

Las variaciones sistemáticas de las propiedades de las rocas y minerales del subsuelo, son las que evidencian la existencia de estructuras o contactos a profundidad. Tales variaciones son llamadas "anomalías", las cuales son más útiles para el geofísico que los valores absolutos de las medidas físicas. Para poder analizar correctamente las anomalías en la determinación de la geología del subsuelo, es necesario contar con un criterio geológico y un conocimiento de la geología superficial y regional.

Cuando en una región se hacen estudios sistemáticos para el conocimiento de la geología, la geofísica normalmente ocupa un lugar intermedio en el programa de exploración, entre la geología y la perforación.

Los métodos geofísicos más usados son:

**Gravimétrico.** Es empleado para detectar las variaciones de la atracción de la gravedad, producidas por rocas que yacen a varios kilómetros debajo de la superficie terrestre. Las variaciones estructurales, tales como anticlinales sepultadas, frecuentemente están formadas por rocas más densas, lo que produce un incremento de gravedad directamente sobre su cima. Los instrumentos de medición, pueden ser el gravímetro, el péndulo o la balanza de torsión.

**Magnético.** Se buscan variaciones en el campo magnético de la Tierra, las cuales son debidas a propiedades magnéticas anómalas en rocas de poca profundidad.

Este método que las rocas sedimentarias, rara vez se encuentran directamente magnetizadas, el método de exploración magnética

aplica únicamente a rocas ígneas o a depósitos minerales constituyentes magnéticos. El instrumento de medición se llama magnetómetro.

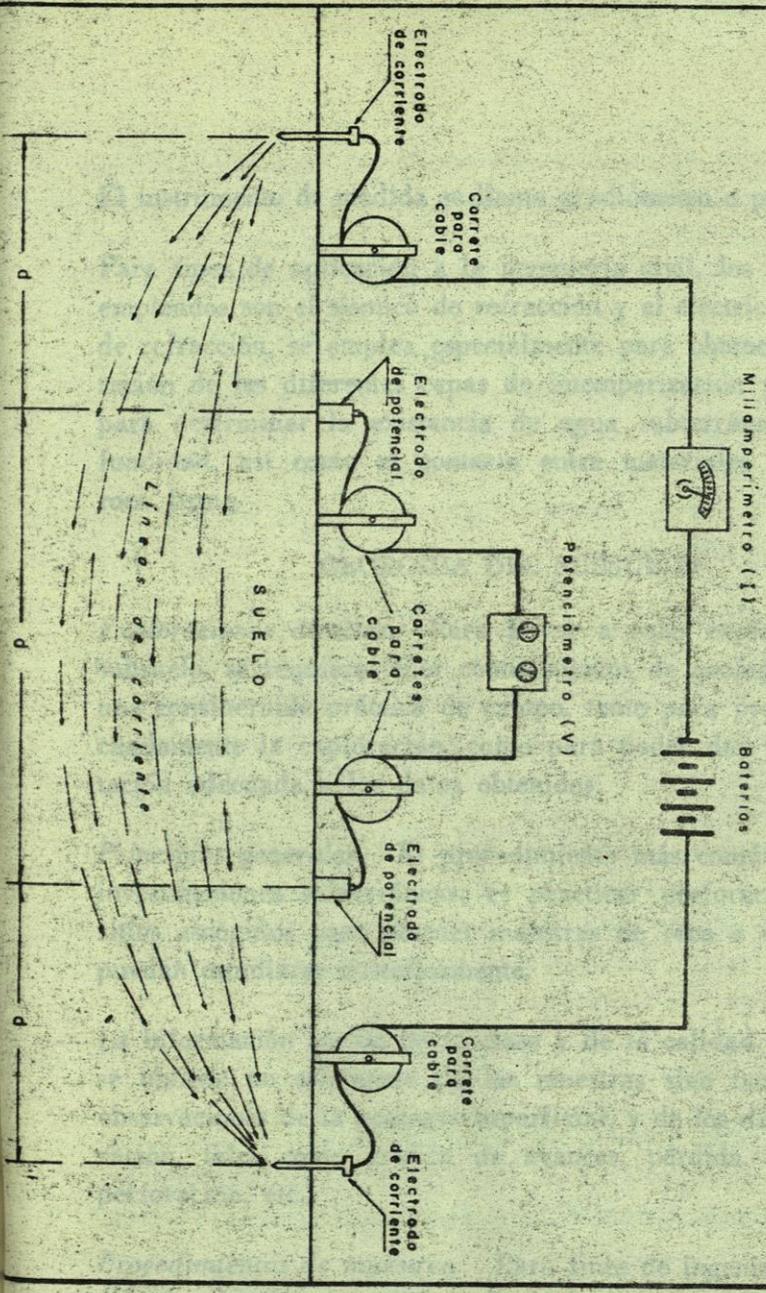
**Sísmico.** Aprovecha las propiedades elásticas de las rocas para determinar las estructuras y los contactos existentes. Por medio de explosiones artificiales, se mandan ondas sonoras, las cuales se devuelven a la superficie ya sea por reflexión al llegar a planos de contacto, o por refracción después de haber recorrido un trecho a lo largo de esas superficies. Partiendo del punto que requieren las ondas para llegar a los detectores en los puntos a lo largo de la superficie, se puede determinar la profundidad de los contactos entre diferentes estratos, y las estructuras existentes.

Los métodos sísmicos dan una información muy detallada en las zonas donde las formaciones muestran contrastes marcados en las propiedades elásticas. De todas las técnicas geofísicas, las sísmicas son las más ampliamente usadas. El instrumento más empleado es el sismómetro de geófonos.

**Eléctrico.** Aprovecha las variaciones en las propiedades eléctricas de las rocas o minerales. Los métodos eléctricos son muy sencillos. En el procedimiento de resistividad, uno de los más sencillos, se insertan en el suelo cuatro electrodos a lo largo de una línea recta; se introduce una corriente eléctrica al terreno por los dos de los electrodos y la diferencia de potencial con respecto a la corriente que pasó por el subsuelo, se mide en los dos primeros electrodos.

La naturaleza y profundidad de las anomalías pueden ser estimadas por el análisis de las curvas de resistividad contra separación de electrodos.

## METODO ELECTRICO DE RESISTIVIDADES



El penetrómetro estándar, el tubo de la línea y la perforación rotatoria.

Esta magnético. El instrumento de medición se aplica únicamente a rocas ígneas o a depósitos minerales con constituyentes magnéticos.

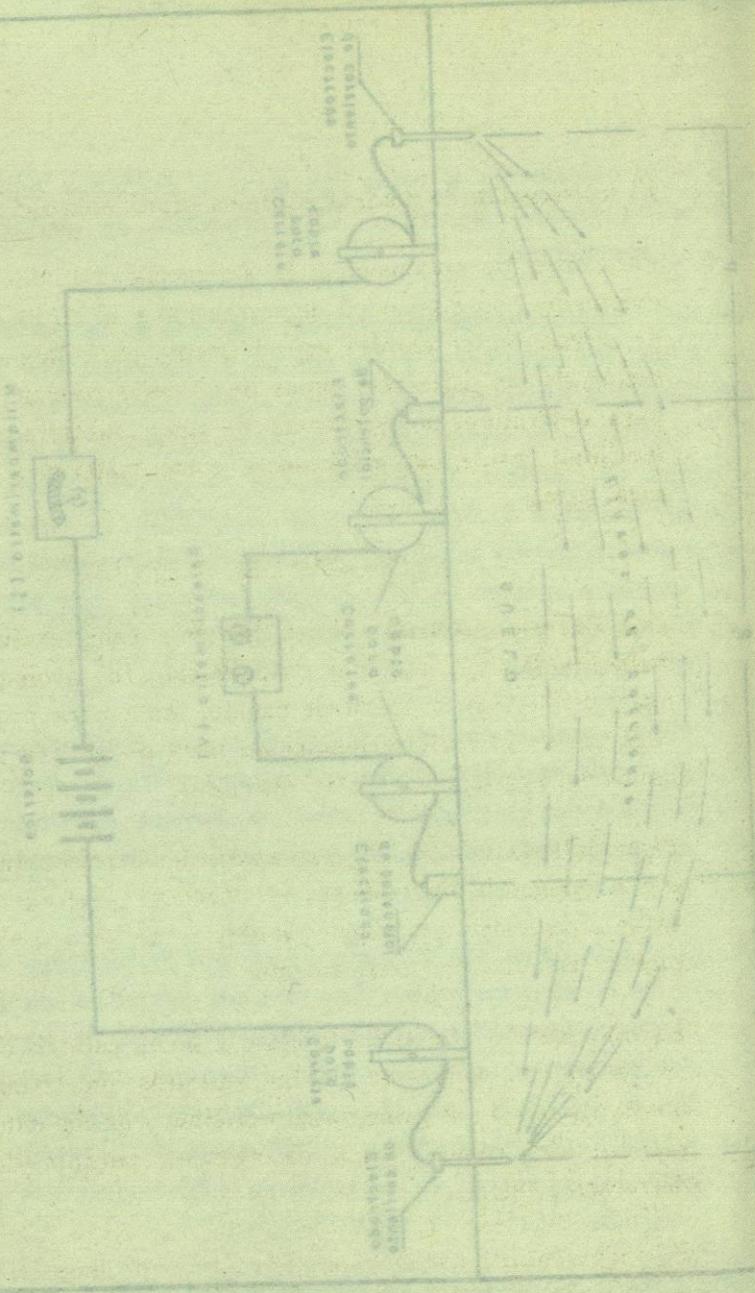
Estimico. Aprovecha las propiedades clásicas de las rocas para determinar las estructuras y los contactos existentes. Por medio de explosiones artificiales, se mandan ondas sonoras, las cuales son devueltas a la superficie ya sea por reflexión al llegar a los planos de contacto, o por retracción después de haber recorrido un trecho a lo largo de esas superficies. Poniendo en tiempo que requieren las ondas para llegar a los detectores en varios puntos a lo largo de la superficie, se puede determinar la profundidad de los contactos entre diferentes estratos y las estructuras existentes.

Los métodos sísmicos dan una información muy detallada en las áreas en donde las lecturas muestran contrastes marcados en sus propiedades elásticas. De todas las técnicas geofísicas, las sísmicas son las más ampliamente usadas. El instrumento más común en el sísmómetro de geofonos.

Electrodo. Aprovecha las variaciones en las propiedades eléctricas de las rocas o minerales. Los métodos eléctricos son muy sencillos. En el procedimiento de resistividad, uno de los más usados, se insertan en el suelo cuatro electrodos a lo largo de un perfil; se introduce una corriente eléctrica al terreno por medio de dos de los electrodos y la diferencia de potencial con el corriente que pasó por el subsuelo, se mide en los otros dos electrodos.

La irregularidad y profundidad de las anomalías pueden ser estudiadas por el análisis de las curvas de resistividad contra separación de electrodos.

## METODO ELECTRICO DE RESISTIVIDADES



El instrumento de medida se llama gradiómetro o potenciómetro.

Para fines de aplicación a la ingeniería civil, los métodos más empleados son el sísmico de refracción y el eléctrico. El sísmico de refracción, se emplea especialmente para obtener la configuración de las diferentes capas de intemperización y el eléctrico para determinar la existencia de agua subterránea y su profundidad, así como el contacto entre materiales sueltos y la roca firme.

## GEOLOGIA DEL SUBSUELO

*Exploraciones directas.* Para llevar a cabo exploraciones del subsuelo, se requiere tener conocimientos de geología, así como una considerable práctica de campo, tanto para programar adecuadamente la exploración, como para poder dar una interpretación adecuada a los datos obtenidos.

*Principios generales.* El procedimiento más común para hacer investigaciones subterráneas, es practicar perforaciones en los sitios escogidos para obtener muestras de roca o de suelo que puedan estudiarse posteriormente.

La información acerca de la clase y de la calidad del material, se obtiene no solamente de las muestras sino también de las observaciones de la geología superficial, y de los datos de perforación, tales como gráfica de avances, pérdida del agua de perforación, etc.

*Procedimientos de muestreo.* Para fines de ingeniería civil, los métodos de muestreo más empleados, son los pozos a cielo abierto, el penetrómetro estándar, el tubo de lámina y la perforación rotatoria.

Las muestras de suelo que se obtienen de una excavación, pueden ser alteradas o inalteradas. Las muestras alteradas son aquéllas en que el material ha sido removido o remoldeado por lo que las características de la muestra difieren grandemente de las que tenía ese material "in situ". Las muestras "inalteradas", son las que mantienen las propiedades del material "in situ". Aún cuando en realidad no hay posibilidad de tomar muestras completamente inalteradas, se considera que lo son porque se obtienen con procedimientos especiales que permiten conservar en gran parte sus propiedades. Se toman para estudios de cimentaciones en materiales blandos.

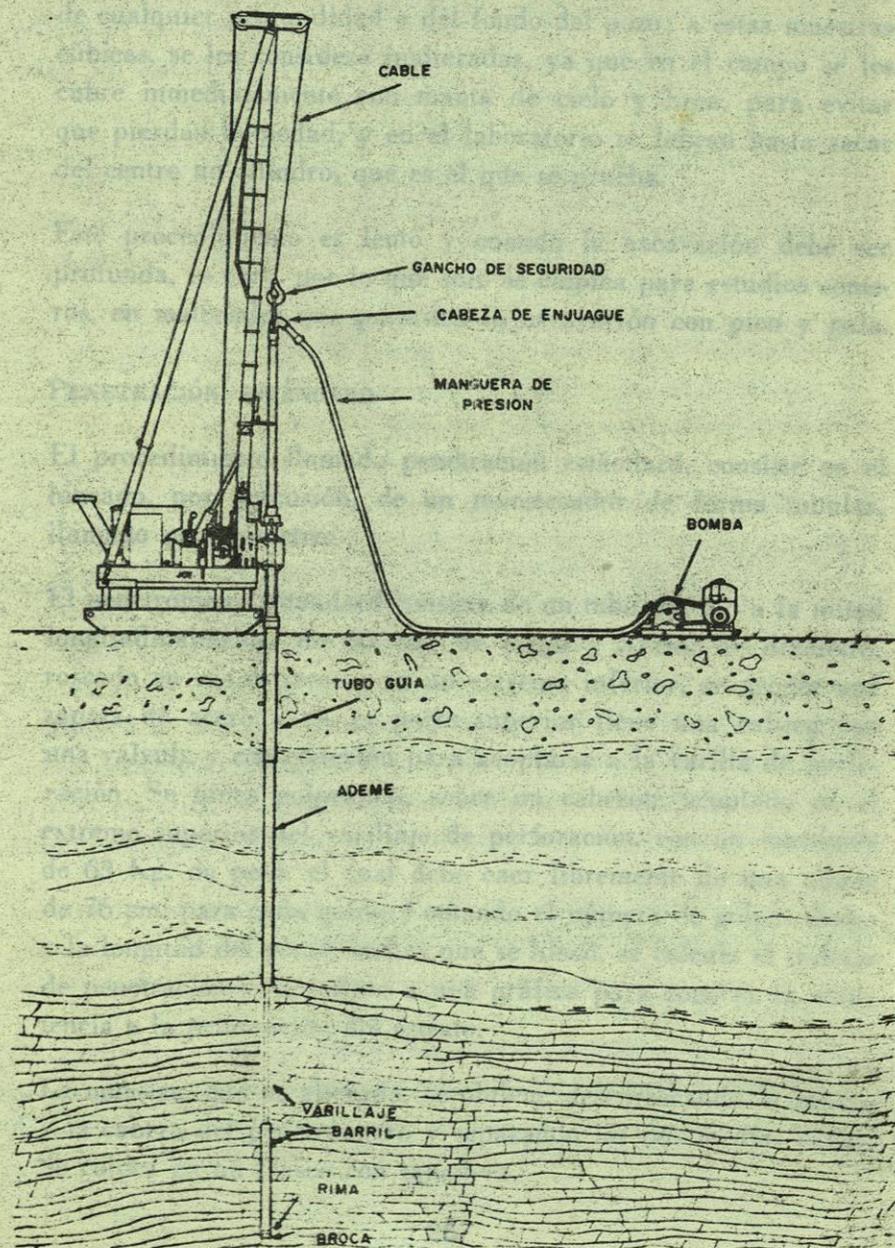
**Columna Geológica.** En la práctica, la columna geológica en una perforación, es la sucesión de los estratos encontrados. El conocimiento de la columna geológica es el objeto directo de cada excavación. Se representa a escala dando a cada capa su espesor relativo.

**Perfil estratigráfico.** También llamado perfil geológico o de suelos, se forma uniendo gráficamente los contactos entre los diferentes estratos de cada una de las columnas geológicas. La formación del perfil estratigráfico requiere un criterio geológico y el conocimiento de la geología superficial.

#### POZO A CIELO ABIERTO

Los pozos a cielo abierto, son excavaciones que se hacen con pico y pala, de unos 2 x 2 m. de sección y profundidades pequeñas o medianas, cuando el nivel de aguas freáticas lo permite.

Por medio de estas excavaciones, se puede reconocer directamente la columna geológica del lugar, hasta la profundidad de excavación así como las características de cada uno de los estra-



Equipo de perforación rotatoria. Puede usarse para perforación

Las muestras de suelo que se obtienen de una excavación, pueden ser alteradas o inalteradas. Las muestras alteradas son aquellas en que el material ha sido removido o removido por lo que las características de la muestra difieren grandemente de las que tenía ese material "in situ". Las muestras "inalteradas", son las que mantienen las propiedades del material "in situ". Aún cuando en realidad no hay posibilidad de tomar muestras completamente inalteradas, se considera que lo son porque se obtienen con procedimientos especiales que permiten conservar en gran parte sus propiedades. Se usan para estudio de cimentaciones en materiales blandos.

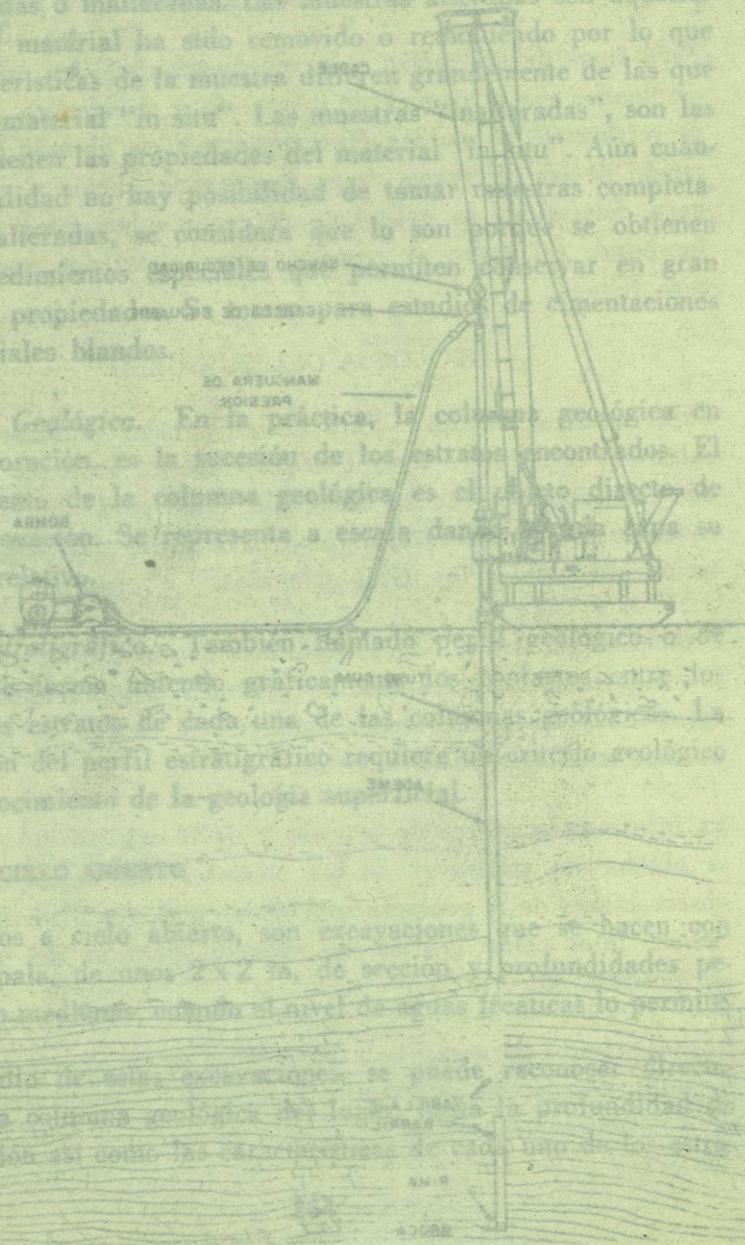
**Columna Geológica.** En la práctica, la columna geológica en una perforación, es la sucesión de los estratos encontrados. El conocimiento de la columna geológica es el objeto directo de esta excavación. Se representa a escala dada, según sea su espesor.

Para el estudio de la columna geológica, también se hacen perfiles geológicos o de suelos. Se hacen gráficos que muestran la distribución estratigráfica de cada una de las columnas geológicas. La formación del perfil estratigráfico requiere del estudio geológico y el conocimiento de la geología superficial.

**Pozo a cielo abierto.**

Los pozos a cielo abierto, son excavaciones que se hacen con pico y pala, de una 1 x 2 m. de sección y profundidades pequeñas o moderadas, hasta el nivel de agua o arenas o gravas.

Por medio de estas excavaciones se puede reconocer directamente la columna geológica. En la práctica, se hacen estas excavaciones así como las perforaciones de tubo.



removidas, como la...  
También permite tomar muestras cúbicas (30 x 30 x 30 cm.) de cualquier profundidad o del fondo del pozo; a estas muestras cúbicas, se les considera inalteradas, ya que en el campo se les cubre inmediatamente con manta de cielo y brea, para evitar que pierdan humedad, y en el laboratorio se labran hasta sacar del centro un cilindro, que es el que se prueba.

Este procedimiento es lento y cuando la excavación debe ser profunda, es caro, por lo que sólo se emplea para estudios someros, en materiales que permiten la excavación con pico y pala.

#### PENETRACIÓN ESTÁNDAR

El procedimiento llamado penetración estándar, consiste en el hincado, por percusión, de un muestreador de forma tubular, llamado penetrómetro.

El penetrómetro estándar consiste de un tubo partido a la mitad longitudinalmente, de 60 cm. de largo y 5 cm. de diámetro, roscado en sus extremos; en un extremo inferior, se acopla una zapata de acero y en su parte superior tiene una cabeza con una válvula y con conexión para acoplarse a la varilla de perforación. Se hinca golpeando, sobre un cabezote acoplado en el extremo superior del varillaje de perforación, con un martinete de 63 Kg. de peso, el cual debe caer libremente de una altura de 76 cm. para cada golpe. Contando el número de golpes dados y la longitud del penetrómetro que se hincó, se calcula el trabajo de penetración y se refiere a una gráfica para conocer la resistencia a la penetración del estrato.

La muestra, que es alterada, se obtiene desenroscando la zapata y la cabeza del penetrómetro y separando las dos medias cañas. Se coloca en un frasco con tapadera.

## TUBO SHELBY

El muestreo con tubo de lámina o "Shelby" se emplea en suelos arcillosos blandos, para extraer muestras inalteradas. El caso del subsuelo de la Cuenca de México es de ese tipo.

El tubo de lámina más usado, mide 10 cm. (4") de diámetro y 90 cm. (3') de largo, la lámina es delgada, de 1.6 mm. (1/16") con el objeto de que el suelo no se altere al tomar la muestra.

El muestreador se hinca por presión, o bien por percusión, y al sacarse a la superficie, se procede a recubrir sus extremos con brea, para preservar la muestra.

## PERFORACIÓN ROTATORIA

La perforación con máquina rotatoria, se emplea para obtener muestras de formaciones duras. Esencialmente el equipo consiste de la máquina, un tripié o torre; un suivel o cabeza de enjuague por donde se inyecta el agua o el lodo de perforación, el varillaje o tubería de perforación; un barril muestreador, que es un tubo donde se aloja la muestra llamada núcleo, bastón o corazón; una rima y una broca de diamantes normalmente de 36 a 74 mm. de diámetro que cortan por abrasión y la tubería de ademe.

También es esencial contar con una bomba para inyectar el agua o lodo. El objeto de la inyección de un fluido es:

1. Enfriar la broca.
2. Sacar la cortadura o muestra de canal.
3. Ademar o enjarrar las paredes para evitar derrumbes.

Existen otros procedimientos para obtener muestras de suelos

remoldeadas, como la posteadora, con la que se puede llegar hasta quince metros, pero su aplicación es más restringida.

## PRUEBAS DE CAMPO

Cuando se hace el estudio de geología superficial, es frecuente que se presente la necesidad de llevar a cabo algunas pruebas de campo sobre rocas o suelos, independientemente de la toma de muestras para el laboratorio, particularmente para cimentaciones, cortes y túneles.

Estas pruebas de campo se refieren principalmente a mediciones de valores de resistencia "in situ".

Para suelos arcillosos saturados se emplea en algunos casos un medidor de cohesión manual tipo dinamómetro, para determinar la resistencia superficial a la compresión por medio de un pequeño pistón cilíndrico que se hinca en el terreno. Este valor es útil para tener una idea general de la resistencia.

Para probar la resistencia "in situ" de rocas, en túneles u otras excavaciones, se procede a aplicar cargas por medio de gatos hidráulicos sobre las paredes o sobre pequeñas columnas de sección cuadrada excavadas exprofeso. Se mide la resistencia a la compresión y al esfuerzo cortante en el lugar en que se hace la prueba.

Los conocimientos geológicos y la experiencia del ingeniero le permiten extrapolar o saber hasta que grado se puede generalizar la información obtenida en la medición.

El martillo de geólogo es la herramienta más útil en el campo para conocer en una forma aproximada las características de dureza, resistencia y fracturamiento en rocas y suelos.

## Capítulo VIII

### GEOLOGIA APLICADA

La aplicación de conocimientos de geología a la planeación y proyecto de obras de ingeniería, es de tal importancia, que su utilización puede decidir el éxito o el fracaso de la obra.

El ingeniero tiene la obligación de asegurar, hasta donde sea posible económicamente, el buen funcionamiento de la obra. Para esto, necesita contar con la información requerida para la planeación y el proyecto, la cual obtiene de estudios previos. En la elaboración de los estudios adecuados no debe escatimarse ni tiempo ni costo, ya que lo que se ahorra al no hacerlos completos, se paga posteriormente con creces durante la construcción y la operación.

Es frecuente que, aún contando con los resultados de los estudios, algunos aspectos del proyecto no puedan ser apoyados 100% sobre datos confiables. En estos casos, es en los que se requiere que el ingeniero, con base en sus conocimientos y su experiencia, sea capaz de aceptar un riesgo razonado; acertar mejor y más a menudo en sus apreciaciones hace a un ingeniero superior a otro. Los conocimientos de geología proporcionan una parte importante de los elementos de juicio con que puede contar para resolver los problemas comunes y los imprevistos, así como para normar su criterio al ordenar o efectuar personalmente las exploraciones de investigación.

#### CIMENTACIONES

Los estudios geológicos para el proyecto de cimentaciones pue-

### BIBLIOGRAFIA

*También como libros de consulta para la clase de Geología Aplicada.*

- Principles of Geology = Gilluly, Walters y Woodford*
- Application of Geology to Engineering Practice = Berkey Volume*
- Historical Geology = Dunbar*
- Principles of Sedimentation = Twenhofel*
- Geomorphology = Lobeck*
- Field Geology = Lahee*
- Principles of Engineering Geology and Geotechnics = Krynine and Judd*
- Geology for Engineers = Trefethen*
- Apuntes de Geología Aplicada = Puig*
- Dam Geology = Walters*
- Apuntes Sobre las Rocas = Vivar*
- Las Doce Reglas de la Interpretación Fotogeológica = Guerra Peña*
- Fotogeología y su Aplicación a la Exploración Petrolera = Puig*
- Fotogeología Aplicada a las Vías Terrestres = Puig.*

