



# UNIVERSIDAD VILLA RICA

---

---

ESTUDIOS INCORPORADOS A LA UNIVERSIDAD  
NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
Í GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA  
CIVILÍ

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

MARIO IVÁN DÍAZ BECERRIL

**Director de Tesis**

ING. JORGE ANTONIO MIRANDA MORENO

**Revisor de Tesis**

ING. GILBERTO NICOLÁS GARCÍA TORRES

BOCA DEL RÍO, VER.

FEBRERO 2015



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## ÍNDICE

### GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA

INTRODUCCIÓN .....	1
--------------------	---

### CAPÍTULO I METODOLOGÍA

1.1 Planteamiento de Problema .....	2
1.2 Justificación .....	2
1.3 Objetivo .....	2
1.4 Hipótesis .....	3
1.5 Tipo de Estudio .....	3
1.6 Alcances .....	3

### CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

#### 2.1 INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA Y LA GEOTECNIA Y SU RELACIÓN CON LA INGENIERÍA CIVIL

2.1.1 El Método Científico y su Aplicación en las Teorías Sobre el Origen del Universo .....	4
2.1.2 Determinación del Tiempo Geológico y Datación Radiactiva .....	5

#### 2.2 GEODINÁMICA INTERNA

2.2.1 Constitución Interna del Planeta Tierra .....	8
2.2.2 Pangea .....	11
2.2.3 Tectónica de Placas y Sismicidad .....	12

#### 2.3 GEODINÁMICA EXTERNA

2.3.1 Rocas .....	14
2.3.2 Ciclo Hidrológico .....	16
2.3.3 Identificación de Minerales .....	18
2.3.4 Comportamiento Mecánico de las Rocas desde el Punto de Vista Geotécnico .....	21
2.3.5 Rocas Ígneas y Vulcanismo .....	21
2.3.6 Intemperización y Erosión .....	24
2.3.7 Rocas Sedimentarias, Formación de Suelos, Correlación de los Estratos y Fósiles .....	25
2.3.8 Clasificación de Sedimentos .....	27

## **2.4 CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS ROCAS DADO SU COMPORTAMIENTO MECÁNICO E HIDRÁULICO**

2.4.1 Pliegues -----	29
2.4.2 Fallas -----	31
2.4.3 Juntas -----	31
2.4.4 Discordancias -----	31
2.4.5 Aplicaciones de la Geología en la Ingeniería Civil -----	32
2.4.5.1 Cimentaciones -----	32

## **2.5 INGENIERÍA DE TÚNELES Y PRESAS**

2.5.1 Partes de una Presa y Obras Auxiliares -----	35
2.5.2 Topografía -----	42
2.5.3 Geología -----	42
2.5.4 El Vertedor -----	44
2.5.5 Fenómenos de Geodinámica -----	44
2.5.6 Causas de Deslizamientos -----	46
2.5.7 Medida para prevenir Deslizamientos -----	47
2.5.8 Características y Particularidades de Algunas Rocas -----	48
2.5.9 Túneles -----	50
2.5.9.1 Método de Excavación -----	51
2.5.9.2 Problemas Geotécnicos en Túneles -----	51
2.5.9.2.1 Fallas -----	53
2.5.9.2.2 Estratificación -----	54
2.5.9.2.3 Anticlinales y Sinclinales -----	56
2.5.9.2.4 Filtraciones -----	57
2.5.9.3 Naturaleza de la Roca o Suelo en los Portales de Entrada y Salida -----	57
2.5.9.4 Rocas Sometidas a Esfuerzos (Bufamientos y Reventones) -----	58
2.5.9.5 Altas Temperaturas y Gases -----	59
2.5.9.6 Exploración de Túneles -----	60

## **2.6 LA GEOLOGÍA EN EL ESTADO DE VERACRUZ**

2.6.1 Fisiografía -----	62
2.6.2 Morfología -----	66
2.6.3 Sismicidad -----	68

## **2.7 EXPLORACIÓN Y MUESTREO EN SUELOS Y ROCAS**

2.7.1 Levantamientos Geológicos -----	72
2.7.2 Pozos a Cielo Abierto y Trincheras -----	73
2.7.3 Perforación -----	73
2.7.4 Métodos Indirectos -----	74
2.7.4.1 Fotogeología -----	74

2.7.5	Métodos Geofísicos -----	76
2.7.6	Métodos Eléctricos -----	78
2.7.6.1	Método de Resistividad -----	79
2.7.6.2	Método de Caídas de Potencial -----	82
<b>2.8</b>	<b>GEOSÍSMICA</b>	
2.8.1	Métodos Directos -----	83
2.8.1.1	Levantamientos Geológicos -----	85
2.8.1.2	Pozos a Cielo Abierto y Trincheras -----	87
2.8.1.3	Trincheras -----	89
2.8.1.4	Túneles o Socavones -----	90
2.8.1.5	Perforaciones -----	92
2.8.2	Métodos de Perforación -----	95
2.8.2.1	Percusión -----	96
2.8.2.2	Presión -----	97
2.8.2.3	Rotación -----	98
2.8.3	Muestreo en Suelos y Rocas -----	99
2.8.3.1	Métodos Manuales y Mecánicos -----	100
2.8.3.2	Métodos de Lavado -----	102
2.8.3.3	Penetración Estándar -----	103
2.8.3.4	Barrera Tricónica -----	106
2.8.4	Métodos de Perforación con Muestreo Inalterado -----	108
2.8.4.1	Tubo de Pared Delgada (Shelby) -----	108
2.8.4.2	Muestreador de Denison -----	109
2.8.4.3	Muestreador Pitcher -----	111
2.8.4.4	Muestreo en Rocas -----	112
2.8.4.5	Muestreadores Convencionales -----	113
2.8.4.6	Muestreadores No Convencionales -----	114
2.8.4.7	Brocas -----	116
2.8.4.8	Informes Técnicos -----	117
<b>2.9</b>	<b>MAPAS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS</b>	
2.9.1	Diagramas Estereográficos -----	126
2.9.2	Perfiles Geotécnicos -----	128
2.9.2.1	Perfiles Geotécnicos Individuales -----	128
2.9.2.2	Perfiles Geotécnicos Integrados -----	131
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>CONCLUSIONES</b> -----	<b>133</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b> -----	<b>134</b>
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> -----	<b>138</b>

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Figura 1	Estructura Interna de la Tierra -----	8
Figura 2	Composición de las Partes que Forman la Estructura de la Tierra -----	9
Figura 3	Diagrama de la Astenósfera y Litósfera -----	10
Figura 4	Pangea -----	12
Figura 5	Desplazamiento de Placas -----	12
Figura 6	Desplazamiento de Placas (2) -----	13
Figura 7	Placas que Atraviesan el Territorio Mexicano -----	13
Figura 8	Origen de las Rocas -----	14
Figura 9	Ciclo de las Rocas -----	15
Figura 10	Ciclo del Agua -----	18
Figura 11	Forma cristalina de Minerales -----	19
Figura 12	Lava en la Corteza Terrestre -----	22
Figura 13	Fragmentos de Magma o Materiales Piroclásticos -----	22
Figura 14	Tobas -----	23
Figura 15	Brecha Volcánica -----	23
Figura 16	Conglomerado Volcánico -----	24
Figura 17	Erosión e Intemperismo -----	25
Figura 18	Terrígeneos -----	28
Figura 19	Piroclásticos -----	28
Figura 20	Calcáreas -----	28
Figura 21	Calizas -----	28
Figura 22	Partes de un Pliegue -----	30
Figura 23	Tipos de Pliegues -----	30
Figura 24	Tipos Fundamentales de Fallas -----	30
Figura 25	Zapatas Aisladas -----	32
Figura 26	Losa de Cimentación -----	32
Figura 27	Pilas (Armado y colado de pilas <del>in situ</del> ) -----	33
Figura 28	Cortina de Tierra -----	36
Figura 29	Cortina de Materiales Graduados -----	37
Figura 30	Cortina de Enrocamiento -----	37

Figura 31	Cortina de Gravedad -----	38
Figura 32	Cortina de Arco -----	39
Figura 33	Cortina de Gravedad Aligerada -----	39
Figura 34	Cortina de Contrafuertes y Arcos Múltiples -----	40
Figura 35	Partes de un Túnel -----	51
Figura 36	Posiciones de un Túnel respecto a una Falla -----	53
Figura 37	Influencia de la Estratificación en el Revestimiento de un Túnel -----	55
Figura 38	Localización adecuada de Túneles -----	56
Figura 39	Zona Intemperizada en Portales de Entrada y Salida -----	58
Figura 40	Localización de la ZCV en la Fisiografía del Estado de Veracruz -----	63
Figura 41	Zona Arrecifal frente a la ZCV -----	68
Figura 42	Mapa Sísmico y Volcánico de la República Mexicana -----	70
Figura 43	Método Eléctrico de Resistividad -----	79
Figura 44	Sondeo Eléctrico Vertical -----	81
Figura 45	Método de Caídas de Potencial -----	82
Figura 46	Propagación de las Ondas Sísmicas -----	83
Figura 47	Gráfica Dromocrónica con Tres Velocidades ( $V_0$ $V_1$ Y $V_2$ ) -----	84
Figura 48	Recolección de Muestras Inalteradas -----	89
Figura 49	Perfil Geológico de una Trinchera -----	90
Figura 50	Perfil Geológico de un Socavón -----	91
Figura 51	Relación entre la Posición del Nivel Freático y Cambios de Permeabilidad -----	94
Figura 52	Prueba de Penetración Estándar -----	96
Figura 53	Operación del Cono Holandés -----	97
Figura 54	Equipo de Perforación a Rotación -----	98
Figura 55	Herramienta Manual de Perforación -----	101
Figura 56	Tipos de Cucharas Muestreadoras -----	101
Figura 57	Tipos de Trépanos utilizados en el Método de Lavado -----	102
Figura 58	Equipo Necesario en el Método de Lavado -----	103
Figura 59	Gráfica de una Prueba de Penetración Estándar -----	104

Figura 60	Correlaciones usadas para Interpretar la Prueba de Penetración Estándar -----	105
Figura 61	Tipos de Brocas utilizadas en el Método de Rotación (Tricónica y Drag) -----	106
Figura 62	Operación del Equipo de Perforación a Rotación -----	107
Figura 63	Tubo de Pared Delgada (Shelby) -----	109
Figura 64	Muestreador de Denison -----	110
Figura 65	Muestreador Pitcher -----	111
Figura 66	Barriles Muestreadores Convencionales -----	112
Figura 67	Barriles Muestreadores No Convencionales -----	116
Figura 68	Plano Geotécnico -----	121
Figura 69	Simbología utilizable en Cartografía Geotécnica -----	124
Figura 70	Uso de la Red Estereográfica en Estabilidad de Taludes -----	127
Figura 71	Forma para Perfil Geotécnico en Rocas -----	129
Figura 72	Forma para Perfil Geológico en Suelos -----	130
Figura 73	Sección Geotécnica Integrada -----	132

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad se está viviendo un desarrollo en la infraestructura de varios lugares no solo del país sino a nivel mundial, lo cual conlleva a que el ámbito de la construcción esté en constante movimiento. Desde un pequeño inmueble hasta un edificio de varios pisos, cualquier obra que se realice es necesario que se tenga conocimiento del terreno en el que se va a trabajar.

La Geología como ciencia madre de la Mecánica de Suelos toma un papel fundamental en el desarrollo del Ingeniero civil, es de suma importancia tener los conocimientos adecuados para solucionar problemas que se vayan presentando antes, durante y después de la obra. La importancia de esta ciencia radica en que nos proporciona las bases para realizar estudios, análisis y diferentes trabajos sobre el terreno en el cual se desarrollara la obra.

En este trabajo se verán temas de gran relevancia en la Geología; primeramente como es que se origina la masa de tierra en la que nos encontramos, proceso de las rocas, la importancia del agua y los factores que intervienen en la formación de las mismas, como es que reacciona el suelo ante movimientos o diversas situaciones producto de los sismos y en general lo que involucra el planeta Tierra.

El conocimiento geológico, dentro de sus múltiples ventajas, nos permite planear mejor todo tipo de obra civil, desde obras de infraestructura hasta puentes, carreteras, túneles y cualquier obra donde intervengan los materiales térreos. Con el auxilio de la mecánica de suelos se puede evaluar las características y propiedades físicas y mecánicas de esos materiales.

# **METODOLOGÍA**

## **1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA**

Muchos ingenieros como en cualquier otra profesión que recién empiezan su camino laboral, están necesitados y habidos de conocimientos y experiencias particulares que les puedan ayudar y facilitar las tareas a las que serán encomendados a lo largo de su profesión. En lo que corresponde a este trabajo de investigación con respecto a la ciencia de la Geología, que a su vez es la base de la Mecánica de Suelos, nos apoya en la solución de problemas de obras de tierra y enrocamiento en el campo de la Ingeniería Civil. Nos provee de todo lo necesario para realizar los estudios básicos, pruebas de laboratorio, experimentos y procesos adecuados para poder realizar obras civiles donde los materiales térreos intervienen.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN DE PROYECTO**

Este trabajo de investigación es importante ya que nos proporciona las bases suficientemente sólidas y sustentadas, para abordar soluciones integrales a los problemas de la Ingeniería Civil, de tal manera se provee al Ingeniero Civil del conocimiento geológico, buscando obtener los mejores estándares de calidad y seguridad en las cimentaciones, estructuras de tierra y obras complementarias.

## **1.3 OBJETIVOS**

Desarrollar un documento de apoyo accesible, breve y práctico para que los estudiantes e ingenieros hagan uso del conocimiento geológico que aquí se provee, en la solución integral de los problemas que se puedan suscitar en obras donde se involucren los materiales térreos.

## **1.4 HIPÓTESIS**

Se busca que el Ingeniero Civil utilice los conocimientos técnicos adecuados que aquí se mencionan, para el desarrollo de obras de gran calidad, cumpliendo con los requisitos y normas establecidas, así como entregar la obra en tiempo y forma.

## **1.5 TIPO DE ESTUDIO**

El tipo de estudio a desarrollar es de carácter documental, investigación bibliográfica e integración de un documento síntesis de uso y aplicación práctica por los ingenieros en el campo de las ciencias de la tierra.

## **1.6 ALCANCES**

Esta investigación pretende ser una fuente de información que facilite las labores del profesional de la construcción, desarrollando funciones específicas y tener un desempeño favorable. A su vez tener una gran responsabilidad en el proceso de la obra y siempre poder ejecutar sus tareas de manera adecuada.

# **MARCO TEÓRICO**

## **2.1 INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA Y LA GEOTECNIA, SU RELACIÓN CON LA INGENIERÍA CIVIL.**

### **2.1.1 El Método Científico y su Aplicación en las Teorías Sobre el Origen del Universo**

#### **Método Científico**

El método científico es un método racional para verificar o establecer hechos que pueden ser verdaderos o falsos.

El método científico consta de las siguientes etapas:

- I. El establecimiento de una o varias hipótesis de trabajo, esas pueden ser establecidas sobre la base de una evidencia preliminar o no.
- II. La verificación de las hipótesis mediante la experimentación y la observación.
- III. La enunciación de la ley o la teoría derivada del último paso que sucede en la afectación de una de las hipótesis o bien alguna otra hipótesis que surgió a partir del proceso de investigación.

#### **El Origen del Universo**

Existen varias teorías respecto al origen del Universo, podemos mencionar por ejemplo Aristóteles afirmaba que el universo había existido siempre y que siempre existiría, la más conocida y acertada es la del Big Bang y se le atribuye a Edwin Hubble, y que se deriva de la teoría de la relatividad general, de acuerdo con esta teoría el universo se encuentra en etapa de expansión.

En términos simplistas la teoría del Big Bang afirma que en un tiempo el universo era una gran masa condensada que debido a una gran acumulación de energía potencial explotó liberando y transformándose en energía cinética.

La gran masa se fraccionó en miles de millones de fragmentos que actualmente son los cuerpos celestes que observamos en el firmamento y agrupamos en galaxias y sistemas solares que se separan cada vez más entre sí, esta misma teoría afirma que en un tiempo determinado el espacio tenderá a contraerse hasta llegar a su etapa inicial.

La estructura y/u organización del universo hasta donde se conoce son los siguientes sistemas: galaxias, cúmulos de estrellas, sistemas solares, planetas y satélites, también se pueden mencionar meteoritos y cometas.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 1*

## **2.2.2 Determinación del Tiempo Geológico y Datación Radiactiva**

### **Datación Cronométrica de la Tierra**

El tiempo geológico del planeta contempla todo el tiempo transcurrido desde el momento presente hasta el nacimiento de la Tierra. Durante décadas, la determinación de la edad de la Tierra y de los materiales geológicos ha sido uno de los mayores problemas encarados por ciencias como la geología, paleontología, paleogeografía o la antropología. Poco a poco se han ido descubriendo **métodos de datación** para situar de manera relativa o absoluta el material estudiado como estratos, glaciares, vestigios u otros restos históricos.

La superposición de estratos y su ordenación consecutivamente sería un método de datación relativa teniendo en cuenta de que los más antiguos están debajo de los más recientes. No produce medidas directas de tiempo, pero ha sido muy empleado para la datación de estratos sedimentarios.

## Definiciones

**Geología:** Es una ciencia que usa todos los conocimientos disponibles en un esfuerzo continuo por aprender los secretos que aun posee la tierra. También puede definirse como la ciencia que estudia el proceso y los mecanismos que forman la tierra, así como también los materiales que la integran.

**Geotecnia:** Término antiguo estudia los materiales en la corteza terrestre. También puede definirse como la disciplina que estudia los materiales de la corteza terrestre para fines de uso y aprovechamiento por el hombre.

**Mecánica de Suelos:** Es la disciplina de la mecánica aplicada que estudia el comportamiento del suelo para fines de diseño y construcción de cimentaciones y obras terreas. Según Terzaghi la mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y de la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas independientemente de que tengan o no contenido de materia orgánica.

La mecánica de suelos incluye:

- I. Teorías en los comportamientos de los suelos sujetos a cargas.
- II. Investigación de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos reales.
- III. Aplicación del conocimiento teórico y empírico a los problemas de la práctica de la ingeniería de cimentación.

**Mecánica de Rocas:** Ciencia teórica y aplicada del comportamiento mecánico de las rocas y es la rama de la mecánica relacionada con la respuesta de las rocas a los campos de fuerza de su medio físico. Otra definición es que la mecánica de rocas es la disciplina de la mecánica aplicada que estudia el comportamiento de las rocas para el fin de ingeniería.

**Roca:** Es una unidad compuesta por un agregado de minerales que forman una parte muy significativa de la corteza terrestre. Los tres grupos principales de roca son: ígnea, sedimentaria y metamórfica.

**Suelo:** Es todo agregado natural de partículas inorgánicas y orgánicas, desintegrables o separables por medios mecánicos de baja intensidad, por ejemplo: el agua. Generalmente al suelo se le asigna un límite arbitrario de entre 7 y 10 cm. como tamaño máximo de sus partículas.

El suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio hasta arenisca parcialmente segmentada o lutitas suaves.

**El origen de los suelos:** Estos son el producto de la desintegración mecánica y la descomposición química de roca y eventualmente materia orgánica.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 1*

## 2.2 GEODINÁMICA INTERNA

### 2.2.1 Constitución Interna del Planeta Tierra

La existencia de diferentes capas con distinta densidad en el interior de la Tierra se puede explicar por la fusión que produce el calor generado por la radiactividad natural desprendida de las rocas y por los impactos de meteoritos en las primeras etapas de la evolución del planeta.

La estructura interna de la Tierra (fig. 1) está compuesta por materiales muy densos y pesados en el centro, que se van haciendo más livianos a medida que se sube a la superficie.

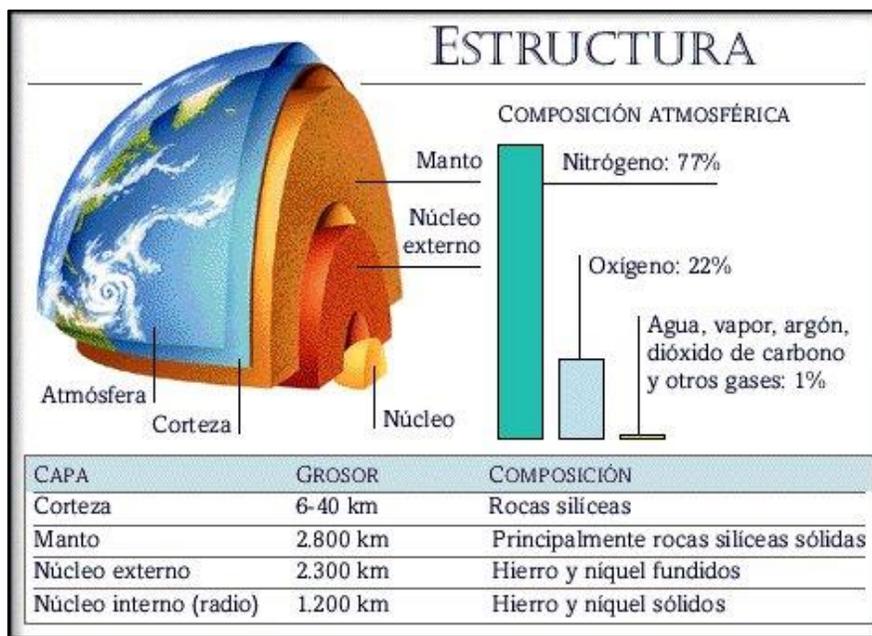


Figura 1 Estructura Interna de la Tierra

**CORTEZA:** La capa exterior está compuesta de silicatos y óxidos de aluminio que generan rocas livianas, bloques que flotan sobre la masa semi-líquida y viscosa de la Astenosfera y se desplazan. Posee una profundidad media de 33 km bajo los continentes y 10 km sobre los océanos. La capa rocosa exterior junto con la zona externa del manto forma la Litosfera.

**MANTO:** Se extiende hasta una profundidad de 2,900 km y está compuesto por una capa de minerales menos pesados: óxidos y sulfuros metálicos. A esta capa le sucede otra formada por silicatos y óxidos de magnesio que también se encuentra en estado ígneo, pero a temperaturas más bajas, porque ésta va disminuyendo desde el núcleo hacia el exterior.

**NUCLEO:** Se considera que el núcleo interno está formado por hierro y tiene un estado semifluido por lo que no hay transmisión de ondas sísmicas, mientras que el núcleo externo está compuesto por una mezcla de níquel, en cierta proporción, con hierro que se encuentra en estado incandescente. La parte exterior de dicho núcleo, por encima de los 5,100 km de profundidad, que parece ser líquido, es la fuente del campo magnético del planeta.



**Figura 2 Composición de las Partes que Forman la Estructura de la Tierra**

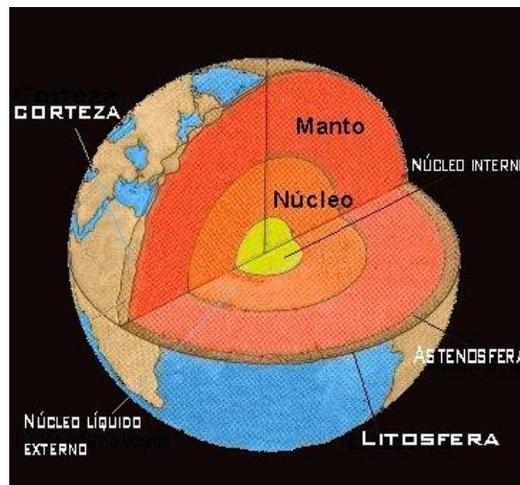
La corteza; la capa superior de la Tierra no siempre es la misma. La corteza que está por debajo de los océanos, tiene sólo unos 5 o 7 kilómetros de grosor y está formada por dos capas:

I. **La capa superior** representada por sedimentos con espesor no superior a los cientos de metros y la inferior o basáltica con un espesor de 4 a 10 km.

II. **La corteza continental** llega a alcanzar hasta 65 kilómetros de grosor formado por tres capas: la superior con capas sedimentarias cuyo espesor es de 10 a 15 km, la capa subyacente a la anterior es una capa granítica de 10 a 20 km de espesor, formada por rocas ígneas y metamórficas de composición ácida y finalmente una capa basáltica de 40 km de espesor.

Las placas tectónicas están formadas por la corteza terrestre y por la parte superior del manto que está por debajo. A la corteza y al manto superior se les llama litósfera, y pueden extenderse hasta 80 kilómetros de profundidad. La litósfera está dividida en placas gigantes que ajustan como piezas de un rompecabezas alrededor del globo terráqueo.

La astenósfera es maleable y puede ser empujada y deformada, debido al calor de la Tierra, como la plastilina. Estas rocas fluyen; moviéndose en respuesta al estrés que se les impone por los movimientos del interior profundo de la Tierra.



**Figura 3 Diagrama de la Astenósfera y Litósfera**

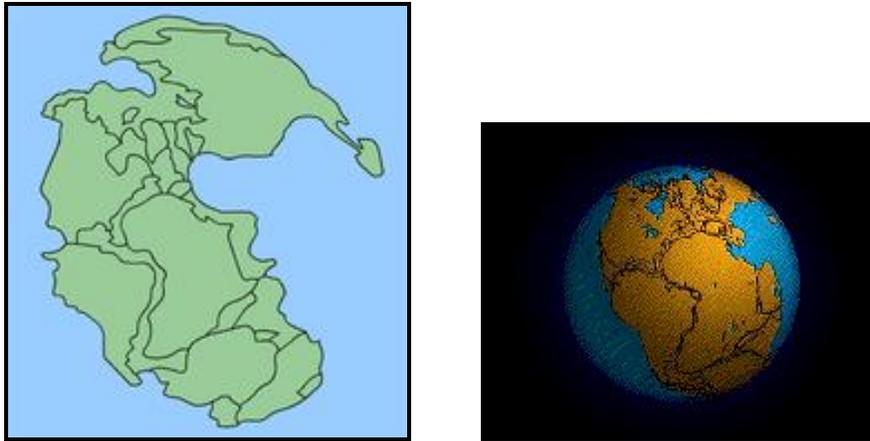
*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 13*

### 2.2.2 Pangea

Pangaea o Pangea cuyo significado es toda la tierra+es el nombre dado al supercontinente que se cree que existió durante las eras Paleozoica y Mesozoica, antes de que los continentes que la componían fuesen separados por el proceso de separación las placas tectónicas y conformaran su configuración actual. Este nombre aparentemente fue usado por primera vez por el alemán Alfred Wegener, principal autor de la teoría de la deriva continental, en 1920 (fig. 4).

Se cree que la forma original de Pangea fue una masa de tierra con forma de C distribuida a través del Ecuador. El cuerpo de agua que se cree fue conformado en la cresta resultante se ha llamado el Mar de Tetis. Ya que el tamaño masivo de Pangea era muy amplio, las regiones internas de tierra debieron ser muy secas debido a la falta de precipitación. El gran supercontinente habría permitido que los animales terrestres emigraran libremente desde el Polo Sur al Polo Norte.

Se estima que dicho proceso geológico se produjo hace aproximadamente 300 millones de años cuando de las aguas emergieron masas continentales, quedando todas unidas formando un solo cuerpo y rodeado por un único mar denominado Pantalasa. Se estima que, producto de los cambios y movimientos de las placas tectónicas, habría comenzado hace aproximadamente 200 millones de años el proceso de fragmentación de este supercontinente hasta lo que conocemos ahora como los continentes actuales. Dicho proceso geológico de desplazamiento de las masas continentales se mantiene en marcha hasta el día de hoy.



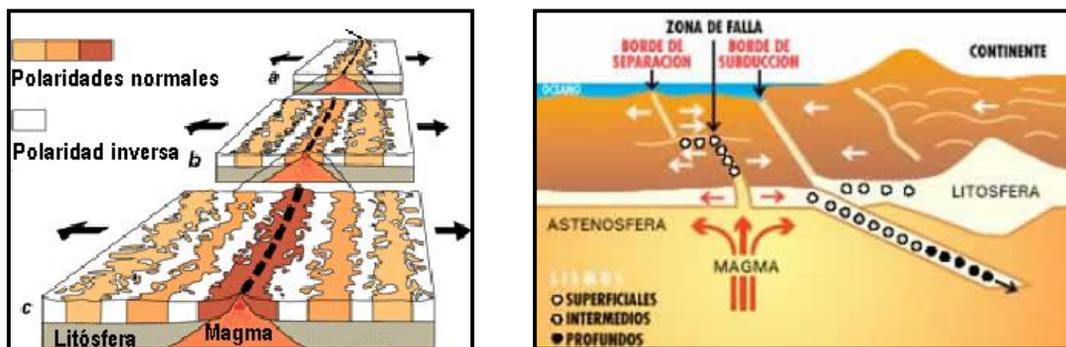
**Figura 4 Pangea**

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 13*

### 2.2.3 Tectónica de Placas y Sismicidad.

La teoría de la deriva continental de Wegener y verificaciones posteriores reconocen la existencia de dos placas que cubren la corteza terrestre y que se desplazan de manera relativa entre si de la siguiente manera:

- I. Las placas se deslizan frente a otra a lo largo de su margen.
- II. Las placas se mueven alejándose entre ellas.
- III. Dos placas se mueven entre ellas, una por debajo de la otra.



**Figura 5 Desplazamiento de Placas**

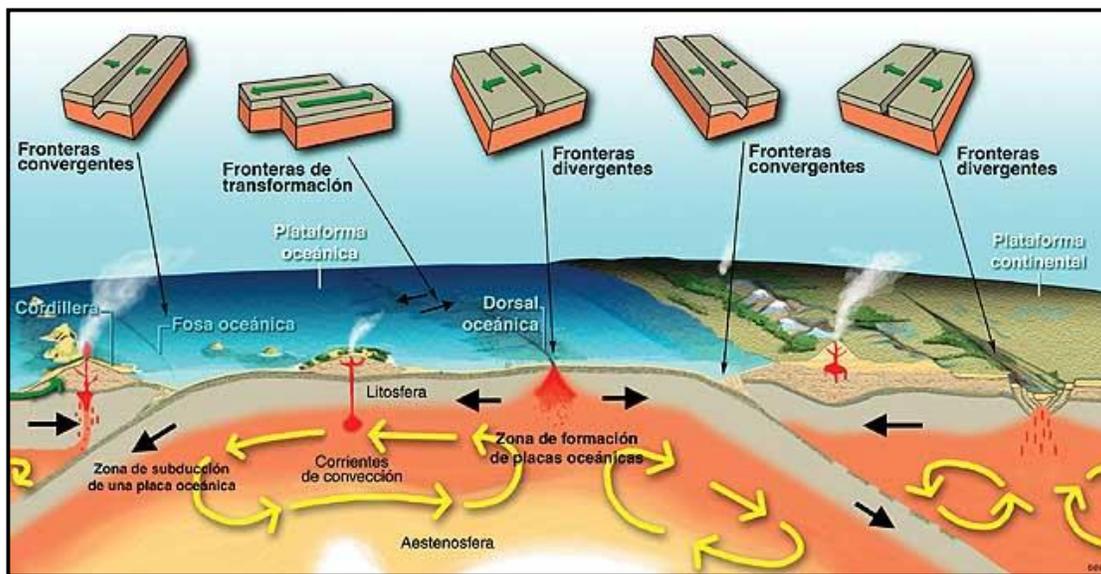


Figura 6 Desplazamiento de Placas (2)

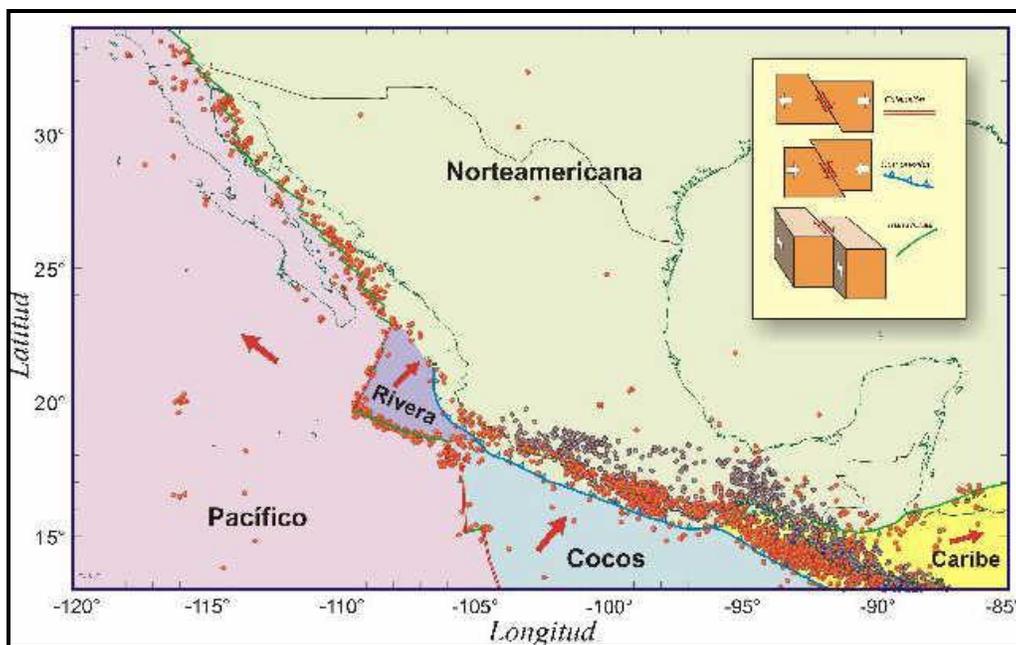


Figura 7 Placas que Atraviesan el Territorio Mexicano

SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 13

## 2.3 GEODINÁMICA EXTERNA

### 2.3.1 Rocas

Es una unidad compuesta por minerales que forma una parte muy grande de la corteza terrestre. Como característica muy importante los minerales que componen las rocas presentan una muy fuerte cohesión entre ellos, como resultados de fuerzas de origen molecular.

El origen de las rocas es el magma de la tierra que se enfría al contacto con la atmósfera (fig. 8). Debido a la dinámica que presenta la corteza terrestre, movimientos de placas principalmente, y a la dinámica atmosférica, agentes de intemperismo, las rocas cambian de estado o se transforman de acuerdo con el siguiente ciclo:

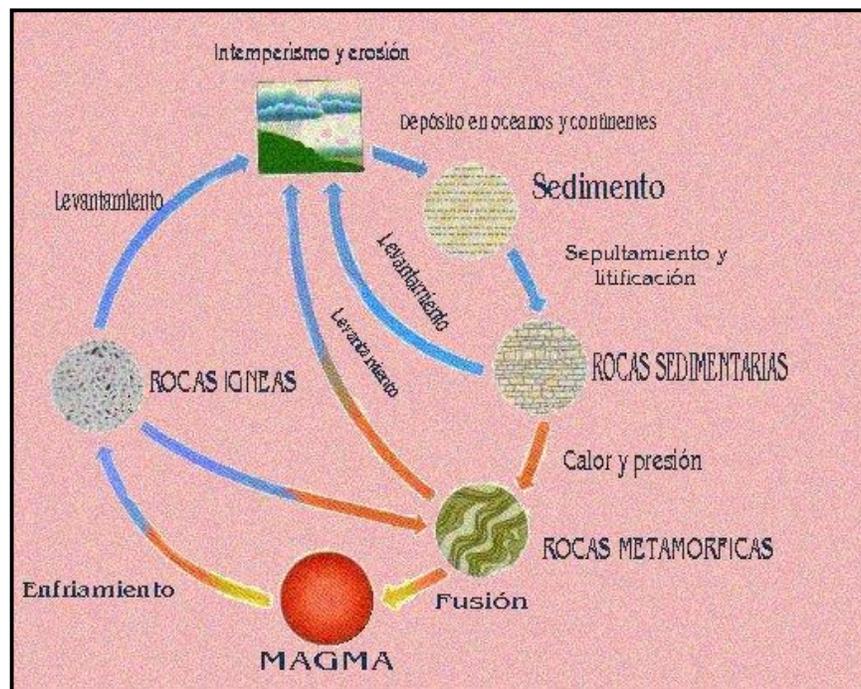
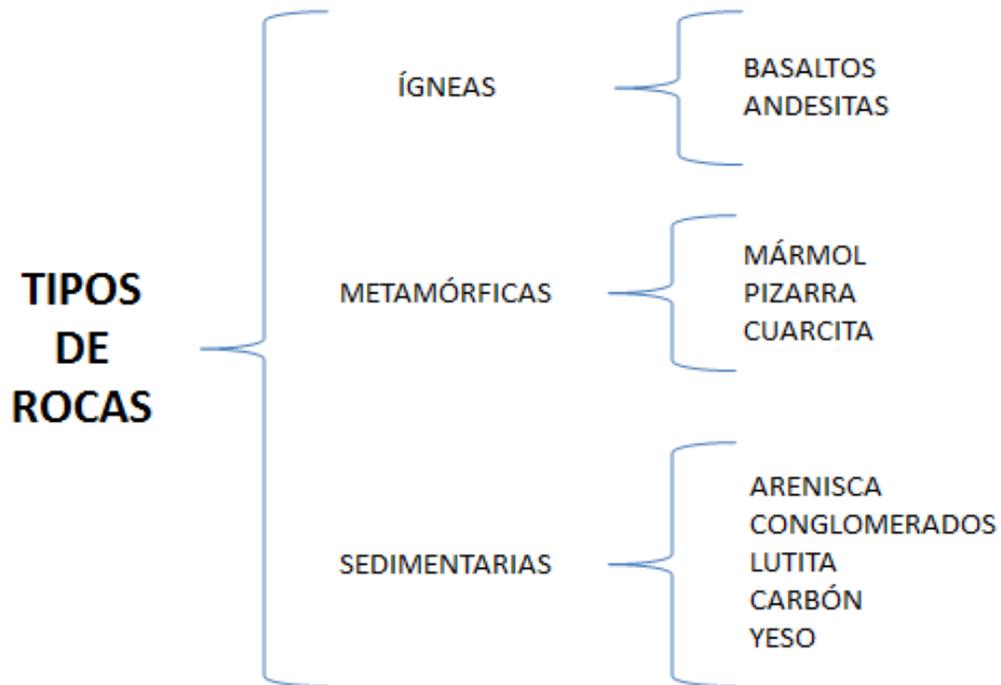


Figura 8 Origen de las Rocas



Figura 9 Ciclo de las Rocas



SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 13

### 2.3.2 Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico o ciclo del agua es el proceso de circulación del agua entre los distintos compartimentos de la hidrósfera. Se trata de un ciclo biogeoquímico en el que hay una intervención mínima de reacciones químicas, y el agua solamente se traslada de unos lugares a otros o cambia de estado físico.

El agua de la hidrosfera procede de la desgasificación del manto, donde tiene una presencia significativa, por los procesos del vulcanismo. Una parte del agua puede reincorporarse al manto con los sedimentos oceánicos cuando éstos forman parte de litosfera en subducción.

La mayor parte de la masa del agua se encuentra en forma líquida, sobre todo en los océanos y mares y en menor medida en forma de agua subterránea o de agua superficial. El segundo compartimento por su importancia es el del agua acumulada como hielo sobre todo en los casquetes glaciares antártico y groenlandés, con una participación pequeña de los glaciares de montaña.

Por último, una fracción menor está presente en la atmósfera como vapor o, en estado líquido, como nubes. Esta fracción atmosférica es sin embargo muy importante para el intercambio entre compartimentos y para la circulación horizontal del agua, de manera que se asegura un suministro permanente a las regiones de la superficie continental alejadas de los depósitos principales.

Los principales procesos implicados en el ciclo del agua son:

**Evaporación.** El agua se evapora en la superficie oceánica, sobre el terreno y también por los organismos, en el fenómeno de la transpiración, de manera que a menudo se alude al fenómeno combinado como evapotranspiración. Los seres vivos, especialmente las plantas, contribuyen con un 10% al agua que se incorpora a la atmósfera. En el mismo capítulo podemos situar la sublimación, cuantitativamente muy poco importante, que ocurre en la superficie helada de los glaciares o la banquisa.

**Precipitación.** La atmósfera pierde agua por condensación o sublimación inversa que pasan según el caso al terreno, a la superficie del mar o a la banquisa.

**Infiltración.** El fenómeno ocurre cuando el agua que alcanza el suelo penetra a través de sus poros y pasa a ser subterránea. La proporción de agua que se infiltra y la que circula en superficie depende de la permeabilidad del sustrato, de la pendiente y de la cobertura vegetal. Parte del agua infiltrada vuelve a la atmósfera por evaporación o, más aún, por la transpiración de las plantas, que la extraen con raíces más o menos extensas y profundas.

**Escorrentía.** Este término se refiere a los diversos medios por los que el agua líquida se desliza cuesta abajo por la superficie del terreno. En los climas no excepcionalmente secos, incluidos la mayoría de los llamados desérticos, la escorrentía es el principal agente geológico de erosión y transporte.

**Circulación subterránea.** Se produce a favor de la gravedad, como la escorrentía superficial, de la que se puede considerar una versión. Se presenta en dos modalidades: primero, la que se da en la zona vadosa, especialmente en rocas como son a menudo las calizas, la cual es una circulación siempre cuesta abajo; en segundo lugar, la que ocurre en los acuíferos en forma de agua intersticial que llena los poros de una roca permeable, la cual puede incluso remontar por fenómenos en los que intervienen la presión y la capilaridad.

El agua se distribuye desigualmente entre los distintos compartimentos, el proceso por los que éstos intercambian el agua se dan a ritmos heterogéneos.

El ciclo del agua disipa una gran cantidad de energía, la cual procede de la que aporta la insolación. Así, esos cambios de estado contribuyen al calentamiento o enfriamiento de las masas de aire, y al transporte neto de calor desde las latitudes tropicales o templadas hacia las frías y polares, gracias al cual es más suave en conjunto el clima planetario.



Figura 10 Ciclo del Agua

SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 13

### 2.3.3 Identificación de Minerales

Elementos más abundantes de la corteza terrestre:

MINERAL	SIMBOLO	EXISTENCIA EN (%)
Oxígeno	O	93.77
Potasio	K	1.83
Sodio	Na	1.32
Calcio	Ca	1.03
Silicio	Si	0.86
Aluminio	Al	0.47
Hierro	Fe	0.43
Magnesio	Mg	0.29

Se pueden identificar los minerales de acuerdo con sus propiedades químicas pero con mayor frecuencia se recurre a sus propiedades físicas.

1. Forma cristalina.
2. Dureza.
3. Peso específico.
4. Clivaje.
5. Color.
6. Raspadura.
7. Estriaciones.

**1) FORMA CRISTALINA.** Cuando un mineral crece sin interferencia desarrolla una forma cristalina característica que se hace evidente tan pronto como el cristal es suficientemente grande. Si su desarrollo se restringe de algún modo, la forma característica se distorsiona o modifica. Cada mineral tiene una forma cristalina característica producida por su estructura cristalina.



**A**



**B**



**C**

**Figura 11 Forma Cristalina de Minerales (A Æ Cuarzo, B Æ Diamante, C Æ Grafito)**

**2) DUREZA.** La dureza es otra propiedad física gobernada también por el arreglo atómico interno de los elementos de los minerales. La diferencia entre la dureza que presenta el grafito y el diamante se debe al enlace atómico del carbono. La dureza es la medida de la resistencia que la superficie tersa o suave de un mineral ofrece al ser rayado; podría incluso llamarse ***rayabilidad del mineral.***

**3) PESO ESPECÍFICO.** Cada mineral tiene un peso definido por  $\text{cm}^3$ . Este peso característico se describe generalmente comparándolo con el de un volumen igual de agua. El número resultante es lo que se conoce como peso específico o densidad de un mineral.

**4) CLIVAJE O CRUCERO.** El clivaje o crucero es la tendencia de un mineral a romperse conforme a direcciones preferentemente a lo largo de las superficies planas y tersas. Los planos de clivaje son consecuencias del arreglo interior de los átomos y representan las direcciones en que las ligaduras atómicas son relativamente débiles. El clivaje es una dirección de debilidad y la muestra de un mineral tiende a romperse a lo largo de planos paralelos a esta dirección.

**5) COLOR.** El color no es una propiedad segura para la identificación de los minerales, como presenta ciertas distinciones de carácter general, por ejemplo los minerales férricos; por lo común son de color oscuro. En el lenguaje geológico oscuro incluye: gris oscuro, verde oscuro, y negro. Los minerales que contienen aluminio como elemento predominante, son por lo general de color claro, término que incluye el púrpura, rosa profundo, amarillo y algunos tonos de café.

**6) RASPADURA.** La raspadura de un mineral es el color que este presenta cuando se le pulveriza. La raspadura puede ser muy diferente del color de la muestra a la cual se le practica la raspadura, por ejemplo: las muestras del mineral hematina, verde o negro. Pero la raspadura tiene un color café rojizo característico.

**7) ESTRIACIONES.** Algunos minerales comunes tienen líneas paralelas como fibras o bandas angostas llamadas estriaciones que atraviesan sus superficies. Se pueden ver claramente por ejemplo en los cristales de cuarzo. Nuevamente esta propiedad es un reflejo del arreglo interno de los átomos de los cristales.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 13*

### 2.3.4 Comportamiento Mecánico de las Rocas desde el Punto de Vista Geotécnico

El comportamiento mecánico de las rocas esta relacionado con su estructura cristalina. Las propiedades mecánicas de las rocas y en general de todos los materiales son los siguientes:

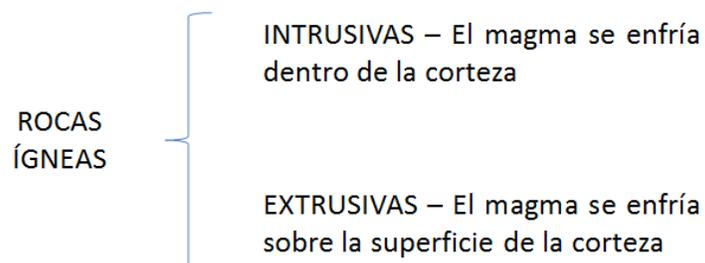
- **Resistencia:** Se puede definir como la capacidad para soportar carga.
- **Deformabilidad:** La capacidad de deformarse bajo la acción de carga o esfuerzos.
- **Permeabilidad:** La capacidad de permitir o no el paso del agua a través de su masa.

En general existe una asociación directa entre propiedades mecánicas y físicas. Por ejemplo: las rocas de mayor densidad presentan mayor resistencia, menor deformabilidad y menor permeabilidad. También la textura de la roca puede indicarnos de manera cualitativa sus propiedades mecánicas.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 13*

### 2.3.5 Rocas Ígneas y Vulcanismo

El origen de las rocas ígneas es la materia fundida y enfriada y constituyen la primera capa de la corteza terrestre.



## Formación de Rocas Ígneas

Las rocas ígneas que se encuentran en la corteza terrestre se forman de magma procedente de depósitos fundidos. Cuando el magma se derrama sobre la corteza se denomina y/o llama **lava**.



**Figura 12 Lava en la Corteza Terrestre**

Cuando los fragmentos solidificados de magma son arrojados violentamente se llaman materiales piroclásticos del griego pyro = fuego y clasia = vidrio o cristal.



**Figura 13 Fragmentos de Magma o Materiales Piroclásticos**

Las cenizas volcánicas endurecidas se llaman **tobas**.



**Figura 14 Tobas**

Una roca formada por fragmentos de roca volcánica empacada en ceniza endurecida se llama **brecha volcánica**.



**Figura 15 Brecha Volcánica**

Si los fragmentos de roca sólida son redondeados y se encuentran empacados en una matriz de ceniza volcánica se conocen como **conglomerado volcánico**.



**Figura 16 Conglomerado Volcánico**

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 13*

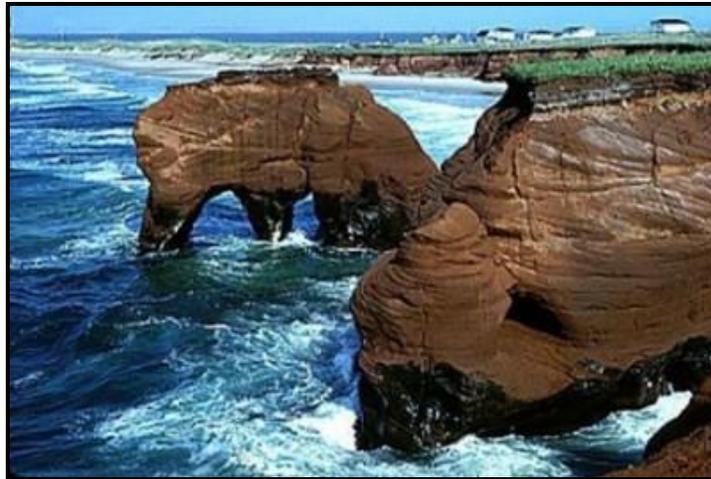
### **2.3.6 Intemperización y Erosión**

La intemperización o intemperismo de la corteza terrestre se efectúa por la acción del agua, viento y cambios climáticos actuando sobre las rocas. El ataque de las rocas y/o materiales de la corteza pueden ser mecánicos o físicos y químicos. Generalmente estos mecanismos se presentan de manera combinada, ocasionando la desintegración y descomposición de las rocas, produciendo fragmentos más pequeños hasta llegar a la formación de los suelos.

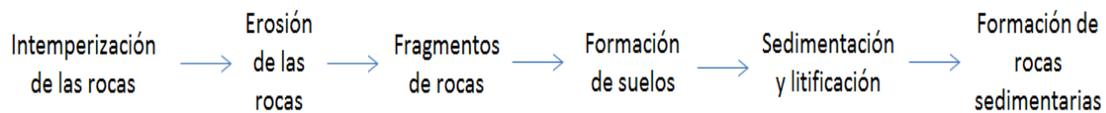
Y los agentes del intemperismo son principalmente el agua, el viento y los cambios climáticos. Finalmente, se puede concluir que el origen de los suelos es el producto de la desintegración mecánica y descomposición química de las rocas.

**Erosión:** Es el desgaste de las rocas y suelos debido al ataque de los agentes de intemperismo.

**Intemperismo:** En el caso particular de las rocas, es debido al ataque mecánico y químico en las mismas.



**Figura 17 Erosión e Intemperismo**



*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 13*

### **2.3.7 Rocas Sedimentarias, Formación de suelos, Correlación de los Estratos y Fósiles**

**Rocas sedimentarias:** Forman una capa de hasta 800m. Sobre los lechos de rocas ígneas y metamórficas. Constituyen el 5% de la corteza terrestre.

#### ***Composición:***

- Acumulación de arenas y detritos lodosos (derivados de las rocas más antiguas).
- Restos animales y vegetales. Calizas conchíferas, calizas coralíferas y carbón.

- Sedimentos por evaporación de agua y precipitación de minerales solubles, por ejemplo: las salinas.

**Desarrollo:**

- Los componentes de los sedimentos se endurecen y forman rocas sedimentarias, como arenisca, cuarcita, lutita y caliza.
- El agua se filtra a través de los poros acarreando materiales minerales que cubren los granos actuando como cemento, uniendo las partículas entre sí. Este proceso se conoce como cimentación. Ejemplo: las areniscas.
- En suelos finos, tales como limos y arcillas (partículas menores a 0.074mm) se forman lutitas o lodositos por compactación. Este proceso obedece al peso de los suelos que le subyacen, lo que produce su consolidación en donde el agua de los poros es expulsada.

**Diagénesis:** Así se denominan los cambios o alteraciones que sufren los sedimentos en sus etapas iniciales de litificación, moderadas o largas, a causa de la continua sedimentación sobre ellas o por la infiltración de aguas profundas, por lo que se desarrolla la consolidación o laminación de cierto tipo de rocas debidas a presión vertical y cambios de temperatura. Los procesos diagenéticos se clasifican en:

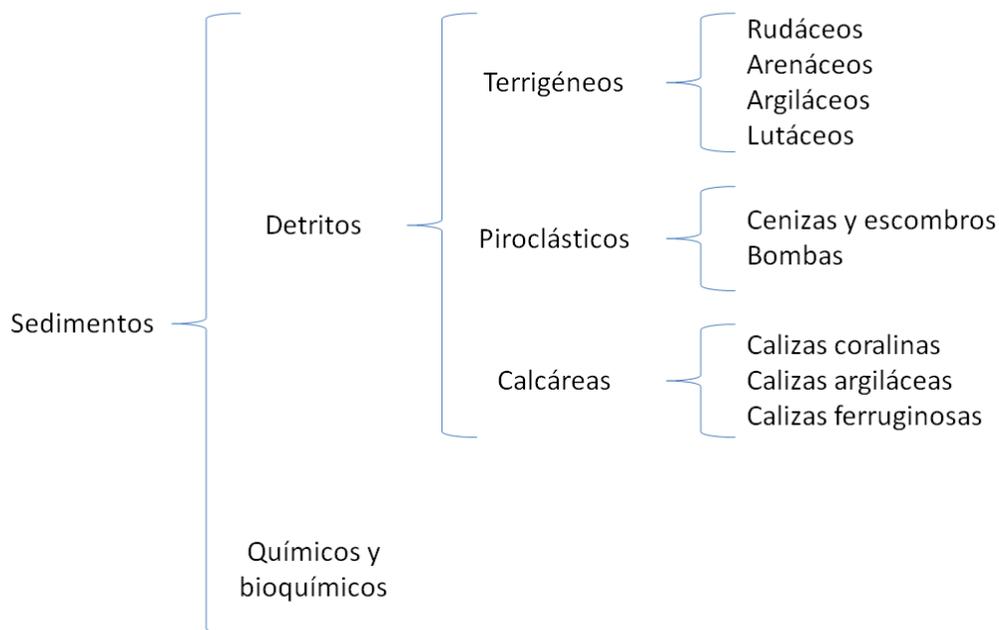
- a) **Autogénesis:** Desarrollo de nuevos minerales.
- b) **Cimentación:** Depósito de minerales en los intersticios de los granos.
- c) **Recristalización:** Cambios en la textura y en la estructura del sedimento.
- d) **Reemplazamiento:** Desarrollo de nuevos minerales.

### 2.3.8 Clasificación de los Sedimentos

Se consideran cuatro categorías de sedimentos:

- **Clásticos:** los sedimentos clásticos o detríticos provienen de otras rocas, ejemplos: grava y conglomerado, arena y arenisca, arcosas, grauvaca.
- **Químicos o Inorgánicos:** calizas.
- **Orgánicos u organógenos:** ciertas calizas y el carbón constituyen este grupo. Se derivan de fragmentos vegetales que se han cementado y compactado en capas de rocas. Ejemplos: pellets, carbón.
- **Mixtos:** son aquellas en las que intervienen una combinación de materiales de otros orígenes.

Clasificación de los sedimentos no consolidados y las rocas de las cuáles se derivan:





**Figura 18 Terrígenos**



**Figura 19 Piroclásticos**



**Figura 20 Calcáreas**



**Figura 21 Calizas**

**Metamorfismo:** Término empleado para indicar la transformación de las rocas en nuevos tipos de rocas, por recristalización de sus elementos constituidos. La palabra metamorfismo se deriva del griego: *meta=cambio+morfe=forma+*



*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 13*

## **2.4 CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS ROCAS SU COMPORTAMIENTO MECÁNICO E HIDRÁULICO**

Rasgos prominentes de la corteza por deformación de la misma:

- Planicies
- Mesetas
- Cadenas Montañosas

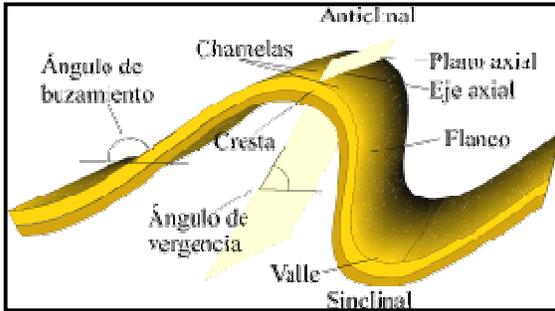
Características Estructurales:

- Pliegues
- Fallas
- Juntas
- Discordancias

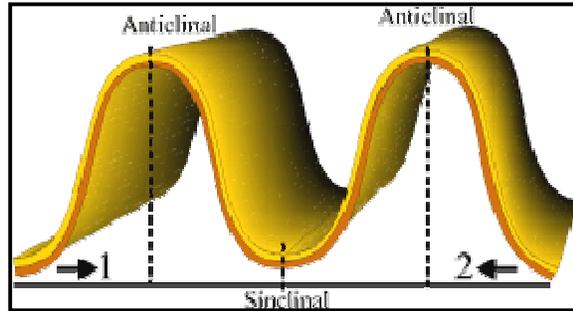
### **2.4.1 Pliegues**

Los pliegues son solamente arrugas que se producen en las rocas mientras se hallan en estado plástico y pueden tener desde unos cuantos metros hasta centenares de kilómetros de extensión. Los pliegues rara vez son estructuras aisladas y se presentan en grupos estrechamente relacionados.

Cuando las placas en un pliegue están arqueadas, de manera que se inclinan a uno y a otro lado con relación al borde central o eje, el pliegue es anticlinal. El pliegue opuesto al anticlinal es un sinclinal, en el que las capas se inclinan de los lados para adentro hacia el eje. Algunas veces estos pliegues son muy amplios y otros son apretados y angostos. También pueden estar inclinadas para un lado o hacia el otro de sus extremos.



**Figura 22 Partes de un Pliegue**

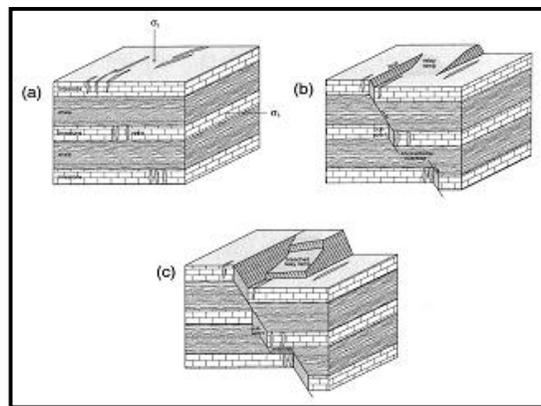
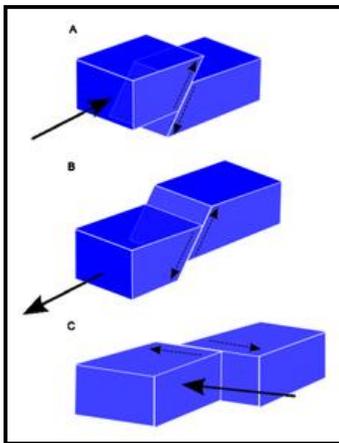


**Figura 23 Tipos de Pliegues**

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 13*

**2.4.2 Fallas**

Los movimientos de la corteza terrestre que forman los pliegues son tan lentos que pueden ajustarse a ellos sin ruptura de las masas de rocas. Cuando los movimientos de la corteza son de tal naturaleza que fractura una masa de roca y desplazan las secciones separadas se produce un rasgo estructural llamado falla. El desplazamiento que tiene lugar a lo largo de la mayoría de las fallas no se ve en la superficie.



**Figura 24 Tipos Fundamentales de Fallas**

**a) Falla inversa    b) Falla normal    c) Falla de desgarre**

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 13*

### 2.4.3 Juntas

La junta es una rotura de la masa de roca que no muestra ningún movimiento relativo de la roca fracturada a lo largo de la fisura observada. Las juntas se presentan como grupo de conjuntos, el espaciamiento entre ellas varía desde centímetros a metros. Por lo general las juntas aparecen horizontales y paralelas entre sí, pero también pueden exhibir patrones mixtos, horizontal con vertical y aún más, inclinado.

El patrón de las juntas horizontales se llama laminado. En este caso las juntas se presentan bastante próximas a la superficie pero se apartan a medida que aumenta la profundidad. La mejor teoría que pueda explicar el junteo en las rocas es la liberación de esfuerzos.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 13*

### 2.4.4 Discordancias

Es una relación geométrica entre capas de sedimentos que representa un cambio en las condiciones en que se produjo su proceso de deposición. En ausencia de cambios ambientales o de movimientos tectónicos, los sedimentos se depositan en estratos paralelas. Una discordancia es una discontinuidad estratigráfica, no hay paralelismo entre los materiales infra y subyacentes.

#### **Clasificación de los tipos de discordancias:**

**Angular.** Los estratos más jóvenes buzan un ángulo diferente a las más antiguas.

**Paralela.** Los estratos más jóvenes buzan un mismo ángulo que los antiguos.

**Inconformidad.** Discordancia entre rocas ígneas y metamórficas expuestas a erosión y que después quedan cubiertas por sedimentos.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 13*

## 2.4.5 Aplicaciones de la Geología en la Ingeniería Civil

### 2.4.5.1 Cimentaciones.

Una cimentación se define como la parte de una estructura que transmite al suelo su peso, de tal forma que este último no falle o se deforme excesivamente. Un conocimiento general de la geología de un sitio nos permite definir y/o determinar qué zonas o lugares de este sitio son los más indicados o adecuados para construir.

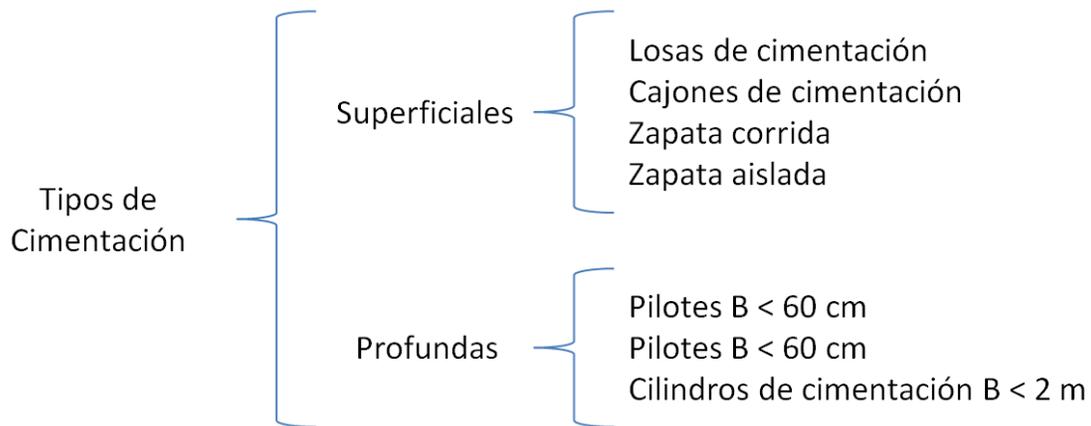


Figura 25 Zapatas Aisladas



Figura 26 Losa de Cimentación

**Cimentaciones profundas:** Cuando los estratos superficiales no tienen la capacidad de carga o resistencia suficiente para soportar la sobrecarga de las estructuras es necesario desplantar las cimentaciones en estratos más profundos, que generalmente tienen mayor resistencia.



**Figura 27 Pilas (Armado y colado de pilas í in situî )**

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 1*

## 2.5 INGENIERÍA DE TÚNELES Y PRESAS

Una presa es una obra de ingeniería civil que se construye a través de un curso de agua o río con el objeto de almacenar sus aguas. Una presa de almacenamiento consta de cuatro partes:

- Cortina
- Vertedor de excedencias
- Obra de toma
- Embalse

Los factores que intervienen en la construcción de una presa son los siguientes:

- Topografía . Forma y amplitud de la cuenca del embalse
- Geología . Tipos de rocas, fallas y banco de materiales
- Mano de obra indispensable
- Aspectos socioeconómicos de la zona

Algunos usos y beneficios de una presa son los siguientes:

- Irrigación
- Abastecimiento de agua potable
- Generación de energía eléctrica
- Navegación
- Recreación
- Acuicultura
- Vasos reguladores
- Tanques de enfriamiento
- Jales
- Salmueras
- Aguajes

### 2.5.1 Partes de una Presa y Obras Auxiliares

- ✓ **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 parte aguas.
- ✓ **Vaso de almacenamiento o embalse.** Abarca el área inundada a partir de la cortina y hacia aguas arriba. El nivel máximo que alcanza el agua, se conoce como Nivel de Aguas del Máximo Embalse (NAME).
- ✓ **Boquilla.** Es el estrechamiento a partir del cual se inicia el vaso o sitio estrecho en el curso de un río o arroyo. Su perfil tiene forma de  $\%+o\ \%d+$ .
- ✓ **Obra de desvío.** Son obras de carácter temporal, cuyo objeto es controlar adecuadamente las aguas del río durante la construcción de la cortina, por lo general son túneles aunque en caso de corrientes de poco caudal puede ser un canal.
- ✓ **Ataguías.** Son obstáculos o estructuras deformables a manera de cortinas pequeñas, que se construyen aguas arriba y aguas abajo del sitio donde se ubicará la cortina, para mantener seco el sitio de construcción.
- ✓ **Obra de excelencias o vertedor de demasías.** Estructura rígida que permite que los excedentes del agua almacenada pasen de nuevo al río, pueden tener además compuertas para aumentar el almacenamiento.
- ✓ **Obra de toma.** Estructura rígida provista de compuertas que permite la extracción de agua.
- ✓ **Obra de control.** Permite el manejo de los excedentes de agua.

**Cortinas de materiales sueltos:** Están constituidas por terraplenes de tierra y/o roca con un núcleo impermeable para controlar las filtraciones. Éste material consiste de material arcilloso o se usan pantallas de concreto o concreto asfáltico. 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 se producen por asentamientos producto de actividad sísmica o el peso de la estructura misma.

- a) **Cortinas de tierra:** Están constituidas por limo arenoso, arcilla o lutita compactada con una protección contra el oleaje aguas arriba. Se pueden construir en valles anchos o angostos, o sobre materiales de resistencia variable, desde competentes hasta incompetentes. Resisten disturbios sísmicos moderados y son económicas.



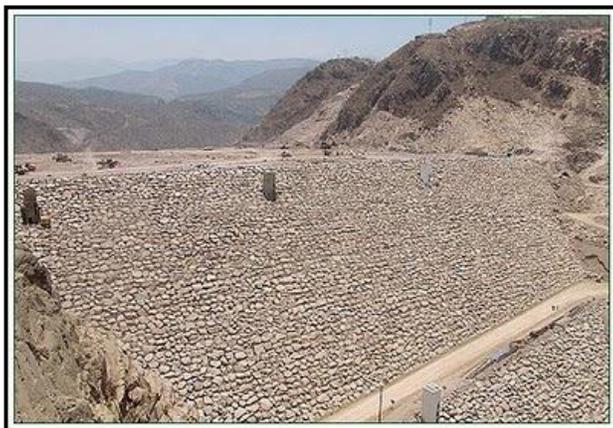
**Figura 28 Cortina de Tierra**

- b) **Cortinas de materiales graduados:** Consta de un núcleo central impermeable y de zonas de permeabilidad creciente del centro hacia los taludes. Puede construirse en casi cualquier roca de cimentación.



**Figura. 29 Cortina de Materiales Graduados**

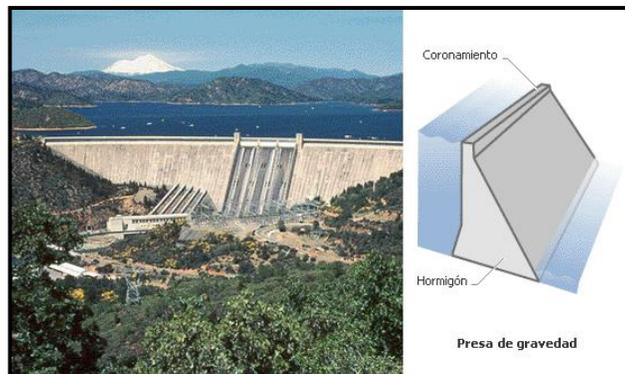
- c) **Cortinas de enrocamiento:** El material del cuerpo de la presa es rocoso. Para evitar filtraciones se colocan losas de concreto en el paramento aguas arriba, se pone un núcleo de material impermeable o se construye un muro de concreto o mampostería en el centro de la sección. Las rocas de cimentación deben ser estables y soportar el peso de la estructura. Son estructuras pesadas, estables sísmicamente y económicas.



**Figura 30 Cortina de Enrocamiento**

**Cortinas de materiales cementados:** Son estructuras no deformables de altura y peso variables, costosas y que requieren de cimentaciones sólidas, deben ser diseñadas para resistir actividad sísmica. No resisten asentamientos diferenciales y requieren estudios muy detallados del sitio. Pueden ser de concreto o de concreto armado Las más comunes son:

- a) **Cortinas de gravedad:** Resistien el empuje del agua por su propio peso y que por el efecto únicamente de éste, no pueden deslizarse ni volcarse. Tiene una forma triangular con excepción de la parte correspondiente a la corona. 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 la cimentación.



**Figura 31 Cortina de Gravedad**

En estas cortinas que son desplantadas o cimentadas sobre una platilla general, uno de los primeros fenómenos que hay que vigilar, es el efecto de la sub-presión. A mayor almacenamiento mayor efecto de sub-presión. Para evitar este efecto, se coloca una serie de drenes verticales. Las presas de gravedad se construyen de concreto por módulos independientes, apartados por juntas separadas unas de otras más o menos 15 metros.

- b) **Cortinas de arco:** Consiste en una placa gruesa arqueada, encajada o empotrada sobre tres lados. Soportan la mayor parte del empuje de agua, sobre los apoyos laterales llamados estribos. El terreno de cimentación está sometido a esfuerzos oblicuos inclinados. Son muy delgadas comparadas con su altura y pueden considerarse como una serie de anillos horizontales superpuestos de espesor creciente de arriba hacia abajo.



**Figura 32 Cortina de Arco**

- c) **Cortinas arco-gravedad:** Su forma aumenta la estabilidad. Se alcanza una economía de material de 30 a 40% sobre las cortinas de gravedad.
- d) **Cortinas de gravedad aligerada:** Es aquella en la cual se ha bajado el peso al quitar o eliminar concreto hasta el terreno de cimentación.



**Figura 33 Cortina de Gravedad Aligerada**

- e) **Cortinas de contrafuertes y de arcos múltiples:** Tiene una pantalla o losa impermeable inclinada hacia aguas arriba, sostenida por contrafuertes. La losa está organizada por dadas planas de concreto armado, provistas de juntas de dilatación. En algunas cortinas la losa está formada por un engrosamiento de los contrafuertes hacia aguas arriba. Se les llama contrafuertes de cabeza redonda. Los contrafuertes son cuerpos sólidos o vacíos, de concreto armado o no y a menudo ligados unos a otros por tirantes para evitar flambeo.



**Figura 34 Cortina de Contrafuertes y Arcos Múltiples**

A continuación se da una lista de las presas más importantes del país:

***El Caracol*** . Se localiza en el estado de Guerrero, alberga una construcción justo sobre un profundo cañón de la Sierra de Teloloapan. Mide 50 km de largo y cuenta con una cortina de 126 metros de altura.

***El Humaya*** . Su nombre oficial es Presidente Adolfo López Mateos y consiste en una cortina de roca localizada en La Chutama, Sinaloa. Aquí se puede realizar campismo, caminata y pesca.

***La Amistad*** . Está situada bajo la confluencia del río Devils con el Bravo a 23 km de Ciudad Acuña, Coahuila. Fue construida en 1969 como símbolo de amistad entre México y Estados Unidos.

**Las Adjuntas** . Su nombre oficial es General Vicente Guerrero Consumador de la Independencia Nacional, tiene una capacidad de 3,910 hectómetros cúbicos. Se localiza en el estado de Tamaulipas.

**Aguamilpa** . Está en el estado de Nayarit, a 45 km de Tepic, tiene una altura de 187 metros, es una de las más altas de Latinoamérica, se inauguró en 1993.

**Temascal** . Su nombre es Presa Presidente Miguel Alemán y es la más grande del estado de Oaxaca. Tienen una capacidad de 8,119 hectómetros cúbicos. Aquí es ideal para efectuar pesca deportiva.

**El Infiernillo** . Se sitúa en los municipios de Arteaga, La Huacana y Churumuco del estado de Michoacán y en el municipio de Coahuayutla del estado de Guerrero. Es un embalse en operación desde el 15 de junio de 1964.

**Nezahualcoyotl** . Se localiza en el estado de Chiapas, está ubicada cerca de Tuxtla Gutiérrez, también conocida como Malpaso y se terminó en 1964. Tiene una longitud de 160 km, un ancho máximo de 75 km.

**La Angostura** . Su nombre real es Doctor Belisario Domínguez y es la más grande del estado de Chiapas, alimentada por el río Grijalva. Fue terminada en 1974 y tiene una capacidad de 19,736 hectómetros cúbicos.

**Chicoasen** . Es una enorme planta hidroeléctrica localizada en Chiapas. Su nombre real es Presa Manuel Moreno Torres, se sitúa al final del Cañón del Sumidero, con una espectacular cortina de 262 metros de altura y es considerada la más grande de Latinoamérica.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 2*

## 2.5.2 Topografía

- **Primera fase:** Encontrar una boquilla lo más estrecha posible; hay que encontrar un sitio que presente una superficie mínima para la cimentación y un volumen mínimo para las excavaciones.
- **Segunda fase:** Se verifica que el valle ocupado por las aguas se amplíe 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.

La roca sana debe encontrarse tanto más profunda cuanto más estrecha sea la boquilla para permitir el paso del mismo volumen de agua. Por otra parte en un valle amplio, puede haber bajo el relleno aluvial, cauces profundos o antiguas, cauces secundarios labrados en la roca.

### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 2*

## 2.5.3 Geología

Las condiciones geológicas juegan un papel más importante en la construcción de una presa. Es el terreno en cierta forma el director de la obra, es él el que manda. Una presa está constituida de dos partes principales: la cortina artificial hecha a mano del hombre y la cortina natural que la prolonga en el terreno que la rodea y sobre la cual está cimentada. La más importante de las dos es la segunda, es en ésta que reside el riesgo más grande ya que 90% de las veces es ella la que falla.

Se trata, al investigar un sitio de describir una geología muy particular a pequeña escala, que tome en cuenta los siguientes factores:

- La resistencia mecánica del terreno.
- Equilibrio de los taludes.
- Las condiciones estructurales en relación con los estudios mencionados.
- Las condiciones de permeabilidad del terreno.

La construcción de una cortina de gravedad exige, de un terreno impermeable e incompresible, ya que es muy sensible a las sub-presiones y no es capaz de aceptar asentamientos diferenciales. La construcción de cortina de arco requiere de un sitio donde las rocas de los apoyos o estribos, presenten buenas condiciones de estabilidad.

En el caso de cortinas de contrafuerte y arcos múltiples, la condición esencial es que el terreno de cimentación sea de buena calidad. En los sitios donde hay riesgo de derrumbes en las laderas, la construcción debe estudiarse con el propósito de verificar y asegurar la inestabilidad. Estas cortinas no son vulnerables a una sobreelevación accidental del nivel de agua, se les construye sobre los ríos donde las crecientes o avenidas son peligrosas, estas estructuras soportan grandes variaciones de temperatura.

Las presas de concreto o de mampostería deben ser construidas sobre roca firme. Donde el espesor de los aluviones es muy grande la solución a adoptar es la de una cortina de enrocamiento o de tierra. Para una cortina de enrocamiento las condiciones esenciales implican no estar sujetas a asentamientos diferenciales ni a la erosión que provoque infiltraciones bajo la cortina. Las cortinas de tierra convienen sobre un terreno de cimentación rocoso, a condición de verificar su resistencia y asegurarse que no contenga materia orgánica ni arcillas expansivas o muy plásticas que corran el riesgo de ser expulsadas por el peso del dique o por la presión de las aguas del embalse. El sitio de cimentación debe ser cuidadosamente estudiado y explorado.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 2*

#### **2.5.4 El Vertedor**

Cuando se trata de un vertedor cavado o excavado sobre la ladera, 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. Aquellos 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 de vaciado de fondo, si son excavadas en roca, exigen como en el caso del vertedor la investigación geológica del terreno atravesado.

#### **Problemas Geotécnicos**

- Fenómenos de geodinámica.
- Filtraciones
- Resistencia de la roca o suelo
- Azolves, etc.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 2*

#### **2.5.5 Fenómenos de Geodinámica**

**Deslizamiento y reptación.** Al desplazamiento rápido de una masa de roca, suelo residual o sedimentos contiguos a un talud, en el cual el centro de gravedad de la masa en movimiento avanza en una dirección hacia abajo y hacia fuera. Un movimiento similar se presenta a una velocidad imperceptible es llamado

reptación. La velocidad en un deslizamiento típico se incrementa más o menos casi cero a por lo menos un pie por hora y luego disminuye a un valor más pequeño. Un fenómeno de reptación es un movimiento continuo que tiene lugar a una velocidad media de un pie por década.

Los deslizamientos en rocas competentes y no competentes se presentan a lo largo de ciertas discontinuidades. Los desplazamientos variarán de acuerdo con ciertas características que presentan dichas discontinuidades como son:

- Orientación.
- Rugosidad.
- Relación con la estructura geológica.
- Grado de saturación de agua.
- Características de fricción y relleno.

Las principales discontinuidades donde puede haber movimiento en masa del terreno son:

- a) **Estratificación y foliación:** Los deslizamientos ocurren comúnmente cuando existen rocas de distinta naturaleza. 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 impermeable. 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 es aquel en el cual las capas tienen un rumbo paralelo al curso del río, verticales o con echado hacia alguno de los márgenes.

- b) **Fracturas:** Bajo la acción de la gravedad, contribuyen a deslizar las masas de roca. Es necesario indicar además la abertura de las fracturas, así como si están rellenas o no.
- c) **Fallas:** Aparecen con menor frecuencia por lo que se recomienda estudiar su geometría, su relación con los tipos de roca involucrados, presencia de pliegues, edad, actividad y resistencia al corte, su origen y evaluación tridimensional.
- d) **Discordancias:** Se presentan cuando hay echados fuertes, superficies lisas, saturadas y roca alterada.
- e) **Límites saturados/no saturados:** Uno de los factores más importantes que originan deslizamientos es el cambio en el contenido de agua.
- f) **Base de rocas alteradas:** Las rocas que tiene un alto contenido de feldespatos y ferromagnesianos son muy alterables, lo que ocasiona la formación de arcilla que sirve como lubricante.

## *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 2*

### **2.5.6 Causas de los Deslizamientos**

Algunos factores que contribuyen al movimiento en masa del terreno son:

- La gravedad.
- Peso y distribución
- Carga y descarga
- Variación de 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
- Disminución de la resistencia con el tiempo.

## *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 2*

### **2.5.7 Medidas para prevenir Deslizamientos**

- Relleno.
- Reducción del ángulo del talud.
- Disminución del peso.
- Anclado de roca.
- Colocación de pilas.
- Uso de concreto alzado.
- Instalación de drenaje dentro del macizo rocoso.

**Filtraciones** - En la cortina el agua puede escaparse por los lados y por debajo de la misma y puede dar lugar a problemas como: tubificaciones, subpresiones o activación de fallas. Se debe considerar la presencia de algunos factores como:

- Cavernas, canales, fallas y fracturas interconectadas.
- Cauces sepultados.
- El fracturamiento de tipo tectónico.
- La solubilidad de la roca.
- Las rocas no solubles casi no presentan problemas de filtración a menos que se encuentren muy fracturadas.

Este fenómeno es consecuencia de la fractura, disolución o permeabilidad intrínseca de las rocas presentes en el sitio de la construcción. Para ello se realizan las pruebas de permeabilidad. Es recomendable la realización de estudios hidrogeológicos de la región.

#### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 2*

### **2.5.8 Características y Particularidades de Algunas Rocas**

- **Lutita y margas:** Estas rocas que pueden alterarse e hincharse al contacto con el agua, 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. Las margas, lutitas ricas en carbonato de calcio, son rocas de una calidad superior a las lutitas.
- **Las Calizas:** Tienen una resistencia tan grande como el concreto. Son estas rocas en las cuales el volumen de excavación es reducido al mínimo.

Cuando se hable de un terreno calcáreo hay que pensar en rocas que presentan fracturas o diaclasas. Si tales terrenos se encuentran en una región húmeda, la acción erosiva de las aguas subterráneas y su poder disolvente pueden producir un agrandamiento de las fracturas, planos de estratificación y diaclasas, formar cavernas y dar lugar a un terreno con topografía de tipo cavernoso. En las calizas, simples fracturas superficiales pueden esconder cavidades en el subsuelo. La presencia de calizas y de dolositas es motivo de temer a las infiltraciones.

- **Yesos y anhidrita:** Forman enormes fracturas agrandadas por disolución y enormes cavernas. Las aguas en contacto con rocas sulfatadas ejercen una acción muy agresiva sobre los cementos.

- **Las areniscas:** Su resistencia mecánica depende de la homogeneidad y naturaleza de los granos como del material cementante y del grado de cimentación. Las rocas formadas de este material ofrecen las mejores condiciones de estabilidad. Su naturaleza granular les da un ángulo de fricción interna muy elevado. En aquellas areniscas donde el cementante está constituido de arcilla o carbonato de calcio, puede producirse un desplazamiento bajo presión. En las areniscas interestratificadas con lutitas, si hay circulación de agua produce una acción lubricante. Puede presentar deslizamiento o asentamientos. 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.
  
- **Rocas ígneas intrusivas:** El granito y en general las rocas cristalinas sean ideales desde el punto de vista de su impermeabilidad. Las rocas cristalinas son atacadas por los agentes atmosféricos tanto mecánicos como químicos. En las rocas cristalinas, las zonas que pueden afectar desfavorablemente el sitio de una presa, son las zonas fuertemente trituradas y las zonas fracturadas.
  
- **Rocas volcánicas:** Los problemas presentados por estas rocas, resultan de la presencia de rocas de diferente naturaleza intercaladas. La construcción de presas en terrenos basálticos exige la determinación del nivel de aguas freáticas con respecto al curso del agua y al nivel máximo del futuro almacenamiento así como el estudio de condiciones estructurales y topográficas que controlen el escurrimiento de los mantos acuíferos.
  
- **Rocas metamórficas:** Si tectónicamente no han sido muy alteradas ofrecen condiciones satisfactorias para efectuar una cimentación. Los esquistos cristalinos pueden también considerarse como buenos en el sitio de construcción.

**Asentamientos.** Las cortinas ejercerán una presión sobre los materiales en que fueron construidas. En las de concreto se harán cuidadosas investigaciones. Si la roca de cimentación es firme y fuerte; pero si las rocas son débiles el problema de deformación bajo cargas pesadas puede ser crítico. Cuando la cortina se cimente sobre tipos de roca con módulos de elasticidad diferentes habrá dificultades.

**Bancos de material.** Una de las funciones más importantes de los estudios geológicos es la evaluación de los bancos de material. El estudio de los bancos se puede hacer, con pozos a cielo abierto, con perforaciones de diamante o con métodos geofísicos. El objetivo es determinar las características del material, el volumen aprovechable y los procedimientos de ataque más apropiados.

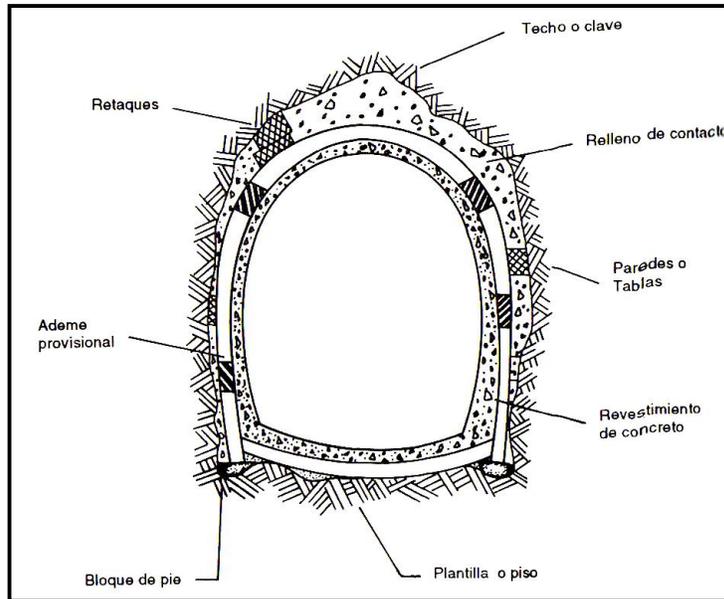
**Azolamiento.** Una forma de detener el material que es transportado por el río, es por medio de tratamiento de control de erosión de suelos en la cuenca y a través de campañas de reforestación.

## *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 2*

### **2.5.9 Túneles**

Un túnel es una obra que consiste en una excavación lineal subterránea de carácter lineal, cuyo objeto es la comunicación de dos puntos, para realizar el transporte de personas, materiales entre otras cosas. De acuerdo a su uso los túneles se clasifican de la siguiente manera:

- Para acceso a minas
- Para transporte carretero y ferroviario
- Para conducción de agua
- Militares
- Para acceso a bóvedas o cámaras subterráneas
- Utilidad pública, conductores de gas, eléctricos, telefonía, etc.



**Figura 35 Partes de un Túnel**

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 7*

### **2.5.9.1 Métodos de Excavación**

Los métodos convencionales de tuneleo también llamados clásicos, son operaciones cíclicas que en general tienen esta secuencia:

- Perforación
- Carga
- Explosión
- Rezagado
- Acarreo o escrepado
- Instalación de soportes

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 7*

### **2.5.9.2 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, han surgido varias interrogantes que se presentan al constructor de túneles:

- 1) ¿Se excavará el túnel completamente en roca sana o se encontrarán zonas intemperizadas o alteradas por acción hidrotermal o bien canales o cauces sepultados, rellenos con material permeable?
- 2) ¿Se obtendrá durante la excavación una sección limpia o habrá sobreexcavación?
- 3) ¿Será la roca fácilmente excavada y perforada o por el contrario habrá dificultades en la misma?
- 4) ¿Existen razones que den lugar a pensar en la posibilidad de desprendimientos de rocas grandes o pequeñas del techo del túnel? ¿Qué parte del túnel necesitará soportes o además y de qué tipo?
- 5) Si existen fallas, ¿qué posición guardan éstas con respecto al eje del túnel, que longitud lo afectan y cuál es la magnitud del afallamiento para que llegue a encontrarse roca triturada?
- 6) ¿En qué puntos y en qué 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 qué 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 está hinchando por liberación de esfuerzos, o bien se presentarán desprendimientos violentos de roca?

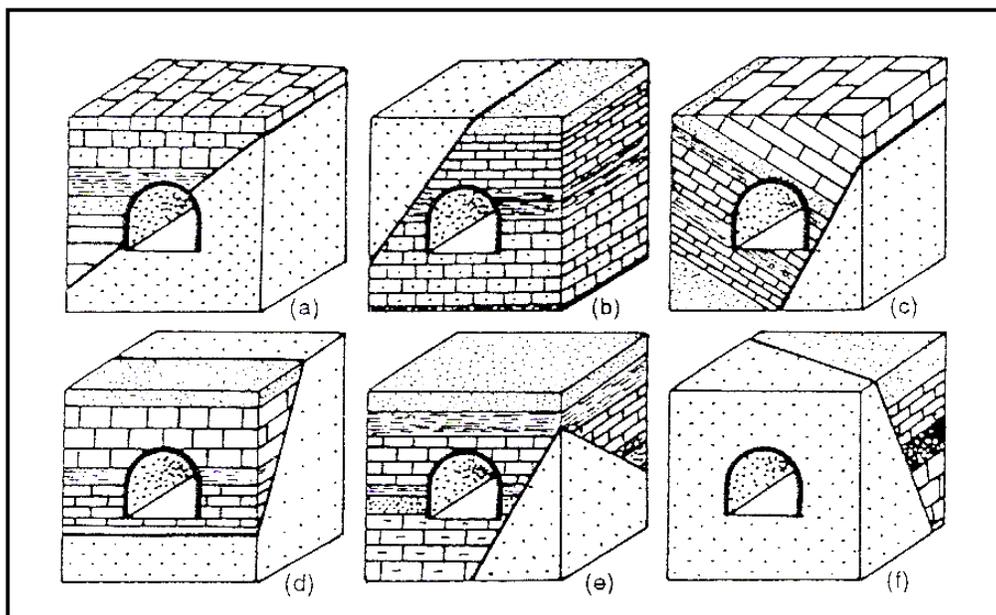
*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 7*

### 2.5.9.2.1 Fallas

En presencia de fallas, se debe conocer la posición que guardan éstas con respecto al eje del túnel y la longitud 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.

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, de acuerdo con el sentido de los esfuerzos y la orientación de la superficie de corrimiento respecto al túnel.

Es aconsejable tratar de atravesar las fallas perpendicularmente, para disminuir el área con problemas; y si por necesidades del proyecto es preciso seguirlo paralelamente, conviene que la obra se encuentre lo más alejada posible de ellas.



**Figura 36 Posiciones de un Túnel respecto a una Falla**

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 cohesión, como la salbanda que tiende a aumentar su volumen y produce desplazamientos o roturas en el revestimiento. Asimismo puede hallarse milonita, material impermeable susceptible de dificultar o detener el movimiento de las aguas subterráneas de uno a otro lado de la falla y que provoca fuertes cargas hidrostáticas sobre el túnel.

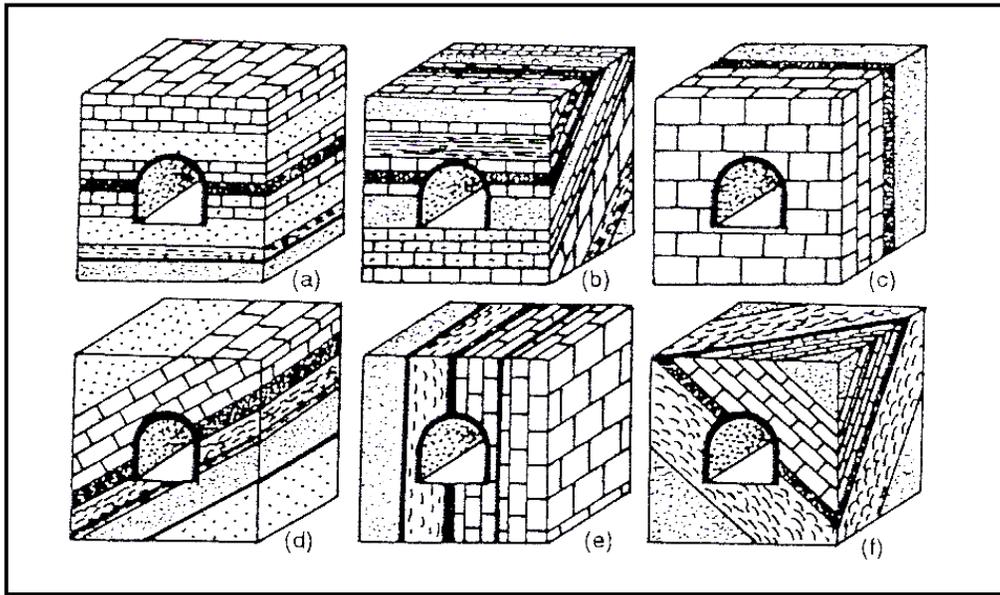
Las fallas pueden constituirse en planos de debilidad y por lo mismo de deslizamiento. Es posible también que en estas estructuras se conviertan en vías de acceso o salida de agua del túnel, si es que están abiertas o rellenas de material permeable.

#### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 11*

##### **2.5.9.2.2 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. El revestimiento en ocasiones experimenta presiones verticales más o menos uniformes (a, b y c), en otras los estratos oblicuos producen una concentración de presiones en uno de los lados del túnel (d y f), así como también se puede concentrar la presión en la clave del arco (e).



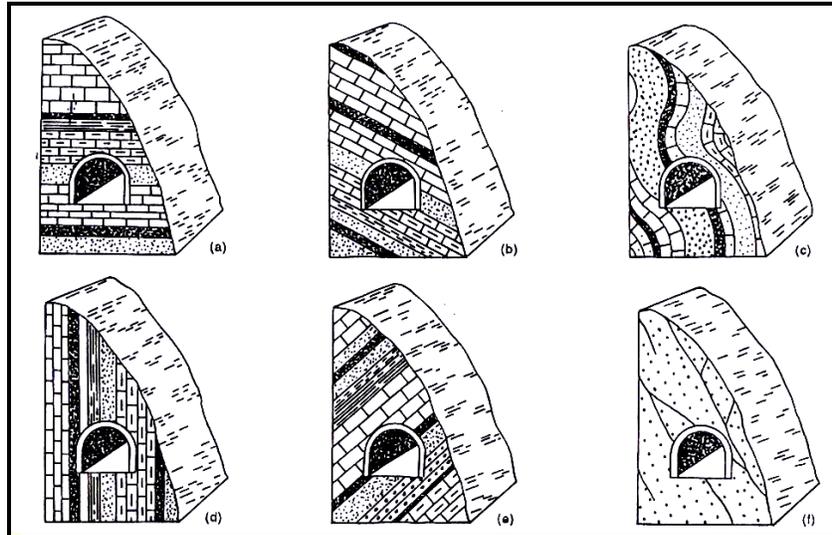
**Figura 37 Influencia de la Estratificación en el Revestimiento de un Túnel**

Las rocas con estratificación inclinada pueden presentar problemas de estabilidad, sobre todo si se encuentran alteradas, afalladas o fisuradas. Además 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, se hallaran 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.

Si los estratos son verticales y se construye un túnel perpendicular al rumbo, cada estrato puede actuar como una viga lo cual da mayor estabilidad; 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, éstos pueden separarse en bloques y deslizarse sobre todo en los portales de entrada y salida.



**Figura 38 Localización adecuada de Túneles**

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 11*

### **2.5.9.2.3 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 están más deformados debido al plegamiento y por tanto más fisurados que los estratos inferiores de la estructura, por lo que es aconsejable tratar de situar el túnel a una profundidad en la cual el fracturamiento no tenga consecuencias.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 7*

#### **2.5.9.2.4 Filtraciones**

Al construirse un túnel pueden variarse las condiciones hidrológicas del sitio, por lo que se tratará de conocer la posición del nivel freático del agua dentro del macizo rocoso. 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.

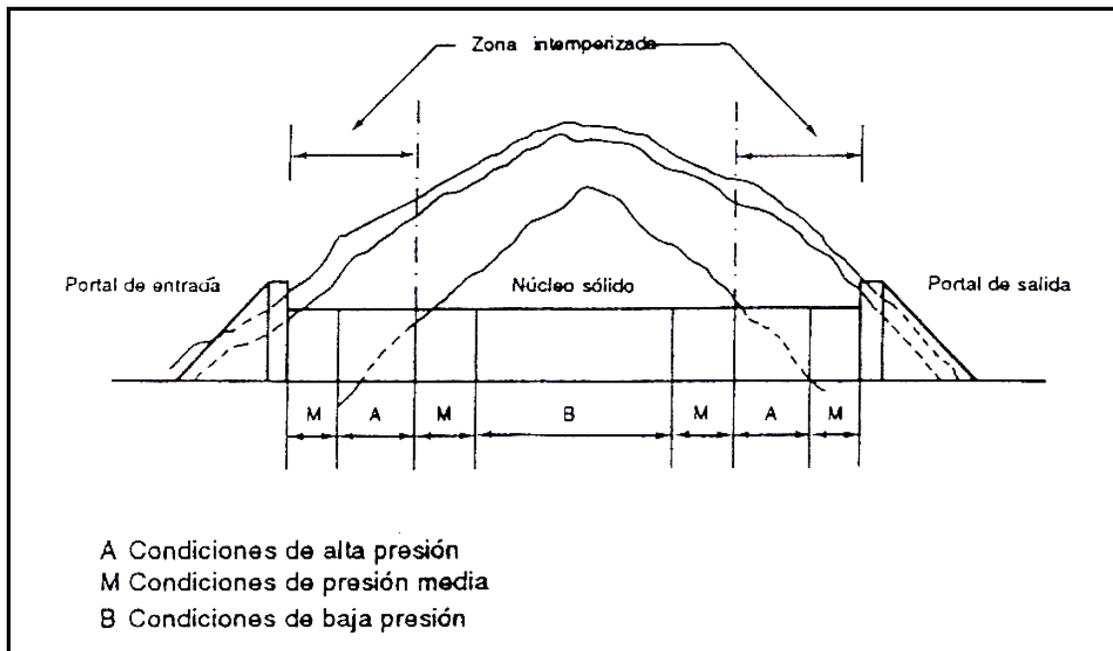
La presencia de agua dentro del túnel ocasiona problemas en los trabajos de construcción, pues puede penetrar de diferentes modos, ya sea por goteo, como corriente continua a través de las paredes de la perforación o bien a gran presión si esta confinada. Las zonas de falla, según sus características, se pueden comportar, o bien como un umbral impermeable que impida el paso del agua, o como un buen acuífero. En estos lugares 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, dolomías, yesos y rocas volcánicas como los basaltos fracturados, siempre tienen una elevada permeabilidad. Se debe vigilar que las aguas no contengan sales sulfúricas o alguna otra sustancia que reaccione con el cemento.

#### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 7*

#### **2.5.9.3 Naturaleza de la Roca o Suelo en los Portales de Entrada y Salida**

Por lo regular es en estos lugares, donde para poder encapillar la obra, es necesario remover un gran volumen de materiales, sobre todo cuando estos portales corresponden a sitios con rocas de fácil alteración, zonas de falla, estratificadas con una posición no favorable al eje del túnel o con movimiento en masa del suelo.



**Figura 39 Zona Intemperizada en Portales de Entrada y Salida**

Es conveniente para localizar los 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.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 8*

#### **2.5.9.4 Rocas Sometidas a Esfuerzos (Bufamientos y Reventones)**

En el caso de túneles profundos y en terrenos donde hay rocas de naturaleza arcillosa como tobas, lutitas, esquistos micáceos y pizarras, llegan a presentarse deformaciones poco tiempo o inmediatamente después de abierta la obra, las cuales 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 a su vez se ponen en contacto con agua o humedad proveniente de la misma formación rocosa. A veces dichos 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 anhidrita también en presencia de agua se transforma en yeso, con un aumento de volumen de hasta el 20%, lo cual genera presiones sobre el ademe o revestimiento definitivo y lo lleva a su destrucción.

El caso de los reventones ocurre también en túneles con una profundidad mayor de 150 metros 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 y acarrea algunas veces un volumen considerable de roca.

#### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 8*

##### **2.5.9.5 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 35 metros, aunque puede ser modificada por la acción o proximidad de cuerpos intrusivos cercanos, por acción volcánica reciente o bien la presencia de rocas fisuradas o muy porosas aumenta el valor del gradiente.

Los datos más sugerentes de la existencia de agua con alta temperatura en una obra subterránea es la presencia de manantiales termales o de vapores de

agua. Cuando en un área se realizan 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 si bien no es tóxico es explosivo e inflamable. Entre los gases que se pueden considerar tóxicos se encuentra el bióxido de carbono que en cantidades de 15 a 20% llega a ser mortal. Este gas se encuentra en regiones de actividad volcánica reciente aunque también es el producto de la oxidación de materiales carbonosos.

#### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 8*

##### **2.5.9.6 Exploración de Túneles**

De acuerdo con Szechy, 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 pueden afectar la magnitud de los esfuerzos en la roca, a lo largo de la localización propuesta.

A continuación se presenta una tabla con los métodos de exploración más recomendables de acuerdo con las diferentes etapas de investigación que se realizan durante la construcción de un túnel.

Etapas de investigación	MÉTODOS DE EXPLORACIÓN						
	DIRECTOS				INDIRECTOS		
	Levantamiento geológico	Pozos a cielo abierto y trincheras	Túneles y socavones	Perforaciones	Fotogeología	Métodos geoelectrónicos	Métodos geosísmicos
Selección del eje del túnel	X				X		
Exploración detallada	X	X	X	X		X	X
Construcción de la obra	X		X	X		X	X
Operación de la obra	X			X		X	X

**Métodos de Exploración para Túneles**

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 7*

## **2.6 LA GEOLOGÍA EN EL ESTADO DE VERACRUZ**

Se estima que el 60% de la ciudad de Veracruz se encuentra ubicada en un área sensiblemente plana o de pendientes suaves que abarca una franja paralela a la línea de playa, con un ancho variable entre 1 y 2 Km. Las pendientes de los médanos no exceden de los 30° a 35°, y la superficie que ocupan no debe exceder del 20% de la correspondiente a la ciudad de Veracruz. El estado de Veracruz ha sido conformado por factores geológicos: orogénicos, tectónicos y volcánicos.

### **2.6.1 Fisiografía**

La Zona Conurbada Veracruz . Boca del Río (ZCV), se localiza en la Llanura Costera del Golfo de México. Esta llanura se extiende desde Florida hasta Yucatán. Al norte y al sur del estado de Veracruz, la llanura está cortada por la zona neo-volcánica y por el macizo de los Tuxtlas. El estado de Veracruz abarca áreas que corresponden a 7 provincias fisiográficas de la Llanura Costera del Golfo de México (fig. 40):

1. Llanura costera del Golfo.
2. Sierra Madre Oriental.
3. Eje neo-volcánico.
4. Sierra madre del sur.
5. Llanura Costera del Golfo Sur (a la que pertenece la ZCV)
6. Cordillera centroamericana.
7. Sierra de Chiapas y Guatemala.



**Figura 40 Localización de la ZCV en la Fisiografía del Estado de Veracruz**

La provincia de la llanura costera del golfo sur se extiende desde Palma Sola hasta el río Tonalá, quedando interrumpidas por las elevaciones del eje neovolcánico y por la sierra de los Tuxtlas. Es una llanura con fuertes aluvionamientos por parte de los ríos más caudalosos del país; Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva, Usumacinta. La mayor de su superficie, a excepción de los Tuxtlas y algunos lomeríos bajos, está muy próxima al nivel del mar y cubierta de material aluvial. Su granulometría es variada, hay lacustres, palustres, eólicos, litorales y aluviales, estos suelos son depósitos más recientes.

Estratigráficamente, la unidad de conglomerados del terciario que se distribuye al oeste de la ciudad de Veracruz es de origen continental y está bien constituida por clásticos de rocas preexistentes. Su expresión morfológica es de lomeríos de pendientes suaves.

En lo que respecta a la geología estructural existen amplios plegamientos anticlinales y sinclinales de echado suave, cuyos ejes siguen la dirección noroeste sureste, también se encuentran fallas de tipo normal y fracturas calcáreas del cretácico en la porción sureste del estado.

Esta provincia está representada por áreas que forman parte de dos sub-provincias y una discontinuidad:

- a) Llanura Costera Veracruzana.
- b) Llanuras y pantanos tabasqueños.
- c) Discontinuidad fisiográfica de la Sierra de los Tuxtlas.

La sub-provincia de la Llanura Costera Veracruzana, ocupa una extensión de 27,001.17km<sup>2</sup>, comprende 21 municipios: Veracruz, Alvarado, Medellín, Boca del Río, Tlacotalpan, etc.

En esta llanura está ubicada la cuenca del río Papaloapan. Esta sub-provincia se divide en tres regiones:

- a) Llanura Costera Aluvial.
- b) Sistemas de lomeríos del oeste.
- c) Sistemas de lomeríos al sur y sureste.

La región de la Llanura Aluvial, que es donde se ubica la ZCV, es angosta en el norte, con una importante área alargada de dunas costeras cerca del Puerto de Veracruz; se ensancha en forma considerable a la altura de Boca del Río, donde desemboca el Río Jamapa.

La ZCV está constituida por conglomerados y suelos de origen sedimentario, los primeros cronológicamente se formaron en el periodo terciario de la era cenozoica, y los suelos en el periodo cuaternario de la misma era.

Los grandes procesos formativos de la ZCV fueron dos:

- I. Por la acción marina y eólica sobre el litoral y dunas, lo que favoreció la formación de un litoral con playas y anteplayas, además, una conformación inestable y activa de dunas cuya tendencia es de mantenerse o incrementarse.
- II. Por los cambios de la actividad fluvial, el Medio y Jamapa; lo que influyó en la formación de las terrazas fluviales. Llanuras de inundación antigua del Río Medio, llanura de inundación moderna del Río Jamapa, terraza fluvial antigua estable, terraza fluvial antigua inestable.

La funcionalidad de la dinámica fluvial activa del Río Jamapa y los escurrimientos tributarios conforman el medio marino de las lagunas litorales. Entre los dominios de la dinámica litoral y el inicio superficial de las terrazas fluviales se encuentran los terrenos de interfase y cambio, dando como resultado que el área se forme en una estructura sedimentaria marino. En la última fase geológica se dio la progresiva invasión de sedimentos en los acuñamiento y proporcionaron el almacenamiento de aguas dulces subterráneas en los sedimentos deltaicos.

La ZCV posee dos zonas básicas:

1. Un cordón litoral, donde se encuentran extensos campos de dunas.
2. Una serie de planicies inundables y lomeríos que corresponden a los deltas antiguos.

El cordón litoral está sujeto a una influencia marina directa, que transportan volumen de sedimentos arrastrados por el oleaje y depositados sobre la playa y de ahí por influencia eólica que los arrastra y lleva hacia el continente, y forma en él un extenso campo de dunas aún activas.

A lo largo de todo el litoral, especialmente al noroeste y sureste de área urbana existen zonas altamente inestables constituidas por dunas, muchas de ellas en estado móvil, como las que se encuentran en el área de la playa norte, y a lo largo de la carretera a Antón Lizardo.

Dentro de la ZCV, las áreas que se encuentran cubiertas por dunas o médanos, constituyen llanuras de inundación de los ríos, estas llanuras se caracterizan por presentar una baja altitud sobre el nivel del mar, lo que provoca que, en zonas ya urbanizadas, el drenaje subterráneo y superficial sea muy lento y que en épocas de lluvias gran parte del agua quede estancada durante largo tiempo, provocando inundaciones.

Fuera del campo de dunas y por debajo de esta formación, se encuentran los paquetes de sedimentos fluviales del frente deltaico de los ríos Medio y Jamapa, los cuales fueron deprimidos por subsidencia y el peso de los materiales eólicos del chao de dunas que los obligó a acuñarse en el umbral del frente litoral, por lo cual generaron en confinamiento aguas dulces que son parte de las que se usan en la actualidad para la ciudad. Aguas arriba de los umbrales con el límite de frente de dunas, las terrazas fluviales ofrecen de acuerdo con su edad diferentes grados de estabilidad.

#### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 4*

### **2.6.2 Morfología**

Morfológicamente hablando, en la ZCV se localizan seis zonas (fig. 41):

- **Arenisca-conglomerado, T (ar-cg)** - Correspondiente a una secuencia continental de conglomerados, el esqueleto lo forman clastos redondeados a sub-redondeados. En una matriz arenosa. Las areniscas son de grano medio a grueso de color gris y pardo claro. Esta unidad subyace a calizas,

donde se presenta brechoide; subyace a balastros, tobas básicas y conglomerados cuaternarios. La morfología es de extensas terrazas disectadas y acantiladas. Los depósitos mencionados son explotados y aprovechados como materiales de construcción, obteniéndose grava y balastro.

- **Depósito de coral, Q (c)** - Formados a partir de pólipos se presentan frente a la costa de la ZCV, principiando por la ciudad de Veracruz y terminando en Punta Antón Lizardo. Los arrecifes de la costa de Veracruz presentan características particulares, clasificándose éstos como arrecifes diseminados, desplantados sobre una superficie llana denominada suelo marino o plataforma continental; los arrecifes están compuestos por madrepora y conchas de moluscos.
  
- **Depósitos aluviales, Q (al)**- Originados por la acción fluvial, hacia la porción occidental, son suelos poco consolidados de arena gruesa a ligeramente gravosos, compuestos por vidrio volcánico, feldespatos, micas y fragmentos de roca; hacia la planicie costera, los suelos son limo arenosos y gran contenido de limos. En la ZCV los afloramientos de estos materiales se caracterizan por ser la zona de inundación en la que no existía desarrollo urbano.
  
- **Depósitos lacustres, Q (la)** - Están constituidos por limos, arenas y materia orgánica, que se forma en las zonas lagunares. Los afloramientos de estos materiales se localizan alrededor de la laguna de Mandinga.
  
- **Depósitos de playa, Q (p)** - Se encuentran entre las dunas y el mar, presentan una ligera pendiente hacia la costa y están constituidos por arenas limosas y poco limosas con restos de conchas y fósiles, depositadas por la acción de la alta marea. Los afloramientos más importantes de estos materiales se localizan en el centro de la ciudad de Veracruz y a lo largo de la costa litoral de la ZCV.

- **Depósito Eólico, Q (eo)** - Unidad formada por el acarreo y retrabado de arenas litorales por acción eólica. Estos materiales están constituidos por arenas y arenas limosas de grano medio a fino, forman lomeríos. Sobre estas dunas está construida la parte alta de la ciudad de Veracruz.

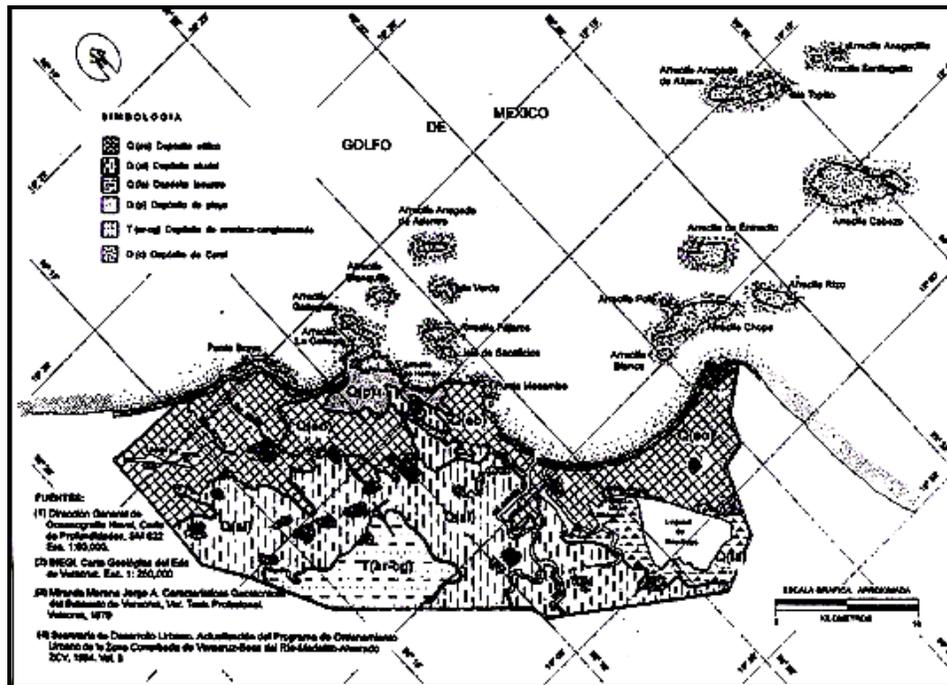


Figura 41 Zona Arrecifal frente a la ZCV

## SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 4

### 2.6.3 Sismicidad

La capa dura exterior de la tierra de 40 km de espesor medio y máximo de 70km, está fragmentada en siete placas. Los científicos comprobaron que las placas se mueven sobre un fondo de roca semi-hundida. La tierra puede dividirse en tres grandes capas concéntricas: corteza, manto y núcleo. Las placas litosféricas flotan sobre el manto desplazándose debido a la energía calorífica procedente de las profundidades de la Tierra.

La actividad sísmica obedece a la actividad tectónica. En nuestro país la actividad sísmica es menos intensa en las Costas del Golfo que en el Litoral del Pacífico. Algunas zonas consideradas asísmicas en la Costa del Golfo de México, son estremecidas en algunas ocasiones por fallas geológicas como la que constituye el Cinturón de Fuego, entre las fallas de Zacamboxo y Clarión, que van desde los estados de Jalisco y Colima hasta Veracruz, así como la falla Transísmica.

Entre las fallas de Zacamboxo y Clarión, se encuentran los volcanes más importantes de México: Volcán de Colima, Parícutín, Quinceo, Tancítaro, Jorullo, Nevado de Toluca, Popocatépetl, Iztaccihuatl, Malinche, Citlaltepec o Pico de Orizaba, Naucampaltépetl o Cofre de Perote y San Martín; en la falla Transísmica el Chichonal y en la falla secundaria de Polochic el Tacaná, en el estado de Chiapas. La zona de falla donde se encuentran los volcanes más importantes de México, también es conocida como eje Neo volcánico.

La ZCV se encuentra dentro de la tercera zona de la regionalización sísmica de la República Mexicana para fines de ingeniería y dentro de la segunda región de importancia sísmica de las tres en que se encuentra dividido el Estado en su carta sísmica.

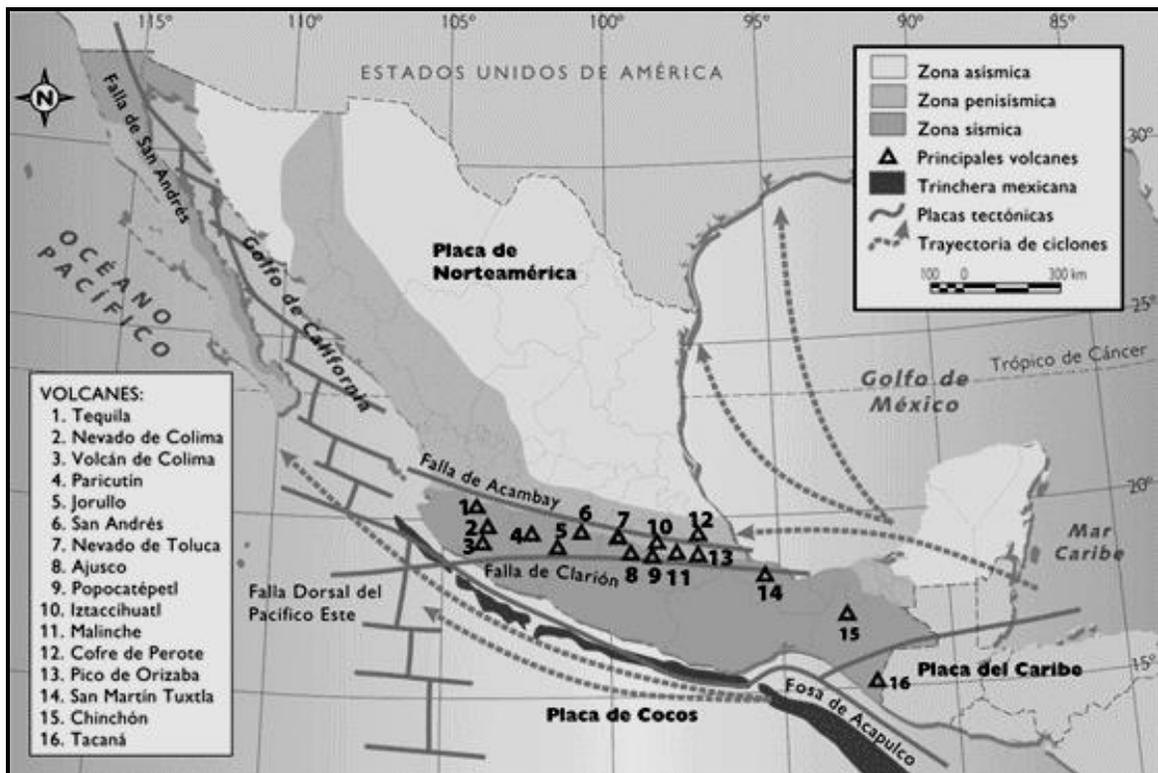
Se ha experimentado que el efecto sísmico es mayor en la trayectoria de las fracturas, las fallas o en sus inmediaciones, así como en las arenas de río y de playa, sueltas y saturadas, situaciones esta última en la que se encuentra una amplia parte del área ribereña de la ZCV. Esto implica que las aceleraciones máximas del terreno que se debe considerar para el diseño de las estructuras varían entre 0.16 y 0.40 del valor de la gravedad, de acuerdo con el periodo natural de la estructura.

En el estado de Veracruz se han detectado cinco zonas sísmicas activas; dos en la parte montañosa central y tres en regiones casi planas:

- 1) Región de Xalapa y el Cofre de Perote.
- 2) Región de Orizaba y el Pico de Orizaba.
- 3) Región de Jaltipan y zona Ístmica de Tehuantepec.
- 4) Región de la ciudad de Veracruz y zona conurbada con Boca del Río.
- 5) Región de Mozomboa, Tinajitas y Cardel.

Las regiones del Cofre de Perote, el Pico de Orizaba y la Ístmica de Tehuantepec, han causado los sismos más intensos. Esta última región por ocurrir en la falla tectónica derivada de la fractura del Pacífico, resulta potencialmente importante.

Las regiones de la ciudad de Veracruz y zona conurbada con Boca del Río, Mozomboa, Tinajitas y Cardel sólo han causado alarmas en las poblaciones afectadas sin pérdidas humanas.



**Figura 42 Mapa Sísmico y Volcánico de la República Mexicana**

De los fenómenos telúricos que han afectado fue el macrosismo del 11 de marzo de 1967, cuya magnitud fue de 5.5 Richter. Fue un movimiento de larga duración, primero trepidatorio y después oscilatorio.

Han sido 57 el número de sismos más significativos, que de 1879 a 1996 han afectado específicamente a la ZCV, todos ellos sentidos entre los grados II y VII de la escala modificada de Mercalli, tal como se indica:

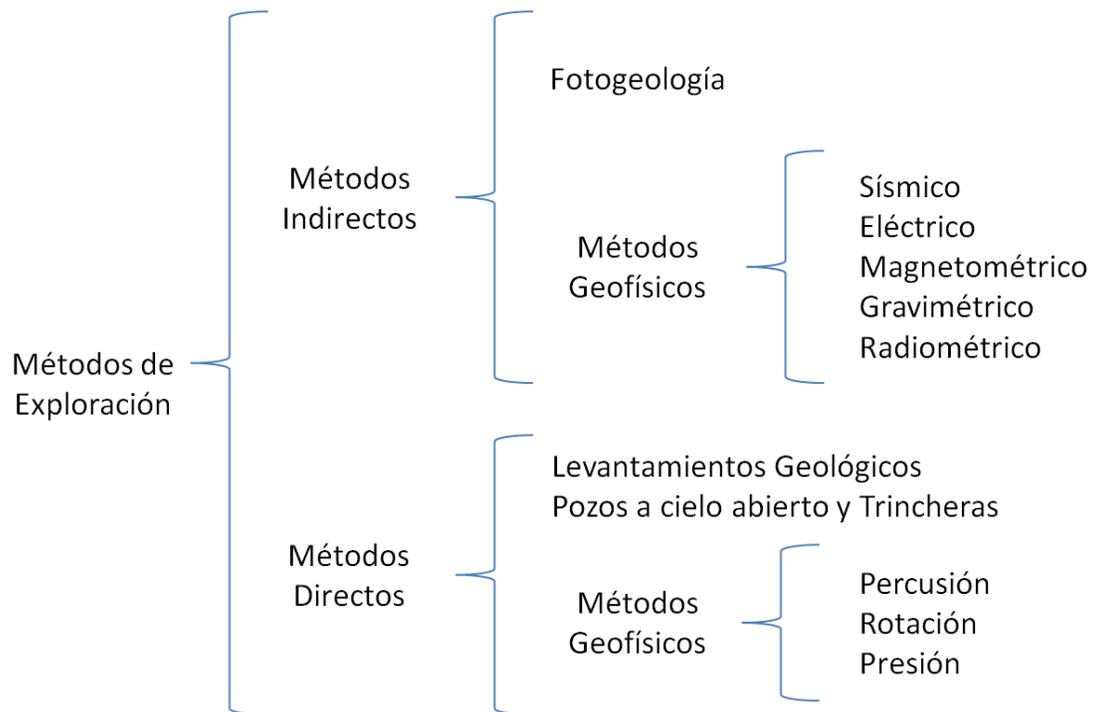
<b>Número de Sismos</b>	<b>Intensidad (esc. Mercalli)</b>
1	VII
2	VII
11	IV
23	III
7	III
12	ND

En la siguiente tabla se presenta la relación de sismos registrados en la ciudad de Veracruz y ZCV de 1879 a 1996. En la siguiente tala se presenta una correlación aproximada entre las escalas Richter y Mercalli.

<b>Magnitud (escala Richter)</b>	<b>Energía liberada (ergios)</b>	<b>Intensidad máxima (Mercalli modificada)</b>
3.00 a 3.90	$9.50 \times 10^{15}$ a $4.00 \times 10^{17}$	II a III
4.00 a 4.90	$6.00 \times 10^{17}$ a $8.80 \times 10^{18}$	IV a V
5.00 a 5.90	$9.50 \times 10^{18}$ a $4.00 \times 10^{20}$	VI a VII
6.00 a 6.90	$6.00 \times 10^{20}$ a $8.80 \times 10^{21}$	VII a VIII
7.00 a 7.90	$9.50 \times 10^{22}$ a $4.00 \times 10^{23}$	IX a X
8.00 a 8.90	$6.00 \times 10^{23}$ a $8.80 \times 10^{24}$	XI a XII

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 4*

## 2.7 EXPLORACION Y MUESTREO EN SUELOS Y ROCAS



### 2.7.1 Levantamientos Geológicos

- Identificación de estructura que presenta la corteza: plegamientos, fallas, fracturas.
- Localización de estructuras: sitios de bancos locales y UTM, geográficas, echados, buzamiento y dirección.
- Representación en dibujos y elaboración de mapas y cotas geológicas.

El uso de esta información es para identificar problemas regionales para las obras de ingeniería: presas, túneles, puertos, planta nuclear. Entre las más importantes.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 5*

## 2.7.2 Pozos a Cielo Abierto y Trincheras.

El propósito de este tipo de exploración es:

- Determinar las características del subsuelo del sitio.
- Obtener muestras de los tipos alterado e inalterado para su análisis en laboratorio: pruebas índice y mecánicas.

Este tipo de exploración mediante excavación de pozos o/y trincheras a mano o con pico y pala y/o mediante maquinaria, retroexcavadora, principalmente. Generalmente este tipo de exploración es de tipo preliminar porque tiene limitaciones como por ejemplo: poca profundidad que se puede alcanzar.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 5*

## 2.7.3 Perforación

**Rotación:** Generalmente este procedimiento es para exploración en mantos rocosos, se utiliza una máquina del tipo rotatorio y muestreadores de barril.

¿Para qué se realizan estudios de roca?:

1. Conocer la roca explorada, clasificarla: basalto, diorita, graneorita o roca caliza, etc.
2. Obtener muestras para: elaborar perfiles estratigráficos y realizar ensayos índice y mecánico.
3. Determinar parámetros mecánicos para fines de diseño.

## **2.7.4 Métodos Indirectos**

### **2.7.4.1 Fotogeología**

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

Es una forma de reconocer, geológicamente en gabinete, áreas de grandes extensiones en un tiempo sumamente corto, 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 foto interpretación 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 mil a 1:50 mil y para trabajos de detalle de 1:200 a 1:5 mil y 1:20 mil 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 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:

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

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 mil kilómetros cuadrados, normalmente las escalas utilizadas son de 1:250 mil a 1:500 mil.

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, de esta forma se permite 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.

#### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 5*

### **2.7.5 Métodos Geofísicos**

Dentro de la ingeniería civil, los métodos geofísicos son recomendados en múltiples casos, ya que proporcionan información de la litología y las estructuras geológicas del subsuelo, lo cual es de suma importancia para todo tipo de proyectos como 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 sus 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 su uso en estudios preliminares como en las etapas subsecuentes de la exploración y construcción de obras.

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. 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, aun cuando esto implique trabajar con magnitudes físicas que presenten menores contrastes entre sus valores.

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

Los métodos de prospección 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. 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.

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 en otras técnicas exploratorias (perforaciones, socavones, etc.), dando lugar a una mejor planeación de los estudios geológicos de detalle.

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 (socavones, trincheras, etc.) para hacer mejores interpretaciones.

El papel del 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 con base en 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 absoluta.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 6*

### **2.7.6 Métodos Eléctricos**

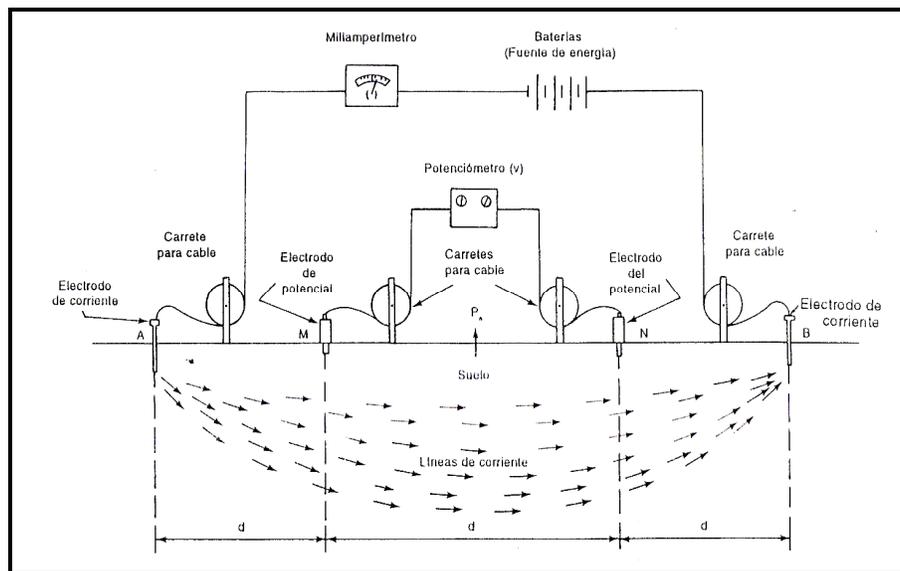
En los métodos eléctricos, con el auxilio de una fuente de poder se aplica una corriente eléctrica al suelo por medio de electrodos; su principio se basa en que las variaciones de la conductividad del subsuelo alteran el flujo de corriente en el interior de la tierra, lo que ocasiona una variación de 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.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 8*

### 2.7.6.1 Método de Resistividad

En él, 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. 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 el valor obtenido depende de la resistividad 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 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.



**Figura 43 Método Eléctrico de Resistividad**

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. Se concluye que no existe una ley general que correlacione litología con resistividad.

Las rocas cristalinas tienen resistividades aún mayores, algunos valores se muestran en la siguiente tabla, oscilan las resistividades de las rocas más comunes, pero es posible encontrar rocas de alguno de estos tipos, con resistividades mayores o menores.

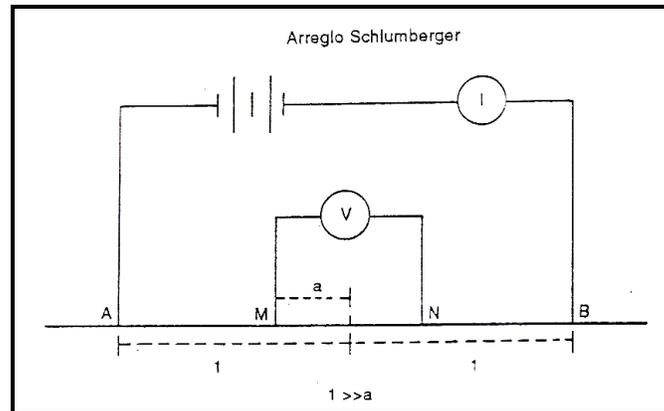
<b>MATERIALES</b>	<b>RESISTIVAD</b>
Arcillas	3 . 30
Margas	10 . 100
Esquistos	30 . 300
Arenas y gravas	10 . 1000
Calizas	300 . 3000
Rocas intrusivas	1000 - 10000

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

Consiste en hacer una serie de mediciones con arreglo electródico 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 (A,B), cuando las lecturas ya son lejanas,

se llega con máximo a una separación  $AB = 1/5 MN$  se moverán los electrodos de potencial a una nueva posición fija y se continua la secuencia.

También consiste en un arreglo electródico de 4 polos donde los electrodos quedan en una línea con separación equidistante  $H$ , el sondeo se realiza al mantener el centro del arreglo fijo y al incrementar la separación  $H$ .



**Figura 44 Sondeo Eléctrico Vertical**

La mejor calidad de las curvas de campo, la mayor sencillez de las operaciones y ventajas económicas hacen preferible este tipo de sondeo. Este método es más efectivo si las formaciones geológicas sobre las que se aplican un echado menor de  $30^\circ$  y su resistividad es homogénea lateralmente y contrastante verticalmente. Al final el relieve no debe ser muy abrupto porque no es posible hacer correcciones por relieve. Las principales aplicaciones de este método son las siguientes:

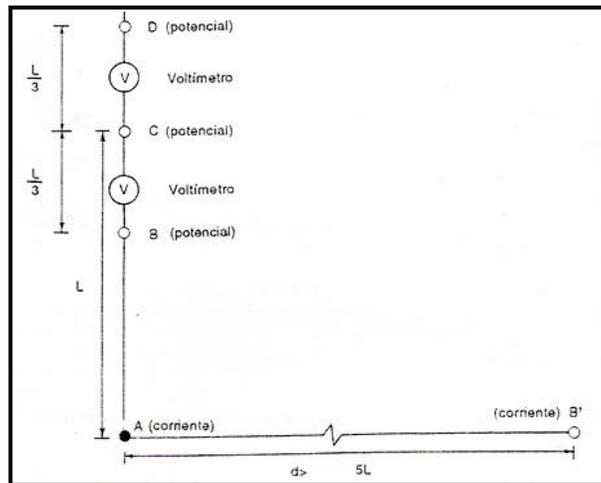
- Determinación del espesor y profundidad de materiales; de zonas permeables o impermeables.
- Localización de niveles de agua, existencia y profundidad del agua subterránea.
- Salinidad de las aguas.

- Localización de posibles zonas kársticas o cavernas.
- 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.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 5*

**2.7.6.2 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, como se ejemplifica en la siguiente figura:



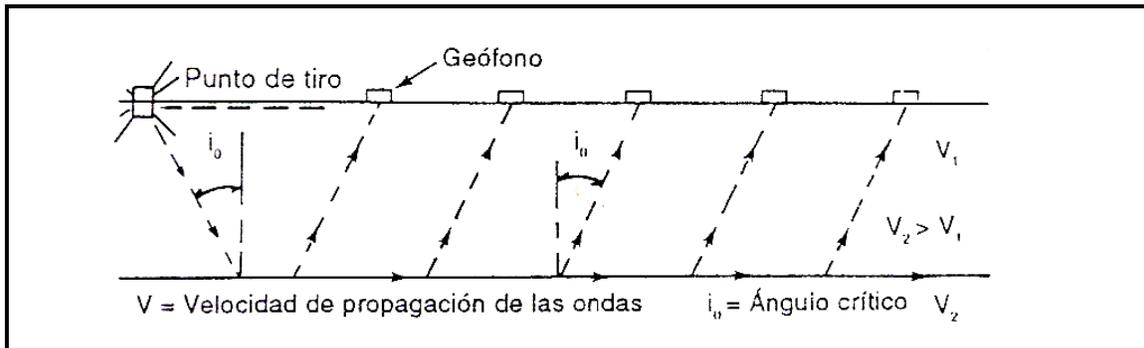
**Figura 45 Método de Caídas de Potencial**

Este método permite en ciertos casos obtener mayor detalle que con el método de resistividad. En el caso de la heterogeneidad local de los mantos superficiales no es recomendable su empleo.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 5*

## 2.8 GEOSÍSMICA

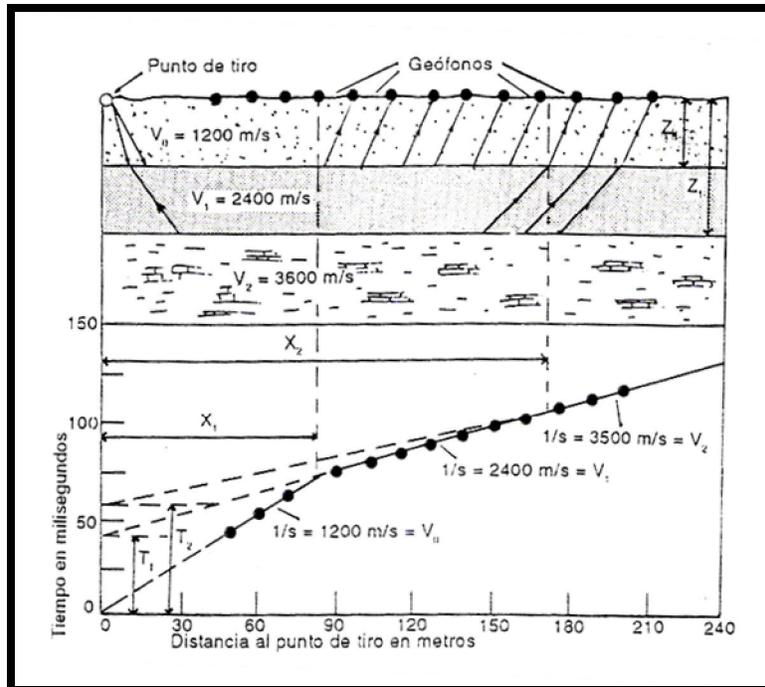
En el método sísmico se provocan perturbaciones dinámicas artificiales en o cerca de la superficie del terreno, mediante la detonación de una carga de dinamita o el golpe de un martillo. Estas perturbaciones originan ondas elásticas, longitudinales y transversales que se registran en pequeños detectores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



**Figura 46 Propagación de las Ondas Sísmicas**

La medición de los intervalos de tiempo desde que se genera el impulso hasta su recepción en los geófonos colocados a diferentes distancias y que 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. Como generalmente éste no es homogéneo, en lo que a sus propiedades elásticas se refiere, la velocidad variará tanto en profundidad como lateralmente.

Las velocidades de propagación de las ondas longitudinales permiten por comparación, inferir los posibles tipos de materiales de cada estrato.



**Figura 47 Gráfica Dromocrónica con Tres Velocidades ( $V_0$   $V_1$  Y  $V_2$ )**

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 del basamento, espesores de aluvi6n.
- ✓ Auxiliar en la identificaci6n de estructuras.

A continuaci6n se mencionan algunas condiciones que se requieren para hacer interpretaciones m1s seguras:

- Deben ser rocas estratificadas y sus echados deben variar cuando m1s 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 nos e detecten ciertas capas cuando los materiales de alta velocidad se encuentran en la superficie.

### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 8*

#### **2.8.1 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 levantamientos geológicos superficiales, perforaciones, trincheras, pozos a cielo abierto y socavones.

### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 8*

#### **2.8.1.1 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 dos tipos de levantamientos geológicos:

**Levantamiento superficial** . Son inspecciones de campo para identificar, clasificar y cartografiar las principales unidades geológicas existentes en el área

bajo estudio y permiten reconocer características estructurales como rumbo, echado, pliegues, contactos, fallas, fracturas, etc. De acuerdo con la etapa de exploración en que se realicen, la obra de que se trate y la exactitud que se requiera, se dividen en levantamientos *regionales* y *locales*.

**Los levantamientos regionales** se realizan con base en mapas fotogeológicos previamente elaborados, localizando en ellos puntos de verificación. Estos sitios se escogen al considerar la accesibilidad y exposición de los materiales que permitan hacer observaciones relacionadas con las características de rocas y suelos. Las escalas que se manejan para este tipo de levantamientos varían de 1:25mil a 1:50mil.

**Los levantamientos locales** se llevan a cabo en áreas de extensión reducida, para lo cual se emplea brújula, cinta o plancheta. Asimismo se utilizan escalas que varían de 1:500 a 1:10mil. Estos levantamientos permiten conocer las condiciones geológicas particulares del lugar, tales como: existencia y características de discontinuidades importantes, localización y ubicación de materiales de construcción.

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.

**Levantamientos subterráneos** . 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 atraviesa, tales como: tipo de roca, grado de alteración, estratificación, rumbos, echados, fallas, fracturamiento, filtración de agua, mineralización.

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, aun 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.

#### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 10*

##### **2.8.1.2 Pozos a Cielo Abierto y Trincheras**

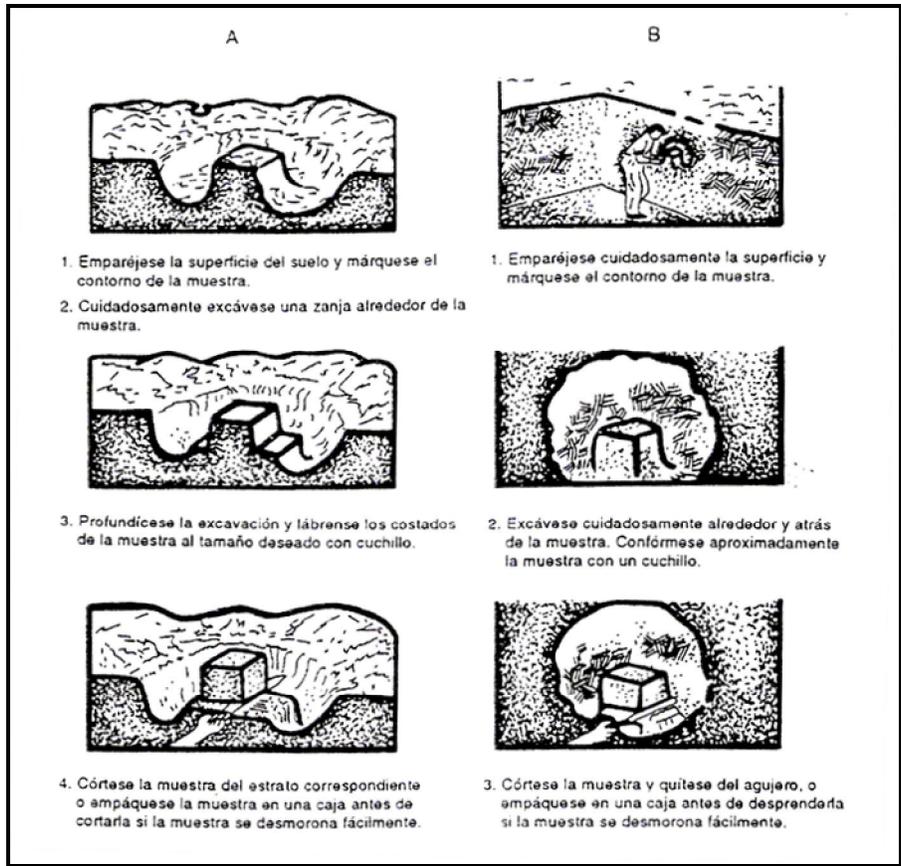
Son excavaciones realizadas con equipo manual que se efectúan desde la superficie del terreno en sentido vertical, de profundidad variable y excepcionalmente mayor de diez metros, de sección cuadrada aproximadamente de 1.5 a 2 metros por lado. Se emplean en estudios someros, en materiales que permiten la excavación con pico y pala, aunque algunas veces llegan a utilizarse explosivos. Se usan 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 atravesados y la profundidad a la que se encuentra la roca sana. Se debe llevar un registro de las condiciones que muestra 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. 48)
- La realización de observaciones y pruebas in situ (SPT, prueba de placa, entre otras)
- La posibilidad de utilizarlos como pozos de correlación para establecer el perfil estratigráfico del sitio.

Las desventajas de este 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, resulta económica hasta cuatro o cinco metros.
- Si se presentan grandes cantos rodados o bloques de roca, se dificulta el avance de pozo, por lo que es necesario usar explosivos que quizá alteren la constitución de los materiales de la zona.
- Si el material no está cementado y la profundidad es grande se requerirán ademes, lo cual eleva 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.



**Figura 48 Recolección de Muestras Inalteradas**

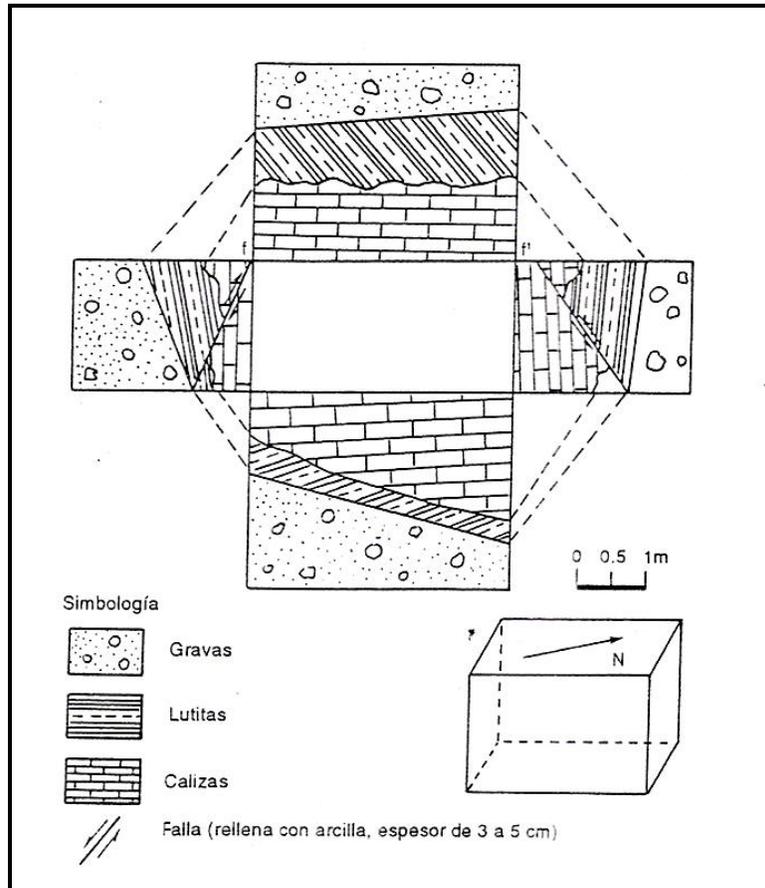
**A Æ Del fondo de un pozo de prueba B Æ De las paredes de una trinchera**

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 10*

### 2.8.1.3 Trincheras

Son excavaciones realizadas a partir del terreno natural con poca profundidad y alargadas; es decir, tienen una de sus dimensiones mayores 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 dimensiones (fig. 49), pues es posible también la observación 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 a intervalos regulares entre sí.

La decisión de pico y pala o maquinaria en su excavación depende de la extensión y profundidad requerida. En general tienen las mismas ventajas y desventajas que los pozos a cielo abierto.



**Figura 49 Perfil Geológico de una Trinchera**

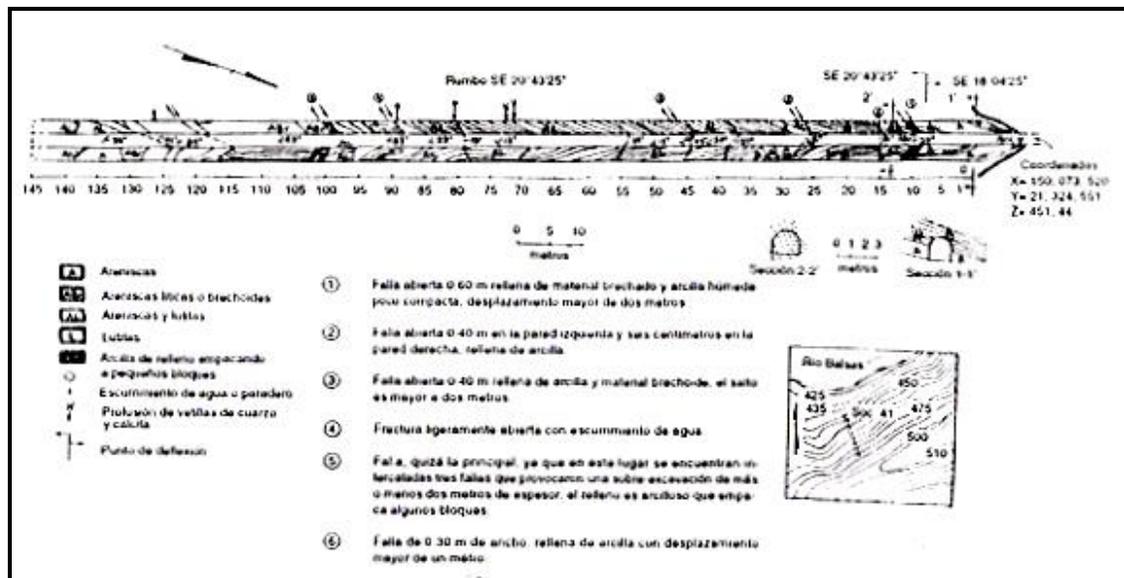
*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 10*

#### **2.8.1.4 Túneles o Socavones**

Son excavaciones lo suficientemente grandes para que un hombre pueda trabajar dentro de ellas, por lo general de 1.5 a 2 metros de anchura y 2 a 2.5 metros de altura.

Son trabajos que por su costo elevado, sólo se realizan en obras de importancia (obras subterráneas y presas). Son sensiblemente horizontales y alargadas, una dimensión es mayor a las otras dos (fig. 50). Se recomienda, 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.



**Figura 50 Perfil Geológico de un Socavón**

Dentro de los socavones se puede:

- Hacer el levantamiento de unidades litológicas, fallas, rumbos y echados, se observa el relleno de grietas, fallas, etc.
- Obtener muestras para ensayos de laboratorio
- Realizar pruebas de campo para conocer la permeabilidad, resistencia 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 cuando se trata de una casa de máquinas subterránea.

Aunque estas obras de exploración son generalmente rectas, eventualmente llegan a ser irregulares cuando es necesario investigar algunas discontinuidades; de esta manera a partir de un socavón pueden construirse obras perpendiculares u oblicuos con la finalidad antes mencionada.

#### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 10*

##### **2.8.1.5 Perforaciones**

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

Con esta información se podrán elaborar perfiles geológicos, se podrá detallar la columna estratigráfica del lugar, y ayudar en la elaboración de planos geológicos y geotécnicos.

Las perforaciones proporcionan información acerca de la composición, 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 rotación 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, situación que ser confirmará una vez que las muestras sean recuperadas.

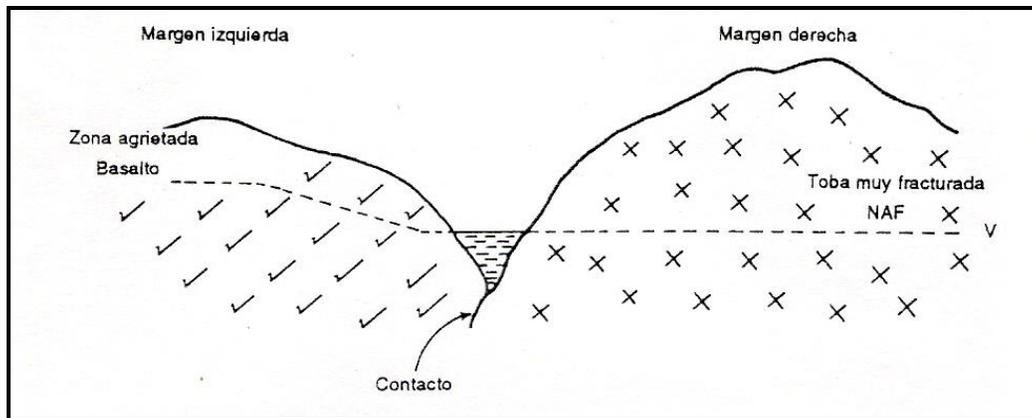
### ***Pérdida de agua (total o parcial)***

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 nivel de aguas freáticas. En ciertos casos la topografía de la superficie libre del agua puede ser indicativa de cambios repentinos de permeabilidad (fig. 51).

Debido a la inyección de agua, durante la perforación se puede medir erróneamente el nivel de aguas freáticas; por lo cual se recomienda hacer dicha medición después de un tiempo suficiente de suspensión de las maniobras en el sondeo, de preferencia la mañana antes de iniciar nuevamente la perforación.



**Figura 51 Relación entre la Posición del Nivel Freático y Cambios de Permeabilidad**

### ***Brusco descenso de la broca***

Indica la presencia de huecos o cavernas, que en algunas rocas son pequeños como en el basalto (producidos por desprendimiento de gases); en las calizas se pueden presentar cavernas muy grandes. También puede atribuirse el brusco descenso de la broca a la presencia de alguna cavidad hecha por el hombre por ejemplo algunas minas abandonadas.

### ***Necesidad de ademar***

Al atravesar durante la perforación ciertos materiales, se puede presentar el caso de inestabilidad de las paredes, por lo que se debe 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 éstos y se tiene 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 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. Es muy importante planear adecuadamente el número de perforaciones y la toma de muestras para obtener una información que dé 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.

### ***SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 11***

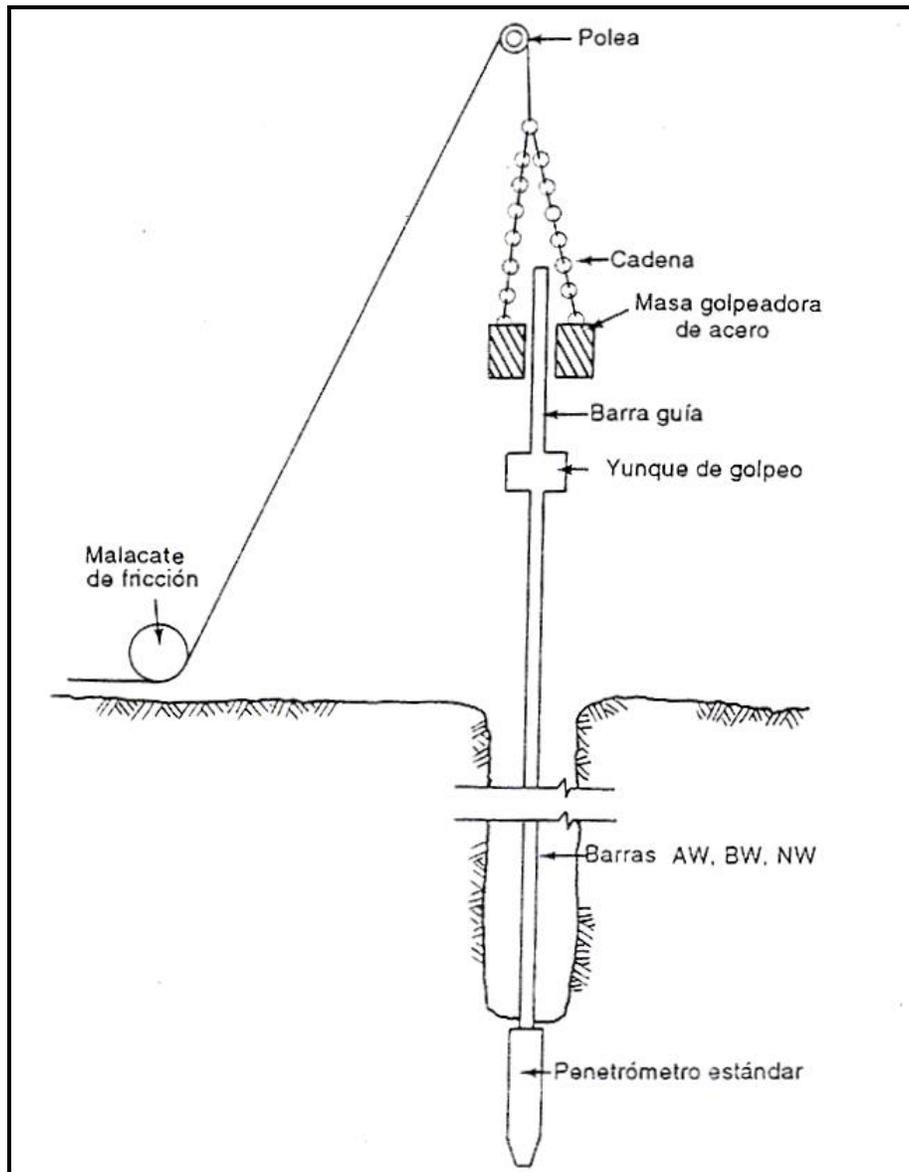
#### **2.8.2 Métodos de Perforación**

A continuación se describirán los métodos de perforación más utilizados en geotecnia, básicamente son los siguientes:

- Percusión (dinámico)
- Presión (estático)
- Rotación

### 2.8.2.1 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. 52).



**Figura 52 Prueba de Penetración Estándar**

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 3*

### 2.8.2.2 Presión

En este caso el penetrómetro se hinca directamente ejerciendo presión en el terreno. El penetrómetro de cono holandés es el de uso más difundido (fig. 53).

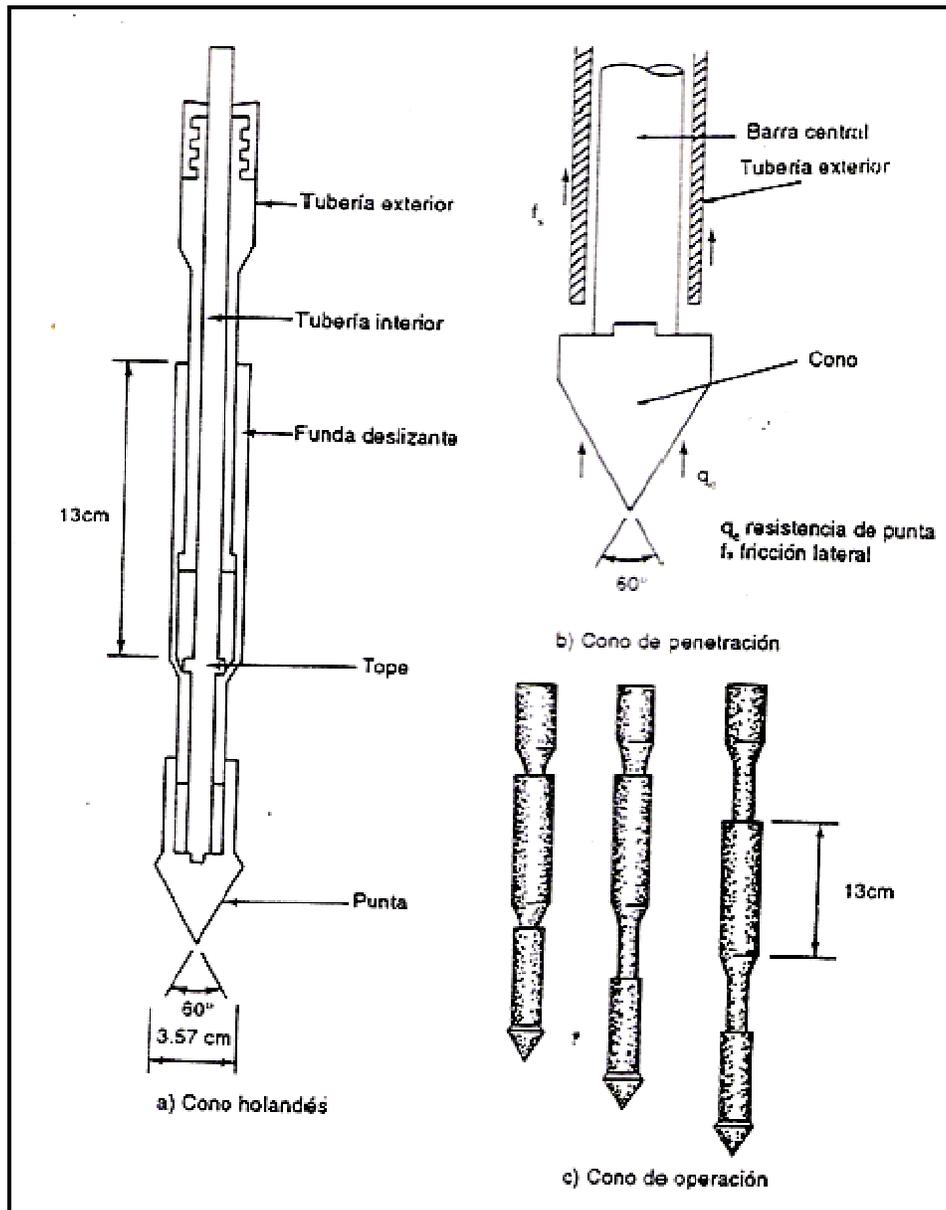


Figura 53 Operación del Cono Holandés

SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 10

### 2.8.2.3 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. 54).

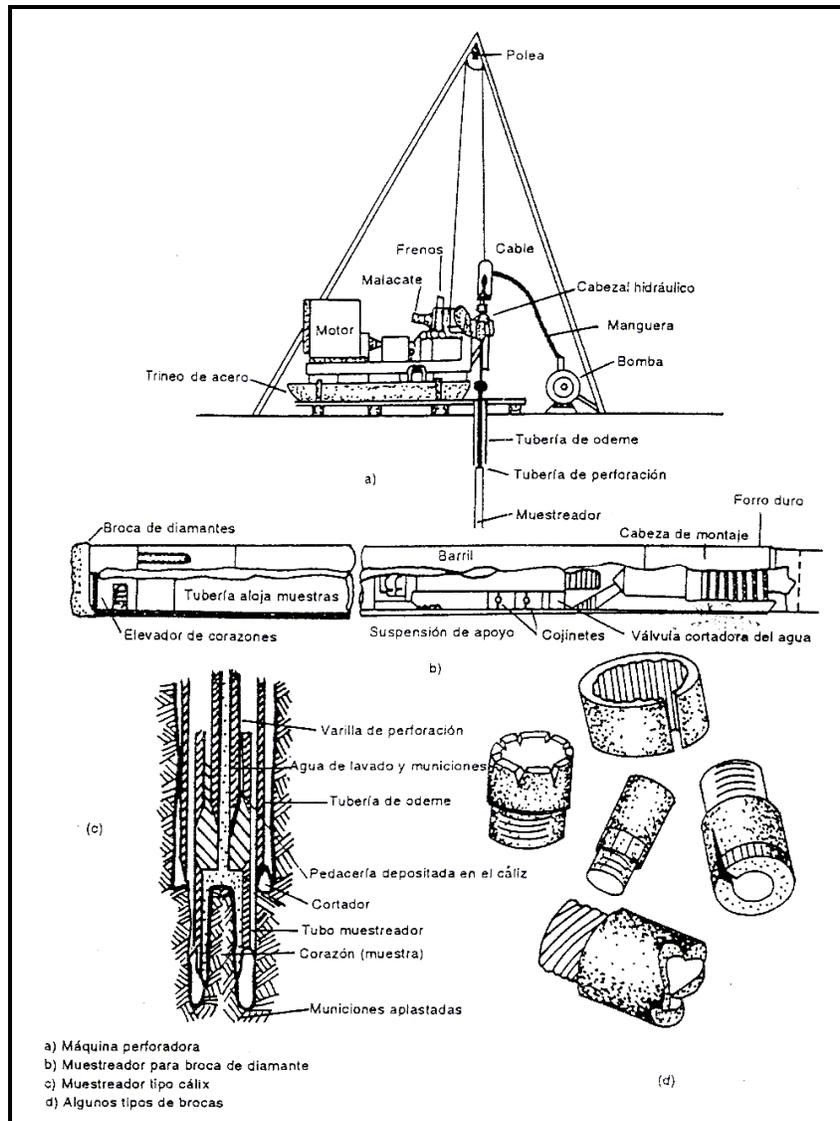
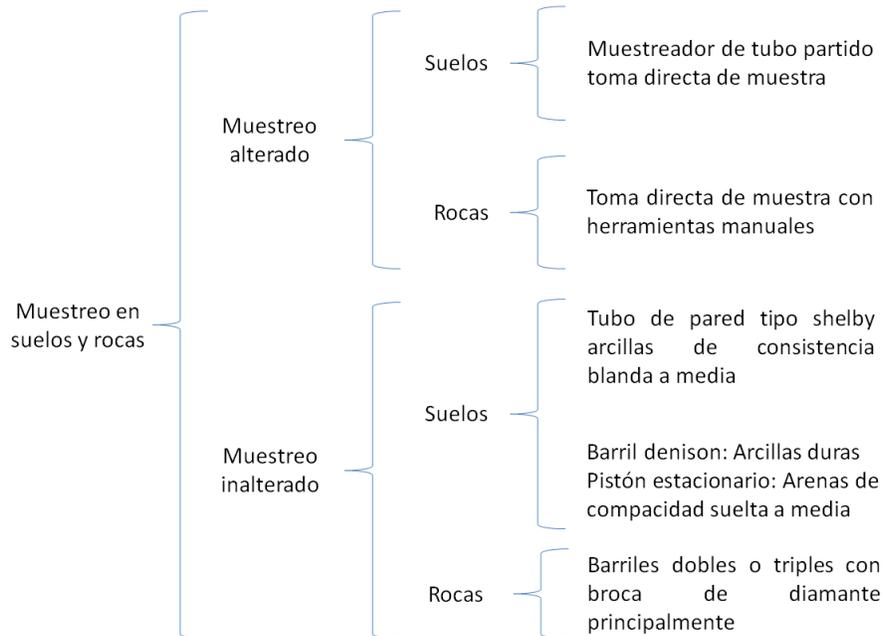


Figura 54 Equipo de Perforación a Rotación

SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 2

### 2.8.3 Muestreo en Suelos y Rocas



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.

**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 a que corresponden, para 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.

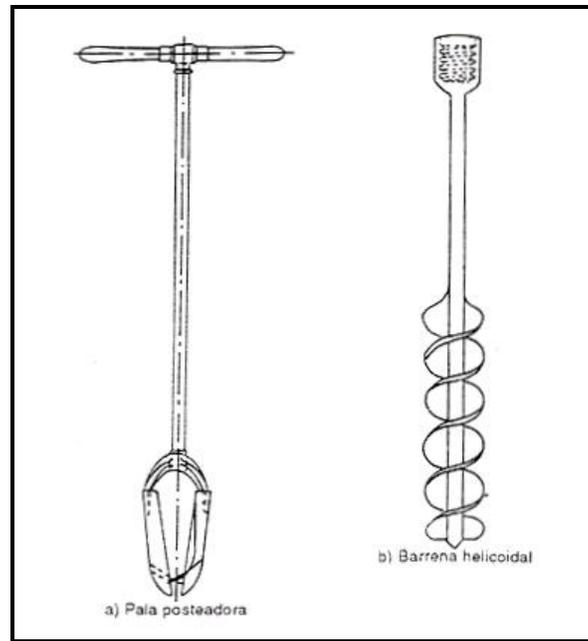
*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 10*

### 2.8.3.1 Métodos Manuales y Mecánicos

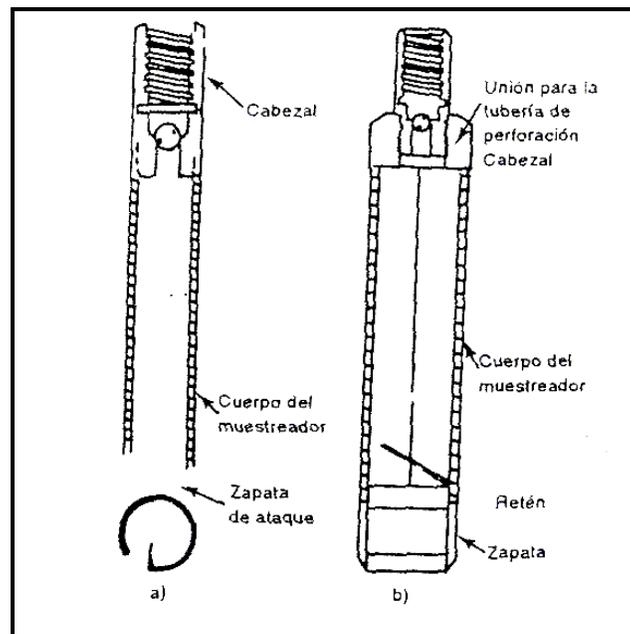
Las muestras obtenidas por medio de estos métodos son alteradas, pero son representativas del suelo en lo referente al contenido de agua, por lo menos en suelos muy plásticos. Las herramientas más utilizadas son la pala posteadora, los barrenos helicoidales y las cucharas muestreadoras:

- **Pala posteadora** . son muy usadas, ésta se hace penetrar en el terreno al ejercer un giro sobre la manija superior, adaptada al extremo superior de la tubería de perforación (fig. 55).
- **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 haya arcilla blanda o gravas gruesas que entorpezcan su avance (fig. 55), 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.
- **Cucharas muestreadoras** . Se mueven dos tipos de cucharas muestreadoras, éstas se montan en una barra maestra y se hacen girar gradualmente, mientras se golpea el fondo. Cuando las cucharas está llena, se vacía simplemente volcándola. Únicamente se utilizan por encima del nivel freático; siempre que no se encuentren boleos es muy rápida (fig. 56).

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 pseudo-suspensión parcial del mismo. Estas muestras sólo son apropiadas para hacer clasificación del tipo de suelo.



**Figura 55 Herramienta Manual de Perforación**

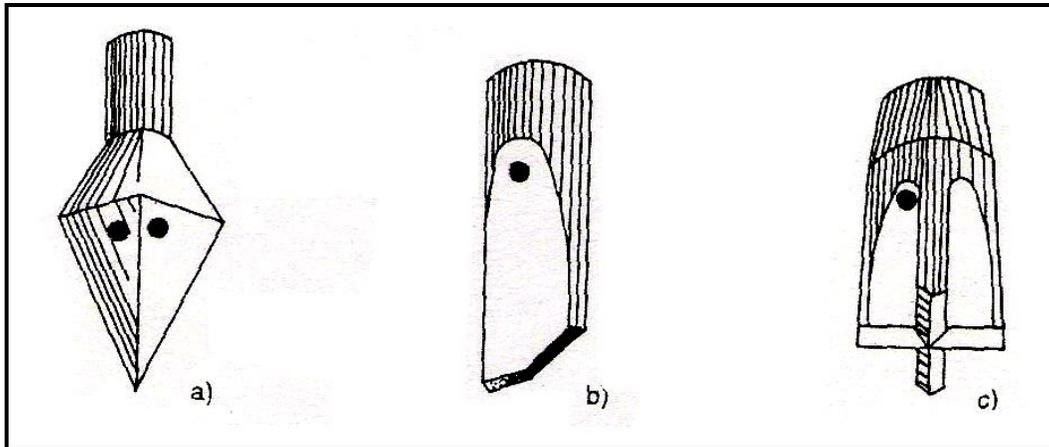


**Figura 56 Tipos de Cucharas Muestreadoras**

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 10*

### 2.8.3.2 Método de Lavado

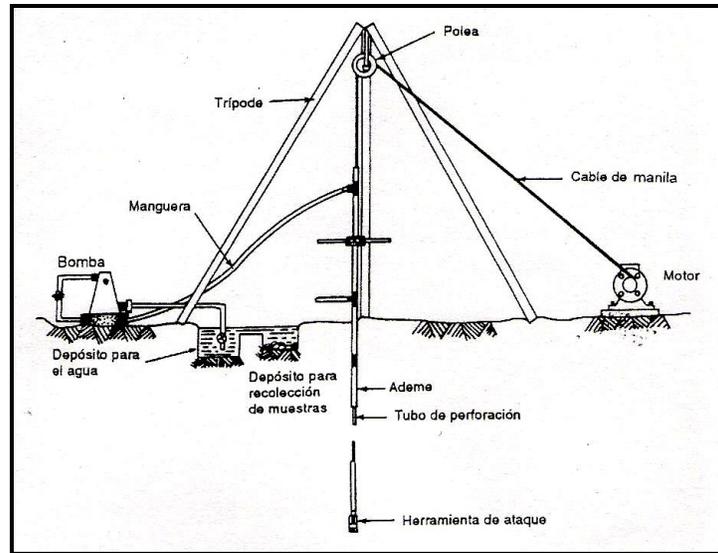
Consiste en perforar con una columna de tubos que lleva en la parte inferior un trépano en forma de punta, cola de pescado, cincel o cruz, con orificios que permiten la salida del fluido de perforación (fig. 57).



**Figura 57 Tipos de Trépanos utilizados en el Método de Lavado**

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 (fig. 58). 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 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. Se usa también como ayuda para avanzar con mayor rapidez en otros métodos de perforación. Asimismo se aplica en aquellos sitios localizados en el litoral que van a ser objeto de dragado o bien de hincado de pilotes.



**Figura 58 Equipo Necesario en el Método de Lavado**

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 3*

**2.8.3.3 Penetración Estándar (dinámica)**

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

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 aproximadamente 64 kg que cae desde una altura de 76 cm aproximadamente; es necesario contar el número de golpes requeridos para que penetren los 30 cm intermedios. Después de penetrar 60 cm se saca el penetrómetro y se extrae la muestra. El penetrómetro estándar debe ser de dimensiones establecidas, puede ser un tubo liso entero o de media caña, el cual está partido longitudinalmente para facilitar la extracción de la muestra.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 1*

Después de sacar el muestreador, se precisa efectuar una ampliación del pozo de perforación con métodos rotatorios, para evitar fricciones excesivas en el tubo. La interpretación de la prueba se lleva a cabo al elaborar 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 (fig. 59).

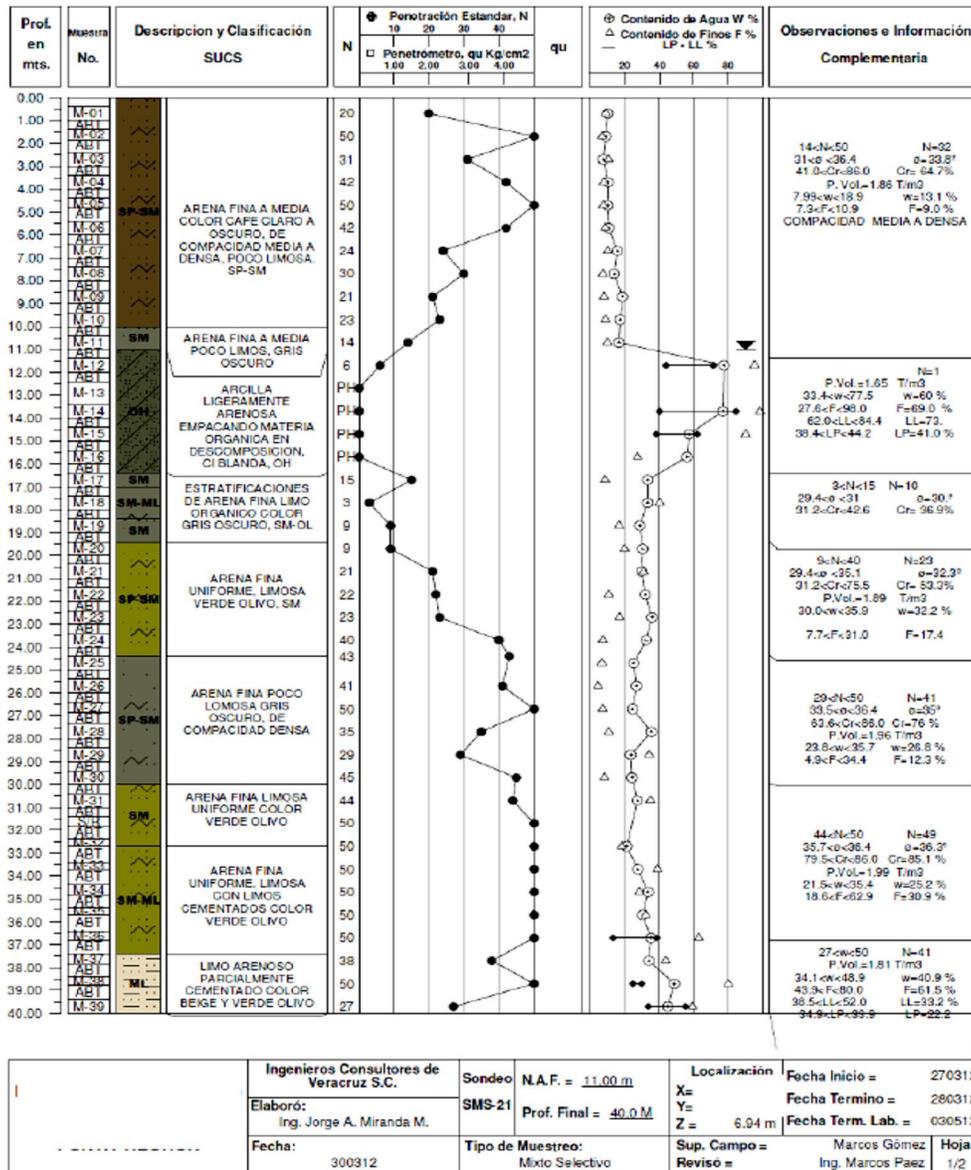
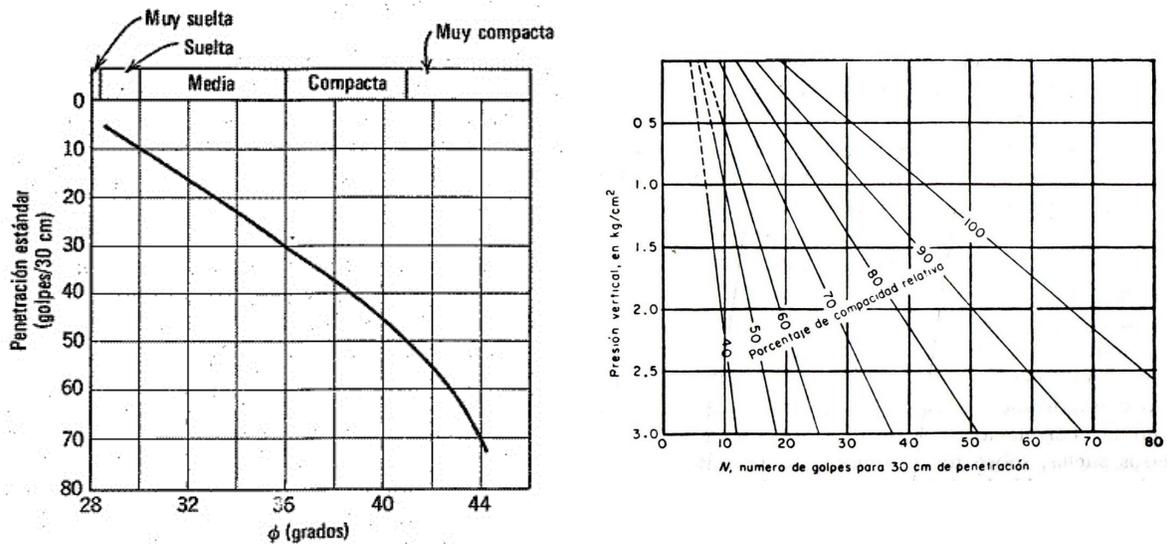


Figura 59 Gráfica de una Prueba de Penetración Estándar

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 compactidad y el ángulo de fricción interna, en arenas, y el valor de la resistencia a la compresión simple en arcillas, con el número de golpes necesarios en ese suelo, para que el penetrómetro estándar logre entrar los 30 cm especificados. El número de golpes corresponde a diferentes compactidades 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 (fig. 60).



**Figura 60 Correlaciones usadas para Interpretar la Prueba de Penetración Estándar**

**SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 2**

En arcillas las correlaciones no son confiables pues hay mucha dispersión. Para pruebas en arcillas, según Terzaghi estableció las siguientes correlaciones:

CONSISTENCIA	N°. DE GOLPES (n)	RESISTENCIA COMPRESIÓN kg/cm <sup>2</sup>	A SIMPLE	LA (qu)
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	

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 1*

#### 2.8.3.4 Barrena Tricónica

Consiste en perforar mediante una columna de tubos en cuya parte inferior lleva una broca tricónica o una broca drag (fig. 61). Para enfriar la broca y arrastrar el material cortado a la superficie se inyecta agua o lodo.



**Figura 61 Tipos de Brocas utilizadas en el Método de Rotación (Tricónica y Drag)**

Se requiere una máquina de perforación rotatoria que generalmente va montada en un camión (fig. 62). Para realizar la perforación se aplica carga axial y rotación, inyectando agua o lodo fluido de perforación en excavaciones sobre el nivel freático; debajo de este nivel puede usarse agua o lodo según sea la condición de estabilidad de las paredes.



**Figura 62 Operación del Equipo de Perforación a Rotación**

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

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 3*

## **2.8.4 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 efecto, siempre será necesario extraer la muestra de suelo por medio de herramientas que alteran el estado de esfuerzos en el que se encuentra sujeto, así como el contenido de agua al permitir evaporación. Por lo anterior, cuando se hable de muestras inalteradas, 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.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 3*

### **2.8.4.1 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 tornilla 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 longitud entre 80 cm y 1 metro. Es común cortarlo longitudinalmente al extraer la muestra cuidando así el efecto de fricción lateral.

Se hinca el muestreador ejerciendo una presión continua de una manera lenta, a una velocidad constante entre 15 y 30 cm/seg; se hace reposar un cierto tiempo aumentando así la adherencia, y después se gira el muestreador para cortar la base de la muestra y extraerla (fig. 63). Este tipo de muestreador se utiliza principalmente en suelos cohesivos blandos o semiduros, sin importar que se localicen encima o debajo del nivel freático.



**Figura 63 Tubo de Pared Delgada (Shelby)**

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 10*

#### **2.8.4.2 Muestreador de Denison**

El muestreador consiste en dos 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 dichos tubos (fig. 64).



**Figura 64 Muestreador de Denison**

Los detritos son expulsados del pozo por el agua inyectada entre ambos tubos, la que además realiza la función de enfriar la broca, la cabeza del muestreador tiene una tuerca de ajuste que controla la posición relativa entre estos tubos; así, 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

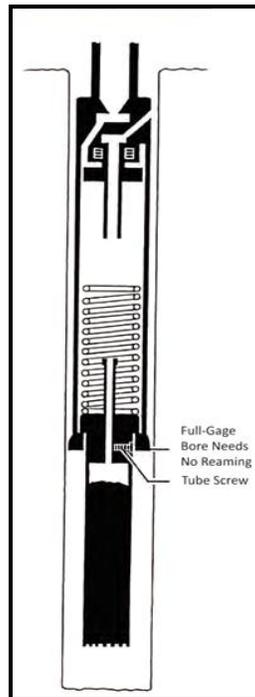
pueda ocasionar el fluido de perforación. Es importante variar la distancia entre el tubo interior y la broca de acuerdo con el tipo de suelo.

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

#### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 10*

### **2.8.4.3 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 (fig. 65), su operación requiere también de fluido de perforación.



**Figura 65 Muestreador Pitcher**

#### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 3*

#### 2.8.4.4 Muestreo en Rocas

En la exploración geotécnica es común realizar la perforación y muestreo simultáneamente por medio de barriles muestreadores; éstos 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.

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 con la dureza de la roca por atacar y el diámetro de la broca, como se indica en la siguiente tabla:

DUREZA DE LA ROCA	VELOCIDAD DE ROTACIÓN	VELOCIDAD TANGENCIAL (m/s)	VELOCIDAD DE 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

El gasto del agua o de lodo inyectado en forma continua con el objeto de arrastrar el material cortado y de enfriar la broca debe ser de 0.3 a 0.6 m/s, 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, sus dimensiones usuales y nombres típicos se muestran en la siguiente tabla:

BROCA	DIÁMETRO EXTERIOR DEL ADEME		DIÁMETRO EXTERIOR DE LA BROCA		DIÁMETRO INTERIOR DE LA BROCA	
	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg
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	1 3/16
BX	73	2 7/8	51.5	2 12/32	42	1 21/32
NX	89	3 1/2	75.5	1 61/64	55	2 5/32

En la exploración con fines geotécnicos es recomendable utilizar el barril doble giratorio y obtener muestras, ya que a mayor diámetro la calidad del muestreo se incrementa, particularmente en rocas fracturadas.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 10*

#### 2.8.4.5 Muestreadores Convencionales

En la figura 66 se muestra los tipos de barriles (sencillo, doble rígido y doble giratorio) que pueden ser utilizados en rocas semiduras a duras.



**Figura 66 Barriles Muestreadores Convencionales**

- 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 sólo interesa el barreno 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 desprendimiento del material que la forma.
- B. **Barril doble** . Con éste 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 donde se recupera el núcleo; se fabrica en dos tipos:
1. **Barril doble rígido** . En este tipo el tubo inferior está rígidamente unido a la cabeza del muestreador de tal forma que gira junto con el tubo exterior. Tienen 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 duras.
  2. **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.

#### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 10*

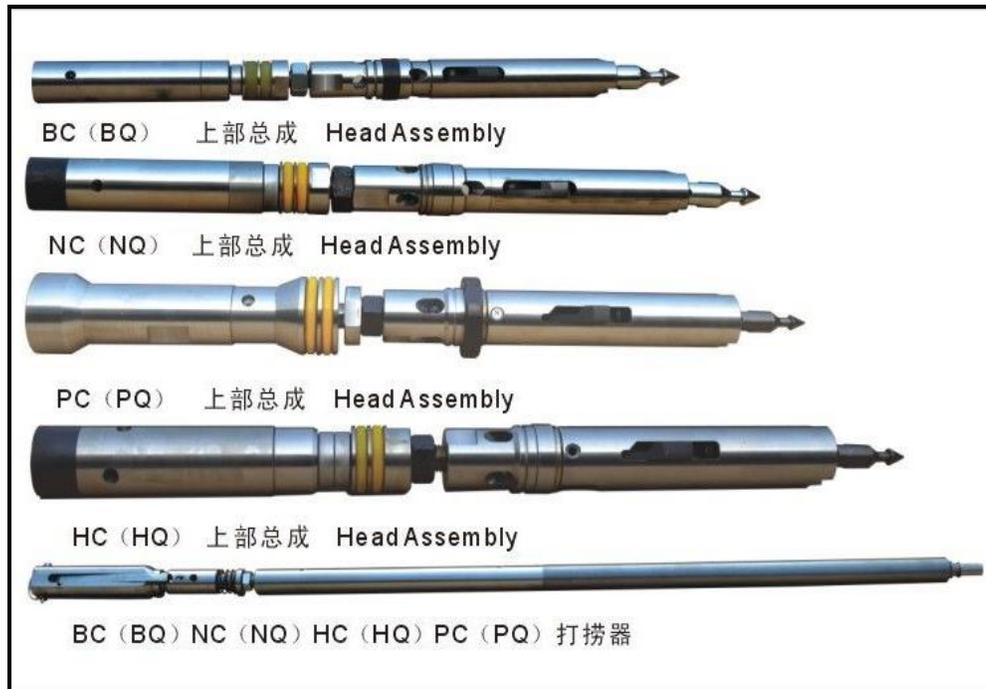
##### **2.8.4.6 Muestreadores No Convencionales**

- A. **Serie M** . Este grupo de barriles muestreadores se diferencian de los convencionales básicamente 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 ésta penetre el tubo interior. Para este grupo se tienen dos tipos que son útiles en la extracción de muestras de materiales fácilmente erosionables (fig. 67).

- B. **Serie XL** . Este diseño introduce arriba del sistema de baleros axiales una válvula de hule, lo suficientemente blanda para expandirse 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 emplea las modificaciones de los barriles M y XL, 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; también recurre a 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 paralelas del pozo, así como mejoras en la recuperación de la muestra. Es conveniente usar este sistema para perforaciones mayores de 30 metros de profundidad.

D. **Triple tubo** . este tipo de muestreadores incluyen un tercer tubo o camisa delgada que sirve de forro o empaque a la muestra recuperada.



**Figura 67 Barriles Muestreadores No Convencionales**

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 10*

#### **2.8.4.7 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 ha de usarse, debe tenerse en cuenta las siguientes características:

- Número y tamaño de diamantes
- La dureza del metal de la matriz en donde se empotran los diamantes

- La forma, ya sea convencional o escalonada, puede tener un número variable de canales para la salida del fluido de perforación. La forma escalonada reduce las vibraciones blandas con un avance rápido, mientras que la convencional se utiliza en formaciones duras y fracturadas.
- Además según la dureza de la roca por atacar, se recomienda que en rocas duras se usen brocas con corona de diamante; que tenga además diamantes en el interior para reducir el diámetro de la muestra.

#### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 10*

##### **2.8.4.8 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.

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

La segunda parte está formada por una serie de comentarios y explicaciones de las exploraciones realizadas, así como los datos geológicos y geotécnicos obtenidos. Se recomienda presentar los datos que se obtienen por métodos directos o indirectos de exploración con el mayor detalle posible.

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; y definir si es necesario, la ubicación y el tipo de futuras exploraciones.

Los testimonios 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 estas referencias especiales se deben señalar las causas del problema o las características geotécnicas del sitio explorado para de esta manera dar los lineamientos para el sondeo adicional que deba ejecutarse y que proporcione información base para la solución del problema.

Durante las etapas de exploración de un sitio los datos 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 y 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 desarrollar investigaciones definidas con miras a descubrir la existencia de estas cuestiones 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 presentan.

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 téngase 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.

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 10*

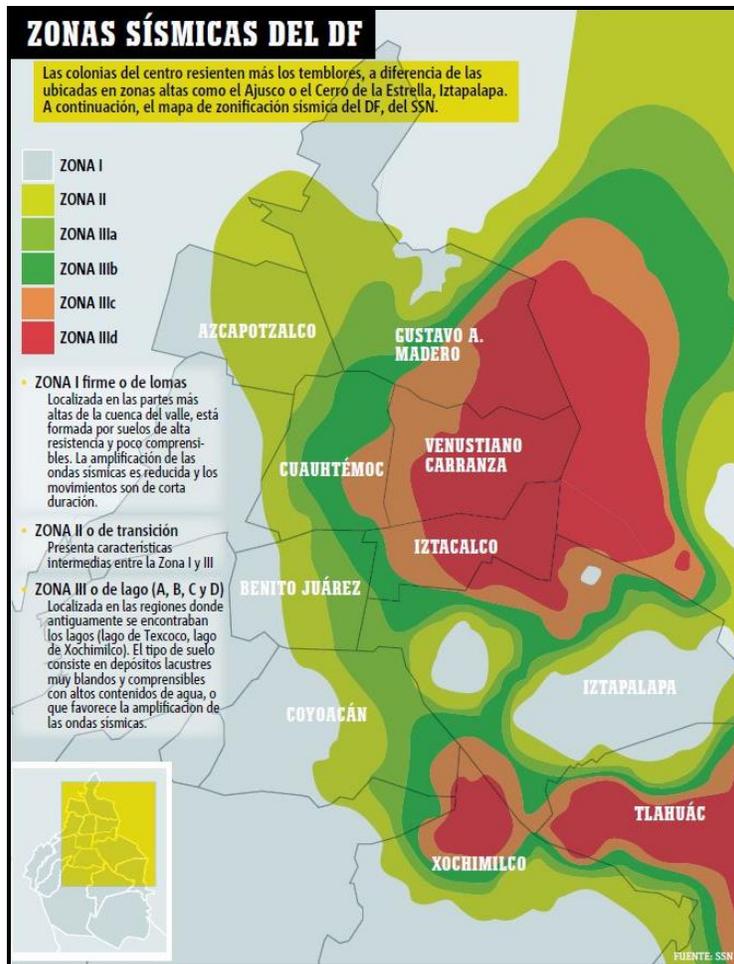
## 2.9 MAPAS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS

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 deben 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 geotecnia 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. No obstante hay ciertos problemas para delimitar fronteras, cuando por ejemplo se dan cambios graduales en algunas propiedades físicas de suelos y rocas.

En resumen los mapas geotécnicos son planos que contienen datos geológicos e información de utilidad práctica para un proyecto de ingeniería determinado. Esta información provendrá tanto de observaciones detalladas de campo como de pruebas de laboratorio (fig. 68).



**Figura 68 Plano Geotécnico**

Un plano geotécnico debe contener en forma general la siguiente información:

- Topografía y toponimia
- Litología (distribución y descripción de las unidades litológicas)
- Propiedades de suelos y rocas (resistencia, compresibilidad, permeabilidad)
- Espesor de suelos

- Discontinuidades (datos estructurales: fallas, fracturas, rumbos y echados, plegamientos, diafragmas estereográficos y discordancias)
- Hidrogeología (acuíferos, movimiento del agua, permeabilidad, calidad del agua, zonas de filtración)
- Factores geodinámicos (velocidades de erosión y sedimentación, zonas inestables por deslizamientos, avalanchas, solifluxión, sismicidad, movimientos de dunas de arena, rocas expansivas)
- Bancos de material
- Exploraciones existentes (registro de toda la exploración geotécnica realizada en la zona)
- Riesgos geológicos, por ejemplo, probabilidad de deslizamientos o terremotos, áreas de concentración de esfuerzos tectónicos.

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 escala utilizada.

En la siguiente tabla se establece una clasificación de mapas geotécnicos, regionales y locales, para que sean utilizados de manera conveniente durante el desarrollo de cualquier proyecto. Como se observa en dicha tabla, las escalas varían en función del tipo de obra y de la etapa misma para la que se refiera.

TIPO DE MAPA	INFORMACIÓN CONTENIDA	ESCALAS USUALES	PREPARADAS POR:	MÉTODO DE ELABORACIÓN	APROVECHAMIENTO INGENIERIL
A . Mapas geotécnicos regionales	Datos de geología general, enriquecidos con información de interés ingenieril e interpretaciones.	1:10 mil o menores	Instituciones de gobierno o 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 los materiales existentes en ella.
B . Mapas geotécnicos locales.					
1 . 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 a 1:10 mil	Ingenieros geólogos especialistas en minas, geología estructural, geomorfología o geotecnia.	Fotointerpretación, recorridos de campo, uso de brújula, cinta y clisímetro.	Planeación y reconocimientos detallados.
2 . Etapa de investigación del sitio	Datos sobre propiedades específicas de materiales, levantamiento de unidades de diferente comportamiento ingenieril.	1:100 a 1:5 mil	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 sondeos, PCA, socavones y muestreo superficial.	Detalles sobre sitios propuestos y problemas que se pudieran presentar.
3 . Etapa de construcción de una obra.	Datos sobre aspectos importantes durante la construcción.	1:100 a 1:2 mil	Ingenieros geólogos de mecánica de suelos o rocas y geotécnicos.		Detalles observados durante la obra y reconocimiento de problemas no previstos.

### Clasificación de Mapas Geotécnicos

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

Un plano geotécnico puede contener una gran cantidad de información en un solo mapa, lo cual da una idea de la complejidad de la cartografía y el ancho de márgenes. En estos mapas hay una serie de símbolos que se usan para su elaboración (fig. 69).

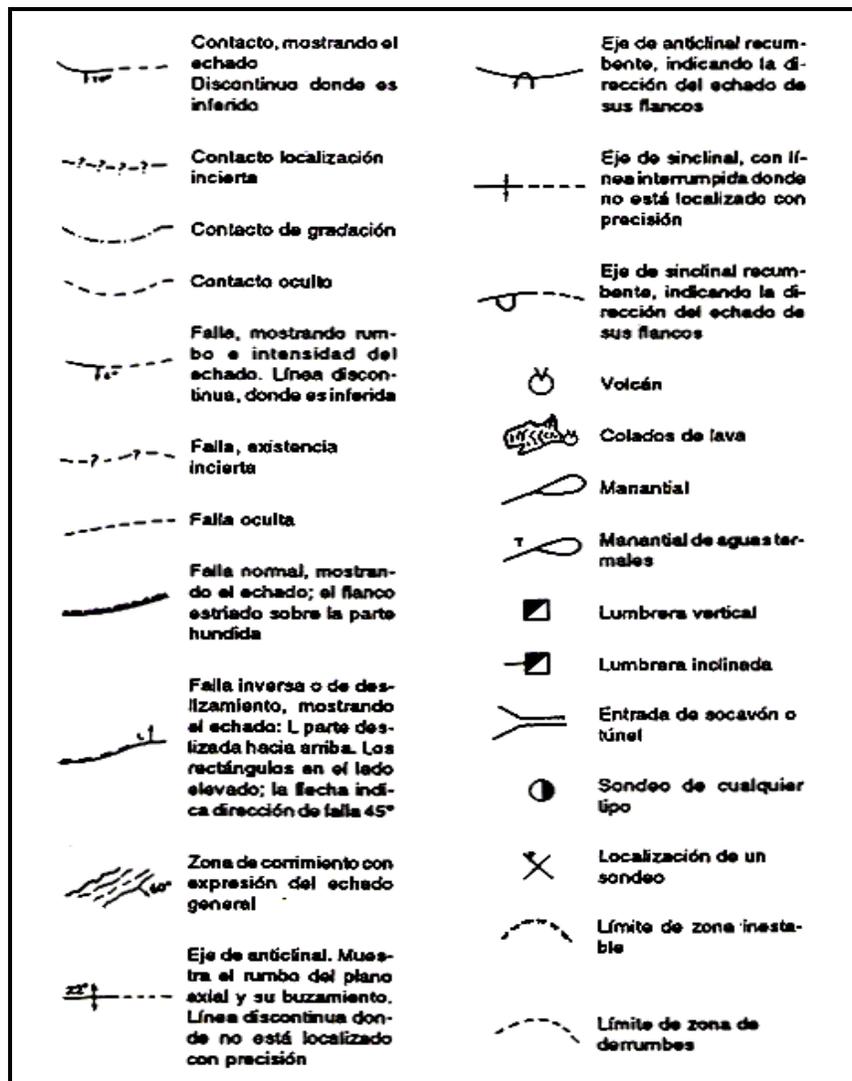
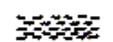
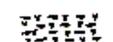
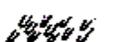


Figura 69 Simbología utilizable en Cartografía Geotécnica

	Antigua cono de deyección		Rumbo de planos verticales de fractura o exfoliación y lajeamiento
	Solifluxión		Rumbo de planos horizontales de fractura o exfoliación y lajeamiento
	Deslizamiento		Rumbo y echado de foliación de gneiss o de esquistos
	Avalanchas		Rumbo de foliación vertical de gneiss o de esquistos
	Desgajamiento		Rumbo de foliación horizontal de gneiss o de esquistos
	Domo		Diques con expresión del echado
	Depresión		Caverna de disolución (dolina, cenote, sumidero)
	Rumbo y echado de capas		Zanja o trinchera
	Rumbo de capas verticales		Banco de materiales
	Rumbo y echado de capas recumbentes		Depósitos de talud
	Rumbo de capas horizontales		Terreno inundable o pantanoso
	Rumbo y echado de juntas		Zonas de erosión fluvial intensa
	Rumbo de juntas verticales		Terrenos permeables
	Rumbo de juntas horizontales		Zona de acumulación de material
	Rumbo y echado de planos de fractura o exfoliación y lajeamiento		

Continuación Figura 69

## SIMBOLOS ESTRATIGRÁFICOS

Q . Cuaternaria

T . Terciaria

Tpl . Plioceno

Tm . Mioceno

To . Oligoceno

Te . Eoceno

Tpal . Paleoceno

M . Mesozoico

K . Cretácico

J . Jurásico

TR . Triásico

Pal . Paleozoico

P - Precámbrico

Una alternativa para evitar un mapa geotécnico complejo, es elaborar una serie de mapas enfocados a diferentes especialidades de acuerdo con las necesidades del 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

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 10*

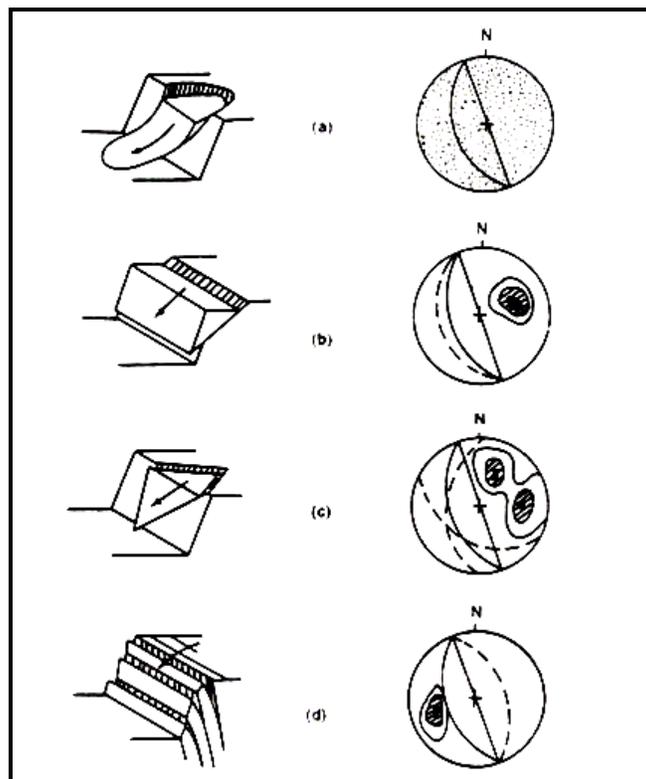
### **2.9.1 Diagramas Estereográficos**

Hay 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, centenas e 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 limitación 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 representados son los rebajes de taludes, orientación de perforaciones.

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

Dentro de la geotecnia, 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 (fig. 70).



**Figura 70 Uso de la Red Estereográfica en Estabilidad de Taludes.**

Por medio de esta técnica también es posible establecer la dirección e inclinación que deben llevar los barrenos para que se atraviesen el mayor número de fallas o fracturas con la mejor incidencia y así 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, ahorrando tiempo al analizar la información.

## *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 9*

### **2.9.2 Perfiles Geotécnicos**

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

#### **2.9.2.1 Perfiles Geotécnicos Individuales**

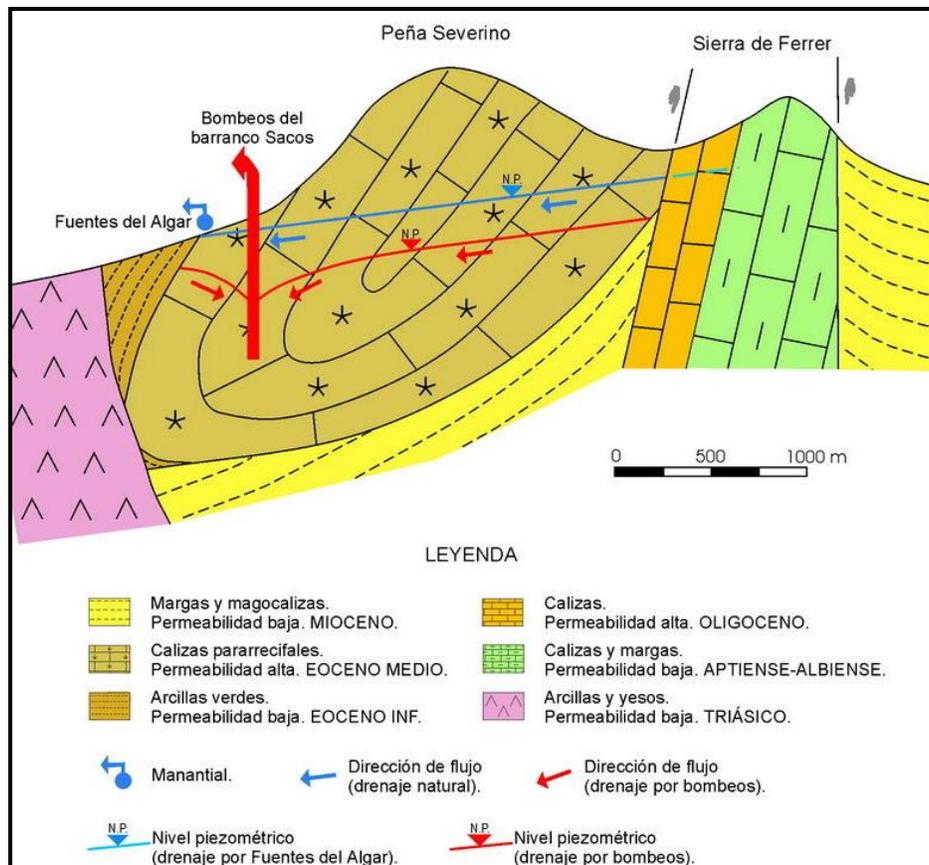
- A. **Perfil de un sondeo** . Es la representación gráfica de datos y las propiedades de los núcleos recuperados en un sondeo, mediante un análisis cuidadoso de ellos en el campo y de pruebas sobre éstos, desarrolladas en el laboratorio.

Para su elaboración se utilizan diversos patrones, como los mostrados en las figuras 71 y 72, donde se vacían 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

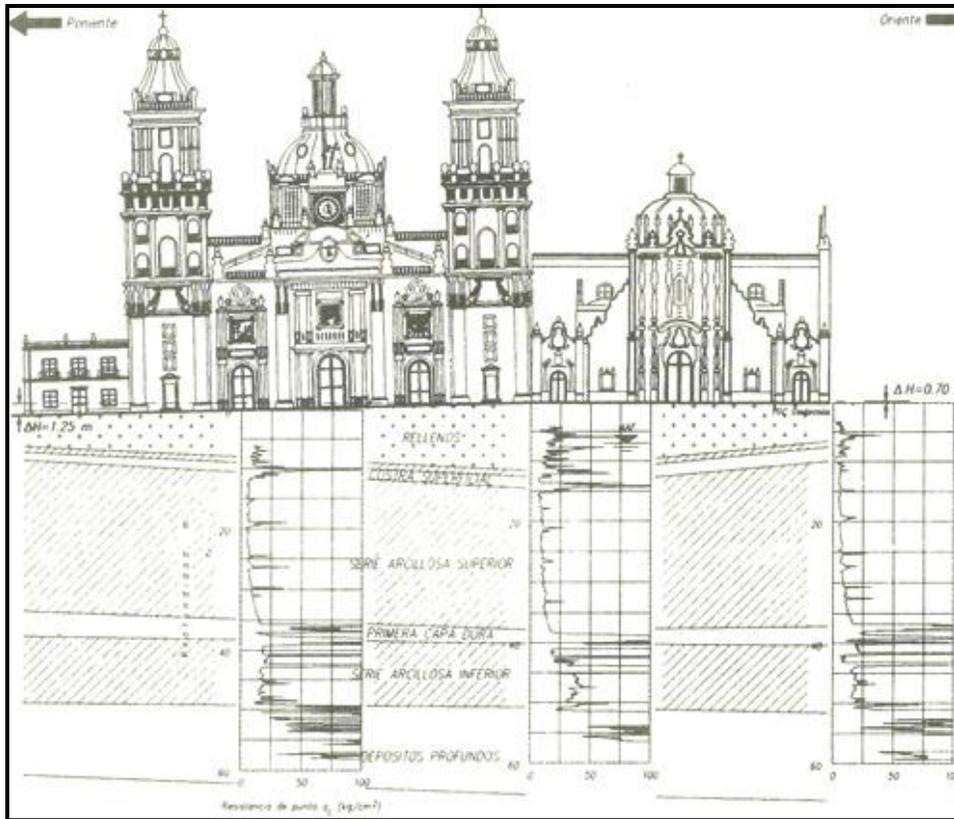
importancia para su análisis (fugas parciales o totales de agua, derrumbes en la pared del pozo, ademado, caídas bruscas de la broca, características del material en suspensión en el agua de retorno).

Las escalas que se recomiendan en estos perfiles son 1:100 y 1:200, con el fin de poder presentar claramente en ellos el mayor número de datos; 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.



**Figura 71 Forma para Perfil Geotécnico en Rocas**



**Figura 72 Forma para Perfil Geológico en Suelos**

**B. Perfil de un socavón, pozos a cielo abierto 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 presentado 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.

Los suelos y las rocas evolucionan bajo la acción de la intemperie después de abierta la excavación, es importante valorar el grado de alterabilidad que presentan en intervalos de tiempo relativamente cortos.

**C. Perfil geofísico de una sección** . La utilización de los métodos geofísicos de exploración puede repercutir económicamente al reducir la magnitud de las exploraciones directas. Es preciso calibrar los resultados de estos métodos, por lo menos comparándolos con los datos obtenidos en un sondeo. 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 un dato más para la interpretación de las condiciones geotécnicas del sitio.

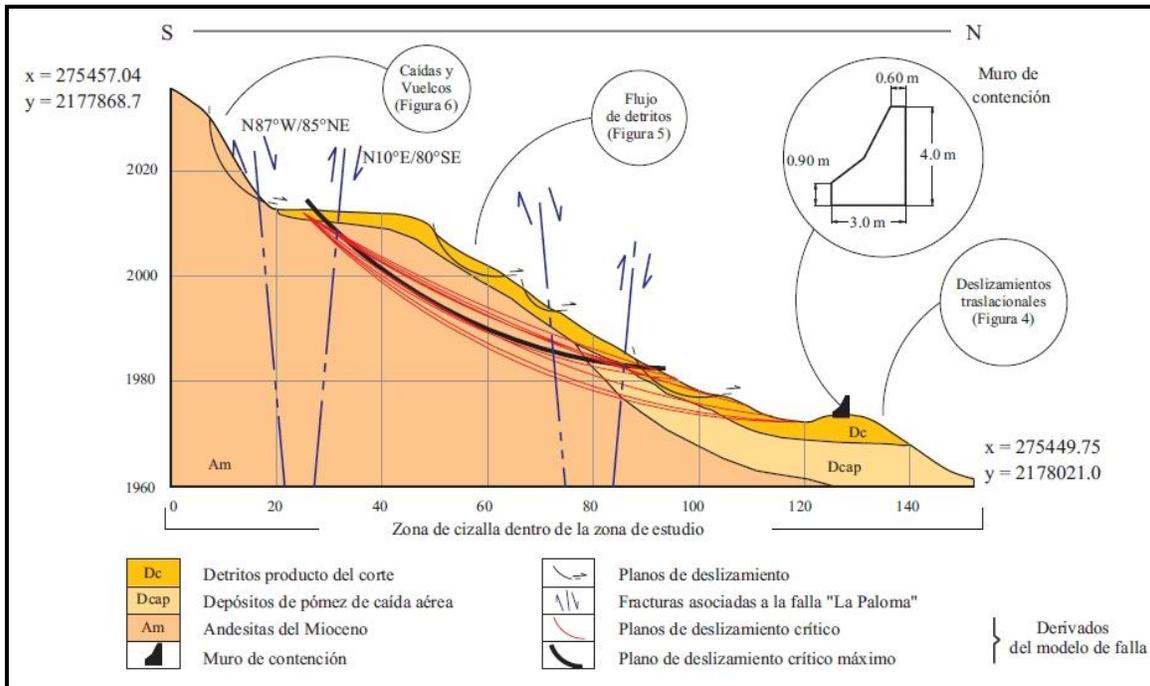
#### *SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 9*

##### **2.9.2.2 Perfiles Geotécnicos Integrados (Secciones Geotécnicas)**

Es la representación de una serie integrada de perfiles geotécnicos individuales (sondeos, socavones, trincheras, PCA) distribuidas sobre una sección de interés para el estudio, que permitirá comprender la geología de la sección.

Una buena explicación 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.

La presentación de estos perfiles se puede hacer en escalas de 1:500 a 1:5 mil siempre y cuando la que se use permita observar con claridad los principales elementos estructurales y la distribución de suelos y rocas (fig. 73).



**Figura 73 Sección Geotécnica Integrada**

*SUBCAPÍTULO BASADO EN LA REFERENCIA No. 9*

## **CONCLUSIONES**

Con este trabajo queda de manifiesto no solo la importancia de la Geología en la Ingeniería Civil, sino también la necesidad de tener los conocimientos adecuados para que el Ingeniero pueda desarrollar obras con los estándares de calidad suficientes.

Asimismo se comprendió como es que la ciencia de la Geología fue evolucionando y mediante el paso de los años poco a poco se fueron adquiriendo nuevas técnicas que faciliten el trabajo del profesionalista con resultados más precisos y verídicos, ahorrando suficiente tiempo y esfuerzo para hacer de manera más eficaz su trabajo.

Si bien es cierto el Ingeniero debe estar capacitado en cualquier rama de su profesión, queda demostrado que una de las más importantes es la ciencia de la Geología, base de la Mecánica de Suelos y parte fundamental en el crecimiento urbano y mejoramiento de las necesidades básicas de las poblaciones.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Astenósfera** Ë La astenósfera es la zona superior del manto terrestre que está inmediatamente debajo de la litosfera, aproximadamente entre 250 y 660 kilómetros de profundidad. La astenósfera está compuesta por materiales silicatados dúctiles, en estado sólido y semifundidos parcial o totalmente (según su profundidad y/o proximidad a bolsas de magma), que permiten la deriva continental y la isostasia.

**Banquisa** Ë La banquisa o el hielo marino es una capa de hielo flotante que se forma en las regiones oceánicas polares. Su espesor típico se sitúa entre un metro, cuando se renueva cada año, y 4 o 5 m, cuando persiste en el tiempo, como ocurre en la región ártica más próxima al polo. Excepcionalmente se forman engrosamientos locales de hasta 20 m de espesor. En muchas ocasiones está constituida por bloques de hielo fracturados que han sido nuevamente soldados.

**Broca tricónica o drag** Ë Es una herramienta de perforación importante y muy utilizada para pozos que tritura y quiebra las capas de las rocas. Este producto adopta una estructura de cojinete flotante. Los componentes flotantes están hechos de materiales de alta intensidad, elásticos y resistentes al calor.

**Bufamientos** Ë Es el efecto de recuperación de un terreno que se advierte por la expansión del mismo, al ser modificada la condición de carga o de humedad a la que originalmente se encontraba sujeto.

**Discontinuidades** Ë Es una capa de la estructura de la tierra que separa los distintos sectores de la corteza terrestre cuyas propiedades físicas difieren; las modificaciones en sus propiedades físicas se traducen en modificaciones de la velocidad de las ondas sísmicas que las atraviesan.

**Esquistosidad** Ë Propiedad de ciertas rocas y suelos, que les lleva a organizarse en láminas o superficies paralelas entre sí. Está ligada a la microestructura del material, pues en ciertas configuraciones la presencia de una fuerza perpendicular permite la reordenación de los minerales que lo forman.

**Estratificación** Ë La estratificación es la propiedad que tienen las rocas sedimentarias de disponerse en capas o estratos, uno sobre otros en una secuencia vertical. Un estrato es un cuerpo tabular de roca sedimentaria, de composición esencialmente homogénea, limitado por sus superficies planas denominados planos de estratificación, que representan cambios en las condiciones de sedimentación. Se denominan techo y base del estrato al plano de estratificación superior e inferior respectivamente. Existen dos tipos de gradientes que causan la estratificación: los físicos, producidos por la temperatura; y los químicos, producidos por la diferente composición química de las aguas superficiales y profundas

**Fisiografía** Ë Es la rama de la Geografía que estudia en forma sistémica y espacial la superficie terrestre considerada en su conjunto y, específicamente, el espacio geográfico natural. Constituye uno de los tres grandes campos del conocimiento geográfico; los otros son la Geografía Humana cuyo objeto de estudio comprende el espacio geográfico humano y la Geografía Regional que ofrece un enfoque unificador, estudiando los sistemas geográficos globalmente.

**Hidrosfera** Ë La hidrosfera describe en las ciencias de la Tierra el sistema material constituido por el agua que se encuentra bajo y sobre la superficie de la Tierra. Incluye los océanos, mares, ríos, lagos, agua subterránea, el hielo y la nieve. La Tierra es el único planeta del Sistema Solar en el que está presente de manera continuada el agua líquida, que cubre aproximadamente dos terceras partes de la superficie terrestre, con una profundidad promedio de 3,5 km, lo que representa el 97 % del total de agua del planeta. El agua dulce representa 3 % del total y de esta cantidad aproximadamente 98 % está congelada, de allí que solo se tenga

acceso al 0,06 % de toda el agua del planeta. El agua migra de unos depósitos a otros por procesos de cambio de estado y de transporte que en conjunto configuran el ciclo hidrológico o ciclo del agua.

**Litosfera** Ë La litósfera es la capa sólida superficial de la Tierra, caracterizada por su rigidez. Está formada por la corteza y la zona más externa del manto, y flota sobre la astenósfera, una capa plástica que forma parte del manto superior. La litosfera suele tener un espesor aproximado de 50 a 300 km, siendo su límite externo la superficie terrestre. El límite inferior varía dependiendo de la definición de litósfera que se ocupe.

**Silicatos** Ë Los silicatos son el grupo de minerales de mayor abundancia, pues constituyen más del 95% de la corteza terrestre, además del grupo de más importancia geológica por ser petrogénicos, es decir, los minerales que forman las rocas. Todos los silicatos están compuestos por silicio y oxígeno. Estos elementos pueden estar acompañados de otros entre los que destacan aluminio, hierro, magnesio o calcio.

**Solifluxión** Ë Es el proceso geomorfológico característico de algunas zonas, que consiste en el desplazamiento masivo y lento por gravedad de formaciones arcillosas u otros tipos de suelo a causa de la plasticidad y fluidez adquirida por aquéllos cuando absorben gran cantidad de agua.

**Toponimia** Ë La toponimia u onomástica geográfica es una disciplina de la onomástica que consiste en el estudio etimológico de los nombres propios de un lugar. Además de la onomástica, otras ciencias utilizan el concepto de toponimia con significaciones específicas. La lectura y la interpretación de un mapa puede darnos una gran información si conocemos el significado de los topónimos que contiene. Esta relación contribuye al dominio del idioma, del paisaje, de la dimensión global, regional y puntual que tiene el lugar analizado. La toponimia

suministra información sobre las características geológicas de paisaje. Muchos lugares toman el nombre de las características geológicas.

**Trépano** **Ě** Es una herramienta de corte que se utiliza para triturar el suelo durante el proceso de perforación rotatoria de un pozo. Tiene huecos para permitir el paso del fluido de perforación, que sale a chorros por picos intercambiables. El fluido lubrica y refrigera el trépano y ayuda a expulsar la roca molida hacia la superficie.

**Tubificaciones** **Ě** Es un problema de erosión retrograda, quiere decir que empieza erosionando los primeros granitos de suelo que no están confinados. Cuando el agua se lleva esos granos, le es más fácil llevarse los siguientes y de esa manera se genera un tubo en el suelo desde la superficie hacia el interior.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica, Terzaghi, Argentina 1976
2. Mecánica de Suelos, Juárez Badillo y Rico R.A., México 1975
3. Exploración y muestreo en suelos para proyectos de cimentaciones, Pemex, México 1975
4. Características Geotécnicas del Subsuelo de Veracruz, Miranda Moreno Jorge Antonio, Tesis Profesional, 1979
5. Geología aplicada a la Ingeniería Civil y Fotointerpretación, Puig J.B., México 1970
6. Geofísica aplicada para ingenieros y geólogos, Griffiths D.A. y King P.H., 1972
7. The art of tunneling, Szechy, Budapest 1973
8. Exploraciones geológicas para obras de Ingeniería Civil, Prieto y Rosas, México 1978
9. Manual de Comisión Federal de Electricidad, Manual de Obras Civiles, México, D.F., 1993
10. Manual de Diseño de Obras Civiles, México DFE, 1979
11. Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros, Krynine, D.P. y Judd, España, Omega 1957
12. [www.astromia.com](http://www.astromia.com)