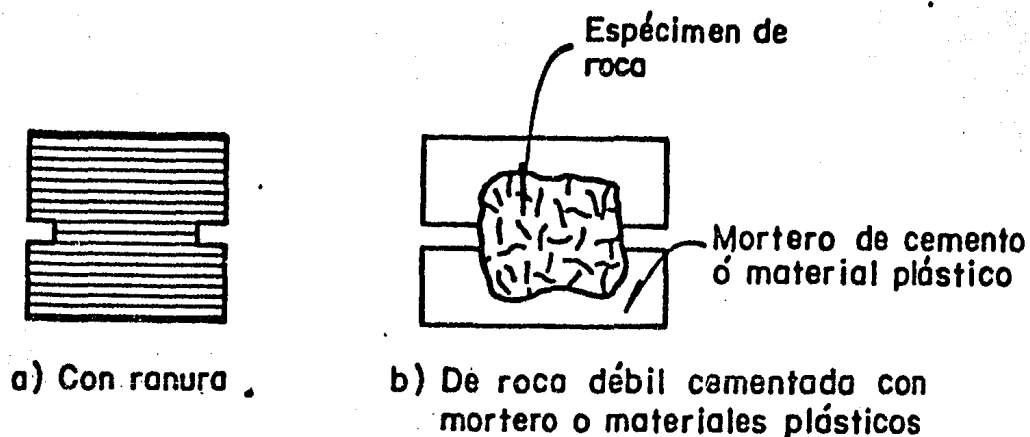
B) DEFORMABILIDAD.

-El módulo de elasticidad estático del material rocoso, E , y el radio de Poisson, ν , asociado, son medidos sobre las muestras de roca durante las pruebas de compresión simple (no confinadas). Las deformaciones son medidas en la dirección de la carga y en la dirección perpendicular a ella.



(Tomada del Manual de Diseño de Obras Civi-
les, CFE, B.3.4)

Fig. 7.15 Prueba de Laboratorio para la obtención de la resistencia al corte de muestras de roca.

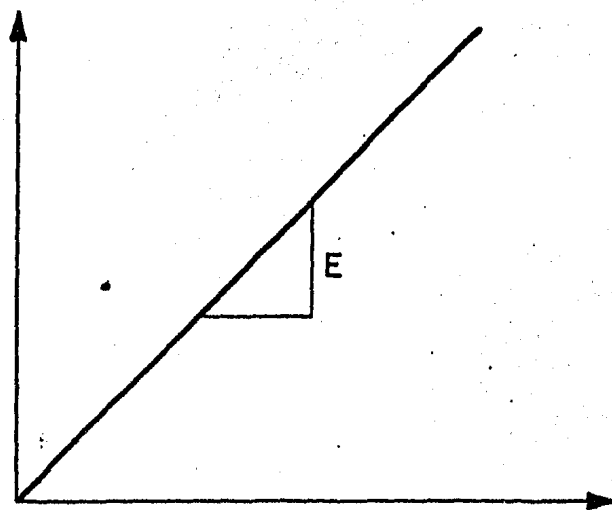


(Tomada de Jaeger, 1979)

Fig. 7.16 Especímenes de roca en un ensaye de corte simple.

Cuando se traza una gráfica esfuerzo-deformación en dirección paralela a la aplicación de la carga se observa que la deformación raramente varía linealmente con la carga (fig. 7.17) generalmente se tiene una curva como la representada en la fig. 7.17b de donde es posible obtener tres tipos de módulos de deformabilidad: el módulo inicial (E_i), el módulo tangente (E_T) y el módulo secante (E_S), los cuales se diferencian entre sí por la manera de obtenerse.

Esfuerzo (σ , en Kg/cm²)

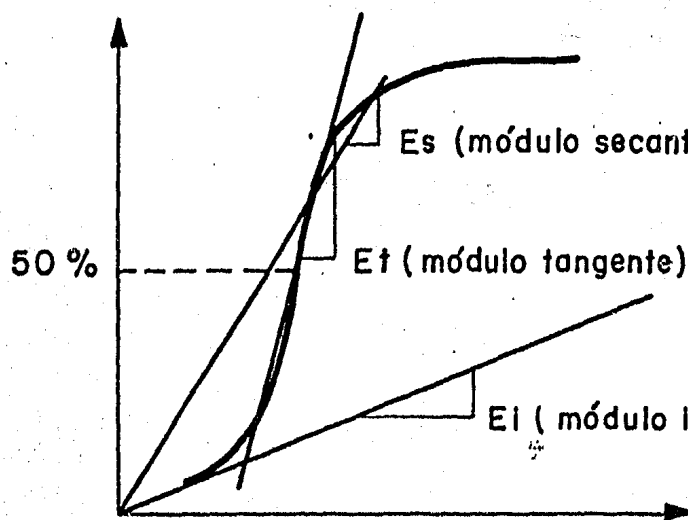


Modulo de Deformabilidad: $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$

a)

Deformación (E %)

Esfuerzo (σ , en Kg/cm²)



b)

Deformación (E %)

E_s (módulo secante) puede ser cualquier punto de la curva pero siempre con respecto al origen.

E_i (módulo Inicial) a partir del origen.

Fig. 7.17 Obtención del Módulo de Deformabilidad Estático

Por otra parte la relación de Poisson se obtiene dividiendo a la deformación longitudinal entre la deformación transversal.:

$$\nu = \frac{E_l}{E_t}$$

Donde:

ν =Relación de Poisson

E_l =Deformación longitudinal

E_t =Deformación transversal

Los valores usuales para la relación de Poisson varían entre 0.2 y 0.3 (adimensionales)

-Consolidación y Expansión: Tienen por objetivo principal la determinación de los parámetros mecánicos, que rigen la magnitud y velocidad de los asentamientos producidos por una carga; aunque estas pruebas se emplean fundamentalmente en suelos finos, es posible obtener información útil en el caso de lutitas suaves.

El procedimiento y equipo necesarios para realizar este tipo de pruebas se encuentra en el Tomo I del libro "Mecánica de Suelos" de Eulalio Juárez Badillo y Alfonso Rico Rodríguez Ed. Limusa, México, 1981.

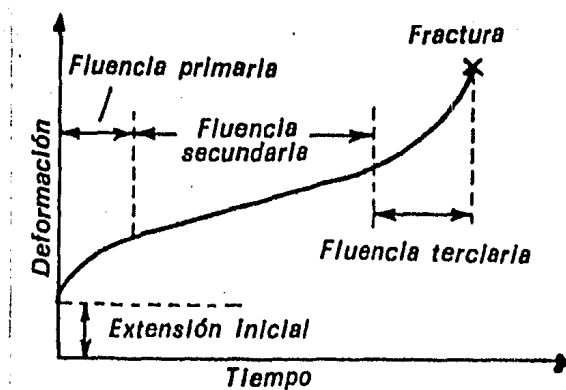
-"Creep" (Fluencia Plástica): Este tipo de comportamiento puede ser observado "in situ", así como en el laboratorio bajo condiciones de carga constante contra tiempo. Estas deformaciones lentas de las rocas usualmente no causan la ruptura de las mismas y pueden ser observadas en minas de sal así como en las cimentaciones de algunas presas grandes.

Esta deformación lenta y persistente que se produce cuando un material está sometido a un esfuerzo es conocida con el nombre de fluencia.

La fluencia está compuesta por tres procesos distintos.

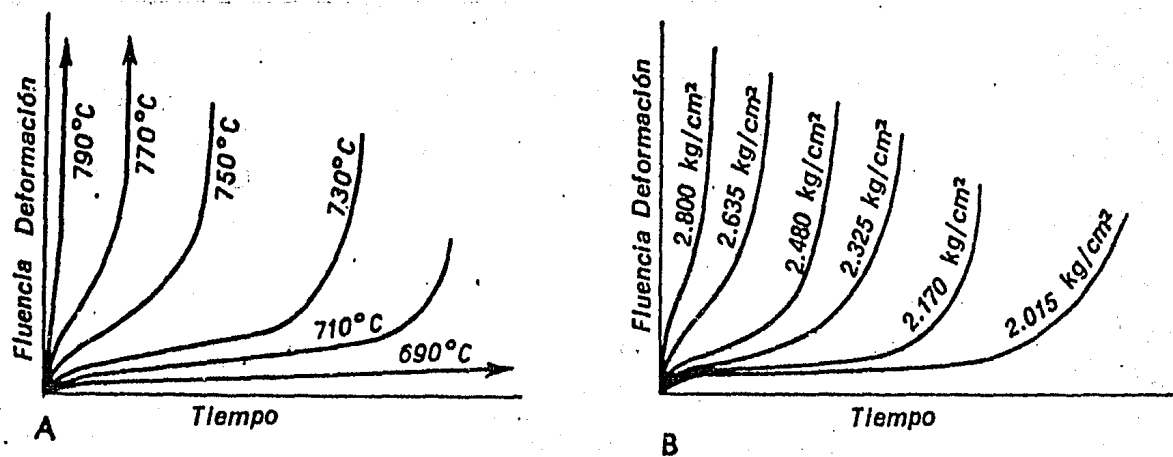
El primero es un efecto elástico conocido como fluencia primaria o transitoria que disminuye logarítmicamente con el tiempo y se recupera al cesar el esfuerzo; el segundo es la fluencia secundaria o casi viscosa que es proporcional al tiempo durante el cual se ha aplicado el esfuerzo y el tercero es la fluencia terciaria durante la cual la velocidad de deformación aumenta con el tiempo. Una curva típica de fluencia o creep puede observarse en la figura 7.18. A temperaturas y presiones bajas la deformación por fluencia es limitada. En primer lugar la resistencia a la ruptura se reduce mucho y en segundo lugar la deformación total es normalmente menor que en los ensayos de poca duración. Sin embargo, bajo presiones moderadas que se acerquen a la ruptura la deformación por fluencia es mucho mayor y su valor puede ser muy superior al de la fluencia plástica normal, favoreciendo igualmente la temperatura elevada el aumento de velocidad y extensión de esta última. (fig. 7.19). Estas observaciones se aplican especialmente a la fluencia secundaria, que depende principalmente, en materiales dúctiles, a movimientos en los bordes de grano, mientras que la fluencia primaria se debe a desplazamientos producidos en la celda cristalina. La fluencia terciaria está relacionada con la reconstitución de las sustancias produciendo crecimiento en los granos y la presencia de nuevas fases sólidas, cambios de fase polimórficos y pequeñas grietas, siendo muy probable su importancia en rocas sometidas a proceso de metamorfismo.

Se ha dicho que la fluencia primaria, en rocas frágiles es debida a movimientos producidos por fracturas muy pequeñas y es posible que la secundaria y terciaria impliquen igualmente microfracturamiento en este tipo de materiales.



(Tomada de Sherbon Hills, 1977)

Fig. 7.18 Curva general para la fluencia
(Creep)



- A. Con esfuerzo constante y aumento de temperatura.
B. Con aumento del esfuerzo y a temperatura constante. (Según Griffiths, de Sully, 1949)

(Tomada de Sherbon Hills, 1977)

Fig. 7.19 Curvas que demuestran el aumento de fluencia. (de acuerdo con ciertos factores)

C) PERMEABILIDAD.

-En el laboratorio se mide el coeficiente de permeabilidad al aire y la variación con el tiempo de la permeabilidad al agua. El valor del coeficiente de permeabilidad al aire es un índice del estado de alteración de la roca mientras que la variación de la permeabilidad al agua es indicativa de la alterabilidad de la roca.

a) Permeabilidad al Agua: Las pruebas de permeabilidad sobre muestras de roca son más difíciles que las pruebas efectuadas en suelos, principalmente por el lento promedio de percolación del agua.

Existen 3 formas de determinar el coeficiente de permeabilidad: mediante el permeámetro de carga constante, el permeámetro de carga variable y el permeámetro radial, los cuales se muestran en la fig. 7.20

En general consisten en hacer pasar agua a través de la muestra; el agua debe ser la misma con la que la roca estará en contacto en el campo.

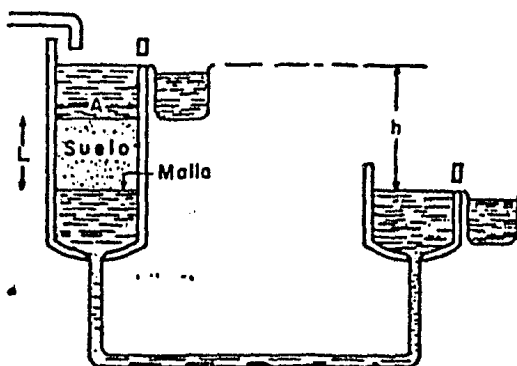
Si la permeabilidad varía con el tiempo o la composición química del agua filtrada a través de la muestra se modifica, la alterabilidad de la roca es alta.

b) Permeabilidad al aire: Esta prueba consiste en hacer pasar aire a través de la muestra de roca, por medio del dispositivo que se muestra en la fig. 7.21 como se indica a continuación:

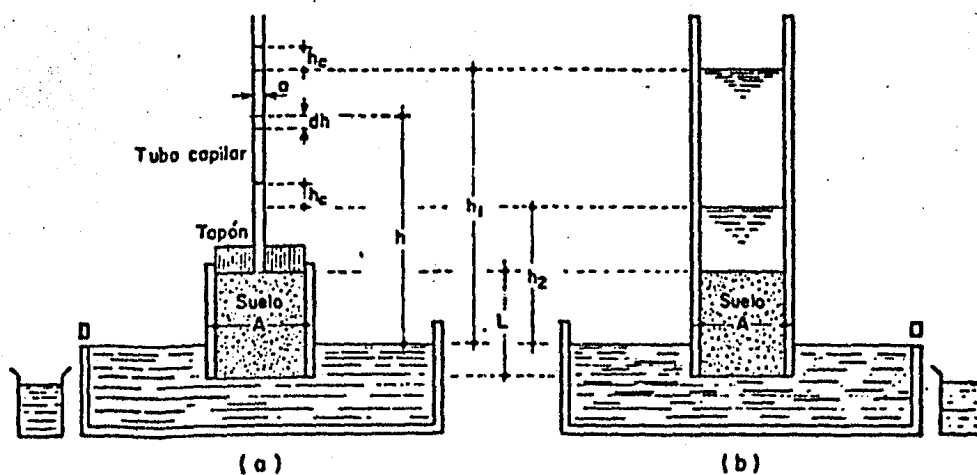
-Se coloca el espécimen en el portamuestra, se tapa y se sella.

- Se abre la válvula de vacío, elevándose el mercurio

- Se cierra la comunicación al vacío.
- Se destapa el portamuestra; entonces, el aire pasa a través de la muestra, bajando en consecuencia, la columna de mercurio. Se mide la variación de la columna de mercurio en un tiempo determinado.



Esquema de permeámetro de carga constante

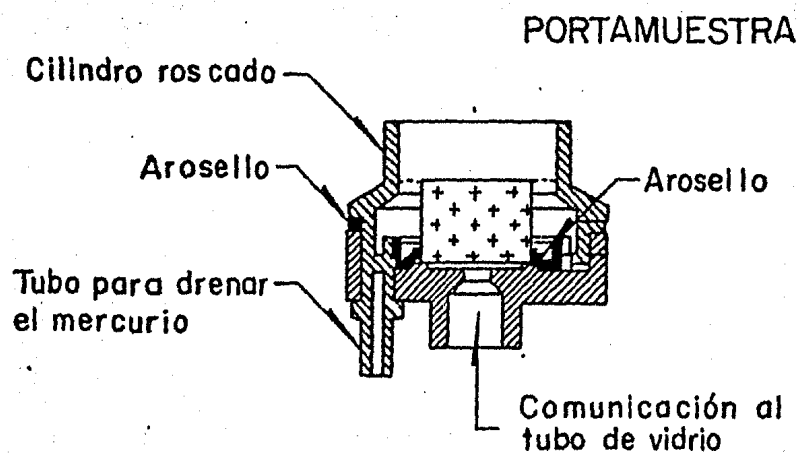
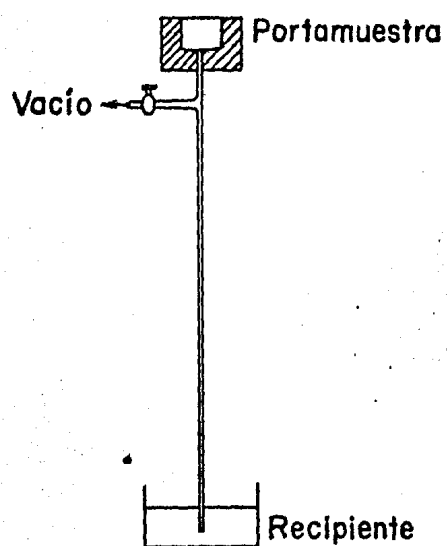


Esquemas del permeámetro de carga variable

- a) Para suelos finos
- b) Para suelos gruesos

(Tomadas de Juárez Badillo y Rico, 1981)

Fig. 7.20 Tipos de Permeámetros



(del Manual de Diseño de
Obras Civiles, CFE, 1979)

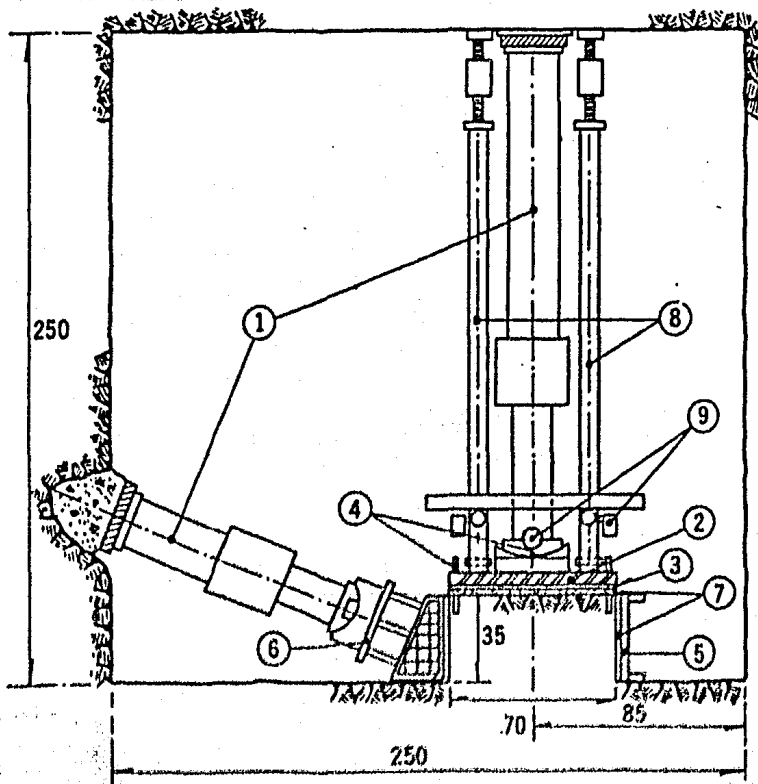
Fig. 7.21 Aparato para medir la permeabilidad al aire en el laboratorio.

7.5.2. Pruebas de Campo

- Corte Directo: La determinación de la resistencia al corte de una roca está basado en el estudio de sus discontinuidades, en las cuales es más posible que la roca falle.

La prueba de corte directo se lleva a cabo aislando un espécimen primático de roca de la masa rocosa total; el espécimen debe estar limitado en su cara inferior por una discontinuidad.

Sobre la cara superior de la muestra se ejerce una fuerza constante normal al plano potencial de falla, mientras simultáneamente se aplica, en incrementos, un esfuerzo tangencial que induce la falla del bloque. Esta prueba, muy sencilla en su concepto, presenta problemas en su realización: determinación de la orientación de las fuerzas aplicadas, velocidad de carga, condiciones de saturación de la muestra, etc. En la fig. 7.22 se muestra una esquema de montaje de esta prueba.



- 1 gatos de 100 ton
- 2 placas de asiento
- 3 colchón metálico
- 4 puntos de medición
- 5 marco de cortante
- 6 viga de apoyo
- 7 asiento de mortero
- 8 templete para colocación de medidores
- 9 deformómetros de ca rátula

(Tomada de Marsal y Reséndiz, 1975)

Fig. 7.22 Montaje de la prueba in situ de Corte Directo

B) DEFORMABILIDAD

La deformabilidad de una masa rocosa surcada por micro y macro discontinuidades varía con el volumen de material probado. En otras palabras, la deformabilidad de una masa rocosa es -- una característica en la que se aprecia un factor de escala. -- En esas condiciones resulta impropio utilizar el valor del módulo de deformación determinado en el laboratorio, obtenido -- de probetas de roca de dimensiones reducidas, para diseñar estructuras de grandes dimensiones (por ejemplo, una casa de máquinas subterránea). A fin de introducir en el diseño un valor realista de la deformabilidad de la masas rocosa afectada, se requiere realizar pruebas de campo estáticas o dinámicas.

*Procedimiento Estático:

- Prueba de Placa: Ha sido la primera y sigue siendo la más frecuente, realizada para determinar la deformabilidad de una masa rocosa en el campo. Sin embargo, los equipos utilizados han evolucionado con el fin de afectar volúmenes de roca cada vez mayores e incrementar la magnitud de los esfuerzos aplicados.

Consiste en colocar una placa circular sobre la roca por ensayar. Sobre esta placa se aplica una carga y se mide la deformación superficial resultante. Al variar el tamaño de la placa de carga, cambian también los valores del módulo de deformabilidad así determinados; cuanto mayor es el diámetro de la placa de carga mayor es la profundidad de la roca afectada -- por la prueba, además los resultados de las pruebas efectuadas con placa grande (de 1 a 4 m²) estarán más afectados por la fisuración que las hechas con placa pequeña (30 cm. de diámetro), como se puede observar en la fig. 7.23.

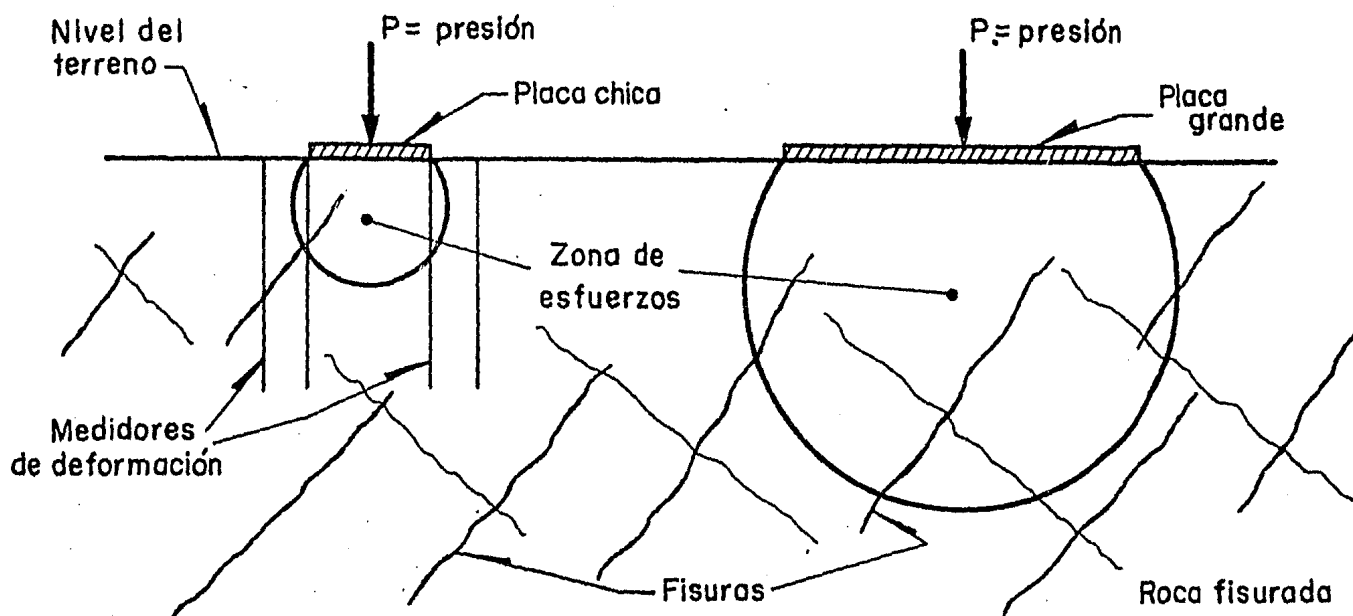


FIG. 7.23 Influencia del tamaño de la placa en la profundidad de roca probada

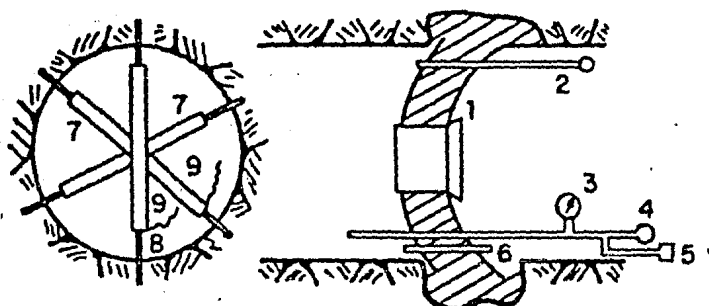
La placa se denomina flexible cuando la carga se transmite a la roca por medio de gatos Freyssinet (gato plano) y se llama rígida cuando la carga se transmite a través de una placa rígida que sólo admite deformaciones muy pequeñas.

Estas pruebas se realizan después de preparar la superficie de apoyo de la placa tanto en trincheras, como en el interior de túneles o socavones excavados, especialmente para la prueba. En túneles y socavones, la prueba puede realizarse simultáneamente en las dos paredes laterales o en el techo y en el piso.

- Túneles presurizados: Es la prueba a más grande escala que se efectúa para la obtención del módulo de elasticidad. - Consiste en cerrar herméticamente un tramo de túnel o galería después de haberla impermeabilizado y de haber colocado deformímetros unidos a puntos diametralmente opuestos (Fig. 7.24); después de cerrarse se llena con agua y se suministra presión a las paredes.

- Este procedimiento es uno de los más costosos, aunque tiene la ventaja de afectar un volumen de roca mayor que con otros métodos de medición.

La medición de los desplazamientos de puntos interiores de la masa de roca permite calcular el módulo de deformación de la roca que se encuentra fuera de la zona de descompresión cercana a las paredes del túnel.



- | | |
|--------------------|-------------------|
| 1 Caja de registro | 6 Ducto de cables |
| 2 Purga de aire . | 7 Barras invar |
| 3 Manómetro | 8 Cuerda vibrante |
| 4 Contador | 9 Cables |
| 5 Entrada de agua | |

(Tomada de Jaeger, 1979)

Fig. 7.24 Túnel bajo presión hidrostática

-Aparatos en sondeos: Los ensayos efectuados en sondeos - permiten investigar un macizo rocoso in requerir la excava--- ción de galerías, necesarias para la realización de las prue-

bas de placa por ejemplo.

Los dispositivos utilizados para medir la deformabilidad de la roca en sondeos, son de dos tipos: los dilatómetros, -- que aplican una presión hidrostática sobre la pared del sondeo y los gatos curvos, que cargan la pared rocosa a lo largo de dos sectores circulares diametralmente opuestos.

La interpretación de las pruebas efectuadas con los dilatómetros es más sencilla y confiable que la correspondiente a las pruebas de gatos curvos.

*Procedimiento Dinámico:

Método Sísmico de Refracción: Los ensayos de refracción sísmica permiten determinar el módulo de deformabilidad dinámico de zonas extensas, correlacionando sus resultados con la geología del sitio y con los resultados de los ensayos estáticos.

La prospección sísmica ocupa un lugar importante dentro del conjunto de los métodos de investigación de las masas rocosas. En efecto, los volúmenes de roca involucrados en la medición sísmica son grandes, lo que resulta ventajoso; además, la determinación de las velocidades de propagación de las ondas longitudinales (VL) y transversales (Vt) permite, si se supone que el comportamiento del macizo es elástico, una valoración de su módulo de Young dinámico, E_d y de su relación de Poisson, ν_d , mediante las ecuaciones:

$$V_L = \sqrt{\frac{E_d (1 - \nu_d)}{(1 + \nu_d) (1 - 2 \nu_d)}}$$

$$V_T = \sqrt{\frac{E_d}{2 \rho (1 + \nu_d)}}$$

Siendo ρ la masa específica de la roca. Estas ecuaciones

implican que cualquier perturbación, sean cuales fueren su amplitud y frecuencia, se propaga sin amortiguamiento o variación en su frecuencia, en un medio infinito elástico y homogéneo. En cambio, la experiencia de campo y de laboratorio --- muestra que, al propagarse una onda en un macizo rocoso, la amplitud de la vibración disminuye y las frecuencias superiores a 1000 hertz se amortiguan muy rápidamente. No es extraño que el módulo de deformación dinámico E_d , difiera del módulo de deformación estático es, obtenido con pruebas de placa, por ejemplo, pues esta diferencia refleja el comportamiento inelástico de la roca. Todas las pruebas efectuadas muestran que el módulo de deformación estático determinado en el laboratorio o en el campo, es menor al módulo de deformación-dinámico.

También se han establecido correlaciones con el E_d y otros parámetros de las masas rocosas, en la forma siguiente:

Al disminuir el E_d , disminuye el RQD

Al disminuir el E_d , aumenta la porosidad

Al aumentar el E_d , disminuye el índice de alteración.

C) PERMEABILIDAD

- Prueba Matsuo-Nasberg: Se realizan para estudiar la permeabilidad de terrenos aluviales o rocosos muy fracturados en los cuales no existe manto freático o situados por encima del nivel freático.

La prueba consiste en realizar una zanja rectangular y medir el gasto de agua de inyección necesario para mantener el nivel de agua constante. Posteriormente la zanja se alarga y se mide de nuevo dicho gasto Q . La diferencia entre estos dos gastos es el gasto de absorción del terreno para longitud complementaria de la zanja. En esta forma se elimina el efecto de los extremos.

- Prueba Lugeon: La prueba consiste en inyectar agua a presión midiendo los gastos absorbidos crecientes y decrecientes manteniendo el caudal durante 10 minutos; una vez que se haya estabilizado el flujo.

Tiene por objetivo formarse una idea aproximada de la permeabilidad en grande, o sea la debida a las fisuras de la roca.- La prueba se realiza, comúnmente, en tramos de 3-5 m de longitud, aislándolos con empaques de cuero o de hule (Fig. 7.25). Sin embargo, la longitud del tramo de prueba no debe fijarse rígidamente, sino que por el contrario, ha de adaptarse a la naturaleza del terreno.

La unidad Lugeon se define como la absorción de 1 litro de agua por minuto, por metro de perforación a una presión de inyección de 10 Kg/cm², aplicada ésta durante 10 minutos.- Con la prueba se obtendrán para distintos tramos, curvas de gastos de absorción contra la presión de inyección (Fig. ---- 7.26)

El equipo necesario para la prueba Lugeon se menciona a continuación:

1) Empaque u obturador: Su función es aislar el tramo a probar y de acuerdo al terreno se utilizarán los diferentes tipos de obturador. (ver fig. 7.27).

a) Obturadores mecánicos.- Se comprimen por una serie de rondanas de hule que se expanden presionando las paredes de perforación y sellando el tramo a probar. Su colocación es lenta y conviene sólo para perforaciones de diámetro mayor a 9 cm (fig. 7.27a).

b) Obturador de copa de cuero.- La presión de inyección acuña una serie de copas contra las paredes por lo que se requiere de perforaciones muy regulares y perfectamente cilíndricas (Fig. 7.27 b).

c) Obturador Neumático: Son cubiertas cilíndricas, de hule que se inflan con aire comprimido, y aunque de difícil colocación son muy eficientes (Fig. 7.27c)

2) Bomba: La bomba necesaria para inyectar agua a presión, debe ser tal que no produzca variaciones rápidas de la presión. Por lo tanto, debe usarse una bomba de varios pistones o de gusano y preferentemente una bomba centrífuga de alta presión.

3) Medidor de Gastos de Agua: La medida del gasto inyectado es muy delicado. Se puede utilizar un contador pero presentan ciertos inconvenientes (Alberro, ined.) por lo que lo más indicado es el uso del medidor venturi pues da errores del 1%, dándole la precisión suficiente a la medición.

f) Cronómetro: Se utilizan cuando se usan contadores para medir el tiempo y calcular gastos.

g) Uno o varios manómetros: Es conveniente mantenerlos en buenas condiciones, calibrándolos para que no proporcionen datos falsos.

h) Agua: El agua de inyección debe ser limpia, para evitar taponamientos en el medidor de gastos y errores cuando existan fisuras en el terreno.

Para obtener el gasto de absorción en términos de la presión de inyección, se varía en un mismo tramo la presión aplicada según la secuencia: 1, 2, 4, 6, 8, 10, 8, 6, 4, 2, 1 Kg/cm². La presión de inyección leída en el manómetro debe corregirse por pérdidas de cargas en la tubería y por altura del nivel freático con respecto al tramo probado.

La forma de las curvas de gastos de absorción en función de la presión de inyección es muy variable. Salvo en contados casos, es lineal. Como no es lineal la relación entre --

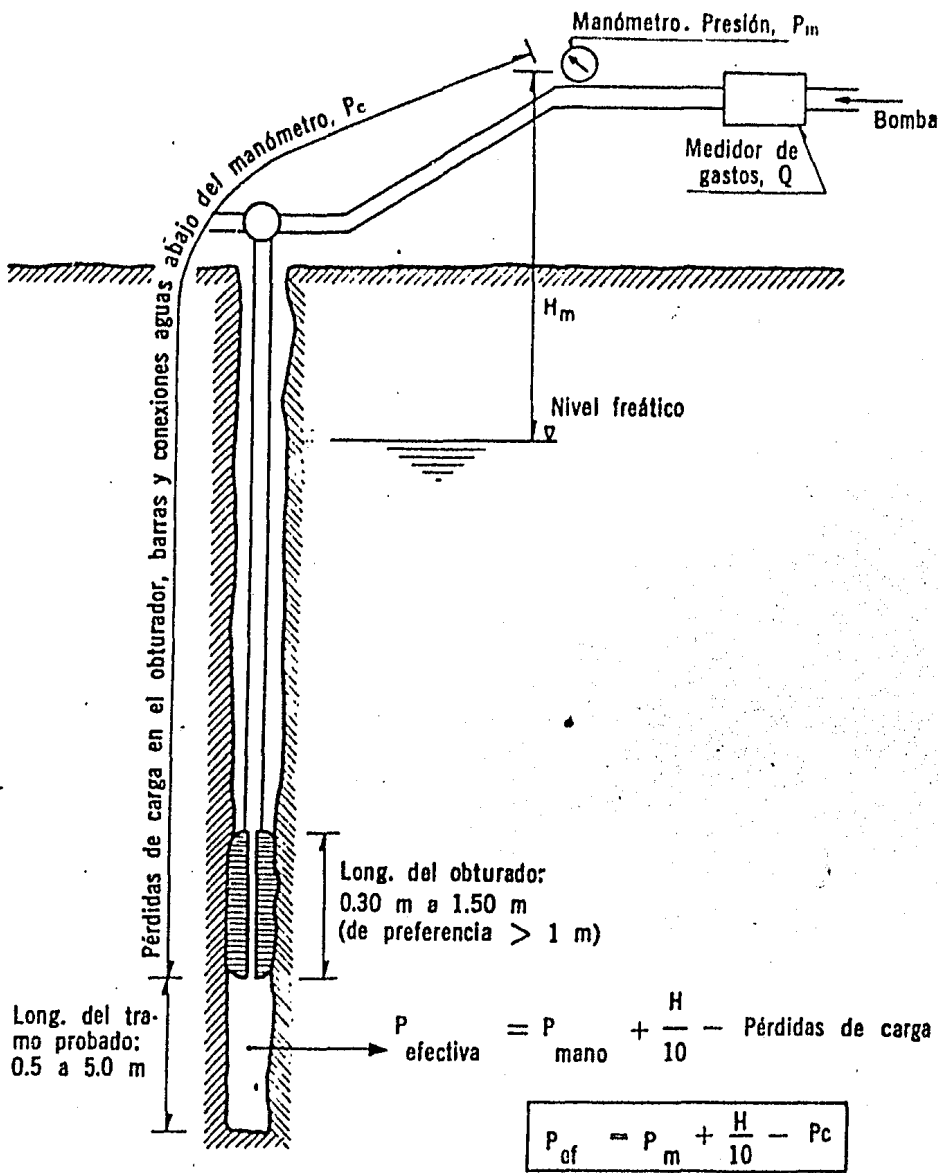
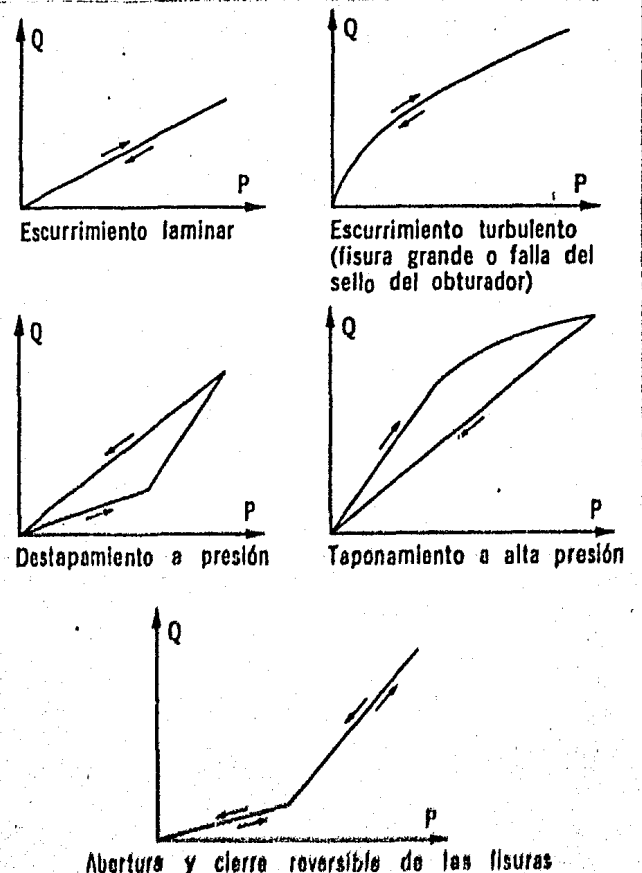


Fig. 7.25 Prueba de Permeabilidad Lugeon (De Marsal y Reséndiz, 1975)

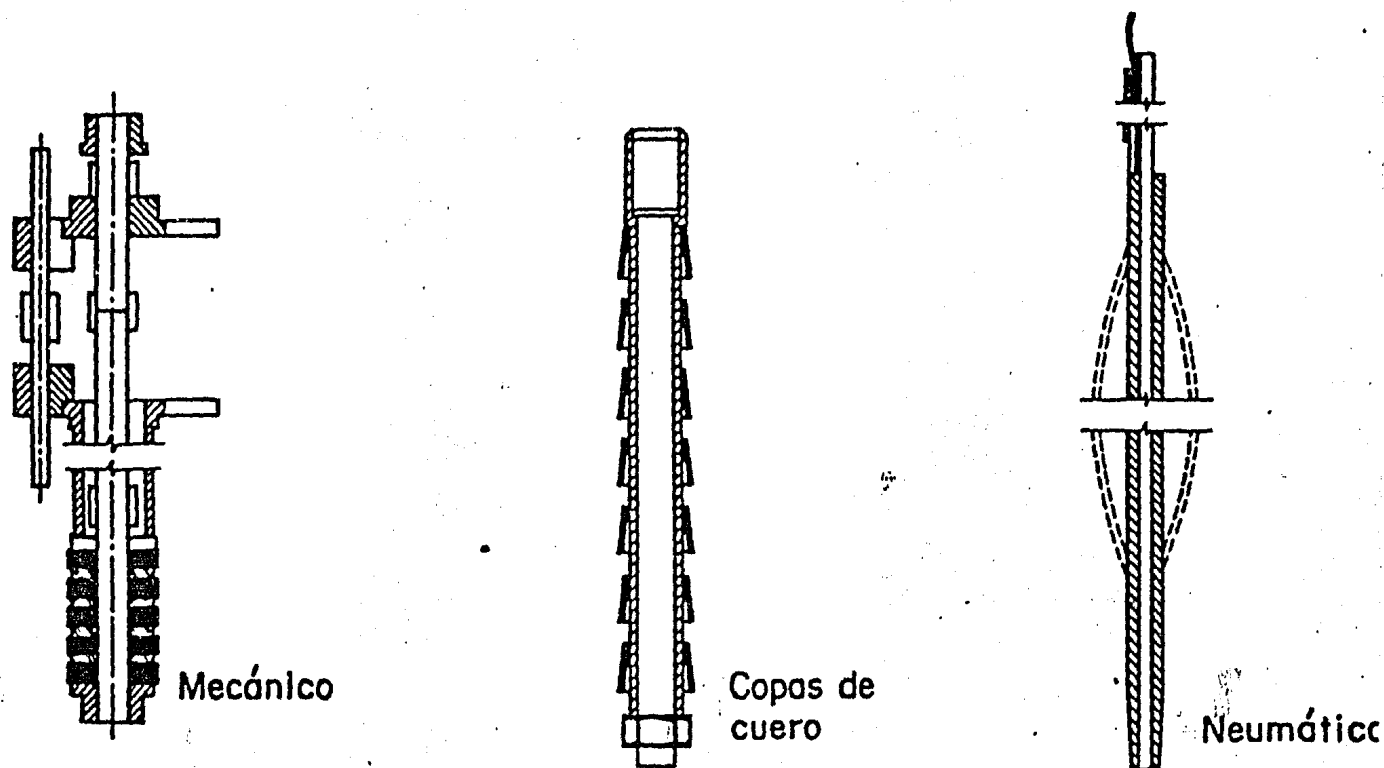
1 Lugeon \equiv 1 litro por metro y por minuto bajo 10 kg/cm² de presión efectiva
 1 Lugeon \approx 10⁻⁷ m/seg

Fig. 7.26 Gasto de absorción Vs. presión de inyección en pruebas Lugeon. (De Marsal y Reséndiz, 1975)



gastos y presiones, resulta inadmisibile extrapolar los datos-obtenidos; es frecuente que, por limitaciones en la bomba, no-se alcance la presión de 10 Kg/cm² e ingenuamente se proporcionen absorciones extrapoladas; esto es incorrecto.

Las pruebas Lugeon toman mucho tiempo, pues para cada -- presión debe esperarse hasta alcanzar la condición de flujo - establecido. Por esta razón se prefiere realizarlas después - de terminada la perforación. La determinación es susceptible - de errores importantes por fugas o por flanqueo en rocas muy-fracturadas. En este último caso se utiliza comúnmente, la -- prueba Lefranc.



(Tomado del Manual de Diseño de Obras Civiles, CFE; B.3.4)

Fig. 7.27 Tipos de obturadores para pruebas de permeabilidad Lugeon

-Prueba Lefranc: Esta prueba permite determinar la permeabilidad local de suelos y rocas muy fracturadas localizadas por debajo del nivel freático. El sondeo deberá estar in variablemente ademado con tubo, el propósito de este ademe es aislar de la columna abierta el tramo por probar, siendo esta prueba similar a las pruebas de permeabilidad de carga constante y variable realizadas en el laboratorio.

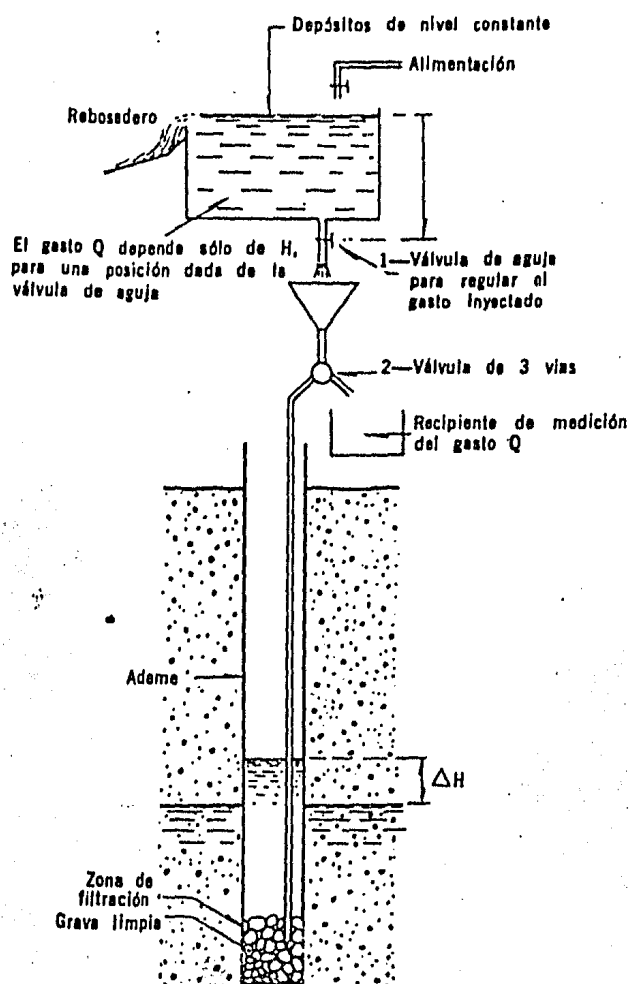
La prueba Lefranc consiste en inyectar o extraer agua de una perforación con una carga hidráulica pequeña y medir el gasto correspondiente; la carga hidráulica puede ser cons tante o variable según sea el tipo de suelo; en general en suelos permeables ($K > 10^{-4}$ cm/seg) como arenas y gravas, la-

prueba de inyección se hacen con carga constante, y en suelos poco permeables ($K < 10^{-4}$ cm/seg) como arenas finas, limos y arcillas se hace la prueba de extracción con carga variable.

El equipo necesario para la prueba de inyección se muestra en la fig. 7.28

Procedimiento de operación: Una vez colocado el equipo se coloca la parte inferior del ademe a una distancia L del fondo de la perforación, la cual se debe haber realizado sin lodos; esta distancia será nula para obtener la permeabilidad local horizontal, luego se mide la profundidad del nivel freático (H_0) con respecto de la parte superior del ademe.

En la prueba de inyección se llena el tanque y se abren las válvulas de aguja y de tres vías para introducir un gasto constante en la perforación; se mide con la sonda eléctrica la variación con el tiempo del nivel del agua en la perforación (H), respecto de la parte superior del ademe y se anota en la hoja de registro; cuando se haya establecido el nivel por 10 minutos se tendrá el valor de la profundidad (H_i) para el gasto (Q_i), el que se mide haciendo pasar el agua al recipiente de volumen conocido (V) y tomando el tiempo (t) - que tarda en llenarse.



(Tomada de Marsal y Reséndiz, 1975)

Fig. 7.28 Prueba Lefranc. Dispositivo de ensaye

Una vez medido el gasto se vuelve a pasar el agua a la perforación mediante la válvula de tres vías y se abre más la válvula de aguja para incrementar el gasto. Se efectúan varias pruebas, generalmente cuatro, que pueden durar unas dos horas.

En la prueba de extracción se determina la posición del nivel freático como en el caso anterior y, se extrae agua de la perforación empleando un recipiente tubiforme, cerrado en su parte inferior para abatir el nivel del agua y se determi

na la posición del nivel del agua dentro del ademe a diferentes tiempos para poder hacer la gráfica recuperación-tiempo. Se mide el nivel del agua dentro del ademe en relación con la parte superior del mismo.

En la prueba de inyección la permeabilidad se obtiene aplicando la siguiente expresión:

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

Donde:

Q_i = Gasto para la profundidad estable H_i

H = Carga hidráulica = $H_o - H_i$ (m)

H_o = Posición inicial del nivel freático-respecto a la parte superior del ademe.

H_i = Posición estable del nivel del agua-dentro del ademe para un gasto Q_i .

C = Coeficiente de forma.

La relación L/D (Ver fig. 7.28) define la forma aproximada de la cavidad que genera el flujo y con ello el valor del coeficiente C , así como también define si la permeabilidad calculada corresponde a la vertical, horizontal o promedio (Ver tabla 7.3).

En la prueba de carga variable, la permeabilidad se calcula con la expresión:

$$K = \frac{D^2}{4c (T_2 - T_1)} \ln \frac{h_2}{h_1}$$

En donde:

K = Coeficiente de permeabilidad, en m/s.

h_1 y h_2 = Recuperaciones en los tiempos T_1 y T_2 , en metros.

c = Coeficiente de forma.

TABLA 7.3
COEFICIENTE DE FORMA

RELACION L/D FORMA DE LA CAVIDAD PERMEABILIDAD LOCAL COEFICIENTE, C.

0	DISCO	VERTICAL	$C = 2D$
0 L/D1	ESFERA	PROMEDIO	$C = 2\pi D \sqrt{4D + 1/4}$
0 L/D4	ELIPSOIDE	---	$C = \frac{2L}{\ln\left(\frac{L}{D} + \frac{L^2}{D^2} + 1\right)^{1/2}}$
4	CILINDRO	HORIZONTAL	$C = \frac{2\pi L}{\ln(2L/D)}$

- Trazadores radiactivos y micromolinete: Con el objeto de poder determinar en los materiales finamente interestratificados la presencia de capas permeables, se han ideado pruebas de inyección y bombeo con agua marcada por trazadores radioactivos. En este caso, después de haber inyectado el agua marcada, se inicia el bombeo y por medio de un contador Geiger se mide el número de golpes registrados a distintas profundidades durante el bombeo.

Evidentemente al nivel de una capa muy permeable el número de golpes registrados es elevado, mientras que se reduce al nivel de una capa poco permeable. Se puede en esa forma, diferenciar cualitativamente con gran resolución la permeabilidad de los diferentes estratos existentes.

En forma semejante, por medio de la medición de las velocidades de flujo vertical con un micromolinete, en una perforación durante un proceso de bombeo, se obtiene cualitativamente el espectro de la permeabilidad de los diferentes estratos rocosos.

- Determinación en campo de los esfuerzos tectónicos.
(Mediciones "in situ").

Se entiende como esfuerzos "in situ" a los esfuerzos que existen en el interior de una masa de roca, los cuales pueden ser originados por el peso propio del macizo rocoso (litostáticos) o bien por actividad tectónica desarrollada en el pasado o en la actualidad. Los esfuerzos originados por actividad tectónica quedan almacenados en la roca y pueden ser liberados al retirar el material circundante que confina a la zona o región en estudio, la remoción de este material confinante puede ser natural (por erosión) o artificial (excavaciones superficiales o subterráneas).

Es de importancia conocer la magnitud, dirección y sentido de los esfuerzos que existen en el interior de una masa de roca, ya que las propiedades de resistencia y deformabilidad dependen del nivel de esfuerzos al que los bloques se encuentran sometidos.

METODOS DE MEDICION DE ESFUERZOS "IN SITU"

Los métodos de liberación de esfuerzos utilizados para conocer la dirección y magnitud de los esfuerzos tectónicos en el macizo rocoso son los más utilizados y son los siguientes:

1) Procedimiento Superficial

a) Dirección.- Método de la roseta de deformaciones.

b) Magnitud.- Método del gato plano.

2) Procedimiento Profundo

Aparatos en sondeos o barrenos

a) Dirección.- Método de Merril

b) Magnitud.- Método de Hast.

Los métodos del procedimiento superficial se llevan a cabo en socavones o galerías de prueba. La excavación de esta galería modifica la distribución de esfuerzos en su contorno y por lo tanto los esfuerzos determinados no son los tectónicos sino aquellos modificados por la excavación.

El procedimiento profundo también tiene esta limitante, -- sin embargo, el relajamiento es de menor magnitud.

A continuación se comentan los diferentes métodos:

1) Procedimiento superficial

a) Dirección.

a.1 Método de la roseta de deformaciones.

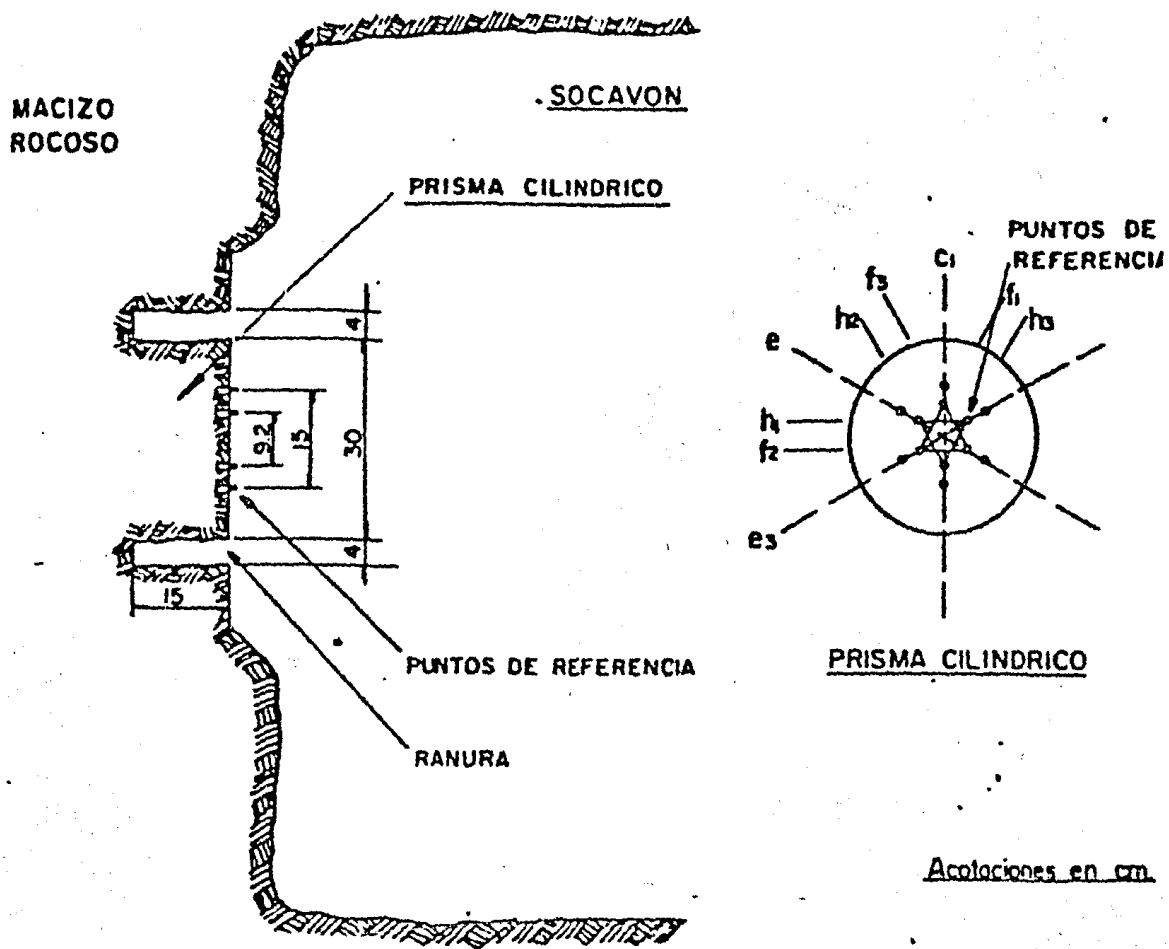
Esta prueba consiste en la medición de las deformaciones producidas al liberar los esfuerzos de una porción de la masa rocosa mediante el corte con una broca muestreadora (ver Fig. 7.29). Los esfuerzos internos se determinan a partir de la deformación medida, empleando relaciones esfuerzo deformación de la teoría de la elasticidad.

La medición de las deformaciones se hace con deformómetros colocados en la superficie de la roca. Estos deben ser resistentes al agua, para poder soportar el agua a presión del sistema de enfriamiento del equipo de perforación.

b) Magnitud

b.1 Método del gato plano.

Este procedimiento consisten en medir la deformación inducida entre dos puntos de referencia, localizados en la pared de una galería, cuando se recorta una ranura entre ellos (ver Fig. 7.30). Se introduce en la ranura un gato plano y se aplica una presión tal que la deformación registrada se recupere. Si el gato plano esta localizado en una ranura normal a una -



" PRUEBA DE ROSETA "
DIRECCION Y MAGNITUD DE ESFUERZOS INTERNOS
METODO DE LIBERACION DE ESFUERZOS

EJECUCION DE LA PRUEBA

- 1- Pulido superficie de la roca.
- 2- Colocación de puntos de referencia, fijandolas con epoxy.
- 3- Medición inicial de la separación entre los puntos de referencia, con medidor mecánico tipo Whittemore, de carátula, con precisión de 0.001 mm.
- 4- Barrenación de la ranura de forma circular de 30 cm de diámetro, 15 cm de profundidad y 4 cm de ancho.
- 5- Proceso de deformación de la roca inducida por rotura de la continuidad de la misma al efectuar la ranura (liberación de esfuerzos que produce deformaciones en el prisma cilíndrico de roca).
- 6- Medición de estas deformaciones en tres direcciones a 60°
- 7- Obtención de la dirección de deformaciones principales.

FIG 7.29 Prueba de Roseta de deformaciones

dirección principal de esfuerzo, la presión aplicada para la recuperación de la deformación inducida es igual al esfuerzo principal en esa dirección.

2. Procedimiento profundo (Aparatos en sondeos o barrenos)

a) Dirección

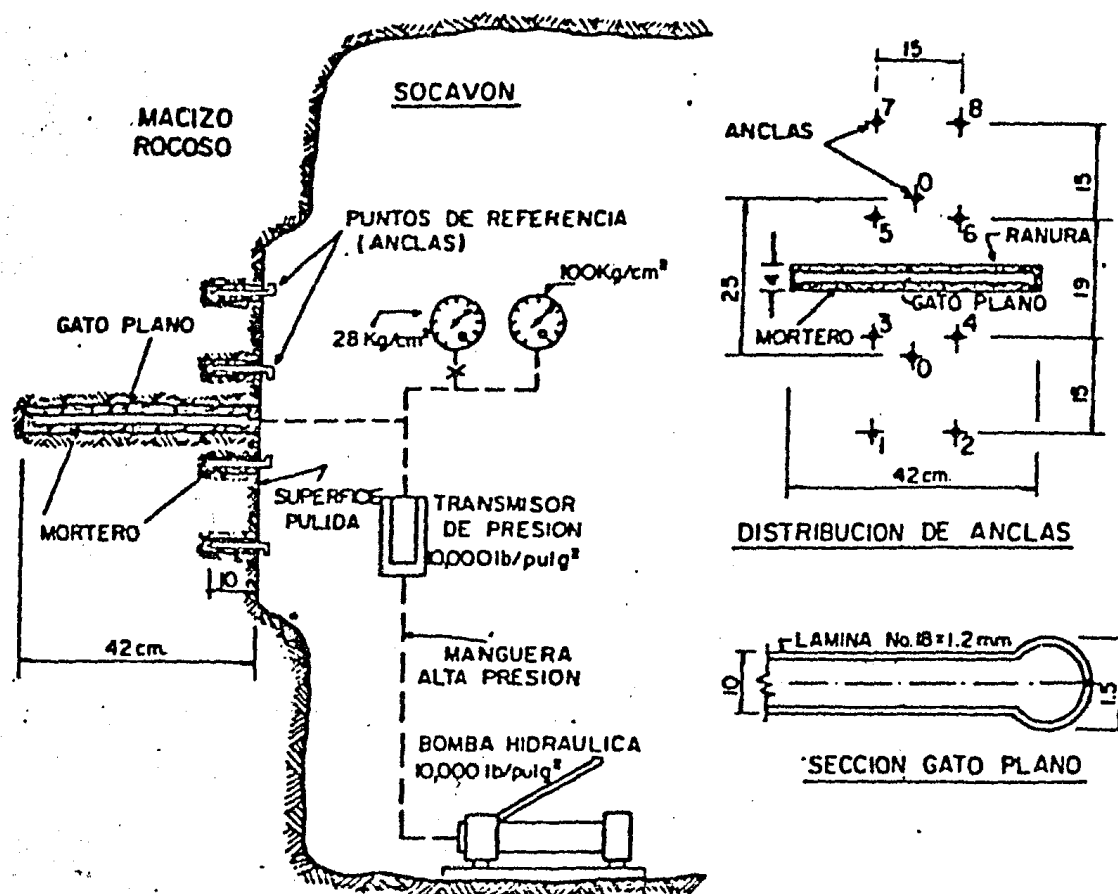
a.1 Método de Merrill.

Este método permite efectuar mediciones hasta 6m. de profundidad y consiste en ejecutar una perforación de una y media pulgadas de diámetro en la cual se introduce un aparato que permite medir deformaciones en tres direcciones ubicadas en una misma sección transversal.

b) Magnitud

b.1 Método de Hast.

Este método sigue el mismo procedimiento que el utilizado en el método anterior, sólo que el medidor de esfuerzos introducido en este caso es de gran rigidez en lugar del aparato medidor de desplazamientos que es de muy baja rigidez.



ESQUEMA, PRUEBA DE "GATO PLANO"
 DETERMINACION DE ESFUERZOS INTERNOS EN ROCA
 METODO DE LIBERACION DE ESFUERZOS

EJECUCION DE LA PRUEBA

- 1- Pulido superficie de la roca.
- 2- Colocación de "puntos de referencia" (anclas), fijándolos a la roca usando mortero con aditivo estabilizador de volumen.
- 3- Medición inicial de la separación entre los puntos de referencia, con medidor mecánico tipo Whittemore, de carátula, con separación mínima de 0.0005
- 4- Barrenación de la ranura de 42x42x4 cm.
- 5- Proceso de deformación de la roca inducida por rotura de la continuidad de la misma al efectuar la ranura (liberación de esfuerzos que produce deformaciones perpendiculares al plano de la ranura).
- 6- Medición de estas deformaciones, tomando lecturas inmediatamente después de ranurar (que son del orden del 90% de la deformación total), y durante un período de tiempo entre 1 y 3 días después de haber hecho la ranura.
- 7- Inserción del "gato plano" cuadrado en la ranura, ahogándolo en mortero con aditivo estabilizador de volumen, con resistencia de 50Kg/cm² a los 7 días.
- 8- Tiempo de fraguado del mortero 3 días.
- 9- Aplicación de presión hidráulica hasta que los "puntos de referencia" regresen a su posición inicial, obteniéndose la "presión de cancelación" que es el valor del esfuerzo interno de la roca en dirección perpendicular al plano de la ranura.

FIG 7.30 Esquema prueba de gato plano

8 BANCOS DE MATERIALES

8.1 Generalidades

Definición: Por banco de materiales se entiende aquel lugar en la corteza terrestre constituido por roca o material granular (arena, grava, arcilla, etc.) susceptible de ser utilizado en la construcción.

Es de la mayor importancia contar con un buen banco de material en la construcción de obras de Ingeniería Civil ya que a menudo la elección del sitio donde se construirá la obra está a veces condicionada por la cercanía de los bancos de material, así como por la cantidad y calidad de los mismos. Por lo regular es necesario construir caminos de acceso a los mismos, posibilidad que debe contemplarse desde el punto de vista económico.

Tratándose pues de materiales de la corteza terrestre es al Geólogo a quien le corresponde su investigación y es su responsabilidad, una vez hecha por él mismo la localización, determinar: su forma, cantidad, calidad y uniformidad dentro del área, cercana o no, al sitio de la obra.

De acuerdo al tipo de obra civil por construir, obras urbanas o suburbanas, (presa, túnel, puerto, etc.) se requieren diferentes tipos de materiales de construcción, que deberán cumplir con características especiales, y desde luego para el número de obras por construir, volúmenes considerables.

Si se hace un análisis del volumen de obra que se realizó en los últimos 50 años, obras de infraestructura relativas a vías terrestres (carreteras y vías férreas), presas, hidroeléctricas, puertos, aeropuertos y casas habitación, con ---

una población que varió de 20 a 72 millones, podemos imaginar el volumen de obra que se construirá en los próximos 25 años para una población que variará de 72 a 120 millones de habitantes.

No es exagerado entonces pensar que se requerirán varias centenas de millones de toneladas de materiales para la construcción de terraplanes, enrocamientos, estructuras de concreto; muros de casas habitación y edificios. Materiales que pueden ser granulares o roca. Las principales fuentes de estos materiales son: depósitos aluviales, rocas masivas sean estas ígneas; sedimentarias o metamórficas, algunos materiales volcánicos y otros materiales producto de alteración de rocas in situ.

A continuación se discutirán los diferentes tipos de materiales según su utilización en construcción.

8.2 Agregados para concreto

También se conocen con el nombre de áridos y son todos aquellos materiales inertes que aglomerados por medio de una matriz cementante, forman una masa que según sus características puede ser: concreto, mortero, argamasa, etc.

Las características principales que deben ser determinadas para evaluar la utilización de un material como agregado para concreto son:

8.2.1 Composición. Se requieren materiales que no reaccionen químicamente con los álcalis del cemento, ya que esto ocasiona una rápida destrucción de la estructura construída. Las rocas que no pueden utilizarse como agregados se encuentran en la Tabla 8.1.

Las rocas más utilizadas son las dolomías puras y las calizas cristalinas (porque producen una buena adherencia

una población que varió de 20 a 72 millones, podemos imaginar el volumen de obra que se construirá en los próximos 25 años para una población que variará de 72 a 120 millones de habitantes.

No es exagerado entonces pensar que se requerirán varias centenas de millones de toneladas de materiales para la construcción de terraplanes, enrocamientos, estructuras de concreto; muros de casas habitación y edificios. Materiales que pueden ser granulares o roca. Las principales fuentes de estos materiales son: depósitos aluviales, rocas masivas sean estas ígneas; sedimentarias o metamórficas, algunos materiales volcánicos y otros materiales producto de alteración de rocas in situ.

A continuación se discutirán los diferentes tipos de materiales según su utilización en construcción.

8.2 Agregados para concreto

También se conocen con el nombre de áridos y son todos aquellos materiales inertes que aglomerados por medio de una matriz cementante, forman una masa que según sus características puede ser: concreto, mortero, argamasa, etc.

Las características principales que deben ser determinadas para evaluar la utilización de un material como agregado para concreto son:

8.2.1 Composición. Se requieren materiales que no reaccionen químicamente con los álcalis del cemento, ya que esto ocasiona una rápida destrucción de la estructura construída. Las rocas que no pueden utilizarse como agregados se encuentran en la Tabla 8.1.

Las rocas más utilizadas son las dolomías puras y las calizas cristalinas (porque producen una buena adherencia

con el cemento), así mismo se emplean algunas rocas ígneas - cristalinas y volcánicas como el basalto.

TABLA 8.1 ROCAS PERJUDICIALMENTE REACTIVAS PARA EL CONCRETO

ROCAS REACTIVAS	COMPONENTES REACTIVOS
- Rocas silíceas:	
Pedernal opalino	Opalo $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Pedernal de calcédonia	Calcedonia SiO_2
Calizas silíceas	Calcedonia y/u ópalo
- Rocas volcánicas:	
Riolitas y tobas riolíticas	
Dacitas y rocas dacíticas..	Vidrio, vidrio desvitrifica-
Andesitas	do y tridimita SiO_2
- Rocas metamórficas:	
Filitas	Hidromica (illita)
- Rocas varias:	
Todas las rocas que contengan filoncillos, inclusiones, revestimientos externos o granos detríticos de ópalo, calcedonia o tridimita. Aparentemente, también el cuarzo muy-fracturado por proceso natural.	

(de Krynine y Judd, 1975).

8.2.2 Forma. Se buscan formas angulosas con las que se logra una buena adherencia con el cemento y una mejor resistencia.

8.2.3 Tamaño; Los agregados pueden tener tamaños que -- varían desde arenas a grandes bloques.

8.2.4 Dureza. Se requieren materiales duros e inalterados.

8.2.5 Porosidad. Es importante que tengan una porosidad baja.

8.2.6 Resistencia al intemperismo y abrasión. Algunas rocas se alteran muy fácilmente por lo que no son recomendables como agregados para concreto.

Es común utilizar arena y grava como material de agregado, las cuales se encuentran en: rellenos aluviales, llanuras de inundación, terrazas, conos de deyección, dunas, así como en suelos residuales.

Lo ideal sería encontrarlos en cantidad suficiente, con una buena clasificación, uniformes en su calidad y forma, -- sin materia orgánica y que el nivel freático se encuentre a una profundidad que facilite la excavación. También se utilizan como agregado los fragmentos de roca cuando se encuentran en el tamaño requerido, o bien si no es el caso la roca se tritura hasta el tamaño deseado.

En la actualidad, se han venido usando como agregado de concretos y como sustituto de la arena y grava a la escoria de altos hornos, arcilla, lutita, ceniza, perlita, etc., conocidos como "agregados ligeros", por su bajo peso específico, aunque algunos de ellos pueden ser reactivos para el concreto.

8.3. Enrocamientos

El enrocamiento es en general un material rocoso depositado para constituir un pedraplen o bien colocado en una pen

8.2.3 Tamaño; Los agregados pueden tener tamaños que -- varían desde arenas a grandes bloques.

8.2.4 Dureza. Se requieren materiales duros e inalterados.

8.2.5 Porosidad. Es importante que tengan una porosidad baja.

8.2.6 Resistencia al intemperismo y abrasión. Algunas rocas se alteran muy fácilmente por lo que no son recomendables como agregados para concreto.

Es común utilizar arena y grava como material de agregado, las cuales se encuentran en: rellenos aluviales, llanuras de inundación, terrazas, conos de deyección, dunas, así como en suelos residuales.

Lo ideal sería encontrarlos en cantidad suficiente, con una buena clasificación, uniformes en su calidad y forma, -- sin materia orgánica y que el nivel freático se encuentre a una profundidad que facilite la excavación. También se utilizan como agregado los fragmentos de roca cuando se encuentran en el tamaño requerido, o bien si no es el caso la roca se tritura hasta el tamaño deseado.

En la actualidad, se han venido usando como agregado de concretos y como sustituto de la arena y grava a la escoria de altos hornos, arcilla, lutita, ceniza, perlita, etc., conocidos como "agregados ligeros", por su bajo peso específico, aunque algunos de ellos pueden ser reactivos para el concreto.

8.3. Enrocamientos

El enrocamiento es en general un material rocoso depositado para constituir un pedraplen o bien colocado en una pen

diente, siendo esta natural, excavada o construida, con el fin de protegerla de agentes físicos y químicos que la destruirán sin esa cubierta.

El material puede ser colocado a mano o bien mecánicamente a volteo, es decir como cae del vehículo que lo transporta. En ambas formas se utiliza en la construcción de presas o en los paramentos de las mismas y en la construcción de diques, escolleras, rompeolas y otras obras de protección

Las propiedades requeridas en un material para este uso son: alta resistencia al intemperismo o al impacto y a la abrasión, gran dureza, densidad de alta a moderada y consecuentemente gran durabilidad, definida ésta por Bolívar (1977) como la capacidad para conservar el tamaño, resistencia y la forma original durante un largo período de tiempo. Comúnmente se emplean rocas frescas, sanas y masivas como pueden ser el granito, diorita, gabro, basalto, caliza, cuarcita, etc.

Descontinuidades como la estratificación, las juntas, fracturas y foliación condicionan la explotación de los materiales empleados, así como el tamaño, forma y distribución en la cantera.

8.4 Cemento.

El cemento utilizado en construcción es un producto artificial, puesto que se hace por la fusión parcial de una mezcla de materiales naturales. La mezcla usual para fabricar cemento consiste en caliza (que proporciona el CaCO_3 necesario), arcilla o pizarra arcillosa (que proporcionan las cantidades necesarias de sílice y alúmina) y una pequeña cantidad de óxido de hierro. El producto (conocido con el nombre de clinker) obtenido al calentar esa mezcla, se muele finalmente para lograr ese polvo gris amorfo tan familiar para

todos los ingenieros.

Las calizas empleadas pueden variar mucho en dureza, textura y composición química, pero el magnesio, la sílice libre y el azufre son constituyentes que hay que evitar. Las arcillas utilizadas son a menudo impuras pero es preciso que no contengan cantos o partículas sólidas libres.

8.5 Materiales finos o granulares.

Se agrupan aquí materiales como la grava, arena, limo y arcilla, que son utilizados en presas de tierra, en terraplenes para vías terrestres, en revestimientos de canales, etc.

Si el material va a ser utilizado para construir el núcleo impermeable de una presa, debe cumplir con ciertas características, como el poseer una permeabilidad baja, una buena compresibilidad y una granulometría uniforme.

Dentro de las mismas presas, la sección permeable está constituida de material arenoso y gravas finas, los cuales deben tener una buena resistencia al corte y buen drenaje.

Tanto la arcilla como la arena pueden ser localizados en depósitos aluviales y loésicos. También en depósitos lacustres podemos encontrar limos y arcillas.

8.6 Balasto

Se conoce con este nombre a los materiales colocados bajo y entre los durmientes de una vía férrea, para soportarla y transmitir los esfuerzos al terreno, cuando pasa el tren sobre ellos.

En conjunto, el balasto debe ser elástico y en particular cada elemento debe ser resistente al choque con los demás

fragmentos, así como también debe ser resistente a la abrasión.

En general el tamaño de los fragmentos utilizados es el de la grava, por lo cual lo que más se usa es roca triturada o molida proveniente de caliza, basalto, etc., escoria y aún otro tipo de material.

8.7 Otros usos.

8.7.1 Ladrillo, tabique y teja.

Los ladrillos y tabiques son de tres clases principales: de concreto, de cal con arena y de arcilla cocida.

Las dos primeras clases se fabrican mediante procesos especiales, en el primer caso a partir de mezclas de cemento y áridos y en el segundo mezclando arena y cal.

En el tercer caso se utiliza como materia prima a las arcillas principalmente por tener dos propiedades: su plasticidad, la cual se manifiesta en la facilidad de ser moldeadas en estado húmedo y el modo como se endurecen, sometidas a la acción del calor, lo que permite fijar permanentemente la forma que se les haya dado.

La contracción de las arcillas es otra propiedad importante en relación con la manufactura de ladrillos, en la que es conveniente que aquella sea uniforme.

Al calentar una arcilla se reconocen dos fases que tienen importancia en la fabricación de ladrillos; una en la que la arcilla se vitrifica o endurece al fundirse la masa entera, conservando su forma y aquella en la que la masa se ha

ce blanda o viscosa por excesiva fusión y pierde su forma. Evidentemente resulta deseable en la manufactura de ladrillos en grandes hornos, que exista un intervalo apreciable de temperatura entre ambas fases.

La combinación de estas propiedades determina la utilidad de una arcilla para hacer ladrillos, siempre que el material sea uniforme, limpio y libre de cantos de mayor tamaño. Así, aunque la mayoría de las arcillas admiten cocimiento para producir alguna especie de ladrillo, de ningún modo todos los ladrillos resultantes pueden usarse con éxito en construcción.

8.7.2 Ornato

Existe una gran variedad de rocas que son utilizadas como adorno en fachadas de casa y edificios. O bien como pisos, cubiertas de mesas, lavabos, fuentes, esculturas, etc.

En estos casos es necesario considerar factores como facilidad de explotación, costo del pulido, dureza, resistencia al intemperismo, aspecto de la roca al ser pulida, duración (en relación con el clima en donde estará expuesta), para decidir que tipo de roca es el más conveniente según el objetivo que se persiga.

8.8 Exploración de bancos de material.

Las exploraciones que se realizan para la obtención de materiales de construcción están relacionadas con dos aspectos: el primero consiste en determinar si dentro del área cercana al sitio existe suficiente material para construir la obra y el segundo en conocer de que otros materiales se dispone en la vecindad del sitio.

Según Antoine P y Fabre, D. (1980) pág. 183, los principales objetivos que se deberán fijar en la búsqueda de un banco de material, serán los siguientes:

- Descubrir la mejor calidad posible
- Buscar la homogeneidad del yacimiento
- Minimizar los gastos de la puesta en explotación
- Examinar las posibilidades de envío

Considerando los métodos de exploración necesarios y llevándolos a cabo en una secuencia correcta (ver capítulo 2) es posible localizar, cuando exista, el material necesario en calidad, cantidad y disponibilidad para contruir la obra.

En la tabla 8.2 se muestra un resumen de los métodos de exploración recomendables para investigar materiales de construcción; en ella se observa que pueden ser varios los métodos de exploración que pueden ser utilizados, pero todos ellos deben ser programados para determinar con exactitud la homogeneidad, calidad y cantidad de cada material en cada banco.- La conjugación de los diferentes métodos ayudará a lograr un registro exacto y detallado de los materiales presentes en la zona.

Deberán obtenerse además muestras para ensayos de laboratorio, con lo cual además del conocimiento de la petrografía, se obtendrán datos de carácter ingenieril, como: resistencia a la compresión, dureza, permeabilidad, peso específico, resistencia a la abrasión y alterabilidad (Pruebas de intemperismo acelerado, los ángeles, etc).

También es recomendable obtener datos sobre los métodos de excavación utilizables en cada caso (en donde influyen factores como: la profundidad a la que se encuentra la roca bajo la cubierta de suelo, localización del Nivel de Aguas Freáticas (N.A.F.), y la reactividad de los materiales si serán usados como agregados para concreto).

TIPOS DE MATERIAL DE CONSTRUCCION	M E T O D O S D E E X P L O R A C I O N					
	D I R E C T O S			I N D I R E C T O S		
	LEVANTAMIENTO GEOLOGICO	POZOS A CIELO ABIERTO Y TRINCHERAS	PERFORACIONES	FOTOGEOLOGIA	METODOS ELECTRICOS	METODOS SISMICOS
1. Agregados para concreto	R E	E	E C	R E	E	E
2. Enrocamiento	R E	E C O	E C O	R E	E	E
3. Finos: Terraplenes, corazón impermeable, fabricación de cemento	R E	E C O	E C O	R E		E
4. Fabricación de cemento	R	E	E	R E	E	E
5. Balasto	R	E	E	R		
6. Ladrillos	R	R E	E	R		
7. Ornato	R	R	E	R		
8. Otros; adoquín, teja	R					

Métodos de exploración que deben utilizarse

- en la etapa de selección del sitio y en el reconocimiento preliminar - - - - - (R)
- durante la Exploración del sitio de construcción o investigación del Banco de Material - - - - - (E)
- en la etapa de Construcción de la obra - - - - - (C)
- durante la Operación de la obra - - - - - (O)

TABLA 8.2. Exploración de Materiales de Construcción

9. PRESAS

9.1 Generalidades

Una presa es una obra civil que se construye a través de un curso de agua (río o arroyo) con objeto de derivar o almacenar sus aguas. La derivación se hace al sobre elevar el nivel del agua de la corriente con una estructura rígida de mampostería o de concreto, la que en época de avenidas es cubierta por las aguas que fluyen sobre ella.

El almacenamiento se logra al cerrar el paso al curso de agua, obligando de esta manera a que el agua se acumule en el valle aguas arriba del sitio en que se coloca el obstáculo; este hecho provoca además que la energía con la que viene el agua disminuya, originándose además un embalse.

Una presa de almacenamiento como se verá más adelante, -- consta de cuatro partes: la cortina que es la estructura principal y la más importante que se construye como barrera para almacenar el agua, el vertedor u obra de excedencias, la obra de toma y el embalse.

La selección de un sitio para la construcción de una presa y la ubicación precisa de la cortina y obras auxiliares requiere de la cuidadosa consideración de factores tales como:

- Topografía: forma y amplitud del estrechamiento y longitud del valle fluvial.
- Condiciones geológicas: tipo de rocas, presencia de fallas, bancos de material, etc.
- Mano de obra disponible y
- Aspectos socioeconómicos

En circunstancias excepcionales y sin mayor estudio los inge--

nieros especializados y con gran experiencia pueden sugerir -- cual es el tipo de cortina que más conviene y cual el más económico para un sitio determinado; aunque siempre es necesario luego de la investigación geotécnica del sitio el análisis de varios tipos de cortinas antes de decidir cuál es la más adecuada, tanto desde el punto de vista técnico como del económico.

9.1.1 Usos de las Presas

Los usos que puede tener una presa son muy variados, sin embargo, se pueden dividir en dos grandes grupos:

- a) Aprovechamiento
- b) Defensa

A continuación se presenta una relación de los usos más comunes que puede tener una presa, aclarando que estos usos no son únicos, ya que, una presa puede ser de usos múltiples, es decir, ser construida para lograr varios de ellos a la vez. Se hace notar que la relación no es exhaustiva.

Aprovechamiento:

- | | |
|------------------------------------|----------------------------|
| a) Irrigación | g) Vasos reguladores |
| b) Abastecimiento de agua potable | h) Tanques de enfriamiento |
| c) Generación de energía eléctrica | i) Jales |
| d) Navegación | j) Salmueras |
| e) Recreación | k) Aguajes (bordos) |
| f) Acuacultura | |

Defensa:

- a) Control de avenidas
- b) Control de azolves

9.1.2 Partes de una presa y obras auxiliares

A continuación se proporcionan algunos conceptos que ayudan a describir una presa (Vega Roldán, 1978).

Cuenca fluvial o de captación.- Es el área tributaria -- hasta un punto determinado de una corriente, que está separada de las cuencas adyacentes por un parteaguas.

Vaso de almacenamiento o embalse.- Es el área inundada -- por las aguas acumuladas a partir de la cortina y hacia aguas-arriba. El nivel máximo que alcanza el agua, definido practicamente por la cima de la obra de excedencias, se conoce como NAME, que quiere decir Nivel de Aguas del Máximo Embalse.

Boquilla.- Estrechamiento a partir del cual se inicia el vaso o sitio estrecho en el curso de un río o arroyo en terreno montañoso o de relieve moderado, cuyo perfil tiene forma de "v" o "U", o inclusive irregular.

Las obras o estructuras auxiliares de una presa son:

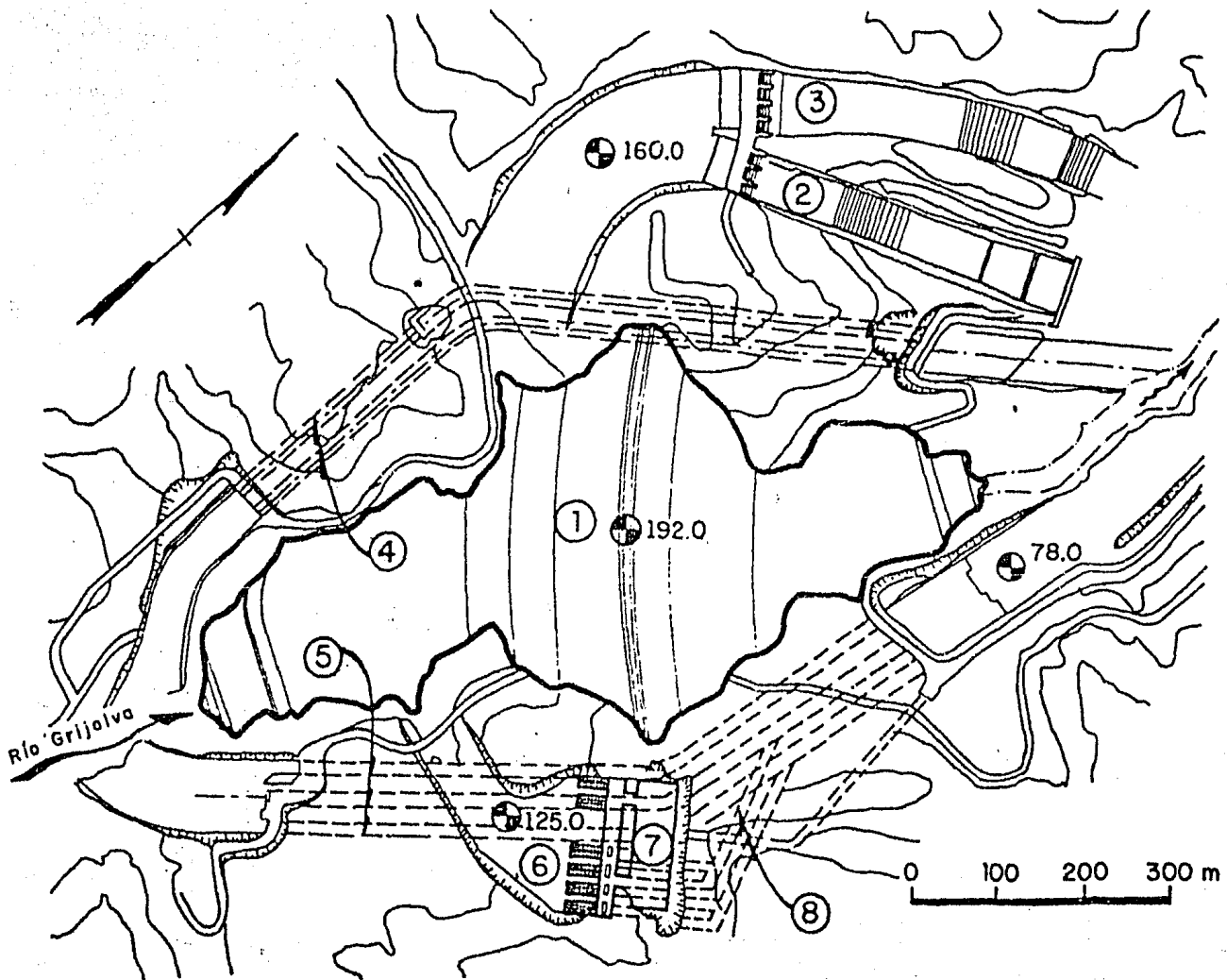
(ver Figura 9.1)

Obra de desvío.- Son obras de carácter temporal que pueden tener utilización posterior, cuyo objeto es controlar adecuadamente las aguas del río durante la construcción de la cortina (por lo regular son túneles aunque en caso de corrientes de poco caudal o arroyos, puede ser un canal).

Ataguías.- Obstáculos o estructuras deformables a manera de cortinas pequeñas, que se construyen aguas arriba y aguas-abajo del sitio donde se ubicará la cortina principal, para de esta manera mantener seco el sitio de construcción. En el caso de estructuras de tierra y enrocamiento llegan a formar parte de la cortina y la ataguía de aguas arriba se construye próxima a la entrada del o de los túneles de desvío.

Obra de excedencias o Vertedor de demasías.- Estructura --

Fig. 9.1 Obras Auxiliares de una Presa.



Vista en planta de la Presa Netzahualcoyotl, Chiapas.

- | | |
|--|--|
| 1. Cortina | 5. Túneles de desvío en la margen derecha. |
| 2. Vertedor de servicio | 6. Obra de Toma de la central. |
| 3. Vertedor de emergencia. | 7. Casa de máquinas. |
| 4. Túneles de desvío en la margen izquierda. | 8. Túneles de desfogue. |

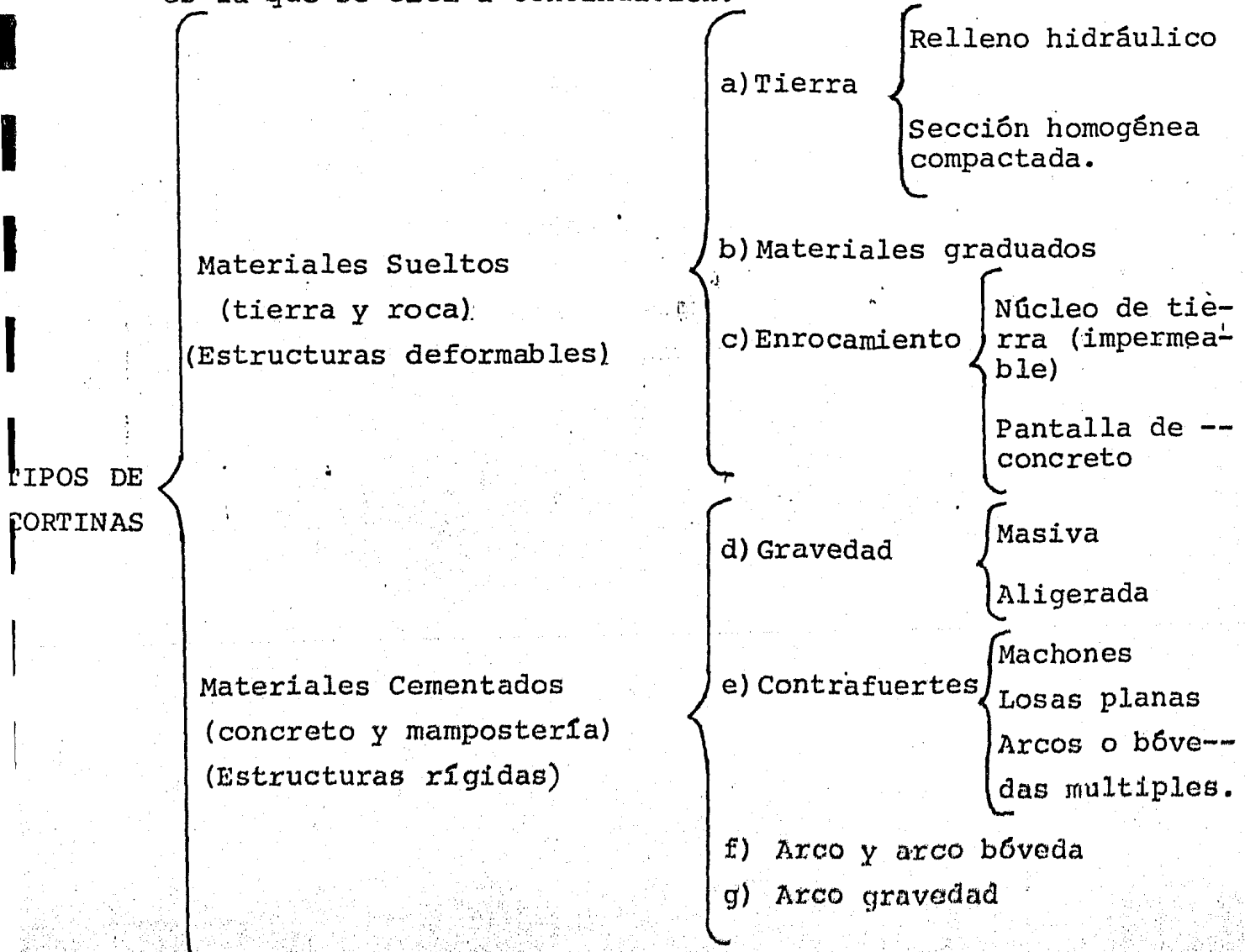
rígida que permite que los excedentes del agua almacenada pasen de nuevo al río, sin peligro para la cortina. Esta obra -- puede tener además compuertas para aumentar el almacenamiento.

Obra de toma..- Estructura rígida provista de compuertas-- que permite la extracción de agua del embalse para los fines-- deseados.

Obra de control..- Permite el manejo de los excedentes de-- agua, para proteger zonas aguas abajo de la cortina.

9.1.3 Tipos de cortinas.

Existen varias clasificaciones para las cortinas de las -- presas: de acuerdo a su altura, a sus funciones o a otras ca-- racterísticas; sin embargo la clasificación más usada es de a-- cuerdo a sus materiales de construcción y a su estructura, que es la que se cita a continuación:



9.1.3.1 Cortinas de Materiales Suelos

Estan constituidas por terraplenes de tierra y/o roca con un núcleo impermeable para controlar las filtraciones. Este usualmente consiste de material arcilloso o si no es posible encontrar cantidades suficientes en las cercanías, se usan entonces pantallas de concreto o concreto asfáltico colocadas sobre el paramento de aguas arriba. (Bell, 1980).

Este tipo de presas imponen menores niveles de esfuerzo sobre las cimentaciones que las presas de materiales cementados. Por lo tanto, es más fácil que absorban las deformaciones que puedan producirse por asentamientos producto de actividad sísmica, o por el peso de la estructura misma.

Como consecuencia este tipo de cortinas han sido construidas preferentemente en México.

A continuación se describen los tipos más comunes de cortinas de materiales sueltos:

a) Cortinas de Tierra.- Estan constituidas por limo arenoso, arcilla o lutita compactada con una protección contra el oleaje aguas arriba (ver Fig. 9.2). Se pueden construir en valles anchos o angostos. Pueden construirse sobre materiales o formaciones de resistencia variable, desde competentes (granito, caliza) hasta incompetentes (gravas, arenas, loess). Resisten disturbios sísmicos moderados y son razonablemente económicas (Le Roy, 1977).

b) Cortinas de Materiales Graduados.- Este tipo de presas consta de un núcleo central impermeable y de zonas de permeabilidad creciente del centro hacia los taludes (Fig. 9.3). Existen muchos diseños para estas estructuras y la selección estará controlada por los cuatro parámetros anteriormente nombrados. Pueden construirse en casi cualquier roca de cimentación.

c) Cortinas de Enrocamiento. - Como su nombre lo indica el material del cuerpo de la presa es rocoso (agrupando en este término material granular grueso, desde gravas y arenas hasta rocas grandes) (Fig. 9.4). Para evitar filtraciones existen varias alternativas: colocar losas de concreto en el paramento aguas arriba, poner un núcleo de material impermeable o construir un muro de concreto o mampostería en el centro de la sección. Las rocas de cimentación deben ser estables y soportar el peso de la estructura, debe dársele atención especial a todos los parámetros que contribuyan al deslizamiento y la subsidencia del terreno.

Son estructuras pesadas, estables sísmicamente y económicas, pero el tamaño de los bloques de roca de los bancos de material debe ser grande, además de que éstos se localicen cercanos al sitio de construcción.

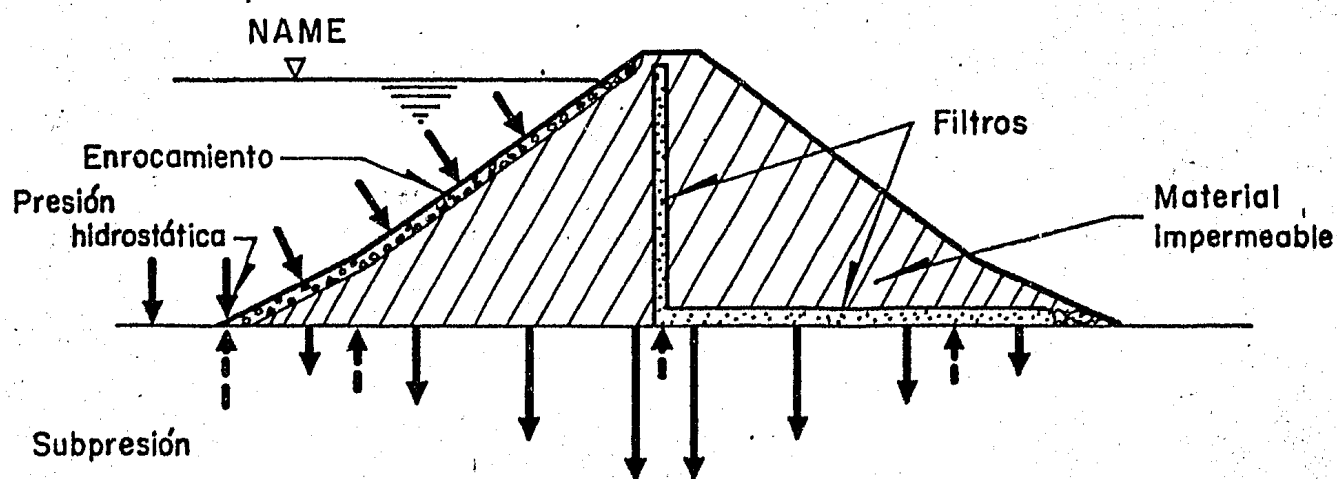
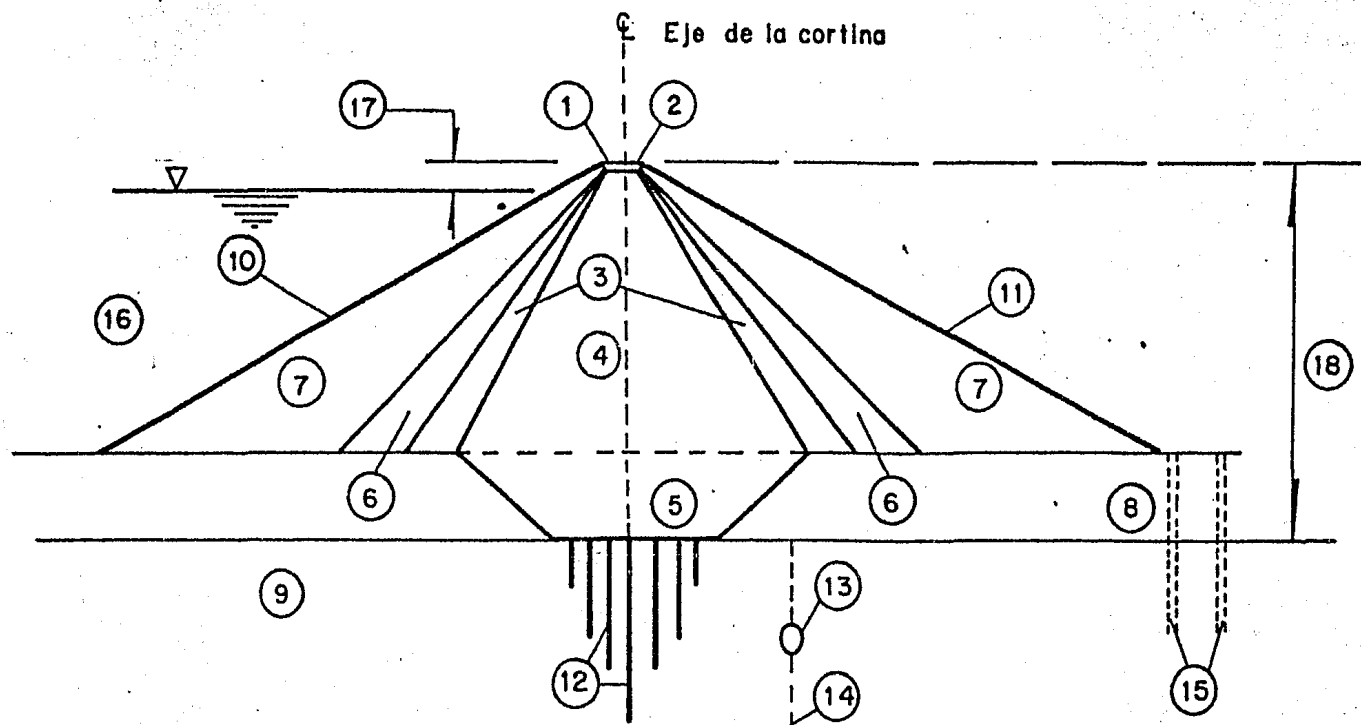


Fig. 9.2 Cortinas de Tierra

Sección típica de una cortina de
materiales graduados



NOMENCLATURA

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1 Cresta o corona | 10 Talud aguas arriba |
| 2 Revestimiento de la corona | 11 Talud aguas abajo |
| 3 Filtros | 12 Pantalla de Inyecciones |
| 4 Corazón o núcleo impermeable | 13 Galería de drenaje |
| 5 Trinchera | 14 Drenes |
| 6 Transiciones | 15 Pozos de alivio |
| 7 Enrocamientos | 16 Embalse o vaso |
| 8 Depósito aluvial | 17 Bordo libre |
| 9 Roca basal | 18 Altura de la cortina |

Fig. 9.3 Cortinas de Materiales Graduados.

Presas de enrocamiento
con corazón vertical

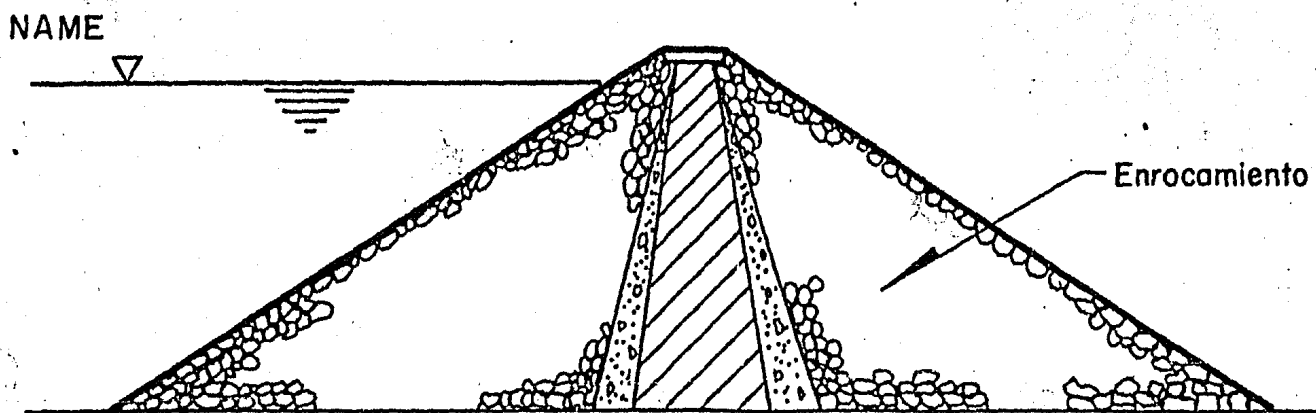


Fig. 9.4 Cortinas de Enrocamiento.

9.1.3.2. Cortinas de materiales cementados (mampostería o concreto),

Son estructuras no deformables, de altura y peso variables, costosas; que requieren de cimentaciones sólidas, debiendo ser diseñadas para resistir actividad sísmica. Se construyen simplemente de concreto o de concreto armado. Este tipo de presas como se mencionó en párrafos anteriores no resisten asentamientos diferenciales y requieren como todas las obras civiles de estudios muy detallados del sitio donde se construirán. Las más comunes son:

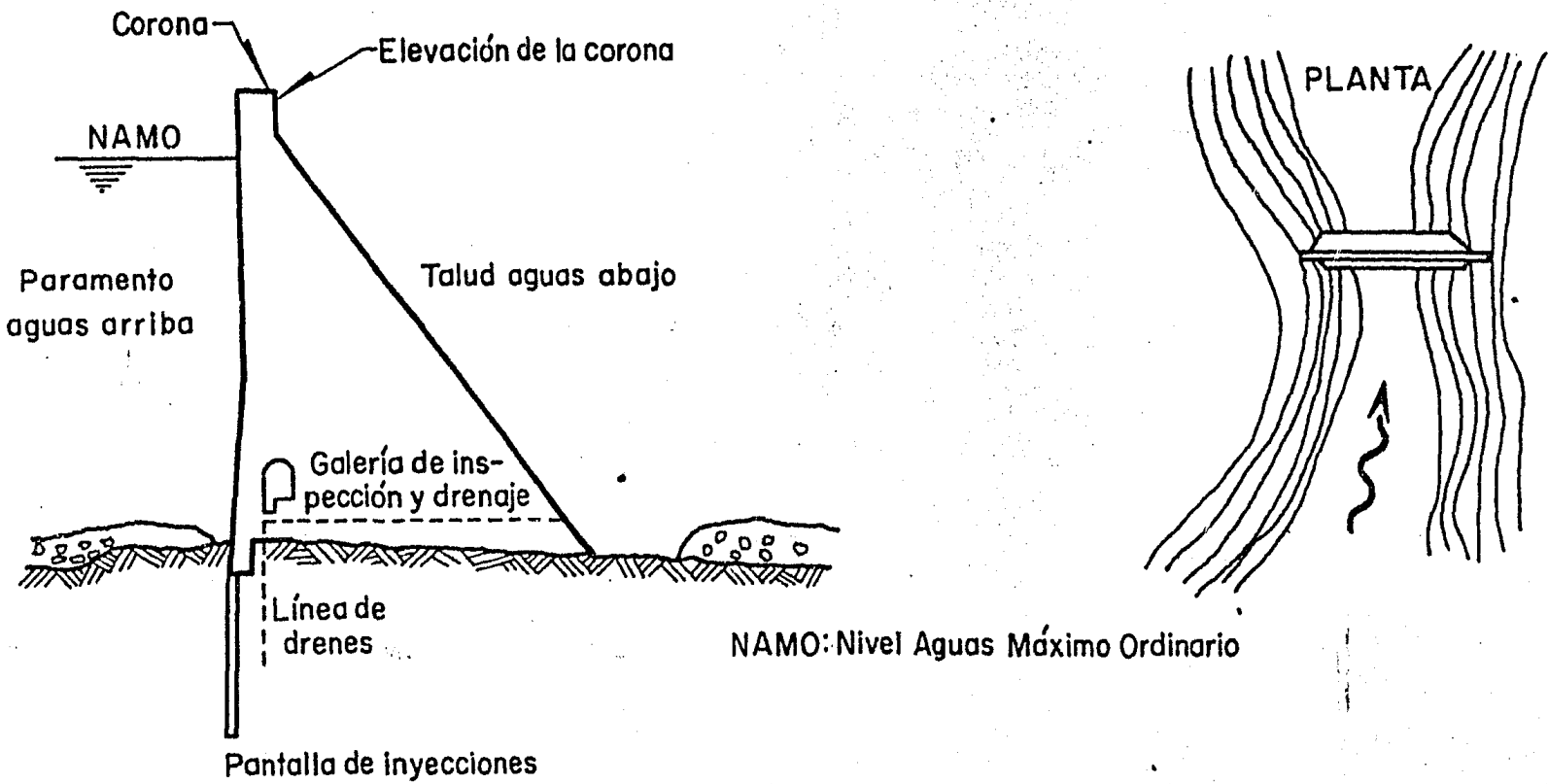
d) Cortinas de Gravedad.

Son aquellas que resisten el empuje del agua por su propio peso y que por el efecto únicamente de su peso, no pueden ni deslizarse ni volcarse. (Fig. 9.5).

El perfil que satisface estas condiciones tiene, por razones de simplicidad, aproximadamente la forma triangular con excepción de la parte correspondiente a la corona. El paramento hacia aguas arriba es vertical o casi vertical con una ligera pendiente en la parte baja de un 50% y el paramento hacia aguas abajo de un 80%.

Teniendo en cuenta que en estas presas, por el efecto del empuje del agua hay una tendencia al deslizamiento, como medida de seguridad se trata siempre de conservar una cierta rugosidad en la superficie de cimentación.

En estas cortinas que son desplantadas o cimentadas sobre una plantilla general, uno de los primeros fenómenos que hay que vigilar, es el efecto de la subpresión. En efecto el agua del embalse puede penetrar a través de las fisuras y poros del terreno y de la misma cortina y producir en el cuerpo de la es



Presiones actuantes en una presa de gravedad

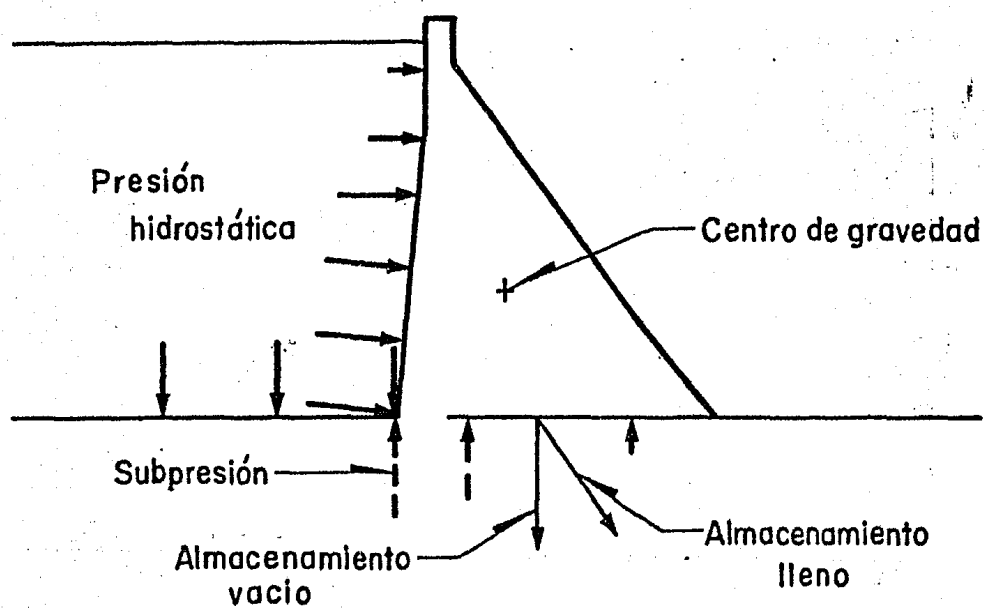


Fig. 9.5 Cortinas de Gravedad

estructura una presión ascendente que es proporcional a la altura del agua almacenada en el vaso. A mayor almacenamiento, mayor efecto de subpresión.

Para evitar el efecto de la subpresión, se coloca, atrás del paramento de agua arriba una serie de drenes verticales -- que se prologan en el terreno de cimentación. Estos drenes son completados por galerías de visita que sirven a la vez para evacuar las aguas drenadas.

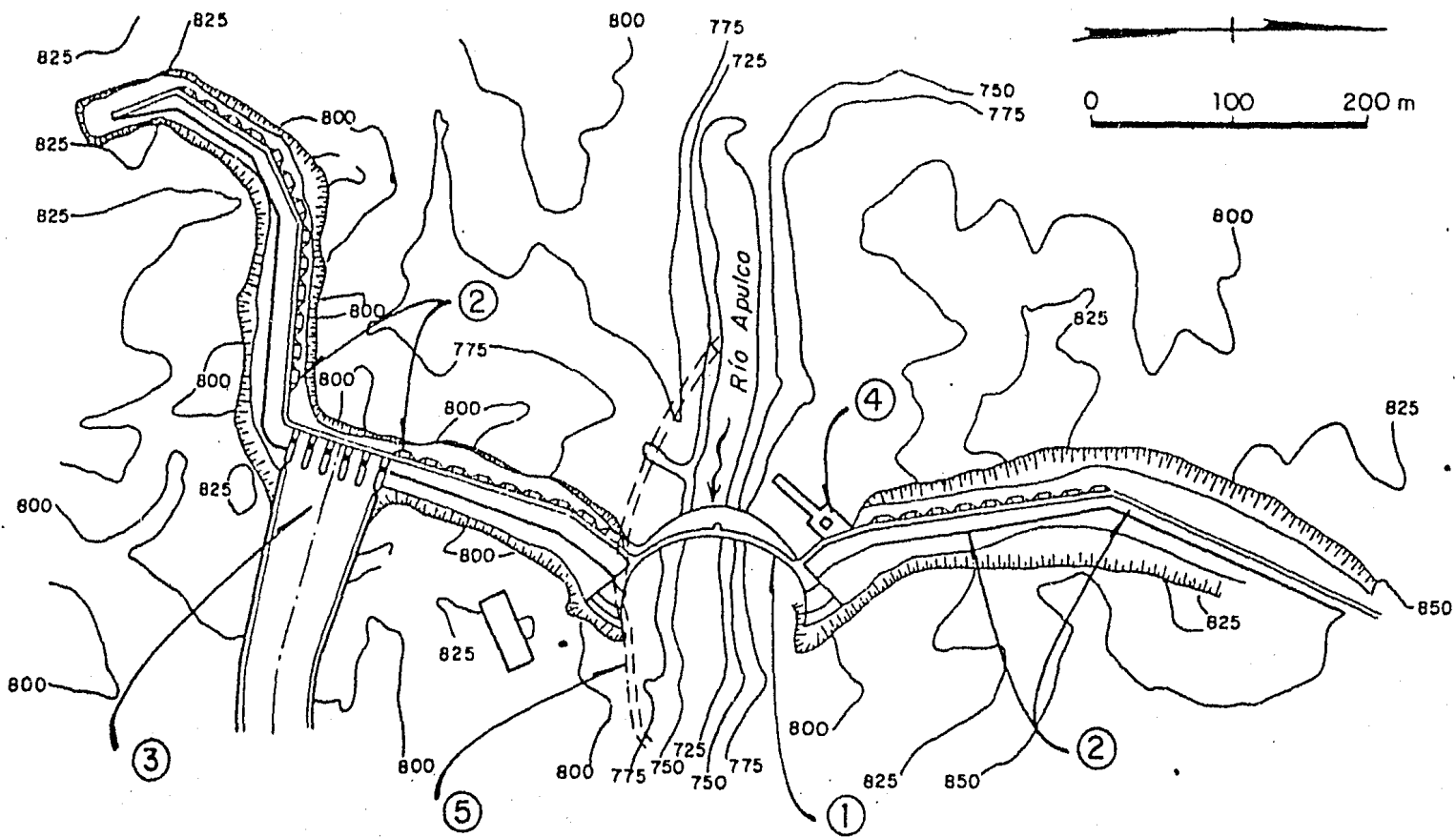
Para aumentar la longitud de recorrido de los flujos de agua, que eventualmente pasan por debajo de la cortina, se construye al pie del paramento aguas arriba, una trinchera conocida como dentellón en la que se cuele un muro de concreto que forma parte integral de la cortina, empotrando la estructura misma en las capas más profundas del terreno. El dentellón puede ser prolongado ventajosamente en el terreno por medio de una pantalla de inyección, que además de asegurar una buena liga o un buen contacto concreto-roca, vendrá a impermeabilizar el terreno.

Las presas de gravedad se construyen exclusivamente de concreto por módulos independientes, separados por juntas separadas unas de otras más o menos 15m. La función principal de estas juntas es abrirse a medida que fragua el macizo.

El vertedor en estas cortinas a veces se localiza o se construye sobre la estructura con un perfil como el que se aprecia en la figura 9.5.

e) Cortinas de Arco.

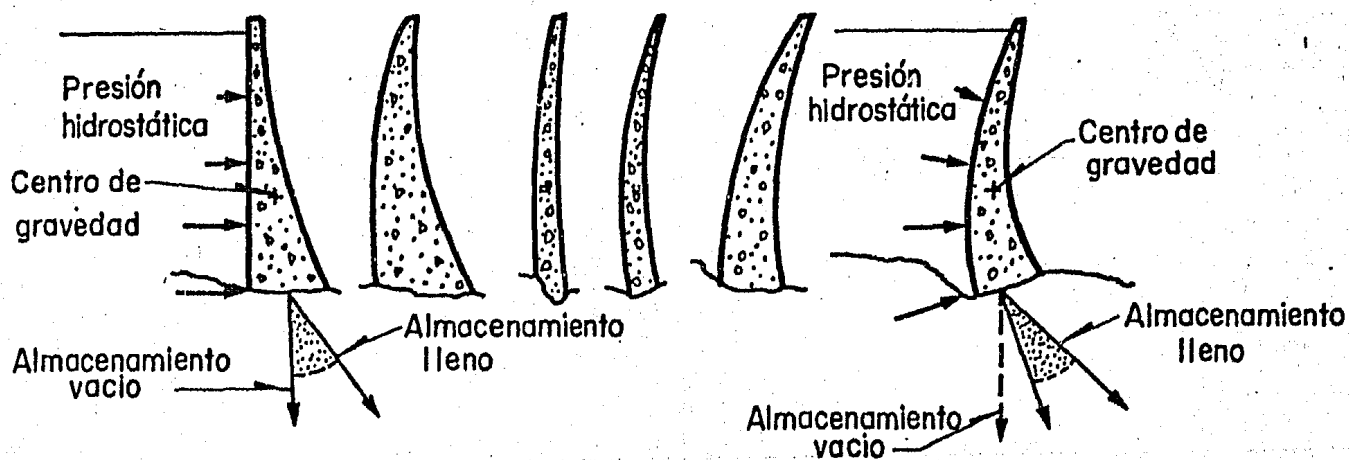
Las cortinas de arco que pueden ser imaginadas como una placa gruesa combada o arqueada, encajada o empotrada sobre tres lados (ver Fig. 9.6), son las que soportan la mayor parte del empuje del agua, sobre los apoyos laterales, llamados tam-



(Comportamiento de Presas construídas en México, SARH, 1976).

Fig. 9.6 Cortinas de Arco.

Algunas presas de arco en sección, mostrándose las presiones actuantes en dos de ellas



(Wahlstrom, 1974).

Fig. 9.7 Fuerzas actuantes en una Cortina de Arco.

bién estribos, por efectos del arco (ver Fig. 9.7). El terreno de cimentación está sometido a esfuerzos oblicuos inclinados hacia aguas abajo, resultado de la acción combinada del peso de la estructura y del empuje del agua.

Las reacciones de los apoyos aumentan en razón directa del empuje del agua, que a medida que ésta última aumenta, fija más fuertemente la obra contra el terreno.

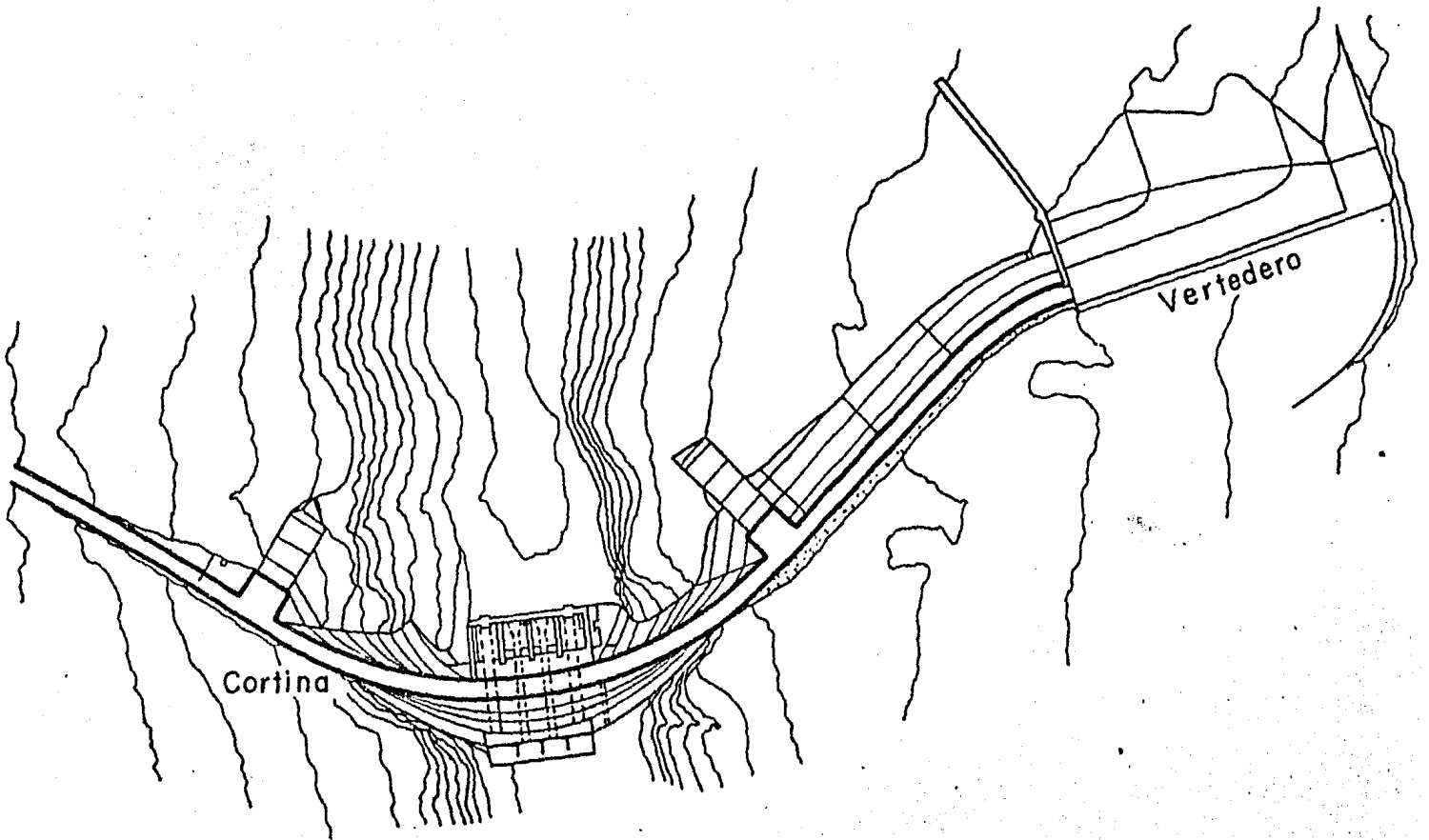
Este tipo de cortinas, como se puede ver en la fig. 9.6-son en perfil muy delgadas comparadas con su altura y pueden considerarse como una serie de porciones de anillos horizontales superpuestos de espesor creciente de arriba hacia abajo, empotrados en sus nacimientos. El paramento hacia aguas arriba es vertical y a veces ligeramente concavo.

Desde el punto de vista del cálculo, en estas cortinas -construidas por bloques separados, cada porción de anillo, sujeto al efecto del empuje del agua y de la temperatura, es calculado como un arco despreciando deliberadamente la acción de la gravedad. Esta acción es bastante importante cuando se trata de una cortina arco-gravedad, cuyo peso puede ser del mismo orden que el empuje del agua.

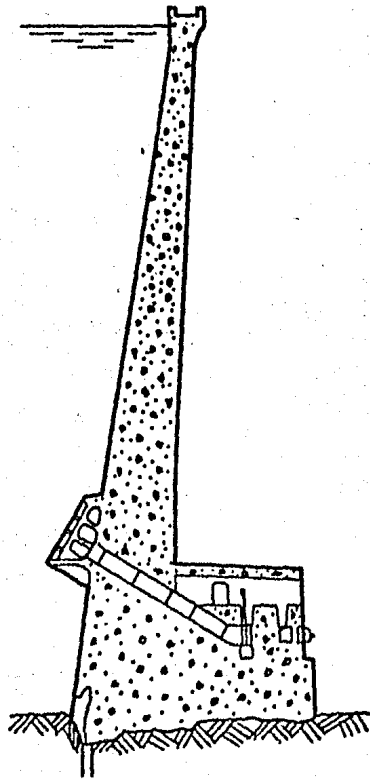
El vertedor en este tipo de presas, si se construye sobre la obra se localiza sobre uno de los estribos. A veces toda la presa se constituye en vertedor y se le llama arco vertedora y son cortinas que no tienen más de 60m de altura.

f) Cortinas Arco-gravedad.

En una cortina de gravedad una forma arquada aumenta en proporciones considerables la estabilidad. Las cortinas de arco que toman a la vez el peso de la estructura y el arco, se constituyen en cortinas arco-gravedad (ver fig. 9.8).



Vista en planta



Sección máxima de la cortina

Fig. 9.8 Presas de Arco-Gravedad

En las cortinas de arco-gravedad se alcanza una economía de material de 30 a 40 % sobre las cortinas de gravedad, siendo particularmente apropiadas en el caso de boquillas relativamente amplias.

g) Cortinas de Gravedad Aligeradas.

Una cortina de este tipo es aquella en la cual se ha disminuido el peso, sin comprometer la estabilidad. Esta disminución es efectuada quitando o eliminando concreto hasta el terreno de cimentación en la vecindad del paramento de aguas arriba. Los vacíos formados por la eliminación de material, cuya forma es variable, pueden alcanzar hasta un cuarto del volumen total.

La disminución de la subpresión, resultante del drenaje producido por las zonas vaciadas, así como la reducción de la superficie sujeta a su acción, compensa la pérdida de peso.

h) Cortinas de Contrafuertes y de Arcos Múltiples.

Una cortina de contrafuertes es una cortina constituida por una pantalla o losa impermeable, inclinada hacia aguas arriba, sostenida por contrafuertes perpendiculares a la losa misma y que vienen a constituir el órgano de soporte. El peso del agua ejercido sobre la losa inclinada e impermeable reemplaza el peso que falta en la cortina (ver fig. 9.9).

La losa está constituida por una serie de dalas planas de concreto armado, provistas de juntas de dilatación y prolongadas en el terreno por el muro del dentellón.

En algunas cortinas la losa impermeable está formada por un engrosamiento de los contrafuertes hacia aguas arriba como es el caso de la cortina de la Presa Don Martín sobre el río-Salado. Se les llama en este caso contrafuertes de cabeza re-

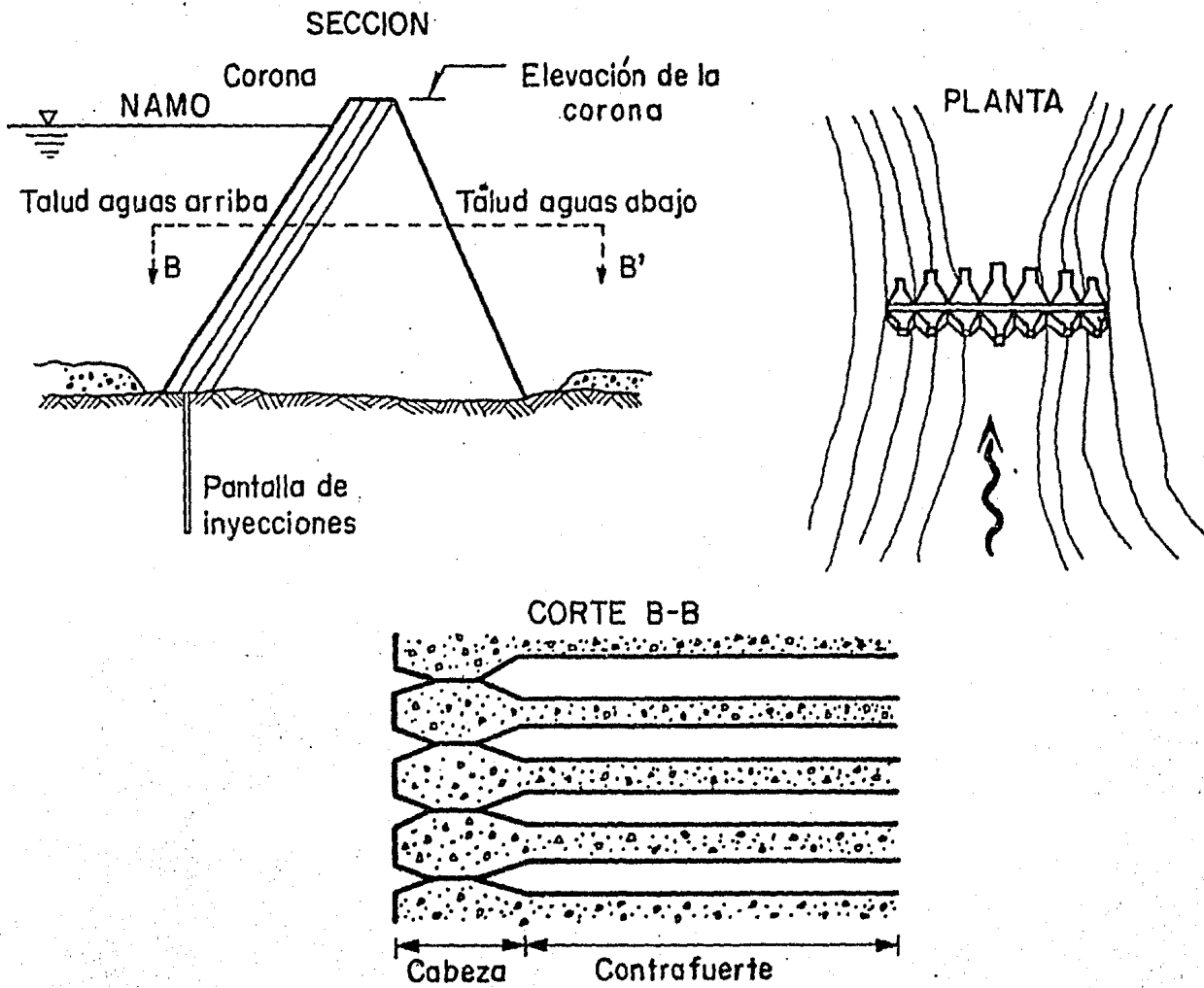


Fig. 9.9 Cortinas de Contrafuertes

donda.

Los contrafuertes son cuerpos sólidos o vacíos, de concreto armado o no y a menudo ligados unos a otros por tirantes para evitar el flambeo, en una forma simplista y de acuerdo con Krynine (1957, pág. 630) se puede decir que son muros estrechos muy cargados, que ejercen tremendas presiones sobre el terreno de cimentación.

Las cortinas de arcos múltiples son aquéllas cuyo paramento hacia agua arriba, impermeable, está constituido por un conjunto de arcos de concreto armado apoyados en los contrafuertes, en forma de tubos de organo. (A veces el arco es de acero).

El tipo de cortina como ya se mencionó en párrafos anteriores, se selecciona de acuerdo a los siguientes factores:

Topografía
 Geología
 Disponibilidad de mano de obra
 Aspectos Económicos.

TOPOGRAFIA

En lo que concierne a las condiciones topográficas, el emplazamiento o el sitio de construcción de una presa de almacenamiento debe reunir dos condiciones:

Primera. En el sitio de la cortina hay que tratar de encontrar una boquilla lo más estrecha posible para disminuir la importancia de la obra; dicho de otra manera, hay que encontrar un sitio que presente una superficie mínima para la cimentación y un volumen mínimo para las excavaciones.

Segunda. Que el valle ocupado por las aguas, (lo que ----

constituye el embalse), se amplie inmediatamente aguas arriba del sitio de la cortina para que la capacidad del almacenamiento pueda ser considerable.

La forma de la boquilla también influye en la selección del tipo de cortina. Por ejemplo una boquilla con taludes muy tendidos será propicia para la construcción de una presa de tierra y enrocamiento, gravedad o contrafuertes, lo que no sucede con una boquilla muy estrecha ya que debido a la corta distancia entre cortina y roca de los estribos, ésta resultará influenciada por el comportamiento de los mismos, pudiendo provocar tensiones y fisuras en una presa de tierra, por lo que en este caso será más recomendable una presa de arco.

Las partes más estrechas de una cañada donde el lecho del río o arroyo no es visible por estar cubierto de aluvión, no son necesariamente las más favorables para la selección del sitio de una cortina. Las dificultades técnicas y el volumen del material que hay que remover y de la obra misma, crecen rápidamente con la profundidad a la cual se debe hacer la cimentación de la obra.

Cuando en el sitio elegido no se encuentre aflorando la roca en el cauce, sino que se encuentre cubierto con material de aluvión, es necesario investigar la profundidad a la cual se encuentre la roca, lo que nos puede llevar a encontrar ciertas sorpresas, pues el perfil puede presentar contrapendientes.

En el caso simple de boquillas labradas por erosión fluvial, se pueden tener, como ya se dijo antes, ciertas sorpresas en el momento de investigar a profundidad el lecho rocoso.

Visto en conjunto si el perfil longitudinal de una corriente desciende constantemente con secciones de pendiente-

variable, se pueden presentar localmente contrapendientes en porciones estranguladas, ya que si la velocidad del agua es sensiblemente la misma para una misma pendiente, en puntos vecinos de la boquilla la roca sana debe encontrarse tanto más profunda cuanto más estrecha sea la boquilla para sí permitir el paso del mismo volumen de agua. Según el profesor M. Lugeon: "lo que una corriente gana en profundidad lo pierde en amplitud".

Por otra parte en un valle amplio, pueden encontrarse, - bajo el relleno aluvial, cauces profundos o antiguos, cauces secundarios labrados en la roca, sea hacia la parte media del valle o hacia los bordes del lecho principal.

GEOLOGIA

Las condiciones geológicas son las que juegan el papel más importante en la construcción de una presa, ya que como dice el profesor Coyne: "es el terreno en cierta forma el director de la obra, es él el que manda".

Entre las obras civiles son las presas las que requieren más de un buen terreno. Lo necesitan en el fondo y en los flancos, a lo ancho, a lo alto y en profundidad; las superficies y los volúmenes de terreno en contacto con la obra misma y bañado o penetrado por las aguas que son almacenadas, son considerables.

Dicho de otra manera una presa está constituida de 2 partes principales; la cortina artificial hecha por la mano del hombre, y la cortina natural que la prolonga en el terreno que la rodea y sobre la cual esta cimentada. La más importante de las dos es la segunda, la cortina natural, aquella que no se ve. Es en esta cortina natural que reside el riesgo más grande ya que 90% de las veces es ésta la que falla.

En efecto jamás el terreno de cimentación de una gran -- presa es homogéneo ni uniformemente sano. Siempre se encuen-- tra con alguna deficiencia en determinado lugar o presenta -- ciertos defectos.

Con lo que se acaba de decir se pone de relieve la impor-- tancia que tiene determinar por todos los medios de explora-- ción que se tengan a la mano, la naturaleza exacta del terre-- no de cimentación.

Se trata, al investigar un sitio determinado, no de es-- cribir un tratado de geología pura sobre este sitio, sino más bien de una geología muy particular a pequeña escala, que nos hable:

Primero. De la resistencia mecánica del terreno

Segundo. Del equilibrio de los taludes

Tercero. De las condiciones estructurales en relación -- con los estudios mencionados y

Cuarto. De las condiciones de permeabilidad del terreno.

A continuación se mencionarán, en términos muy generales, cuales son las condiciones geológicas que debe reunir un si-- tío para un determinado tipo de cortina.

Cortinas de gravedad

En principio la construcción de una cortina de gravedad -- exige, en el área de cimentación, de un terreno particularmen-- te impermeable e incompresible, ya que este tipo de cortina -- es muy sensible a las subpresiones y no es capaz de aceptar -- asentamientos diferenciales. En caso contrario se corre el -- riesgo de falla.

Cortinas de arco

La construcción de una cortina de arco requiere de un si tío donde las rocas de los apoyos o estribos, presenten buenas condiciones de estabilidad. Si hay el temor de inestabilidad de los apoyos o riesgo de derrumbes debidos al echado de las capas, a la erosión o a la acción de agentes atmosféricos, hay que tratar de descartar todo proyecto de construcción.

Cortinas de contrafuertes y de arcos múltiples

En estas cortinas, la condición esencial es que el terre no de cimentación sea de buena calidad. En esta presas no hay el temor de efectos de subpresión, ya que no existe una plantilla general de cimentación o por lo menos hay que evitarla. En los sitios donde hay riesgo de derrumbes en las laderas, - la construcción de una cortina de contrafuertes debe ser estudiada muy cuidadosamente con la idea de verificar y asegurar la inestabilidad.

Puesto que estas cortinas no son vulnerables a una sobre elevación accidental del nivel de agua, se les construye de - preferencia sobre los ríos donde las crecientes o avenidas -- son peligrosas o mal conocidas; por otra parte puesto que estas estructuras soportan grandes variaciones de temperatura - (tratándose de concreto bien clasificado), no hay nada que te mer en regiones de climas rigurosos.

En general las presas de concreto o de mampostería deben ser construídas sobre roca firme, de buena calidad, por lo me nos aquellas partes que soportan el empuje del agua y el peso de la estructura.

En aquellos sitios donde el espesor de los aluviones es muy grande y que la roca sana se encuentra a gran profundidad, la solución a adoptar es la de una cortina de enrocamiento o-

de tierra.

Cortinas de enrocamiento

Para una cortina de este tipo se debe escoger un sitio en donde las condiciones esenciales sean el no estar sujeta ni a asentamientos diferenciales ni a la erosión que puedan provocar infiltraciones pasando bajo la cortina.

Si se trata de un terreno defectuoso en la zona de cimentación hay que investigar con toda minuciosidad la zona de cimentación desde el punto de vista de su resistencia y la permeabilidad incluidos el talweg y las laderas del cañon. Si se construye una cortina sobre un suelo de comportamiento dudoso, se esta obligado de hacer una cubierta o pantalla deformable y un muro del dentellón también deformable.

Cortinas de tierra

Las cortinas de tierra son aquellas que más convienen sobre un terreno de cimentación no rocoso a condición de verificar su resistencia y asegurarse que no contengan materia orgánica ni arcillas expansivas o muy plásticas que corran el riesgo de ser expulsadas por el peso de dique o por la presión de las aguas del embalse, además el sitio de cimentación también debe ser cuidadosamente estudiado y explorado de tal suerte que sea posible diseñar una cortina que se adapte a las condiciones del terreno encontrado.

EL VERTEDEDOR

En lo que respecta al vertedor, la opinión del geólogo es de una importancia capital, cuando se trata de un vertedor cavado o excavado sobre la ladera sea por pozos verticales o inclinados, por sí en este caso, dicha obra viene a --

constituirse en canal o en túnel cuyo estudio de las paredes es necesario realizar para conocer su comportamiento y hacer la elección del revestimiento adecuado a la calidad de la roca.

Para los vertedores colocados sobre la cortina, la parte que corresponde estudiar al geólogo es aquella que se supone tendrá acción del flujo de agua, para determinar si la roca presentará problemas de erosión remontante. Los sitios fáciles a la acción erosiva del agua son aquellos que presentan juntas, fallas, planos de estratificación etc. Donde cae el chorro de agua deben ser cuidadosamente estudiados y programar su protección por medio de recubrimientos adecuados.

La obra de toma y la obra de vaciado de fondo, si son excavados en roca exigen como en el caso del vertedor la investigación geológica del terreno atravesado. A veces el o los túneles de desvío se utilizan como obra de desfogue de fondo.

ASPECTOS ECONOMICOS

Dentro de los aspectos más importantes a considerar se encuentran:

1.- La localización de los materiales de construcción para la cortina, poniendo énfasis en las distancias de acarreo, costos de obtención, calidad, volumen, etc.

2.- La disponibilidad de mano de obra.

3.- Aspectos legales sobre la compra del sitio donde se localizará la obra.

9.2 Problemas Geotécnicos.

Los problemas geotécnicos que se presentan más frecuente

mente en los sitios de construcción de presas, son los relativos a: fenómenos de geodinámica, filtraciones, resistencia de la roca o suelo, azolves, etc.

Se enumeran estos problemas antes de hablar de la exploración del sitio, para que cuando ésta se realice, se preste cuidado especial a su detección.

9.2.1. Fenómenos de Geodinámica Externa.

9.2.1.1. Deslizamientos y reptación.

El profesor Karl Terzaghi en su magnífico trabajo titulado "Mecanismo de los deslizamientos", presentado en noviembre de 1950 en la Sociedad Geológica de América en el volumen Berkey, hace una distinción clara entre un deslizamiento normal y un fenómeno de reptación.

El término deslizamiento dice él "se refiere al desplazamiento rápido de una masa de roca, suelo residual o sedimentos contiguos a un talud, en la cual el centro de gravedad de la masa en movimiento avanza en una dirección hacia abajo y hacia afuera. Un movimiento similar que se presenta a una velocidad imperceptible es llamado reptación.

La velocidad de las masas involucradas en un deslizamiento típico se incrementa más o menos rápidamente de casi cero a por los menos 1 pie X hora y luego disminuye a un valor -- más pequeño. Por el contrario un fenómeno de reptación típico es un movimiento continuo que tiene lugar a una velocidad media de 1 pie por década. Velocidades más altas en un fenómeno de reptación son más bien raras".

Se deberán tratar de reconocer, prevenir o minimizar las posibles zonas de deslizamiento o reptación que puedan poner en peligro la cortina o sus obras auxiliares.

Para ello deberán hacerse exploraciones geológicas muy detalladas, complementadas con datos de perforaciones, pozos, trincheras, socavones, métodos geofísicos y pruebas de laboratorio para elaborar finalmente un plano geotécnico, en el cual se definan las zonas inestables así como el volumen de material afectado por el fenómeno.

Este tipo de investigación deberá hacerse en la etapa de exploración detallada del sitio de construcción como se puede ver en la Tabla 9.1.

Los deslizamientos en rocas competentes y no competentes se presentan predominantemente a lo largo de ciertas discontinuidades que facilitan el movimiento de las masas rocosas.

Los desplazamientos variarán de acuerdo a ciertas características que presentan dichas discontinuidades como son: orientación, rugosidad, relación con la estructura geológica presente, grado de saturación de agua, características de fricción, etc.

Las principales discontinuidades en donde puede existir movimiento en masa del terreno son:

- | | |
|--------------------------------|--|
| a) Estratificación y foliación | e) Límites entre rocas saturadas y no saturadas. |
| b) Fracturas | |
| c) Fallas | |
| d) Discordancias | f) La base de rocas intemperizadas. |

a) Estratificación y Foliación: Los deslizamientos ocurren comúnmente cuando existen rocas de distinta naturaleza, por ejemplo en las zonas de contacto entre arenisca-lutita, gneiss-esquistos, caliza-lutita o suelo-roca, etc. Cuando la estratificación tiene un rumbo perpendicular al curso del río,

con un echado hacia aguas arriba se considera que es una posición favorable en cuanto a su estabilidad e impermeabilidad.

Por el contrario con el mismo rumbo si el echado es hacia aguas abajo o vertical, se tendrán problemas de estabilidad, además de favorecer filtraciones de agua. Los estratos horizontales de una misma litología constituyen la posición más estable.

Un caso muy desfavorable tanto en lo relativo a permeabilidad como sobre todo a estabilidad es aquel en el cual las capas tienen un rumbo paralelo al curso del río, verticales o con echado hacia alguna de las márgenes, es decir aquel caso en el cual la pendiente de la ladera es coincidente con la intensidad del echado de las capas o planos de fractura.

En rocas metamórficas los planos de foliación junto con las fracturas pueden definir bloques de roca, cuya movilidad dependerá del contenido de agua, permeabilidad, grado y tipo de alteración de las rocas, etc.

b) Fracturas: Bajo la acción de la gravedad, los sistemas de fracturamiento, sobre todo en presencia de agua, contribuyen a deslizar las masas de roca. Por esta razón estos sistemas deben ser mapeados con mucho detalle.

Es importante indicar además cuál es la abertura de las fracturas, así como si están rellenas o no (aclarando que tipo de material las rellena). Para la interpretación de su influencia dentro de la obra se recomienda hacer uso de la red estereográfica, sobre todo cuando se cuenta con una gran cantidad de información.

c) Fallas: Aparecen con menor frecuencia que las fracturas, pero son de gran importancia, por lo que se recomienda estudiar su geometría, su relación con los tipos de roca in-

volucrados, presencia de pliegues, edad, actividad y resistencia al corte. Asimismo es muy importante el conocimiento de su origen y su evaluación tridimensional.

d) Discordancias: No son comunes, pero si tales superficies presentan un echado fuerte, son lisas, saturadas y la roca alterada, el movimiento es posible.

e) Límites Saturados/No Saturados: Probablemente uno de los factores más importantes que origina deslizamientos es el cambio en el contenido de agua. Algunos de sus efectos son de acuerdo con Krynine , 1957: 1) Lubricación de superficies y disminución del coeficiente de fricción en seco. 2) Actúa como agente erosivo y solvente entre superficies de contacto. 3) Cuando existe un aumento de la presión de la columna de agua (estando el terreno saturado) la presión creciente tiende a elevar los estratos de la roca y a la misma còrtina, lo cual, hace disminuir la resistencia al corte de la roca.

f) Base de Rocas Alteradas: Las rocas que tienen alto contenido de feldespatos y ferromagnesianos son muy alterables, ocasionando la formación de arcilla que sirve como lubricante.

ALGUNAS CAUSAS DE LOS DESLIZAMIENTOS:

Muchos factores contribuyen, al movimiento en masa del terreno, actuando independientemente o combinados. Los más responsables son la gravedad, peso y su distribución, carga, y descarga, variación e intensidad de la presión de poro, fuerzas de expansión y contracción, remoción de soportes, cambios de pendiente, alteración, saturación de agua, voladuras, sismos, actividad volcánica y disminución de la resistencia con el tiempo. (En el capítulo II.2 se analizan con mayor detenimiento las causas de los deslizamientos.)

MEDIDAS PARA PREVENIR LOS DESLIZAMIENTOS:

Estas medidas varían ampliamente, sin embargo entre las más comunes se tiene: Relleno, reducción del ángulo del talud, disminución del peso, anclado de la roca, colocación de pilas, el uso del concreto lanzado, instalación de drenaje dentro -- del macizo rocoso, etc.

9.2.2. Filtraciones

El estudio de la permeabilidad del terreno, para determinar la posibilidad de filtraciones de agua es muy importante, tanto en el sitio de la cortinas como en las obras auxiliares y en el embalse; en la cortina el agua puede escaparse -- por los lados y por debajo de la misma pudiendo dar lugar a graves problemas como: Tubificaciones, subpresiones o activación de fallas; en el embalse se pueden presentar grandes pérdidas de agua o si hay formaciones erosionables, es posible -- que se produzcan fallas en el terreno.

Se debe considerar la presencia de algunos factores como son:

- La presencia de cavernas, canales, fallas y fracturas interconectadas, observando su frecuencia, grado de abertura y tipo de relleno.

- La presencia de causas sepultados que puedan originar una vía de filtración para el agua, dependiendo de su posición con respecto a la obra y el embalse.

- El fracturamiento de tipo tectónico, produce filtraciones moderadas, sin embargo es necesario conocer cual es la dirección del agua que se infiltra.

- La solubilidad de la roca, que puede producir grandes

cavernas, principalmente en calizas, halita, yesos o rocas poco cementadas como los loess.

- Las rocas no solubles como las ígneas cristalinas, algunas areniscas, las metamórficas masivas, etc., casi no presentan problemas de filtración a menos que se encuentren muy-fracturadas o afalladas.

Cuando existan este tipo de problemas deberán hacerse estudios de permeabilidad del área en cuestión, pues como se mencionó este fenómeno es consecuencia del fracturamiento, disolución o permeabilidad intrínseca de las rocas presentes en el sitio de construcción. Para ello se realizan las pruebas de permeabilidad Lugeon y Lefranc (ver capítulo 7.5.2); en la práctica los valores menores a 1 Lugeon se consideran impermeables mientras que los mayores a 5 Lg. serán muy permeables. También es recomendable la realización de estudios hidrogeológicos de la región (capítulo 3.3), para definir las características de los acuíferos, así como la dirección del flujo del agua subterránea.

A continuación se comentan algunas características y particularidades de las rocas y su influencia en el establecimiento de una presa (prestando atención especial al problema de filtraciones):

Lutitas y Margas.- Las lutitas, arcillas endurecidas y transformadas, aunque menos compresibles que las arcillas, tienen características semejantes. Son éstas, rocas que pueden alterarse e inflarse al contacto del agua, sin embargo, si no están alteradas tienen una resistencia al esfuerzo cortante y a la compresión más grande que la arcilla, pues son más duras y compactas a causa de su menor contenido de agua.

Algunas lutitas que parecen excelentes en el curso de realización de una perforación, en el momento de ponerlas en

contacto con el agua se pulverizan instantáneamente. Esta característica es notable sobre todo en las lutitas bentoníticas.

Para determinar su comportamiento, es necesario hacer -- pruebas de laboratorio tanto sobre su compresibilidad y resistencia al esfuerzo cortante, como su alterabilidad.

Las Margas, lutitas ricas en carbonato de calcio, son rocas de una calidad superior a la de las lutitas, no obstante algunas veces son muy alterables, compresibles y susceptibles de hincharse a pesar de su masa compacta y de su dureza.

Las Calizas. - En las calizas densas no fracturadas puede fácilmente construirse una presa con éxito ya que la gran mayoría de ellas tienen una resistencia tan grande como el concreto. Son estas rocas ciertamente, dicen Gignoux y Barbier, - (*) en las cuales el volumen de excavación es reducido al mínimo (por supuesto después de haber limpiado el material de derrumbes que puede ser muy grueso. Desgraciadamente se les encuentra con mucha frecuencia interestratificadas con otro tipo de rocas o carsificadas.

Desde el punto de vista de la estabilidad, pueden considerarse satisfactorias si no son defectuosas, (afalladas, -- fracturadas, etc.) y no están interestratificadas con rocas compresibles, si las condiciones estructurales son favorables.

Cuando se hable de un terreno calcáreo hay que pensar en rocas que presentan fracturas o diaclasas producidas por acción tectónica, deformadas, afalladas, en fin con todas las características que presenta un roca sujeta a esta acción. -- Además si tales terrenos se encuentran en una región húmeda, la acción erosiva de las aguas subterráneas y su poder disolvente pudo haber producido un agrandamiento de las facturas, -- planos de estratificación y diaclasas, formar cavernas y dar-

(*) "Géologie de barreges et des Amenagements hydrauliques".
Masson et Ge. Paris.

lugar a un terreno con topografía del tipo de Karst. En las calizas, simples fracturas superficiales pueden esconder enormes cavidades en el subsuelo. La presencia de calizas y de dolomitas cavernosas es la principal cosa que hay que temer, a causa de las infiltraciones, en el perímetro que debe ser inundado por las aguas del vaso.

A este respecto el estudio geológico del área del vaso y de los valles vecinos debe ser lo más preciso posible, ya que es necesario determinar el aspecto tectónico de las rocas a fin de reconocer si existe posibilidad de escurrimientos subterráneos de las aguas del vaso o hacia aguas abajo de la cortina proyectada o hacia un valle vecino si es que se encuentra a una elevación menor.

En estos casos uno de los factores más importantes es determinar la situación y profundidad de la primera capa impermeable abajo de las rocas fisuradas, lo que permitirá detener o no las infiltraciones fuera del vaso.

Cuando los terrenos calcáreos tienen un drenaje superficial muy pobre desprovistos o no de vegetación y en una región húmeda lo más probable es que haya circulación de aguas subterráneas, sobre todo si hay manifestaciones superficiales. Sin embargo los testigos más significativos y más espectaculares de estas circulaciones, dicen también Gignoux y Barbier, (*) son naturalmente las fuentes o resurgenencias que salen de esos macizos. Si ciertas de estas fuentes, continúan diciendo, están situadas a cotas inferiores a las del vaso, sea en el valle principal aguas abajo de la presa, sean en los valles vecinos, habrá no una certeza absoluta, pero sí un gran riesgo de pérdida; evidentemente llenar la presa totalmente de agua no traerá ningún riesgo de disolver las calizas y de crear nuevas redes de circulación, pero sí puede poner en actividad redes preexistentes a veces totalmente secas y parcialmente selladas con material arcilloso proveniente del exterior.

(*) Op. Cit.

Yesos y Anhidrita.- Los yesos y particularmente las anhidritas a causa de su tendencia a transformarse en yeso son rocas temibles por decirlo así en el sitio de construcción de una presa, tanto en lo que respecta a su permeabilidad como a su estabilidad. En estas rocas igualmente que en las calizas se forman enormes fracturas agrandadas por disolución y enormes cavernas que vuelven imposible la construcción de una presa de almacenamiento por el costo elevado de impermeabilización. Por otra parte no hay que olvidar que las aguas en contacto con rocas sulfatadas (como es este el caso), aguas selénicas ejercen una acción muy agresiva sobre los cementos ordinarios del tipo Portland.

Las Areniscas.- Independientemente de las características estructurales que presente un cuerpo de areniscas su resistencia mecánica en la construcción de una presa depende tanto de la homogeneidad y naturaleza de los granos, como del material cementante y del grado de cementación.

Teniendo en cuenta que el cuarzo es un mineral indeformable y que sólo presiones muy elevadas pueden triturarlo, las rocas formadas de este material como es el caso de la mayor parte de areniscas, ofrecen las mejores condiciones de estabilidad. Por otra parte su misma naturaleza granular les da un ángulo de fricción interna muy elevado. Sin embargo, en aquellas areniscas donde el cementante, abundante, está constituido de arcilla o carbonato de calcio, materiales deformables, puede producirse un desplazamiento de los granos bajo la acción de fuertes presiones. Igualmente en las areniscas interstratificadas con lutitas, la superficie de contacto es una zona potencial de deslizamiento si hay circulación de agua en el cuerpo de la roca; en el contacto con la lutita el agua produce en efecto, una acción lubricante como consecuencia del reblandecimiento de la arcilla. Una arenisca en estas condiciones, sujeta a la acción de una carga puede presentar como las lutitas, problemas de deslizamiento o de asentamiento.

to.

En general las areniscas son rocas favorables en el sitio de cimentación de la cortina de una presa, salvo si están fracturadas o interestratificadas con materiales arcillosos.

Discutiremos ahora algunas de las características de las rocas ígneas, empezando por las rocas intrusivas.

Rocas Igneas Intrusivas.- Aunque el granito y en general las rocas cristalinas sean ideales desde el punto de su impermeabilidad, no pasa lo mismo con estas rocas en el área de cimentación de la cortina. Su gran facilidad para descomponerse y alterarse bajo ciertas condiciones, como consecuencia de su desarrollo cristalino, presentan a menudo en la construcción graves problemas debidos a la gran profundidad de la zona alterada.

Las rocas cristalinas son atacadas por los agentes atmosféricos tanto mecánicos como químicos. Ahora bien. la profundidad y la extensión de estos agentes depende de varios factores, entre los cuales los más importantes son: espaciamiento entre fracturas o diaclasas, grado de microfracturación de los minerales constituyentes e historia fisiográfica avanzada.

En un área de fisiografía avanzada, la descomposición es más importante si las pendientes en general son más suaves.

La acción destructiva de los agentes atmosféricos comienza por una alteración producida a lo largo de las fracturas y diaclasas, en las rocas masivas y se continúa con la destrucción progresiva de los elementos cristalinos, los feldespatos y sobre todo las micas.

En las rocas cristalinas, las zonas que pueden afectar desfavorablemente el sitio de una presa, fuera de las zonas -

alteradas, son las zonas de falla fuertemente trituradas y -- las zonas fracturadas.

Rocas Volcánicas.- Los problemas presentados por estas -- rocas (basalto, riolita, andesita, etc.) resultan de la pre-- sencia de rocas de diferente naturaleza intercaladas entre las corrientes de lava, problema sobre todo notable en los basal-- tos, donde es agravado por el gran número de fracturas de en-- friamiento y por las zonas de contacto escoriáceos. La cons-- trucción de presas en terrenos basálticos exige primeramente-- la determinación del nivel de aguas freáticas con respecto al curso de agua y al nivel máximo de futuro almacenamiento, así-- como el estudio de las condiciones estructurales y topográfi-- cas que controlen el escurrimiento de los mantos acuíferos.

En aquellos sitios donde el río escurre a un nivel superior al nivel de aguas freáticas habrá riesgo de pérdidas muy impor-- tante, por consiguiente hay que descartar todo proyecto de --- construcción. Por el contrario si el nivel de aguas freáticas se encuentra a un nivel superior a aquel del futuro almacena-- miento, hay la posibilidad de que el vaso sea impermeable.

Las rocas piroclásticas, dependiendo del grado de consoli-- dación presentan por su naturaleza problemas semejantes a los-- de las arenas, arcillas y lutitas.

Rocas Metamórficas.- Las rocas metamórficas son aquellas-- rocas preexistentes que han sufrido transformaciones bajo la -- acción de efectos térmicos, dinámicos o químicos.

Rocas metamórficas de origen sedimentario si tectónicamen-- te no han sido muy alteradas, ofrecen condiciones satisfacto-- rias para efectuar una cimentación. Los esquistos cristalinos-- que tienen un gran número de fisuras y una foliación muy delga-- da, si no son micáceos pueden también considerarse como buenos en el sitio de construcción. Los esquistos micáceos tienen la--

desventaja de alterarse fácilmente al contacto del aire y del agua.

En los esquistos la dirección de la esquistosidad es bastante importante, el caso menos favorable para efectuar una construcción sobre ellos, es el de la esquistosidad que tiene una dirección normal al eje de la estructura pues existe posibilidad de deslizamiento a lo largo de los planos de esquistosidad; por el contrario los esquistos con una foliación paralela al eje de la estructura presentarán buenas condiciones de estabilidad.

9.2.3 Asentamientos.

Las cortinas ejercerán una presión sobre los materiales en que fueron construídas (suelos y/o rocas), debido a su propio peso y a otras fuerzas que actúan sobre ellas.

Para el caso de cortinas de materiales homogéneos los asentamientos no son importantes, pero en las de concreto deberán hacerse cuidadosas investigaciones en el área de la cortina.

El problema es simple si la roca de cimentación es firme y fuerte (granito, cuarcita, caliza masiva); pero si las rocas son débiles, especialmente de carácter arcilloso (lutitas, esquistos de mica, filitas, limos, arcillas), el problema de deformación bajo cargas pesadas puede ser crítico. En el caso de areniscas poco cementadas o si el cementante es arcilloso estas tendrán poca resistencia a la compresión.

Cuando la cortina se cimente sobre tipos de roca con módulos de elasticidad diferentes (ver capítulo 7.5) se presentarán problemas porque se tendrán asentamientos diferentes o recuperaciones diferentes.

Los asentamientos desiguales en las diversas zonas de la-

cortina pueden causar agrietamientos de gran importancia.

Para casos problemáticos se debe recurrir a un riguroso estudio de mecánica de rocas o de suelos.

9.2.4. Bancos de Material

La construcción de presas requiere de grandes cantidades de materiales; arena y grava como agregados para concreto, arcillas para rellenos y corazones impermeables, piedra para mampostería y recubrimientos, arena y grava para filtros, etc.

Una de las funciones más importantes de los estudios geológicos, sobre todo en la etapa de investigación preliminar -- (ver capítulo 2), es la evaluación de los bancos de material. La localización, cantidad y calidad de los mismos pueden modificar la localización del sitio, o bien influir de manera directa en el tipo de presa por construir.

Los lugares en donde afloran rocas o donde existen suelos que podrían ser utilizados para las diferentes partes de la obra, se conocen del estudio fotogeológico realizado durante el anteproyecto; ahora se trata de precisar el punto o puntos en el terreno en los que se debe abrir el frente de ataque. El estudio de los bancos propuestos se puede hacer, según el caso, con pozos a cielo abierto, con perforaciones de diamante o con métodos geofísicos.

Los objetivos son determinar las características del material, el volumen aprovechable y los procedimientos de ataque más apropiados para cada lugar.

9.2.5. Asolvamiento

Un problema especialmente difícil en algunas zonas, es el tratamiento de azolves. Algunas presas propuestas no han sido construidas por conocerse que los azolves las harían inútiles-

en poco tiempo.

Una forma de detener el material que es transportado por el río, es por medio de tratamientos de control de erosión de suelos en la cuenca y realizando campañas de reforestación. - Muchas presas se han azolvado totalmente y en la actualidad ya no operan, por lo que se han perdido grandes cantidades de dinero invertidas. Se están buscando procedimientos para desazolver las presas y posiblemente en un futuro cercano se llegue a una solución económica que permita rescatar las obras.

9.3. Exploración de Presas

Cuando se ha encontrado un sitio que reúne condiciones topográficas favorables, que en una presa de almacenamiento están representadas por un estrechamiento aguas arriba, a partir del cual debe abrirse un valle extenso que constituirá el embalse, el siguiente paso es el levantamiento geológico regional, para poder definir la factibilidad técnica del proyecto de presa.

El ingeniero geólogo es quien planea y organiza la investigación del sitio, así como identifica los problemas y riesgos geológicos para lo cual realiza diferentes etapas de investigación (ver capítulo 2), ayudado de los métodos de exploración que se requieran en cada caso (ver capítulo 5), programándolos en una secuencia correcta de utilización.

En la tabla 9.1 se muestra un resumen de los métodos de exploración recomendables para investigar un sitio donde se quiere construir una presa.

TABLA 9.1 EXPLORACION DE SITIOS PARA PRESAS

ETAPAS DE INVESTIGACION	M E T O D O S D E E X P L O R A C I O N						
	D I R E C T O S				I N D I R E C T O S		
	LEVANTAMIENTO GEOLOGICO	POZOS A CIELO ABIERTO Y TRINCHERAS	TUNELES Y SOCAVONES	PERFORACIONES	FOTOGEOLOGIA	METODOS GEOELECTRICOS	METODOS GEOSISMICOS
-SELECCION DEL SITIO Y EN EL RECONOCIMIENTO PRELIMINAR	X				X		
-EXPLORACION DETALLADA DEL SITIO DE CONSTRUCCION	X	X	X	X		X	X
-CONSTRUCCION DE LA OBRA	X	X	X	X		X	X
-OPERACION DE LA OBRA				X			
-BANCOS DE MATERIALES	X	X		X			X

NOTA: La X significa que es un método adecuado para la etapa de investigación marcada.

10. TUNELES

10.1. Generalidades

Puede aseverarse sin temor a equivocación, que no existe obra civil que necesite más de la geología que un túnel, tanto más cuanto más compleja sea esta y que la obra se encuentre a profundidad considerable.

La construcción de un túnel necesita de la geología en la etapa de estudios preliminares y de detalle, en la de construcción e inclusive durante la operación. Necesita no de una geología que se pierda en análisis y reflexiones que lleven al conocimiento de la petrogénesis, estratigrafía y tectónica del sitio, por el simple hecho de conocerla, sino de una geología ingenieril, a gran escala, a una escala de relojería, que nos hable del comportamiento presente y futuro del macizo rocoso, que va a ser modificado con la construcción del túnel.

Es en esta geología ingenieril que el ingeniero geólogo, en su estrecha colaboración con el geotecnista y el constructor debe poner una muy particular atención.

10.1.1. Definición y tipos de túneles

Según Whalstrom (1973, pág. 3), los túneles son excavaciones lineales subterráneas, de pequeña altura y anchura en comparación con su longitud; de acuerdo con el uso que tienen, los clasifica de la siguiente forma:

a).- Túneles de acceso a minas, útiles para desalojar los materiales extraídos, para desalojar las aguas subterráneas o para dar ventilación.

b).- Túneles para transportes: carreteros, para peatones,

para navegación o ferrocarriles. Estos son los más largos y - en ocasiones los más difíciles de excavar.

c).- Túneles para conducción de agua; que pueden ser vertedores, de desfogue o de desvío.

d).- Túneles militares

e) Túneles de acceso a cámaras o bóvedas subterráneas.

f).- Túneles de utilidad pública, construídos para llevar cables, gas, agua, etc.

Las partes de un túnel pueden verse en la figura 10.1.

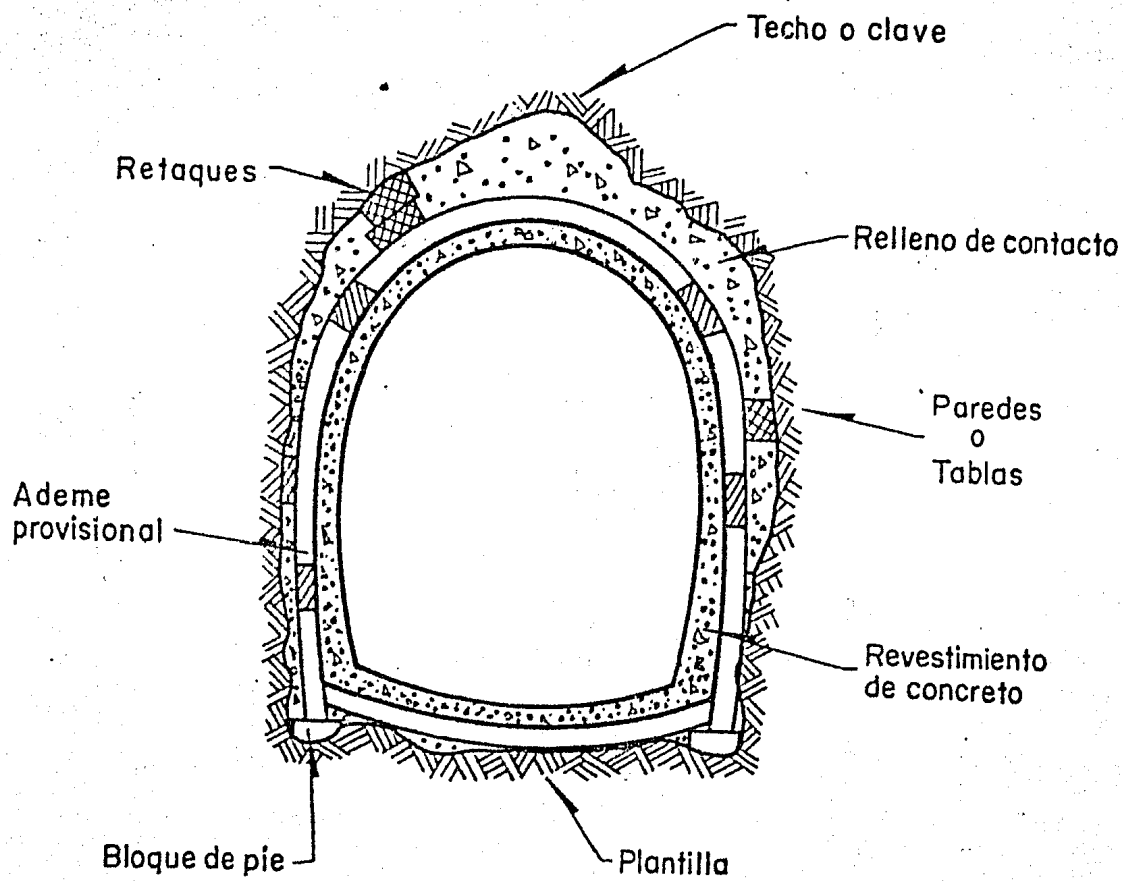
10.1.2. Métodos de Excavación

Los métodos convencionales de tuneleo, también llamados "clásicos", son operaciones cíclicas que en general siguen la siguiente secuencia: perforación, carga, explosión, rezagado, e instalación de soportes (si son necesarios).

En la figura 10.2 se observan diferentes métodos de excavación de túneles tanto en rocas competentes como incompetentes.

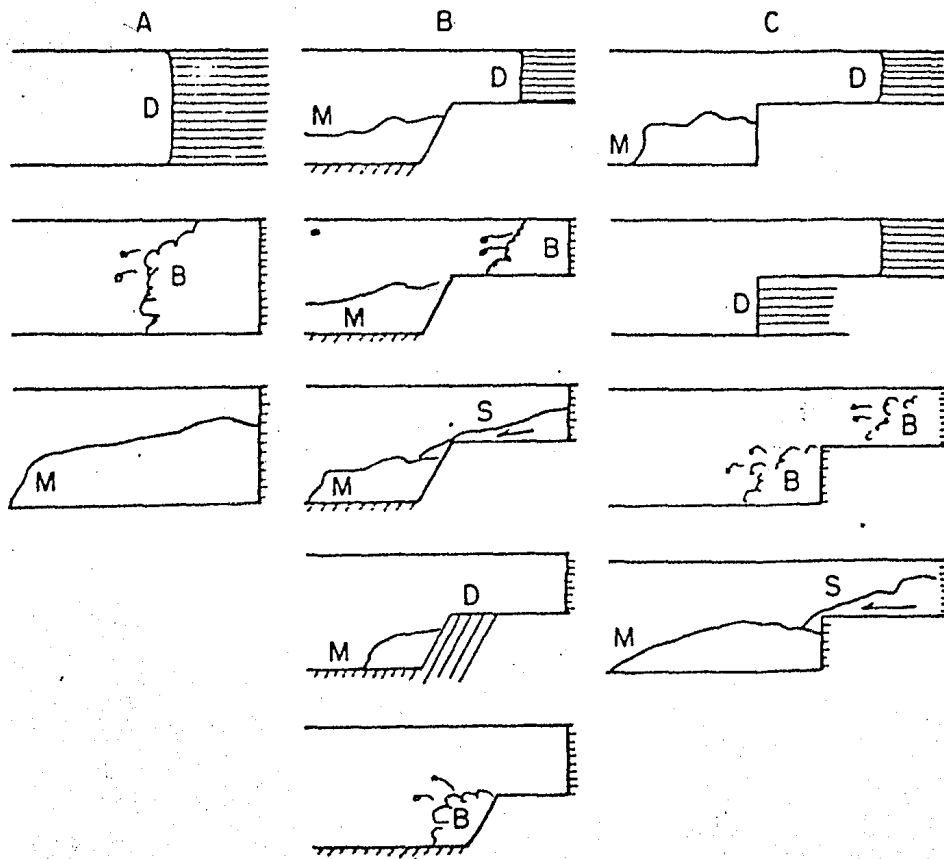
10.2. Problemas geotécnicos en túneles.

Con el fin de resaltar la importancia del conocimiento geológico y fundamentar la necesidad de una investigación con los métodos de exploración propuestos en el capítulo 5, se presentan a continuación de acuerdo con Richey, J.E. (1964, - pág. 126), las interrogantes que se le presentan al constructor de túneles y que deben ser contestadas por un geólogo con experiencia en geotécnica:



(de Wahlstrom, 1973)

Fig. 10.1 Partes de un túnel.



(De Bell, 1980)

Fig. 10.2 Métodos de excavación de túneles.

- A. Cara o frente completa
- B. Cabeza y banco.
- C. Cabeza y banco barrenado horizontalmente.

Fases: D- Perforación
 B- Explosión o Tronada
 M- Rezagado
 S- Acarreo o Escrepado.

1.- ¿Se excavará el túnel completamente en roca sana o se encontrarán zonas intemperizadas o alteradas por acción hidrotermal o bien canales o causes sepultados rellenos con material permeable?

2.- ¿Se obtendrá durante la excavación una sección limpia o bien habrá sobre-excavación?

3.- ¿Será la roca fácilmente excavada y perforada o por el contrario difícil?

4.- ¿Existen razones que den lugar a pensar en la posibilidad de desprendimientos de roca grandes o pequeñas del techo del túnel? (¿Qué parte del túnel necesitará soportes o ademes y de que tipo?)

5.- ¿Si existen fallas que posición guardan estas con respecto al eje del túnel, en que longitud lo afectan y cuáles es la magnitud del afallamiento para que llegue a encontrarse roca triturada?.

6.- ¿En que puntos y en que cantidades será encontrada agua?.

7.- ¿Si existen materiales no consolidados en los portales de entrada o de salida del túnel o bien si la roca está muy intemperizada en estos lugares, en que longitud se verá afectado el túnel y que dificultades especiales se presentarán en las excavaciones iniciales?

8.- ¿Hay posibilidad de encontrar muchas dificultades en las partes profundas del túnel en zonas de roca que se esta hinchando por liberación de esfuerzos, o bien se presentarán despredimientos violentos de roca?

9.- ¿En que caso de túneles de presión, se requerirá un-

refuerzo o revestimiento a todo lo largo del túnel o solo en ciertos lugares como por ejemplo en la vecindad de fallas?

10.- ¿Se encontrarán en el túnel zonas de altas temperaturas o de gases tóxicos o venenosos?

A continuación se comentarán más ampliamente los problemas geotécnicos que se presentan con mayor frecuencia en túneles.

10.2.1. Fallas

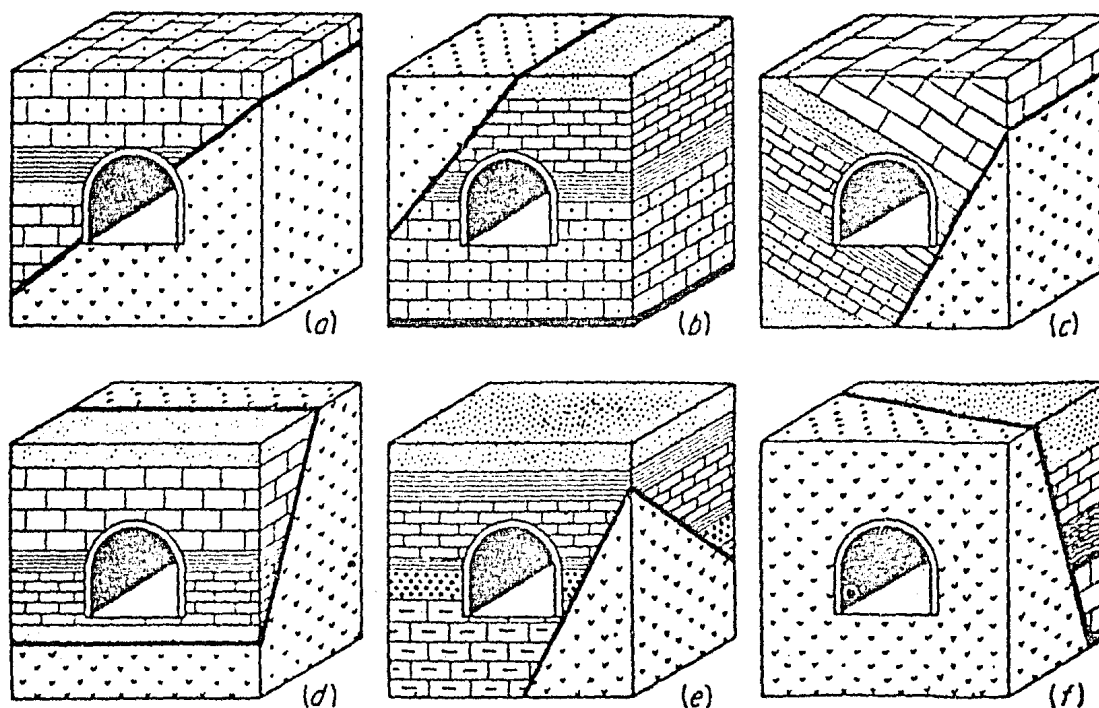
En presencia de fallas, se debe conocer la posición que guardan estas con respecto al eje del túnel y la longitud en que lo afectan. Se determinará también si son activas o no, y la magnitud que tienen para saber si se encontrará roca triturada en la zona del túnel.

La figura 10.3 indica las posiciones que puede tener un túnel con respecto a una falla.

Si se cruza una falla activa el túnel puede verse sometido repentinamente a grandes esfuerzos cortantes de gran peligro. El corrimiento puede ocurrir, claro, en cualquier dirección, dependiendo del sentido de los esfuerzos y la orientación de la superficie de corrimiento, respecto del túnel.

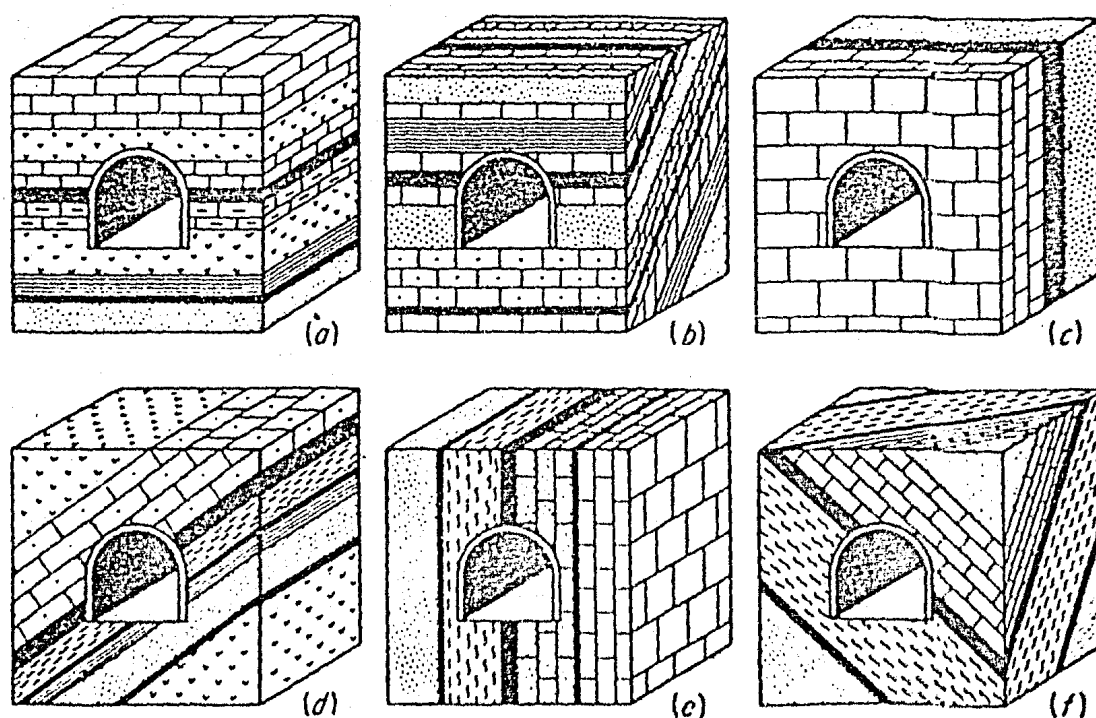
Es aconsejable tratar de atravesar las fallas perpendicularmente, para disminuir el área con problemas; y si por necesidades del proyecto es necesario seguirlo paralelamente, conviene que la obra se encuentre lo más alejada posible de ellas. (Ruiz Vázquez, inéd.)

En una zona afallada, el terreno suele encontrarse también fracturado y ser inestable, esto último debido principalmente a la presencia de materiales alterados o faltos de cohe-



(De Krynine, 1957).

Fig. 10.3 Diferentes posiciones de un túnel con respecto a una falla.



(De Krynine, 1957).

Fig. 10.4 Influencia de la estratificación en el revestimiento de un túnel.

sión como la salbanda que tiende a aumentar su volumen, produciendo desplazamientos o roturas en el revestimiento. También puede encontrarse milonita, material impermeable susceptible de dificultar o detener el movimiento de las aguas subterráneas de uno a otro lado de la falla produciendo fuertes cargas hidrostáticas sobre el túnel.

Las fallas pueden constituirse en planos de debilidad y por lo mismo de deslizamiento. Es posible también que estas estructuras, se conviertan en vías de acceso o salida de agua del túnel, si es que están abiertas o rellenas de material impermeable.

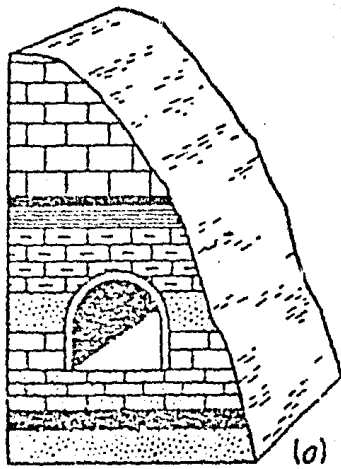
10.2.2. Estratificación

En la selección de la localización y profundidad del eje del túnel, la posición relativa de la estratificación debe ser estudiada cuidadosamente.

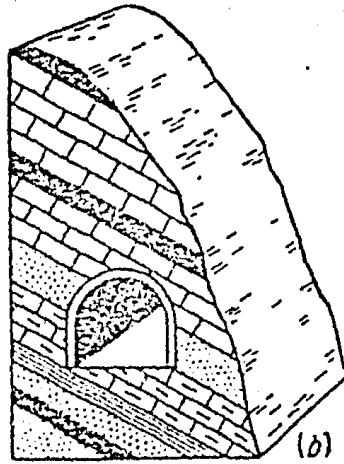
La presión total sobre un túnel y la forma como ésta se distribuye a lo largo de él en rocas sedimentarias, depende principalmente de la estratificación. En las figuras 10.4a, "b" y "c", el revestimiento experimenta presiones verticales mas o menos uniformes, en "d" y "f", los estratos oblicuos producen una concentración de presiones en uno de los lados del túnel, en la "e", la presión se concentra en la clave del arco.

Las rocas con estratificación inclinada pueden presentar problemas de estabilidad, sobre todo si se encuentran alteradas, afalladas o fisuradas. También pueden ocasionar deslizamientos, por lo cual hay que seleccionar correctamente el sentido de ataque y el método de perforación.

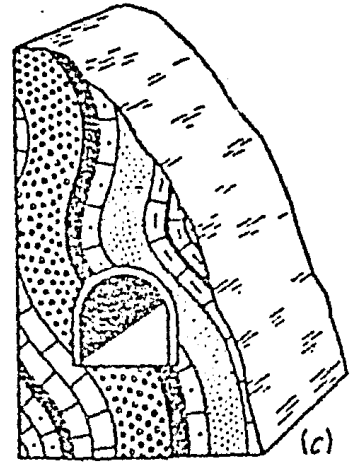
Si el eje del túnel es llevado perpendicularmente al rumbo de rocas que tienen un echado fuerte (ver figura 10.5.b.)-



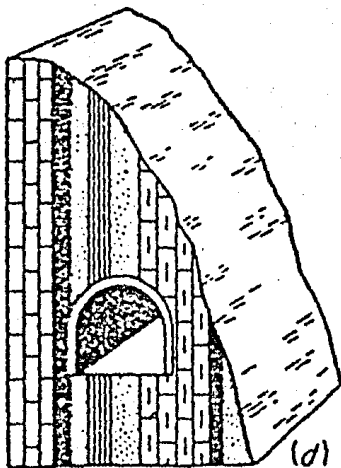
(a)



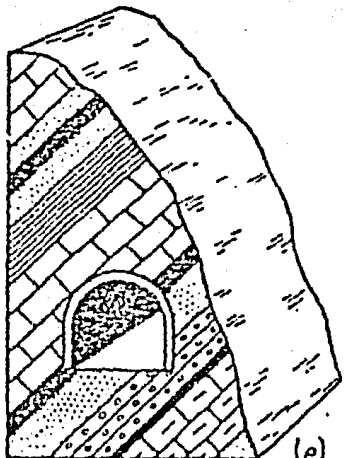
(b)



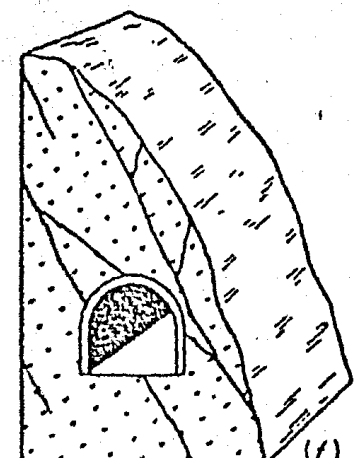
(c)



(d)



(e)



(f)

(De Krynine, 1957).

Fig. 10.5 Ejemplos de localizaciones de túneles :
Adecuadas: a, d y e.
Inadecuadas: b y f.

se irán encontrando varios contactos de rocas con diferentes propiedades, lo cual puede ocasionar problemas de permeabilidad o de estabilidad. Por esto es conveniente, si las condiciones del proyecto lo permiten, llevar el túnel paralelo al rumbo de una sola formación con propiedades adecuadas (Fig. 10.5.a).

Si los estratos son verticales y se construye un túnel perpendicular al rumbo, cada estrato puede actuar como una viga dando mayor estabilidad (Fig. 10.5.c); la desventaja es que puede filtrarse mucha agua o bien por su posición la efectividad de los explosivos es menor.

En el caso de que el túnel sea paralelo al rumbo de los estratos verticales (Fig. 10.5.d) estos pueden separarse en bloques, deslizándose sobre todo en los portales de entrada y de salida.

10.2.3. Anticlinales y Sinclinales

Los anticlinales presentan condiciones más favorables para ubicar un túnel, en primer lugar porque la presión que existe en el centro de éste es menor que en un sinclinal y en segundo porque si la formación es permeable, en un anticlinal el agua tiende a escurrir, mientras que en los sinclinales se acumula en el centro. Sin embargo hay que tener en cuenta que en los anticlinales los estratos superiores se encuentran más deformados debido al plegamiento y por tanto están más fisurados que los estratos inferiores de la estructura, por lo que es aconsejable tratar de situar el túnel a una profundidad a la cual el fracturamiento no tenga consecuencias.

10.2.4. Filtraciones

Al construirse un túnel pueden variarse las condiciones hidrológicas del sitio, por lo cual se tratará de conocer la-

posición del nivel freático del agua dentro del macizo rocoso.

Es lógico pensar que si el túnel está abierto en rocas permeables y se encuentra por debajo del nivel freático, la presencia de agua dentro del túnel será un hecho y la cantidad de agua será mayor cuando más grande sea la permeabilidad.

La presencia de agua dentro del túnel ocasiona problemas en los trabajos de construcción, pudiendo penetrar de diferentes modos, ya sea goteando, como corriente continua a través de las paredes de la perforación o bien a gran presión si esta confinada.

Las zonas de falla, dependiendo de sus características, relleno arcilloso o roca fracturada, se pueden comportar o bien como un umbral impermeable que impida el paso del agua o como un buen acuífero. Es en estos lugares donde a menudo se llegan a presentar grandes volúmenes de agua, inclusive con la presencia de agua a presión.

Las discordancias o el contacto con rocas impermeables son también puntos con grandes posibilidades de presentar agua.

Rocas como las calizas (sobre todo con presencia de cavidades de disolución), dolomías, yesos y rocas volcánicas como los basaltos escoriáceos o fracturados, siempre tienen una elevada permeabilidad.

El geólogo debe vigilar que las aguas no contengan sales sulfúricas (yesos, anhídrita, etc.) o alguna otra sustancia que reaccione con los álcalis del cemento.

10.2.5. Naturaleza de la roca o suelo, en los portales de entrada o de salida.

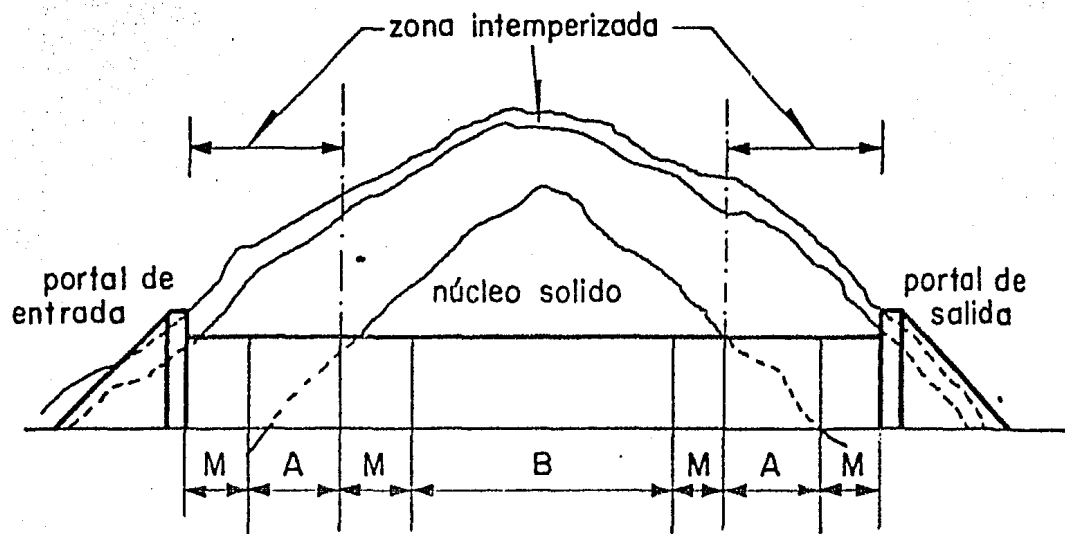
Es por lo regular en estos lugares, donde para poder encapsillar la obra, es necesario, remover un gran volumen de materiales, sobre todo cuando estos portales corresponden a sitios con rocas de fácil alteración (ver figura 10.6), zonas de falla, estratificadas con una posición no favorable al eje del túnel o con movimiento en masa del suelo ("creep", solifluxion, etc.).

Es conveniente para localizar estos portales, que la selección se haga tratando de evitar estos accidentes. Cuando por necesidades del proyecto los portales de entrada y salida, quedan ubicados en zonas muy defectuosas, es necesario delimitar estas zonas, a fin de evaluar la remoción de materiales en el corte que va a realizarse y tomar las debidas precauciones al hacer las voladuras, tratando de evitar accidentes --- (Ruiz Vázquez, inéd.)

10.2.6. Rocas sometidas a esfuerzos. (Bufamientos y reventones).

En el caso de túneles profundos y en terrenos donde existen rocas de naturaleza arcillosa, como: tobas, lutitas, esquistos micáceos y pizarras, llegan a presentarse deformaciones poco tiempo o inmediatamente después de abierta la obra, deformaciones que tienen relación con la liberación de presiones del macizo rocoso. Estos bufamientos o deformaciones hacia el interior de la obra son notables sobre todo, cuando las rocas arcillosas tienen entre sus componentes, minerales bentoníticos y estos minerales se ponen en contacto con agua o humedad proveniente de la misma formación rocosa. A veces estos materiales corresponden con sitios muy localizados como en el caso de zonas de fallas, donde aunado al bufamiento de los materiales se presenta un volumen considerable de agua.

La anhídrita, también en presencia de agua se transforma en yeso, con un aumento de volumen de hasta el 20% generando-



A Condiciones de alta presión
M Condiciones de presión media
B Condiciones de baja presión.

(De Rosas, 1978).

Fig. 10.6 Extensión de la zona intemperizada en los portales de entrada y de salida de un túnel.

presiones sobre el ademe o revestimiento definitivo produciendo su destrucción.

El caso de los reventones ocurre también en túneles profundos con una profundidad mayor de 150m cuando se trata de rocas duras, quebradizas, de grano fino como el granito, diabasa, etc.

Estos reventones suelen presentarse en las paredes del túnel en forma violenta acarreado algunas veces un volumen considerable de roca.

10.2.7. Altas temperaturas y Gases.

El trabajo en túneles profundos puede entorpecerse por las altas temperaturas, que dependen en gran parte del gradiente geotérmico, el cual es en promedio de 1°C. por cada 30 a 35m, aunque puede ser modificada por la acción o proximidad de cuerpos intrusivos cercanos, por acción volcánica reciente o bien de acuerdo con Krynine (1957) "La presencia de rocas fisuradas o muy porosas aumenta el valor del gradiente".

Los datos mas sugerentes de la existencia de agua con alta temperatura en una obra subterránea es la existencia de manantiales termales o de vapores de agua. Cuando en un área se estan realizando exploraciones por medio de perforaciones, es aconsejable que se hagan determinaciones de temperatura, particularmente si se presume que pudieran existir temperaturas altas.

Algunas veces la elevación de la temperatura está asociada con la presencia de gases que pueden ser venenosos; los que son comunes en regiones de actividad volcánica.

Lutitas carbonosas o capas de carbón pueden originar la producción de metano, gas que aunque no es tóxico es explosivo e

inflamable.

Entre los gases que se pueden considerar tóxicos se encuentra el dióxido de carbono que en cantidades de 15 a 20% llega a ser mortal. Este gas se encuentra en regiones de actividades volcánica reciente aunque también es el producto de la oxidación de materiales carbonosos.

10.3. Exploración de túneles.

De acuerdo con Szechy (1973, pág. 57) los propósitos de una exploración geológica, con objeto de construir un túnel, son los siguientes:

- Determinación del origen y las condiciones actuales de las rocas.
- Colección de datos hidrológicos o información de gases subterráneos y temperaturas a profundidad.
- Determinación de propiedades físicas, mecánicas y de esfuerzos de las rocas a lo largo de la línea propuesta.
- Determinación anticipada de los rasgos geológicos que puedan afectar la magnitud de los esfuerzos en la roca, a lo largo de la localización propuesta.

En la tabla 10.1 se indican los métodos de exploración más recomendables de acuerdo a las diferentes etapas de investigación que se realizan durante la constitución de un túnel.

Es importante recalcar que la secuencia de ejecución de dichos métodos de exploración, debe ser cuidadosamente planeada (ver capítulo 2), para aprovechar al máximo la información obtenida, evitando duplicación de trabajo.

ETAPAS DE INVESTIGACION	M E T O D O S D E E X P L O R A C I O N						
	D I R E C T O S				I N D I R E C T O S		
	LEVANTAMIENTO GEOLOGICO	POZOS A CIELO ABIERTO Y TRINCHERAS	TUNELES Y SOCAVONES	PERFORACIONES	FOTOGEOLOGIA	METODOS GEOELECTRICOS	METODOS GEOSISMICO
- Selección del eje del túnel, reconocimiento preliminar	X				X		
- Exploración Detallada	X	X	X	X		X	X
- Construcción del túnel	X		X	X		X	X
- Operación de la obra	X			X		X	X

NOTA: La X significa que es un método adecuado para la etapa de investigación marcada.

TABLA 10.1 METODOS DE EXPLORACION PARA TUNELES.

11.- Excavaciones a Cielo Abierto

11.1 Generalidades.

Existen diferentes tipos de excavaciones a cielo abierto llamadas comúnmente "TAJOS", (en el caso de las minas y de acuerdo al uso que se les de); entre estos usos se tienen principalmente los que se mencionan a continuación:

- Explotación de yacimientos minerales metálicos: cobre (tajos de Cananea y la Caridad en Sonora), fierro (tajos de Truchas, Mich. Píhuamo, Col. etc.), uranio (Las Margaritas, Chih.), Plata (Real de Angeles, Zac.); no metálicos: carbón, bentonita, barita.
- Explotación de canteras para la obtención de materiales de construcción (enrocamiento, gravas, rocas para pisos y fachadas, etc.). Se incluyen también los bancos de caliza y arcilla para la fabricación de cemento.
- La apertura de cortes y túneles falsos en carreteras y vías férreas para disminuir distancias, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero.
- En la construcción de canales para la conducción de agua y de zanjas para alojar combustoleoductos.

Tal vez uno de los aspectos más importantes que se debe considerar al hacer una excavación a cielo abierto es aquel relativo a su estabilidad.

Por esta razón las investigaciones tendientes a conocer las condiciones de estabilidad de taludes, en este tipo de , son de la mayor importancia.

Se considera que los estudios de estabilidad deben ser --

11.- Excavaciones a Cielo Abierto

11.1 Generalidades.

Existen diferentes tipos de excavaciones a cielo abierto llamadas comúnmente "TAJOS", (en el caso de las minas y de acuerdo al uso que se les de); entre estos usos se tienen principalmente los que se mencionan a continuación:

- Explotación de yacimientos minerales metálicos: cobre (tajos de Cananea y la Caridad en Sonora), fierro (tajos de Truchas, Mich. Píhuamo, Col. etc.), uranio (Las Margaritas, Chih.), Plata (Real de Angeles, Zac.); no metálicos: carbón, bentonita, barita.
- Explotación de canteras para la obtención de materiales de construcción (enrocamiento, gravas, rocas para pisos y fachadas, etc.). Se incluyen también los bancos de caliza y arcilla para la fabricación de cemento.
- La apertura de cortes y túneles falsos en carreteras y vías férreas para disminuir distancias, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero.
- En la construcción de canales para la conducción de agua y de zanjas para alojar combustoleoductos.

Tal vez uno de los aspectos más importantes que se debe considerar al hacer una excavación a cielo abierto es aquel relativo a su estabilidad.

Por esta razón las investigaciones tendientes a conocer las condiciones de estabilidad de taludes, en este tipo de obras, son de la mayor importancia.

Se considera que los estudios de estabilidad deben ser

efectuados por un geólogo con experiencia en geotecnia ya que las condiciones geológicas son las que en general rigen el comportamiento mecánico de un talud.

Otro factor importante que hay que tomar en cuenta es el conocer si la excavación se realizará en suelo o bien en roca porque el comportamiento mecánico cambia de acuerdo al material presente, además de que los métodos de excavación también serán diferentes.

11.2 Problemas geotécnicos

11.2.1 Estabilidad de Taludes

Como se mencionó anteriormente, el estudio de la estabilidad de un talud es muy importante en el diseño de excavaciones a cielo abierto.

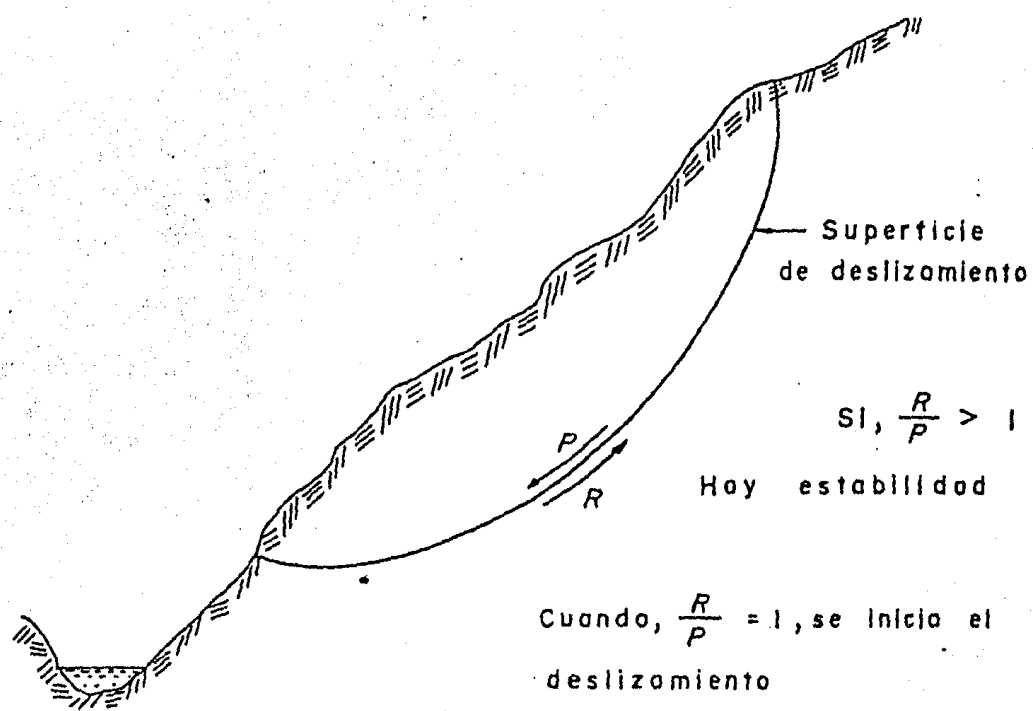
De acuerdo al material que se tenga en el sitio de construcción, se hará uso de la mecánica de suelos o de la mecánica de rocas para efectuar los estudios relativos a estabilidad.

El objetivo principal de dichos estudios es el de localizar y prevenir el movimiento en masa del terreno en la zona de excavación. Dentro de estos movimientos en masa se tienen a los deslizamientos, la reptación y a la soliflucción, según el profesor K. Terzaghi (1950, pág. 84)*. "El término deslizamiento se refiere al desplazamiento rápido de una masa de roca, suelo residual o sedimentos en una ladera, en la cual el centro de gravedad de la masa en movimiento avanza en una dirección hacia abajo y hacia afuera" (ver fig. 11.1).

"Un movimiento similar que tiene lugar de una manera imperceptible, pero involucrando grandes volúmenes de material se llama reptación o arrastre (creep)", (Ver fig. 11.2).

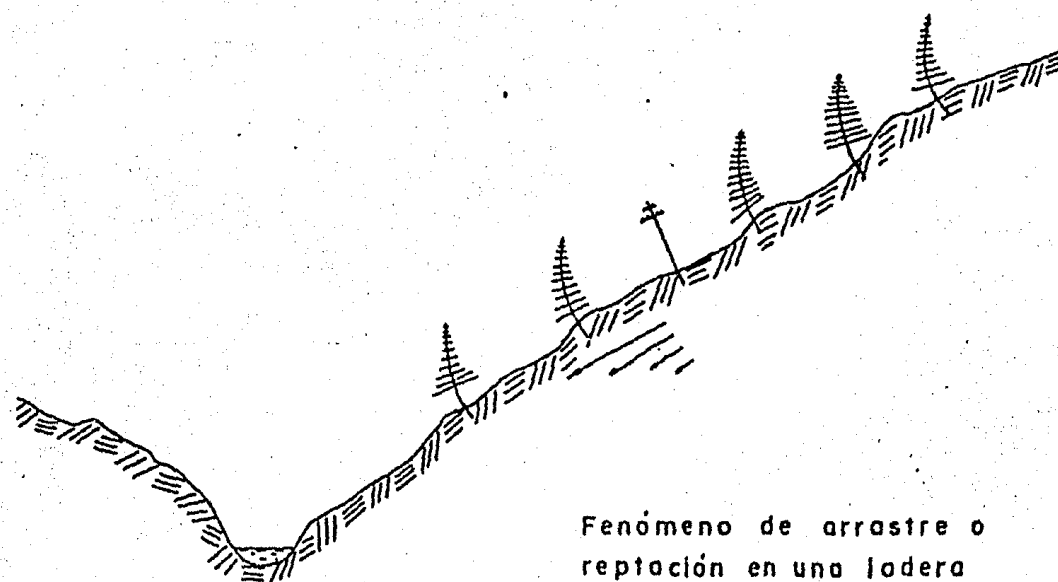
Un movimiento en la ladera que se presenta también de una manera imperceptible pero limitada a la costra superficial de suelo se llama soliflucción.

*Mechanism of Landslides, The Geological Society of America, Engineering Geology (Berkey) Volume.



(Puig, 1970)

Fig. 11.1 Esquema de un deslizamiento



(Puig, 1970)

Fig. 11.2 Esquema de un movimiento de reptación

Según C.F. Stewart Sharpe en su trabajo "Landslides and related phenomena" publicado por Pageant Books, Inc. en 1960, existen diversas condiciones, pasivas o activas que intervienen en un movimiento en masa.

Condiciones básicas o pasivas que favorecen un movimiento en masa del terreno:

- A. Litológicas
- B. Estratigráficas
- C. Estructurales
- D. Topográficas
- E. Orgánicas

Causas activas o iniciadoras de un movimiento en masa del terreno:

- A. Remoción del soporte
- B. Sobrecarga
- C. Reducción de la fricción
- D. Reducción de la cohesión
- E. Vibraciones del terreno
- F. Acción de cuña o palanqueo
- G. Producción de pendientes fuertes
- H. Deformaciones generales de la corteza terrestre por causas naturales.

Condiciones Básicas o Pasivas que Favorecen un Deslizamiento:

A. Litológicas

Presencia de formaciones suaves tales como rocas descompuestas hidratadas, cloríticas, micáceas, serpentínicas o talcosas, lutitas, sedimentos pobremente cementados, tobas y bentonita; materiales no consolidados incluyendo arenas, limos y gravas; y especialmente cualquier material arcillo

so que pueda actuar como lubricante o fluir bajo presión.

B. Estratigráficas

Presencia de una o más capas masivas descansando sobre capas suaves; presencia de una o más capas permeables; alternancia de capas competentes e incompetentes, especialmente si algunas son arcillosas.

C. Estructurales

- 1) Echados muy inclinados o moderados de: a) estratos, foliación o cruçeros; b) planos de juntas; c) planos de fallas.
- 2) Roca fuertemente fracturada o cizallada debido a: Trituración, afallamiento, plegamiento, impacto de sismo, enfriamiento o desecación.
- 3) Esfuerzos por deformación interna causada por erosión rápida, excavaciones a cielo abierto o excavaciones subterráneas.
- 4) Lentes, bolsas o cuñas de arena u otros materiales porosos no drenados.

D. Topográficas

Acantilados o pendientes fuertes causadas por:

- 1) Erosión por corrientes, glaciares, viento y olas
- 2) Afallamiento de bloques
- 3) Afallamiento y plegamiento combinados
- 4) Acantilamiento por medios artificiales

E. Orgánicas

Pérdida de suelo al perder este su cubierta vegetal como resultado de clima caliente o seco, desforestación, cultivos o incendios.

Causas Activas o Iniciadoras

A. Remoción del soporte debido a:

1. Agentes naturales

- a) Socavación por corrientes de agua, glaciares, viento, - oleaje.
- b) Flujo de capas subyacentes de arcilla plástica o arena.
- c) Disminución del volumen de la capa subyacente de mate-- rial fino suelto como resultado de esfuerzos (licua---- ción).
- d) Flujo de lava*
- e) Fusión de la nieve de glaciares, frente acantilados
- f) Reblandecimiento del terreno por absorción de agua a lo largo de un curso de agua, lago o embalse por elevación del nivel de agua y falla del terreno saturado cuando - el nivel desciende.
- g) Ignición de capas de carbón o lignito en la base del -- talud.
- h) Solución de rocas solubles como sal, caliza, yeso u o-- tras..
- i) Alteración química (intemperismo) de los materiales sub yacentes.

2. Agentes humanos

Aumento de la pendiente por socavación, excavación, explo-- tación de canteras, mineo, cortes para obras civiles (ci-- mentaciones, carreteras, canales, etc.).

B. Sobrecarga debida a:

1. Agentes naturales

- a) Caídos de roca u otros deslizamientos, avalanchas de -- nieve.
- b) Saturación por agua de lluvia, nieve, granizo, manantia

les, arroyos, etc.

2. Agentes humanos

- a) Volteo de material de rezaga de minas, canteras, excavaciones, etc.
- b) Colocación de rellenos o terraplenes para carreteras, ferrocarriles, cimentaciones.

C. Reducción de la fricción por:

1. Agentes naturales

a) Lubricación del plano de deslizamiento por:

- 1) Agua de lluvia, nieve, granizo, manantiales, emanaciones volcánicas que penetran al terreno en cantidades o volúmenes anormales.

- Precipitación intensa o inundaciones.

- Remoción de la cubierta vegetal por incendios, deslizamientos previos o flujos de lodo.

- Grietas en la superficie del terreno causadas por desecación, enfriamiento, temblores, etc.

- Cambios en el drenaje con desarrollo de nuevos canales o bloqueo de los antiguos.

2. Agua subterránea

a) En cantidades anormales como resultado de bloqueo de flujos por deslizamientos, depósitos de talud, etc.

b) Sobresaturación de las capas de material fino suelto debido a la disminución de vacíos.

3. Filtraciones de aceite

4. Alteración química produciendo material untoso o plástico.

b) Reblandecimiento de una masa de roca no consolidada o

suave por percolación de agua.

2. Agentes humanos.

- a) Lubricación del plano de deslizamiento como resultado de:
- 1) Interrupción de drenaje de un área por colocación de relleno, material de rezaga o conformación del terreno elevando el nivel freático.
 - 2) Filtraciones de embalses, acueductos, canales, etc.
 - 3) Remoción de la vegetación por incendio o desforestación.
- b) Reblandecimiento de una masa de roca no consolidada o suave por percolación de agua, como se indica en los puntos (1), (2), (3).

D. Reducción de la Cohesión por:

Desecación y disturbios en las capas de arcilla

E. Vibraciones de la tierra causadas por:

1. Agentes Naturales

- a) Temblores resultantes de: afallamiento, actividad volcánica, deslizamientos, colapso de cavernas.
- b) Vibraciones menores debidas a: Tránsito de animales, tormentas eléctricas.

2. Agentes humanos

Perforaciones, explosiones, cañonazos, paso de vehículos pesados.

F. Acción de cuña y palanqueo debido a:

1. Agentes naturales

- a) Expansión por la congelación de agua en fisuras
- b) Presión hidrostática del agua en las juntas después de una lluvia fuerte
- e) Expansión causada por elevación de temperatura
- d) Expansión causada por formación de compuestos de mayor-

volumen por hidratación, oxidación, carbonatación, etc.

- e) Crecimiento de las raíces de los árboles en las fisuras
- f) Balanceo de los árboles por el viento.
- g) Hinchamiento de coloides por absorción de agua.
- h) Expansión resultante de una disminución de presión.

2. Agentes Humanos

- a) Adición de agua con los resultados de a, b, d, g.
- b) Palanqueo deliberado con la mano, cuñas o explosivos

G. Producción o formación de escarpes sobrecargados, por:

- 1) Afollamiento natural
- 2) Plegamiento natural
- 3) Colocación de relleno o material de rezaga en ángulos--
o inclinaciones mayores que el ángulo usual de reposo.

H. Deformaciones generales de la Tierra por agentes naturales:

- 1) Variaciones de temperatura y presión atmosférica.
- 2) Efectos de mareas.

11.2.2. Condiciones de excavación.

a) Tajos en roca: El método de excavación en un corte de-- penderá de la resistencia al esfuerzo cortante de la roca. Se -- usan explosivos en rocas duras, tales como granitos o rocas sedi-- mentarias fuertemente cementadas. En rocas muy fracturadas o con muchas fisuras, puede necesitarse muy poca cantidad de explosi-- vos (en el caso de que sea necesaria alguna). Las pizarras muy -- alteradas y otros materiales con baja resistencia al esfuerzo -- cortante en estado natural pueden desmenuzarse con una rompedora o bulldozer para ser transportados posteriormente.

La altura crítica (es decir, la máxima posible en un tajo) es aproximadamente, y en algunos casos exactamente, proporcional a su resistencia al corte. Las rocas que precisan métodos --

más severos para romperse, generalmente pueden quedar con pendientes más fuertes que aquellas para rocas más débiles.

En granitos no fisurados y en basaltos pueden proyectarse frentes prácticamente verticales. En pizarras y areniscas duras, generalmente son seguras las pendientes de 0.5:1 y --- 0.25:1. Sin embargo es necesario tomar en consideración la posición que guardan las rocas estratificadas en relación con la excavación y la dirección e intensidad de los sistemas de fallas, juntas o fracturas. Las observaciones sobre pendientes naturales en carreteras viejas o en cortes de carreteras a veces son provechosas para la elección de pendientes de excavación.

Los desniveles altos de roca deben subdividirse en secciones que gradualmente se allanan hacia la cima. Las secciones están separadas unas de otras por bancadas (bermas), que pueden ser prácticamente horizontales en la dirección perpendicular al eje del corte, pero deben tener declives longitudinales para evitar la acumulación de agua. El objetivo de estas bermas es triple: 1) disminuir la carga de roca que actúa sobre la parte más baja del declive; 2) evitar que el agua de la cima del corte y de las partes del declive baje hasta el suelo, y 3) evitar que los fragmentos de rocas y derrubios caigan en el suelo. El ancho de la berma depende de la profundidad del tajo, del tipo de la roca y de la topografía existente por encima del punto más alto del tajo. Ejemplo: en el caso de un tajo de 12 m de alto en pizarra ligeramente alterada, puede bastar una berma de 1.0 a 1.25 m de ancho.

b) Tajos en suelos: Las relaciones de pendiente más comunes en suelos cohesivos son 1:1, 1.25:1; 1.5:1 y 2:1, aunque se usan otras divisibles entre 0.25.

La estabilidad de la pendiente en los tajos se determina partiendo del escarpe del muro si se conocen la altura de es-

te y la resistencia al corte del material. En cortes bajos, no superiores a 7-9 m., la pendiente final del talud se determina comparando la pendiente proyectada con las ya existentes - que descansan sobre materiales similares. Para tajos más altos la estabilidad se determina basándose en los ensayos del laboratorio de mecánica de suelos y en los diversos métodos - de análisis de estabilidad ; además del análisis matemático, deberá hacerse una cuidadosa evaluación geotécnica del sitio. El objetivo principal de la investigación es determinar la variabilidad de la resistencia al corte del material en los diferentes puntos de la excavación. Las arcillas fisuradas y las expansivas son particularmente - críticas.

11.2.3. Movimiento de Tierras.

Según Krynine y Judd, pág. 677, el "movimiento o remoción de tierras es la extracción de materiales de la tierra y su - utilización en la construcción de presas de tierra, carreteras vías férreas y terraplenes para sostener edificios".

En efecto, un buen número de obras de Ingeniería Civil, - incluye como parte muy importante de la obra misma, la operación de "movimiento de tierras". Esta operación es sobre todo notable en la apertura de una vía terrestre (carretera o vía férrea), en la construcción de un canal, en la preparación de la zona de desplante de una gran estructura como puede ser la construcción de una cortina para una presa de almacenamiento, en la construcción de un aeropuerto, e inclusive de un puerto marítimo interior, en la explotación a cielo abierto de un yacimiento de minerales metálicos o no metálicos como pueden -- ser: cobre, hierro, uranio, carbón, caolín, bentonita, etc.

Cada una de las obras que se acaban de mencionar requiere necesariamente, antes de la construcción, para llevar a buen termino la construcción misma y tener el mínimo de errores, de

un estudio geotécnico y de este estudio la operación de "movimiento de tierras" necesita del conocimiento preciso de los materiales que se van a mover, llámense suelos, rocas blandas, etc

La selección del equipo que utilizará el ingeniero en el movimiento de tierras, se hará en gran parte tomando como base la información relativa a los distintos tipos de materiales -- que se van a manejar, aprovechables o no aprovechables, y desde luego a otras consideraciones no geológicas como pueden ser el volumen, distancia, etc.

El equipo, llamado por lo general equipo pesado, esta representado por: tractores provistos de cuchilla y desgarradores, retroexcavadoras, palas, cargadores frontales, dragas, moto escrepas y desde luego camiones de gran capacidad de carga (80 toneladas).

De acuerdo con P. Antoine y D. Fabre (pág. 177), un estudio geotécnico preliminar o detallado para fines de movimiento de tierras, debe llevar a contestar, entre otras, las siguientes interrogantes:

- ¿Qué materiales se van a trabajar?
- ¿Cuál es el modo de extracción que hay que escoger?
- ¿Cuáles son las posibilidades de utilización del material extraído?
- ¿Qué volumen del material no es utilizable?
- ¿Se encontrará el manto freático durante los trabajos de excavación?
- ¿Cuál será la estabilidad del talud después de la excavación?

A continuación se hará primeramente una clasificación de los materiales, enseguida se mencionarán los métodos de exploración que nos lleven al conocimiento de estos materiales.

Clasificación de los materiales

Según su naturaleza los materiales se pueden clasificar -

en tres grandes grupos y los procedimientos de excavación para cada grupo requieren de técnicas muy diferentes:

- 1) Terrenos suaves
- 2) Terrenos mixtos
- 3) Terrenos rocosos

1) Terrenos suaves

Corresponden a este grupo los materiales poco cohesivos o sin cohesión representados por suelos residuales o transportados cuyo origen puede ser : aluvial, lacustre, aluvio-lacustre, eólico marino, piroclástico y también aquellos materiales que estuvieron sujetos a un proceso de alteración hidrotermal.

Caen en este grupo materiales tales como: suelos residuales - producto de la alteración total de rocas preexistentes con características de arena, limo o arcilla, etc.

Además materiales representativos de depósitos: aluviales, - aluvio-lacustres y lacustres recientes, glaciales, volcánicos, eólicos y marinos. constituidos por:

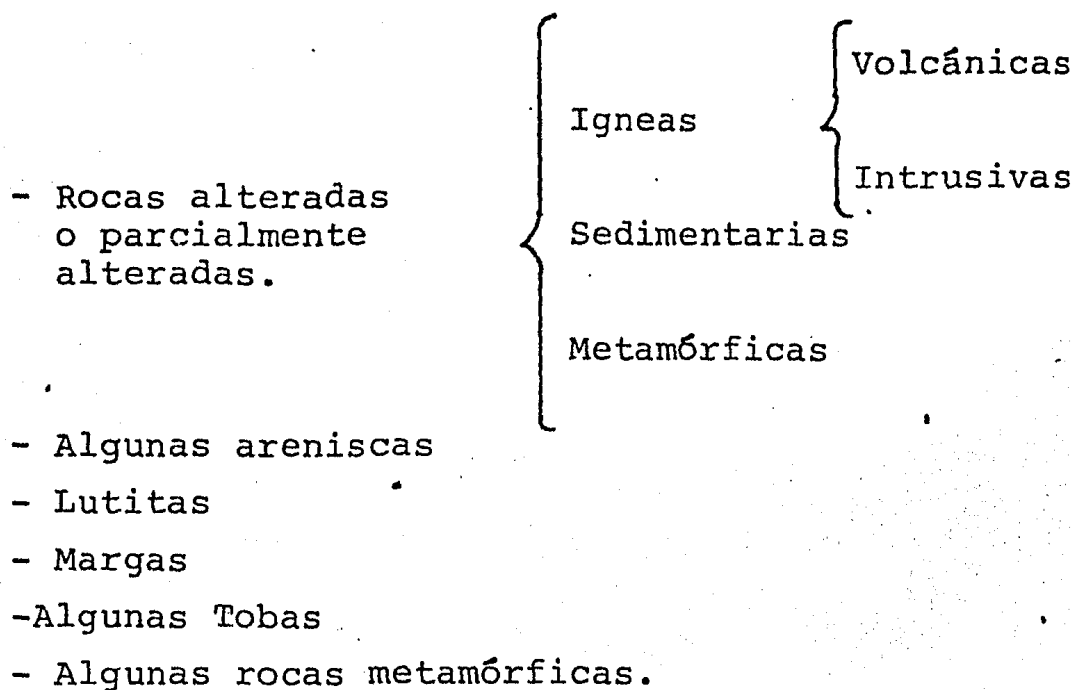
- boleos
- gravas
- arenas
- arcillas y limos
- lapilli
- cenizas.

Materiales, todos ellos fácilmente trabajables que no necesitan del uso del desgarrador o de los explosivos.

2) Terrenos mixtos

A este grupo están asociados los materiales antes mencionados, rocas parcialmente alteradas y materiales granulares cohesivos con cementantes calcáreos, arcillo-calcáreos, y arcillosos.

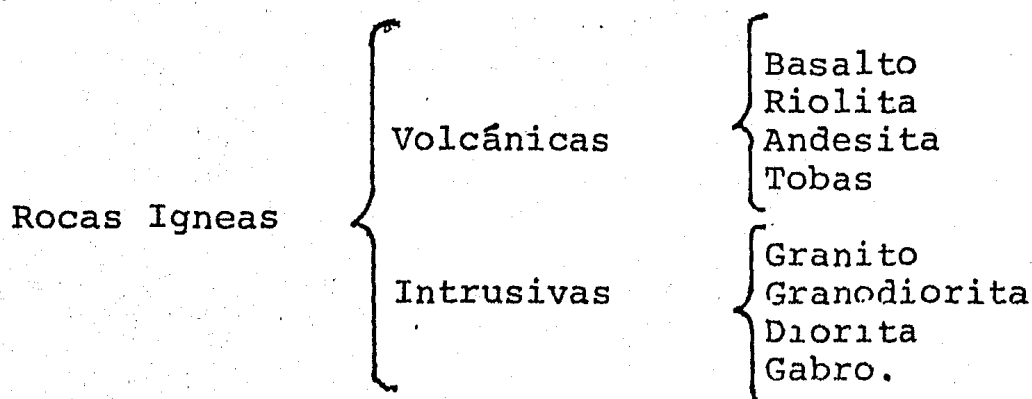
Dentro de este grupo caen los siguientes materiales:



Estos materiales no necesitan del uso de explosivos pero si del desgarrador, del buldozer y la escrepa.

3) Terrenos rocosos

Este grupo incluye todas las rocas sanas sean estas ígneas (extrusivas o intrusivas), sedimentarias y metamórficas.



Rocas Sedimentarias: Caliza, marga, arenisca, conglomerado, etc.

Rocas Metamórficas: Mármol, cuarcita, gneiss, esquisto, etc.

Según el grado de fracturamiento y alteración estos materiales eventualmente pueden ser explotados utilizando el -- desgarrador y la cuchilla, por lo general la roca masiva solo puede ser explotada utilizando explosivos.

11.3 Exploración

Para llegar a conocer los distintos tipos de materiales con los cuales se va a trabajar al hacer una excavación a cielo abierto, se deberá realizar primeramente un reconocimiento preliminar seguido de un estudio detallado.

Reconocimiento Preliminar

Por reconocimiento preliminar se debe entender una inspección general del terreno que requiere de un corto tiempo y un mínimo de erogaciones pero que permite definir las unidades litológicas existentes y sus características estructurales.

Por otra parte este reconocimiento preliminar proporcionará la información para elaborar un programa para un estudio detallado.

Estudio detallado

Este estudio nos debe llevar a obtener una carta geotécnica a una escala que va desde 1:100 a 1:1000, que nos permita conocer:

- La distribución de las distintas formaciones existentes.
- Su granulometría y características físicas.
- El espesor de los materiales reconocidos y sus variaciones.
- El patrón de fracturamiento del macizo rocoso en el caso de los materiales del 2º y 3er grupo.
- Todo lo relativo a la presencia y comportamiento del agua subterránea.

En la tabla 11.1 se resumen los métodos de exploración más utilizados para investigar una excavación a cielo abierto.

ETAPAS DE INVESTIGACION	M E T O D O S D E E X P L O R A C I O N					
	D I R E C T O S			I N D I R E C T O S		
	LEVANTAMIENTO GEOLOGICO	POZOS A CIELO ABIERTO Y TRINCHERAS.	PERFORACIONES	FOTOGEOLOGIA	METODOS ELECTRICOS.	METODOS SISMICOS
-SELECCION DEL SITIO Y RECONOCIMIENTO - PRELIMINAR.	X			X		
-EXPLORACION DETALLADA DEL SITIO	X	X	X		X	X
-CONSTRUCCION Y OPERACION DE LA EXCAVACION	X	X	X		X	X

TABLA 11.1 METODOS DE EXPLORACION UTILIZABLES EN EXCAVACIONES A CIELO ABIERTO.

Nota: La X significa que es un método de exploración adecuado para la etapa de investigación marcada.

12. VIAS TERRESTRES

12.1 Generalidades

Las vías terrestres como otras obras de ingeniería, forman parte de la infraestructura necesaria para el progreso de todos los países, especialmente en aquellos que como México, por su gran extensión deben comunicar puntos muy distantes.

El trazo y especificaciones de una carretera están condicionados, además de la topografía y geología, por razones sociales y económicas ya que en general las vías terrestres son importantes para promover el desarrollo de las comunidades.

El servicio que prestan las vías terrestres a una región es de tal importancia, que los estudios para su localización, construcción y conservación deben ser cuidadosamente programados y ejecutados ya que de sus resultados va a depender el funcionamiento y la vida misma de la obra (Puig, J.B., 1970 pág. 290). Las especificaciones generales de la obra y los puntos obligados a que deberá sujetarse la construcción, se determinan con base en el tránsito probable y como ya se mencionó antes, en las características morfológicas y geológicas del terreno y en las condiciones socioeconómicas de la zona (Puig, J. B. op. cit.).

"Una de las obras de ingeniería que más necesita de la información geológica, desde su planeación hasta su conservación es la vía de comunicación terrestre", en efecto "los estudios geológicos son una labor altamente provechosa para bajar costos de construcción y de conservación, así como para mejorar notablemente la calidad técnica de los trabajos en las fases de planeación y proyecto. Por experiencia se sabe que el ingeniero civil o el constructor que no cuentan con la información geológica en su trabajo profesional, incurren frecuentemente -

en serios y costosos errores". (Puig, J.B. op. cit. pág. 290).

Existen varios tipos de vías cuya construcción depende de las especificaciones técnicas de funcionamiento, siendo cada una de ellas propia de una determinada condición. Tales condiciones que deben ser consideradas al localizar una vía terrestre son las siguientes:

- Condiciones geológicas
- Condiciones topográficas
- Necesidades económicas y sociales
- Características de tránsito probable

12.1.1. Partes de una carretera

Existen varios tipos de caminos que van desde terracerías hasta autopistas, los cuales tienen diferentes características tanto de materiales para su construcción como del procedimiento constructivo empleado. Obviamente la elección de un tipo de camino se verá muy influenciada por razones de tipo económico.

La construcción de una vía terrestre requiere de diferentes materiales para cada capa que la constituye, en la figura 12.1 se anotan las características de utilización de los suelos como materiales de construcción según el sistema SUCS*.

Las secciones transversales más comunes de carreteras se muestran en la fig. 12.2, incluyendo una sección transversal típica (donde se incluyen todas las capas que las componen).

A continuación se hará una descripción de las partes que constituyen una carretera:

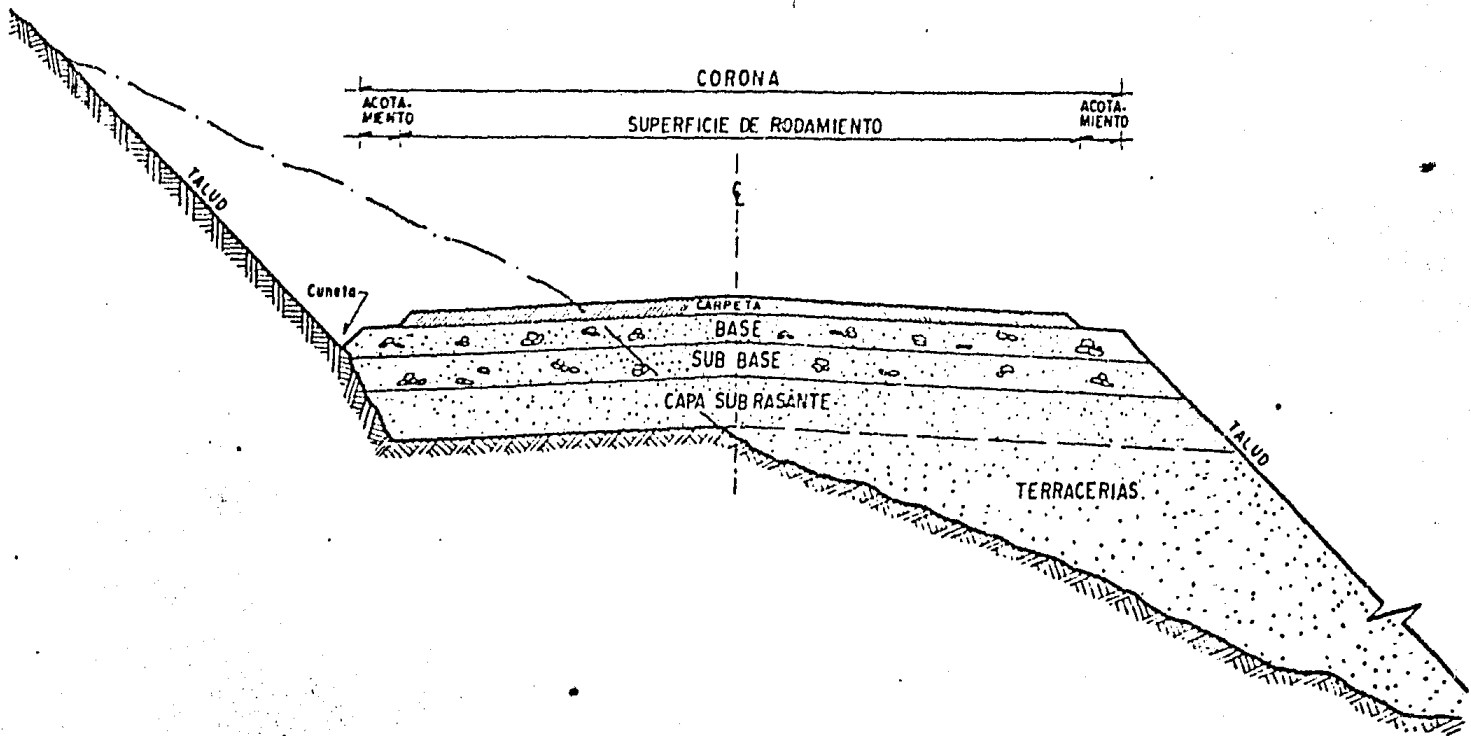
-Terraplén: Es la estructura construida sobre el terreno-producto de un corte o préstamo y que incluye las siguientes capas: carpeta, base y sub-base, que constituyen el pavimento,

*NOTA: SUCS= Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Símbolo	Características de compatibilidad	Peso volumétrico seco máx. teórico (Proctor estándar) (ton/m ³)	Consistencia y expansión	Permeabilidad y características de drenaje	Características como material de terraplen	Características como sub-base	Características como base	Características como pavimento funcional	
								Ejecución ligera	Ejecución asfáltica
GW	Buenas. Rodillos lisos vibratorios, rodillo neumático. Respuesta perceptible al banco con tractor.	1.9 a 2.1	Prácticamente nula	Permeable. Muy buenas	Muy estable	Excelente	Muy buena	Regular a mala	Excelente
GP	Buenas. Rodillos lisos vibratorios, rodillo neumático. Respuesta perceptible al banco con tractor.	1.8 a 2.0	Prácticamente nula	Permeable. Muy buenas	Estable	Buena a excelente	Regular	Pobre	Regular
GM	Buenas. Rodillos neumáticos o patas de cabra ligeras.	1.9 a 2.2	Ligera	Semipermeable. Drenaje pobre.	Estable	Buena a excelente	Regular a mala	Pobre	Regular a pobre
GC	Buenas o regulares. Rodillos neumáticos o patas de cabra.	1.8 a 2.1	Ligera	Impermeable. Mal drenaje	Estable	Buena	Regular a buena	Excelente	Excelente
SW	Buenas. Rodillos neumáticos o vibratorios.	1.7 a 2.0	Prácticamente nula	Permeable. Buen drenaje	Muy estable	Buena	Regular a mala	Regular a mala	Buena
SP	Buenas. Rodillos neumáticos o vibratorios.	1.8 a 1.9	Prácticamente nula	Permeable. Buen drenaje	Razonablemente estable en estado compacto.	Regular a buena	Mala	Mala	Regular a mala
SM	Buenas. Rodillos neumáticos o patas de cabra.	1.7 a 2.0	Ligera	Impermeable. Mal drenaje	Razonablemente estable en estado compacto.	Regular a buena	Mala	Mala	Regular a mala
SC	Buenas o regulares. Rodillos neumáticos o patas de cabra.	1.6 a 2.0	Ligera a media	Impermeable. Mal drenaje	Razonablemente estable	Regular a buena	Regular a mala	Excelente	Excelente
ML	Buenas a malas. Rodillos neumáticos o patas de cabra.	1.3 a 1.9	Ligera a media	Impermeable. Mal drenaje	Mala estabilidad si no está muy compacto.	Regular a mala	No debe usarse	Mala	Mala
CL	Regulares a buenas. Rodillos patas de cabra o neumáticos.	1.3 a 1.9	Media	Impermeable. No drenaje	Buena	Regular a mala	No debe usarse	Mala	Mala
OL	Regulares a malas. Rodillos patas de cabra o neumáticos.	1.3 a 1.6	Media a alta	Impermeable. Mal drenaje	Inestable. Debe evitarse su uso.	Mala	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse
MH	Regulares a malas. Rodillos patas de cabra o neumáticos.	1.1 a 1.6	Alta	Impermeable. Mal drenaje	Inestable. Debe evitarse su uso.	Mala	No debe usarse	Muy mala	Muy mala
CH	Regulares a malas. Rodillos patas de cabra.	1.3 a 1.7	Muy alta	Impermeable. No drenaje	Regular. Vigilar la expansión.	Mala o muy mala	No debe usarse	Muy mala	No debe usarse
OH	Regulares a malas. Rodillos patas de cabra.	1.9 a 1.6	Alta	Impermeable. No drenaje	Inestable. Debe evitarse su uso.	Muy mala	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse
Pt	No debe usarse	-	Muy alta	Regular o mal drenaje	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse

(de Rico y del Castillo, 1974)

Fig. 12.1 Características de utilización de los Suelos como materiales de construcción según el sistema SUCS.



Sección Transversal.

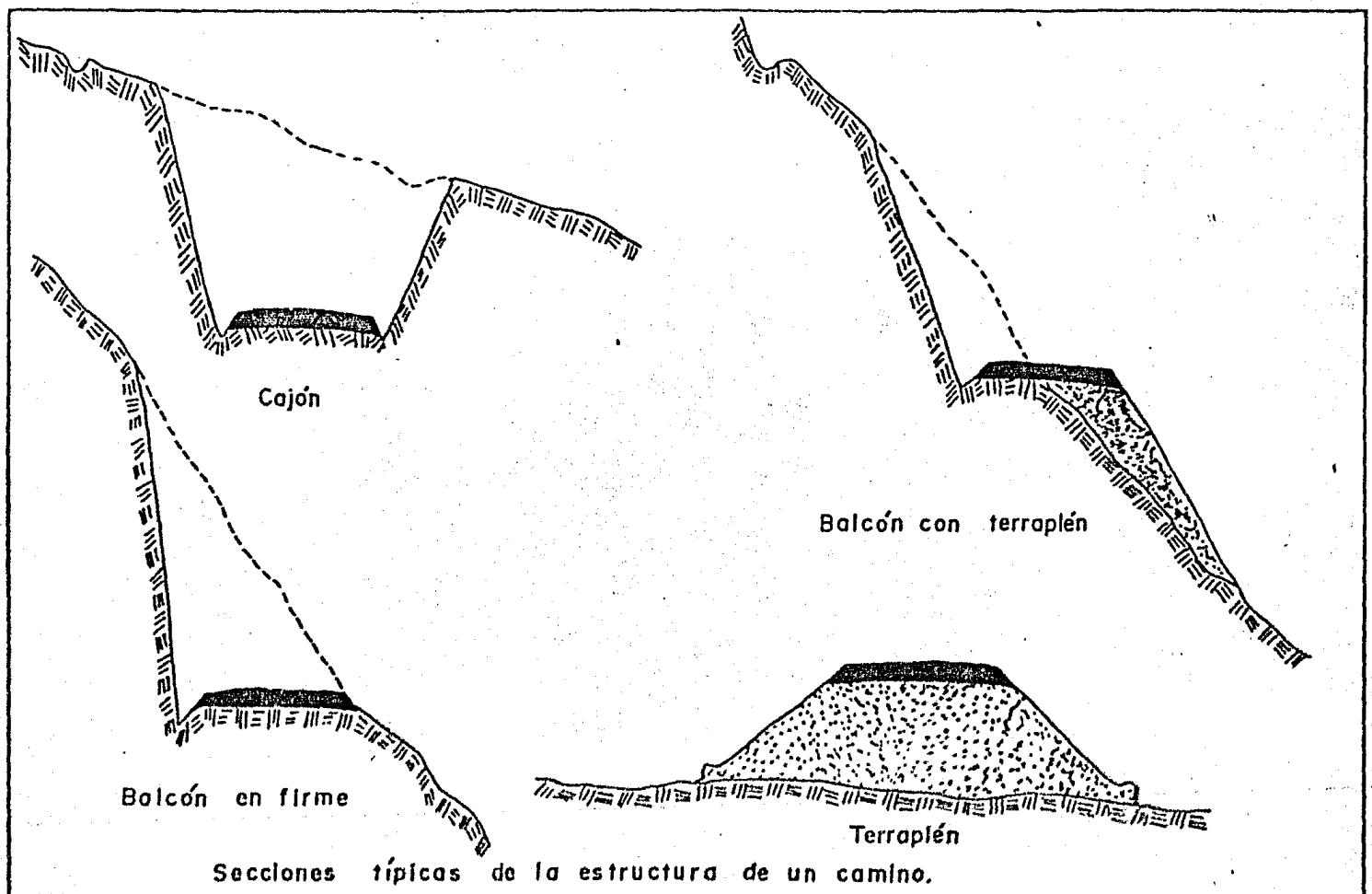


Fig. 12.2 Secciones Transversales Típicas de Carreteras.

y subrasante y terracería, pudiendo en algún caso faltar una - de ellas si el terreno natural es propio para cumplir las funciones de la misma.

Los materiales usados con este objeto pueden obtenerse de suelos, en los que predominen los fragmentos gruesos o medios-con finos; también se pueden obtener de rocas como riolitas, - andesitas, basaltos y tobas.

-Pavimento: "Puede definirse como la capa o conjunto de - capas de materiales apropiados, comprendida(s) entre el nivel-superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito". (Rico y Del Castillo, 1984, pág. 99).

Las capas que forman al pavimento son:

-Sub-base: Es la capa de material colocado sobre la subrasante, que tiene por función resistir los esfuerzos que transmite la base (ver Fig. 12.2) y distribuirlos a la subrasante.- De preferencia los materiales usados con este objeto son aquellos que no necesitan trituración ni cribado, como las mezclas de arena, limo y grava con un porcentaje menor de 5% en partículas mayores de 51 mm.

-Base: Es la capa construida sobre la sub-base, cuyo objeto es soportar las cargas de los vehículos y distribuir las a las capas subyacentes de manera que no produzcan deformaciones perjudiciales.

Los materiales comúnmente empleados para construir esta - capa son en general arenas y gravas bien seleccionadas.

-Carpeta: Es la capa más superficial de la vía, constituida por fragmentos de roca y productos asfálticos.

-Subrasante: Es la capa de material colocado directamente sobre las terracerías, de menor calidad que la sub-base.

12.2 Problemas geotécnicos

El terreno sobre el cual se construirá la vía terrestre puede estar constituido por rocas, suelos o ambos y en todos los casos es posible que se presenten problemas.

De acuerdo con Rico y Del Castillo (1984), "se considera a la roca, en general como un buen terreno de cimentación", ya que comúnmente la vía le transmitirá esfuerzos menores que su resistencia. A continuación se harán algunas observaciones acerca de los problemas geotécnicos que pueden presentarse en rocas y suelos.

- Rocas sedimentarias: Dentro de éstas se cuentan los suelos y las rocas desleznables que pueden ser excavadas con cierta facilidad. Sin embargo hay rocas como las calizas entre las que existe una gran variación, desde las calizas masivas de grano fino, en bancos gruesos, duras y resistentes, a las de grano grueso menos duras y desleznables. Por otra parte están las lutitas y margas que suelen ser muy alterables a la acción de la intemperie y al contacto con el agua.

Pueden representar peligro de deslizamiento aquellas rocas sedimentarias que presentan interestratificación de rocas duras con rocas suaves como las calizas, areniscas y las lutitas, sin embargo la saturación del agua puede hacer deslizar cualquier tipo de roca.

Las discontinuidades (principalmente la estratificación)

que separa a la roca en capas y bloques pueden constituir factores de deslizamiento, de bloques caídos o desprendimientos, - si su relación con la pendiente natural o construída es desfavorable, si los planos de discontinuidad se inclinan en la misma dirección que la superficie del terreno (ver Figura 12.3) - es decir que la superficie de la ladera presenta la pendiente del echado.

- Rocas ígneas: Debido a su alta dureza, cuando se encuentran sanas, y presentan pocas fracturas este tipo de rocas en general es difícil de excavar y en estas condiciones permiten - taludes de gran pendiente (sin peligro de desprendimientos).

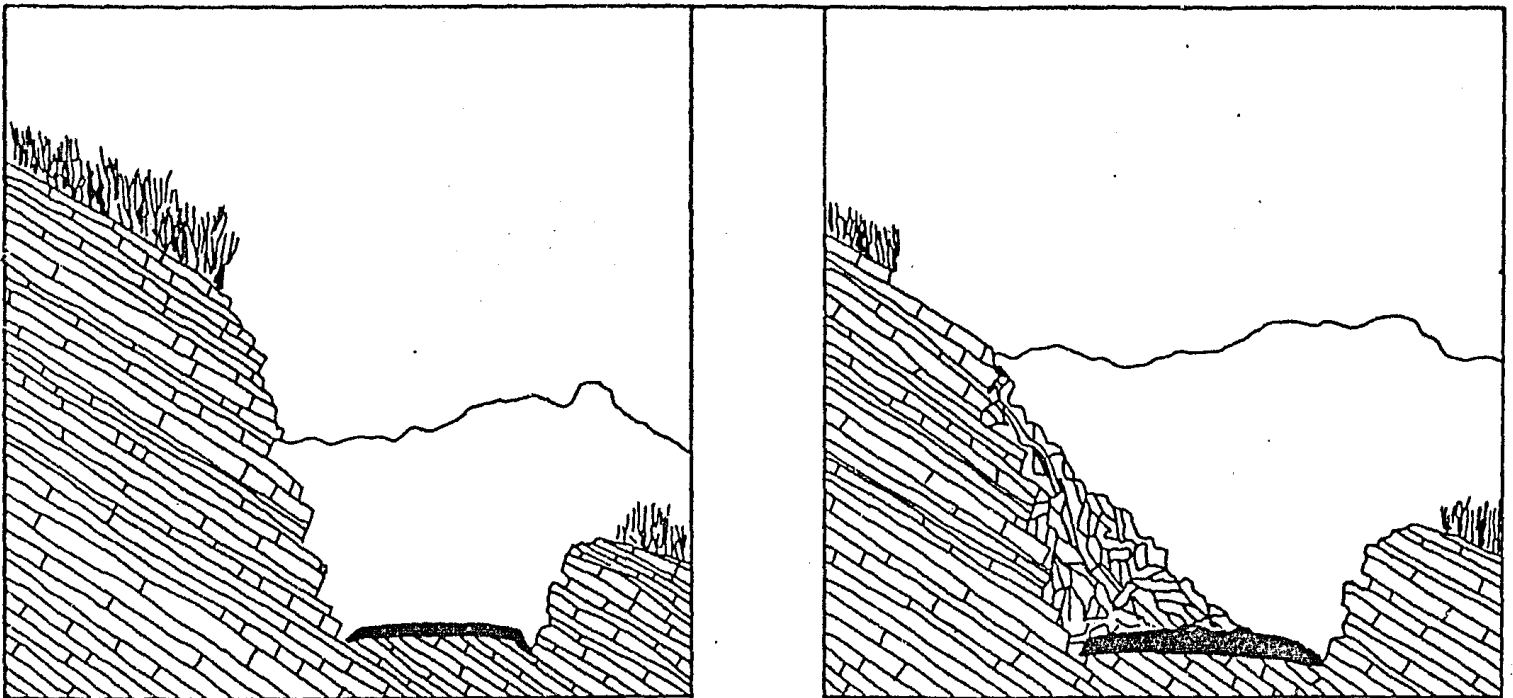
En este tipo de rocas el deslizamiento se presentará sólo cuando el grado de alteración e intemperismo, así como el fracturamiento son importantes y cuando la topografía abrupta y el drenaje interno sean favorables para saturar la masa rocosa.

- Rocas metamórficas: En este grupo de rocas las discontinuidades más comunes son la foliación, pizarrosidad y esquisto- sidad. Los planos que constituyen estas discontinuidades pueden ser también planos de deslizamiento, si su inclinación es favorable para ello en cortes y taludes.

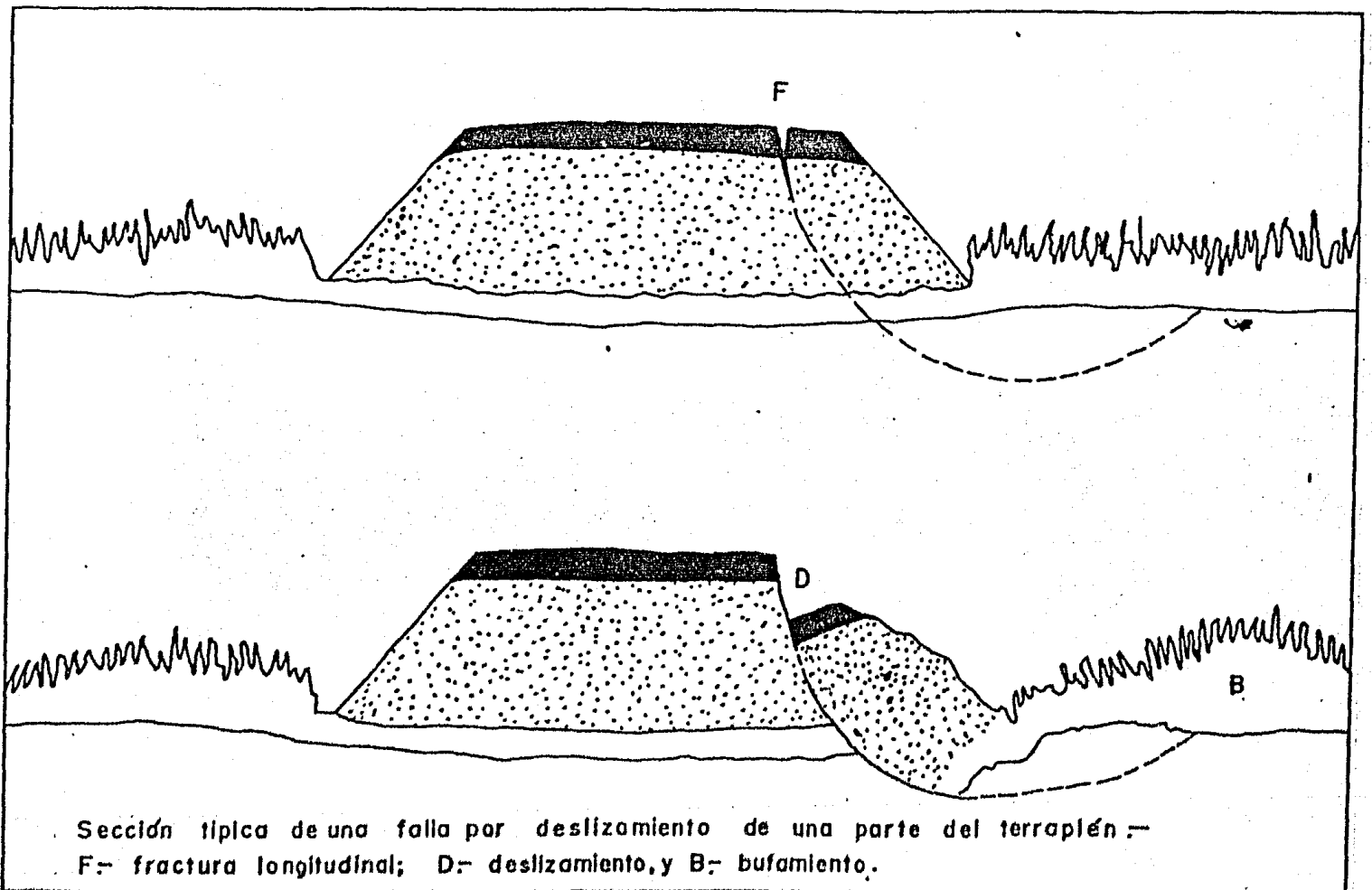
Algunas rocas como los esquistos deben su inestabilidad a la presencia de micas, las cuales son muy resbaladizas. Sin embargo estos mismos planos de foliación, pizarrosidad, etc., -- pueden representar una ventaja al favorecer la excavación, --- cuando se encuentra una gran cantidad de bloques separados por tales planos.

Los suelos como material de cimentación pueden presentar los siguientes problemas:

- | | | |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1.- Asentamientos | 3.- Licuación | 5.- Fenómenos de Geo- |
| 2.- Tubificación | 4.- Empuje de tierras | dinámica |



Roca estratificada y fracturada con echados "en contra" del corte, que se derrumba con facilidad.



Sección típica de una falla por deslizamiento de una parte del terraplén.—
F- fractura longitudinal; D- deslizamiento, y B- bufamiento.

Fig. 12.3 Problemas de deslizamiento ocasionados por discontinuidades, que pueden presentarse en las vías terrestres.

1) Los asentamientos están relacionados con la reducción de volumen del material subyacente, por efecto de las cargas colocadas. Los asentamientos de mayor magnitud se presentan en suelos de origen orgánico o depósitos lacustres principalmente arcillosos.

2) La tubificación es el efecto del flujo del agua al pasar a través de un suelo, produciendo el arrastre de las partículas más finas del suelo. Se presenta comúnmente alrededor de alcantarillas, cuando no están bien diseñadas; también afecta a los taludes produciendo deslizamientos.

3) La licuación es la pérdida rápida de la resistencia al esfuerzo cortante debido a:

- Incremento de los esfuerzos cortantes actuantes con el correspondiente desarrollo de la presión de poro.
- Desarrollo rápido de presiones elevadas en el agua intersticial, producidas por un sismo, explosión, etc. Se evita al compactar el suelo hasta una compacidad relativa mayor al 50%.

Los cuatro factores que al conjugarse producen la licuación son: la saturación del suelo, una compacidad relativa menor que 50%, una sollicitación dinámica y que el material este constituido de arena fina o limo arenoso.

4) El empuje de tierras es el problema que se presenta al tratar de mantener dos masas de tierra adyacentes a distinto nivel, la solución consiste en construir muros de retención o darles un talud adecuado.

5) La expresión geodinámica externa se refiere al movimiento en masa del terreno. Al movimiento de una ladera, a un problema relativo a inestabilidad de taludes, sea este un deslizamiento normal (solifluxión) o un fenómeno de reptación (creep).

El profesor Terzaghi en un trabajo presentado en La Sociedad Geológica de América, en noviembre de 1950, llamado "Mecanismo de los deslizamientos de tierra" habla de los procesos geológicos que conducen a un deslizamiento.

En dicho trabajo señala la diferencia entre un deslizamiento normal y un fenómeno de reptación diciendo que "el término deslizamiento se refiere al desplazamiento rápido de una masa o sedimentos en una pendiente, en la cual el centro de gravedad de la masa en movimiento avanza en una dirección hacia abajo y hacia afuera". "Un movimiento similar que sucede de una manera imperceptible, se llama reptación".

"La velocidad de la masa involucrada en un deslizamiento típico incrementa mas o menos rapidamente de casi cero a por lo menos un pie (30.5 cm) por hora, disminuyendo luego a un pequeño valor. Por el contrario una reptación típica es un movimiento continuo que sucede a una velocidad promedio de un pie por década". Más o menos 30.5 cm en diez años, 3 por año, aproximadamente la velocidad a la que se mueven algunas de las fallas de la porción norte de la península de la Baja California.

Según C.F. Stewart Sharpe existen diversas condiciones básicas o pasivas que favorecen un fenómeno de geodinámica externa y algunas causas activas que los inician. (ver capítulo 11:2)

Condiciones básicas o pasivas que favorecen el movimiento.

- A. Litológicas
- B. Estratigráficas
- C. Estructurales
- D. Topográficas
- E. Orgánicas

Causas activas o iniciadoras:

- A. Remoción del soporte
- B. Sobrecarga
- C. Reducción de la fricción
- D. Reducción de la cohesión
- E. Vibraciones del terreno
- F. Acción de cuña o palanqueo
- G. Producción de escarpes sobrecargados
- H. Deformación generales de la tierra causados por agentes naturales

Otro problema geotécnico importante que puede presentarse durante la construcción de una vía terrestre y que es necesario considerar es la presencia de agua dentro del macizo rocoso o bien cambios en el nivel freático del agua producidos por lluvia. Los cambios en la saturación de agua del macizo rocoso pueden causar condiciones de desequilibrio que favorezcan la presencia de deslizamientos.

Por último es importante recalcar la importancia de la localización de los bancos de material en sitios cercanos a la construcción de la vía terrestre (ver capítulo 8).

12.3 Exploración.

Por su carácter de obra lineal extensa, que en general ejercerá una presión pequeña en un área grande, las vías terrestres requieren en general de exploraciones que alcancen profundidades someras, con un espaciamiento amplio; sin embargo serán las condiciones geológicas en primer término, las que indicarán si será o no necesario un programa exploratorio muy detallado, como por ejemplo en zonas inestables.

Durante los estudios preliminares (ver capítulo 3), el objetivo principal será la elección de la ruta más favorable para la vía terrestre. Se recomienda efectuar un reconocimiento aéreo, en el cual participarán tres especialistas, uno en loca

lización de vías terrestres que por lo general es un Ingeniero Civil, uno en geotécnica o Ingeniero Geólogo y otro en estudios económicos (Lic. en Economía). El informe correspondiente hará hincapié en las características topográficas, hidrográficas, geotécnicas generales, así como en las económicas y sociales de la zona, también se informará del área elegida para tomar fotografías aéreas. Posteriormente se hará la fotointerpretación correspondiente, seguida por un reconocimiento de campo para verificación y con esto se estará en posibilidad de elegir la ruta que cumpla del modo más conveniente con todos los requerimientos.

En la investigación detallada se requiere de un análisis geológico ingenieril exhaustivo de la ruta, con objeto de conocer a fondo las condiciones geológicas, la actividad de los procesos endógenos y exógenos, las propiedades ingenieriles de los materiales dentro del área, la carsticidad, la presencia de material expansivo o muy compresible, así como la clasificación y localización de los materiales de construcción; todo esto con objeto de prevenir cualquier problema que pueda presentarse durante la construcción o después.

Los resultados de la etapa de investigación detallada deben incluir el trazo definitivo, el proyecto de puentes, los entronques, los pasos a desnivel, el diseño de taludes de corte, la forma de obtención de los materiales de construcción de túneles, el diseño del drenaje menor, el procedimiento de construcción y las recomendaciones.

Durante y después de la construcción de la vía terrestre se puede obtener valiosa información de las excavaciones y cortes efectuados para la construcción, debiendo darse atención especial a aquellas discontinuidades que, por efecto de la realización de cortes o construcción de terraplenes, puedan constituir factores de movimiento en masa del terreno.

Se brindará atención al flujo de agua superficial y a los niveles piezométricos de los acuíferos, ya que el agua ocasiona fallas en la estructura y altos costos de mantenimiento. Se determinará también la presencia local de material problemático como pueden ser las arcillas expansivas.

Las modificaciones al medio natural que rodea al sitio deberán ser evaluadas para no producir efectos negativos grandes en su ecología.

En la tabla 12.1 se presenta un resumen de los distintos métodos de exploración que pueden ser utilizados en las diferentes etapas de exploración para una vía terrestre.

TABLA 12.1 METODOS DE EXPLORACION EN VIAS TERRESTRES.

	M E T O D O S D E E X P L O R A C I O N						
	D I R E C T O S				I N D I R E C T O S		
	LEVANTAMIENTO GEOLOGICO	POZOS A CIELO ABIERTO	TUNELES Y SOCAVONES	PERFORACIONES	FOTOGEOLOGIA	METODOS GEOELECTRICOS	METODOS GEOSISMICOS
- Selección de la ruta más adecuada y reconocimiento preliminar	X	X			X		
- Exploración detallada	X	X	X	X		X	X
- Construcción de la vía terrestre	X	X	X	X		X	X
- Operación de la Obra	X			X			
- Bancos de Materiales	X	X		X	X		X

NOTA: La X significa que es un método adecuado para la etapa de investigación marcada.

13. OBRAS PORTUARIAS

13.1 Generalidades

Marcel Blosset en su sencillo pero interesante libro, llamado "Travaux a la Mer" (1951, Editions Eyrolles) dice que "entre las diferentes ramas de la Ingeniería Civil, la relativa a los trabajos en el mar es de las más apasionantes para el ingeniero, en efecto, continúa diciendo, de todas las obras civiles creadas por el hombre, son las obras marítimas las que exigen la mayor cantidad de conocimientos técnicos y que le imponen al constructor una lucha a cada instante contra las fuerzas naturales: Acción mecánica y química del agua del mar, efecto de los vientos, de las corrientes... No es nada fácil llegar a transformar una rada batida por los vientos en un abrigo seguro, donde las embarcaciones puedan, según el caso, "parar sus máquinas" o "arriar sus velas".

No es nada fácil mantener "contra viento y maréa" la entrada al puerto a su profundidad útil". No es nada fácil una vez construido el puerto conservarlo, equiparlo y darle buen aspecto con relación a los otros puertos de igual categoría.

"Inclusive, hecho todo lo anterior, el ingeniero que tiene a su cargo la responsabilidad del puerto, nunca puede estimarse o sentirse satisfecho. Un puerto está siempre en continua transformación; las profundidades se vuelven insuficientes (del hecho de que los navíos son cada vez más grandes); los muelles y las terraplenes se vuelven rápidamente insuficientes por el aumento del tráfico; el equipo mismo se vuelve viejo y no responde a las necesidades del momento. De nuevo hay que estudiar, transformar, reconstruir".

"Se puede decir que un puerto no se termina jamás.

Efectivamente el constructor de obras marítimas se en-

frenta a una apasionante tarea y el Geólogo ¿qué papel juega en esta actividad?

Desde luego que el Ingeniero que ejecuta trabajos en el mar debe conocer como dice Blosset numerosas técnicas para -- dialogar con quien las conoce, pero no dominarlas, los fenómenos geológicos por ejemplo, así como el origen y naturaleza de los terrenos los conoce mejor el geólogo y a él le toca participar en su estudio.

Por las interrogantes que se mencionan a continuación se verá la acción del Geólogo. ,

¿Cuál es la evolución del litoral?

¿Cuál la dirección e intensidad de las corrientes marinas?

¿Cuál es el tipo, cantidad, y dirección de los sedimentos que provocarán problemas de azolvamiento en la dársena y en el canal de acceso al puerto?

¿Cuáles serán los materiales y cuáles sus características en la zona de cimentación de los muelles, dique seco u -- otras construcciones, y cuál el programa de exploración que se debe ejecutar para llegar a su conocimiento?

¿Cuáles serán los materiales que es necesario dragar y -- cuál el tipo de draga que se debe utilizar si se va a construir un puerto interior?

¿Qué materiales rocosos con tamaño, calidad y cantidad existen para la construcción de escolleras, espigones y rompeolas y qué tipo de materiales pueden usarse como agregados para el concreto?

Estas y otras interrogantes se pueden plantear, en donde,

como se puede observar la participación del geólogo reviste o tiene una gran importancia.

13.1.1. Tipos de Puertos

A continuación luego de dar la definición de puerto y -- las partes principales del mismo se verá el detalle de cada -- una de las obras portuarias.

Un puerto es un sitio en el litoral, en un río o en su -- desembocadura, que sirve de refugio a las embarcaciones y que permitirá tomar o depositar mercancías e inclusive hacer la -- reparación del barco.

Los puertos según la morfología del sitio pueden ser naturales o artificiales.

Un puerto natural por lo regular corresponde a una bahía y por sus características esta bahía puede ser: abierta o foránea, o cerrada.

Una bahía foránea o abierta es aquella en la cual los na -- víos que anclan en ella no están totalmente al abrigo de los -- vientos ni de la marejada. Ejemplos:

La Bahía de Banderas en Jalisco y en pequeño la de Puerto Márquez en Guerrero. Por el contrario, una bahía cerrada -- es aquella que ofrece un abrigo completo a las embarcaciones. Como ejemplos se tienen la bahía de Acapulco, Gro. y la de -- Guaymas y San Carlos en Sonora.

Puertos artificiales son aquellos que no existiendo condiciones morfológicas satisfactorias, estas se logran mediante la construcción de diques o rompeolas y escolleras. Ejem-- plos de este tipo de puertos son el de Veracruz, Ver. y el -- Puerto Petrolero de Dos Bocas en Tabasco.

Existen otros puertos artificiales que no se construyen sobre el litoral sino atrás de la línea de costa. Estos puertos que reciben el nombre de puertos interiores se construyen aprovechando la desembocadura de un río o bien la existencia de un estero.

Como ejemplos tenemos el Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich., en la desembocadura del Río Balsas; Puerto Madero, Chis.; el Puerto de Coatzacoalcos, Ver., sobre el río de igual nombre y el Puerto de Tampico, Tamps., sobre el río Pánuco.

Según el destino que se le dé al puerto estos se pueden clasificar en: Puertos Militares, hidrobases y puertos comerciales. Estos últimos según el destino que se les de se designarán: Puertos petroleros, puertos para mercancías ponderables y en grano, puertos de velocidad, puertos de construcción y reparación y de comercio en general.

Con excepción de los dos primeros en la República Mexicana solo se cuenta con Puertos Pesqueros, Puertos comerciales y Puertos Petroleros,

13.1.2. Obras auxiliares y características.

Un puerto por lo general está constituido de lo siguiente, (ver Fig. 13.1):

- Un canal de acceso definido por dos escolleras con un claro de 50 m.

- Un ante puerto con unas dimensiones mínimas de 400 x 200 m.

- Una dársena o zona de maniobras para embarcaciones.

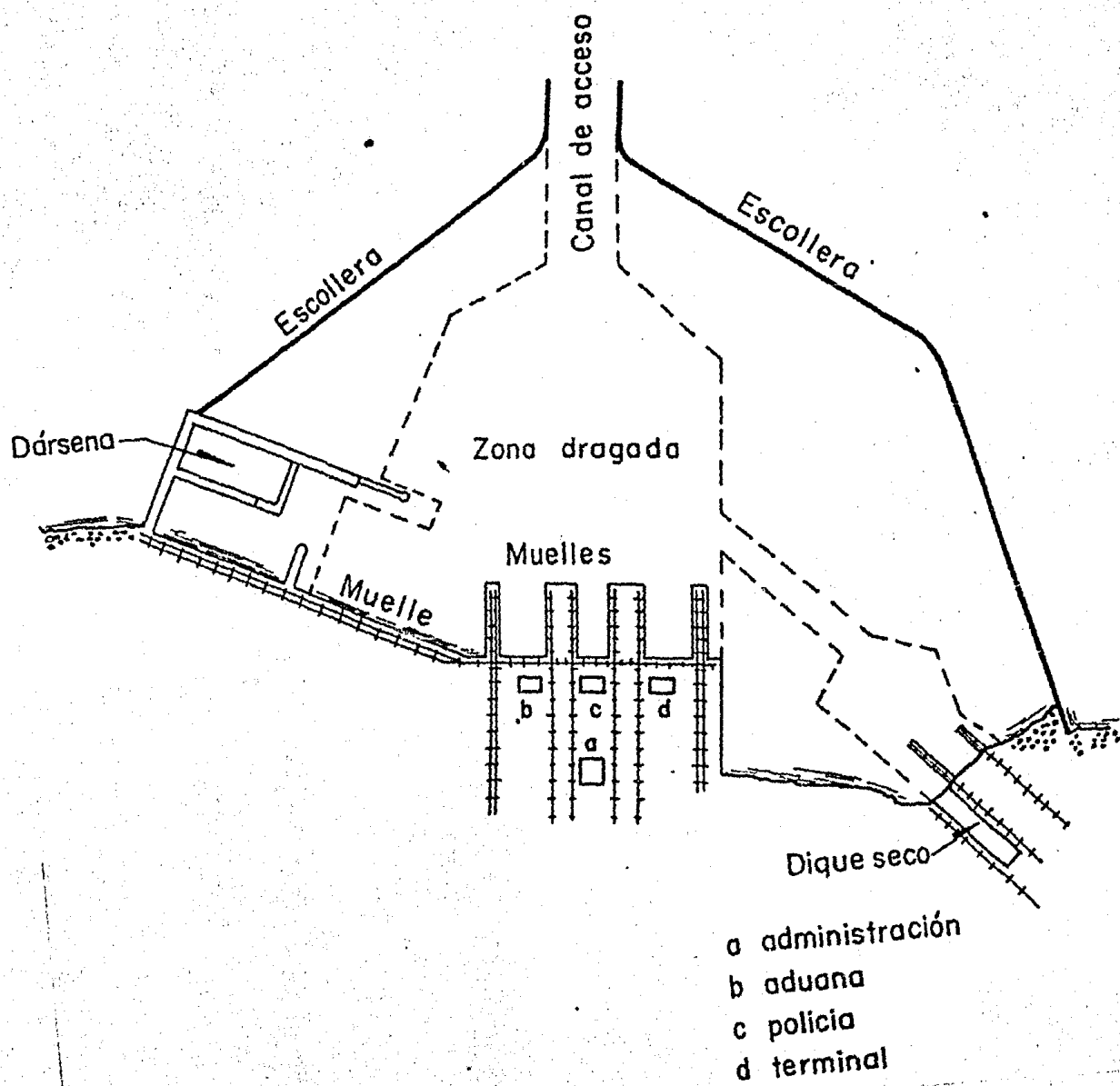


Fig. 13.1 Partes principales de un Puerto

- Muelles, los cuales tienen por objeto permitir el embarque y desembarque de pasajeros así como la carga/descarga de mercancía. Sirven también en ocasiones para protección del área del puerto, al detener el material de acarreo litoral. Dos secciones típicas de estas obras se muestran en la figura 13.2.

- Duque de Alba, esta es una estructura que sirve de protección a muelles y otras obras contra el impacto de barcos u objetos flotantes y está constituida por pilotes de cimentación.

- Muros o tablaestacas, son elementos de retención de suelos, en los límites con una masa de agua.

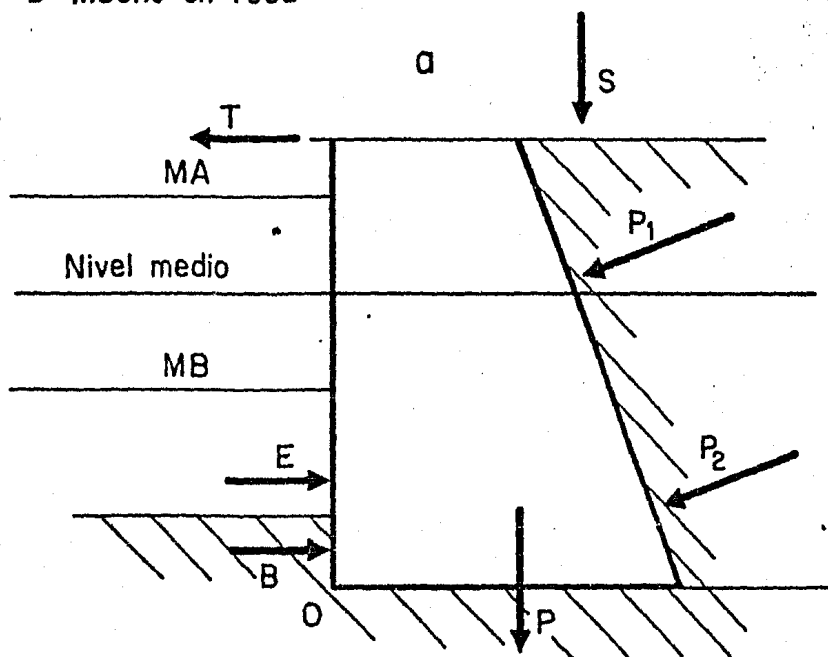
- Un dique seco para reparación y construcción de navíos.

- Rompeolas y escolleras, ambas estructuras son de protección para puertos y bahías y sirven para dar entrada a los barcos en los muelles. Las escolleras son en general perpendiculares a las costa y los rompeolas paralelos a ella o formando un ángulo pequeño. Se localizan en base a la dirección predominante del movimiento de olas y tormentas. Ambas estructuras evitan el arrastre de sedimentos en la costa y previenen el azolve. Estan constituidas de bloques naturales de roca o bien de materiales artificiales, (dependiendo de la disponibilidad de materiales) los cuales deben ser resistentes al ataque y erosión por efecto del mar (ver figura 13.3).

- Espigones (o espolones), son estructuras importantes que permiten ensanchar o estabilizar las playas. Comienzan en la orilla y son perpendiculares u oblicuas a la costa, hasta una profundidad de 2 m. y un espaciamiento variable desde una vez hasta tres veces su longitud. Tienen por objeto detener en sus costados el material acarreado por las corrientes.

a Muelle, mostrando los esfuerzos actuantes

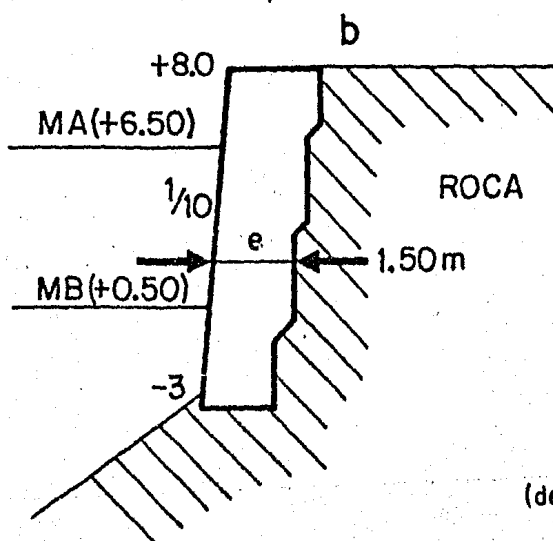
b Muelle en roca



P peso de la mampostería
S sobrecarga del terraplén
T tracción de los barcos sobre los amarres

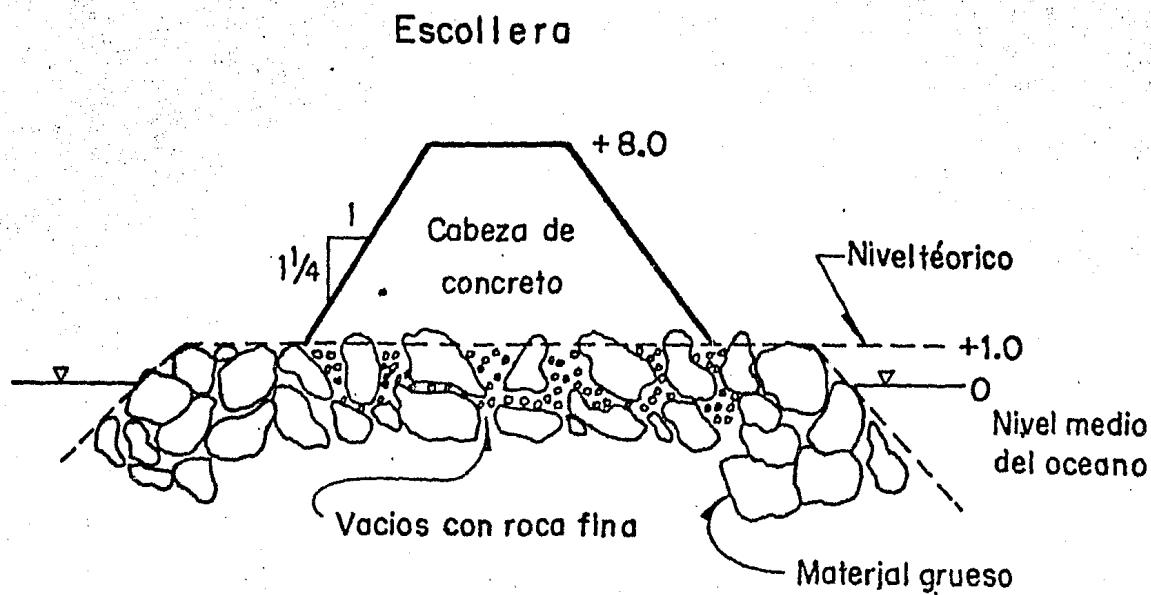
E presión hidrostática
B estribo o soporte
MA marea alta
MB marea baja

P_1, P_2 empujes del terraplén

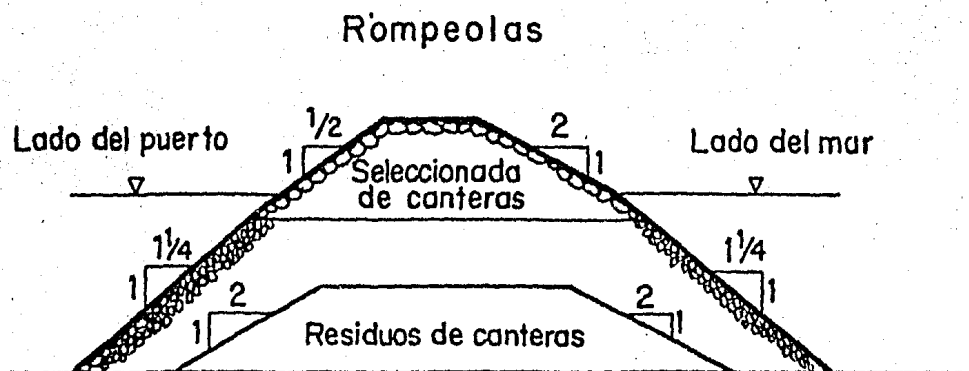


(de Blosset, 1951)

Fig. 13.2 Secciones Típicas de Muelles.



(de Krynlne 1957)



(de Quinn, 1961)

Fig. 13.3 Sección Típica de una Escollera y un Rompeolas.

- Edificios, son aquellas obras destinadas a cumplir funciones de administración, seguridad, almacenamiento de mercancías, estación marítima para pasajeros, equipo para mantenimiento de los barcos, etc., para los cuales será necesario efectuar estudios de cimentación.

- A veces en el ante puerto (caso de Veracruz) se reserva una parte para embarcaciones militares otra para barcos-pesqueros y yates y otra para buques tanque (petroleros).

En el caso de puertos con gran variación de marea existe además una dársena o estanque a flote de igual dimensión que el antepuerto, provista de una esclusa que permitirá mantener a flote los barcos durante la marea baja. Existen puertos en el norte de Europa con variaciones de más de 8 m. entre la pleamar y la bajamar.

Ejemplos:

Puerto de Veracruz, Ver.

Puerto de Madero, Chis.

Puerto de Lázaro Cárdenas, Mich.

Puerto de Guaymas, Son.

Puerto de Acapulco, Gro.

Puerto de Topolobampo, Sin.

Puerto de Ensenada, B.C.N.

A las obras portuarias por el lugar que ocupan en el puerto, se les denomina: exteriores o interiores. Las primeras, las obras exteriores son: los diques, escolleras, rompeolas y los espigones.

Las obras interiores son: los muelles y atracaderos, los diques secos, las esclusas, los duques de alba, las calas y las rampas.

Las obras exteriores tienen como objetivo principal el -

crear una bahía o rada artificial, tan protegida como lo sea una bahía natural.

Una bahía, sea natural o artificial, debe estar suficientemente protegida contra el viento y la marejada de tal manera que cualquier embarcación pueda anclar o atracar; igualmente lo debe estar contra las corrientes costeras a fin de evitar el azolvamiento del puerto. El azolvamiento traería como consecuencia una disminución de la profundidad o bien erogaciones por concepto de dragado.

En resumen según Blosset (op. cit. pág. 95), las obras exteriores tienen una doble función: abrigo y conservación del fondo marino.

13.2 Problemas geotécnicos.

13.2.1. Erosión y Asolve.

Un factor que es importante considerar cuando se desea construir un puerto es el que la línea de costa generalmente no es estable, ya sea por procesos de intemperismo y erosión o por movimientos tectónicos que producen levantamientos y hundimientos de la costa.

Es necesario conocer que tipo de fenómenos se están produciendo en el sitio donde quedarán ubicadas las obras marítimas, para poder hacer una estimación del volumen de sedimentos que se están produciendo en un cierto lapso de tiempo. De esta forma se sabrá si será necesario dragar la zona de manobras de las embarcaciones de acuerdo con el tamaño de estas.

Se requiere además del conocimiento del tipo de sedimentos que azolvarán el puerto, ya que de esto dependerá el equipo de dragado que se usará.

Las escolleras y muelles situados adecuadamente pueden impedir el azolve; será útil también cualquier mejora de los afluentes y cauces tributarios que tiendan a disminuir la cantidad de sedimentos.

Antes de diseñar las obras que eviten el azolve, deberán determinarse los siguientes factores de acuerdo con Kryni^{ne} (1957, p. 535):

- 1) Dirección y sentido de llegada del viento, corrientes costeras y de marea, los cuales acarrearán a los sedimentos.
- 2) Características principales de tales sedimentos.
- 3) Cálculo aproximado de cantidades de sedimentos acumulados.

13.2.2. Problemas de evolución de la costa.

Las costas escarpadas pueden presentar problemas de movimiento en masa del terreno así como la caída de grandes bloques por efecto de la erosión marina al pie de los acantilados y la absorción de agua de las masas de roca que facilita el deslizamiento.

Deberán tenerse en cuenta aquellos fenómenos que puedan ocasionar una alteración súbita de la morfología de la costa, como son la actividad volcánica y sísmica.

Por otro lado, la velocidad y dirección del movimiento tectónico deberán ser considerado al evaluar la evolución morfológica de las costas.

13.2.3. Bancos de material.

Sobre todo en la construcción de escolleras y rompeolas se requieren bloques de roca de grandes dimensiones (de 1 a 2 m²), los cuales a veces no se encuentran en las cercanías del puerto en construcción. En estos casos se utilizan los "Tetrápodos", los cuales son de concreto, de dimensiones variables, siendo colocados a volteo.

La misma función tienen las llamadas bolsacretas, que no son sino costales rellenos de cemento.

Obviamente que estas 2 soluciones son caras, sin embargo se justifican en sitios donde los bancos de material de rocas se encuentran muy alejados.

Y es que algunas veces aunque se cuente con la presencia de rocas en las cercanías, estas deben reunir ciertas características como son: Tamaño de los bloques, ser resistentes a la corrosión del agua del mar, así como a la abrasión producida por la olas.

13.2.4. Cimentación de estructuras.

Especialmente en las estructuras que se encuentren dentro del mar como son los rompeolas, muelles, etc., será necesario determinar si requerirán de cimentación o bien los materiales serán colocados simplemente a volteo.

Generalmente la cimentación que se utiliza en estos casos es la de colocar pilotes prefabricados por percusión o bien realizar perforaciones donde se colarán después los pilotes. Posteriormente y tomando como base dichos pilotes se cuele una plancha de concreto a partir de la cuál se sigue toda la estructura.

13.3. Exploración.

A continuación se presenta una lista de los datos requeridos en la etapa de investigación preliminar:

- Suelos: Extensión, localización y clasificación.
- Rocas: Clasificación, estratigrafía
- Procesos costeros: Tales como tamaño de olas, corrientes, mareas, dirección de los vientos, vida marina que afectan al área en estudio.
- Estratigrafía: Distribución de las formaciones o unidades litológicas.
- Geomorfología: Génesis y evolución de las formas del relieve costero. Geodinámica externa: fenómenos de erosión, transporte y acumulación, deslizamientos, creep, perturbaciones ciclónicas. Geodinámica interna: vulcanismo, sismicidad, esfuerzos tectónicos.
- Materiales de construcción: Enrocamiento y agregados para el concreto principalmente.
- Geohidrología: Flujo del agua superficial, red fluvial manantiales.

Con la información obtenida en esta etapa será posible diseñar un programa de exploración detallada (ver tabla 13.1), que incluya barrenos, pozos a cielo abierto y métodos geofísicos principalmente.

Por otra parte durante la investigación detallada en áreas de puertos y canales, las perforaciones se programarán en puntos elegidos en tierra y bajo el mar, con objeto de determinar las condiciones del subsuelo en los sitios de localización de rompeolas, muelles, etc. (Quinn, A.D., 1961).

Las perforaciones y las exploraciones geofísicas se realizarán a lo largo de las líneas que sigan el trazo de las estructuras, con el espaciamiento adecuado para realizar un perfil geológico-geotécnico correcto. La profundidad a la que se encuentre la roca sana, será el parámetro que condicione la profundidad que deben alcanzar los barrenos.

Con la información obtenida en esta etapa será posible realizar el diseño final de las obras portuarias necesarias que garanticen el buen funcionamiento de las estructuras.

En cuanto a las investigaciones durante y después de la construcción, de acuerdo con Ruiz y Espinoza (1978), los datos que deberán determinarse durante esta etapa son los siguientes:

- Suelos: Su estructura.
- Estratigrafía: Espesor y distribución de las formaciones o unidades litológicas.
- Geomorfología: Geodinámica externa, fenómenos de erosión, transporte y acumulación.
- Hidrología: Flujo del agua subterránea y niveles piezométricos.
- Modificaciones al medio natural: Aquéllas producidas por la construcción de la obra.

La tabla 13.1 presenta un resumen de los métodos de exploración utilizables en la construcción de un puerto.

TABLA 13.1 EXPLORACION DE PUERTOS

	M E T O D O S D E E X P L O R A C I O N					
	D I R E C T O S			I N D I R E C T O S		
	LEVANTAMIENTO GEOLOGICO	POZOS A CIELO ABIERTO Y TRINCHERAS	PERFORACIONES	FOTOGEOLOGIA	METODOS GEOELECTRICOS	METODOS GEOSISMICOS
- SELECCION DEL SITIO Y RECONOCIMIENTO PRELIMINAR.	X	X		X		
- EXPLORACION DETALLADA (*)	X	X	X		X	X
- CONSTRUCCION DEL PUERTO Y OBRAS AUXILIARES	X	X	X		X	X
- OPERACION DEL PUERTO			X			
- BANCOS DE MATERIAL	X	X	X	X		X

(*) Se incluyen aquí estudios especiales para puertos como son: dirección de corrientes marinas, vientos, volumen de sedimentos para conocer los asolves, etc.

NOTA: La X significa que es un método de exploración adecuado para la etapa de investigación marcada.

14. CANALES Y DUCTOS

14.1 Generalidades

Según Krynine (1957, pág. 717), las dos clases principales de canales son el de navegación y el de irrigación.

Los canales utilizados para la navegación de embarcaciones, de gran tonelaje (como por ejemplo el Canal de Suez y el de Panamá), suelen resultar muy costosos, debido principalmente a la gran magnitud de las obras requeridas y a la diversidad de materiales geológicos que atraviezan; por esa razón no son muchos los que se han construido. Existen sí, una gran cantidad de canales de pequeña dimensión construidos principalmente en algunos países europeos y que constituyen una gran red que tiene comunicación con puertos marítimos.

En México los que sí tienen un uso más generalizado son los canales de irrigación, que son excavaciones longitudinales, de poca profundidad, generalmente revestidas que se construyen a lo largo de líneas previamente determinadas, con una pendiente apropiada, con objeto de distribuir el agua. Generalmente constituyen parte de un programa mayor de abastecimiento de agua, como son las presas, acueductos, plantas generadoras de energía, drenajes (aguas negras), etc.

En el caso de canales para fines de irrigación los hay de dos tipos:

- a) Principales: Toman el agua directamente de la presa o de un río y la distribuyen a los canales laterales. Se localizan siguiendo sensiblemente una curva de nivel y con una pendiente tal que no erosione ni provoque acumulación de sedimentos.
- b) Laterales o ramales: Distribuyen el agua desde el ca

nal principal directamente al terreno de cada agricultor. Se ubican de acuerdo con la topografía o con una cuadrícula establecida.

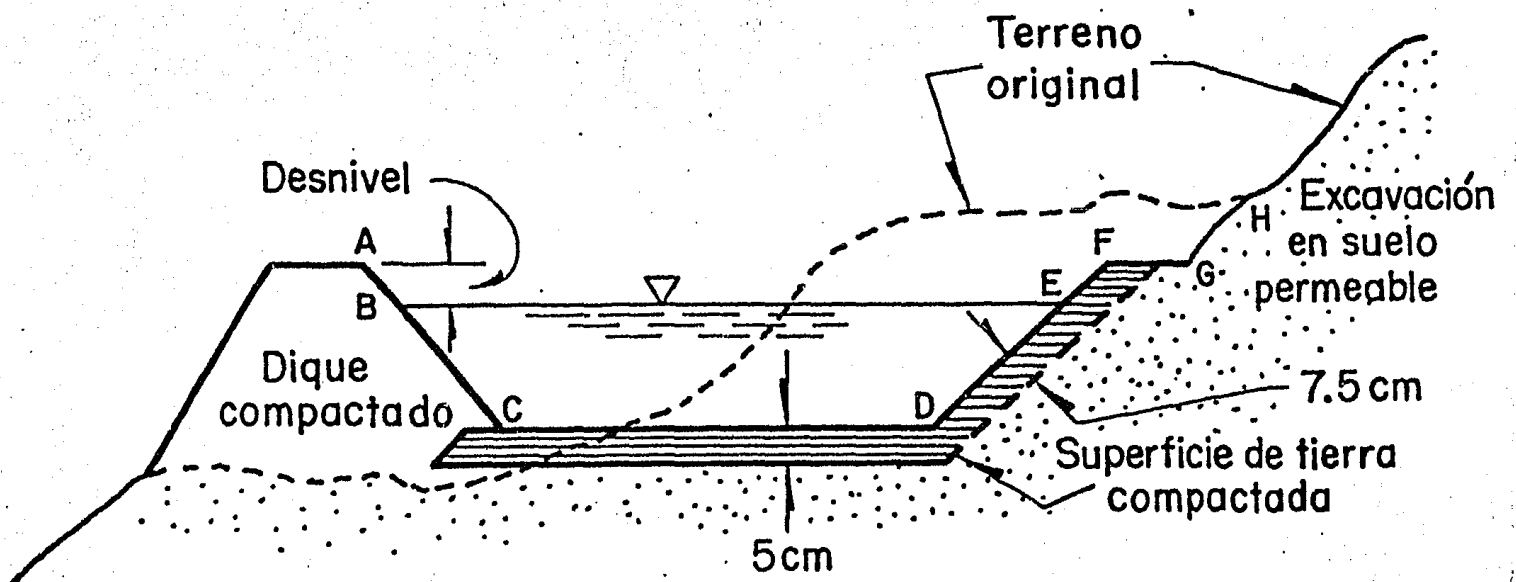
Si el material en que se realiza la excavación es relativamente resistente e impermeable, el canal no tendrá que ser revestido.

En el caso contrario, es decir cuando existan infiltraciones considerables de agua o que se presenten problemas de erosión el canal deberá ser revestido. El revestimiento puede ser de mampostería, tierra compactada, concreto, gunita, materiales bituminosos, mortero, cemento o mezclas de tierra y bentonita.

La sección interior del canal generalmente es trapezoidal (ver Fig. 14.1); como en un túnel el piso del canal es el fondo. La parte interna del canal que está en contacto con el agua es el "perímetro mojado". El canal puede estar situado por encima del terreno mediante la construcción de un terraplén o bien hallarse al nivel del terreno natural (zanjas).

Por otra parte los acueductos y combustoleoductos tienen por objeto el transportar fluidos, gases o sólidos en grandes cantidades y a distancias considerables, comúnmente por medio de bombeo, ya sea en superficie o a profundidad. En general la secuencia de exploraciones es similar a la de los canales difiriendo sólo en el detalle que se le da a ciertos puntos, como ejemplo en los ductos es muy importante la estabilidad de las laderas por el alto grado de seguridad que requieren estas obras, mientras que en un canal la permeabilidad de los materiales que se vayan atravesando es muy importante.

14.2 Problemas geotécnicos y exploración.



ACDFGH = sección del canal
 BCDE = perímetro mojado
 CD = fondo

FG = escalón o berma
 AC, DF, GH = taludes laterales

Fig. 14.1 Sección transversal típica de un canal con revestimiento de tierra.

14.2.1. Investigación Preliminar.

Los exámenes técnicos para los canales son similares a los de carreteras y vías ferreas. Se preparan los perfiles longitudinales y transversales a lo largo de la ruta elegida y se determinan las profundidades de las zanjas y alturas de los terraplenes. Después de contar con estos datos pueden llevarse a cabo los estudios geotécnicos. En el proyecto de un canal tienen que satisfacerse las siguientes exigencias geotécnicas mínimas según Krynine (1957, pág. 722):

1) No habrá asentamiento perjudicial del canal dentro del material subyacente.

2) Las laderas serán estables

3) El fondo y las laderas deberán ser impermeables, previniendo las pérdidas de agua permisibles.

Deberá prepararse un mapa geológico superficial. Este mapa deberá rodear una faja de alrededor de 60 m de ancho, mas la anchura de la parte superior del canal elegido. Este mapa debe mostrar las condiciones geológicas que se encontraron, trabajabilidad de los materiales, los cruces con arroyos, ríos carreteras u otras obras, los bancos de material para construcción, el abastecimiento de agua y la localización de plantas de bombeo para ductos. El informe que lo acompañará deberá redactarse en forma concisa, con la información necesaria para estudios de detalle o para la construcción.

14.2.2. Investigación detallada.

Los estudios geológicos superficiales determinarán la necesidad de efectuar exploraciones adicionales sobre la ruta definitiva que se eligió.

En los canales principales se abrirán 4 ó 5 pozos a cielo abierto como mínimo (S.R.H., 1961) o donde las condiciones geológicas lo requieran. De acuerdo con Krynine, (1957 p. 722), las perforaciones con máquina deben efectuarse a lo largo de la línea central del canal con una separación aproximada de 300 m y se harán perforaciones adicionales si las condiciones geológicas o topográficas cambian mucho o en los lugares donde se colocarán estructuras mayores; deberán llevarse desde los materiales críticos hasta la roca sana o profundizar por lo menos 3 m por debajo del nivel del canal, o bien si se tiene un buen conocimiento de la geología puede pararse la perforación a profundidades someras o hacerse innecesarias.

"Deberán tomarse muestras superficiales y subterráneas a lo largo del alineamiento para hacerles ensayos de laboratorio y entender mejor los detalles de la roca excavada". (Le Roy 1977). También es aconsejable llevar a cabo pruebas de campo de permeabilidad conforme se va perforando.

Los métodos geofísicos de resistividad ayudan a definir la posición del nivel freático, el espesor de la roca intemperizada o localizar rocas muy permeables. Para conocer la trabajabilidad de los materiales y la profundidad a la que se encuentra la roca sana es aconsejable utilizar el método sísmico de refracción.

Deberá tenerse en cuenta la posibilidad de tener deslizamientos de tierra. Tendrán que señalarse en el mapa los deslizamientos existentes, así como hacer un cálculo de su influencia en la construcción y mantenimiento de futuros canales. Se hace hincapié en que los deslizamientos de tierra suelen reconocerse más fácilmente por medio de fotos aéreas. Estos estudios sobre deslizamientos preexistentes dan una idea sobre la futura estabilidad de las paredes del canal.

Los datos geológicos que deben estudiarse en esta etapa-

son de acuerdo con Ruiz V. y Espinoza G.;

- Suelos: Espesor, extensión, clasificación, composición textura, estructura, porosidad y permeabilidad.
- Rocas: clasificación, textura, estructuras, porosidad, permeabilidad y profundidad de la roca sana.
- Pliegues: presencia, tipo y orientación.
- Discordancias: tipo y magnitud.
- Estratigrafía: Unidades litológicas, espesores, distribución.
- Geodinámica externa: erosión, tipo y extensión del intemperismo, transporte y acumulación (son factores importantes que pueden modificar o destruir los canales). Los movimientos en masa del terreno, soliflucción, ---- creep y avalanchas.
- Hidrogeología: flujo de agua superficial y subterránea; configuración, profundidad y fluctuación del nivel de aguas freáticas, geometría de los acuíferos, volumen de los mismos; efecto de la excavación del canal en los patrones de agua superficial y subterránea.
- Materiales de construcción: calidad y volumen.

Es importante la disposición de los materiales de construcción para la selección del revestimiento en los canales, para evitar pérdidas excesivas del agua debidas a filtraciones; para evitar deslizamientos en los materiales inestables o para evitar la acumulación excesiva de fango en los canales.

De acuerdo con Krynine (1957, p. 720) hay diversos mate-

riales de revestimiento:

- Revestimiento de concreto.- Da protección, duración y estabilidad, aunque es costoso, propenso al resquebrajamiento por la temperatura y de resistencia relativamente baja a las presiones hidrostáticas externas o por suelos expansivos.
- Revestimiento de barro.- Es el método más simple de reducción de infiltraciones, pero no es muy eficaz ni duradero, pues el agua erosiona los materiales.
- Revestimiento de tierra compactada.- Es uno de los mejores, la grava bien graduada mezclada con arena-arcilla (GW - GC) da los mejores resultados. Su principal desventaja es que necesita una cantidad muy grande de excavación y además la hierba crece mucho disminuyendo la resistencia del canal.
- Revestimiento de asfalto.- La flexibilidad de estos revestimientos permite usarlos con asentamientos o suelos expansivos; pero no tienen una resistencia satisfactoria a las presiones o golpes.

Por último es importante mencionar que el talud que debe dársele a las paredes de un canal depende de la geología (S.R. H., 1961):

Canal en roca completamente sana	0.25	:	1
Canal en roca ligeramente sana	0.50	:	1
Canal en roca alterada	1	:	1
Canal en materiales blandos	1.5	:	1

14.2.3. Investigaciones durante y después de la construcción.

En esta etapa el trabajo se dirige a tener cuidado con los fenómenos de erosión, intemperismo o acumulación, así como los deslizamientos que pudieran ocurrir.

Es aconsejable también obtener los niveles piezométricos y de ser necesario obtener de una manera más exacta la permeabilidad de los suelos o rocas para evitar lo más posible las filtraciones.

La Tabla 14.1 muestra los métodos de exploración más utilizados para investigar un canal.

TABLA 14.1 EXPLORACION PARA CANALES

	M E T O D O S D E E X P L O R A C I O N						
	D I R E C T O S			I N D I R E C T O S			
ETAPAS DE INVESTIGACION	LEVANTAMIENTO GEOLOGICO	POZOS A CIELO ABIERTO	TUNELES Y SOCAVONES	PERFORACIONES	FOTOGEOLOGIA	METODOS GEOELECTRICOS	METODOS GEOSISMICOS
- SELECCION DE LA RUTA Y RECONOCIMIENTO PRELIMINAR	X				X		
- EXPLORACION DETALLADA DE LA RUTA	X	X	X	X		X	X
- CONSTRUCCION DE LA OBRA	X	X	X	X		X	X
- OPERACION DE LA OBRA				X			
- BANCOS DE MATERIAL	X	X		X			X

NOTA: LA X SIGNIFICA QUE ES UN METODO DE EXPLORACION - ADECUADO PARA LA ETAPA DE INVESTIGACION MARCADA.

15. EDIFICACIONES

15.1 Generalidades.

Hacer una edificación no importa cual sea su tamaño y el destino que se le va a dar, requiere necesariamente del conocimiento geotécnico del terreno de cimentación, con el fin de determinar cuales seran las deformaciones y riesgos de falla que pudiera presentar y cual será la cimentación que más se ajuste a las condiciones del terreno. Aunque la investigación de las deformaciones y riesgos de falla es del dominio del especialista en Mecánica de Suelos, la participación del geólogo es primero que la de cualquier especialista. El conoce mejor que ninguno el proceso de formación del Terreno de cimentación y la evolución histórica del mismo. Su opinión es muy importante.

Para tener una mejor participación en la investigación geotécnica, el geólogo debe conocer los diferentes tipos de estructuras y cimentaciones, su modo de construcción y preocuparse de la mejor adaptación de la estructura a las condiciones geológicas del sitio, considerando además su influencia sobre los terrenos circundantes. Su conocimiento de los conceptos de carga muerta* y carga viva, debe ser claro, así como de los sometimientos externos a que puede estar sujeta la obra (fenómenos de geodinámica interna y externa u otras).

Para fines exploratorios, Krynine y Judd (1957, pág.539) dividen a las edificaciones en cuatro tipos principales: 1) Edificios residenciales, 2) Edificios comerciales, 3) Edificios industriales y 4) Plantas de fuerza y de bombeo; aunque señalan que existen mas categorías ya que algunas veces se construyen edificios individuales que no caen en ninguno de estos tipos, como pueden ser monumentos o palacios.

*Por carga muerta se entiende el peso del edificio y el mobiliario y equipo necesarios para su funcionamiento y por carga viva aquella que resulta de la actividad humana que se desarrolle (1957)

Cada una de las estructuras, correspondiente a alguno de los tipos de edificios mencionados, tiene en su parte inferior en contacto con el terreno, ya suelo o roca, lo que se conoce con el nombre de cimentación.

1 5.1.1 Definición de cimentación

Es la parte que soporta a una estructura y se considera como la transición o la liga entre el suelo y/o la roca subyacente. Sus características de diseño dependen de la estructura por construir, de las propiedades mecánicas del material del sitio y aun de factores de tipo económico.

Según Antonie y Fabre (1980, pág. 191) "el dimensionamiento de una cimentación debe responder a un doble imperativo:

- Permitir la trasmisión de esfuerzos compatibles con la resistencia a la ruptura del terreno (conocimiento de capacidad de carga).

- Limitar la importancia de los asentamientos y repartirlos mejor (conocimiento de asentamientos diferenciales).

1 5.1.2 Tipos de cimentaciones

I) Cimentaciones poco profundas.- Se trata de cimentaciones en las que la profundidad de desplante no es mayor que un par de veces el ancho del cimientto. Los tipos más frecuentes según Krynine y Judd op. cit. pág. 541 y Juárez y Rico son las siguientes:

a) Zapatas aisladas o individuales: Es el agrandamiento de una columna en su base para reducir las presiones que se ejercen sobre el terreno, al aumentar el área en la que se distribuyen. El cimientto puede tener cualquier forma, pero la forma cuadrada es la más económica desde el punto de vista de la construcción. Generalmente son de concreto reforzado (Fig.-

15.1.a).

b) Zapatas corridas: Es un cimiento continuo que soporta un muro o tres o más columnas en línea recta. Se emplea para dar continuidad estructural, sobre todo en suelos de resistencia baja o cuando se transmitirán grandes cargas al suelo. --- (Fig. 1.5.1.b).

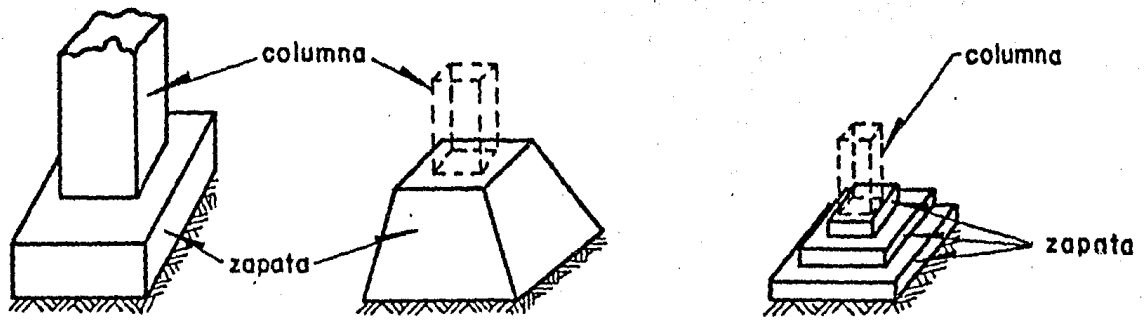
c) Losas de cimentación: Son un tipo de cimientos combinados que soportan más de tres columnas que no estén en línea recta y que proporcionan la máxima área de cimentación para un espacio determinado con la mínima presión en la cimentación y por tanto mayor seguridad contra la falla del suelo. Son utilizados cuando la resistencia del suelo es muy baja o cuando las cargas son muy altas. (Fig. 15.1.c).

d) Cajones de cimentación: Se emplean en terrenos comprensibles para reducir la descarga neta y evitar así incrementos de presión en la masa del suelo que pudieran producir asentamientos intolerables. Existen tres tipos de cajones:

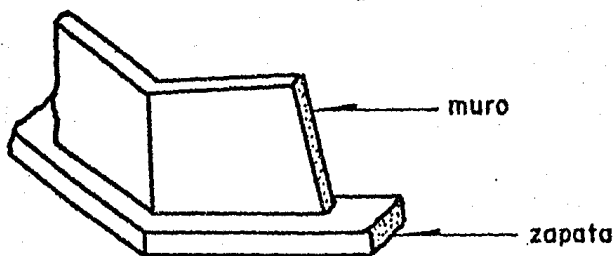
- Cimentaciones parcialmente compensadas.- El peso de la estructura es mayor que el volumen de suelo excavado.
- Cimentaciones compensadas.- El peso de la estructura y el del volumen del suelo excavado son iguales y por --- ello no se alteran los esfuerzos (Fig. 15.1.d).
- Cimentaciones sobrecompensadas.- El peso del terreno excavado es mayor que el de la estructura y esta tiende a emerger.

II). Cimentaciones profundas: Con estas cimentaciones se alcanzan profundidades que varían entre 20 y 100m aproximadamente. Los elementos que las constituyen se distinguen entre sí por la magnitud de su diámetro o su lado, según sean de sección recta, circular o rectangular, que son las más comunes. -

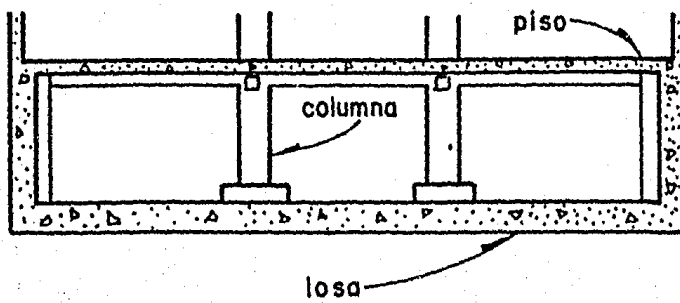
a) Zapatas aisladas



b) Zapatas corridas

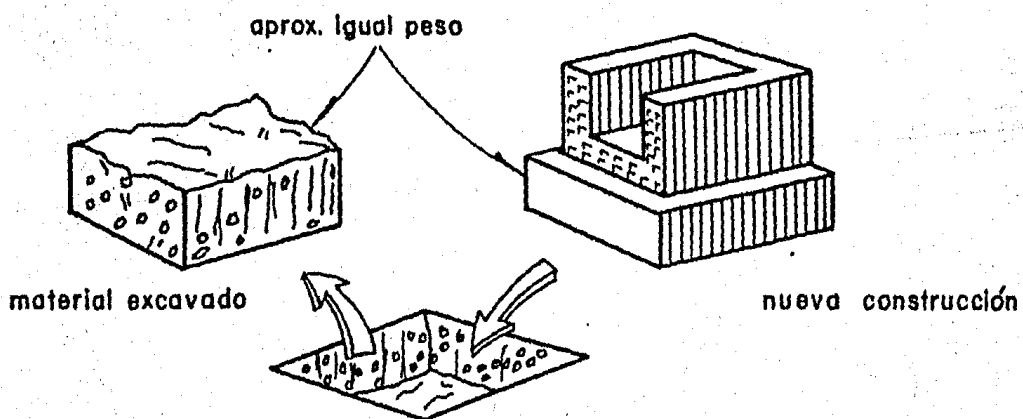


c) Losas de cimentación



(de Krynine, 1957)

d) Cajones de cimentación



.Fig. 15.1 Cimentaciones Poco Profundas.

Se incluyen aquí: los pilotes, pilas, cilindros y cajones (ver Fig. 15.2).

a) Pilotes.— Su diámetro varía entre 0.30 m y 1.0 m y de acuerdo con Juárez Badillo, 1975 se utilizan cuando se requiere:

- "Transmitir las cargas de una estructura a través del suelo blando o a través del agua, hasta un estrato de suelo resistente que garantice el apoyo adecuado (Por pilotes de punta).
- Distribuir la carga dentro de un suelo de gran espesor, por medio de la fricción lateral que se produce entre suelo y pilote (pilotes de fricción).
- Proporcionar el debido anclaje a ciertas estructuras (como tabla estacas) o resistir las fuerzas laterales que se ejerzan sobre ellas (como en el caso de un puente). En estas condiciones se suele recurrir a pilotes inclinados.
- Proporcionar anclaje a estructuras sujetas a subpresiones, resistir el volteo de muros y presas de concreto o cualquier efecto que trate de levantar la estructura, (Pilotes de tensión).
- Alcanzar con la cimentación profundidades ya no sujetas a erosión, socavación y otros efectos nocivos".

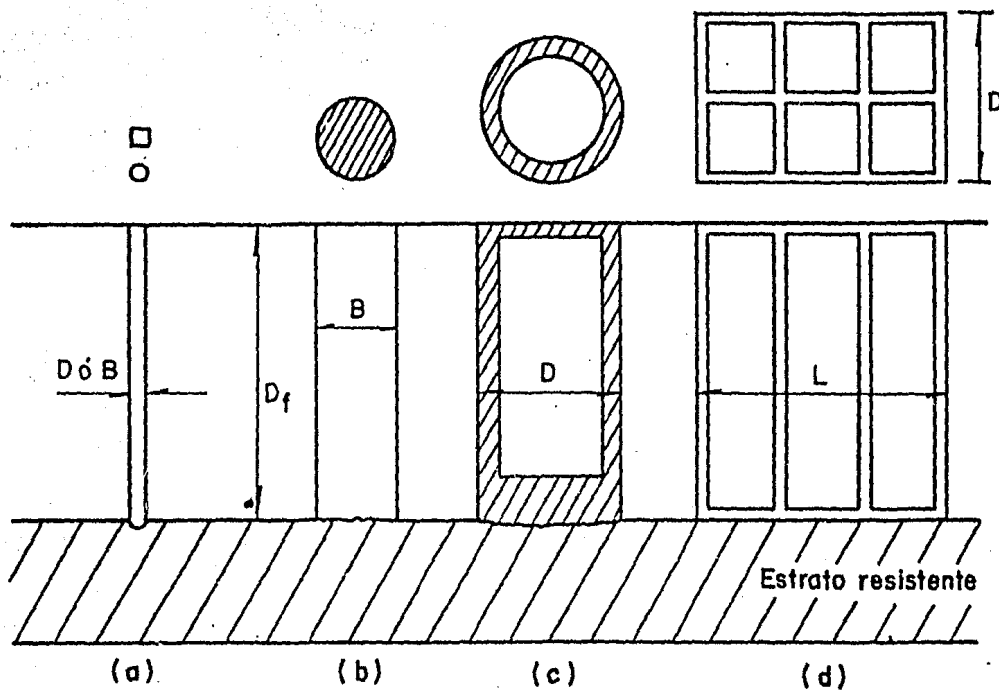
Tipos de Pilotes:

Por su forma de trabajo	}	De punta	Desarrollan su capacidad de carga con apoyo directo en un estrato resistente (Fig. 15.3.a)
		De fricción	Desarrollan su resistencia por la fricción lateral que generan contra el suelo que los rodea. (Fig. 15.3.b)
		Mixtos	Aprovechan a la vez los dos efectos anteriores.
Por el tipo de material	}	Madera-	Se usan poco en trabajos de importancia
		Concreto -	Son los más usados en la actualidad, pueden ser de sección llena o hueca de menor peso. Según sea el procedimiento de construcción y de colocación pueden ser prefabricados o bien colados en el lugar, en una excavación realizada previamente.
		Acero -	Son de gran utilidad en aquellos casos en que la hincada de pilotes de concreto se dificulte por la resistencia relativa del suelo, pues tienen mayor resistencia a los golpes de un martinete.

b) Pilas, cilindros y cajones.- Solamente se distinguen de los pilotes por su mayor diámetro (creciente), el criterio para el cálculo de capacidad de carga y asentamientos son los mismos que para los pilotes.

- Pilas: Diámetro de 1 a 2 m.

- Cilindros: De 3 a 6 m de diámetro. Se hacen de concreto

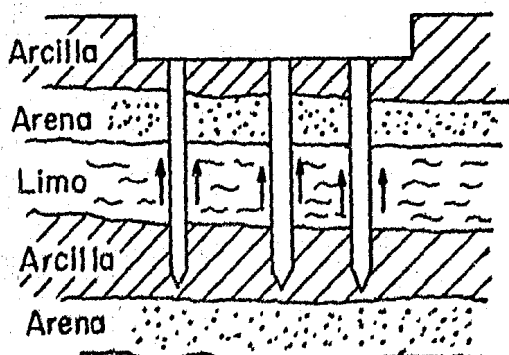


(de Juárez B., 1975)

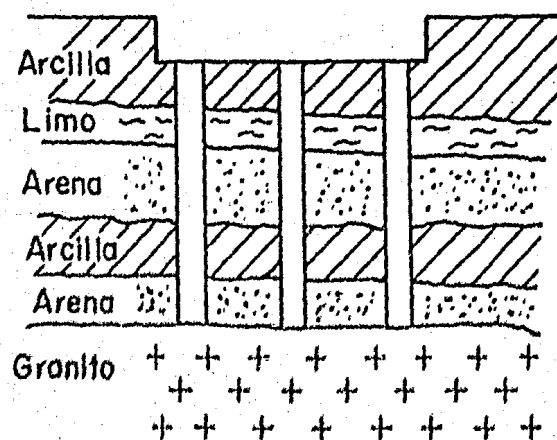
- a) Pilote
- b) Pila
- c) Cilindro (corte)
- d) Cajón de seis celdas (corte)

Fig. 15.2 Cimentaciones Profundas.

a) Pilotes de fricción



b) Pilotes de punta



(De Rosas, 1978).

Fig. 15.3 Tipos de Pilotes (Por su forma de trabajar).

y están huecos en el centro.

- Cajones Profundos: Paralelepípedos de concreto y huecos también.

15.2 Problemas geotécnicos.

El geólogo en la investigación primera, que antecede a -- cualquier otro estudio, deberá definir o proporcionar la infor-
mación que conduzca a definir cuales serán los problemas que -- se presentaran durante las excavaciones iniciales y luego du-
rante los trabajos de cimentación. Según Antoine y Fabre, op.-
cit. pág. 193, "entre las preguntas que frecuentemente se pre-
sentan y que deben encontrar respuesta en el informe geológico
y en la carta geológica que lo acompañan están los siguientes:

- "¿Cuál es la naturaleza del contexto geológico y que di-
ficultades particulares hay que preveer?
- ¿Qué terrenos constituyen el subsuelo? ¿Se trata de una-
formación blanda gruesa, de un macizo rocoso, o de un --
conjunto mixto?
- ¿Cuál es el orden de magnitud del espesor de los diver-
sos terrenos?
- ¿Cuál es la naturaleza y la estructura de la roca basal-
(bed-rock) y que singularidades puede presentar?
- ¿Existe un manto freático o por el contrario circulacio-
nes locales privilegiadas? ¿Cuál es el orden de magnitud
y el grado de homogeneidad de la permeabilidad de las --
formaciones involucradas?"

En relación con la primera interrogante pueden surgir dos
interrogantes más.

-¿Se presentaran problemas de geodinámica externa e interna y cual será el orden de magnitud? (movimiento en masa del terreno, sismicidad, etc).

-¿Existe riesgo de daño con las construcciones vecinas?

Es con base en esta información que se establecerá el programa de investigación detallada complementaria que puede comprender, además de los sondeos de muestreo continuo y la realización de pruebas de campo, la aplicación de alguno o algunos métodos geofísicos.

Problemas de excavación.- La investigación geológica mencionada debe llevar a considerar: el tipo de talud para el material en los muros de la excavación, la dificultad probable al excavar, la estabilidad del piso y las paredes y las condiciones de agua subterránea.

Si la excavación es en roca dura no afectada por la meteorización, los muros serán estables, aún con pendientes muy fuertes; sin embargo, puede ocasionar dificultades la posible presencia de fallas, de fracturas, la inclinación desfavorable de las capas, o las intercalaciones de rocas competentes con incompetentes; por lo que en general en las rocas ígneas y metamórficas la estabilidad no crea grandes problemas.

Si se están excavando suelos, es importante la estabilidad de las paredes. Las arenas y gravas son medianamente estables con pendientes aproximadamente de 1:1. Sin embargo, estos materiales, al igual que las arcillas o limos, pueden presentar desmoronamientos debidos a la acción del agua o por vibraciones. Para disminuir estos problemas (como también para aumentar la estabilidad), pueden hacerse escalones (bermas) a intervalos críticos, con objeto de reunir el material que cae, para regular la superficie de drenaje o para hacer más tendida la pendiente de un banco alto, dando mayor estabilidad.

Problemas de cimentación: Hay dos tipos básicos de materiales de cimentación inestables según Krynine y Judd (1957,- pág. 558):

1) Aquellos materiales susceptibles de modificar su estado bajo la acción del agua como son los suelos y rocas expansivas, como por ejemplo las arcillas montmorilloníticas, suelos con sulfato de sodio anhidro y algunas pizarras. Debe evitarse la construcción sobre este tipo de material; una posi--ble solución es removerlos y reemplazarlos con material com--pacto, o bien impedir la infiltración del agua bajo los ci---mientos.

2) Aquellos sometidos a un asentamiento rápido cuando es están saturados, como son los loess. En estos suelos el agua superficial debe drenarse hacia afuera de la cimentación.

Problemas de aguas subterráneas.- Debe cuidarse de no --llevar a la cimentación por debajo del nivel freático, siem--pre que esto sea posible, puesto que se pueden ocasionar inun--daciones que dificulten o imposibiliten el trabajo y sea nece--sario impermeabilizar la parte subterránea. Por otro lado las estructuras situadas por debajo del nivel freático están sometidas a una subpresión la que, si la estructura es débil, puede provocar el levantamiento del piso o el derrumbe de muros.

Problemas de geodinámica externa.- En el caso de edifi--cios que esten colocados al pie de una colina o sobre un te--rreno accidentado, deben examinarse además de la naturaleza -de los materiales y la presunción de agua las discontinuidad--des, para evitar posibles deslizamientos.

Problemas de Geodinámica interna (sismicidad)- En las estructuras mayores se debe considerar la presencia de sismos;- los estudios de diseño antisísmico deben incluir evaluaciones sobre posibles fallas de suelos y una estimación de la severi

dad de las sacudidas del terreno y su influencia en la estructura construída.

15.3 Exploración de edificios

El programa exploratorio para la cimentación de un edificio depende de dos factores, el peso de la construcción y el fin para el que se vaya a construir. Las estructuras ligeras no requieren tanto estudio preliminar, mientras que para una estructura pesada o que vaya a producir fuertes vibraciones es imprescindible explorar a profundidad por lo menos hasta donde tengan influencia las cargas producidas por la estructura.

El hecho de que en algunos casos las investigaciones de campo no son esenciales o son muy simples, no significa que en todos los casos pueda evitarse una investigación detallada.

Antes de comenzar con el programa exploratorio se tratará de obtener toda la información geológica posible, para darse una idea de los materiales del sitio, lo cual ayudará a un mejor desarrollo del programa exploratorio y para la selección preliminar del tipo de cimentación más conveniente.

El tipo y detalle de las exploraciones dependen de varios factores como son el tipo de edificio y su importancia, la accesibilidad del sitio, la clase de roca o suelo, la profundidad hasta donde las cargas afecten al terreno y las condiciones superficiales y subterráneas del área.

Para conocer todo se efectuarán perforaciones, de acuerdo con Krynine y Judd (1957 pág. 562), "El número de perforaciones depende de la relación entre la variabilidad hipotética de los materiales de la cimentación y la magnitud del área de la estructura". El programa ideal sería hacer una perfo---

ración en cada columna, pero ordinariamente puede obtenerse + información suficiente perforando sólo en las esquinas de los edificios y en los lugares que estarán más cargados, y si no se harán otros adicionales según la complejidad de las condiciones geológicas superficiales y subterráneas, o bien es posible determinar uno o varios puntos estratégicos dentro del área de construcción.

La profundidad que deben alcanzar las perforaciones depende de las cargas calculadas para el edificio, la profundidad de la roca sana y las propiedades mecánicas de los materiales que se encuentren en el sitio. Según Krynine, como regla general deberá profundizarse una y media veces la anchura de la estructura proyectada.

Deben hacerse pruebas de penetración estándar (ver capítulo 5.2) para explorar suelos, así como perforaciones con máquina rotatoria en el caso de tener rocas, para obtener núcleos, que después serán ensayados en el laboratorio para obtener sus propiedades mecánicas (ver capítulo 7.5)

Si se considera necesario y si los materiales lo permiten se harán pozos a cielo abierto y trincheras, de donde también es posible obtener muestras para su análisis posterior.

Es aconsejable en exploraciones para edificios de plantas de energía subterráneas, hacer un socavón exploratorio hasta el emplazamiento aproximado de la cámara y de ahí perforar si es necesario.

Con las muestras obtenidas durante la exploración del sitio, se llevan a cabo estudios de Mecánica de Suelos y Mecánica de Rocas para determinar el comportamiento de los materiales en el sitio donde se hará la cimentación.

La información geológica que requieren en general los estudios de cimentación son:

- Extensión y tipo de suelos
- Tipos de rocas, sus características y estratigrafía
- Fallas, fracturas, zonas de cizalla o variaciones de los materiales en las zonas que sugieran inestabilidad
- Flujo de agua subterránea y superficial
- Fenómenos de erosión, movimientos en masa del terreno, deslizamientos, "creep", avalanchas.
- Esfuerzos tectónicos y sismicidad; son importantes para estructuras críticas como plantas nucleares, cuya cimentación requiere análisis especiales.

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

- Alberro A.J., 1980.
Inéd. Apuntes de Mecánica de Rocas.
División de Estudios de Posgrado, Fac. Ingeniería, UNAM.
- Attewell P.B. y Farmer I.W., 1976.
Principles of Engineering Geology.
Ed. Chapman & Hall, London
- Barton N., Lien R. and Lunde J., 1974.
Engineering clasification of rock masses for the design of -
Tunnel support.
Internal report to Noruegian Geotechnical Institute, 54206.
- Bell, F.G. , 1980.
Engineering Geology and Geotechnics.
Ed. Newnes-Butter Worths.
- Blosset, M. 1951.
Travaux a la Mer.
Ed. Eyrolles, París.
- Cambefort H., 1962.
Perforaciones de Pozos.
Ed. Omega, España.
- Comisión Federal de Electricidad, 1979.
Manual de Diseño de Obras Civiles, Sección B, Temas 1, 2, 3;
Geología, Mecánica de Suelos y Mecánica de Rocas, México.
- Cleaves, A.B., 1958.
Geological factors in tunnel construction.
Proc. of. ASCE , Vol. 84, 1648.
- Dearman, W.R., and Fookes, P.G., 1974.
Engineering geological mapping for Civil Engineering practi--
ce in the United Kingdom.
Q. Jl. Engng. Geol. Vol. 7, pp. 223-256.
- Deere, D.U., 1968.
Consideraciones geológicas.
(En K.G. Stagg y O.C. Zienkiewics, Mecánica de Rocas en la Inge-
niería Práctica).
Ed. Blume, España.
- Del Valle B., J.M., 1975.
Geología Aplicada a la Ingeniería Civil, Curso 259 I 06.
Div. de Estudios Superiores, Fac. de Ingeniería, UNAM.
- Departamento del Interior, E.U., 1966.
Diseño de Presas Pequeñas.
Ed. CECSA, México.

- Dobrin, M.B. , 1976.
Introduction to Geophysical Prospecting.
Ed. Mc. Graw-Hill.
- Flores, R.A., 1978.
Estudios geotécnicos para cimentación de Puentes.
Curso del Centro de Educación Continua.
Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Fookes, P.C., 1967.
Planing and stages of site investigación.
Eng. Geol. , Vol. 2, No. 2, pp. 81-106.
...1969. Geotechnical mapping of soils and sedimentary rocks-
for engineering purposes with examples on practice from -
the Mangla Dam Project.
Geotechnique Vol. 19, No. 1, pp. 52-74.
- Gamboa, F.J., 1977.
Estudio geotécnico para presas de Arco o Machones:
Recursos Hidráulicos, Vol. VI, No. 2.
- Gaziev, E., 1970.
Aspectos generales de la Mecánica de Rocas. .
Instituto de Ingeniería, UNAM, Publicación D-11.
- Geological Society Engineering Group Working Party Report, -
1970. The Logging of Rock for Engineering Purposes.
Q. Jl. Engng. Geol., Vol. 3 pp. 1-24.
- Goguel, J., 1967.
Geología Aplicada.
Mason, París.
- González de Vallejo, L., 1978.
Fallas activas y sus implicaciones en la Ingeniería.
,III Congreso Geológico Peruano, Lima, (agosto).
- Goodman, E.R., 1976.
Methods of Geological Engineering.
Ed. West Publishing Co., USA.
...1980. Introduction to Rock Mechanics.
Ed. John Wiley & Sons.
- Griffiths, D.H., and King, R.H., 1972.
Geofísica aplicada para ingenieros y geólogos.
Ed. Pergamon, (Paraninfo), España.
- Gupta, H.K., 1976.
Presas.
Ed. Elsevier, Amsterdam.
- Hobbs, B.E., Means, W.D. and Williams, P.F., 1976.
An Outline of Structural Geology.
Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.

- Hoek, E. and Bray, J., 1981.
Rock Slope Engineering.
Institution of Mining and Metallurgy, London.
...y Brown, E.T., 1985.
Excavaciones Subterráneas en Roca.
Ed. Mac. Graw-Hill, México.
- Hvorslev, M., 1949.
Subsurface exploration and sampling of soils for Civil Engineering purposes. ASCE.
- Jaeger, J.C., 1969.
Fundamentals of Rock Mechanics.
Ed. Chapman & Hall, London.
...1979. Rock Mechanics.
Ed. Chapman & Hall.
- Juárez Badillo, E., 1963.
Seminario de Mecánica de Rocas y de Suelos.
Propiedades Mecánicas de los Suelos.
Revista de Ingeniería, Vol. 3, (julio).
...y Rico, R.A., 1975.
Mecánica de Suelos, Tomo I y II.
Ed. Limusa., México.
- Krynine, D.P. y Judd, W.R., 1957.
Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros.
Ed. Omega, España.
- Legget and Karrow, 1985.
Handbook of Geology in Civil Engineering.
Ed. Mc. Graw-Hill.
- Le Roy, L.W. and Leroy O.D., 1977.
Subsurface Geology Petroleum, Mining and Construction.
Colorado School of Mines, 4a ed.
- López de la Fuente, T., 1982.
La Petrografía como método auxiliar en la Geotécnia.
Tesis Profesional, Fac. de Ingeniería, UNAM.
- Lugo Hubp, 1984.
La Geomorfología aplicada a la Ingeniería Civil.
Curso de Actualización Profesional, CICM.
"La Geología en la Mecánica de Rocas".
- Marsal, R.I. y Resendiz, D., 1975.
Presas de Tierra y Enrocamiento.
Ed. Limusa, México.
- Parra, G.A., 1978.
La Geología y las Vías Terrestres.
Curso de Ingeniería Geológica.
Div. Est. Sup. , UNAM.

- PEMEX, 1975.
Exploración y Muestreo en suelos para proyectos de cimentaciones, la y 2a parte.
- Prieto, V.R. y Rosas L.J., 1978.
Exploraciones geológicas para obras de Ingeniería Civil.
Tesis profesional, Fac. de Ing., UNAM.
- Puig, J.B., 1970.
Geología Aplicada a la Ingeniería Civil y a la Fotointerpretación.
Ed. Lito Juventud, México.
- Quinn, A.D., 1961.
Design and construction of ports and marine structures.
Mac. Graw-Hill, New York.
- Ragan, D.M., 1973.
Structural Geology and Introduction to Geometrical Techniques
John Wiley & Sons, New York.
- Recursos Hidráulicos, Sría de., 1961.
Instrucciones generales para la localización de canales y estructuras menores.
... 1969. Presas en México, Tomos I y II, SRH., México.
... 1970. Manual de Mecánica de Suelos, SRH., México.
... 1975. Pequeños almacenamientos, Soc. de Mecánica de Suelos.
... 1976. Comportamiento de Presas construídas en México, CFE e Instituto de Ingeniería, Contribución al XII Congreso Internacional de Grandes Presas, México.
- Reynolds, H.R., 1961.
Rock Mechanics.
Ed. Crosby Lockwood & Son.
- Richey, I.E., 1964.
Elements of Engineering Geology.
Ed. Sir Isaac Pitman & Sons Ltd., London.
- Rico, R.A. y Del Castillo, H., 1984.
Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres.
Tomos I y II., Ed. Limusa, México, 4a reimpresión.
- Ruiz Vázquez M., 1957.
Estudios geológicos en el proyecto y construcción de obras de Riego, Bol. Soc. Geol. Méx., Tomo XX, No. 2.
...1977 Exploración geológica en la construcción de túneles,
Div. de Educación Continua, Fac de Ing., UNAM.
...1982 Movimiento de Tierras: Terracerías y Excavaciones, --
Div. de Educación Continua, Fac. de Ing., UNAM.
- Sherbon, H.E., 1977.
Elementos de Geología Estructural.
Ed. Ariel, Barcelona, Caracas, México.

- Simposio Exploración y Muestreo en Roca, 1978.
Sociedad Mexicana de Mecánica de Rocas.
México, D.F., Octubre 12, 13, 14.

- Stagg, K.G. y Zienkiewics, O.C., 1968.
Mecánica de Rocas en la Ingeniería Práctica.
Ed. Blume, Cap. I, Deere.

- Szechy, K., 1973.
The Art of Tunneling.
Academia Kiadó, Budapest.

- Terzaghi, K., 1967.
Measurement of Stress in Rock.
Geotechnique, Vol. 17, No. 1,
... y Peck, R.B., 1976.
Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica.
Ed. Ateneo, Argentina.

- Vega, R.O. y Arreguín, C.F., 1983.
Presas de Almacenamiento y Derivación.
Publicación D-32, Div. de Estudios de Posgrado, Fac. Ingeniería,
UNAM, 2a. ed.

- Vera, O. M., 1984.
Datos geológicos requeridos en Mecánica de Rocas.
Curso de Actualización Profesional, CICM.
La Geología en la Mecánica de Rocas.

- Wahlstrom, E.E., 1973.
Tunneling in Rock.
Ed. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam.
... 1974., Dams, dams foundations and reservoir sites.
Ed. Elsevier, Developments in geotechnical engineering.

- Walters, R.C.S., 1971.
Dam Geology.
Ed. Butter-Worths C.P., Ltd, London.