

SECRETARIA  
DE COMUNICACIONES  
Y TRANSPORTES

SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA

# Elementos de Geología Para uso de Ingenieros Civiles

**DIRECCION GENERAL DE PROYECTOS SERVICIOS  
TECNICOS Y CONCESIONES**

**ELEMENTOS DE GEOLOGIA  
PARA USO DE INGENIEROS CIVILES**

La presente publicación fue actualizada por los Ingenieros geólogos ARMANDO QUEZADAS FLORES y FCO. JAVIER VERDAYES ROJAS, siendo el original redactado por el Ingeniero IVAN KIREEV J. en el año de 1960.

México, D.F., octubre de 1991

## **PREFACIO**

El objeto de esta publicación obedece a la necesidad de proporcionar a los Ingenieros Civiles que colaboran en esta Secretaría los elementos geológicos que se requieren en los trabajos en las vías terrestres, tales como: proyectos, construcción y conservación.

En el texto, se proporciona el conocimiento indispensable para entender y resolver los problemas específicos que se presentan en las obras de ingeniería e indica, de manera breve, los problemas que pueden presentar los macizos rocosos desde el punto de vista estructural y las fallas y fracturas que normalmente se presentan.

Se da una descripción general de los diferentes tipos de rocas que se encuentran en la República Mexicana, principalmente, de aquellas que presentan problemas.

México, D.F., octubre de 1991

# ELEMENTOS DE GEOLOGIA

Las ramas de Ingeniería que más relaciones tienen con los factores geológicos son las de: minería, petróleo o Ingeniería civil.

De las dos primeras, no es necesario hacer mayores explicaciones, puesto que son ampliamente reconocidas en todos los países desde hace mucho tiempo. Basta decir que, actualmente, ninguna empresa se aventura a perforar pozos petroleros o explotar yacimientos minerales, sin hacer previamente un amplio y detallado estudio geológico, con el fin de asegurar el éxito económico de la empresa.

Más aún, en los países más avanzados, estos estudios se hacen en forma amplia y sistemática, incluyendo regiones que, sin tener importancia directa en cuanto a los recursos minerales en el subsuelo, arrojan luz sobre los factores geológicos, ligando una región con otra, ayudando así a proporcionar datos de utilidad general.

Respecto a las obras de Ingeniería Civil, la utilización de los estudios geológicos es más reciente y más limitada, puesto que hace relativamente pocos años que se ha comenzado a reconocer y dar importancia al criterio y experiencia del Ingeniero Geólogo, como un factor esencial en una organización que tenga como fin la planeación, localización y construcción de grandes obras de Ingeniería.

Cabe decir, de paso, que este reconocimiento se debió a numerosos y frecuentes fracasos de algunas obras, precisamente, porque no se había concedido debida atención a los factores geológicos que los ocasionaron.

Una de las funciones más importantes del Ingeniero Geólogo, en su colaboración con el Ingeniero Civil, es la de asistirle en la resolución de los problemas decisivos en la localización de obras y su ejecución, considerando el conjunto de los factores relacionados con la naturaleza física de las rocas o formaciones y su comportamiento durante la construcción de la obra y en su fase posterior.

El Ingeniero Geólogo debe tener en cuenta que el Ingeniero Civil necesita una información detallada y aprovechable para sus fines, en la que se deben incluir todos los datos referentes a diferentes tipos de rocas sobre las que se va a construir la obra.

## METODOS DE EXPLORACION

El método de exploración geológica más adecuada en un caso dado depende, ante todo, de la naturaleza de la obra que se quiere construir.

Si se trata, por ejemplo, del estudio de un camino o un ferrocarril, el primer paso en el estudio geológico consiste en proporcionar la mejor localización desde el punto de vista geológico-topográfico. Para este fin, se usa en la actualidad casi exclusivamente el método fotogramétrico y foto interpretación, que permite efectuar un reconocimiento preliminar con el fin de aportar los datos completos de carácter morfológico-topográfico, además de una información general de las con-

diciones geológicas de las zonas a través de las cuales pasará el trazo. Esto permite elegir una faja de terreno en donde, con seguridad, se puede alojar el trazo definitivo.

En muchos casos, contando con fotografías aéreas y usando un estereoscopio de espejos, se pueden localizar los accidentes tectónicos que son de suma importancia, indicar la inclinación de los estratos, apreciar las evidencias de la erosión en las márgenes de las corrientes y depósitos formados por los mismos, localizar fallamientos, etc.

Además, un estudio foto-geológico puede proporcionar grandes economías en los estudios y proyectos de los puentes; puesto que en un mosaico de fotografías aéreas se puede ver con todo detalle el sistema hidrológico de una cuenca y se puede también alojar el trazo de un camino o vía férrea, de tal modo, que se eviten cruces innecesarios y se escojan los que presentan mejores condiciones para el puente.

En esta primera parte del estudio generalmente participan tanto el Ingeniero Geólogo como el Ingeniero Civil.

El segundo paso consiste en hacer en forma directa, en reconocimiento mas detallado de la faja escogida, estudiando los suelos y rocas, su distribución y formas estructurales, tectónicas naturaleza física, comportamiento ante los agentes de la erosión; formando un programa para el estudio del subsuelo, etc.

Por último, se deberán estudiar las condiciones geológicas del subsuelo con el objeto de proporcionar al ingeniero los datos concretos referentes a las propiedades físicas de las rocas o formaciones y obtener las muestras para someterlas a ciertas pruebas en los laboratorios de mecánica de suelos y de rocas.

Esta última parte del estudio tiene especial importancia en la construcción de puentes, túneles, pasos a desnivel, grandes edificios, etc. Así, en caso de rocas o formaciones duras y resistentes, se hace necesario obtener núcleos del subsuelo para determinar las propiedades o características siguientes:

- 1.- Tipo de roca o formación que existe en el sitio de la obra y su relación con las formaciones que le subyacen.
- 2.- Sus formas estructurales.
- 3.- Accidentes tectónicos, capaces de afectar la estabilidad de la obra.
- 4.- Columna estratigráfica.
- 5.- Tipo, espesor y características de los rellenos en los valles y cauces de los ríos.
- 6.- Grado de alteración e intemperismo de la roca.
- 7.- Fatigas de trabajo.
- 8.- Existencia y profundidad del nivel freático y la existencia de aguas subterráneas.
- 9.- Existencia y grado de fracturamiento y relleno de las fracturas.
- 10.- Porosidad natural y de carácter inducido (grietas, fracturas, juntas, etc.).

- 11.- Composición mineralógica.
- 12.- Existencia de materiales de construcción y su uso
- 13.- Solubilidad.
- 14.- Corte Geológico

En caso de formaciones o depósitos blandos, será necesario saber:

- 1.- Tipo de suelo en el sitio de la obra y su relación con las formaciones que existen en la zona.
- 2.- Sus formas estructurales.
- 3.- Columna estratigráfica.
- 4.- Composición litológica y granulométrica.
- 5.- Accidentes tectónicos.
- 6.- Corte geológico.
- 7.- Fatigas de trabajo.
- 8.- Coeficiente de fricción.
- 9.- Esfuerzo cortante.
- 10.- Resistencia a la compresión.
- 11.- Resistencia a la penetración.
- 12.- Plasticidad y elasticidad.
- 13.- Permeabilidad y porosidad.
- 14.- Densidad húmeda y seca.
- 15.- Composición mineralógica.
- 16.- Solubilidad.

Primeros seis puntos que se determinan por el Ingeniero geólogo a base de observaciones en el campo o por los resultados de sondeos.

Los factores relacionados con las propiedades físicas de las rocas o formaciones se determinan en el laboratorio de mecánica de suelos. Por lo tanto, el Ingeniero Geólogo debe proporcionar al Ingeniero Civil las muestras inalteradas de cada formación o estrato para que sean sometidas a las pruebas en el laboratorio.

## ESTRUCTURAS PLEGADAS Y FALLAS

Las estructuras plegadas se presentan exclusivamente en las rocas sedimentarias y metamórficas.

A veces, las rocas piroclásticas se depositan dentro de las aguas y adquieren el aspecto de rocas estratificadas.

Originalmente las formaciones sedimentarias se depositaron en una posición horizontal. Posteriormente, debido a los esfuerzos verticales y horizontales dentro de la corteza terrestre, estas capas pierden su posición horizontal y sufren deformaciones. Bajo los esfuerzos de compresión se forman los plegamientos, ocupando los estratos nuevas posiciones bajo cualesquier ángulos con respecto a la horizontal.

- 1 La posición de los estratos se determina por su inclinación máxima que se mide en grados a partir de la horizontal (echado). Así, por ejemplo, la anotación de  $49^{\circ}$  N  $23^{\circ}$  W se interpreta que el estrato tiene la inclinación máxima de  $49^{\circ}$  con respecto a la horizontal y la línea que determina esta inclinación tiene la orientación de  $23^{\circ}$  S.W. (C D de la fig. 1).
- 2 Por el rumbo, que es la dirección de la línea de intersección que forma un estrato inclinado con el plano horizontal y por lo tanto siempre se traza un ángulo recto con respecto a la línea de echado (A B de la fig. 1).

FIGURA No. 1

RUMBO DE LA CAPA A B = NW  $23^{\circ}$   
RUMBO DEL ECHADO SW  
ECHADO C D =  $49^{\circ}$

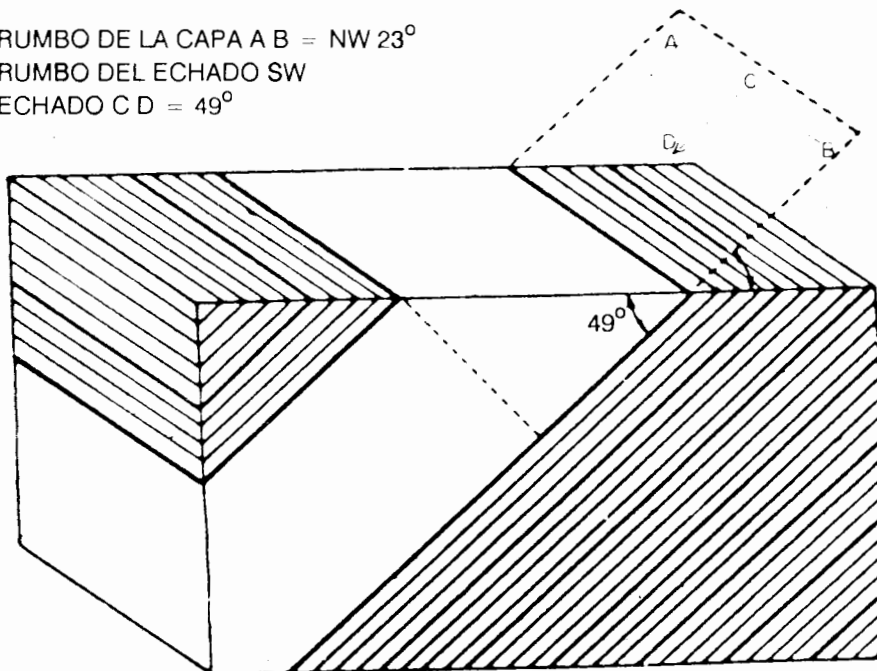
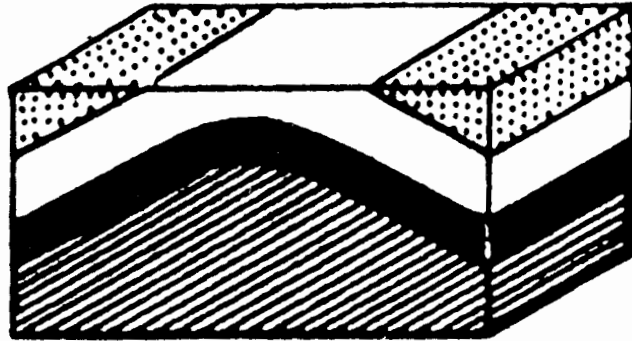
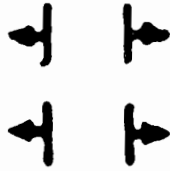
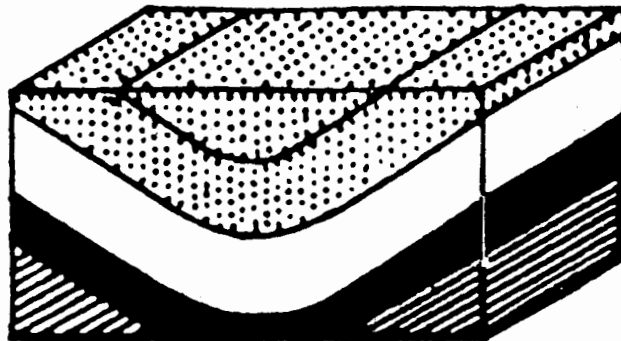
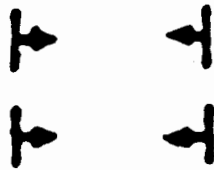


FIGURA No. 2



ANTICLINAL



SINCLINAL



Los pliegues son simplemente deformaciones que se producen en las rocas cuando se encuentran en estado plástico y pueden tomar desde unos cuantos centímetros hasta varios kilómetros de extensión.

En la geología estructural se distinguen dos tipos principales de estructuras plegadas, mismas que son:

- 1 Anticlinal. Así se denomina un plegamiento de los estratos en forma de arco (Fig. 2)
- 2 Sinclinal. Es un plegamiento en forma de arco invertido (caso contrario al anterior). (Fig. 2)

## FALLAS

Por una falla se entiende, la superficie de ruptura de una formación a lo largo de un plano, con desplazamiento vertical y/o inclinado de un bloque con respecto al otro.

El plano, según el cual se efectúa el deslizamiento se llama "plano de falla". Se determina igual que un estrato, por su rumbo y echado.

Según la dirección del movimiento durante la formación de una falla, estas se dividen en:

- 1 Fallas normales, son aquellas en las cuales el bloque movido (techo) ocupa la posición inferior con respecto al bloque inmóvil (piso). También se les llama "fallas de tensión", porque el movimiento trata de alejar el bloque móvil del inmóvil. (Fig. 3)
- 2 Fallas inversas, son aquellas en las cuales el bloque movido (techo) ocupa la posición superior con respecto al bloque inmóvil (piso). Estas son fallas de compresión, porque el bloque movido trata remontar la parte inmóvil. (Fig. 4)

En las fallas verticales, es decir en las cuales el plano de falla forme un ángulo de 90 grados con el horizonte, es bastante difícil a veces definir la dirección del movimiento.

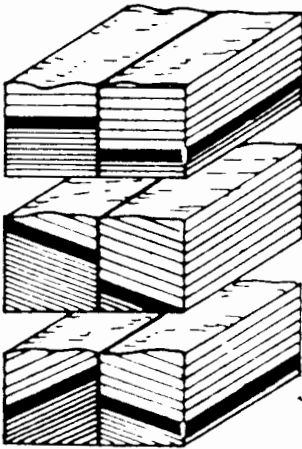
Las fallas pueden formarse de una manera gradual y lenta o repentinamente. En este último caso, generalmente originan movimientos sísmicos.

Las fallas se clasifican en activas e inactivas o muertas.

Las activas son las que sufrieron los movimientos en los periodos recientes, geológicamente hablando, y en las cuales en cualquier momento pueden suceder otros movimientos.

Las inactivas son aquellas que sufrieron movimientos en los periodos diastróficos remotos, pero no muestran evidencias de haberse vuelto a mover recientemente.

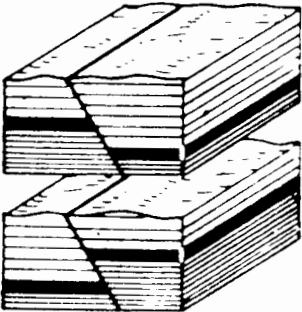
Desgraciadamente, es casi imposible establecer de una manera definitiva, si una falla aparentemente inactiva, no vuelve a ser activa bajo la influencia de los movimientos tectónico u otros



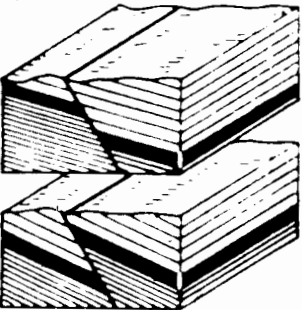
FALLA VERTICAL CON ESTRATOS HORIZONTALES.

FALLA VERTICAL CON ESTRATOS INCLINADOS.

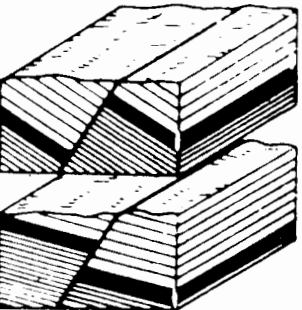
FALLA VERTICAL CON ESTRATOS PARALELOS AL PLANO DE FALLA E INCLINADOS.



FALLA NORMAL. EL BLOQUE DEL TECHO PARECE HABERSE MOVIDO HACIA ABAJO EN RELACION AL BLOQUE DE PISO. SE LE LLAMA TAMBIEN FALLA DE GRAVEDAD (TENSION).

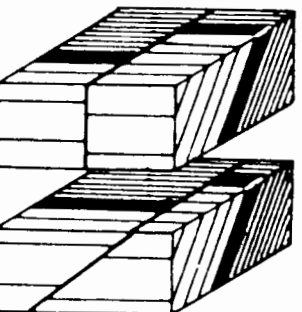


FALLA INVERSA. EL BLOQUE DEL TECHO PARECE HABERSE MOVIDO HACIA ARRIBA CON RELACION AL BLOQUE DEL PISO. SE LE LLAMA TAMBIEN FALLA DE EMPUJE (COMPRESION).



FALLA NORMAL. EL PLANO DE FALLA ESTA INCLINADO EN SENTIDO DE LA ESTATIGRAFICACION.

FALLA INVERSA. EL PLANO DE FALLA ESTA INCLINADO EN SENTIDO DE LA ESTATIGRAFICACION.



FALLA NORMAL CON PLANO DE FALLA INCLINADO EN SENTIDO OPUESTO A LA ESTATIGRAFICACION.

FALLA INVERSA CON PLANO DE FALLA INCLINADO EN SENTIDO OPUESTO A LA ESTATIGRAFICACION.

FALLA DE CORRIMIENTO CON PLANO VERTICAL.

FALLA DE CORRIMIENTO CON PLANO OBLICUO.

fenómenos que podrían poner en peligro las obras construidas en las zonas afectadas por las fallas. Por lo tanto, siempre es conveniente evitarlas.

## **JUNTAS**

El rasgo más común de las rocas expuestas en la superficie, la junta, es simplemente una rotura en una masa de roca que no muestra ningún movimiento relativo de la roca fracturada a lo largo de la rotura. Las juntas se presentan como grupos conjuntos y el espaciamiento entre ellas varía de apenas algunos centímetros a unos cuantos metros. Por lo general las juntas de un grupo dado son casi paralelas entre sí, pero todo el conjunto puede estar dispuesto vertical y horizontalmente o con cierto ángulo. La mayor parte de las masas de roca están atravesadas por más de un grupo de juntas; a menudo son dos conjuntos que se intersectan en ángulos aproximadamente rectos. Son producidas por liberación de presión.

## **PROBLEMAS QUE PRESENTAN LAS ESTRUCTURAS PLEGADAS**

Los plegamientos de las formaciones sedimentarias, casi siempre porosas en mayor o menor grado, ofrecen a veces serios problemas para algunas clases de las obras de ingeniería.

En las estructuras plegadas tales como los anticlinales y sinclinales, las rocas, especialmente poco plásticas tienen la tendencia de fracturarse y agrietarse en las bóvedas. En los casos de anticlinales las fracturas son divergentes hacia arriba; en los sinclinales son divergentes hacia abajo. En ambos casos se produce una faja débil a lo largo del eje de la estructura, donde la roca está agrietada y susceptible de originar los derrumbes si se alteran las condiciones naturales en las formaciones.

Si la obra consiste, por ejemplo, en un túnel dentro de formaciones intensamente plegadas, y si el eje del túnel coincide con el eje de la estructura, el ingeniero puede encontrarse con dificultades originadas por derrumbes, capaces de aumentar grandemente el costo de la obra obligándolo, a veces, a abandonarla completamente, buscando otro sitio más favorable.

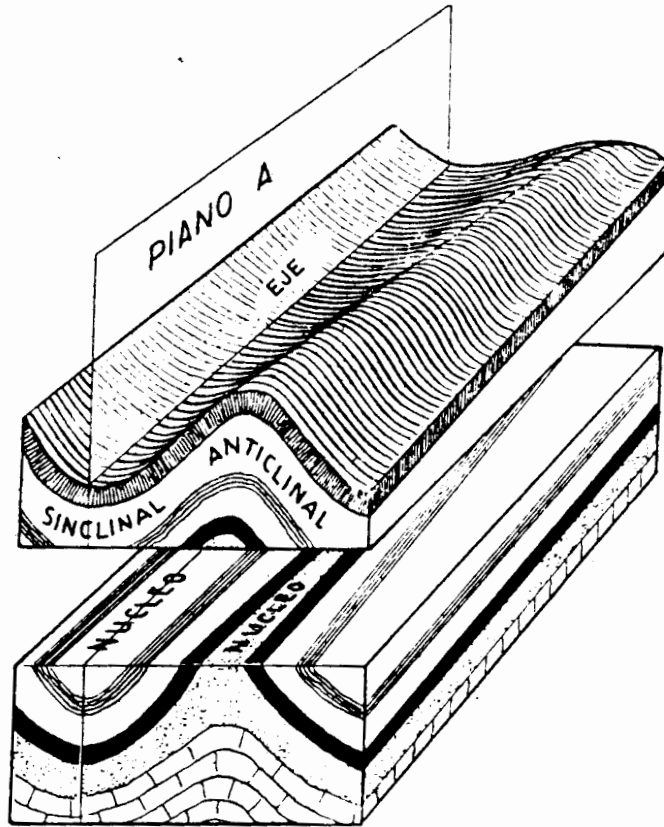
En el caso de sinclinales el problema se agrava aún más, porque este tipo de estructuras, es particularmente favorable para la acumulación de grandes cantidades de aguas subterráneas en presencia de adecuadas condiciones estratigráficas y litológicas (Fig. 5 y 6).

No hay que olvidar que en las rocas estratificadas siempre hay espacios entre las capas que ofrecen excelentes conductos para la circulación de las aguas subterráneas que se infiltran desde la superficie, arrastrando arcilla que desempeña el papel de lubricante entre los estratos, facilitando así los deslizamientos y derrumbes.

Si un camino se construye en corte en una zona de formaciones fuertemente plegadas, pueden presentarse dos casos, favorable el uno y desfavorable el otro, como se ve en la Fig. 7.

En el sitio A, los estratos están inclinados hacia adentro del cerro, las aguas circulan en la misma dirección y por lo tanto el talud del corte es firme; en el sitio B, en cambio, el corte debilita los estratos que están "colgados" hacia el camino sin ningún apoyo. En este caso, las aguas cargadas de arcilla se infiltran a lo largo de los planos de estratificación y por las capas arcillosas se pueden originar deslizamientos de los estratos si el ángulo de inclinación es suficientemente pronunciado.

FIGURAS Nos. 5 y 6



Las mismas consideraciones pueden aplicarse en el caso de un puente. El estribo apoyado en A quedaría firme, mientras que en B, un insignificante movimiento del estrato, sería suficiente para afectar fatalmente toda la estructura.

## **PROBLEMAS QUE PRESENTAN LAS FALLAS**

Como ya se dijo anteriormente, las fallas son rupturas en las masas de las rocas, acompañadas por deslizamientos verticales y/o horizontales. Las fallas pueden variar desde unos cuantos centímetros hasta cientos y miles de metros, tanto en la extensión horizontal, como en el deslizamiento.

Frecuentemente, una falla va acompañada por las distorsiones dentro de una faja a ambos lados del plano de la falla si las formaciones son plásticas o fracturamientos si son duras o rígidas. Dentro de esta zona, las rocas pueden estar afectadas por sistemas de fracturas que generalmente conservan cierto paralelismo con el rumbo del movimiento, aunque eso no debe considerarse como regla general.

Los límites, en el sentido normal a la falla, dentro de los cuales las rocas están fracturadas y a veces trituradas, por el movimiento también varían mucho, desde unos cuantos metros hasta cientos de metros.

Observando la Fig. 8 se comprende fácilmente que las zonas de fallas no presentan condiciones atractivas para edificar en ellas grandes obras de ingeniería tales, como túneles, puentes, grandes edificios, etc. En general un ingeniero debe tener presente que en estos casos es preferible cambiar el sitio de la obra, que alojarla dentro de la zona peligrosa.

En los casos de túneles, el ingeniero debe tratar de orientar el trazo de un camino o ferrocarril de tal modo que el eje del túnel quede normal al plano de la falla porque en este caso la zona fracturada y débil se presentaría en un tramo más corto que en cualquier otra dirección.

Las mismas consideraciones pueden aplicarse para el caso de formaciones plegadas en anticlinales y sinclinales.

Las fallas son más fácilmente reconocibles en las rocas sedimentarias que en las ígneas porque en las primeras una ruptura ó discontinuidad de un estrato, característico se nota con mayor facilidad que en las masas más o menos uniformes de las rocas ígneas.

## **ROCAS**

El conocimiento de las rocas y sus propiedades físicas son de suma importancia en las obras de ingeniería civil, si se considera la utilización de rocas como materiales de construcción, su facilidad de alteración, resistencia a los agentes atmosféricos de la erosión, diferente grado de dureza que, por supuesto, afecta de un modo fundamental al costo de la construcción, estabilidad, per-

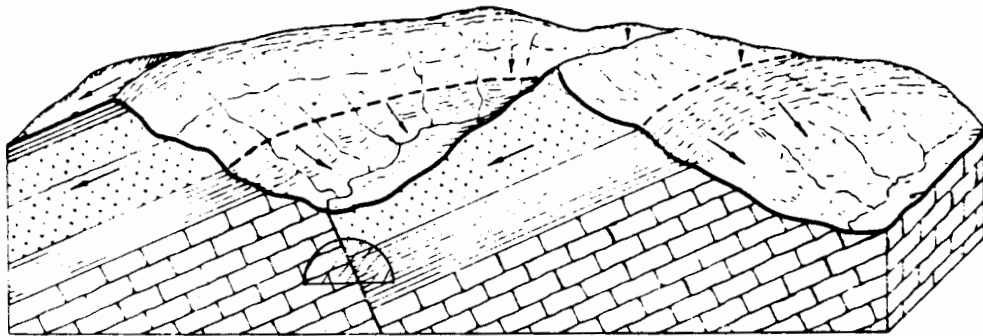
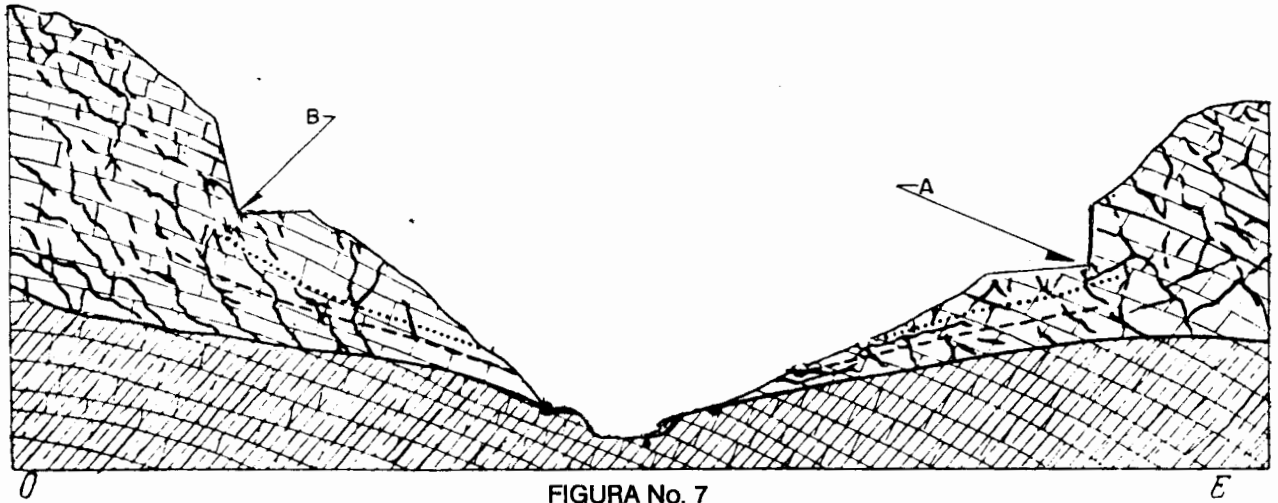


FIGURA No. 8

meabilidad y muchos otros factores que afectan una obra durante la construcción y mantenimiento en la fase posterior.

En el sentido amplio, y desde el punto de vista geológico, se define como ROCA a un agregado de minerales por lo que se entiende que es todo material que forma la corteza terrestre, independientemente de la forma en que se presenta.

Pueden ser depósitos sueltos o materiales no consolidados, tales como, arcillas y arenas, limos o masas sólidas o duras, como basaltos, granitos, calizas, etc.

Entre los ingenieros civiles, al contrario, existe la tendencia general de considerar como rocas solamente el material pétreo duro en la forma continua o fragmentada y no considerar como roca los depósitos sueltos o formaciones blandas.

Las rocas pueden ser constituidas por un sólo mineral, como calcita o cuarzo, en cuyo caso se llaman SIMPLES; o están constituidas por un conjunto de minerales y entonces se les llama COMPLEJAS. El primer grupo puede ser representado por una caliza o yeso; el ejemplo típico del segundo es un granito que está constituido por cuarzo, feldespato potásico y mica.

Un estudio preliminar de las rocas en el campo, generalmente se basa en dos criterios:

1.- El primero, consiste en el conocimiento geológico regional de las formaciones, que casi siempre permite distinguir, en términos generales, las rocas sedimentarias de las ígneas o metamórficas.

Por ejemplo, geológicamente se conoce que, por regla general, la Sierra Madre Oriental y la planicie costera del Valle de México están constituidas, principalmente, por formaciones sedimentarias, como lutitas, areniscas, calizas, etc. A pesar de eso, en la misma vertiente y planicie, se observan con frecuencia rocas ígneas y piroclásticas, principalmente basaltos y cenizas volcánicas. Los basaltos se presentan generalmente en forma de diques, mantos (sills) lacolitos y corrientes de lavas. Pero en todos estos casos, las rocas ígneas son solamente de carácter local y es fácil ver que sus caracteres principales son enteramente diferentes de las rocas sedimentarias que predominan en la región.

En cambio, la Sierra Madre Occidental está compuesta por formaciones ígneas principalmente y las rocas sedimentarias se encuentran con menos frecuencia y tienen el carácter local.

2.- El segundo, por medio de sus propiedades físicas, consiste en el examen detallado de las rocas considerando su color, textura, estructura, dureza, peso específico, reacción al ácido, composición mineralógica, etc. es decir, los caracteres principales de las rocas que las diferencian unas de otras.

Considerando los principios genéticos y modo de formación, las rocas se dividen en tres grandes grupos:

1.- Rocas ígneas.

2.- Rocas sedimentarias.

3.- Rocas metamórficas.

Las rocas IGNEAS son aquellas que se formaron por, ya sea, la solidificación de magmas en el interior de la corteza terrestre o de lavas en la superficie.

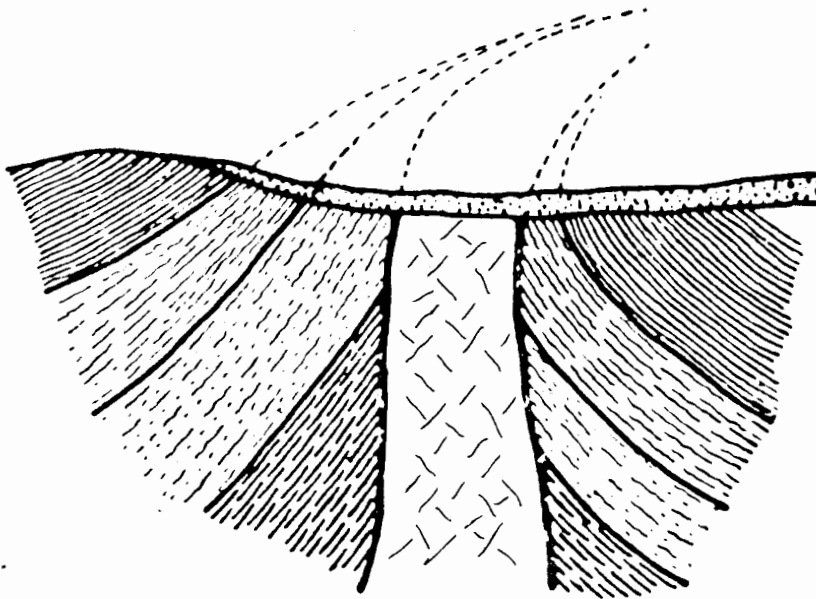


FIGURA No. 9

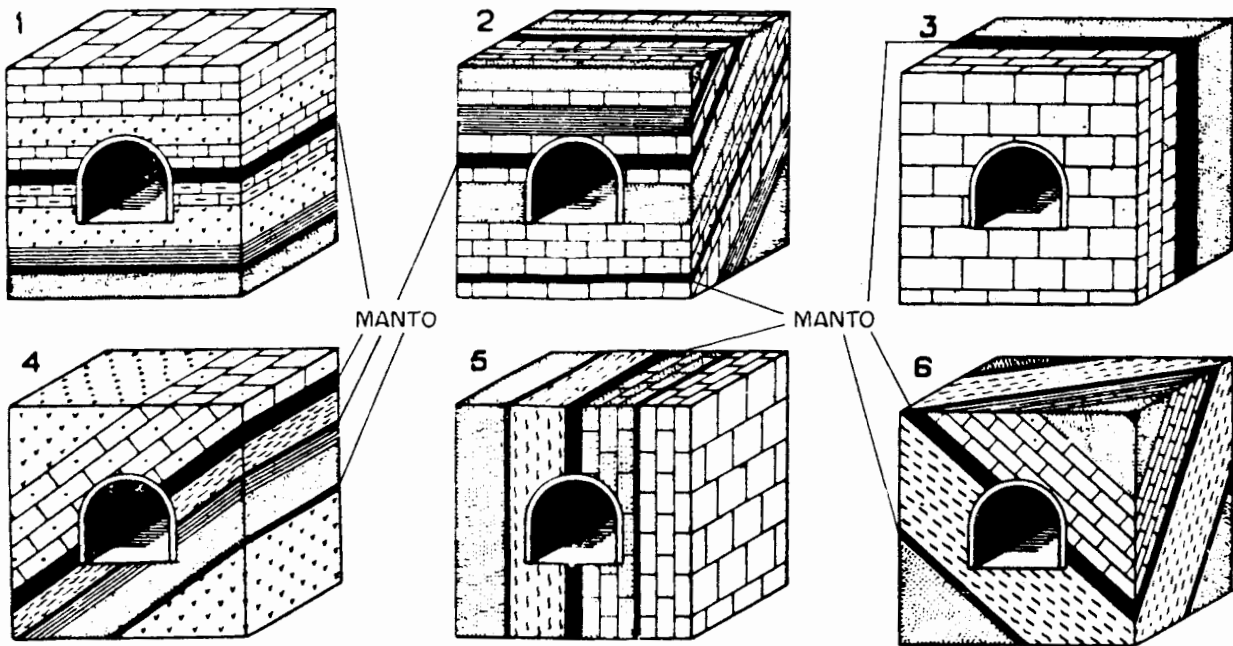


FIGURA No. 10



Las rocas SEDIMENTARIAS son aquellas cuyos elementos integrantes fueron depositados, principalmente, dentro de las aguas por medio de agentes mecánicos, químicos u orgánicos.

Las rocas METAMORFICAS son aquellas que se formaron de rocas pre-existentes por la acción del calor, presión y fluidos químicamente activos y perdieron parcial o totalmente sus caracteres originales.

## **IDENTIFICACION DE LAS ROCAS**

Para clasificar una roca en las condiciones de campo, es decir macroscópicamente, el primer paso consiste en determinar el grupo a que pertenece, es decir, definir si se trata de roca sedimentaria, ígnea o metamórfica. Por regla general, este paso no presenta grandes dificultades, puesto que cada uno de los grupos posee caracteres propios, muy distintos de los demás.

Así, por ejemplo, en las rocas sedimentarias, casi siempre se nota con mayor o menor claridad la estratificación, lo que no sucede con las rocas de otros grupos; aunque a veces las rocas piroclásticas se presenta en capas y las rocas felsíticas de estructura fluidal tienen el aspecto de estratificadas. Pero otros parámetros, como dureza, a veces reacción de ácido en general la inspección macroscópica, por regla general, eliminan las dudas en estos casos.

Las rocas ígneas intrusivas y extrusivas se distinguen por la textura, más gruesa en las primeras y más fina o amorfa en las segundas, debido al enfriamiento lento o rápido.

Las rocas metamórficas con frecuencia tienen la estructura laminar o foliada, que también las distingue de otras.

Una vez determinada a cual de los tres grupos pertenece una roca, se procede a clasificarla más detalladamente, considerando los factores y caracteres propios e independientemente para rocas de cada grupo. En general, estos factores consisten en: la textura, estructura, color, dureza, composición mineralógica, peso específico y reacción al ácido clorhídrico diluido.

## **ROCAS IGNEAS**

Las rocas ígneas tienen su origen en los cuerpos de rocas fundidas o magma que se encuentran dentro de la corteza terrestre.

Los estudios sismológicos modernos demuestran que el interior de la tierra no se encuentra en un estado líquido, como se creía. Probablemente, el material pétreo caliente no llega a fundirse, debido a la enorme presión a que está sometido, encontrándose en estado semipastoso.

Cuando la presión disminuye a causa de fracturas que se forman en la roca sólida superior, las rocas comienzan a subir por estas fracturas en estado fundido y se solidifican paulatinamente cuando llegan a las zonas de temperaturas más bajas. Si estos procesos tienen lugar íntegramente dentro de la corteza terrestre, las rocas se llaman intrusivas y se descubren en la superficie sólo por medio de la erosión.

Si, en cambio, el proceso de ascensión de magma fundido llega hasta la superficie y el magma se derrama en forma de lava, las rocas solidificadas en la superficie se llaman extrusivas o efusivas.

El tercer tipo de rocas ígneas, consiste en rocas piroclásticas. Estas están constituidas por el material de diversos tamaños expulsado de los volcanes durante las erupciones violentas, que pueden depositar dentro de las aguas o cubrir grandes extensiones de tierra. Con el tiempo, estas masas ayudadas por las aguas solas o cargadas de sales, se compactan y se cementan, formando rocas más o menos resistentes. El material fino, como cenizas, produce tobas y el más grueso, las brechas volcánicas.

Las rocas intrusivas y extrusivas tienen diferentes aspectos. Las primeras, al perder paulatinamente el calor y solidificarse lentamente dentro de la corteza terrestre, adquieren la textura uniforme y gruesa, porque los minerales que las componen tuvieron suficiente tiempo para su desarrollo y crecimiento. A veces sucede que algunos cristales de los minerales se desarrollan más y sobresalen en la superficie uniforme de la roca. Esta textura se llama porfídica y las rocas se llaman pórfidos de las rocas correspondientes. Así, por ejemplo, pueden presentarse: granito común y pórfido granítico.

Las rocas extrusivas, en cambio, se enfrían rápidamente al derramarse en la superficie y los cristales de los minerales no tienen tiempo para su crecimiento y, como consecuencia, la roca tiene el aspecto uniforme-monótono, con los cristales tan pequeños, que son visibles con la ayuda de un microscopio petrográfico.

En casos de enfriamiento excesivamente rápido se forman vidrios volcánicos, como por ejemplo la obsidiana.

Las rocas ígneas intrusivas se presentan en las siguientes formas:

1.- DIQUES.- Son cuerpos solidificados de material fundido y procedente del interior, que se alojan dentro de fracturas y fisuras de la roca encajonante.

En la forma más simple de una intrusión y por sus formas geométricas se asemeja a una veta vertical o inclinada.

Su espesor es pequeño en comparación con la extensión y profundidad (Fig. 9). El espesor de los diques varía de unos centímetros a varios metros.

2.- MANTOS (sills).- Son cuerpos solidificados del material fundido, procedente del interior que se alojan entre las capas de rocas sedimentarias sin alterar perceptiblemente la posición de éstas.

Estos cuerpos tienen extensión lateral mucho mayor que el espesor y a veces tiene el mismo aspecto que los estratos de la formación sedimentaria donde están alojadas (Fig. 10).

3.- LACOLITOS.- Son cuerpos solidificados de magma alojado dentro de las formaciones sedimentarias. Son casos especiales de mantos, pero de formas lenticulares y de mayor espesor que

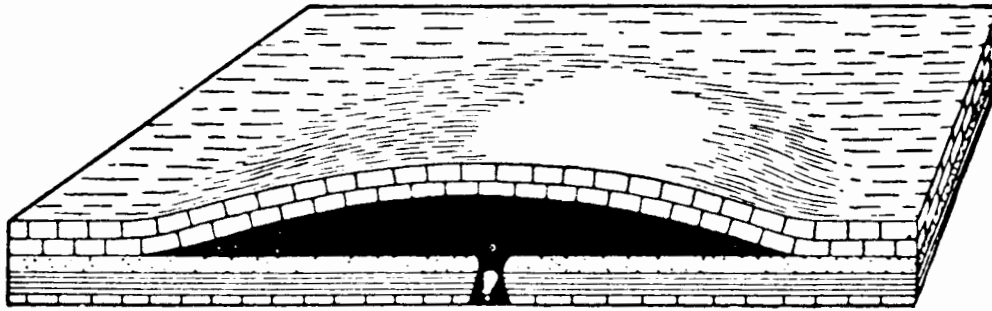


FIGURA No. 11  
Esquema de un lacolito ideal.

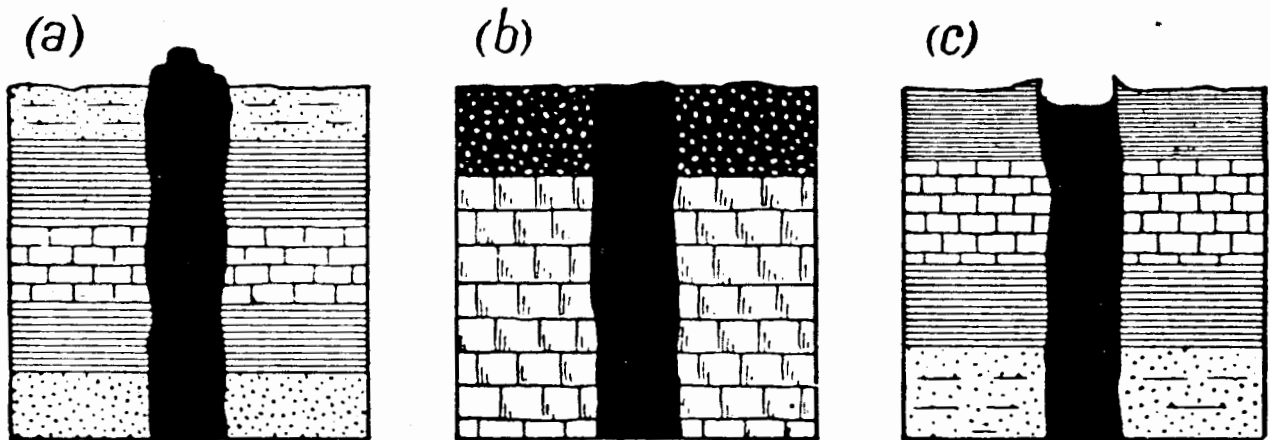
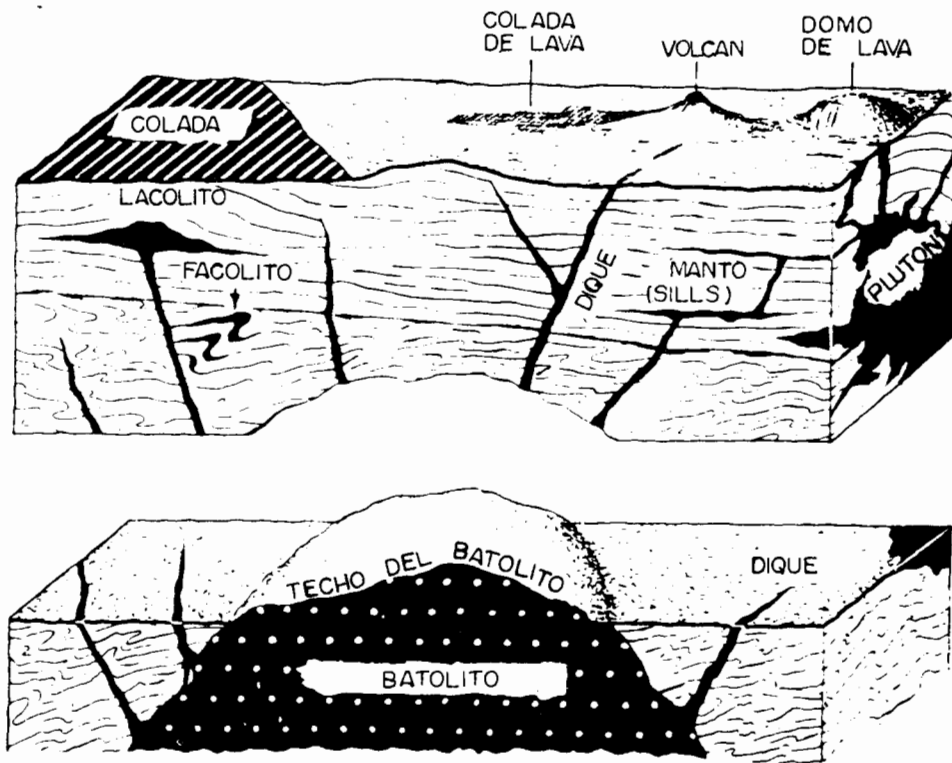


FIGURA No. 12  
Diagramas de diversas clases de cuellos y de su aspecto superficial.  
(a) Cuello más resistente a la erosión que las rocas encajonantes.  
(b) Cuello y rocas encajonantes de la misma resistencia.  
(c) Cuello menos resistente que las rocas de sus paredes.



FIGURAS Nos. 13 y 14

las primeras, lo que siempre está acompañado con la deformación de los estratos superiores (Fig. 11).

4.- CUELLOS.- Son masas de rocas ígneas que llenan el respiradero o conducto de un volcán extinto. Son generalmente de sección aproximadamente circular y se extiende a grandes profundidades (Fig. 12).

5.- BATOLITOS.- Son enormes masas de rocas intrusivas que pueden extenderse por cientos de kilómetros y afloran en la superficie solamente a causa de la erosión (Fig. 13 y 14).

## **TEXTURA EN ROCAS IGNEAS**

Ya se ha dicho que las rocas ígneas se forman por el enfriamiento y solidificación del magma o lavas.

### **TEXTURA PORFIDICA**

Si el proceso de enfriamiento es muy lento, se forman rocas de grano muy grueso, con los cristales individuales (fenocristales) muy desarrollados dentro de la pasta fundamental uniforme y granular.

### **TEXTURA GRANITOIDE (FANERITICA)**

Las rocas ígneas de esta textura, tienen los minerales de aproximadamente igual tamaño sin fenocristales, gruesos unos y más finos otros, pero en todo caso visibles.

El aspecto de la roca es granular uniforme. Es característica para las rocas intrusivas.

### **TEXTURA DENSA O FELSITICA (AFANITICA)**

Esta textura es característica para las rocas cristalinas, en las cuales los minerales no se distinguen a simple vista o con la ayuda de un lente. La clasificación se hace observando delgadas láminas de la roca bajo el microscopio petrográfico. El aspecto de la roca es muy homogénea, monótono, pero no llega a vítreo. Esta textura la tienen las rocas felsíticas (extrusivas).

### **TEXTURA VITREA**

Esta textura es propia de aquellas rocas que se enfrían con excesiva rapidez sin que se desarrolle la cristalización visible. Su aspecto es vítreo (obsidiana).

## **TEXTURA FRAGMENTARIA (PIROCLASTICA)**

Esta textura corresponde a tobas o brechas volcánicas que se forman por la consolidación del material piroclástico.

## **ESTRUCTURA DE ROCAS IGNEAS**

### **ESTRUCTURA POROSA (VESICULAR)**

Las rocas ígneas efusivas-felsíticas y especialmente vítreas, pueden adquirir diferentes grados de porosidad que depende de los espacios vacíos formados por las burbujas de vapor de agua que escapó de las magmas durante el enfriamiento. Estas rocas pueden tener estructura vesicular, pumítica y escoriácea (basaltos vesiculares, piedra pómez y escorias volcánicas).

### **ESTRUCTURA COLUMNAR**

A veces, una masa de roca ígnea, después de enfriarse, forma un sistema de columnas hexagonal muy ajustadas entre sí. Eso sucede tanto en las rocas intrusivas, como extrusivas. Con mayor frecuencia, este tipo de estructura se presenta en basaltos. Las columnas siempre son perpendiculares a la extensión mayor del cuerpo ígneo; así en los derrames de lava y mantos las columnas tienden a ser verticales, o sensiblemente inclinadas; en los diques, en cambio, son horizontales.

### **ESTRUCTURA FLUIDAL**

A veces las lavas felsíticas adquieren el aspecto laminar o como se dice, fluidal, que proporciona a las rocas cierta semejanza con las sedimentarias.

Este fenómeno se debe a la rápida cristalización de los feldespatos en la parte inferior de la corriente de la lava, mientras que la parte superior todavía tiene cierto movimiento que "arrastra" o "alinean" los feldespatos; la estructura de este tipo se llama fluidal y con frecuencia se presenta en riolitas y andesitas.

## **COLOR**

El color de una roca es de gran importancia en las rocas ígneas y depende principalmente del conjunto de minerales que entran en su composición. Si el color es claro, se puede decir por regla

general, que se trata de la roca ácida (feldespática), mientras que el color oscuro pertenece al grupo de rocas básicas (ferromagnesianas).

## **DUREZA**

La dureza es también factor muy importante, sobre todo para diferenciar las rocas sedimentarias de las ígneas.

La dureza generalmente se determina por comparación con la escala de Mohs, que comprende 10 minerales puestos en orden ascendente de dureza, que se da a continuación.

## **ESCALA DE MOHS.**

- |             |                       |
|-------------|-----------------------|
| 1.- Talco   | 6.- Feldespato        |
| 2.- Yeso    | 7.- Cuarzo            |
| 3.- Calcita | 8.- Topacio           |
| 4.- Florita | 9.- Corindón o zafiro |
| 5.- Apatita | 10.- Diamante         |

La dureza se define por medio del rayado de los cristales, los que se pueden hacer con la uña de la mano, una moneda de cobre, hoja de navaja de acero y el diamante raya a todos los elementos de la escala.

Al hacer la prueba de dureza se necesita tener cuidado de escoger la superficie fresca y limpia y no confundir la raya dura producida por el mineral más duro con la marca dejada en la superficie de un mineral duro por otro más blando.

## **MINERALES**

Los minerales más importantes que entran en la composición de rocas son:

- 1.- Cuarzo ( $\text{SiO}_2$ )
- 2.- Feldespato potásico (Ortoclase) ( $\text{K Al Si}_3\text{O}_8$ )
- 3.- Feldespato sódico y cálcico (Plagioclase) ( $\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$ ) ( $\text{Ca Al}_2 \text{Si}_2\text{O}_8$ )
- 4.- Micas (muscovita biotita)
- 5.- Hornblenda, Piroxena y Olivino (minerales ferromagnesianos)

## **CUARZO**

El cuarzo se presenta en diferentes colores, desde blanco hasta negro; pero en las rocas ígneas predomina el color gris ahumado, en las sedimentarias y metamórficas blanco-amarillento. En las rocas ígneas al cuarzo corresponde de 50 a 70% de la composición de la roca. La dureza es 7, raya al feldespato y vidrio, la punta de una navaja no lo raya, tiene un peso específico de 2.65.

## **FELDESPATO (ORTOCLASA Y PLAGIOCLASA)**

Son los minerales más comunes en las rocas ígneas de color claro y en las metamórficas, pero mucho menos frecuentes en las sedimentarias.

Generalmente, tiene apariencia de porcelana opaca, de color blanco-grisáceo-amarillento. La ortoclasa, con frecuencia tiene coloración rojiza de diferentes tonos. Este color se observa con frecuencia en granitos. La plagioclasa, comúnmente, es gris, pero, en general, esta regla no es absoluta.

La dureza es 6; el cuarzo raya los feldespatos y ellos rayan el vidrio. en el estado sano la punta de una navaja no los raya.

Generalmente, proporcionan a la roca el aspecto claro. Diferentes tipos de feldespatos se parecen tanto entre sí, que la definición se hace generalmente con la ayuda de microscopio petrográfico. La plagioclasa se caracteriza por la presencia de líneas paralelas y rectas en las superficies de separación (clivaje o crucero).

## **MICAS**

Las micas, que se encuentran en las rocas son silicatos de aluminio de composición química muy compleja. Se caracterizan por su tendencia y facilidad con que se dividen en hojas y el brillo de las superficies de separación. Se dividen en dos grupos principales: Muscovitas, de color claro y Biotitas, de color oscuro, que contienen hierro y magnesio.

Los dos grupos de micas se encuentran, con frecuencia, en rocas ígneas y metamórficas.

## **ANFIBOLA (HORNBLENDA) Y PIROXENA (AUGITA)**

Estos dos minerales son muy semejantes, tanto por la composición química, como por sus propiedades físicas. Son silicatos del grupo ferromagnesianos y se encuentran, comúnmente, en rocas ígneas de color oscuro y en las rocas metamórficas. Generalmente, son de color oscuro.



## **OLIVINO**

Es también un silicato de hierro y magnesio, de color verde olivo; es característico en las rocas ígneas del grupo ferromagnésico de color oscuro, pero no se encuentra en las rocas feldespáticas.

## **PESO ESPECIFICO**

Esta característica de las rocas puede ser de utilidad en el campo sólo de manera limitada y comparativa en la determinación de las rocas. Por ejemplo, una toba puede distinguirse fácilmente de una roca efusiva por considerable diferencia en el peso específico. En términos generales, se puede decir que las rocas ígneas de color oscuro (ferromagnésicas) son más pesadas que las de color claro (feldespáticas).

## **PRUEBA CON EL ACIDO (Clorhídrico)**

Esta prueba es muy efectiva para distinguir las rocas carbonatadas de las formadas por los silicatos. Pero es de recomendar que, al hacer esta prueba, se use una superficie fresca y limpia para aplicar el ácido, porque las superficies conectadas con fracturas pueden estar cubiertas parcial o totalmente por carbonatos depositados por las aguas.

También, es necesario tener presente que muchas rocas sedimentarias contienen mayores o menores cantidades de carbonatos y pueden producir efervescencia. Este caso es muy frecuente en las lutitas y areniscas y calizas (se recomienda utilizar ácido clorhídrico diluido en proporción 1:10).

## **DESCRIPCION DE PRINCIPALES ROCAS IGNEAS**

Para comodidad podemos dividir las rocas ígneas en tres grupos, o sea: Las rocas ígneas que se forman por la solidificación de las magmas en el interior de la corteza terrestre, en cuyo caso, se llaman intrusivas; las rocas ígneas que son las lavas solidificadas en las superficies, y en este caso se llama extrusivas o efusivas; el último grupo representa las rocas piroclásticas.

## **ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS**

Las principales rocas de este subgrupo, que se encuentran con mayor frecuencia, son:

1.- Granito	-Pórfido granítico
2.- Sienita	-Pórfido sienítico
3.- Diorita	-Pórfido diorítico
4.- Gabro	-Pórfido de gabro

Las rocas de la primera columna tienen la textura granular uniforme, gruesa, con los cristales de los minerales fácilmente visibles.

Las de la segunda columna tienen la textura porfídica con los cristales individuales de minerales (fenocristales) más desarrollados.

## **GRANITO**

Es una roca intrusiva de textura granular o porfídica que se compone principalmente de cuarzo, feldespato (ortoclasa y plagioclasa) y en menor cantidad de micas (biotitas y moscovitas) y hornblenda.

Por regla general, los granitos son rocas de color claro, de diferentes tonos, inclusive rojizos.

Son rocas ácidas, de menor peso específico que las oscuras (básicas) del grupo ferromagnésico. La pasta fundamental está constituida por cuarzo (hasta un 70% de SiO<sub>2</sub> en promedio), que llena los intersticios entre los minerales.

## **SIENITA**

Esta roca pertenece a la familia de granitos, pero se diferencia de estos por la ausencia de cuarzo.

El mineral esencial es el feldespato potásico (ortoclasa) y además están presente la biotita y la hornblenda.

Debido a la ausencia de cuarzo, el contenido de SiO<sub>2</sub> es de un 60% en promedio.

## **DIORITA**

Es una roca intrusiva, granular, constituida principalmente por el feldespato plagioclasa y además hornblenda y piroxena. Los feldespato están en mayor cantidad que los minerales ferromagnésicos.

Son de color que varía entre gris y gris-oscuro dependiendo de la relación entre los feldespatos y minerales ferromagnesianos. La textura es granular uniforme. La textura porfídica es menos frecuente que en los granitos. La cantidad de cuarzo (SiO<sub>2</sub>) es de un 50% en promedio.

## **GABRO**

Es una roca intrusiva de color oscuro, que se compone de plagioclasa, piroxena, hornblenda y olivino. Los minerales ferromagnesianos predominan sobre los feldespatos. El contenido de cuarzo (SiO<sub>2</sub>) es de un 45% en promedio.

## **ROCAS IGNEAS HIPABISALES Y EXTRUSIVAS**

El siguiente grupo de rocas ígneas se presenta tanto en forma de efusivas (lavas), como hipabisales (diques, mantos y lacolitos).

Las rocas efusivas que pertenecen a este grupo, generalmente tienen la textura vítrea o en todo caso, tan fina que los cristales de los minerales que entra en su composición, no pueden ser identificados y definidos sin la ayuda del microscopio petrográfico. La determinación en el campo se hace principalmente a base del color, agrupando todas las rocas de color claro en general, aunque de diferentes tonos, bajo el nombre de felsitas. Las de color oscuro pertenecen al grupo de basaltos y contienen los minerales ferromagnesianos.

Las mismas rocas, pero de carácter intrusivo, tienen la textura más gruesa y a veces desarrollan los cristales hasta adquirir la textura porfídica y entonces el nombre de la roca se agrega al término "pórfido".

Las principales rocas de este grupo son:

### **FELSITAS**

Riolita  
Traquita  
Andesita  
Dacita

### **PORFIDOS-FELSITICOS**

Pórfido riolítico  
Pórfido traquítico  
Pórfido andesítico  
Pórfido dacítico

### **ROCAS OSCURAS**

Basalto-Pórfido Basáltico

## **RIOLITA**

Esta roca pertenece al grupo de felsitas o pórfidos felsíticos y se caracteriza por la presencia de cuarzo y feldespato potásico (ortoclasa) dentro de la pasta de textura afanítica, y pequeñas cantidades de biotita y hornblenda, por lo tanto, su composición mineralógica se asemeja a la de los granitos.

Se encuentra en variedad de colores, con frecuencia gris rojizo. Una característica de la roca es que presenta líneas de flujo.

## **TRAQUITA**

Son rocas muy semejantes a la riolitas, con la diferencia de que no tienen cuarzo. El mineral principal es el de feldespato de potasio (ortoclasa) y algo de biotita y hornblenda y por lo tanto se asemeja a las sienitas en las rocas intrusivas de grano grueso.

## **ANDESITA**

Es una roca felsítica que se caracteriza por la ausencia de cuarzo y presencia de feldespato de plagioclasa y pequeñas cantidades de biotitas y hornblenda.

El color más frecuente es gris de diferentes tonos. El color y la composición mineralógica es semejante a dioritas y la colocan con frecuencia, como también a las dioritas, entre las rocas claras y oscuras.

## **DACITA**

Esta roca felsítica contiene cuarzo y feldespato de plagioclasa, además de pequeñas cantidades de biotita y hornblenda. Comparando las rocas que constituyen el grupo de felsitas, se nota que riolitas y dacitas por un lado y andesitas y traquitas por el otro, se diferencia solamente por la clase de feldespato, lo que hace su clasificación en las condiciones de campo sumamente difíciles.

Las felsitas, con frecuencia, tienen la estructura fluidal.

## **BASALTO**

Los basaltos incluyen aquellas rocas afaníticas, de color oscuro, la textura de las cuales es tan fina, que se necesita la ayuda de un microscopio petrográfico para distinguir los elementos característicos que se encuentran en su composición.

Los colores más frecuentes son negro, gris-negro, gris-negrusco a verdoso y rojizo (debido a la oxidación de los ferromagnesianos).

Una lámina delgada de basalto bajo microscopio petrográfico muestra pequeños cristales de feldespato de plagioclasa, piroxena, olivino, óxido de hierro, etc.

Pórfido basáltico se encuentra con menos frecuencia que en las rocas felsíticas y se caracteriza por la presencia de olivino de color verde.

Los basaltos con frecuencia tienen la estructura porosa que se llama vesicular. Esta propiedad es común en los derrames de lavas en las cuales escaparon las burbujas de vapor de agua,

dejando las oquedades (vesículas). Si estas oquedades se rellenan por cualquier mineral, los basaltos se llaman amigdaloides.

**Las rocas piroclásticas** están constituidas por el material de todos tamaños, expulsados de los volcanes durante las erupciones violentas. Este material puede depositarse dentro de las aguas o cubrir grandes extensiones de tierra. Con el tiempo, estas masas, ayudadas por las aguas cargadas de sales, se compactan y se cementan, formando rocas más o menos resistentes.

Las que están constituidas por el polvo y cenizas volcánicas, se llaman tobas.

Las que incluyen dentro fragmentos más grandes y angulosos se llaman brechas volcánicas y las que contienen fragmentos subredondeados y redondeados se llama aglomerado.

**Las tobas** son generalmente rocas de grano fino y anguloso, de bajo peso específico y generalmente muy porosas; si están muy compactas y cementadas, pueden confundirse con rocas felsíticas, pero vistas con buena lente o microscopio petrográfico, muestran su composición heterogénea y formas angulosas, lo que no sucede con las rocas felsíticas.

**Las brechas** se diferencian de las tobas solamente por el tamaño de las partes constituyentes. Estas formaciones se presentan a veces en forma de capas, que les da el aspecto de rocas estratificadas.

## ROCAS VITREAS

Como ya sea dicho, las rocas vítreas son producto de enfriamiento y solidificación muy rápidos del magma.

Con mayor frecuencia se encuentran tres tipos de rocas vítreas volcánicas.

- 1.- Obsidiana
- 2.- Pómez
- 3.- Escoria volcánica (Tezontle).

**La obsidiana** es vidrio volcánico casi duro, generalmente de color negro, en delgados fragmentos es transparente.

**Rocas pumíticas** (piedra pómez) representan el vidrio volcánico sumamente vesicular, que le da el aspecto de esponja.

Se forma como espuma en la parte superior de las lavas felsíticas o como fragmentos de material arrojado por los volcanes. Son de color blanco-gris-amarillento y flota en el agua debido a su porosidad.

**Las escorias volcánicas** son muy semejantes a las rocas pumíticas por su modo de formación, pero están más relacionadas con las lavas basálticas en vez de felsíticas.

Son generalmente de color rojo oscuro y de aspecto esponjoso.

## ROCAS SEDIMENTARIAS

Las rocas de este grupo, que también se llaman estratificadas, son, en su mayoría, de carácter secundario, puesto que están constituidas por el material que proviene de la desintegración de otras rocas pre-existentes. La mayor parte de este material, de diferentes tamaños, es acarreado y transportado por las corrientes de agua que las arrastran a través de mayores o menores distancias y finalmente se depositan de acuerdo con sus tamaños y la velocidad de la corriente. Así, los cantos rodados y grava se depositan primero, mientras que las arenas, limos y arcillas se transportan más lejos y se depositan en las planicies costeras, deltas de los ríos o en el mar. Las partes solubles de todo este material se disuelven en las aguas y se transportan en forma de sales que también se precipitan, cuando las aguas comienzan a evaporarse y las soluciones se hacen demasiado concentradas.

Los restos de plantas y animales contribuyen de una manera considerable a la formación de rocas sedimentarias y proporcionan materia orgánica que más tarde se transforma en turbas y carbón de piedra. Los diminutos organismos marinos producen sales de calcio y sílice de las cuales se forman diferentes clases de calizas y pedernal.

Las formaciones sólidas, como médanos y loess, se forman de particular transportadas por el viento.

Las cenizas volcánicas, de las cuales se forman las rocas piroclásticas como las tobas, también se transportan con frecuencia por los vientos a través de enormes distancias.

De acuerdo con el origen, modo de formación, composición química y los caracteres físicos, las rocas sedimentarias se dividen en tres grupos:

1.- **Las de origen mecánico** (detríticas) transportada por las aguas son:

Conglomerados  
Brechas  
Areniscas  
Limolitas  
Lutitas

2.- **Las de origen químico:**

Yeso y anhidrita (sulfato)  
Pedernal (sílice)  
Caliza y travertino (carbonatos)

3.- **Las de origen orgánico**

Calizas (carbonatos)  
Pedernal (sílice)  
Turba y carbón.

### **Conglomerados**

Es una roca compuesta por el material clástico, proveniente de la desintegración de otras rocas transportadas y depositadas por las aguas.

Las partes constituyentes pueden ser de diferentes tamaños, pero son más o menos redondeados por el acarreo y cementadas hasta formar una roca sólida.

Las partes constituyentes pueden variar desde grandes cantos rodados hasta arenas gruesas.

No siempre presentan la estratificación clara, su dureza depende de la naturaleza de las rocas que les componen y del grado de cementación.

## **BRECHAS**

Esta roca, semejante a la anterior, se forma por la cementación de material clástico, pero de formas angulosas en vez de redondeadas, lo que prueba su poca o ninguna asociación con las corrientes de aguas.

Muy rara vez presentan la estratificación. Respecto a la dureza y porosidad, cabe decir lo mismo que se ha dicho del conglomerado.

## **ARENISCAS**

Es una roca sedimentaria constituida principalmente por granos de arena cuarzosa, unidos entre sí por algún cementante.

Según el tamaño de los granos, las areniscas se llaman finas, medianas y gruesas, acercándose así a las lutitas, por un lado, y a los conglomerados, por otro. Además de granos de cuarzo, pueden tener los de feldespato, micas, etc.

Se presentan en forma de capas o estratos de diferentes espesores y, generalmente, se alternan con los estratos de otras formaciones, como lutitas, calizas, arcillas, etc.

Pueden tener diferentes colores, lo que depende del color de rocas originales. La dureza de las areniscas depende del grado de cementación, existiendo por un lado areniscas metamórfizadas (cuarcitas) que son sumamente duras y areniscas suaves, que se desmoronan fácilmente bajo la presión de los dedos.

## **LIMOLITAS**

Es una roca sedimentaria detrítica de grano fino constituida por partículas de cuarzo, feldespato, calcita, dolomita y otros minerales.

Por regla general, las areniscas son porosas en mayor o menor grado, lo que depende de las cantidades y clase del cementante en los espacios intersticiales.

## LUTITAS

Las lutitas se forman por compactación de arcilla y lodos. Se presentan siempre en forma de capas o estratos de muy variable espesor y, generalmente, alternan con otras formaciones. Tienen típica estructura laminar y su fisilidad que presenta sirve para distinguirla de la lodolita.

Dependiendo de la preparación de los elementos que entran en su composición, las lutitas pueden ser:

- |                |   |
|----------------|---|
| 1.- Arenosas   | Si contienen arenas finas en diferentes proporciones. |
| 2.- Calcáreas  | Si tienen carbonatos.                                 |
| 3.- Carbonosas | Si tienen materia orgánica.                           |

Las lutitas son rocas muy suaves y quebradizas, se rayan y se cortan fácilmente con un cuchillo. Con el agua, adquieren cierta plasticidad, debido a la arcilla, y son fácilmente erosionables.

Aunque se presentan en una variedad de colores, predominan las de color gris de diferentes tonos.

### 1.- YESO Y ANHIDRITA

Estas rocas se forman en las regiones cubiertas por aguas aisladas, cuando, debido a la excesiva evaporación la concentración de las soluciones llega al límite y los sulfatos de calcio se precipitan y se depositan en el fondo.

Estos minerales están asociados casi exclusivamente con las formaciones sedimentarias, como arcillas, lutitas, areniscas y calizas. En ocasiones, se presentan en capas.

Desempeña un papel importante cuando se trata de las aguas subterráneas que con frecuencia son salobres, debido a la presencia de estos minerales y estas aguas atacan al concreto.

## PEDERNAL

Es una variedad de sílice de color oscuro-negro, muy duro y constituido por sílice criptocristalino.

Se presenta con frecuencia en forma de bandas delgadas o concreciones irregulares de diferentes tamaños (nódulos).



## **TRAVERTINO**

Es carbonato de calcio precipitado de las aguas. Cuando se deposita lentamente, forma las estalactitas y estalagmitas y otros depósitos en las cavernas de calizas, es bastante duro y compacto de color blanco amarillento y de cristalización fina; depositado por manantiales es más blando y poroso y tiene aspecto terroso, alrededor de ellos forma incrustaciones las que se denomina tufa.

## **2.- CALIZA**

El grupo de las rocas carbonatadas, entre las cuales la caliza ocupa unos de los principales lugares, tiene origen tanto químico como orgánico, puesto que originalmente el carbonato de calcio, el constituyente principal de las rocas carbonatadas, se precipitó de las aguas, debido a la excesiva concentración o por la acción bacterial.

Las calizas son rocas de grano fino, textura afanítica y de diferentes colores que dependen de las impurezas que contienen. Los óxidos de hierro les proporcionan los colores café, rojizo y amarillo; a las materias orgánicas se deben los colores oscuros. En general, predominan las calizas grises.

La punta de una navaja raya las calizas, dejando una raya blanca; el ácido clorhídrico produce efervescencia. Es una roca típicamente estratificada y forma estratos de diferentes espesores.

Una propiedad muy importante de las calizas, como en general de todas las rocas carbonatadas, es que se disuelven lentamente en las aguas cargadas de ácido carbónico. A este fenómeno deben su existencia las grutas, que pueden ser de mucha importancia en la construcción de caminos y ferrocarriles.

## **TURBA Y CARBON**

Estas rocas son de origen vegetal, ya que provienen de la descomposición de las plantas y su transformación paulatina en materia carbonosa.

TURBA, representa primera etapa en esta transformación y se encuentra en las regiones pantanosas y húmedas, en las partes superficiales del subsuelo. Son densas masas de color oscuro a negro, de consistencia gelatinosa. En formación, contiene hasta un 90% de agua, pero en estado seco es muy porosa y de bajo peso específico. Se usa como un combustible pobre y contiene un 55% de carbón. Las siguientes etapas en esta transformación están representadas por lignitos, con 55% a 75% de carbon, carbón bituminoso, con un 75% de carbón, y, finalmente, la antracita, con 80 a 95% de carbón.

## **ROCAS METAMORFICAS**

Estas rocas se forman a determinada temperatura y presión, por lo que los minerales representan determinadas combinaciones químicas, estables sólo bajo las condiciones definidas. Si

se alteran estas condiciones por los factores químicos o físicos, los minerales sufren ciertos cambios y modificaciones en la estructura molecular, textura, transformándose nuevas rocas, parcial o totalmente diferentes de las originales. Este proceso de transformación se denomina metamorfismo y las rocas resultantes se llaman metamórficas.

Los principales agentes de metamorfismo consisten en: presión, temperatura y acción de fluidos químicamente activos.

Las rocas metamórficas pueden tomar su origen en cualquier roca. En la siguiente tabla se indica esta relación.

### **ROCAS SEDIMENTARIAS Y SUS EQUIVALENTES METAMORFICOS**

SEDIMENTOS	ROCA SEDIMENTARIA COMPACTA	ROCAS METAMORFICAS
Grava	Conglomerado	Gneis
Arena	Areniscas	Metuarcita - esquisto
Limo y arcilla	Limolita y lutita	Pizarra - filita
Lodos calcáreos	Caliza	Mármol

### **ROCAS IGNEAS Y SUS EQUIVALENTES METAMORFICAS**

ROCAS IGNEAS	ROCAS METAMORFICAS
Rocas feldespáticas, de grano grueso, como granito, sienita.	Gneis granítico
Rocas feldespáticas, de grano fino, como felsitas, tobas, etc.	Esquistos-anfibolitas
Rocas ferromagnesianas, como basalto, dolerita.	Esquistos de biotita

### **GNEIS**

Esta roca metamórfica de grano grueso puede tener su origen, tanto en las rocas ígneas, como en las sedimentarias.

El rasgo característico y típico de gneis consistente en su estructura en forma de fajas ó bandas que, generalmente, son de diferentes colores, que son otra cosa que la agrupación de diferentes minerales. Las fajas de color claro dependen de los feldespatos y cuarzo, mientras que las de color

negro están relacionadas con hornblenda y biotita. Algunas veces, estas bandas o fajas son gruesas, otras, al contrario, muy delgadas; pueden ser largas y continuas o cortas lenticulares y deformadas.

En fragmentos aislados, este rasgo característico puede pasar desapercibido, pero, observando la formación en el campo, en seguida se destaca su estructura en bandas que le da el aspecto de una roca estratificada.

El color de los gneis es un factor muy variable que depende de las cantidades y relaciones mutuas entre los minerales. Con mayor cantidad de biotita y hornblenda, la roca es más oscura; si predominan los feldespatos y cuarzo, la roca es más clara. La textura puede variar desde granular uniforme hasta porfídica, especialmente en las gneis feldespáticos.

## **ESQUISTOS**

Es una roca cristalina que se caracteriza por su estructura foliada. Los minerales principales son cuarzo, mica, hornblenda, piroxena, talco, clorita o hematita.

El color de los esquistos varía desde muy claro hasta obscuro, lo que depende de la relación entre los minerales, especialmente micas, presentes.

## **CUARCITA**

Es una roca metamórfica que tiene su origen en areniscas, en las cuales los espacios intersticiales están totalmente ocupados por el sílice y cementadas hasta formar una sola masa.

Es una roca dura y compacta de color generalmente claro. Se diferencia de las areniscas por el hecho de que al fracturarse se rompen los granos de arena, mientras que en las areniscas la fractura pasa entre los granos individuales sin romperlos. No se rayan con una navaja y raya el vidrio.

## **PIZARRA**

Pizarras son rocas metamórficas que tienen su origen en lutitas. Son de textura sumamente fina y homogénea, que no permite distinguir los cristales de los minerales.

Su estructura es muy típica en lajas, lo que permite separar la roca en delgadas láminas.

La superficie de los planos de separación pueden ser brillantes, sedoso y opaco.

Se encuentra en diversidad de colores, pero predominan grises y negras. Son rocas bastante suaves y se cortan con facilidad.

## **MARMOL**

Es una roca metamórfica que tiene su origen en calizas y dolomías. Se distingue de esta por su cristalización, grano más grueso y colores más puros y limpios. Su dureza es la de calcita y se raya fácilmente con una navaja.

Las variedades más duras de mármol son de color blanco nieve, mucho mármoles contienen pequeñas cantidades de otros minerales que se formaron durante el metamorfismo a partir de las impurezas de la roca sedimentaria original, por lo cual, dan la variedad de colores de los mármoles, como son: negro, verde, rojos, cafés, etc.

## **RECOMENDACIONES**

Al hacer la clasificación de una roca en el campo, hay que principiar por determinar el grupo o la familia a la que pertenece una roca dada, es decir, definir si se trata de rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas.

Al hacer la determinación macroscópica de una muestra de roca, es necesario evitar dentro de la posible usar rocas alteradas; tener cuidado de que la superficie, que se revisa con una lente, sea fresca y no esté conectada por pequeñas fracturas que podrían depositar las sales extrañas a la roca; especialmente importante, al hacer la prueba con el ácido clorhídrico.

Hay que tener presente que a veces las rocas, especialmente sedimentarias, tienen mayores o menores cantidades de carbonatos que producen reacciones con el ácido. En estos casos, la duración de la efervescencia puede indicar si se trata de rocas total o parcialmente carbonatadas.

L. Pirsson recomienda la siguiente tabla para la determinación aproximada de las principales rocas:

### **I.- ROCA TOTALMENTE VITREA**

- 1.- Totalmente vidrio, sólida, pronunciado brillo vítreo **Obsidiana**.
- 2.- Totalmente de vidrio, pero de textura celular y aspecto esponjoso o espumosa: **Pómez o Escoria**.

### **II.- ROCAS DE ASPECTO OPACO Y PETREO, HOMOGENEAS, DE TEXTURA TAN FINA QUE NO SE DISTINGUEN LOS GRANOS INDIVIDUALES**

**A.- MUY SUAVE: PUEDE RAYARSE CON LA UÑA.**

- 1 Tiene olor a arcilla, se adhiere ligeramente a la lengua, humedecida y frotada con los dedos produce la sensación de jabón, no da reacción con el ácido, diferentes colores: **Lutita**; si da reacción con el ácido: **Marga**.
- 2 Color blanco o amarillento; se desmenuza fácilmente, mancha los dedos, da activa reacción con el ácido: **Creta**.
- 3 La misma característica que en 2, pero no da reacción con el ácido: **Tierra diatomeas** (no consolidada) si está consolidada se denomina diatomita.
- 4 Más duro y más compacto que en 1, 2 y 3, no da reacción con el ácido, compuesto por mineral que tiene buen clivaje, a veces fibroso, se presenta en capas o vetas: Yeso

**B.- NO SE RAYA CON LA UÑA, PERO FACILMENTE SE RAYA O SE CORTA CON CUCHILLO**

- 1 Compuesto por partículas excesivamente finas; aspecto opaco y uniforme, olor a arcilla, tiene estructura laminar o estratificada, se rompe fácilmente en laminitas, puede tener o no reacción con el ácido, variación de colores: Lutita.
- 2 Fuerte reacción con el ácido, el cuchillo deja raya blanca, variedad de colores, pero predomina el gris: Caliza.
- 3 Como en 2, pero la reacción con el ácido es débil; pulverizando la muestra la reacción es fuerte: Dolomía.

**C.- NO SE RAYA CON LA NAVAJA EL VIDRIO, NO EFERVESCE CON EL ACIDO**

- 1 Variedad de colores, pero predomina el claro; textura afanítica, con frecuencia estructura fluidal: Felsitas.
- 2 Muy dura; raya feldespatos y vidrio; color oscuro, aspecto córneo, ligeramente reluciente: Pederal.
- 3 Menos dura que en 1 y 2, no raya feldespatos, color oscuro-negro, verde o rojizo, pesado con frecuencia textura vesicular, a veces contiene olivino de color verde: Basalto.

**III.- ROCAS CLARAMENTE GRANULARES Y CRISTALINAS; LOS CRISTALES TOTAL O PARCIALMENTE IDENTIFICABLES.**

**A.-FACILMENTE SE RAYA CON UNA NAVAJA**

- 1 Efervesce con el ácido frío: cristales de calcita: **Mármol**.

- 2 Efervesce con el ácido caliente o quebrando la muestra: **Dolomia marmorizada o mármol dolomítico.**

#### **B.- DURA, NO SE RAYA CON UNA NAVAJA, TEXTURA GRANULAR UNIFORME**

- 1 Color claro, minerales de feldespato (ortoclasa y cuarzo): **Granito**
- 2 Sin el cuarzo: **Sienita.**
- 3 Compuesta de feldespato y minerales oscuros ferromagnesianos, pesada, si ambos minerales están aproximadamente en igual proporción: **Diorita.**

Si predominan los minerales oscuros: **Gabro.**

- 4 Constituidas casi exclusivamente por minerales ferromagnesianos, generalmente pesada y de color verde-oscuro a negro: **Peridotita. Piroxenita.**

Las mismas rocas que en 1, 2, 3 y 4, pero con fenocristales **Pórfidos correspondientes.**

- 5 Constituidos por granos de arena, cementados en mayor o menor grado: **Areniscas.**

#### **IV.- ROCAS QUE TIENEN ESTRUCTURA CLARAMENTE GNEISICA FOLIADA O APIZARRADA**

- 1 De grano grueso, en franjas o bandas visibles: **Gneis**
- 2 Estructura claramente foliada, contiene mucha mica, con frecuencia tiene cuarzo: **Esquisto.**
- 3 De grano extremadamente fino, se separa en lajitas, se raya con una navaja: **Pizarra.**

#### **V.- ROCAS QUE TIENEN LA COMPOSICION FRAGMENTADA**

- 1 Los fragmentos tienen la forma redondeada: **Conglomerado.**
- 2 Los fragmentos son angulosos: **Brecha.**
- 3 Material heterogéneo más fino, de todas formas: **Tobas.**
- 4 Compuesto de granos de arena de diferentes formas: **Areniscas.**

## PROBLEMAS QUE PRESENTAN DIFERENTES ROCAS Y FORMACIONES

Los problemas que presentan las diferentes rocas y formaciones dependen de su estado actual y el estado actual es consecuencia directa de un conjunto de las condiciones geológicas, topográficas, climatológicas, régimen pluviométrico, acción de los agentes de erosión y por supuesto de las propiedades físicas de las rocas.

Por lo tanto, no tiene sentido hablar de los problemas que pueden presentar una roca en particular.

Por ejemplo, una caliza, sana y compacta no presenta los mismos problemas que una caliza cavernosa, sin embargo la roca es la misma en ambos casos.

Una formación sedimentaria, fuertemente plegada, presenta problemas que no existirían si los estratos de la misma formación ocuparan una posición horizontal.

El grado de cementación interna en rocas sedimentarias es tan variable que los problemas que se presentan en las rocas del mismo grupo pueden ser completamente diferentes.

Las areniscas, por ejemplo, tienen una variación tan grande que, en un extremo, las hay que se desmoronan bajo pequeños esfuerzos y, en el otro extremo, se puede colocar las areniscas metamórficas (metacuarcitas) que son muy duras, resistentes y absolutamente impermeables.

Lo mismo se puede decir de los conglomerados, brechas, tobas, etc.

En general, para estimar debidamente los problemas que presentan diferentes rocas o formaciones, es necesario tener presente que estos problemas en gran mayoría de los casos dependen de los siguientes factores:

- 1 Las propiedades físicas de las rocas o formaciones en su estado actual:
- 2 Los agentes de la erosión e intemperismo que actúan sobre ellas.
- 3 Medidas preventivas que se aplican para defender las obras, tanto en construcción, como ya construidas, contra los efectos nocivos de la erosión.

Las propiedades físicas de las rocas y formaciones más importantes en este sentido son:

La porosidad, permeabilidad, grado de saturación, plasticidad, compacidad, grado de cementación interna, solubilidad, inclinación de los estratos, formas estructurales y topográficas, fallamientos y fracturamientos.

Entre los agentes de la erosión, el más poderoso es el agua, que por la acción mecánica de arrastre en la superficie y la saturación del subsuelo, es responsable de la mayor parte de los problemas con los cuales se encuentra en su trabajo un ingeniero encargado de la construcción y conservación de las vías de comunicación.

TABLA PARA LA CLASIFICACION MACROSCOPICA DE ROCAS IGNEAS (SEGUN L. PIRSSON)  
(CLASIFICACION DE CAMPO O EJEMPLARES DE MANO)

	(a) Rocas Feldespáticas, de Color generalmente Claro						(b) ROCAS FERROMAGNESIANAS/ DE COLOR GENERALMENTE OSCURO		
	ORTOCLASA		ORTOCLASA Y PLAGIOCLASA		PLAGIOCLASA		con Plagioclasa	sin Plagioclasa	
	CON CUARZO	SIN CUARZO	CON CUARZO	SIN CUARZO	CON CUARZO	SIN CUARZO			
I - ROCAS INTRUSIVAS TEXTURA FANERITICA (ROCAS DE GRANO GRUESO LOS CONSTITUYENTES RECONOCIBLES)	EQUIGRANULAR	GRANITO	SIENITA	CUARZO MONZONITA	MONZONITA	CUARZO DIORITA (TONALITA)	DIORITA	GABRO	PERIDOTIT PIROXENIT HORNBLEND
		PORFIDO GRANITICO	PORFIDO SIENITICO	PORFIDO DE CUARZO MONZONITA	PORFIDO MONZONITICO	PORFIDO DE CUARZO DIORITA	PORFIDO DIORITICO	PORFIDO GABRICO	
	PORFIDICAS	RIOLITA	TRAQUITA	LATITA	DACITA	ANDESITA	PORFIDO BASALTICO		
II - ROCAS EXTRUSIVAS E INTRUSIVAS, TEXTURA AFANITICA; RECONOCIBLES FENOCRISTALES	NO PORFIDICAS	FELSITAS							BASALTO (TRAP)
III - VIDRIOS VOLCANICOS	OBSIDIANA, POMEZ, PERLITA								
IV - ROCAS PIROCLASTICAS	TOBAS Y BRECHAS								



Las medidas de protección consisten en obras de carácter defensivo, con el fin de proteger la obra contra los efectos nocivos de la erosión.

Estas medidas comprenden las alcantarillas, cunetas, contra cunetas, zanjas para desviar las aguas, taludes de inclinación adecuada, muros de contención, anclaje, concreto lanzado, drenes, etc.

Un criterio correcto en este sentido merece especial atención en casos cuando la obra se ejecuta en zonas de topografía quebrada, en las formaciones porosas y mal consolidadas, como lo son, por ejemplo, las rocas piroclásticas o formaciones sedimentarias fuertemente plegadas o mal consolidadas.

No basta proyectar, digamos, una alcantarilla; es necesario que sea proyectada con un criterio correcto, considerando las condiciones del medio ambiente y las geológicas de la zona.

Las propiedades físicas de las rocas no cambian dentro de un plazo corto, sino que constituyen un factor permanente y los ingenieros encargados de localizaciones y proyectos, pueden escoger mejores alternativas sólo cuando las condiciones locales lo permiten.

Precisamente en esta fase del trabajo, los ingenieros geólogos pueden proporcionar muy valiosa ayuda a los ingenieros civiles, indicando las propiedades de las rocas y formaciones y su comportamiento durante la construcción y en la fase posterior de la conservación.

En algunos casos, el criterio de un ingeniero geólogo es de tal importancia, que es preferible desechar un proyecto propuesto y escoger otra variante.

Como caso concreto en este sentido, voy a mencionar tres casos:

El primero, se refiere al camino y Ferrocarril Durango-Mazatlán.

El trazo, que data desde hace muchos años ya, fue hecho sin considerar en absoluto las condiciones geológicas de la zona, ni las propiedades de las rocas que constituyen el macizo de la sierra.

Las cañadas de los ríos Baluarte y Presidio están ligadas íntimamente con intensos movimientos tectónicos que debilitaron ambas laderas del parteaguas (Cordón) de la sierra por donde se desarrolla el trazo y se abren los túneles del ferrocarril.

Parcialmente a este factor, se deben frecuentes y abundantes derrumbes que han sucedido y van a suceder en el futuro en estas obras.

Otro factor se debe a las propiedades físicas de las rocas que predominan en la región.

Toba riolítica (roca piroclástica), que constituye gran parte de la sierra, es una roca sumamente porosa, muy poco resistente frente a los agentes de la erosión.

Durante la estación de lluvias, las tobas absorben grandes cantidades de agua, que las reblandecen.

Por otra parte, el agua destruye fácilmente la roca, haciendo en ella profundas grietas verticales que paulatinamente formaran altos y angostos pilares separados entre sí, que se desplomarán.

En algunos tramos, estos pilares tienen unos 100 mts. de altura, (tramo de 35 Kms. entre los bancos El Palmito).

El segundo caso se refiere al camino Tuxtla Gutiérrez-Pichucalco, actualmente en construcción.

Las dificultades, en este caso, consisten en la topografía sumamente quebrada, que obliga a llevar el trazo por las laderas con pendientes transversales muy pronunciadas, donde los taludes constantemente causarán inestabilidad, los taludes de los terraplenes no tienen apoyo en las partes bajas.

Por otra parte, las formaciones principales de la zona lo constituyen lutitas poco compactas, que fácilmente se reblandecen con las lluvias. Ambos factores combinados dan lugar a constantes derrumbes y asentamientos que suceden actualmente y van a suceder posteriormente.

Anteriormente, ya se indicó que entre todos los agentes de la erosión, el agua es el destructor más poderoso y rápido. El agua destruye por el arrastre mecánico en la superficie, penetra a lo largo de los planos de la estratificación o por las grietas y lubrica con la arcilla arrastrada los contactos entre los estratos, reblandece algunas formaciones (piroclásticas) y depósitos arcillo-arenosos, azolva las alcantarillas y cunetas, satura los cuerpos de terraplenes si el drenaje es insuficiente forma cavernas y grutas en las rocas carbonatadas, etc.

El tercer caso se refiere a la autopista: Tijuana-Ensenada la que presenta problemas de fuertes asentamientos, debido a las fallas geológicas y tipo de rocas que están presentes.

Para hacer frente a estos problemas, los ingenieros localizadores y proyectistas deben pensar de antemano en las medidas defensivas adecuadas para una zona dada, considerando el conjunto de condiciones adversas a la obra.

Los ingenieros dedicados a la conservación deben tener presente que el trabajo de conservación no consiste en retirar los derrumbes, sino en prevenirlos.

Para eso, los ingenieros residentes deben conocer íntimamente las propiedades físicas de las formaciones que existen en sus tramos y su comportamiento durante las estaciones de lluvias.

Durante la estación seca del año, deben recorrer y examinar minuciosamente sus tramos, limpiar e impermeabilizar, dentro de lo posible, las cunetas, contracunetas, desasolvar las alcantarillas, retirar los obstáculos en los arroyos, amacizar los taludes, etc.

En esta tarea, los ingenieros geólogos pueden ayudar muchos a los ingenieros civiles con su conocimiento de las rocas y formaciones; pueden estimar más correctamente la magnitud de la erosión que actuará sobre la obra y el comportamiento de las rocas.

Especial atención merece el criterio correcto respecto a los problemas de drenaje en los cortes y en el sentido de que las alcantarillas sean suficientes en cantidad y del tipo y tamaño adecuado en una región dada para descargar las aguas torrenciales o formar vasos comunicantes por ambos lados del terraplén si se trata de regiones planas.

En mi reciente viaje por el camino Transístmico, pude observar numerosas fallas y asentamientos en el camino, justamente en los lugares donde hay arroyos.

Las causas de este fenómeno son evidentes y obedecen a varias razones:

- 1 La precipitación pluvial de la región es considerable.
- 2 La vegetación aunque boscosa, es abundante.
- 3 La formación regional es arcillosa, pero permeable, donde los arroyos abren los cauces angostos y algo profundos.
- 4 El cuerpo del terraplén también es arcilloso y mal compactado.
- 5 Las obras de drenaje son demasiado chicas.

Como consecuencia, durante las estaciones de lluvias, las alcantarillas resultaron insuficientes para dar paso a las aguas; el nivel del agua en los arroyos subió, saturando el cuerpo arcilloso del terraplén y produciendo, finalmente, los asentamientos del terraplén en el sitio de la alcantarilla o incluso desaparece la carretera.

En 1956, cerca de Iguala, en un corte con media sección en firme, se deslizó un tramo del terraplén de unos 100 mts. de largo, aunque la pendiente transversal es muy pequeña.

La causa consistió en el hecho de que una profunda cuneta del lado del cerro no fue impermeabilizada, las aguas saturaron el terraplén que descansaba sobre las arcilla plásticas y se produjo el deslizamiento lateral.

Otro deslizamiento sucedió en el mismo camino cerca de Amacuzac.

En este caso, la causa consistió en una pequeña depresión superficial cerrada, que no se le dio salida ni agua hacia la alcantarilla más cercana. Igualmente se saturó el terraplén y una parte se deslizó por la pendiente transversal, que en este caso es considerable.

Podría mencionar otros casos, pero casi siempre todos ellos demuestran dos causas principales:

- 1 Deficiente estimación de los factores nocivos durante la localización y el trazo, (como en el primero de los casos mencionados).
- 2 Falta de atención o medios de parte de los Residentes de conservación, como en los dos últimos casos.

Al principiar el párrafo sobre los problemas que presentan diferentes rocas y formaciones, se dijo que no se puede indicarlas en una forma concreta, debido a la variación en el estado de rocas de un solo grupo.

Sin embargo, se puede mencionar las tendencias generales que siguen las rocas de diferentes grupos.

## **ROCAS IGNEAS**

Este grupo de rocas, tanto intrusivas, como extrusivas, por regla general son sólidas, resistentes y reúnen buenas condiciones para cimentar en ellas cualquier tipo de obra.

En las regiones húmedas, las rocas ígneas, especialmente las de grano grueso (intrusivas), pueden ser afectadas por el intemperismo y alteradas a mayor o menor profundidad.

En los límites de los estados de Colima y Jalisco, puede observar granitos alterados hasta formar gruesos bancos de arena (Tucuruquay).

## **ROCAS PIROCLASTICAS**

Estas rocas forman dos grupos: brechas y tobas.

Las brechas están constituidas por fragmentos gruesos, mientras que las tobas por el material fino. Ambas tienen matriz de ceniza volcánica.

Las rocas de este grupo tienen amplia variación en cuanto a su resistencia, permeabilidad, y su comportamiento dependen del grado de cementación, pero, en general, se les debe considerar como rocas porosas y débiles, se prestan fácilmente a los procesos de la erosión, intemperismo y alteración que los llevan al estado arcilloso, con tendencias de producir los deslizamientos y desplomes, sobre todo en las reacias de producir los deslizamientos y desplomes, sobre todo, en las regiones de abundante precipitación pluvial, y de topografía accidentada.

## **ROCAS SEDIMENTARIAS**

Las principales rocas de este grupo son: lutitas, areniscas y calizas (en general rocas carbonatadas).

## **LUTITAS Y LIMOLITAS**

Dentro del término "lutitas", se puede incluir todas aquellas rocas sedimentarias de grano fino formadas por la solidificación de arcillas y limos.

Las arcillas y limos pasan a lutitas por medio de un proceso de compactación y cementación siempre con la eliminación de agua.

Dependiendo del grado y carácter de la consolidación, las rocas del grupo de las lutitas varían ampliamente en sus características al quedar expuestas en la superficie o al ser sometidas a esfuerzos, pero no hay una línea divisoria entre las lutitas compactadas y cementadas.

Las limolitas vuelven al estado de lodo cuando se sujetan a los procesos de saturación e hidratación; las lutitas son un poco más resistentes a estos cambios.

Los problemas que presentan las lutitas, aparte del grado de la compactación y cementación, consiste en su naturaleza arcillosa.

Las lutitas son rocas sedimentarias y se presentan por regla general en capas alternadas con otras formaciones sedimentarias, como son las areniscas y calizas. Con mucha frecuencia estas capas se presentan en forma de estructuras plegadas y entonces las arcillas en los contactos entre diferentes estratos desempeñan el papel de lubricante, originando deslizamientos de los estratos que penden hacia los caminos.

En las regiones de topografía quebrada, donde se requieren cortes en las terracerías, las lutitas, especialmente las compactadas, presentan idénticas dificultades.

En estas condiciones se encuentran el tramo Pueblo Nuevo-Pichucalco, del camino Tuxtla Gutiérrez-Pichucalco en el estado de Chiapas.

## **ARENISCAS**

Las areniscas tienen una variación en sus propiedades y características casi tan amplias como en las lutitas.

Aunque su naturaleza angulosa, su alto grado de fricción interna y su condición generalmente comentada, eliminan o, por lo menos, reducen al mínimo, muchos de los problemas comunes a las lutitas.

Los problemas que en las lutitas provienen de su naturaleza arcillosa, rara vez se presentan en las areniscas. Sin embargo como ya se ha dicho, las areniscas se presentan comúnmente en forma de capas alternadas con las lutitas, y, entonces, se presentan los problemas ya mencionados.

Otra característica de las areniscas consiste en su relativa rigidez, mayor que en las lutitas, lo que origina intensos fracturamientos de esta roca, cuando está sometida a los esfuerzos laterales que producen los plegamientos o verticales, como sucede en casos de fallamientos.

## **CALIZAS Y ROCAS CARBONATADAS**

Las calizas son rocas que se encuentran con mayor frecuencia en el grupo de rocas carbonatadas.

El constituyente principal de las calizas es el Carbonato de Calcio (calcita) que se disuelve completamente en ácido clorhídrico diluido al 10% con H<sub>2</sub>O.

Todas las calizas contienen mayor o menor parte de impurezas que consisten principalmente de arcillas, arenas, óxido de hierro y según la cantidad de estas impurezas y grado de cementación en los espacios intersticiales, las calizas varían mucho en la porosidad.

Algunas calizas de origen orgánico pueden tener hasta 25% de porosidad, mientras que las que contienen mucho sílice, son prácticamente impermeables.

Hablando en términos generales, las calizas presentan algunos problemas, uno se debe a su solubilidad especialmente si se trata de los travertinos que a veces da origen a sumideros, grutas y cavernas. La otra se debe a la porosidad que permite que las aguas se infiltren y circulen dentro de los macizos de calizas.

En el primero de los casos, las vías de comunicación pueden sufrir hundimientos locales, y, en el otro, el problema es de carácter hidrológico.

## **ROCAS METAMORFICAS**

Entre las rocas de este grupo, las que presentan problemas son la pizarra, filitas y esquistos que son las más comunes. Estas rocas tienen su origen en las arcillas, que gracias a los procesos de metamorfismo, se convirtieron en pizarras.

La característica fundamental de esta roca consiste en la estructura foliada, que permite que la roca se separe fácilmente en delgadas laminitas. Expuesta, fácilmente se intemperiza, las laminitas se vuelven muy frágiles y quebradizas y, por regla general, las cunetas al pie de los cortes siempre están azolvadas por los fragmentos de la roca.

Las aguas superficiales penetran fácilmente por los planos de foliación y originan problemas de carácter hidrológico.

Otras rocas metamórficas como los gneises, cuarcitas y otras, regularmente son las que presentan problemas en una proporción menor.