

20114



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

**La Petrografía como Método Auxiliar en
la Geotecnia**

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO GEOLOGO
p r e s e n t a :
TOMAS H. LOPEZ DE LA FUENTE

México, D. F.

1982

C O N T E N I D O

| | PAG. |
|--|------|
| I. INTRODUCCION | 1 |
| II. CLASIFICACION FUNDAMENTAL DE LAS ROCAS | 2 |
| III. PROPIEDADES DE LAS ROCAS- CONSIDERADAS EN LA GEOTEC NIA | 40 |
| IV. CLASIFICACION GEOTECNICA- DE LAS ROCAS | 74 |
| V. APLICACIONES | 85 |
| VI. CONCLUSIONES | 121 |
| BIBLIOGRAFIA | 122 |

RECONOCIMIENTOS

La parte de Petrografía del presente trabajo estuvo dirigida por el Ing. Leovigildo Cepeda Dávila, Jefe del Laboratorio de Petrografía de la B. M. P. de C.F.E. La parte de Mecánica de Rocas fue dirigida por el Ing. J. Armando Rábago Martín del laboratorio de Mecánica de Rocas del Depto. de Estudios Experimentales de C.F.E. El acceso a dicho laboratorio y el uso de la información existente fue con la autorización del Ing. Jorge E. Castilla Camacho, Jefe de la Oficina de Mecánica de Rocas del D.E.E. de C.F.E.

A todos ellos mi agradecimiento.

I. INTRODUCCION

La Petrología es la rama de la Geología que se encarga -- del estudio de las rocas. Utiliza en la investigación diferentes métodos para conocer y entender los procesos geológicos que intervinieron en el origen de las mismas. Entre dichos métodos destacan los de la Geología de Campo y la Físico-química.

Las dos grandes divisiones de la Petrología son la Petrogénesis y la Petrografía. La primera se ocupa del origen de las rocas, mientras que la segunda se encarga de la -- parte puramente descriptiva de las mismas.

La mayor parte de los geólogos utiliza a la Petrografía -- como auxiliar para la solución de problemas en donde la -litología es confusa o en donde se requiere delimitar zonas de alteración. Este trabajo tiene como objetivo utilizar los criterios petrográficos, no sólo para la resolución de los problemas antes mencionados, sino también para estimar cualitativamente el comportamiento mecánico de las rocas (resistencia, deformabilidad y permeabilidad), -ampliando así su campo de acción hacia el área de la Geología Aplicada a la Ingeniería.

La elaboración del presente trabajo, se hizo en base a la bibliografía existente sobre el tema y al trabajo desarrollado por el autor en los laboratorios de Mecánica de Rocas y Petrografía de la Comisión Federal de Electricidad, producto del cual son los dos ejemplos de aplicación mencionados en el penúltimo capítulo de esta tesis.

II. CLASIFICACION FUNDAMENTAL DE LAS ROCAS

En este capítulo se mencionan con detalle las partes que constituyen un estudio petrográfico completo y los criterios utilizados con mayor frecuencia por la Petrografía para la determinación del origen de la roca y su clasificación. Desde el punto de vista de la Ingeniería Aplicada ello permitirá posteriormente relacionar las propiedades mecánicas de la roca (resistencia, deformabilidad y permeabilidad) con su origen y naturaleza (1), por tanto, esta parte de la Petrografía es un antecedente fundamental para la comprensión futura de la relación entre el tipo de roca y su comportamiento mecánico.

II.a Secuencia de un estudio petrográfico

El estudio petrográfico de un ejemplar de roca en el Laboratorio se divide en cinco partes:

1. Datos de campo
2. Descripción macroscópica
3. Descripción microscópica
4. Origen de la roca
5. Clasificación petrográfica

Cada una de estas partes mantienen una relación directa con los acontecimientos geológicos que intervinieron en la génesis de la roca. Las dos últimas partes son el resultado de las tres primeras; a continuación se explicará en qué consisten cada uno de estos términos.

(1) Se entiende por naturaleza las propiedades físicas y químicas de los minerales constitutivos y del conjunto incluyendo las discontinuidades existentes.

1. Datos de Campo. Son los datos del lugar donde se colectó la muestra en estudio. La información obtenida permite definir si la muestra pertenece a un contacto entre dos formaciones, a la periferia de un intrusivo, a una -- cuenca sedimentaria, etc. En algunos casos, los datos de campo llegan a ser determinantes en cuanto al origen de -- la roca, sobre todo si existe confusión entre diferentes -- descripciones.

2. Descripción Macroscópica. Esta descripción se hace -- con base en un estudio megascópico de un ejemplar de ma -- no. En ella se toman en consideración el color, la es -- tructura, la textura y los minerales observables ya sea -- a simple vista o con ayuda de la lupa y la navaja. Inge -- nierilmente resulta de interés describir también el grado de alteración y fracturamiento, así como la frecuencia de este último y las características del material de relleno del mismo. La estructura es considerada aquí como el con -- junto de rasgos morfológicos macroscópicos de las rocas -- debidos a discontinuidades o deformaciones.

3. Descripción microscópica. La descripción microscópica es la parte principal del estudio petrográfico. En ella se toman en consideración la textura (2), los minerales -- primarios o esenciales, los accesorios y los de altera -- ción (o secundarios), así como las características de la -- matriz o el cementante, según sea el tipo de roca en estu -- dio. Para poder reconocer los minerales constitutivos y -- las características de la matriz se utiliza el microscopio polarizante. El principio de este aparato es el de po -- larizar la luz blanca por medio de una lente polarizado --

(2) Sea macroscópica o microscópica, este importante término se refiere a las relaciones entre los componentes mineralógicos de la roca; tales relaciones involucran tamaño, forma y disposición de los minerales.

ra (nicol), ubicada en su parte inferior. Una vez polarizada la luz, se la hace incidir por el centro de la platina, en la cual se coloca una laminilla del ejemplar de la roca. La laminilla es de un espesor (del orden de 30μ), tal que permite el paso de la luz. En ella se pueden finalmente determinar los diferentes tipos de minerales que componen la roca, aprovechando las propiedades ópticas de los mismos.

La descripción de la textura a nivel megascópico estará - un tanto restringida, sobre todo en rocas de grano muy fino (afaníticas). Para este caso, la descripción microscópica es de mucha ayuda.

4. Origen de la roca. El conjunto de características tales como contenido mineral, textura, estructura, etc. con el apoyo de la relación de campo, reflejan el origen de la roca. Si ella es de origen ígneo, independientemente de su contenido mineral, tendrá una textura característica que estará en función de tres componentes: grado de cristalinidad, tamaño y fábrica de los minerales.

Para rocas de origen sedimentario se tienen dos tipos principales de texturas: clásticas y no clásticas; las primeras son el resultado de los procesos morfodinámicos (D.G. Panov, 1966), mientras que las segundas resultan de procesos químicos o bioquímicos.

Las rocas de origen metamórfico tienen dos tipos de texturas principales: foliadas y no foliadas. Las texturas foliadas casi siempre se deben a un metamorfismo de tipo regional (función de la temperatura y presión). Las no foliadas por lo general se producen durante el metamorfismo de contacto (función de la temperatura).

Estas texturas se tratarán más adelante con mayor detalle.

5. Clasificación petrográfica. Toda la información obtenida desde la relación de campo hasta el origen de la roca (incisos del 1 al 4), comparada con un sistema de clasificación, que puede ser con bases químicas o mineralógicas, permitirá determinar la clasificación petrográfica o fundamental de la roca; se dice fundamental porque es la base de su nomenclatura dentro de la Geología.

Si la información antes mencionada se analizara desde el punto de vista de la ingeniería, en lugar de obtener la clasificación fundamental de la roca, se obtendrá la clasificación geotécnica de la misma, que se estudia en el Capítulo IV del presente trabajo. Esta última clasificación representará una invaluable ayuda en la selección del lugar adecuado para el emplazamiento de una obra de ingeniería.

TEXTURA DE LAS ROCAS IGNEAS

La textura de las rocas ígneas se define en función de:

- a) Grado de cristalinidad
- b) Tamaño de los granos
- c) Fábrica, que comprende la forma de los componentes -- cristalinos o vítreos y las relaciones entre éstos.

a) Grado de cristalinidad. Es la cantidad de minerales -- que cristalizaron como consecuencia del enfriamiento de -- un magma fundido.

Las rocas compuestas totalmente por minerales son holo -- cristalinas, mientras que otras compuestas totalmente por vidrio son holohialinas. Existe un término intermedio en -- tre estos dos: hipocristalino o merocristalino, y se usa para rocas compuestas por vidrio y cristales.

b) Tamaño de los granos (granularidad). Una vez defini -- do el grado de cristalinidad de una roca se toma en consi -- deración el tamaño de los minerales que constituyen la -- misma. Ello es consecuencia principalmente del ritmo de -- enfriamiento y el contenido de volátiles en un magma. Si el ritmo de enfriamiento es lento y la pérdida de gases -- se desarrolla, también de manera lenta, ya sea por la for -- ma del cuerpo de magma o por su profundidad de emplaza -- miento, la roca resultante será de textura holocristalina de grano medio a grueso. Durante las etapas finales de -- consolidación de algunos tipos de magmas, el líquido resi -- dual puede enriquecerse en volátiles promoviendo el desa -- rrollo de grandes cristales, especialmente si se origina -- una fase gaseosa por separado. De este tipo de magmas se desarrollan las rocas de grano muy grueso denominadas peg -- matitas.

Las rocas de textura holocristalina de grano medio a grue

so generalmente son plutónicas, o sea que se formaron a partir de un magma que no logró llegar a la corteza terrestre, lo contrario de esto no siempre se cumple ya que, como se dijo en un principio, la granularidad de una roca depende más del ritmo de enfriamiento y el contenido de volátiles, que de la profundidad de emplazamiento del magma. La periferia de un cuerpo intrusivo aunque nunca es vítrea, puede ser de grano fino. Según Williams, Turner y Gilbert (1955) existen ejemplos de rocas hipabisales someras, cuyos márgenes vítreos son producto de un enfriamiento repentino del magma al quedar en contacto con las paredes frías de la roca encajonante.

Un magma de alta viscosidad (esto impide la migración de los iones), sujeto a enfriamiento rápido, va a originar una textura holohialina o vítrea.

Las texturas de grano fino, hipocristalinas y holocristalinas, se forman a partir de un magma que se solidificó y perdió gases rápidamente debido a la existencia de bajas presiones. Estas texturas pertenecen generalmente a rocas de tipo volcánico. Se hace notar que en todas ellas existen ejemplos de gruesos derrames de lava, cuya corteza y fondo son vítreos pero en la parte central presentan textura holocristalina de grano medio a grueso. Estos ejemplos se dan principalmente en derrames gruesos de basalto, y vienen a reforzar lo dicho anteriormente de las rocas plutónicas respecto a que no sólo ellas pueden presentar grano medio o grueso.

c) Fábrica. Se refiere a las relaciones geométricas de los minerales. Los granos cuyo contorno está desarrollado de manera regular, definiéndose una forma característica, casi perfecta y se encuentran limitados por sus propias caras, se denominan cuedrales o idiomorfos. Si por el contrario, el grano tiene su contorno definido de manera irregular, sin forma característica, es anedral o alo-

triomorfo. Existe un término intermedio que es subedral o hipidiomorfo.

d) Relaciones entre los Componentes Cristalinos o Vítreos

Estas relaciones permiten distinguir seis tipos principales de texturas: equigranulares, inequigranulares, de intercrecimiento, microlíticas, hialinas y de devitrificación.

d.1) Texturas Equigranulares

Una textura equigranular presenta componentes mineralógicos aproximadamente del mismo tamaño. Si la mayor parte de tales componentes son alotriomórficos, la textura es alotriomórfica o xenomórfica; una variedad de ésta es la textura aplítica, en la cual los cristales son muy pequeños.

Cuando la mayor parte de los cristales son subedrales, la textura es hipidiomórfica. Dos variedades de tal tipo -- son la textura granítica, con plagioclasas subedrales, y la textura monzonítica con plagioclasas subedrales englobadas en feldespatos potásicos.

Si la mayor parte de los cristales son euedrales, la textura se denomina panidiomórfica o automórfica. Si los cristales de una roca microgranular son tan pequeños que la vuelven criptocristalina la textura se denomina felsítica; los cristales se distinguen difícilmente inclusive bajo los más fuertes aumentos.

d.2) Texturas inequigranulares

Las texturas inequigranulares se caracterizan por la notable diferencia de tamaño en el grano; esta diferencia es tanto macroscópica como microscópica.

En algunas rocas se observan cristales grandes (fenocristales) rodeados de otros más pequeños, que constituyen lo

que se denomina matriz; en estos casos se tiene una textura porfídica. Si la matriz es vítrea en lugar de crystalina, la textura resultante es vitrofídica, y si en lugar de vítrea es felsítica (criptocristalina) la textura se denomina felsofídica. Por último, si existen cristales pequeños no orientados, como inclusiones dentro de fenocristales, la textura se llama poikilítica o poecilítica. Las texturas ofítica y subofítica son variedades de textura poecilítica; en ellas, las plagioclasas parecen estar encerradas total o parcialmente por piroxenos, y son frecuentes en basaltos y doleritas. En estas rocas básicas se puede presentar la textura intergranular, en la que los intersticios angulosos entre los feldespatos están ocupados por minerales ferromagnesianos (generalmente olivino, piroxenos u óxidos de hierro). Si estos intersticios están rellenos de vidrio o de minerales secundarios la textura se denomina intersertal.

d.3) Texturas de intercrecimiento

Como su nombre lo dice, estas texturas se forman debido a intercrecimientos entre los componentes mineralógicos de la roca. Los ejemplos más típicos son las texturas gráficas y mirmekítica. La primera presenta una interpenetración mutua de cristales de cuarzo y feldespato potásico; se le denomina gráfica por su semejanza con la escritura cuneiforme. En la segunda existen pequeños cuerpos de cuarzo vermicular encerrados en plagioclasas.

d.4) Texturas Microfíticas

Una textura se denomina microfítica cuando presenta gran abundancia de cristales pequeños de feldespatos cuedrales desarrollados en forma de laminillas denominadas microfilitos.

En estas texturas existen variedades que son función de --

la disposición de los microlitos; por ejemplo, si ellos se presentan orientados en forma más o menos paralela y se encuentran rodeados por material microcristalino, la textura se llama traquítica; si no existe tal orientación y los microlitos están rodeados por material criptocristalino, la textura se denomina pilotaxítica. El último caso es para la textura hialopilítica la cual tiene microlitos englobados en vidrio.

d.5 Texturas Hialinas

Tales texturas, muy comunes en rocas volcánicas y subvolcánicas, se caracterizan por la presencia de vidrio, ya sea solo o en predominancia sobre los cristales.

Si a nivel megascópico existen nódulos de forma semejante a las capas de cebolla, la textura se llama perlítica; en ella se observan líneas de fracturas más o menos concéntricas que le dan la mencionada semejanza.

Si en una roca volcánica se presentan agregados radiales-casi o totalmente esféricos de composición ácida -denominados esferulitos- la textura resultante será esferulítica.

Cuando existen cuerpos radiales similares a los esferulitos, formados por fibras de plagioclasas con o sin vidrio intersticial de composición básica, la textura se llama variolítica.

Una textura es vacuolar o vesicular si tiene cavidades o vacuolas de cualquier forma. Cuando tales cavidades presentan relleno de minerales secundarios, la textura es amigdaloidal. El equivalente plutónico de esta última textura es la textura miarolítica, en la cual pueden formarse cristales automorfos o subautomorfos dentro de las cavidades de la roca intrusiva.

d.6) Texturas de desvitrificación

La inestabilidad del vidrio, cualquiera que sea su composición, hace que tienda a cristalizar a temperaturas ordinarias y aún más ante la presencia de soluciones circulantes; tal fenómeno es conocido como desvitrificación. La desvitrificación también puede originarse por un recalentamiento debido a la presencia de algún intrusivo o por cualquier otro fenómeno.

Existen dos casos de desvitrificación, uno precoz y otro por envejecimiento. En el primero ocurre un reajuste entre los átomos y es cuando se comienzan a formar pequeños cristales primero de piroxenos en "ramitas" u hojas de he^llecho; después se forman cristales de cuarzo y feldes^pato con hábito fibroso semejante a los esferulitos. En el segundo caso ya mencionado, el material vítreo es reemplazado por un agregado criptocristalino de cuarzo y feldes^pato.

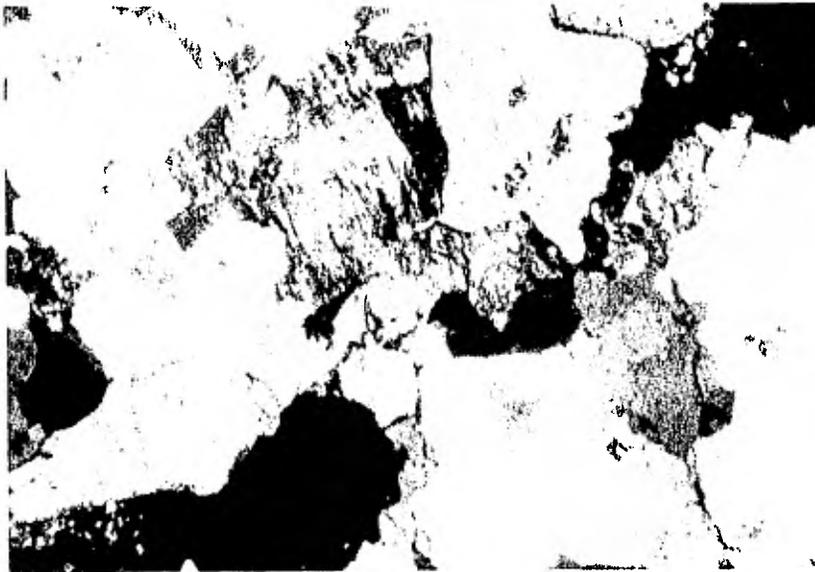


Foto No. 1 (100 X nícoles X)
Textura holocristalina equigranular hipidiomórfica en -
granito.

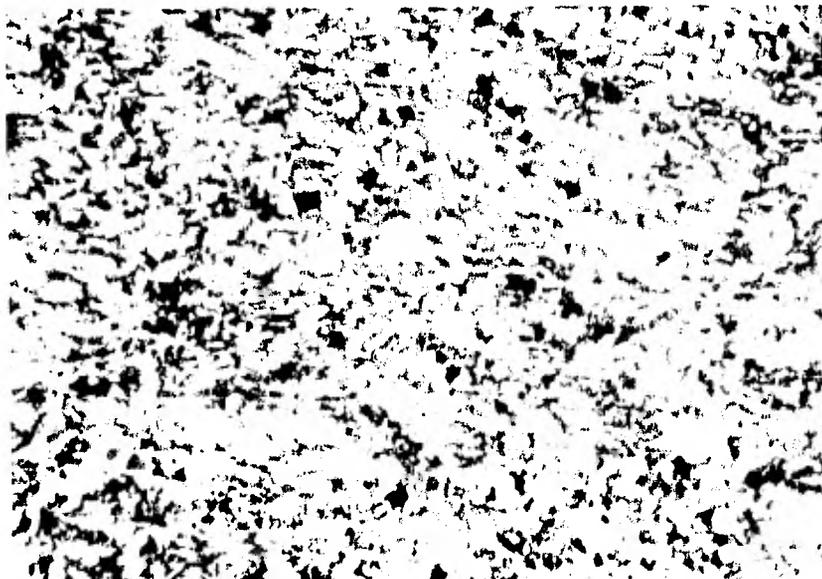


Foto No. 2 (25 X nícoles X)
Textura pilotaxítica en basalto andesítico



Foto No.3 (25 X nícoles X)
Textura intergranular en Diabasa



Foto No. 4 (100 X nícoles X)
textura piroclástica en toba cristalina con líticos.
El fragmento de roca de la parte superior es de andesita

TEXTURAS SEDIMENTARIAS

Como se mencionó anteriormente, podemos englobar las texturas de las rocas sedimentarias dentro de dos grupos basándonos en los mecanismos que predominaron en su formación. Tales grupos son el no clástico y el clástico. El grupo no clástico tiene tres subgrupos: químico, orgánico y residual.

1. Subgrupo Químico. Son rocas formadas por la acumulación de minerales precipitados directamente de soluciones acuosas por procesos químicos inorgánicos.

Los procesos de cristalización de una solución o los de recristalización de un material amorfo criptocristalino dará como resultado la textura de las rocas de precipitación química.

Según Heinrich (1972) las diversas texturas de precipitación química pueden agruparse en las siguientes categorías:

1.1 Equigranular

a) Alotriomórfico: caliza, anhidrita y sal gema por precipitación directa. Por recristalización algunos sílex.

b) Hipidiomórfica o Paniomórfica: dolomita de sustitución.

1.2 Heterogranular

a) Inequigranular: algunos sílex y rocas formados por anhidrita y yeso por recristalización; algunas calizas dolomíticas por sustitución.

b) Porfidoblástico: sal gema en algunos casos, rocas a base de dolomita, yeso, anhidrita o polihalita por recristalización.

1.3 Fibrosa: yeso sustituyendo a anhidrita

1.4 Coloforme

- a) Bandeado coloforme. Son bandas diminutas muy próximas, ondulantes; lo presentan la calcita estalactítica, el travertino y algunos sílex.
- b) Oolitos y Pisolitos: calizas oolíticas, algunas fosforitas.
- c) Ovulos (granos): fosforita, rocas glauconíticas
- d) Esferolitos: sílex, esferosiderita

1.5 Porosa

- a) Primaria: Tufita, arenisca
- b) Secundaria: microgeodas en dolomita, moldes de dolomita en sílex y otras cavidades debidas a disolución de minerales; por ejemplo, halita en yeso.

1.6 Texturas secundarias diversas

- a) Crecimientos orientados: calcita, dolomita y feldespato
- b) Corrosión marginal: clorita y sericita sobre cuarzo
- c) Seudomorfosis: Limonita a partir de oolitos de chamosita, halita más anhidrita a partir del yeso, calcedonia siguiendo a calizas oolíticas.
- d) Filoncillos: calcita en caliza y dolomita, yeso en anhidrita.

Los oolitos están constituidos por capas concéntricas de minerales que se depositaron sucesivamente en torno de un núcleo o centro que, por lo general, son granos clásticos de cuarzo, limo, microfósiles o fragmentos de conchas; la textura concéntrica es más frecuente que la radial, aunque puede presentar las dos al mismo tiempo.

2. Subgrupo Orgánico. Son las rocas que se formaron a partir de minerales y materiales precipitados en soluciones acuosas, por la acción de organismos o constituidos por restos orgánicos.

Aparte de la predominancia de los restos orgánicos, las texturas de las rocas orgánicas están condicionadas principalmente por:

- 2.1 La forma primitiva de los fósiles
- 2.2 El estado de conservación de la forma primitiva en el caso de que fuera transportada.
- 2.3 La disposición de los granos en el interior del fósil
- 2.4 El grado y tipo de sustitución o recristalización de material primitivo.
- 2.5 La naturaleza y textura del agente aglomerante.

3. Subgrupo Residual. Rocas formadas in situ por descomposición avanzada y que no han sufrido transporte apreciable.

El grupo clástico está constituido por materiales físicamente meteorizados o desintegrados que se acumularon mecánicamente o por detritus procedentes de rocas más antiguas que han sido transportados y depositados por corrientes de agua, aire o hielo.

Las rocas epiclásticas tienen dos características predominantes que se utilizan como base para su subdivisión: tamaño y composición de las partículas. En el siguiente cuadro figuran las subdivisiones generalmente admitidas, según sea el tamaño de las partículas, los materiales y rocas correspondientes y varios términos más.

CUADRO No. 1
 CLASIFICACION SEGUN TAMAÑO DE LAS PARTICULAS
 Y AGREGADOS SEDIMENTARIOS EPICLASTICOS

| TAMAÑO mm | PARTICULA | A G R E G A D O S | |
|--------------|--------------|-------------------|--|
| 256 | Canto rodado | Grava | (Grabau) Sefita (Se fíticos) Rudita (rudá ceos) |
| 64 | Guijarro | Conglomerados | |
| 4 | Chinas | | |
| 2 | Arena gruesa | Areniscas | Sannita (sa nálticos) Arenita (areno sos) |
| 1/16 | Arena | | |
| 1/256 | Limo | Limonitas | |
| | Arcilla | Lutitas | Pelita (peliti cos, arcillo sos) lutita (lutá ceos) |

(E.Wm. Heinrich-1972)

En las rocas epiclasticas la textura está en función de:

- 1) Tamaño de los granos
- 2) Forma de los granos
- 3) Disposición de los granos

El tamaño se refiere al valor absoluto (Cuadro No.1) y a la variación de éste, es decir al grado de calibrado o clasificación. Los sedimentos varían desde los que están bien calibrados hasta aquellos en los que el calibrado falta o es deficiente.

La forma de los granos hace referencia a la esfericidad y a la redondez o redondeamiento. La esfericidad mide el grado de aproximación de la partícula de la forma ideal, que sería precisamente a la esfera. El grado de redondez no está relacionado con la esfericidad; mide el grado de agudeza de las esquinas y los bordes de las partículas. La Fig. No.1 representa un modelo de comparación para este parámetro.

Figura No.1



Grado de redondez: a. anguloso; b. subanguloso;
c. subredondeado; d. redondeado
e. muy redondeado

El grado de redondez se expresa cuantitativamente por la relación entre el radio medio de curvatura de los bordes y esquinas y el radio de curvatura de la esfera máxima inscrita.

En los estudios petrográficos elementales no se obtienen valores cuantitativos del grado de redondez.

Las partículas angulosas, subangulosas, subredondeadas, redondeadas y muy redondeadas (como se ilustran en la Fig.1) presentan las siguientes características:

Angulosas. Tienen las esquinas y los bordes agudos; indican que no existe abrasión o si la hay, es escasa.

Subangulosas. Esquinas y bordes ligeramente desgastados, las partículas conservan su forma primitiva; representan claras señales de abrasión.

Subredondeadas. Disminución de la superficie de las caras primitivas, con las esquinas y bordes caracterizados por cierta suavidad; ésto representa claras señales de abrasión.

Redondeadas. Las caras primitivas han sufrido gran desgaste; las esquinas y bordes han tomado formas curvas muy amplias.

Muy redondeadas. Toda la superficie está constituida por curvas suaves; no existen esquinas, bordes y caras primitivas.

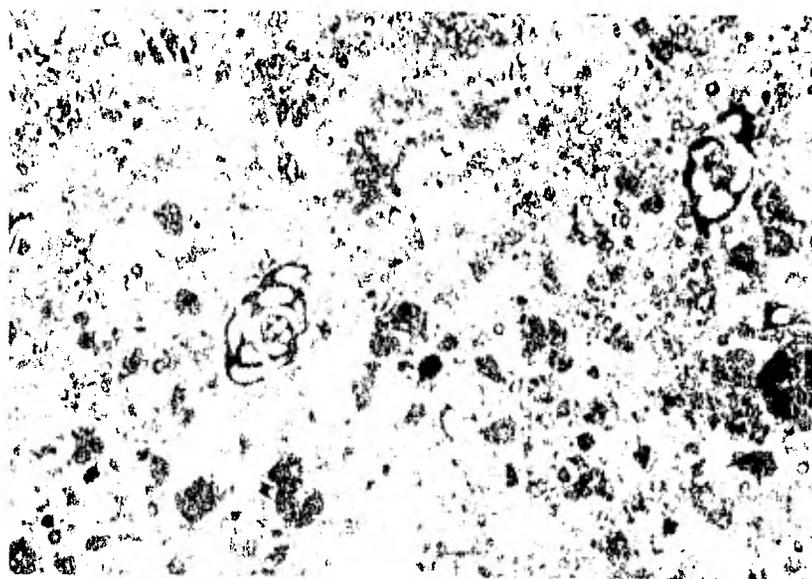


Foto No. 5 (100 X nícoles X)
Caliza fosilífera (intrabiomicrita)

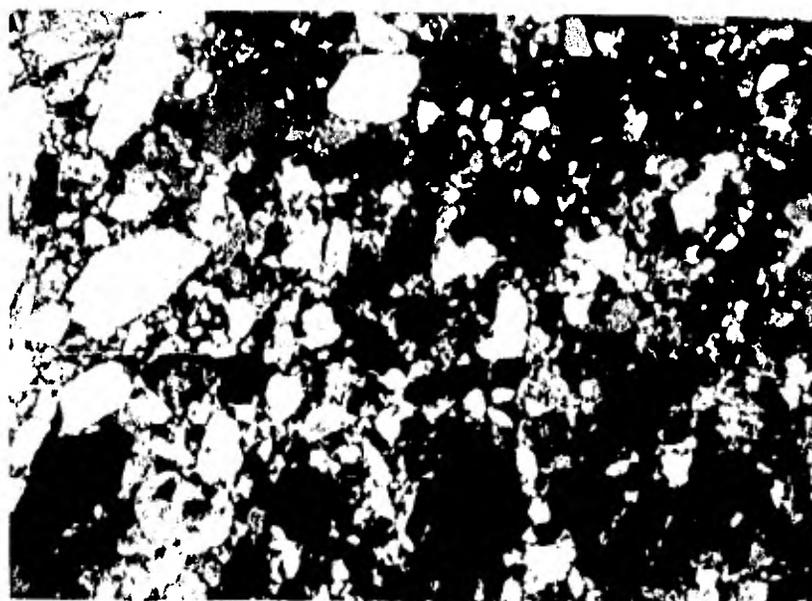


Foto No. 6 (75 X nícoles X)
textura epichlística en gravaca

TEXTURAS METAMORFICAS

El origen de estas texturas se puede entender más fácilmente si las consideramos en función de tres conceptos: cris-talización, deformación y tiempo.

El concepto de cristalización se refiere a la formación de nuevos minerales y al crecimiento o recristalización de -- los que previamente existían. Por lo general, se considera dicho concepto como un proceso positivo o de "construcción" de minerales debido a las condiciones dadas por un - determinado intervalo de presión y temperatura.

Por el contrario, a la deformación se le considera un proceso negativo o de "destrucción", porque los minerales son sometidos a un esfuerzo que modifica su forma, para lo - - cual se requieren altas condiciones de energía en forma de presión y temperatura.

El concepto de tiempo es muy importante debido a que la -- cristalización y la deformación son procesos en ocasiones muy lentos. Por tal razón, la interpretación de una textura metamórfica debe hacerse en términos de la cinética y - de los procesos que no llegaron a culminar, es decir, que se interrumpieron, así como en términos de la termodinámica y del arreglo necesario para alcanzar el equilibrio.

Algunas texturas pueden permanecer estables durante un determinado número de episodios metamórficos.

La textura característica o tipomórfica producida por el - metamorfismo, frecuentemente se encuentra en conjunto con una serie de rasgos que éste no desapareció y que pueden - corresponder a los de la roca original o al producto de - - los eventos que no formaron parte del mismo. Tales rasgos son:

1. Relictos. Rasgos originales, premetamórficos, que no fueron borrados por el metamorfismo.

2. Superimpuestos. Rasgos debidos a eventos que no formaron parte del metamorfismo propiamente.

En términos descriptivos existen tres tipos de texturas tipomórficas y son:

1. Granoblástico
2. Foliado
3. Cataclástico (o porfidoclástico)

La textura granoblástica está definida por granos xenoblásticos (o granos alotriomórficos que recrystalizaron debido al metamorfismo) formando un dibujo en mosaico equidimensional.

El término "foliado" significa que la roca tiene fisibilidad o una orientación dimensional preferente.

Si los minerales son de forma laminar o escamosa y están orientados paralela o subparalelamente, la textura es lepidoblástica; una disposición semejante a la anterior, pero con minerales prismáticos o fibrosos define a la textura nematoblástica.

El término cataclástico es de tipo genético y por lo general, se usa más que el término porfidoclástico que es de tipo descriptivo. También se le conoce como textura de mortero y se refiere a que fue triturada mecánicamente o que sufrió metamorfismo dinámico.

El término "cataclasis" se usa generalmente para indicar fragmentación mecánica sin recrystalización; no obstante semejante proceso es ideal, ya que en realidad es raro geológicamente; por ello la mayoría de las rocas aceptadas como cataclásticas presentan evidencias de recrystalización considerable en sus matrices de grano fino.

Antes de mencionar los tipos de rocas que presenta cualquiera de las texturas enumeradas anteriormente (granoblás

tica, foliada y cataclástica), será necesario definir los principales tipos de metamorfismo. En base a criterios de campo y de asociaciones, sin tomar en cuenta las causas y las condiciones de los fenómenos que aún no se conocen perfectamente. Existen tres tipos principales de metamorfismo:

1. Metamorfismo de contacto. Se presenta en "aureolas" - adyacentes a masas de rocas ígneas intrusivas.
2. Metamorfismo regional. Se desarrolla en áreas de cientos o miles de kilómetros cuadrados, generalmente sin relacionarse con intrusiones ígneas.
3. Metamorfismo de dislocación o cataclástico. Se limita a zonas de intensa deformación como fallas.

Existen otros tipos de metamorfismo, por lo general, menos frecuentes (Winkler, 1974), que pueden ser definidos en términos petrogenéticos, pues en este campo se dispone de criterios mineralógicos y texturales. Ellos son:

1. Pirometamorfismo. Se producen en los xenolitos de las coladas y diques de las rocas volcánicas. Dichos xenolitos al fundirse parcialmente ponen en evidencia la elevada temperatura del metamorfismo; de ahí su nombre.
2. Metamorfismo cataclástico. Se requiere al flujo plástico y ruptura de rocas, sin cristalización. Esto es relativo, debido a que, como se dijo anteriormente, si existe recristalización en la matriz.
3. Metamorfismo metasomático. Este metamorfismo también es conocido como metasomatismo, y se refiere a la transferencia de iones entre el magma y la roca encajonante.
4. Metamorfismo hidrotermal. Es producido por gases de soluciones calientes que se percolaron a través de fracturas, causando cambios mineralógicos en la roca.
5. Metamorfismo retrógrado o diafóresis. Se detecta

cuando una asociación mineral metamórfica de alta temperatura es convertida en una asociación estable a una temperatura más baja. Los criterios para reconocerlo son mineralógicos.

Una vez que se definieron los tipos principales de metamorfismo, se verán a continuación los tipos de roca más frecuentes, correspondientes a cada textura y tipo de metamorfismo.

Corneanas u Hornfels. Rocas no foliadas, de textura granoblástica, productos del metamorfismo de contacto entre un magma intrusivo y la roca encajonante. Si ésta es de composición calcárea, el producto resultante se denomina taquita o "skarn".

Buchitas. Rocas no foliadas, parcialmente fundidas, que se presentan como xenolitos en coladas de basalto. Son producto del pirometamorfismo.

Pizarras. Rocas foliadas de grano muy fino, con esquistosidad perfecta según ciertos planos. Son producto del metamorfismo regional de bajo grado de sedimentos clásticos de grano fino.

Filitas. Rocas de textura foliada de grano más grueso que el de las pizarras. Representa un grado mayor de metamorfismo regional.

Esquisto. Rocas de textura foliada muy esquistosas, de grano más grueso que las filitas y pizarras. El bandeo por segregación por lo general es prominente. Los esquistos figuran entre los productos más extendidos del metamorfismo regional.

Gneises. Rocas de grano grueso con esquistosidad mal definida. Mineralógicamente contienen cuarzo y feldespatos en buena cantidad. La escasez de micas es característica de estas rocas. Son producto de un metamorfismo regional de alto grado.

Granulitas (leptitas). Son rocas de grano uniforme, ricas en minerales como cuarzo, piroxenos, granate y feldespatos. La presencia de lentículas planas de cuarzo o feldespato - alineados originan en la roca una foliación típica. Estas rocas son producto de un metamorfismo regional de muy alto grado.

Milonitas. Son rocas bandeadas, muy coherentes, que resultan de la extremada granulación de rocas de grano grueso - sin reconstitución química apreciable. Los lentejones de la roca madre no destruida suelen conservarse incluidas en la pasta milonítica. Son producto de un metamorfismo de dislocación.

Cataclasitas. Son rocas con menos coherencia que las milonitas. Se puede decir que pasan a estas últimas cuando se desarrolla la estructura bandeada y disminuye el tamaño - del grano.

Filonitas. Rocas semejantes macroscópicamente a las filitas, pero su origen es por metamorfismo cataclástico de - otras rocas inicialmente de grano más grueso. Son muy características las películas sedosas de mica o clorita de - nueva cristalización, diseminadas sobre las superficies de esquistosidad.

Cuarcitas. Son rocas compuestas por cuarzo recristalizado, producto del metamorfismo de contacto o regional de - las areniscas cuarcíferas.

Mármoles. Rocas constituidas por calcita recristalizada - durante el metamorfismo de contacto o regional de rocas - compuestas por carbonato de calcio.

Anfibolitas. Rocas compuestas de hornblenda y plagioclasas, en donde la alineación de los prismas de hornblenda - puede definir una foliación menos clara que la de los esquistos. Son producto del metamorfismo regional de grano - medio a elevado.

Pizarra y esquistos moteados. Estas rocas se originan fuera de la periferia de muchas aureolas de contacto bien desarrolladas. Son rocas con un metamorfismo imperfecto, -- que presentan porfidoblastos de nuevos minerales, los cuales han cristalizado en una matriz que todavía retiene algo de la mineralogía y textura de la roca original.

Serpentinitas. Son rocas compuestas casi totalmente de minerales del grupo de la serpentina. Su origen aún no se ha determinado con precisión debido a que no se sabe hasta -- qué punto se trata de una roca ígnea o metamórfica.

Una hipótesis que parece válida es la referente a que las serpentinitas son rocas formadas por el metasomatismo (especialmente hidratación) de las peridotitas (Hyndman, 1972), las cuales pueden presentar ciertas cantidades de minerales de talco (esteatitización).

Esteatitas. Las esteatitas son rocas ricas en talco. Su origen es el resultado de la acción de soluciones diluidas calientes provenientes de partes más profundas de la corteza, es decir, se trata de una alteración hidrotermal. Si la esteatitización se presenta junto con la serpentinitización en la roca ultrabásica (peridotita) la más antigua es siempre la serpentinitización (Hess, 1933).

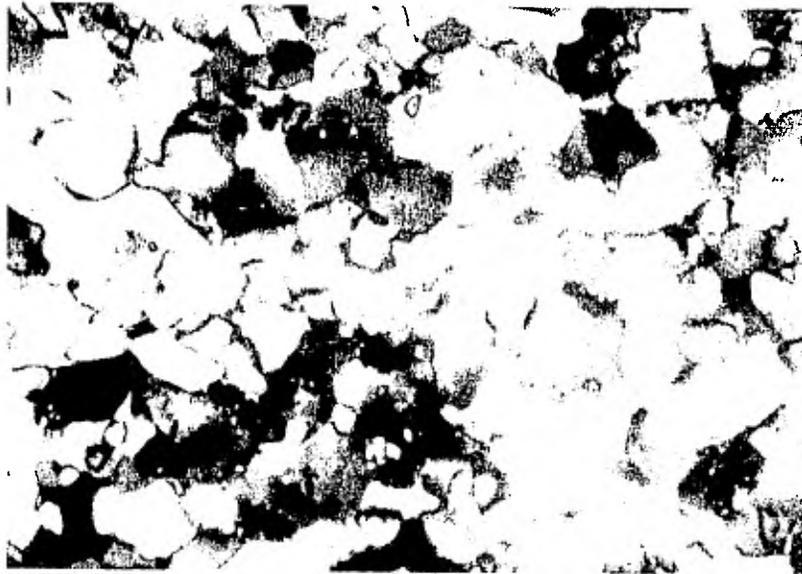


Foto No.7 (100 X nícoles X)
Textura granoblástica en corneana de cuarzo-albita



Foto No.8 (100 X nícoles X)
Textura foliada en esquistó de cuarzo y biotita

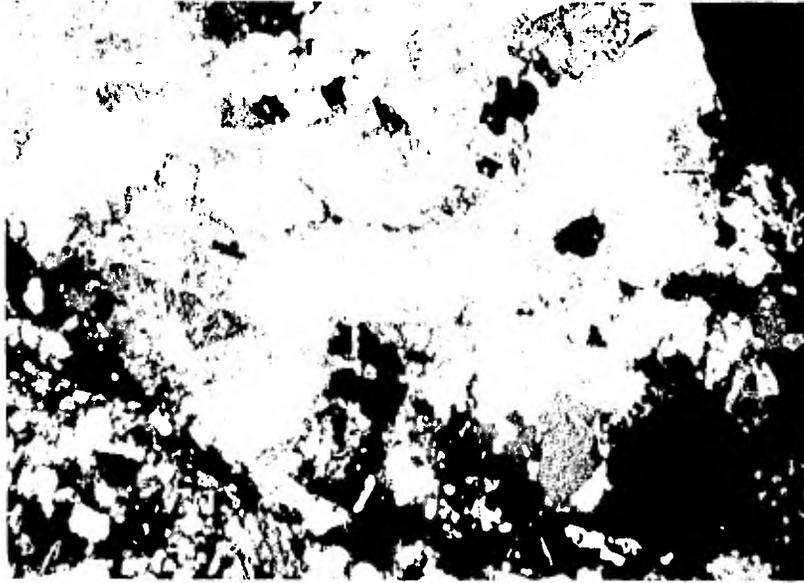


Foto No.9 (25 X nícoles X)

Fracturamiento de cristales de cuarzo debido a un dinamismo metamorfismo (P. H. Huites, Sin., granito cataclástico).

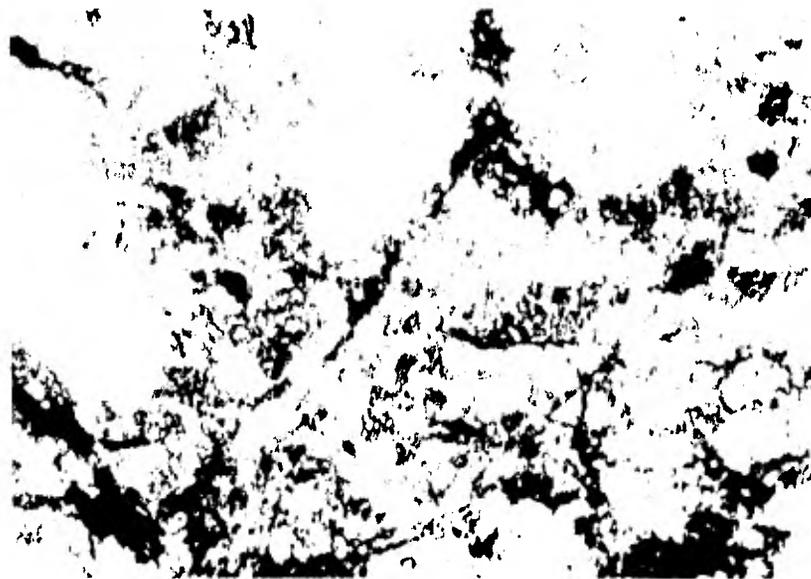


Foto No. 10 (25 X nícoles X)

Textura cataclástica en cataclasta (P.H. Huites, Sin.)

II.b Sistemas de Clasificación Petrográfica de Utilidad en Geotecnia

Los sistemas de clasificación petrográfica encuadran a las rocas dentro de grupos en donde las características químicas, mineralógicas y texturales son similares. Estos sistemas al clasificar una roca le asignan nombre, el cual envuelve todas las características antes mencionadas que servirán como antecedente para los posteriores estudios de la misma.

El mayor aprovechamiento de los sistemas de clasificación petrográfica en la ingeniería reside en que conducen al conocimiento "a priori" de los diferentes tipos de alteración que afectarían en mayor o menor grado a la roca intacta*, sometida a un cierto tratamiento mecánico o expuesta a un determinado tipo de agente agresivo. Esto a su vez permitirá estimar cualitativamente en qué medida se afectará la resistencia, deformabilidad y permeabilidad de las rocas con el tiempo.

A continuación se presentarán los sistemas de clasificación de mayor uso en la actualidad y su aplicación en los estudios de alterabilidad de las rocas, tomando en cuenta el tipo de agentes de intemperismo que actúan en una cierta localidad estudiada y la intensidad de los mismos.

Los sistemas de clasificación son tres: el primero con bases químicas, el segundo con bases químico-mineralógicas y el tercero con bases mineralógicas cuantitativas. Se hace la aclaración de que estas clasificaciones son para rocas ígneas; no se incluyen sistemas para rocas sedimentarias ni metamórficas.

* Aquella roca obtenida por muestreos de campo para ser ensayada en laboratorio y que está libre de los rasgos estructurales de gran escala presentes en los macizos rocosos, tales como zonas de falla; de carácter estructural, planos de estratificación con rellenos importantes, etc.

11.b.1 Sistema CIPW (1902)

Este sistema de clasificación se apoya en bases químicas; su nombre fue tomado de las iniciales de los apellidos de sus cuatro autores: Cross W. Ch., Iddings P.J., Pirsson - J.L. y Washington, S. H.; todos ellos petrógrafos estadounidenses.

El principio del sistema consiste en calcular una compoosición mineral hipotética denominada norma, a partir de los resultados del análisis químico realizado a la roca. Los minerales calculados se denominan minerales normatiuvos, los cuales se dividen en dos grupos: minerales ligeuros y claros, que constituyen el grupo sálico, y mineraules pesados y oscuros que forman el grupo fémico, los más importantes se muestran en la siguiente tabla:

TABLA I

| MINERAL | SIMBOLO | FORMULA | PESO MOLECULAR |
|--------------|---------|------------------------------------|----------------|
| GRUPO SALICO | | | |
| Cuarzo | q | SiO_2 | 60 |
| Corindon | C | Al_2O_3 | 102 |
| Ortoclasa | Or | $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ | 556 |
| Albita | Ab | $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_3$ | 524 |
| Anortita | An | $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ | 278 |
| Leucita | Lc | $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$ | 436 |
| Nefelina | ne | $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ | 284 |
| Kaliofilita | Kp | $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ | 316 |
| Zircón | z | $ZrO_2 \cdot SiO_2$ | 183 |

| MINERAL | SIMBOLO | FORMULA | PESO MOLECULAR |
|-------------------|---------|---|----------------|
| GRUPO FEMICO | | | |
| Py { Aegirina | Ag | $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$ | 462 |
| { Enstatita | en | $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ | 100 |
| { Ferrosilita | fs | $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ | 132 |
| { Hiperstena | hy | $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ | 172 |
| { Diopsida | di | $\text{CaO}(\text{MgFe})\text{O}_2 \cdot \text{SiO}_2$ | 288 |
| { Wollastonita | wo | $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | 116 |
| OL ↑ { Forsterita | fo | $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ | 140 |
| { Fayalita | fa | $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ | 204 |
| Magnetita | mt | $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ | 232 |
| Hematita | hm | Fe_2O_3 | 160 |
| Ilmenita | il | $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ | 152 |
| Titanita | tn | $\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ | 196 |
| Perovskita | pv | $\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2$ | 136 |
| Rutilo | ru | TiO_2 | 80 |
| Apatita | ap | $3(\text{3CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5) \cdot \text{CaF}_2$ | 1008 |
| Fluorita | fr | CaF_2 | 78 |
| Pirita | pr | FeS_2 | 120 |
| Calcita | cc | $\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$ | 100 |

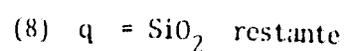
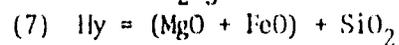
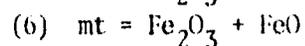
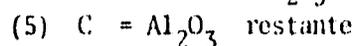
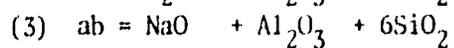
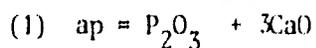
Las moléculas de cada uno de los minerales hipotéticos se denominan moléculas minerales estándar. El cálculo de cada mineral se realiza siguiendo un método riguroso que --preve todos los casos posibles sin tomar en cuenta ninguna iniciativa del petrógrafo.

A continuación, con el ejemplo de la siguiente tabla y si

guiendo los pasos indicados por los autores, se considera clarificar el procedimiento a seguir para la clasificación.

TABLA II
GRANITO DE SCHNEELOCH, MONTAÑAS HARZ, ALEMANIA
(Pag.93 del Johanssen (1938))

| OXIDO | % PESO | NUMERO MOLECU LAR | ap ⁽¹⁾ | or ⁽²⁾ | ab ⁽³⁾ | an ⁽⁴⁾ | c ⁽⁵⁾ | mt ⁽⁶⁾ | hy ⁽⁷⁾ | q ⁽⁸⁾ |
|--------------------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| SiO ₂ | 72.67 | 1.211 | | 0.306 | 0.300 | 0.036 | | | 0.021 | 0.488 |
| Al ₂ O ₃ | 13.44 | 0.132 | | 0.061 | 0.050 | 0.018 | 0.003 | | | |
| Fe ₂ O ₃ | 1.06 | 0.007 | | | | | | 0.007 | | |
| FeO | 1.56 | 0.022 | | | | | | 0.007 | 0.015 | |
| MnO | - | - | | | | | | | | |
| MgO | 0.23 | 0.006 | | | | | | | 0.006 | |
| CaO | 1.15 | 0.021 | 0.003 | | | 0.018 | | | | |
| Na ₂ O | 3.08 | 0.050 | | | 0.050 | | | | | |
| K ₂ O | 5.75 | 0.061 | | 0.061 | | | | | | |
| TiO ₂ | Tr | - | | | | | | | | |
| P ₂ O ₅ | 0.12 | 0.001 | 0.001 | | | | | | | |
| SO ₃ | 0.26 | 0.003 | | | | | | | | |
| H ₂ O | 0.88 | - | | | | | | | | |
| | 100.20 | | | | | | | | | |



$$\text{No. Mol.} = \frac{\% \text{ peso}}{\text{Peso mol}}$$

Una vez calculado cada mineral normativo a partir de la composición química real de la roca, dada en porcentaje, cada número molecular se convierte en porcentaje del peso molecular de cada molécula mineral, de acuerdo con los valores de la Tabla 11. Con ello se obtiene que:

$$\begin{array}{rcl}
 0.488 \text{ mol } q \times 60 & = & 29.28\% \text{ } q \\
 0.061 \text{ mol } or \times 556 & = & 33.92\% \text{ } or \\
 0.50 \text{ mol } ab \times 524 & = & 26.20\% \text{ } ab \\
 0.018 \text{ mol } an \times 278 & = & 5.00\% \text{ } an \\
 0.003 \text{ mol } c \times 102 & = & 0.31\% \text{ } c \\
 \hline
 & & 94.71\% \text{ de Sálidos} \\
 \\
 0.006 \text{ mol } en \times 199 & = & 0.60\% \\
 0.015 \text{ mol } fs \times 132 & = & 1.98\% \\
 \hline
 & & 2.58\% \text{ } hy \\
 \\
 0.007 \text{ mol } mt \times 232 & = & 1.62\% \text{ } mt \\
 0.001 \text{ mol } ap \times 1008 & = & 1.00\% \text{ } ap \\
 \hline
 & & 5.20\% \text{ de félicos}
 \end{array}$$

Como se puede observar, los porcentajes más altos corresponden primero para la ortoclasa, después para el cuarzo y la albita; una roca con estos porcentajes mineralógicos, dentro de la clasificación de Lauroix (1953), se denomina granito calcialcalino.

Una vez obtenidos los resultados anteriores, los autores de la norma agrupan las rocas de acuerdo con los parámetros p(clase), q (orden), e (rango) y s(subrango); para fines ingenieriles, los porcentajes obtenidos serán más útiles que los parámetros mencionados. El siguiente paso, después de obtener los porcentajes, es analizar las condiciones de intemperismo y los agentes agresivos a los que pudiese estar expuesta directamente la roca, para posteriormente determinar el posible grado de alteración que dicha roca pudiera presentar en un periodo de tiempo dado.

Si la roca del ejemplo visto anteriormente se encuentra bajo condiciones de intemperismo en las que haya retenido

ción de potasio y magnesio, su alto contenido de silico-aluminato de potasio (ortoclasa) reaccionará químicamente para producir básicamente illita y en menor cantidad montmorillonita; ellos son minerales de alteración del grupo de las arcillas y se caracterizan porque al absorber agua sufren expansiones.

Si por el contrario, la roca se encuentra en condiciones donde prevalece una lixiviación excesiva en condiciones ácidas, se formará caolinita, otro mineral del grupo de las arcillas, que se caracteriza por su estabilidad y por no sufrir expansiones importantes.

Si se calculara la norma a una roca cuyo contenido de férmicos fuera en lugar del 5.20% el 74.71% (a la inversa -- del ejemplo ya visto anteriormente), y tal roca se encuentra en condiciones de poca precipitación pluvial, el magnesio de los minerales férmicos permanecería en la zona de intemperismo y la arcilla producida en grandes cantidades, sería la montmorillonita. Si la precipitación es considerable al grado de efectuar una lixiviación completa de la roca, el magnesio es separado y el producto del intemperismo será la caolinita en cantidades moderadas, de acuerdo al magnesio retenido.

11.b.2 Sistema de Lacroix (1935)

La clasificación químico-mineralógica de Lacroix, está basada en el sistema C.I.P.W. En esta clasificación se distinguen dos grandes divisiones de acuerdo con el contenido relativo de sílice en las rocas.

División I. Rocas feldespáticas

Subdivisión 1. Rocas sobresaturadas
(con cuarzo primario abundante)

Subdivisión 2. Rocas saturadas
(sin cuarzo ni feldespatoides)

Subdivisión 3. Rocas subsaturadas
(con feldespatoides)

División II. Rocas feldespatoidicas

Cada uno de estos grupos se divide en familias según la naturaleza de los feldespatos o feldespatoides. Las consideraciones texturales se utilizan para saber si la roca es intrusiva, hipabisal o volcánica; en la siguiente tabla se presenta una modificación de la clasificación de Lacroix por L. Cepeda. (Tabla III)

TABLA III
CLASIFICACION QUIMICO-MINERALOGICA
DE ALFRED LACROIX MODIFICADA.

| DIVISIONES Y SUBDIVISIONES | | FAMILIAS Y SUBFAMILIAS | | TEXT. FANER | |
|---|---|---|---------------------|---------------------------------|---------------|
| ROCAS ESENCIALMENTE FELDESPATICAS | SOBRESATURADAS (CON CUARZO PRIMARIO) | ALCALINA (SOLO F. alka) | | GRANITO ALCA | |
| | | CALCO-ALCALINA (F. alka y Pla) | F alka > Pla | GRANITO CALCO-A | |
| | | | F alka ≈ Pla | CUARZOMONZONI | |
| | | | F alka < Pla | GRANODIORITA | |
| | | CALCO-SODICA (SOLO Pla) | OLIGOCLASA-ANDESINA | | TONALITA |
| | | | LABRDORITA-ANORTITA | | GABRO DE CUAF |
| | SATURADAS (SIN CUARZO NI FELDESPATOIDES) | ALCALINA (SOLO F. alka) | | SIENITA ALCA | |
| | | CALCO-ALCALINA (F. alka y Pla) | F alka > Pla | SIENITA CALCO-AL (PLAUBNITA) | |
| | | | F alka ≈ Pla | MONZONITA | |
| | | | F alka < Pla | MANGERITA | |
| | | CALCO-SODICA (SOLO Pla) | Sin Maficos | | ANORTOSITA |
| | | | CON MAFICAS | OLIGOCLASA-ANDESINA | DIORITA |
| | | | | LABRADORITA-ANORTITA | GABRO |
| | | ALCALINA Y CALCO-ALCALINA (F. alka con/Pla) sin | | SIENITA NEFELI | |
| | SUBSATURADAS (CON FELDESPATOIDES) | CALCO-SODICA (SOLO Pla) | OLIGOCLASA-ANDESINA | | ESSEXITA |
| LABRADORITA-ANORTITA | | | THERALITA | | |
| ROCAS ESENCIALMENTE FELDESPATODICAS | POTASICA | LEUCITA | | MISSOURITA | |
| | SODICA | NEFELINA | | IJOLITA | |
| ROCAS ULTRAMAFICAS U HOLOMELANOCRATICAS | > 50 % de SILICATO | PIROXENOS O ANFIBOLES | | PERKNITAS | |
| | < 50 % de SILICATOS | Fe, Mg, Ti, etc. | | PERIDOTITA MENAS IGNEA | |

II.b.3 Sistema de Streckeisen (1967)

El sistema de Streckeisen utiliza bases mineralógicas - - cuantitativas para asignarle nombre a cada tipo de roca. Cada nombre asignado queda comprendido en un intervalo de porcentajes mineralógicos representados en un doble triángulo de clasificación. Esta clasificación es muy importante en Geología porque establece los fundamentos para la estandarización de la nomenclatura de las rocas ígneas. Su utilidad en la ingeniería aplicada radica en que, al encuadrar a una roca dentro de grupos cuyos componentes mineralógicos se presentan en una determinada proporción, se puede conocer la mineralogía que asume el papel principal en el comportamiento mecánico de la roca en cuestión, lo que permitirá establecer comparaciones entre rocas de un mismo grupo.

La figura II.b.1 muestra el doble triángulo de clasificación para tal sistema; en los vértices de éste, aparecen los grupos minerales considerados como los más importantes, que son:

Q = Minerales del grupo de la sílice (cuarzo, tridimita, cristobalita)

A = Feldespatos alcalinos (ortoclasa, microclina, sanidina, etc.)

P = Plagioclasas (albita-anortita)

F = Feldespatoides (leucita-nefelina, etc.)

La clasificación considera solamente rocas con un contenido de minerales fémcicos (o máficos) menor de 90%. Las rocas que rebasan este porcentaje, se clasifican en base a los minerales oscuros predominantes.

De tal manera, las rocas con un porcentaje de máficos - -

< 90% se representan en el doble triángulo Q-A-P-F, en el cual $Q+A+P = 100$ ó $A+P+F = 100$. Las cantidades relativas de cuarzo, feldspatos y feldespatoïdes deberán ser calculadas únicamente a partir de los constituyentes mineralógicos claros.

CLASIFICACION Y NOMENCLATURA DE LAS ROCAS IGNEAS RECOMENDADA POR LA "INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES (IUGS), SUBCOMISION SOBRE SISTEMATICA DE LAS ROCAS IGNEAS

Director: Aberl L. Streckeisen

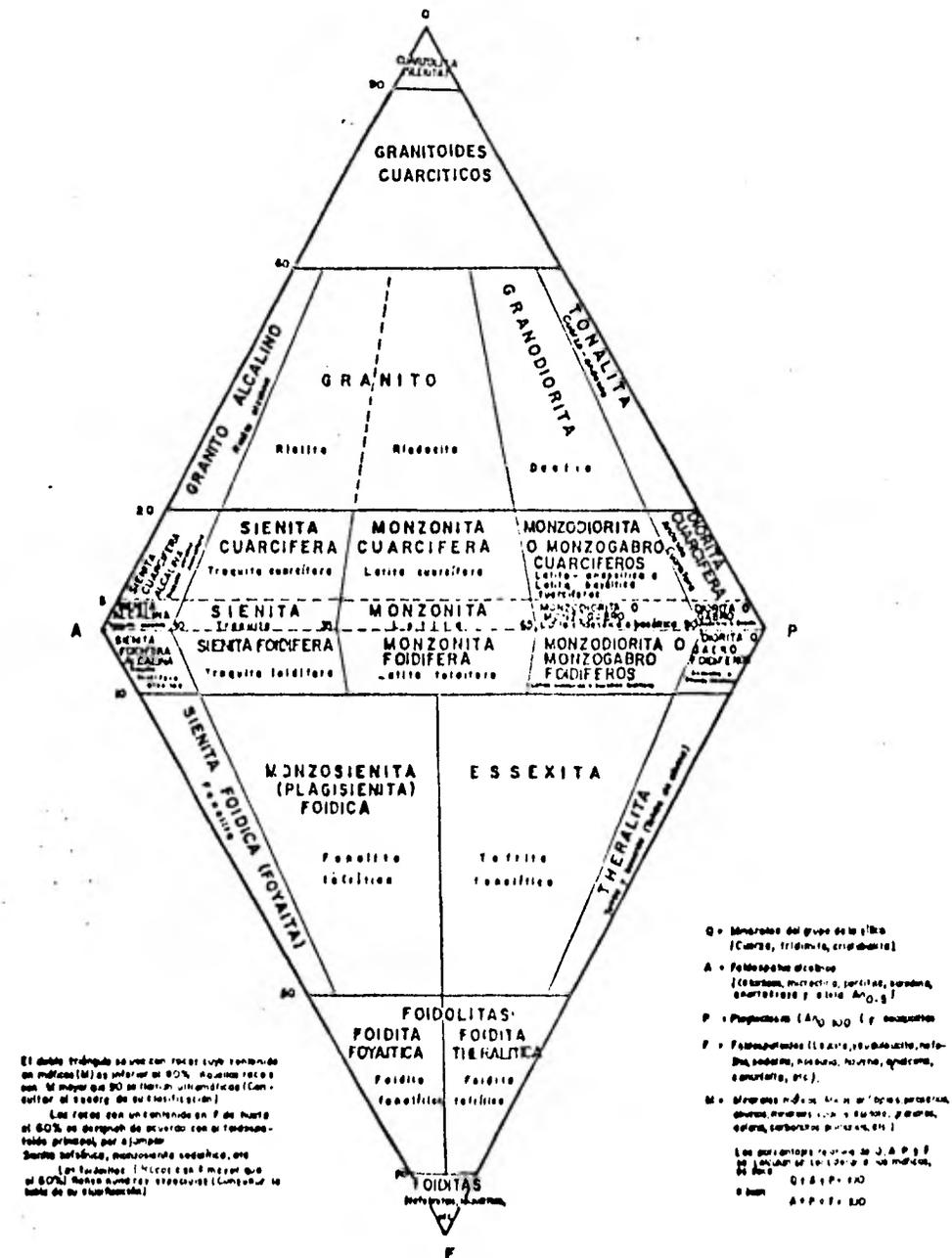
Publicado en "Geotimes", octubre de 1973.

Traducción: Leavigildo Cepeda Dávila

En mayúsculas: Rocas intrusivas

En minúsculas: Rocas efusivas.

Fig II. b. I



III. PROPIEDADES DE LAS ROCAS CONSIDERADAS EN LA GEOTECNIA

Hasta ahora sólo se ha descrito el método petrográfico -- utilizado para conocer el origen y la naturaleza de las rocas. Pero para que ello sea realmente aplicable a problemas prácticos de ingeniería es necesario relacionar el origen y naturaleza de las rocas con el comportamiento mecánico de las mismas, es decir, con su resistencia, deformabilidad y permeabilidad. Estos tres parámetros están gobernados en los macizos rocosos por las características físicas, químicas y mecánicas de la roca intacta, así como por el número y naturaleza de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso.

Las características físicas y químicas que rigen el mencionado comportamiento se determinan básicamente mediante un estudio petrográfico y las mecánicas a través de pruebas de laboratorio y de campo.

El número de discontinuidades se determina con métodos de exploración tanto directos (geología superficial) como semidirectos (sondeos y socavones) e indirectos (prospección geofísica y geoelectrica) y la naturaleza de las discontinuidades por una combinación de métodos incluidos la exploración, la petrografía y los ensayos de laboratorio.

La Petrografía permite conocer entre otras características la mineralogía, textura, fábrica, composición y arreglo de microfracturas presentes en los núcleos de roca intacta extraídos del macizo rocoso. Esta información, junto con la evaluación de otras propiedades tales como porosidad, relación de vacíos, peso volumétrico, contenido de agua, etc., forman en conjunto un grupo de propiedades índice que permiten encuadrar a las rocas dentro de grupos en los que las propiedades mecánicas son similares. Las propiedades índice son básicamente cualitativas y pueden

verse que la información obtenida a través de la Petrografía llega a ser muy importante en este aspecto ya que es la única forma de pasar de los parámetros cualitativos a los cuantitativos que pueden ser directamente aplicables al diseño racional de estructuras construidas por el hombre en los macizos rocosos utilizándolos en los modelos teóricos que sirven para predecir esfuerzos y deformaciones inducidos por las fuerzas naturales o artificiales -- aplicadas a los mencionados macizos.

En el presente capítulo se tratará todo lo anterior más ampliamente, al mismo tiempo que se expondrá el papel que desempeñan los criterios petrográficos dentro del campo de las propiedades índice de las rocas. Primeramente se hablará de la serie de determinaciones previas al estudio de las rocas en el laboratorio para posteriormente mencionar como se determinan en laboratorio las propiedades índice y mecánicas de la roca intacta y finalmente establecer las relaciones entre propiedades índice y mecánicas y cómo estas últimas servirán para la aplicación a problemas ingenieriles concretos.

III.a Determinaciones previas a un estudio en laboratorio

Esta serie de determinaciones deben realizarse después -- del sondeo exploratorio, en los núcleos extraídos y antes de cualquier ensaye de laboratorio debido a que proporcionan información relevante (complementaria a la obtenida en ensayes de laboratorio y en otros métodos de exploración) sobre las características físicas, químicas y estructurales de la roca intacta, así como de las discontinuidades del macizo rocoso que ayudarán a comprender mejor el comportamiento mecánico de las rocas. Debe aclararse que estas determinaciones se hacen en el campo, en el lugar de extracción de los núcleos, por lo que algunas de ellas son poco precisas y deben apoyarse posteriormente en métodos de mayor alcance (por ejemplo los métodos petrográficos).

En este levantamiento o estudio inicial deben considerarse los siguientes aspectos generales:

1.1 Realizar una clasificación litológica que incluya:

- Familia a la que pertenece la roca extraída
- Nombre genérico
- Características físicas
- Composición mineral
- Arreglo estructural.

Esta clasificación debe enriquecerse con un estudio petrográfico de acuerdo a los lineamientos establecidos en el capítulo anterior.

1.2 Considerar la presencia de discontinuidades registrando:

- a) Echado
- b) Separación entre fracturas

- c) Abertura de las fracturas
- d) Dirección del movimiento relativo de las caras de las fracturas (si lo hubo)
- e) Material de relleno
- f) Características de las superficies (curva, plana, lisa, etc.)

La separación entre fracturas se clasifica de la siguiente manera:

| | |
|---------------------------------|--------------|
| Fracturas muy cercanas | 0 a 5 cm |
| Fracturas medianamente cercanas | 5 a 30 " |
| Fracturas cercanas | 30 a 100 " |
| Fracturas separadas | 100 a 300 " |
| Fracturas muy separadas | Más de 300 " |

El material de relleno es el material que ocupa el espacio entre las caras de las fracturas. En algunos casos este material resulta ser de menor calidad mecánica que la roca intacta, lo cual da lugar a zonas débiles de baja resistencia al deslizamiento y gran deformabilidad, además de ser muy soluble, degradable y de no servir como cementante.

Las características del material de relleno pueden estudiarse con mayor detalle a partir de la petrografía y los métodos de laboratorio de mecánica de suelos y rocas para conocer la granulometría, plasticidad, deformabilidad, etc.

1.3 Porcentaje de Recuperación.

Se define como la relación entre la longitud recuperada y la longitud de avance de la perforación, expresada en por ciento y permite evaluar la calidad del sondeo.

$$\text{REC (\%)} = \frac{\text{Longitud recuperada}}{\text{Longitud de avance}} \times 100$$

1.4 Índice de calidad de la Roca (RQD)

Se define como la relación entre la suma de tramos mayores de 10 cm y la longitud de avance de la perforación, expresado en por ciento y es válido para núcleos de roca de diámetro NX (aproximadamente 3").

$$RQD (\%) = \frac{\sum \text{Tramos} > 10 \text{ cm}}{\text{Longitud de Avance}} \times 100$$

Este índice permite estimar la calidad mecánica de la roca intacta clasificándola de la siguiente forma:

| <u>RQD</u> | <u>CALIDAD DE LA ROCA</u> |
|------------|---------------------------|
| 0 - 25% | Muy pobre |
| 25 - 50% | Pobre |
| 50 - 75% | Aceptable |
| 75 - 90% | Buena |
| 90 - 100% | Excelente |

III.b Propiedades índice de las rocas

Entre las propiedades índice de mayor relevancia se cuentan la alterabilidad, porosidad, peso volumétrico contenido de agua y grado de saturación, entre otras.

La alterabilidad de las rocas es el potencial de las mismas para intemperizarse con el transcurso del tiempo. Esta propiedad es función de la mineralogía de las rocas, del grado de fisuramiento, de los agentes agresivos y del tratamiento mecánico al que estarán sometidas. Una manera de conocer la alterabilidad consiste en sumergir la muestra de roca en soluciones de sulfato de sodio o ácido sulfúrico y realizar ciclos de secado y saturación, observando cuidadosamente el proceso de degradación en los diversos ciclos. En algunos casos utilizando solamente agua se presenta gradualmente la degradación de las muestras sin necesidad de soluciones tan agresivas.

La porosidad de las rocas se debe a imperfecciones texturales y es el contenido de espacios vacíos en las mismas. La expresión para su cálculo se define como la relación entre el volumen de espacios vacíos y el volumen total de la roca.

Existen dos tipos de porosidad:

Porosidad absoluta

Porosidad de fisuración

En la porosidad absoluta los espacios vacíos no están intercomunicados, mientras que en la porosidad de fisuración están comunicados por medio de las fisuras. La importancia de la porosidad estriba en que un aumento grande de ella trae consigo un decremento en las propiedades mecánicas de las rocas.

El peso volumétrico es consecuencia del contenido mineralógico de una roca y se define como el peso de la misma por

unidad de volumen. Esta propiedad en conjunto con otras (porosidad, alteración, etc.) ayudarán a estimar la resistencia y deformabilidad de una roca respecto a otra.

El contenido de agua se define como la relación entre el peso del agua que contiene la roca y el peso de los sólidos de la misma expresado en por ciento. El contenido de agua influye tanto en la resistencia como en la deformación, ya que para dos rocas de un mismo tipo, la que contiene agua se comportará de manera diferente a la que se encuentra seca.

El grado de saturación se define como la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos de una roca. Aquí se considera qué volumen de agua influye en el comportamiento mecánico de la roca, lo cual permitirá establecer comparaciones entre diferentes tipos de rocas.

III.b.1 Los criterios petrográficos como propiedades índice

Para diferenciar a las rocas es necesario hacer referencia de su mineralogía, textura y fábrica. La fábrica se considera como una parte de la textura (Williams, Turner y Gilbert, 1955) y no es otra cosa más que las relaciones geométricas (forma y tamaño) entre los componentes de una roca, tratados en el capítulo II. De acuerdo con lo visto en el mencionado capítulo, parte de la clasificación petrográfica se define con base en estos criterios (mineralogía, textura y fábrica), pero la manera de enfocarlos no cubre las necesidades de la Geotecnia, sólo las de la Geología. Por ello, se deben analizar cada uno de estos criterios petrográficos desde un punto de vista geotécnico, estableciendo en qué medida contribuyen al comportamiento mecánico de la roca. Tal análisis se efectúa de la siguiente manera:

Mineralogía. Independientemente de su arreglo, la mineralogía de una roca debe tratarse desde el punto de vista - de la dureza, la solubilidad, la alterabilidad y las mi - croestructuras.

La dureza de los minerales se relaciona con la escala de Mohs; la resistencia de los mismos ante fuerzas estáticas también va de acuerdo con esta escala. Es muy importante establecer hasta qué punto la resistencia de una roca es función de la dureza de sus componentes minerales y/o del arreglo entre ellos (textura y fábrica); por ejemplo, si se tuvieran dos rocas (caso hipotético), con una textura igual pero diferente mineralogía, la resistencia de cada una de ellas dependerá exclusivamente de la dureza de sus componentes minerales. Una roca cuyos componentes minera les son muy solubles perderá calidad mecánica con el trans curso del tiempo. Algo semejante ocurrirá con la altera bilidad, es decir con el potencial de la roca a alterarse con el tiempo; los minerales que se alteran negativamente (se dice negativamente porque como se verá más adelante, - existen también alteraciones positivas), con facilidad, - perderán calidad mecánica.

Textura. La textura es el arreglo de los componentes mi - neralógicos de una roca. Incluye las relaciones gométri - cas y tamaño de los granos; frecuentemente se le denomina fábrica al conjunto de estas dos características, concep - to que no todos los autores manejan.

La textura afecta a las propiedades mecánicas, permeabili - dad, resistencia y deformabilidad, por ello en el estudio de laminillas de roca al microscopio será necesario consi - derar detalladamente las imperfecciones en la textura.

Entre las imperfecciones texturales más relevantes se en - cuentran: el fisuramiento, las microestructuras y los lí - mites de granos; también son de consideración los vacíos, las inclusiones y las partículas poco resistentes.

En algunos tipos de rocas el arreglo mineralógico se encuentra soportado por una matriz o por un cementante químico. Para este caso la resistencia de la roca dependerá, principalmente, de la resistencia de la matriz, así como del área de contacto entre los minerales. Para las rocas que carezcan de matriz o cementante químico, su resistencia dependerá principalmente del tamaño del grano, las relaciones intergranulares e intragranulares de sus componentes mineralógicos y de la dureza de ellos.

Las relaciones intergranulares en rocas con matriz o cementante hacen referencia al desplazamiento intergranular. Tal desplazamiento es característico de las rocas sedimentarias, cuyo cemento es menos resistente que sus granos. En estos casos, al deformarse la roca, sus granos no se deforman, sino que se desplazan unos respecto a los otros. Los desplazamientos transcurren en superficies que tal vez son más próximos a los planos de los esfuerzos tangenciales máximos. Sin embargo estas superficies, al adaptarse a los límites entre los granos, se desvían de la dirección ideal. En caso de rocas de granulación gruesa (p.e. conglomerados), semejantes desviaciones pueden ser considerables. Durante el desplazamiento intergranular unos granos resbalan sobre otros y giran, sobre todo si son redondos. Los granos planos giran tratando de ocupar como límite una posición de estabilidad máxima, que se alcanza cuando su largo ocupa una posición paralela a la superficie de resbalamiento.

Las relaciones intragranulares, para el mismo tipo de rocas mencionado, se refieren al desplazamiento intragranular. Tal desplazamiento tiene lugar en las rocas en las que la resistencia del cemento no es inferior que la de los granos o en las rocas que representan en sí agregados compactos de cristales que tienen propiedades más o menos iguales. Si estos últimos están distribuidos desordenadamente, sin orientación predominante, la deformación en el

interior de los cristales transcurre mediante los movimientos de las superficies de desplazamiento que, estáticamente, son más próximas a las de los esfuerzos tangenciales máximos. Si por el contrario, en la disposición de los cristales existe orientación, los desplazamientos (traslaciones) se originan por direcciones que dependen de las direcciones de los esfuerzos tangenciales máximos y del desplazamiento más fácil, que está determinado por la orientación de los minerales. En todos los casos la estructura interna de los minerales influye en la deformación.

En algunos de ellos el resbalamiento intragranular se sustituye por la trituración de los granos, después de lo cual tiene lugar la redistribución de los granos pequeños que surgieron igual que durante el desplazamiento intergranular.

Microestructuras. Como consecuencia de la deformación, se originan en el interior de los minerales un conjunto de evidencias ópticas que caracterizan la microestructura de la roca deformada. Para el caso de las rocas cuarcíticas, destacan las siguientes evidencias (Rodríguez A-1977).

-Crecimiento secundario de cuarzo en los bordes de los granos. Se trata de cuarzo que crece en continuidad óptica con los granos detríticos de las rocas. Los bordes de estos últimos, vienen marcados por las líneas de impurezas.

-Disolución de los límites de grano. Son granos detríticos, a veces con crecimiento secundario de cuarzo, que se penetran entre sí faltando material en su límite común. Se ha interpretado esta microestructura como un proceso de difusión, asistido por fluidos en una roca sometida a esfuerzos (disolución por presión).

-Extinción Ondulante. Está relacionada con la multiplicación y movimiento de las dislocaciones, que se originan en

los primeros momentos de la deformación; debido a ésto se produce un aumento de la densidad de las dislocaciones individuales en los granos, apareciendo más dislocaciones de un signo que de otro, y dando lugar a una flexión de la red cristalina, lo cual da como resultado la extinción ondulante.

-Bandas de deformación. Son regiones estrechas en las que se concentra la deformación, originándose en muchos casos por paredes de dislocaciones orientadas paralelamente.

-Laminillas. El aspecto óptico que presentan es el de líneas subparalelas o bandas muy estrechas con la misma disposición. Existen varios tipos siendo en algunos casos -- burbujas almeadas (laminillas Bohn). Existen varias interpretaciones; siendo las principales las que consideran a estas microestructuras como zonas de deformación con una alta densidad de dislocaciones (bandas de deformación muy estrechas) o como planos de deslizamiento.

-Alargamiento de los granos bajo el efecto de la deformación. Esta microestructura es la característica fundamental de los esquistos. Las interpretaciones sobre su origen pueden ser muy variadas.

-Subgranos. A partir de un cristal primitivo y a medida que la deformación aumenta, las dislocaciones se agrupan en algunos puntos del mismo, formando paredes que limitan áreas prácticamente indeformadas y ligeramente desorientadas entre sí. De este modo, a partir de un grano pueden originarse varios subgranos de menor tamaño, situados en sus bordes o en las zonas en las que existía mayor deformación, o bien sustituyendo a todo el cristal.

-Nuevos granos. Se originan a partir de un antiguo grano, se presentan como granos con límites bien definidos y fren

cuentemente poligonales. Aparecen exentos de dislocaciones y a menudo se sitúan en los límites lobulados de los antiguos granos. Esta microestructura ha sido considerada clásicamente como una evidencia de recristalización de la roca.



Foto No.11 (100 X nícoles X)

Disolución (por presión) de los límites de granos detríticos con crecimiento secundario parcial en metagravaca --
(P. H. Peñitas, Chis., banco de enrocamiento C. Amacoite)



Foto No.12 (100 X nícoles X)

Extinción ondulante en cuarzo deformado (esp. de cuarzo ítero).

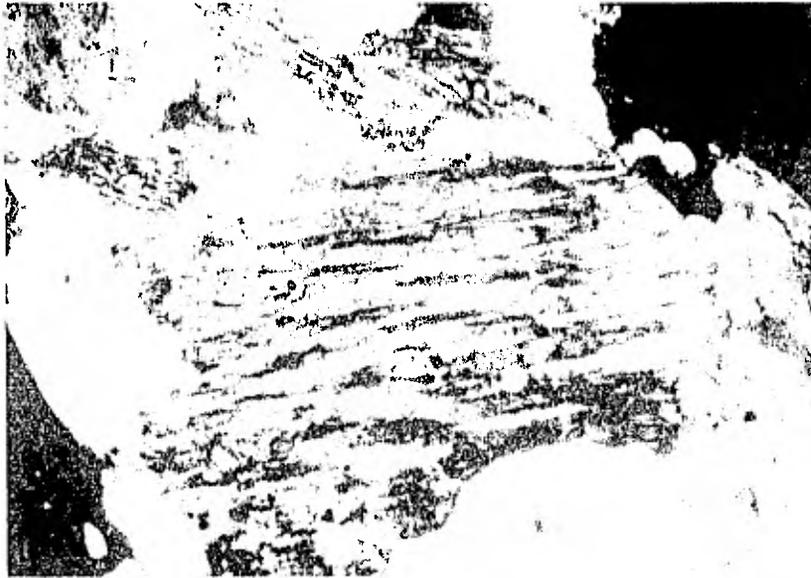


Foto No.13 (100 X nícoles X)

Laminillas en microzonas de deformación asistidas por la introducción de fluidos

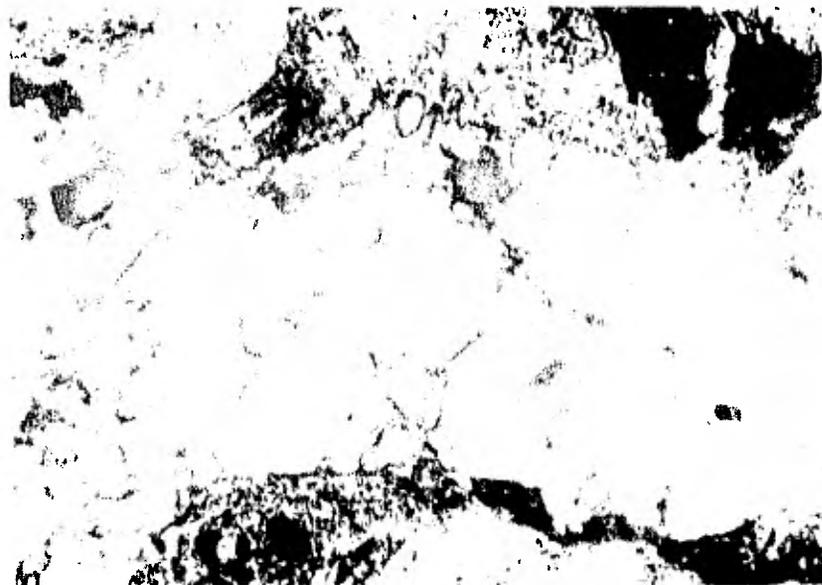


Foto No.14 (100 X nícoles X)

Deformación, (alargamiento) fracturamiento y recristalización sinérgica al cizallamiento de un cristal de cuarzo en roca cataclástica (P.H. Huiter, 5m., granito cataclástico).

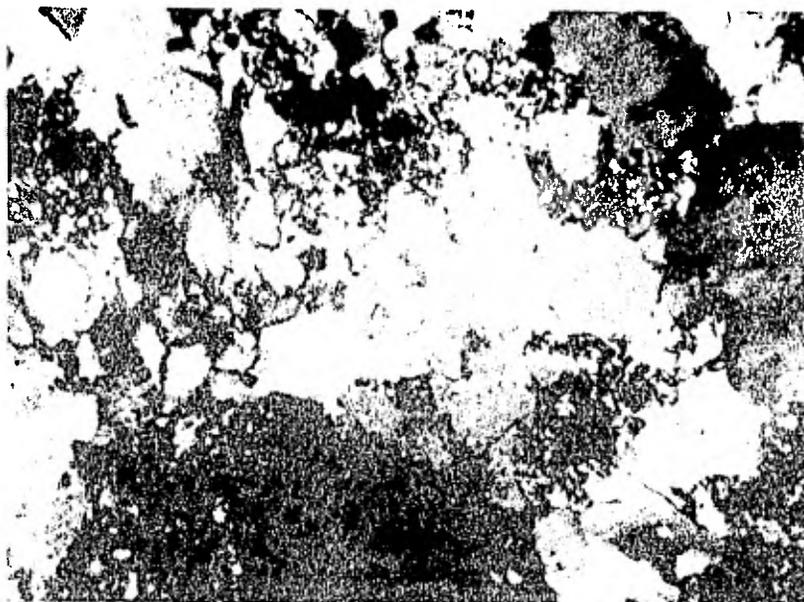
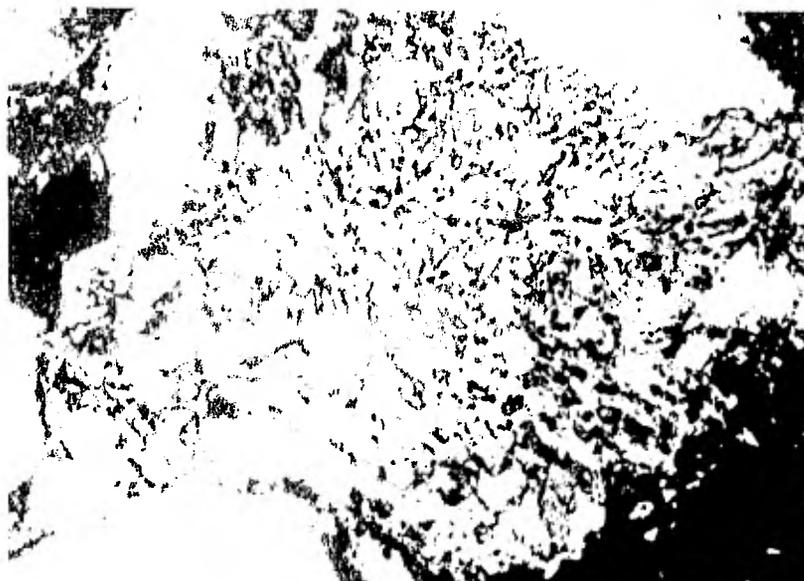


Foto No.15 (25 X nícoles X)

Recristalización de cuarzo (sub-granos) en los bordes de fragmentos preexistentes debido a deformaciones en meta-grauvaca (P.H. Peñitas, Chis., Banco de enrocamiento C. Anacoite).



Crecimiento o recristalización de nuevos granos a partir de otros más antiguos debido a deformaciones en cataclástica (P.H. Huixtla, Sin., granito cataclástico).

El índice de calidad petrográfico

El índice de calidad petrográfico juega un papel importante en la Geotecnia, ya que determina el grado de alteración de las rocas y su variación en el macizo rocoso.

En 1971 Aires y Barros le llaman al índice petrográfico, índice de calidad micropetrográfico, debido a que su determinación es en base a la descripción microscópica (ver Capítulo II.a). Tales autores expresan su definición de la siguiente forma:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n X_i (\%) }{\sum_{j=1}^m Y_j (\%) }$$

donde los "n" valores de X_i constituyen el porcentaje de caracteres que contribuyen de manera favorable en el comportamiento mecánico de la roca; los "m" valores de Y_j representan los porcentajes de minerales alterados, microfisuras, espacios vacíos, microestructuras, partículas poco resistentes, así como todas las imperfecciones texturales que contribuyen de manera desfavorable en el comportamiento mecánico de las rocas definido como ya se dijo antes por la permeabilidad, resistencia y deformabilidad de las mismas. Es importante señalar que el índice petrográfico se puede ligar con el módulo de elasticidad "E" que cuantifica la deformabilidad de las rocas (suponiendo un comportamiento elástico de las mismas) en base a la expresión

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

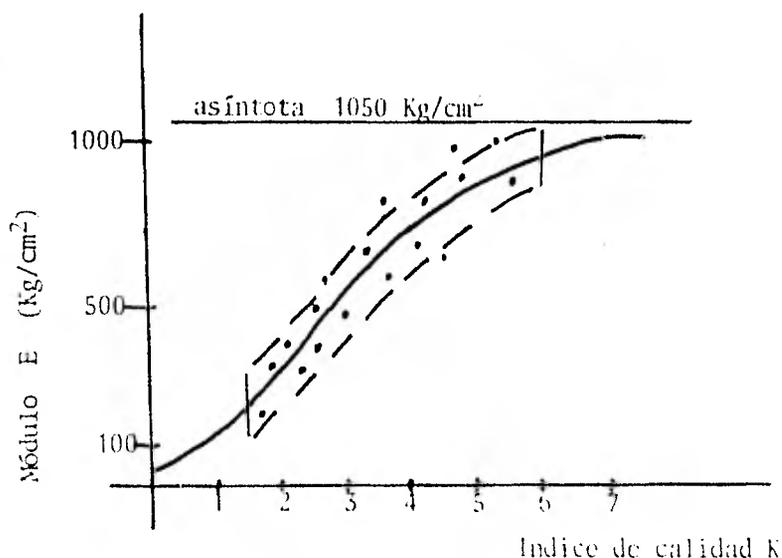
en donde:

E = Módulo

σ = Esfuerzo aplicado

ϵ = Deformación unitaria

Una vez que se ha relacionado el índice de calidad de una roca con su módulo de elasticidad, será posible agruparla junto con otras rocas que presenten el mismo índice. Si por ejemplo se va a excavar un túnel o a construir una presa, esta información representará un antecedente muy importante sobre la calidad de la roca en diversos sitios del macizo rocoso en estudio, por los que pasará el túnel o en los que se alojarán las diferentes estructuras de la presa. Aires y Barros hicieron análisis y obtuvieron los resultados que se representan en la siguiente gráfica.



El grado de alteración medido con el índice petrográfico, al igual que la alterabilidad, la porosidad y el peso volumétrico, son propiedades índice de gran relevancia que tienen relación con la composición mineralógica y la textura de las rocas. Al hablar de la alteración de estas últimas en Geotecnia, debe tomarse en cuenta que existen alteraciones que mejoran la calidad mecánica de las rocas y otras que perjudican dicha calidad. Para ello, en el presente trabajo se establece un Signo de Alteración. Las altera-

ciones positivas (p.e. turmalinización y silicificación)-- mejoran la calidad mecánica de las rocas, mientras que las alteraciones negativas (p.e. sericitización y argilitización en general), perjudican dicha calidad; el índice de calidad petrográfico nos determina la medida en que una alteración perjudica o mejora la calidad mecánica de la roca.

III.c Propiedades Mecánicas de las Rocas

Son las propiedades directamente aplicables a la solución de un problema práctico, es decir, proporcionan valores -- cuantitativos que pueden ser introducidos en los modelos -- teóricos utilizados para predecir esfuerzos y deformaciones en la roca, estos últimos inducidos por la fuerzas naturales o artificiales impuestas a los macizos rocosos. -- Las tres propiedades mecánicas fundamentales que a continuación se enumeran son:

1. Resistencia
2. Deformabilidad
3. Permeabilidad

1. Resistencia. En un sentido general, se entiende por -- resistencia a toda oposición que presente la roca intacta -- ante el efecto, de los diferentes tipos de esfuerzos, en -- tendiéndose por esfuerzos la relación entre la fuerza y su -- área de aplicación. Existen diversos tipos de resistencia que se pueden evaluar ya sea en pruebas de campo o de laboratorio. A las primeras se les considera como las más representativas, ya que se realizan "in situ" y sobre un volumen mucho más grande de roca, lo que permite abarcar un número mayor de discontinuidades en la misma.

Las pruebas de resistencia más importantes que se llevan a cabo en el laboratorio y que tratan de reproducir las condiciones de esfuerzos a los que va a estar sujeto el macizo rocoso son las de:

- a) Resistencia a la compresión simple
- b) Resistencia en prueba triaxial
- c) Resistencia al esfuerzo cortante

d) Resistencia a la tensión

e) Resistencia a la flexión

a) Prueba de compresión simple. Este ensaye se hace sin confinamiento de la muestra aplicando sólo presión normal a ella por medio de una prensa hidráulica. La importancia del ensaye radica en que proporciona el valor de uno de los parámetros de mayor uso en los modelos teóricos -- utilizados para la predicción de esfuerzos y deformaciones como lo es el valor de la resistencia a la compresión simple (R_c).

b) La prueba triaxial se realiza aplicando presión normal y confinante. Para ello, se utiliza una cámara (en la que se coloca la probeta cilíndrica) denominada cámara triaxial, en la que es posible establecer presiones de -- confinamiento variables. El intervalo usual de presiones confinantes usado en mecánica de rocas es de 0 a 500 kg/cm^2 .

Esta prueba es muy importante debido a que permite establecer la ley de resistencia de la roca en estudio por medio de la expresión:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

en donde:

τ = Esfuerzo tangencial

σ = Esfuerzo normal

ϕ = Angulo de fricción

c = Cohesión

La cohesión se define como el valor de τ cuando $\sigma = 0$ y es posible conocerla a partir del cálculo de la resistencia a la compresión simple (R_c) por medio de la expresión:

$$c = \frac{1}{4} R_c$$

en donde:

c = Cohesión

R_c = Resistencia a la compresión simple.

Existen una serie de factores que controlan los resultados de las pruebas de compresión simple y triaxiales obtenidos en laboratorio. Tales factores pueden dividirse en internos y externos. Los más importantes del primer grupo son: la mineralogía, el tamaño de los granos, la textura, la porosidad y la anisotropía. Entre los más importantes del segundo grupo están la geometría del espécimen, el efecto del agua y la velocidad de carga. La geometría del espécimen se refiere a la forma, tamaño y relación de esbeltez. La forma generalmente es cilíndrica para pruebas de compresión simple y triaxiales. La relación de esbeltez es la relación entre la altura del espécimen y su diámetro (h/d).

El tamaño o efecto de escala consiste en que para una misma h/d y distinto tamaño, la resistencia a la compresión simple de la roca disminuye conforme aumenta el volumen de la muestra. Esto último se debe a que al aumentar el volumen de la muestra, se está envolviendo un número mayor de discontinuidades.

Partiendo del fenómeno anterior, Weibull (s.f.), determinó en base a análisis de carácter estadístico, un factor de escala utilizando probetas cilíndricas de 10 y 60 milímetros de diámetro (\emptyset) con la misma relación de esbeltez, obteniendo por medio de ello la siguiente expresión:

$$\text{factor de escala} = \frac{\bar{R}_c \emptyset 10}{\bar{R}_c \emptyset 60} = \left(\frac{V \emptyset 10}{V \emptyset 60} \right)^{-\frac{1}{m}}$$

en donde:

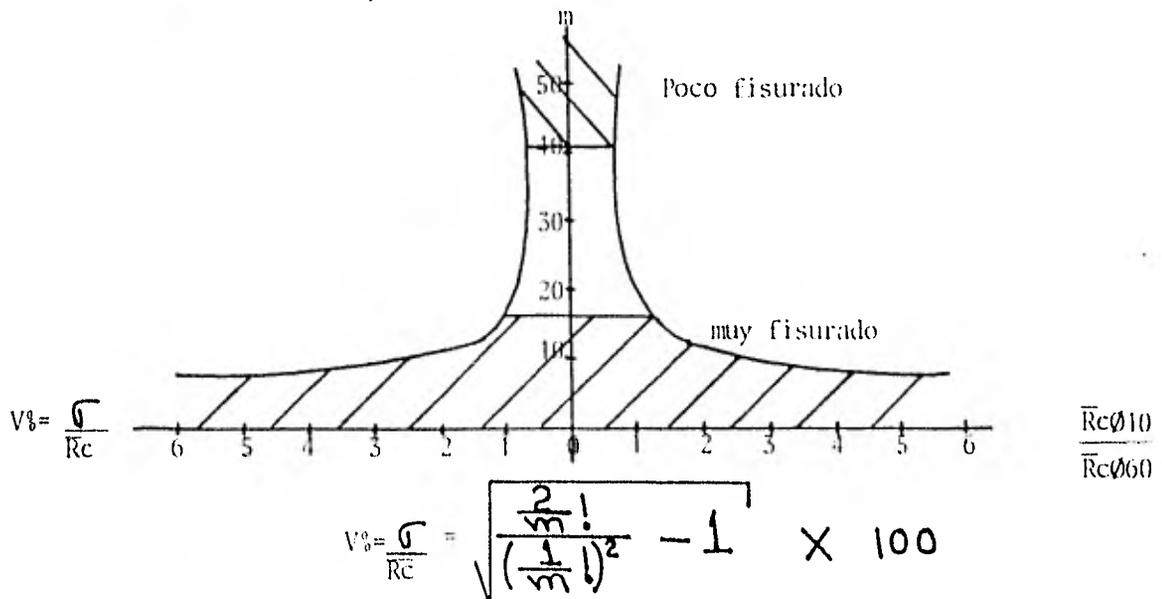
$\bar{R}_c \emptyset 10$ = Valor medio de la resistencia a la compresión simple de muestras con $\emptyset = 10$ mm

$\overline{Rc}\phi 60$ = Valor medio de la resistencia a la compresión simple de muestras con $\phi = 60$ mm

$V\phi 10$ = $\frac{\sigma}{\overline{Rc}\phi 10}$ = Coeficiente de variación para muestras con $\phi = 10$ mm

$V\phi 60$ = $\frac{\sigma}{\overline{Rc}\phi 60}$ = Coeficiente de variación para muestras de $\phi = 60$ mm

$\frac{1}{m}$ = Relación dependiente del fisuramiento. Si m disminuye el fisuramiento aumenta y viceversa.

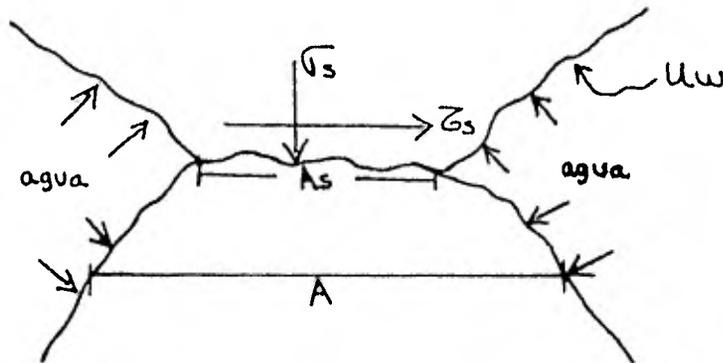


en donde: σ = desviación estandar

Con esta gráfica se puede observar que a mayor factor de escala mayor coeficiente de variación, por lo tanto, mayor dispersión y mayor fisuramiento al disminuir el valor de "m".

De todo lo anterior se deduce que si se tiene un factor de escala muy grande, se puede predecir un alto grado de deformación en la roca debido a su alto contenido de discontinuidades.

Efecto del agua. Al analizar las fuerzas que actúan en el contacto entre dos partículas minerales, se observa lo siguiente:



donde:

σ_s = Esfuerzo normal

τ_s = Esfuerzo tangencial

u_w = Esfuerzo hidrostático

A_s = Área de contacto

A = Área total

$A_w = A - A_s$ = Área ocupada por el agua

$\bar{\sigma} = \tau_s A_s$ = Esfuerzo tangencial en el área de contacto

Por equilibrio de fuerzas:

$$P = \sigma_s A_s + u_w (A - A_s)$$

dividiendo entre el área

$$\frac{P}{A} = \sigma_s \frac{A_s}{A} + u_w \frac{(A - A_s)}{A}$$

También $\frac{\bar{\sigma}}{A} = \tau_s = \tau_s \frac{A_s}{A}$

Si se hace $\frac{A_s}{A} = a$

$$\bar{\sigma} = \sigma_s a + u_w (1 - a)$$

El esfuerzo entre los granos es $\bar{\sigma} = \sigma - u_w$

el esfuerzo total es $\sigma = \bar{\sigma} + u_w$

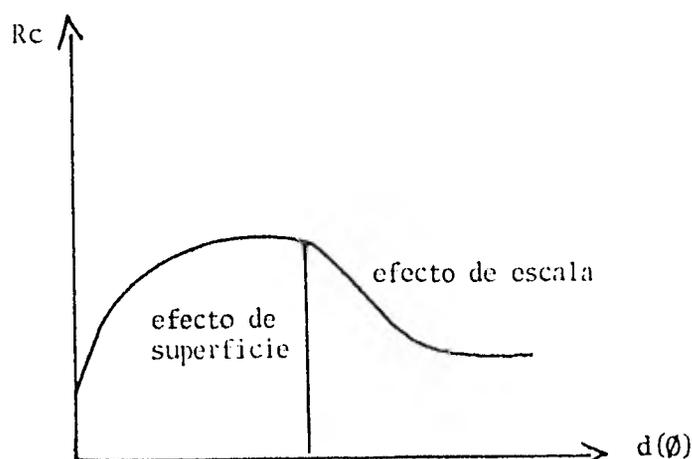
y el esfuerzo tangencial en el contacto es

$$\tau_s = c + \sigma_s \tan \phi$$

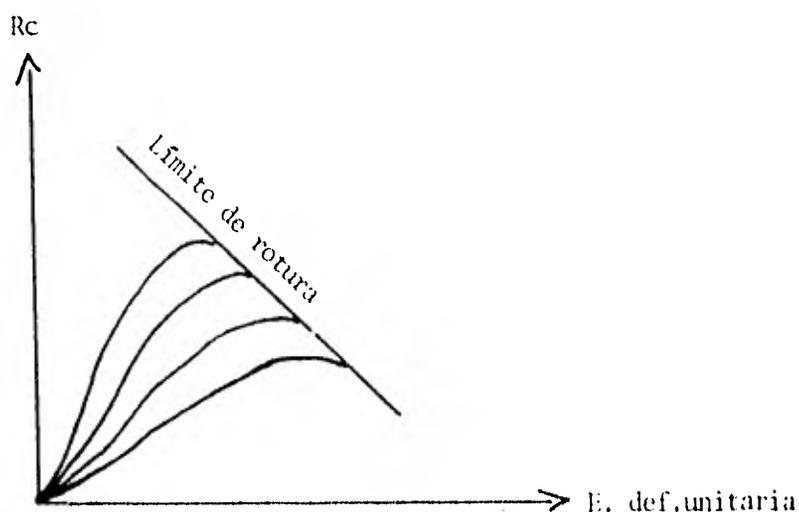
donde c = cohesión

Efecto de Superficie. Se define como la relación entre el área alterada y el área intacta de la roca. Si se hace una gráfica $R_c - d(\phi)$, se tendrá un diámetro $d(\phi)$ [fmi-

te para el efecto de superficie, a partir del cual el efecto de escala será el más importante.



Velocidad de carga. La velocidad de carga es un factor importante en la deformación. Si se aplica la carga en un tiempo corto, la onda generada se pierde y el material deformado recupera su forma; pero si se aplica la carga durante un tiempo infinito el material se deformará sin recuperar su forma original. La siguiente gráfica ilustra lo anterior:



c) Prueba de resistencia al esfuerzo cortante. Esta resistencia es la que presentan las rocas ante esfuerzos tangenciales. En el laboratorio se realizan los tipos de ensayos que a continuación se enumeran:

- C.1 Corte directo
- C.2 Corte simple
- C.3 Corte doble
- C.4 Punzo cortante

En general, todas estas pruebas se hacen para reproducir condiciones semejantes a las originadas en los macizos rocosos debido a esfuerzos cortantes, sólo que cada prueba representa un caso especial. Por ejemplo, la prueba de corte directo trata de reproducir condiciones de esfuerzos debidos al apoyo lateral de la estructura de una presa, por decir algo. Las pruebas de corte simple y corte doble reproducen condiciones semejantes a las impuestas por el apoyo de soportes para puentes, túneles, etc. en el macizo rocoso.

d) Resistencia a la tensión. Entre las pruebas de tensión más comunes realizadas en el laboratorio, destacan las pruebas de tensión indirecta (prueba brasileña) y puntual. La prueba brasileña consiste en aplicar presión normal a la muestra colocada en posición horizontal. Esto provocará que la muestra falle por tensión indirecta. La prueba puntual se lleva a cabo aplicando una carga, entre dos puntas, a la muestra de la roca colocada en posición horizontal; el afallamiento será por tensión indirecta.

La resistencia de una roca a la tensión puede ser calculada (al igual que la cohesión) a partir de la resistencia a la compresión simple (R_c) mediante la expresión:

$$R_t = \frac{1}{10} R_c$$

en donde:

Rt = Resistencia a la tensión

Rc = Resistencia a la compresión simple

e) Resistencia a la flexión. La prueba de flexión se -- realiza colocando la muestra en posición horizontal sobre un dispositivo que presenta dos barras transversales a la misma; en la parte central se aplica un esfuerzo, por me-- dio de otra barra transversal a la muestra. La prueba de flexión reproduce condiciones semejantes a las existentes en los techos de los túneles excavados sobre roca estrati-- ficada. En este caso la mencionada roca tenderá a flexio-- narse debido al peso de la columna de roca que la cubre.

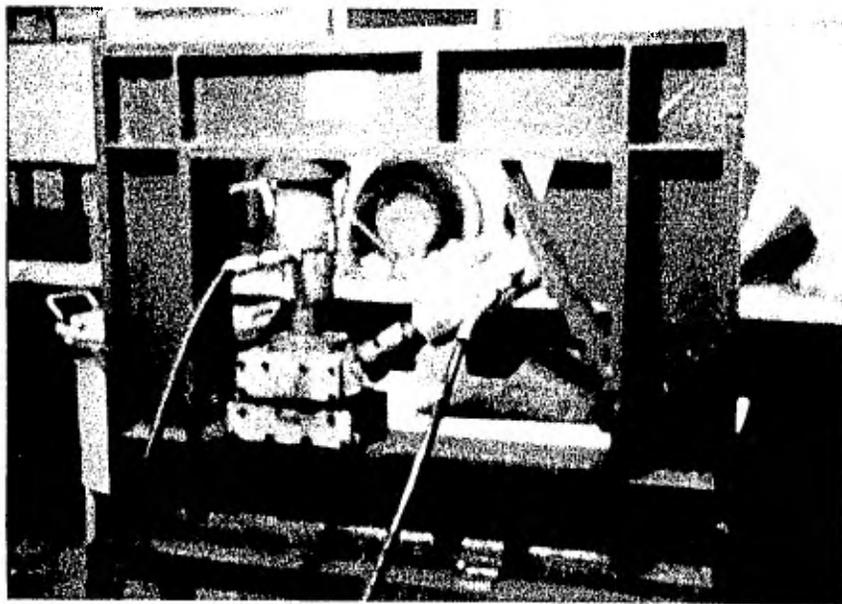


Foto No. 17
Prueba de corte directo en laboratorio

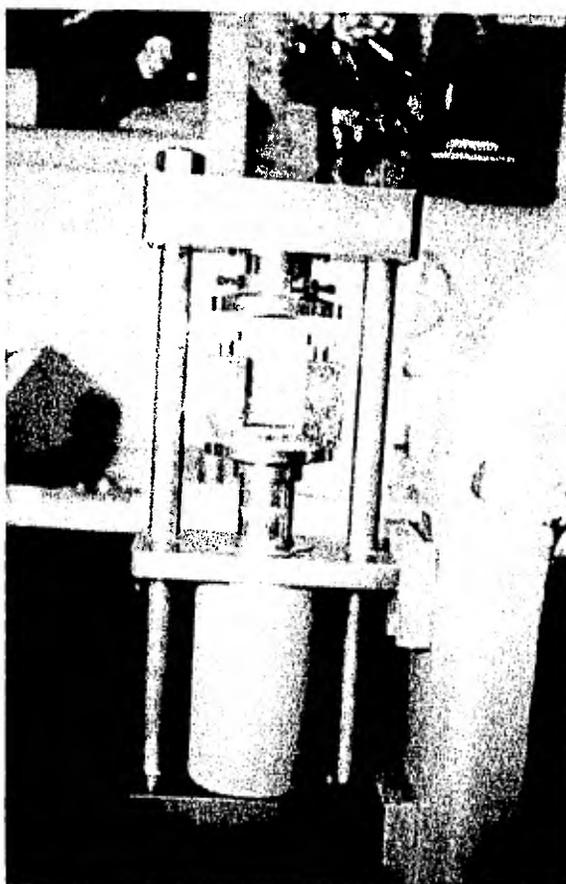


Foto No. 18
Prueba de corte doble en ignimbrita

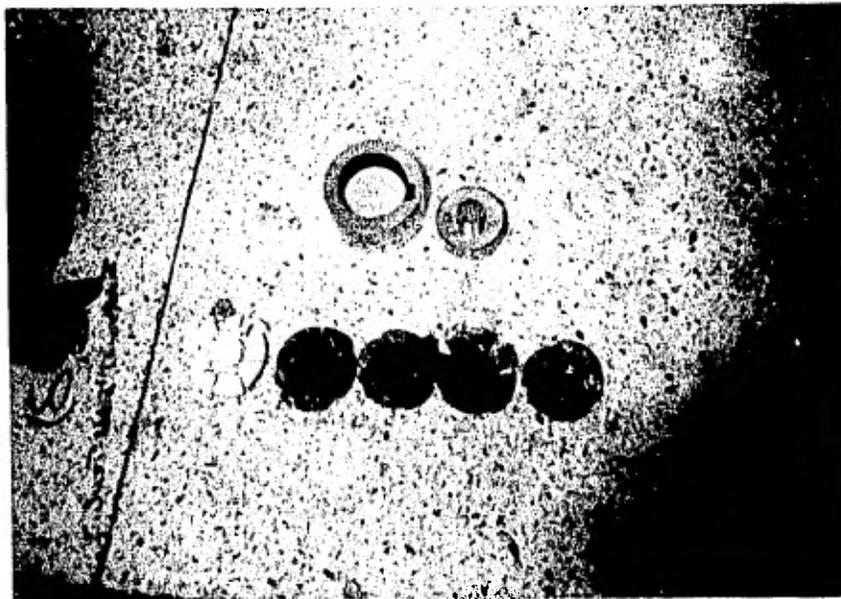


Foto No. 19
Prueba punzocortante en pastillas de ignimbrita

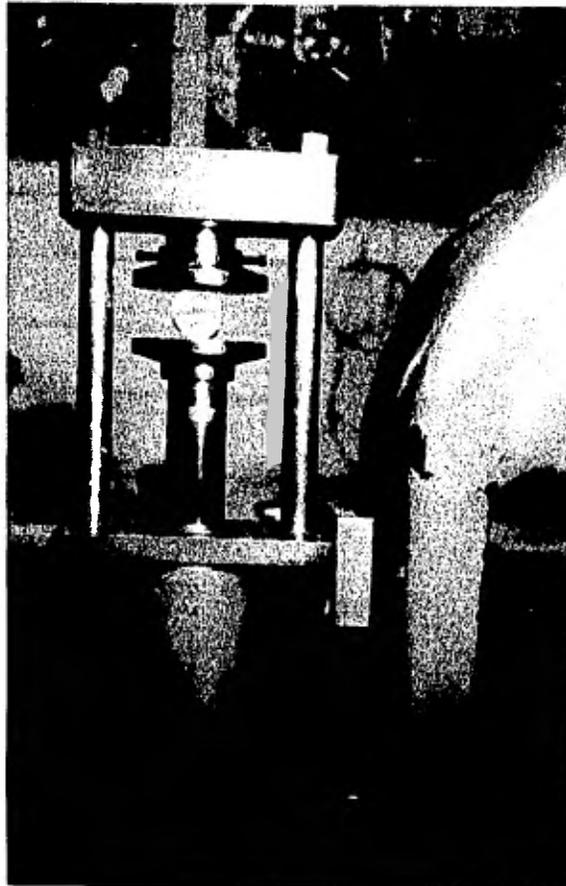


Foto No. 20
Prueba de tensión indirecta (brasileña)

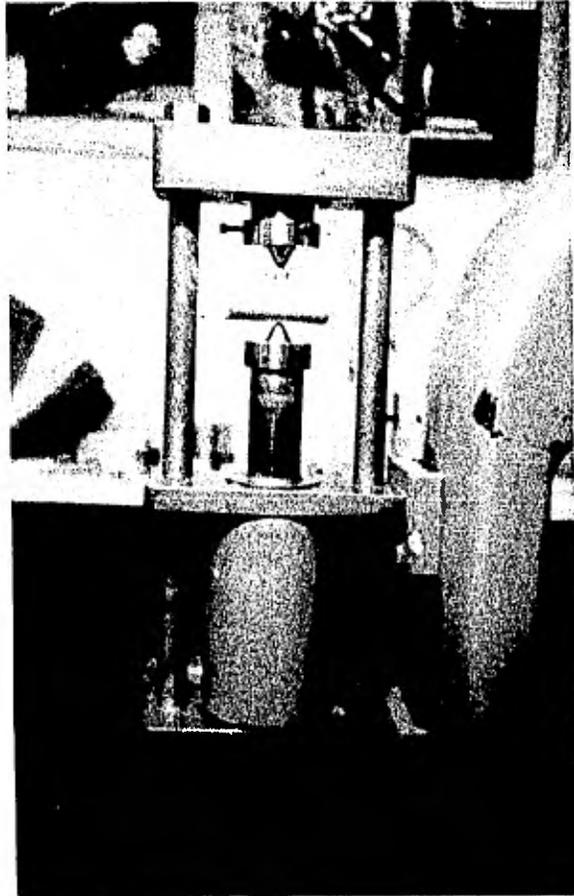


Foto No. 21
Prueba puntual realizada a una ignim
brita

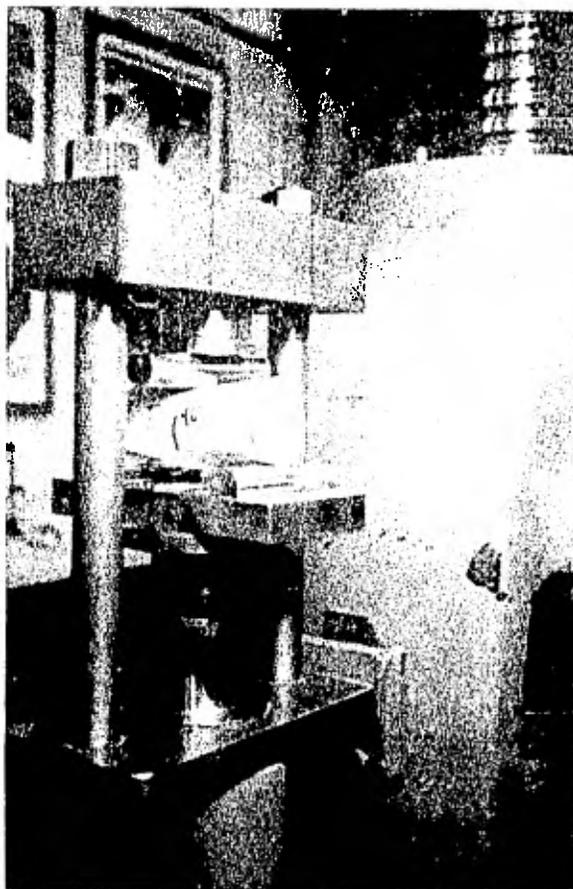


Foto No.22

Prueba de flexión en ignimbrita

2. Deformabilidad. La deformabilidad es la susceptibilidad de la roca de cambiar su forma y/o su volumen dependiendo del tipo de esfuerzo aplicado. Suponiendo un comportamiento elástico de la roca, un esfuerzo compresional dará origen a un acortamiento en el interior del cuerpo rocoso, mientras que un esfuerzo tensional provocará un alargamiento del mismo. La relación ΔL entre el alargamiento o el acortamiento originado por un esfuerzo y la longitud primitiva L antes de la aplicación de la fuerza se denomina deformación longitudinal unitaria. Cuando existen esfuerzos compresionales o tensionales, se ha determinado experimentalmente que, si la deformación es pequeña, su magnitud es proporcional al esfuerzo aplicado, lo cual da origen a la relación esfuerzo-deformación definida por el módulo de elasticidad o de Young. Esta relación se expresa de la siguiente manera:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

donde:

E = Módulo de elasticidad

σ = Esfuerzo aplicado

ϵ = Deformación unitaria

Tal expresión sirve para cuantificar la deformación de la roca en términos del esfuerzo aplicado.

3. Permeabilidad. La permeabilidad es la capacidad de la roca para permitir el paso del agua. La consideración de esta propiedad se debe a que si de alguna manera los espacios vacíos de una roca se encuentran intercomunicados (esto define su permeabilidad) ello hará que su resistencia disminuya y que su deformabilidad aumente, lo que implicará una deficiente calidad mecánica de la roca.

La manera de cuantificar la permeabilidad de la roca es - por medio de su coeficiente de permeabilidad. Este coeficiente se define en términos simples como la velocidad -- del agua a través de la roca. Existen varios procedimientos para la determinación de la permeabilidad de la roca, uno que se realiza "in situ" y es la prueba de permeabilidad tipo Lugeon y otros que se llevan a cabo en el laboratorio con los dos tipos de permeámetros (de carga constante y variable).

IV. CLASIFICACION GEOTECNICA DE LAS ROCAS

El carácter interdisciplinario de la Geotecnia requiere de una clasificación de las rocas que va más allá de la fundamental, establecida por Petrografía. Algunos técnicos en Mecánica de Rocas han reconocido frecuentemente lo inadecuado de un sistema de clasificación petrográfico, advirtiendo que rocas de un mismo tipo pueden presentar una gama muy amplia de propiedades mecánicas. Inclusive, se ha propuesto abandonar las clasificaciones petrográficas y establecer un nuevo sistema basado sólo en propiedades mecánicas. Tal propuesta puede resultar inconveniente porque, en primer lugar, existe como mínimo una gama de valores para cualquier tipo de roca donde queda comprendido el valor de una cierta propiedad mecánica.

Para algunas propiedades mecánicas y para algunos tipos de rocas este intervalo de variación puede ser muy grande; para otras bastante más pequeño. Por ejemplo la resistencia de una caliza porosa puede variar de 350 a 2.5 Kg/cm². Sin embargo, para la sal gema, la variaciones de 200 a 350 Kg/cm². Esto hace pensar que no sólo es suficiente la base de las propiedades mecánicas sino que se deben tomar consideraciones geológicas, petrográficas y mecánicas, para lograr una clasificación de la roca realmente útil en la Geotecnia. La utilidad de dicha clasificación estará en su carácter cualitativo y comparativo entre rocas, lo que permitirá predecir su comportamiento mecánico.

IV.a Consideraciones Geológicas

El papel de la Geología es fundamental, en principio, porque todos los materiales estudiados son masas rocosas situadas en un entorno geológico o extraídas de él. Tales materiales poseen características físicas que son consecuencia de su origen, así como de los procesos geológicos

posteriores que han actuado sobre ellos. El conjunto de todo lo anterior dará como resultado, en la historia geológica de algún lugar, una litología característica y un estado de esfuerzos in situ sobre una estructura geológica determinada. Regionalmente se producen variaciones de estas condiciones; localmente pueden producirse, con mayor importancia, dentro del emplazamiento de una obra determinada. Al realizar exploraciones, programas de reconocimiento y al extrapolar los resultados de ensayo en un punto, a las zonas adyacentes, es absolutamente indispensable considerar la distribución, en el lugar de los diferentes elementos geológicos. Esto se debe a que el comportamiento de un macizo rocoso ante una modificación del estado de esfuerzos actuante, está en función de sus propiedades mecánicas y del número y naturaleza de sus discontinuidades geológicas. La relativa importancia de cada uno de estos factores sobre el comportamiento de las rocas depende principalmente de la relación entre las dimensiones de la obra de ingeniería a realizar y la separación entre las discontinuidades. Cuando la variación de esfuerzos introducida afecta a una zona grande respecto a la distancia entre dichas clases, la influencia de éstas puede ser muy pronunciada.

Otro aspecto geológico sumamente importante es la asociación que puede hacerse entre ciertos tipos de rocas y otras características in situ que pueden presentarse, por ejemplo, la presencia en el terreno de evaporitas (yeso, sal gema) y calizas puede inclinar al investigador a la búsqueda de fenómenos de disolución.

IV.b Consideraciones Petrográficas

Las consideraciones petrográficas se basan en el criterio de Goodman (1976), el cual divide a las rocas en las siguientes clases y subclases:

| | |
|--|---|
| I. <u>Textura Cristalina</u> | <u>Ejemplos:</u> |
| A. Carbonatos y sales solubles | Calizas, dolomías, evaporitas |
| B. Micas y otros minerales planos en bandas continuas | Esquisto de clorita Mica-esquistos. |
| C. Silicatos bandeados sin hojas continuas de mica | Gneiss |
| D. Silicatos de tamaño uniforme con orientación y distribución aleatoria | Granito, Diorita, Gabro Sienita |
| E. Silicatos orientados y distribuidos aleatoriamente en una matriz de grano muy fino y con huecos | Basaltos, riolitas y -- otras rocas volcánicas |
| F. Rocas altamente fracturadas | Milonitas, etc. |
| II. Textura Clástica | |
| A. Cemento no soluble (estable) | Areniscas y areniscas - limoníticas cementadas - con sílice. |
| B. Cemento ligeramente soluble | Areniscas y conglomerable cementados con calcita (carbonatos) |
| C. Cemento muy soluble | Areniscas y conglomerados cementados con yeso |
| D. Cemento débil o incompleto | Areniscas friables y Tobs |
| E. No cementadas | Areniscas con cemento - arcilloso |
| III. <u>Rocas de Texturas de grano muy fino</u> | |
| A. Rocas duras isotrópicas | Hornfels, algunos basaltos |
| B. Rocas duras, anisotrópicas - a escala macroscópica, pero isotrópicas a nivel microscópico | Lutitas cementadas |

- | | |
|---|-------------------------------------|
| C. Rocas duras, anisotrópicas inclusive al microscopio | Pizarras, filitas |
| D. Rocas suaves, terrosas | Lutitas compactadas yeso, margas |

IV. Rocas Orgánicas

- A. Carbón suave
- B. Carbón duro
- C. Lutita con aceite
- D. Lutita bituminosa
- E. Arena con alquitrán

Como puede verse, el enfoque textural y mineralógico que le asigna Goodman a su clasificación, es más hacia el comportamiento mecánico que a los atributos genéticos de las rocas; ello cubre parcialmente las necesidades de la Geotecnia, ya que, como se verá más adelante, se introducen bases mecánicas para complementar la clasificación.

Un detalle que puede apreciarse en la clasificación anterior, es que no sólo se trata la solubilidad y disposición mineralógica, sino que también se habla de la anisotropía que es otro factor interno que controla las características de esfuerzo-deformación de una roca.

IV.c Consideraciones Mecánicas

Resulta evidente que tomando consideraciones geológicas y petrográficas, se da una información mucho más valiosa sobre las propiedades y el comportamiento de una roca. Sin embargo, ello, por sí sólo - como se dijo al principio - es insuficiente, ya que para lograr una clasificación útil y práctica en geotecnia, tales consideraciones deben acompañarse de una clasificación de tipo mecánico. Para-

ello, se han realizado trabajos acerca de la clasificación de la roca intacta, entre los que destacan el de Coates, de Pearsons y el de Miller (1971), Deere y Miller (), han dado una versión modificada del primer trabajo de este último, siendo tal clasificación la que se describe a continuación.

La clasificación se basa en la resistencia a la compresión simple y el módulo de elasticidad, dos propiedades importantes de las rocas. El módulo empleado es el módulo tangente correspondiente a un nivel de esfuerzos igual a la mitad de la resistencia a la compresión simple de la roca. La resistencia a la compresión simple se determina con muestras de relación de esbeltez igual o superior a 2. La roca se clasifica en una de las cinco categorías de resistencia indicadas en la Tabla IV.c.1.

TABLA IV.c.1.

CLASIFICACION DE LA ROCA INTACTA BASADA EN
LA RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

| CLASE | DESCRIPCION | RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE (Kg/cm ²) |
|-------|----------------------|--|
| A | Resistencia muy alta | 2 250 |
| B | Resistencia alta | 1120 - 2250 |
| C | Resistencia media | 560 - 1120 |
| D | Resistencia baja | 280 - 560 |
| E | Resistencia muy baja | 280 |

La línea divisoria entre las categorías A y B se ha fijado en 2 250 Kg/cm² ya que éste constituye el límite superior de resistencia de las rocas más comunes. Únicamente entran en la categoría A unos cuantos tipos de rocas, la-

cuarcita, la diabasa y los basaltos densos, entre ellos. La categoría B, 1120-2250 Kg/cm², comprende la mayoría -- de las rocas ígneas, las rocas metamórficas más duras, -- las areniscas bien cementadas, las pizarras duras y la -- mayoría de las calizas y dolomías. En la categoría C, -- rocas de resistencia media en el intervalo 560-1120 - --- Kg/cm², se encuentran muchas pizarras arcillosas, arenis-- cas y calizas porosas, las variedades más esquistas de-- las rocas metamórficas (p.e. talco y mica esquistos). Las categorías D y E de resistencia baja a muy baja, compren-- den rocas porosas o de baja densidad como la arenisca - - friable, la toba porosa, las pizarras muy arcillosas, la-- sal gema y las rocas meteorizadas o alteradas químicamen-- te de cualquier litología. El segundo elemento del siste-- ma de clasificación es el módulo de elasticidad (E_t); sin embargo, en lugar de emplear el módulo propiamente dicho, se utiliza el módulo relativo definido como la relación - entre el módulo tangente (E_t) y la resistencia a compre-- sión simple, como se indica en la siguiente tabla:

TABLA IV.c.2
CLASIFICACION DE LA ROCA INTACTA BASADA EN EL
MÓDULO RELATIVO (E_t/RC)

| CLASE | DESCRIPCION | MODULO RELATIVO |
|-------|-------------------------|-----------------|
| H | Elevado Módulo relativo | 500 |
| M | Módulo relativo medio | 200-500 |
| L | Módulo relativo bajo | 500 |

E_t = Módulo tangente para el 50% de la carga de rotura

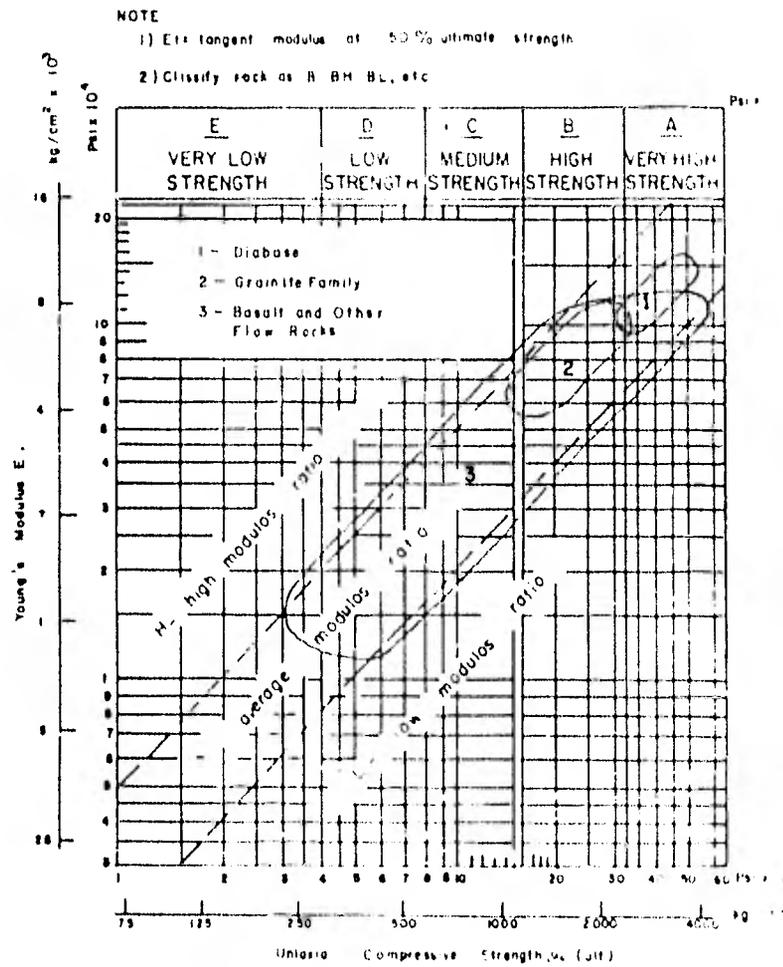
RC = Resistencia a la compresión simple

Para un uso práctico de estas tablas, puede usarse un dia-- grama de clasificación como el de la figura IV.c.1. Los - valores de la resistencia a la compresión y del módulo de

elasticidad se han representando en escala logarítmica para abarcar una amplia gama de valores. Las categorías de resistencia se indican en la parte superior de la figura. El módulo relativo se deduce de la posición respecto a las diagonales. La zona central viene limitada por una línea superior con un módulo relativo de 500:1 y una línea inferior correspondiente a un módulo de 200:1. Esta zona se designa con la letra M, o zona de módulo relativo medio. Las rocas que poseen una estructura compacta y poco o ninguna anisotropía suelen entrar dentro de esta categoría. En ella están comprendidas la mayoría de las rocas ígneas.

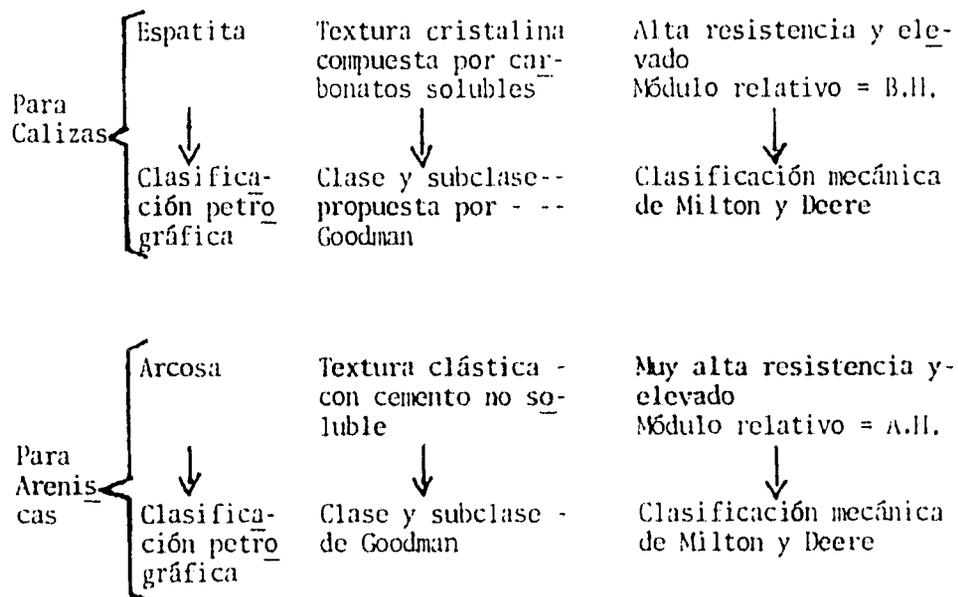
De esta manera y de acuerdo con la figura IV.c.1, las rocas quedan clasificadas según su resistencia y módulo relativo en AM, BL, BH, CM, etc.

FIG. IX. C.1 DIAGRAMA DE CLASIFICACION DE DEERE PARA ROCAS IGNEAS.



CLASIFICACION GEOTECNICA PARA ROCAS INTACTAS

Conjuntando las consideraciones antes mencionadas, una clasificación geotécnica completa de la roca intacta podría hacerse en los siguientes términos:



Como puede observarse, la clasificación geotécnica de las rocas está constituida por las tres partes separadas en las "llaves". Se propone que un estudio en detalle sea llevado en la siguiente forma de registro.

ESTUDIO PETROGRAFICO APLICADO A GEOTECNIA

Muestra No.

Localidad

I. Datos de campo

Descripción del afloramiento

II. Descripción macroscópica

a. Color

b. Estructura y textura

c. Minerales observables

V. APLICACIONES

V.a Introducción

En el presente capítulo se ilustra la forma de aplicar -- los conceptos tratados hasta el capítulo IV. Para ello -- se utilizaron muestras de roca colectadas en las zonas co -- rrespondientes a los proyectos hidroeléctricos Huites, -- Sin. y Peñitas, Chis. El estudio de las muestras del P. -- H. Huites tuvo como objetivo estimar su comportamiento me -- cánico por medio de la clasificación geotécnica.

El estudio de las muestras del P. H. Peñitas tuvo como ob -- jetivo determinar su calidad como material para enroca -- miento de la presa. En este estudio se expone de qué ma -- nera la petrografía desempeña un papel fundamental en ca -- sos como los del P. H. Peñitas, ya que después de haberse agotado todos los recursos que tiene el ingeniero para -- comprender e interpretar el comportamiento de la roca, se obtuvo una solución adecuada al problema.

V.b Estudio de muestras del P. H. Huites, Sinaloa

Las muestras de dicho proyecto corresponden al barreno ex -- ploratorio No.3. Este barreno se localiza en la margen -- izquierda del Río Fuerte. El punto en donde se inició la perforación tiene una elevación de 265 m sobre el nivel -- del río; la profundidad total perforada es de 283.25 m. -- La perforación corta un paquete ignimbrítico de 80 m de -- espesor, constituido por tres unidades que de la más anti -- gua a la más joven son:

T_1 = Toba vítreo-cristalina; espesor = 22 m

T_2 = Toba cristalina; espesor = 32 m

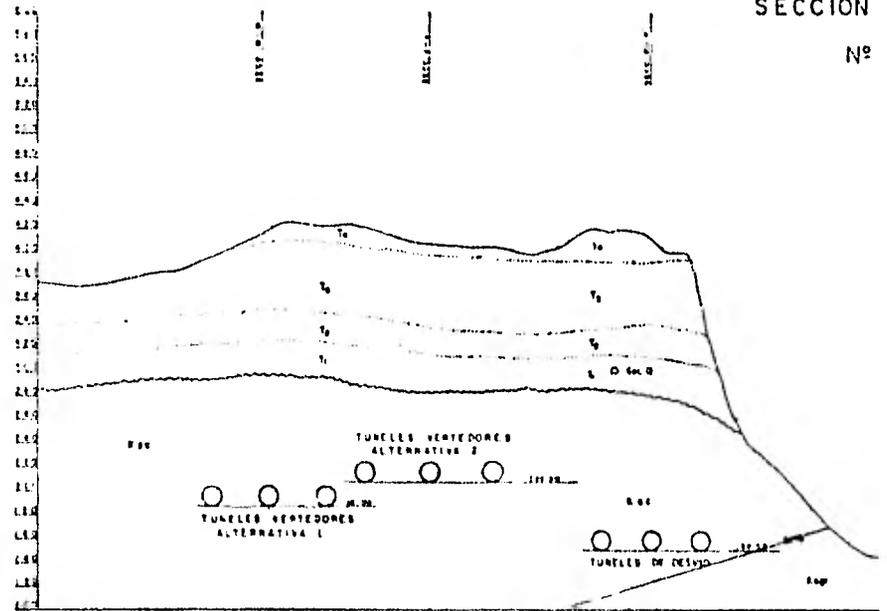
T_3 = Toba lítica; espesor = 26 m

Estas unidades descansan a mayor profundidad sobre la cor --

5 2 7 ° L

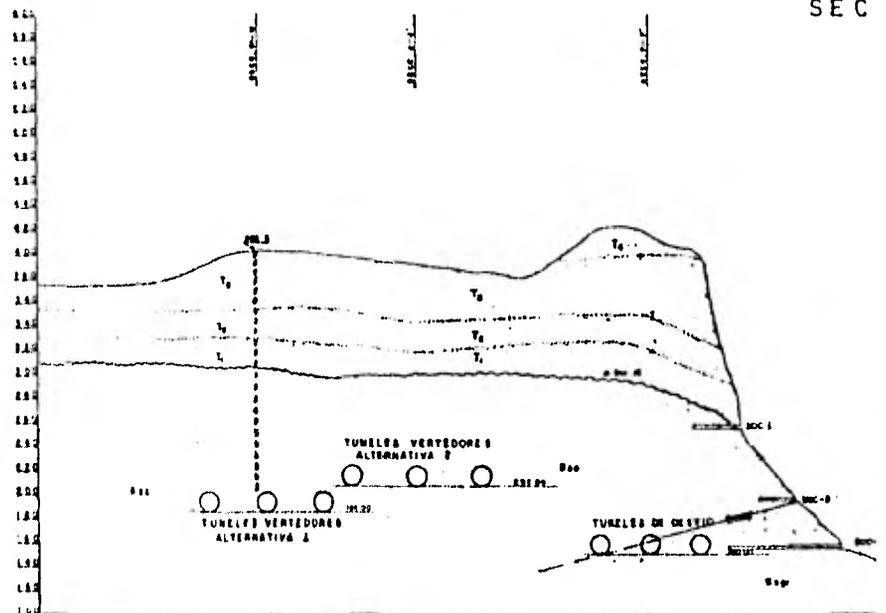
SECCION

Nº



5 2 6 ° L

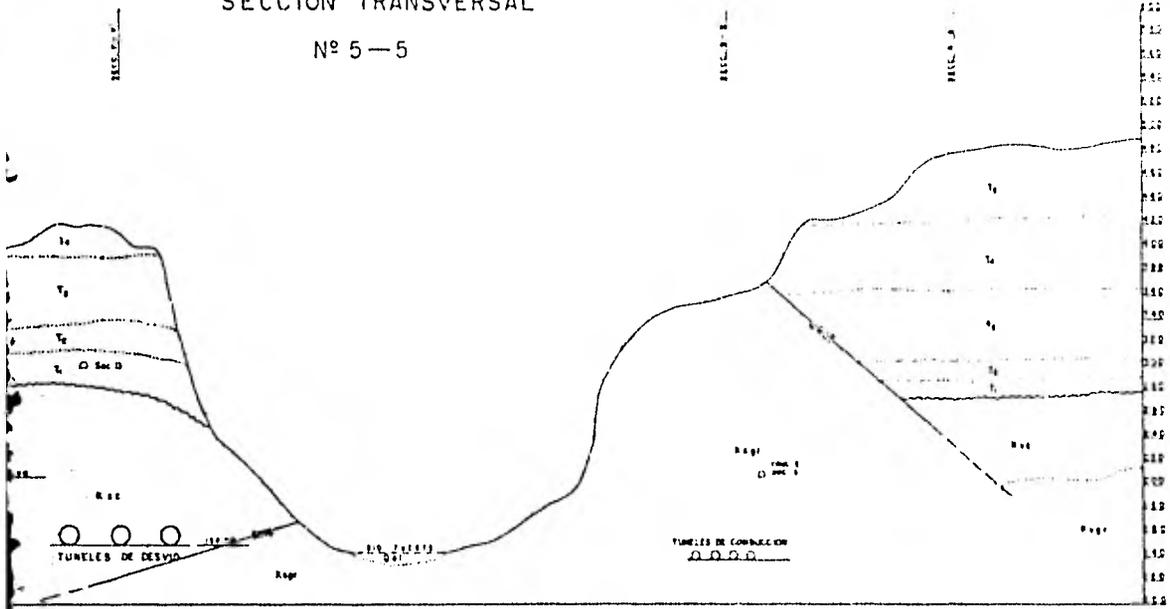
SEC



SECCION TRANSVERSAL

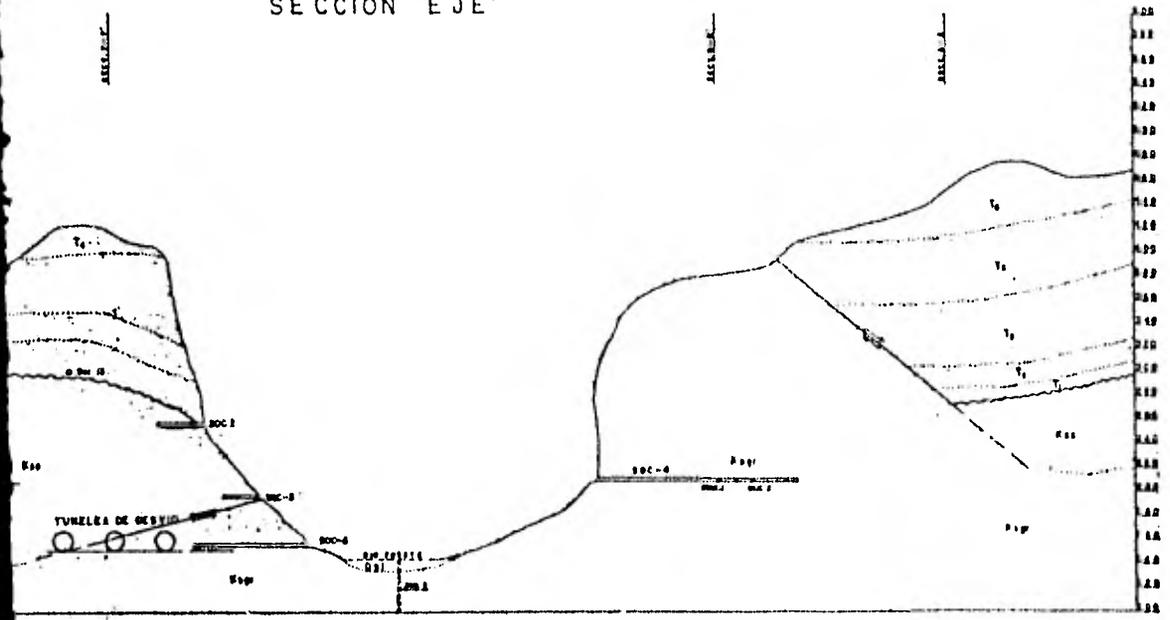
Nº 5-5

N 26° W



SECCION "EJE"

N 26° W



Vertical scale and legend area on the right side of the page, including a north arrow and a legend for symbols used in the diagrams.

PROY
SECC
LES 7
EJE I
M.M.A.S.

neana (KSC), que en este caso es la roca más antigua de la columna cortada (ver sección planos V.b.1).

La secuencia seguida en el estudio fue la siguiente:

Se seleccionaron de los barrenos las muestras más representativas de cada unidad, tomando en consideración las variaciones texturales de cada una de ellas. Después se las enumeró como sigue:

| Muestra No. | Unidad Correspondiente | Profundidad en m. |
|-------------|------------------------|-------------------|
| P-1 | T ₃ | 16.50 |
| P-2 | T ₃ | 29.10 |
| P-3 | T ₂ | 41.80 |
| P-4 | T ₂ | 51.80 |
| P-5 | T ₁ | 83.10 |
| P-6 | Ksc | 109.20 |
| P-7 | Ksc | 174.00 |
| P-8 | Ksc | 222.80 |
| P-9 | Ksc | 275.80 |

Posteriormente a ello, se determinó la clasificación fundamental de cada muestra; los resultados aparecen en las copias de los estudios anexos. Con esta información se procedió a establecer el signo de alteración y el índice de calidad micropetrográfico. Inmediatamente después aparecen los resultados de las pruebas de módulo de elasticidad y compresión simple, realizados en el laboratorio de Mecánica de Rocas de C.F.E.

TABLA V. b. 1

| MUESTRA No. | PROFUNDIDAD (m) | SIGNO ALTER. | INDICE DE CALIDAD (K) | CLASIFICACION FUNDAMENTAL. | MODULO TANGENTE (E_t) (kg/cm ² x 10 ⁵) | RESISTENCIA A COMPRESION -- SAMPLE (RC) = - (kg/cm ²) |
|----------------|--------------------|-----------------|-----------------------------|--|---|--|
| P-1 | 16.50 | - | 1.49 | Toba litica-lacftica | 1.5 | 602 |
| P-2 | 29.20 | - | 1.96 | Toba vitrea soldada- Riodacftica | 7.2 | 794 |
| P-3 | 41.80 | ninguno | 1.48 | Toba vitrea soldada Riolftica | 1.5 | 668 |
| P-4 | 51.80 | - | 1.52 | Diabasa de olivino y piroxenos | 1.5 | 674 |
| P-5 | 83.10 | ninguno | 1.40 | Toba Riolftica | 1.0 | 479 |
| P-6 | 109.20 | + | 1.58 | Microdiorita porfir- tica metamorfizada | 1.0 | 451 |
| P-7 | 174.00 | + | 1.26 | Microdiorita oxidada y metamorfizada | 0.833 | 424 |
| P-8 | 222.80 | + | 1.58 | Andesita porftica metamorfizada | 3.3 | 1 438 |
| P-9 | 275.80 | + | 1.58 | Toba Riodacftica metamorfizada | 5 | 1 374 |

Al analizar estos resultados, se observa un aspecto importante: en la muestra P-2, el signo de alteración es negativo, mientras que el índice de calidad es el mayor obtenido en toda la secuencia. Ello está indicando la medida en -- que tal alteración perjudica la calidad mecánica de la roca, que para este caso es mínima.

En la muestra P-7 sucede lo inverso de lo anterior; el índice es el mínimo de toda la secuencia, a pesar de que la alteración (metamorfismo) es positiva; en este caso el microfisuramiento, entre otros factores, definieron el bajo índice.

Si se comparan las muestras P-8 y P-9 con la muestra P-2 - se ve que, a pesar que esta última presenta el índice más elevado, la Rc no es la más alta; ello se debe a que la matriz criptocristalina de la roca tomó el papel principal - en la resistencia a la compresión (Rc), ante la poca cantidad de fenocristales.

La clasificación geotécnica de las muestras quedaría de la siguiente manera:

| | |
|---|---|
| P-1 = Toba íftica (C.M.) | Resistencia media y módulo Rel. medio |
| P-2 = Toba vítrea soldada (C.M.) | Resistencia media y módulo Rel. medio |
| P-3 = Toba vítrea soldada (C.H.) | Resistencia media y elevado módulo Rel. |
| P-4 = Diabasa de olivino (C.M.) | Resistencia media y módulo Rel. medio |
| P-5 = Toba riolítica (D.M) | Resistencia baja y módulo Rel. medio |
| P-6 = Microdiorita metamorfizada (D.M.) | Resistencia baja y módulo Rel. medio |
| P-7 = Microdiorita oxidada y metamorfizada (D.M.) | Resistencia baja y módulo medio |
| P-8 = Andesita porfídica metamorfizada (B.M.) | Alta resistencia y módulo medio |
| P-9 = Toba metamorfizada (B.H.) | Alta resistencia y elevado módulo |

CONCLUSIONES

Para este estudio se concluye que, el índice de calidad petrográfico (K) se relaciona claramente con el módulo de elasticidad (E_t) y la resistencia a compresión simple (R_c), por lo que se le puede considerar como una buena propiedad índice; aparentemente, dicha relación con los mencionados parámetros es directamente proporcional. Para afirmar esto con mayor seguridad será necesario realizar un número mayor de ensayos semejantes a los presentados en la tabla V.b.1.

ESTUDIO PETROGRAFICO No. _____

I.- DATOS DE CAMPO

Muestra No: p-1

Colector:

Localidad: P.H. HUITES, SIN.

Descripción del afloramiento: No hay

II.- DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Rosáceo

Estructura Y Textura: Semiconpacta poco fracturada con oquedades, parcialmente silicificadas

Minerales observables: plagioclasas, cuarzo, ferromagnesianos piroclástica

III.-DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Piroclástica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Andesina-Oligoclasa

Cuarzo

Fragmentos de roca

c) Minerales secundarios:

Cuarzo

Clorita

Sericita

Arcillas

b) Minerales accesorios

Biotita

Magnetita

Circón

d) Matriz o cementante:

Polvo arcilloso bien consolidado
y microcristales de plagioclasas
y cuarzo

e) Caracteres especiales: Los fragmentos de roca del tamaño de la arena son: basalto, amigdaloides hematizados, dacitas, argilitizadas, riolita y tobas vítreas.
Las oquedades constituyen el 15% y se presentan en las plagioclasas las que pueden estar total o parcialmente alteradas.

IV.- ORIGEN DE LA ROCA

Piroclástico

V.- CLASIFICACION

TOBA LITICA-DACITICA

Fecha Marzo-5-81

Tomás López de La Fuente

Petrógrafo

ESTUDIO PETROGRAFICO No. _____

I. DATOS DE CAMPO

Muestra No: P-2

Colector:

Localidad: P. H. Huities, Sin.

Descripción del afloramiento: ninguna

II. DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: crema rosácea

Estructura Y Textura: microporosa-compacta, piroclástica

Minerales observables: plagioclasas, fragmentos de roca, cuarzo y micas

III. DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Piroclástica

Mineralogía:

a) **Minerales esenciales:**

Plagioclasas
Cuarzo
Feldespato potásico
Shards (frags. de vidrio)

b) **Minerales accesorios**

Biotita
Piroxenos (tr)
Magnetita

c) **Minerales secundarios:**

Arcillas (Matriz y plgs.)
Cuarzo (devitrificación)
Sericita (fracturas y matriz)
Hematita (fracturas)
Sericita, cuarzo, epidota (intercre-

d) **Matriz o cementante:** cimientos-matriz

Criptomicrocristalina (intercrecimientos de cuarzo y plagioclasas) polvo arcilloso y shards.

- e) **Caracteres especiales:** Los cristales de cuarzo presentan entrantes y bordes de corrosión de la misma composición que la matriz.
El microfracturamiento escaso, está aumentado por óxidos de hierro (hematita) e intercrecimientos de sericita-cuarzo-epidota
Los fragmentos de rocas (escasos) son andesitas (?)
Las oquedades (escasas) se presentan en las plagioclasas

IV. ORIGEN DE LA ROCA Piroclástico

V. CLASIFICACION TOBA VITREA SOLDADA DE COMPOSICION RIODACITICA (Rhyodacitic-Ash flow tuff)

Fecha Marzo-5-1981

Tomás López de la Fuente
Petrógrafo

ESTUDIO PETROGRAFICO No. _____

I.- DATOS DE CAMPO

Muestra No: P-5

Colector:

Localidad: P. H. Huites, Sin.

Descripción del afloramiento: ninguno

II.- DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Rosáceo

Estructura Y Textura: Poco compacta, con fracturamiento principal a 50° -Piroclástica

Minerales observables: Cuarzo, plagioclasas, micas, fragmentos de roca

III.-DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Piroclástica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Cuarzo
Plagioclasas
Feldespato Potásico
Shards

c) Minerales secundarios:

Cuarzo (devitrificación)
Arcillas (plagioclasas-matriz)
Clorita
Sericita-Cuarzo (plagioclasas)

b) Minerales accesorios

Biotita
Circón
Magnetita

d) Matriz o cementante:

Criptocristalina con intercrecimientos de cuarzo y feldespatos

- e) Caracteres especiales:** El escaso microfracturamiento a veces con ligero desplazamiento se encuentra cementado por óxidos de hierro y cuarzo-sericita. Presenta abundantes shards contenidos en la matriz devitrificada. Las escasas oquedades se encuentran en la matriz o en las plagioclasas alteradas.

IV.- ORIGEN DE LA ROCA Piroclástico

V.- CLASIFICACION JOBA VETREA RIOLITICA SOLDADA

Fecha _____ 6 de marzo de 1981 _____

Tomás López de La Fuente

Petrólogo

ESTUDIO PETROGRAFICO No. _____

I.- DATOS DE CAMPO

Muestra No: P-4

Colector:

Localidad: P. H. Huites, Sin.

Descripción del afloramiento: ninguno

II.- DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: gris oscuro

Estructura Y Textura: muy compacta con fracturamiento principal a 40°- holocristalina

Minerales observables: plagioclasas, ferromagnesianos

III.-DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Holocristalina-porfídica-intergranular

Mineralogía:

a) **Minerales esenciales:**

Andesina-Labradorita

c) **Minerales secundarios:**

Serpentina-Clorita (olivino)
Epidota
Calcita
Clorita (matriz)

b) **Minerales accesorios**

Olivino
Piroxenos (augita)
Apatita
Magnetita

d) **Matriz o cementante:**

- e) **Caracteres especiales:** Existen algunas microfracturas cementadas por calcita o clorita.
Los fenocristales de olivino están totalmente alterados a serpentininas y clorita

IV.- ORIGEN DE LA ROCA Hipabisal

V.- CLASIFICACION DIABASA DE OLIVINO Y PIROXENOS

Fecha _____ 6 de marzo de 1981 _____

Tomás López de La Fuente

Petrógrafo

ESTUDIO PETROGRAFICO No. _____

I.- DATOS DE CAMPO

Muestra No: P-5

Colector:

Localidad: P. H. Huites, Sin.

Descripción del afloramiento: No hay

II.- DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Rosáceo

Estructura Y Textura: Semiconpacta con fracturamiento preferencia a 40° del núcleo-piroclás

Minerales observables: Cuarzo, plagioclasas, F. K. (tica de grano fino)

III.- DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Piroclástica-pelítica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Cuarzo
Feldespato potásico
Plagioclasas
Fragmentos de rocas

c) Minerales secundarios:

Calcita
Epidota
Cuarzo
Hematita

b) Minerales accesorios

Biotita
Magnetita

d) Matriz o cementante:

Polvo arcilloso

e) Caracteres especiales: Los fragmentos de roca son de tobas riolíticas. La roca presenta concentraciones de óxidos de hierro en forma de vetillas, como resultado de la sobresaturación de soluciones que precipitaron durante la percolación de las mismas.

IV.- ORIGEN DE LA ROCA Piroclástica

V.- CLASIFICACION TOBA RIOLITICA

Fecha _____ Marzo-8-81

Tomás H. López de la Fuente
Petrógrafo

ESTUDIO PETROGRAFICO No. _____

I.- DATOS DE CAMPO

Muestra No: P-6

Colector:

Localidad: P. H. Huites, Sin.

Descripción del afloramiento: Ninguna

II.- DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Rojo pálido

Estructura Y Textura: compacta fracturada-afanítica

Minerales observables: calcita

III.-DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Porfídica-holocristalina, inequigranular hipidiomórfica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Plagioclasas (andesina)

b) Minerales accesorios

Biotita
Apatita
Magnetita

c) Minerales secundarios:

Hematita
Ceolitas (vetillas)
Arcillas
Calcita (vetillas)
Clorita

d) Matriz o cementante: (vetillas)

Microcristales de plagioclasas

- e) Caracteres especiales:** Las plagioclasas se presentan parcial o totalmente alterados a hematita y/o sericita. Las fracturas hasta de 2 mm de ancho se presentan rellenas por calcita en menor cantidad cuarzo y ceolitas; las fracturas difusas son de hematita. Existen pequeñas fracturas escalonadas cementadas por calcita, las que por un sistema de fallas paralelas las desplazan hasta 1.0 mm entre sí.

IV.- ORIGEN DE LA ROCA

Igneo Extrusivo o Intrusivo de poca profundidad

V.- CLASIFICACION

MICRODIORITA DE BIOTITA PORFIDICA Y MELANIZADA

Fecha 9 de marzo de 1981

Tomás H. López de la Fuente
Petrólogo

ESTUDIO PETROGRAFICO No. _____

I.- DATOS DE CAMPO

Muestra No: P-7

Colector:

Localidad: P. H. Huites, Sin. Barreno 3 Prof.

Descripción del afloramiento: No hay

II.- DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Rojizo

Estructura Y Textura: Compacta-fracturada-fanerítica de grano fino

Minerales observables: plagioclasas, máficos, óxidos de hierro

III.-DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Holocristalina, equigranular fina, triplidimórfica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Plagioclasas (andesina-oligoclasas)

c) Minerales secundarios:

Oxidos de hierro

Sericita

Clorita

Calcita

Epidota

CUARZO

b) Minerales accesorios

Máficos cloritizados y oxidados

Magnetita

d) Matriz o cementante:

e) Caracteres especiales: La frecuencia del microfracturamiento es de 15 fracturas/cm².

Se presenta en algunas zonas con un cierto alineamiento, mientras que en otras tiene una disposición radial que converge a cavidades ocupadas por óxidos de hierro. Dicho microfracturamiento se encuentra relleno de sericita. A este relleno se le considera de mala calidad debido a que generalmente origina planos de deslizamiento, por los cuales puede ocurrir el afallamiento de la roca.

IV.- ORIGEN DE LA ROCA

Hipabisal afectada por ligero metamorfismo

V.- CLASIFICACION

MICROHORITA OXIDADA Y SERICITILADA

Fecha 9 de marzo de 1981

José López de la Fuente

Petrografo

ESTUDIO PETROGRAFICO No. _____

I.- DATOS DE CAMPO

Muestra No: P-8

Colector:

Localidad: P.H. Ihuites, Sin.

Descripción del afloramiento: No hay

II.- DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: gris claro

Estructura Y Textura: compacta-fracturas rellenas de cuarzo y en menor cantidad calcita-fangos
Minerales observables: Calcita, máficos (rítica de grano fino)

III.-DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Porfídica en matriz microcristalina

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Plagioclasas de composición intermedia
(andesino-oligoclasa)

c) Minerales secundarios:

Clorita
Arcillas
Cuarzo
Epidota
Calcita

b) Minerales accesorios

Hornblenda
Piroxenos cloritizados
Magnetita

d) Matriz o cementante:

e) Caracteres especiales: La frecuencia de microfracturamiento es de 5 fr/1.76 cm². Este microfracturamiento se desplaza hasta el contorno de la laminilla. Se encuentra relleno principalmente por cuarzo. Dicho relleno se le considera de buena calidad, debido a que actúa como un cementante, sin originar planos de deslizamiento.

IV.- ORIGEN DE LA ROCA Ignea Intrusiva o hipabisal afectada por metamorfismo ligero o procesos hidrotermales

V.- CLASIFICACION ANDESITA PORFÍDICA CLORITIZADA Y ARGILITIZADA

Fecha Marzo-10-1981

Tomás López de la Fuente
Petrólogo

ESTUDIO PETROGRAFICO No. _____

I.- DATOS DE CAMPO

Muestra No: P-9 ,

Colector:

Localidad: P. H. Huites, Sin.

Descripción del afloramiento: No hya

II.- DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Gris ligeramente oscuro

Estructura Y Textura: muy compacta-fracturada-porfídica

Minerales observables:

III.-DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Piroclástica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Plagioclasas

Cuarzo

Feldespato alcalino

c) Minerales secundarios:

b) Minerales accesorios

Máficos cloritizados

Oxidos de hierro

d) Matriz o cementante:

Cripcrystalino con intercrecimientos de cuarzo y feldespatos. Silicificada y parcialmente turmalinizada

e) **Caracteres especiales:** El microfisuramiento se encuentra desplazado hacia el contorno de la sección, incluye a la matriz y a los fenocristales. El relleno de buena calidad está constituido por cuarzo principalmente, turmalina y en menor cantidad epidota. La frecuencia promedio de dicho microfracturamiento es de 10 fracturas/1.76 cm²

IV.- ORIGEN DE LA ROCA Piroclástico afectado por metamorfismo de baja intensidad

V.- CLASIFICACION TOBA RIODACTICA SILICIFICADA Y TURMALINIZADA

Fecha Marzo-10-81

Tomás H. López de la Fuente

Petrógrafo

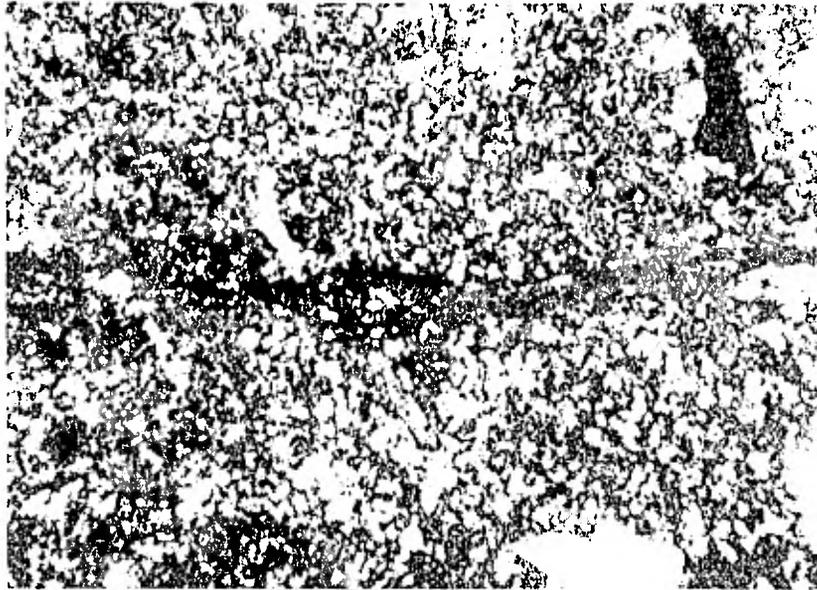


Foto No. 25 (25 X nícoles X)

Fracturamiento oxidado en ignimbrita (P. H. Juntas, Sim. Barreno No.5)



Foto No. 21 (100 X nícole X)

zona de debilidad de roca por un relleno sólido y poco resistente (caliza) en dirección (P.H. Juntas y Sim. Barreno No.5)

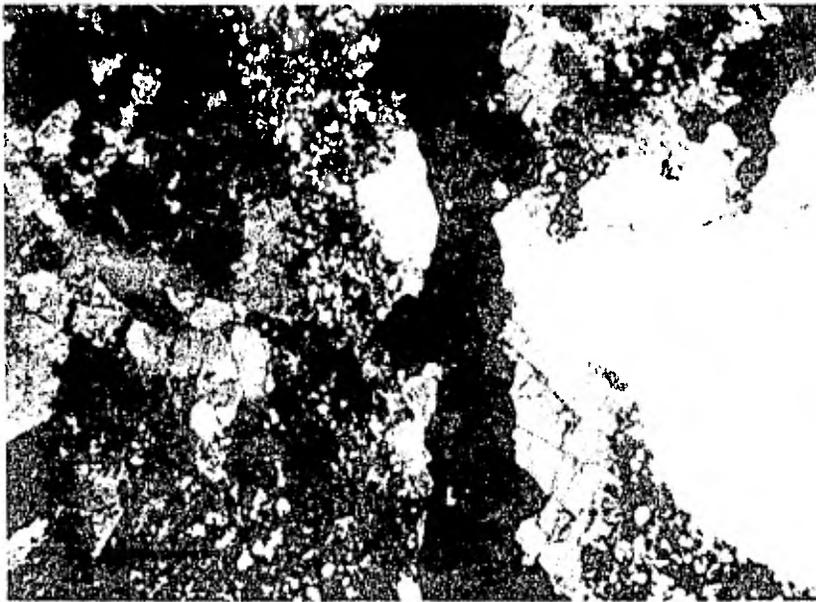


Foto No. 25 (25 X nícoles X)
Fracturamiento parcialmente silicificado y tumalinizado
(en la corneana, P. H. Brito, Sim. Barreno No. 51).

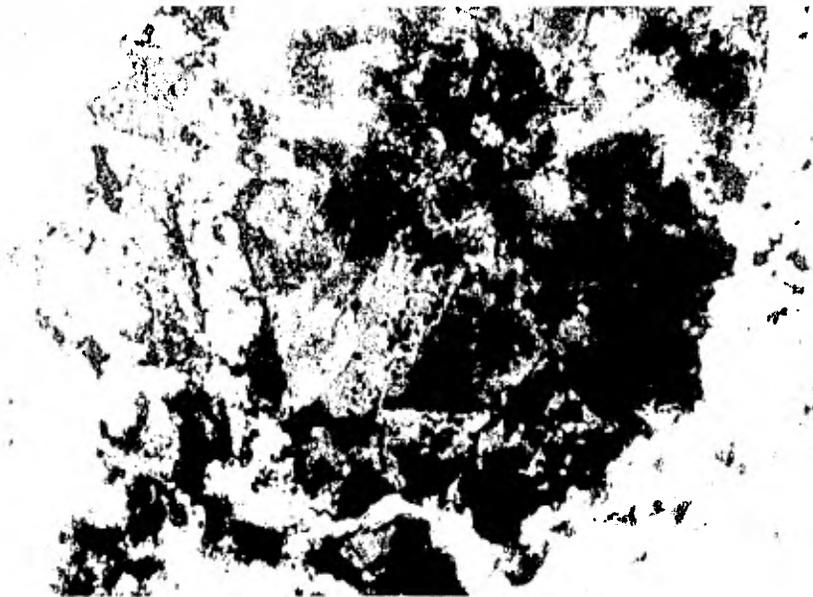


Foto No. 76 (100 X nícoles X)
Cavidad rellena de tumalina en corneana (P. H. Brito,
Sim. Barreno No. 51).



Foto No. 27 (25 X nícoles X)
Fracturamiento silicificado y oxidado en cornecana (P.H. +
Illites, Sin. Barreno No. 5) 2

V.c ESTUDIO DE MUESTRAS DEL BANCO DE ENROCAMIENTO
C. AMACOITE PARA LA CORTINA DEL P.H. PEÑITAS, CHIS.

V.c.1 Introducción

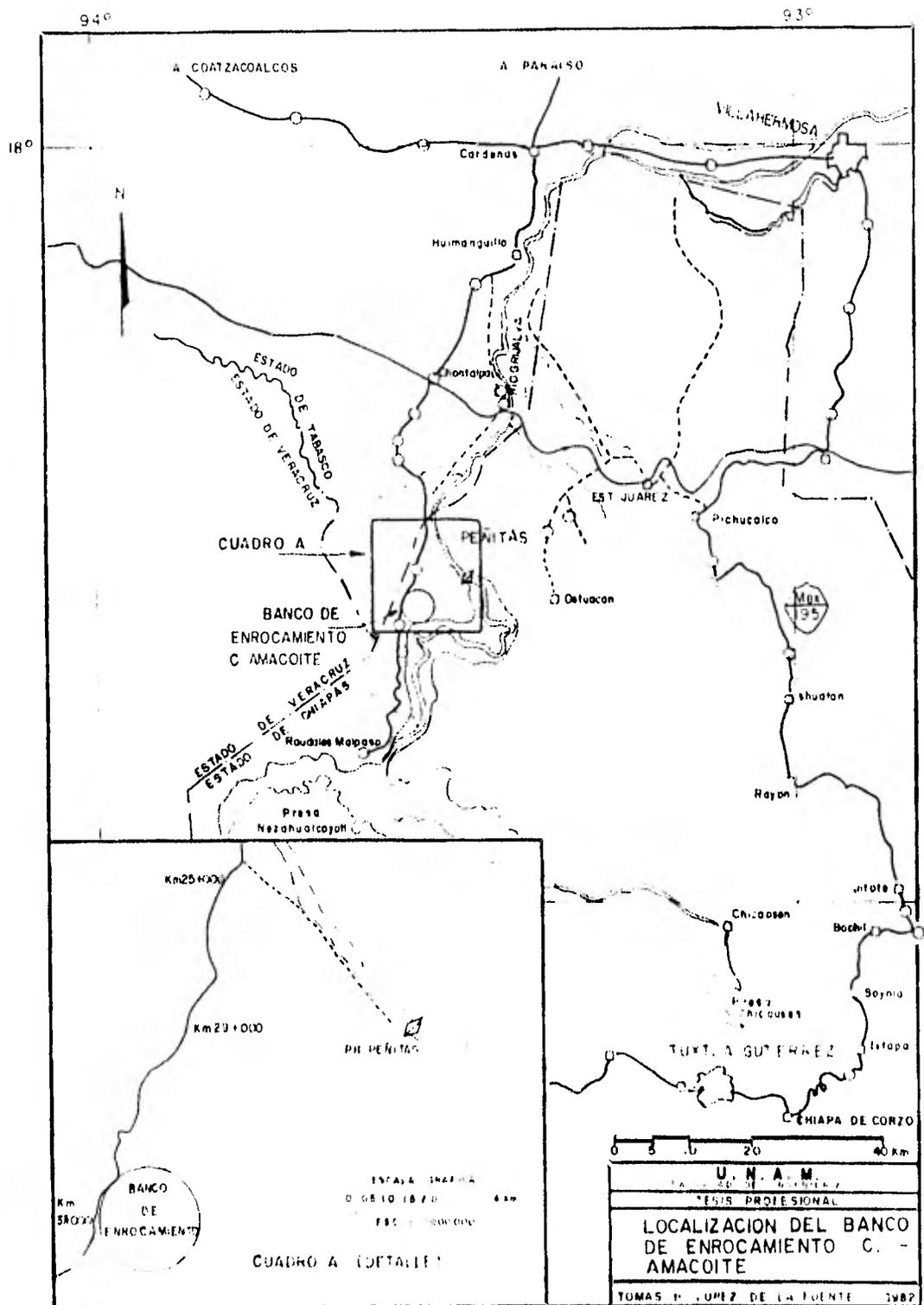
El Proyecto Hidroeléctrico de Peñitas, constituye el último aprovechamiento del Río Grijalva, dentro del Estado de Chiapas. La boquilla está ubicada en lo que corresponde al Municipio de Ostuacán, muy próximo a los límites con el Estado de Tabasco, 85 kilómetros al NW de Tuxtla Gutiérrez.

Regionalmente la boquilla de Peñitas se localiza sobre el flanco norte de la Sierra de Chiapas, en donde las formaciones que afloran corresponden básicamente a lutitas y areniscas de edad terciaria, cubiertas en partes por suelos residuales y depósitos aluviales del Cuaternario. Estas formaciones constituyen plegamientos con orientación general NW-SE.

Estratigráficamente las formaciones más antiguas se encuentran próximas a la Sierra de Chiapas y las más recientes hacia el Golfo de México, definiendo una estructura homoclinal con plegamientos locales.

Fisiográficamente el P. H. Peñitas se encuentra en la zona de transición entre la llamada Sierra Plegada o Macizo de Chiapas y la Planicie Costera del Golfo de México.

El banco de enrocamiento C. Amacoite se localiza en el Km-37 de la carretera Chontalpa-Raudales-Malpaso, al SW del sitio donde se desplantará la cortina y a 19 Km del mismo por terracería (6 Km) y carretera asfaltada (13 Km) (ver plano de ubicación). El banco pretende explotarse para la extracción del enrocamiento para la cortina del P. H. Peñitas, Chis.



CUADRO A (DETALLE)

0 5 10 20 40 Km.

U. N. A. M.
 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA
 SERVICIO PROFESIONAL

LOCALIZACIÓN DEL BANCO DE ENROCAMIENTO C. - AMACOITE

TOMAS D. LÓPEZ DE LA FUENTE 1982

V.c.2 Ensayes de Laboratorio

V.c.2.1 Características de los Barrenos y de las Muestras Recuperadas

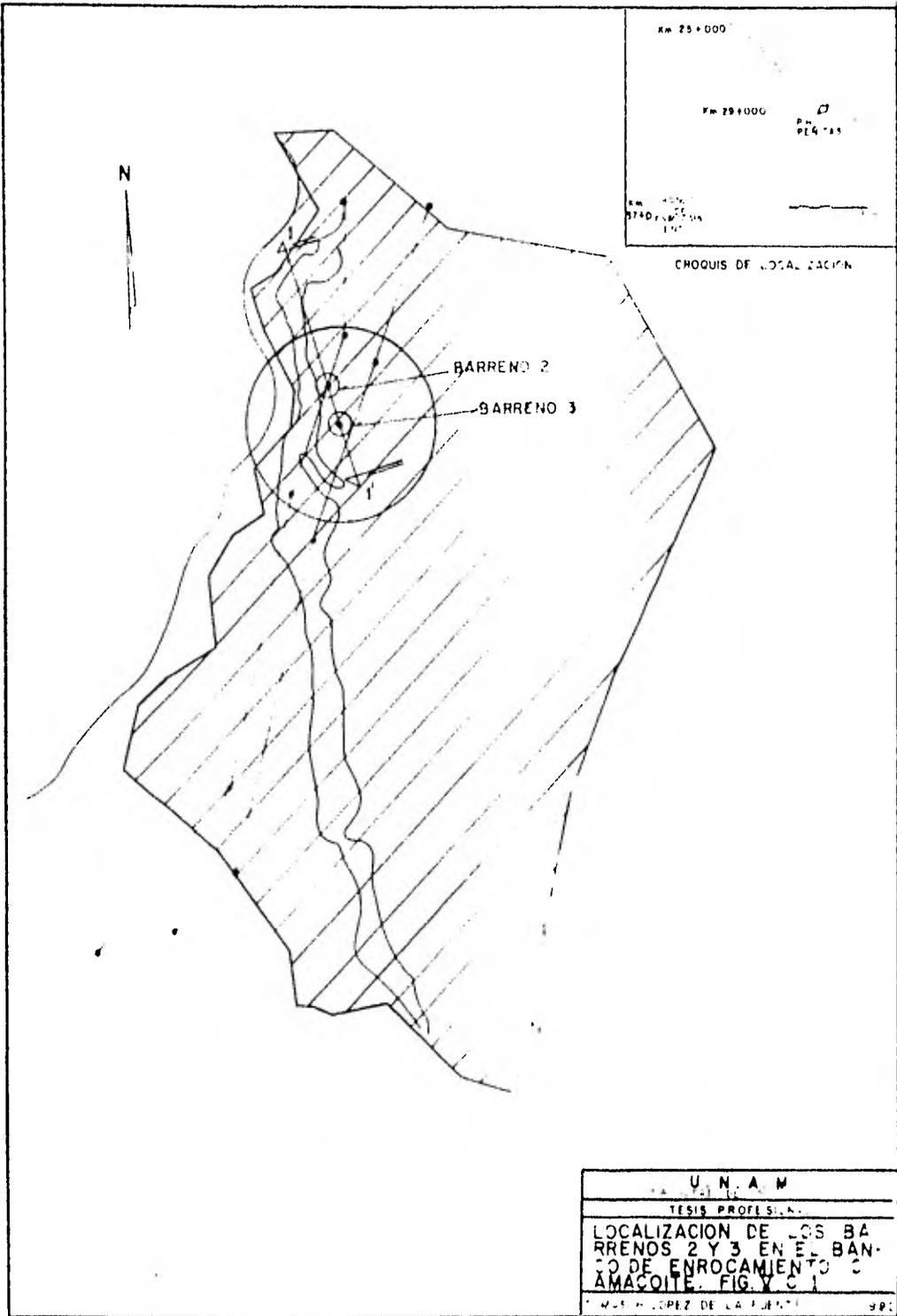
Las muestras ensayadas fueron extraídas de excavaciones a cielo abierto y de los barrenos 2 y 3 cuya localización en el banco se ilustra en la figura V.c.1. Tales barrenos tienen una elevación de 182 y 192 msnm y una profundidad de 61.95 y 65.00 m respectivamente. La distancia lineal entre los dos brocales es de aproximadamente 100 m. La columna litológica de cada uno agrupa a areniscas (A), areniscas conglomeráticas (ACC) y conglomerados polimícticos compactos de matriz areno-arcillosa con predominancia de clastos ígneos (CEL) y con nódulos lutíticos aislados que alcanzaron espesores hasta de 5 cm en los núcleos ensayados.

Los porcentajes de cada tipo de roca muestreados en los barrenos 2 y 3 son respectivamente:

- 23 y 38% de arenisca
- 17 y 21% de arenisca conglomerática
- 45 y 32% de conglomerado
- 15 y 9% de conglomerados superficiales y alterados.

La figura V.c.2 muestra el perfil litológico de los barrenos 2 y 3. El diámetro de los núcleos extraídos fue de 4.72 cm (NX Wire Line).

Las muestras extraídas a cielo abierto son bloques de conglomerados polimícticos compactos y estas muestras fueron enviadas para fines comparativos al Laboratorio de Mecánica de Rocas, junto con muestras de conglomerado extraídas también a cielo abierto del banco Malpaso, representativas de la roca utilizada en el enrocamiento de la Presa Malpaso.



Km 25+000

Km 29+000

PEÑAS

CHOCUIS DE LOCALIZACION

BARRENO 2

BARRENO 3

U. N. A. M.

TESIS PROFESIONAL

LOCALIZACION DE LOS BARRENOS 2 Y 3 EN EL BANCO DE ENROCAMIENTO C AMACOTE. FIG. V. C. 1

M. S. H. LOPEZ DE LA FUENTE

V.c.2.2 Ensayes de Laboratorio

Los ensayos de laboratorio fueron elegidos considerando el tratamiento mecánico al que estará sometida la roca que forma parte del enrocamiento de la cortina y son los siguientes:

- a) Resistencia a la compresión simple
- b) Módulo de elasticidad
- c) Resistencia de tensión en prueba brasileña
- d) Resistencia a tensión en prueba puntual
- e) Resistencia al corte simple
- f) Resistencia al corte doble

Se realizaron además las siguientes determinaciones:

- g) Clasificación litológica
- h) Recuperación en porciento
- i) Índice de calidad de la roca
- j) Peso volumétrico
- k) Contenido de agua
- l) Porosidad
- m) Relación de vacíos
- n) Índice de alteración
- o) Intemperismo acelerado

La mayor parte de los ensayos de resistencia y deformabilidad (incisos a) hasta f), se efectuaron en muestras con un contenido de agua mayor al natural (sumergidas en un tanque - presurizado a 7Kg/cm^2 y con agua destilada) y el resto con contenido natural de agua.

Los resultados de todos los ensayos y determinaciones anteriores permitieron establecer lo siguiente:

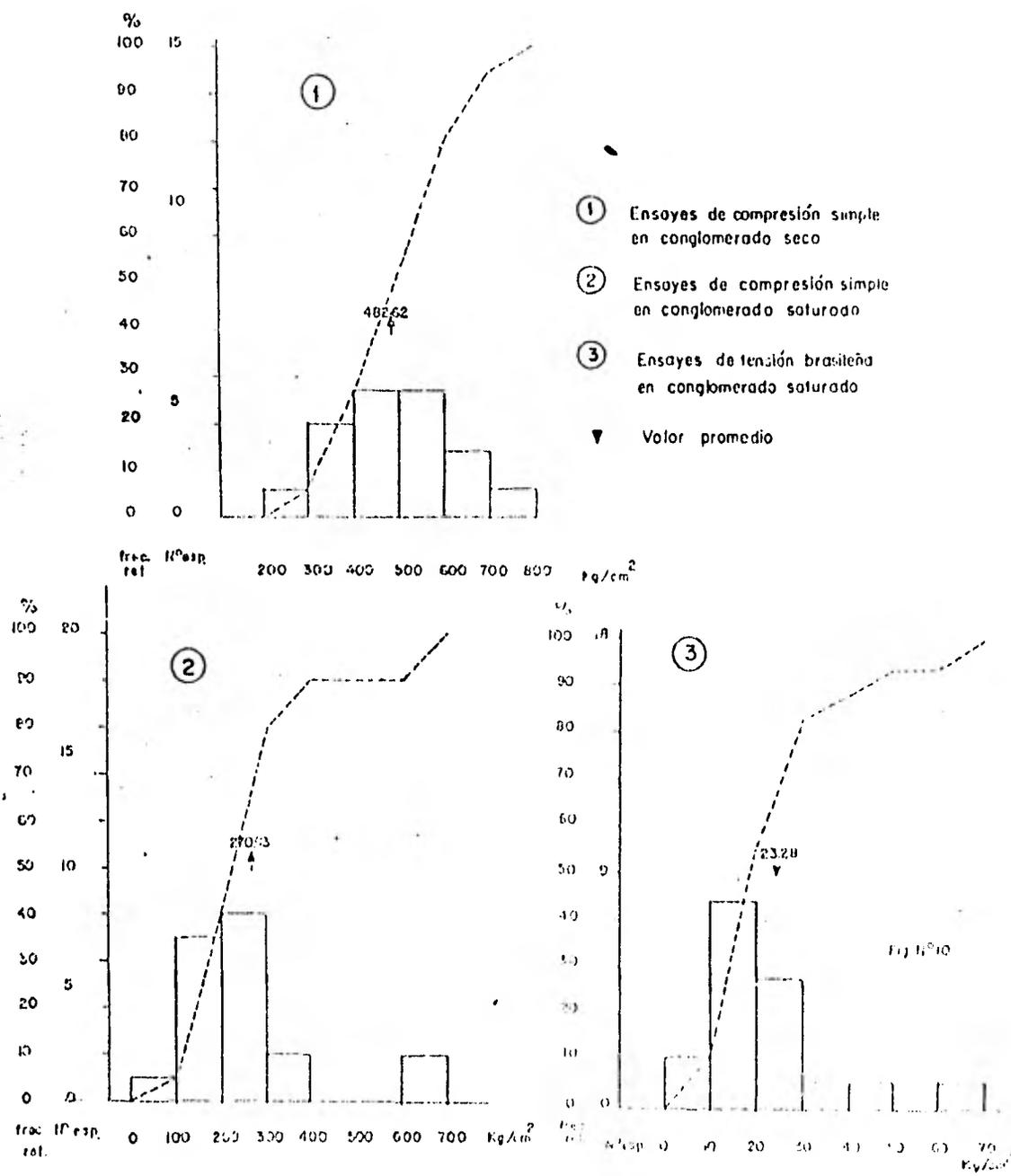
-Las propiedades índice y mecánicas del conglomerado Malpaso, (ver gráficas V.c.1 y V.c.2) obtenidas anteriormente, son muy similares a las del conglomerado Amacoite con excepción en la resistencia a la compresión simple que es de 483 y 271 Kg/cm² en humedad natural y mayor a ésta respectivamente para el conglomerado Malpaso y de 287 y 198 Kg/cm² respectivamente, para el Amacoite.

A pesar de los resultados anteriores, existió una notable diferencia en el potencial de alteración de los dos conglomerados y no en sus otras propiedades -como ya se dijo antes- siendo difícil entonces precisar el porqué de esta diferencia.

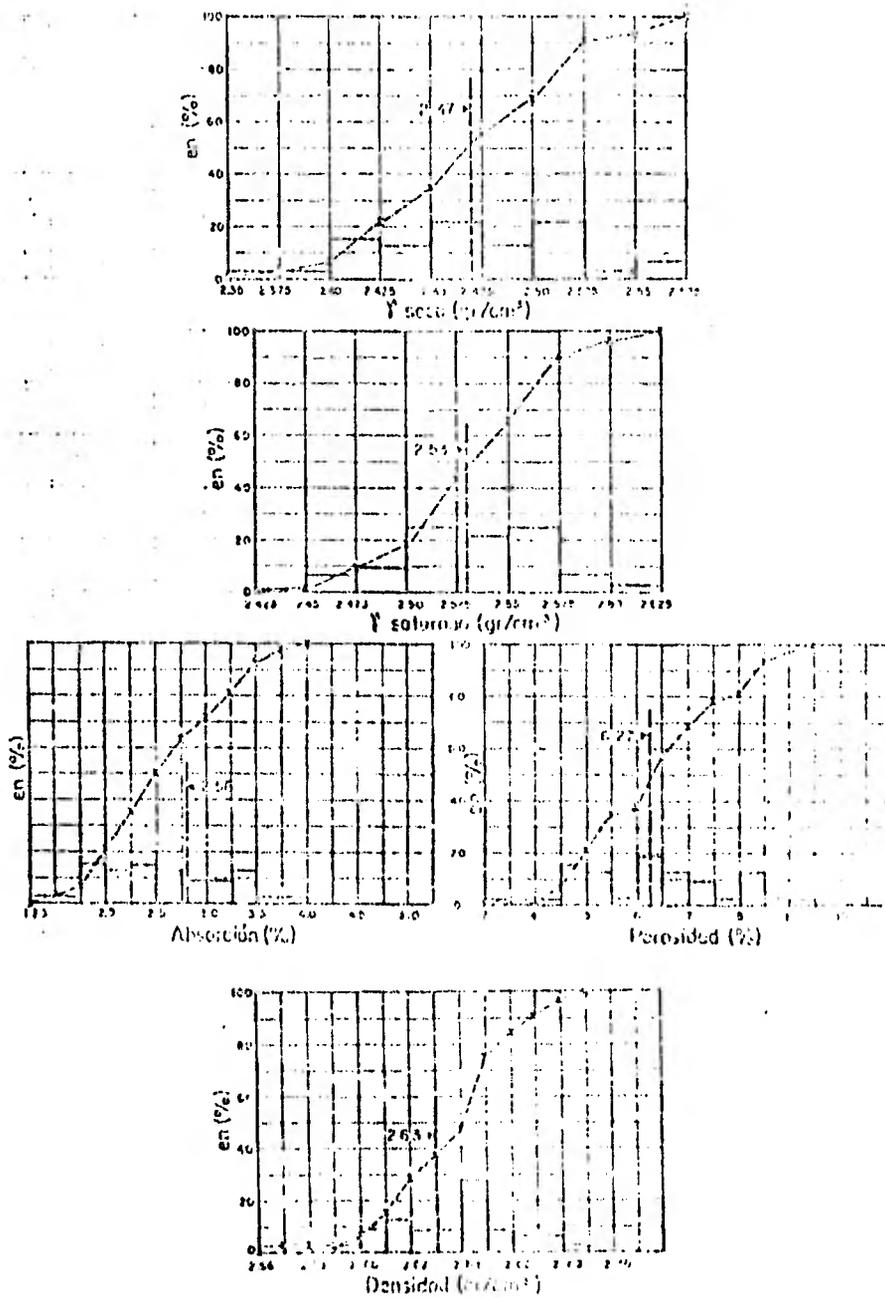
Tratando de encontrar una explicación a lo anterior, se recurrió a la petrografía. Para ello, se colectaron muestras de cada conglomerado con objeto de cortar laminillas para estudio petrográfico; debe aclararse que tales muestras se colectaron antes de los ensayos de alterabilidad. Estos ensayos se realizaron sometiendo a las muestras de roca a 5 ciclos sucesivos de secado y saturación. Cada ciclo consistió en sumergir la probeta en solución de sulfato de sodio y agua con una densidad media de 1.15 a 1.17 gr/cm³ durante 17 horas y secado en horno a 105°C durante 6 horas. Previamente a lo anterior se hicieron inicialmente una serie de 5 ciclos de secado y saturación en agua destilada (sin sulfato de sodio) con el propósito de hacer menos enérgico el proceso de intemperización.

Los resultados de estas pruebas fueron: iniciado el tercer ciclo de la prueba de intemperismo acelerado el conglomerado Amacoite sufre degradación casi total; el conglomerado de Malpaso resiste 2 ciclos más (ver fotografías).

El estudio petrográfico (anexo) de la muestra degradada re



GRAFICA V. C. I
HISTOGRAMAS Y CURVAS DE FRECUENCIA ACUMULADA, OBTENIDOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE Y BRASILENAS EN CONGLOMERADOS DEL PH MALPASO, CHIS.



GRAFICA V. C. 2
 HISTOGRAMAS Y CURVAS DE FRECUENCIA ACUMULADAS
 DE PROPIEDADES INDICE EN CONGLOMERADOS DEL
 P.H. MALPASO, CHIS.

porta una clasificación fundamental: meta arenisca (grauvaca lítica, según Pettijohn), conglomerática, con un contenido mineralógico esencial de cuarzo, fragmentos de rocas y plagioclasas. El cuarzo presenta una alineación con recristalización debido al metamorfismo. En la matriz se observan intercrecimientos aislados de cuarzo criptocristalino, el cual interrumpe la continuidad de la misma, además se observan microfisuras cementadas por cuarzo.

El estudio petrográfico (anexo) del Conglomerado Malpaso reporta:

Clasificación: Arenisca (Grauvaca lítica), conglomerática
Mineralogía esencial: Cuarzo, plagioclasas y fragmentos de roca

No existe cuarzo recristalizado, ni intercrecimiento de éste en la matriz. Se observa mayor microfisuramiento con respecto al conglomerado de Amacoite; tal microfisuramiento se encuentra cementado por clorita principalmente.

Desde el punto de vista petrográfico se establecen tres hipótesis para explicar la diferencia en el potencial de alteración de cada muestra; ellas son:

- a) El intercrecimiento aislado de cuarzo en la matriz del Conglomerado Amacoite y la recristalización del mismo, en granos mayores orientados por el metamorfismo, disminuyó la continuidad y la adhesividad de la matriz con los granos.
- b) La existencia de diferentes cantidades de arcilla contenidas en la matriz de los conglomerados.
- c) Diferencias en el tipo de mineral arcilloso contenido en las matrices de ambos conglomerados.

CONCLUSIONES

Las imperfecciones texturales de cada muestra de "conglomerado" permitieron establecer la diferencia en el potencial de alteración de los dos tipos de rocas, por lo cual se --concluye que el análisis textural de cada muestra desempeñó un papel fundamental en la solución del problema tratado.

ESTUDIO PETROGRAFICO No. _____

I.- DATOS DE CAMPO

Muestra No: Banco de enrocamiento

Colector:

Localidad: P. H. Peñitas, Chis.

Descripción del afloramiento:

II.- DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Café verdoso

Estructura Y Textura: compacta, arenosa-conglomerática

Minerales observables: fragmentos de roca

III.-DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Porfidoblástica-arenítica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Cuarzo
Fragmentos de rocas
Plagioclasas

c) Minerales secundarios:

Cuarzo
Clorita
Sericita

b) Minerales accesorios

Biotita
Circón
Pirita

d) Matriz o cementante:

Intercrecimiento de cuarzo
Clorita
Arcillas

- e) **Caracteres especiales:** Existen algunas fracturas cementadas por cuarzo y son casi perpendiculares a la foliación. Los fragmentos de roca lo constituyen las cuarcitas, rocas volcánicas (andesitas y dacitas), calizas microfossilíferas y arrecifales y lutitas carbonosas. Existe cuarzo de origen plutónico con textura granofídica

IV.- ORIGEN DE LA ROCA Sedimentario detrítico afectado por ligero metamorfismo

V.- CLASIFICACION MELFA ARENOSA (GRANULICA FINE) CONGLOMERATIVA

Fecha 11/20/10/81

José H. López de la Fuente
Petrografo

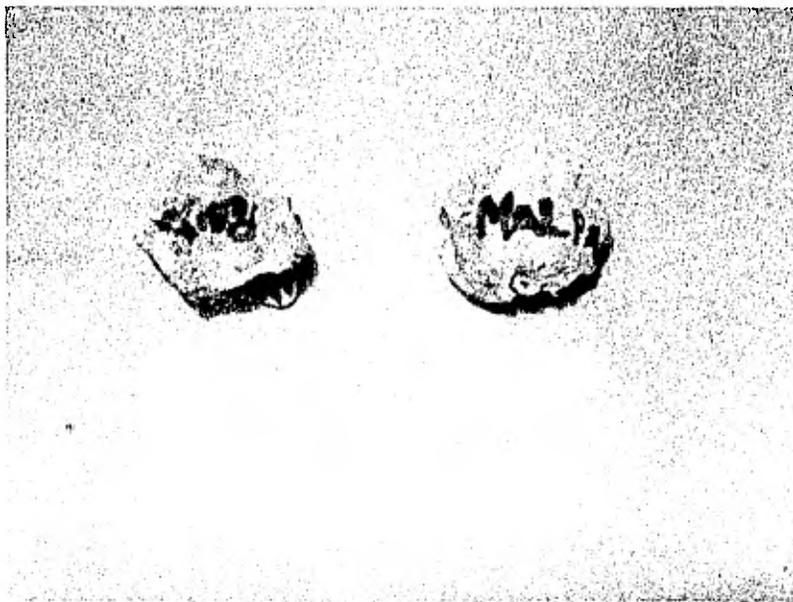


Foto No. 28

Aspecto que presentaban las muestra de los conglomerados C. Anacoite y Malpaso antes de los ensayos de interperisimo acelerado

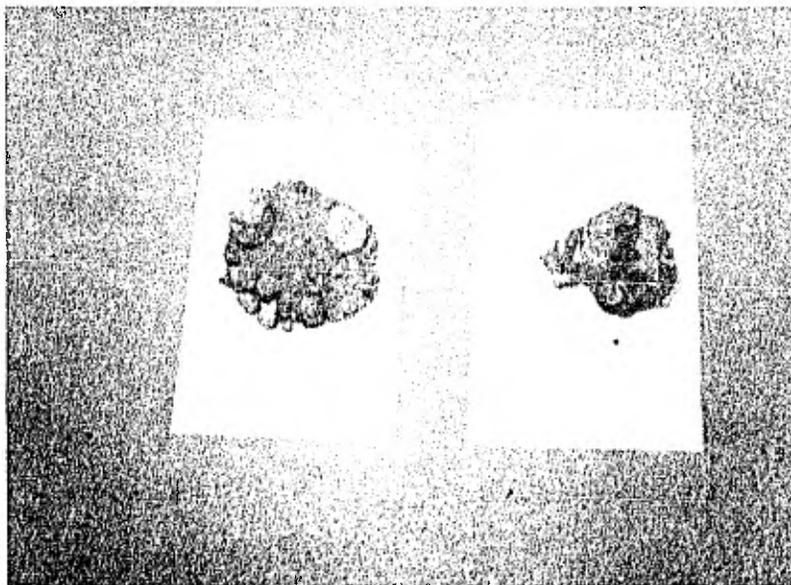


Foto No. 29

Después de iniciado el tercer ciclo de la prueba de interperisimo, los dos conglomerados presentaron este aspecto. La degradación del conglomerado C. Anacoite, como puede verse, es casi total.

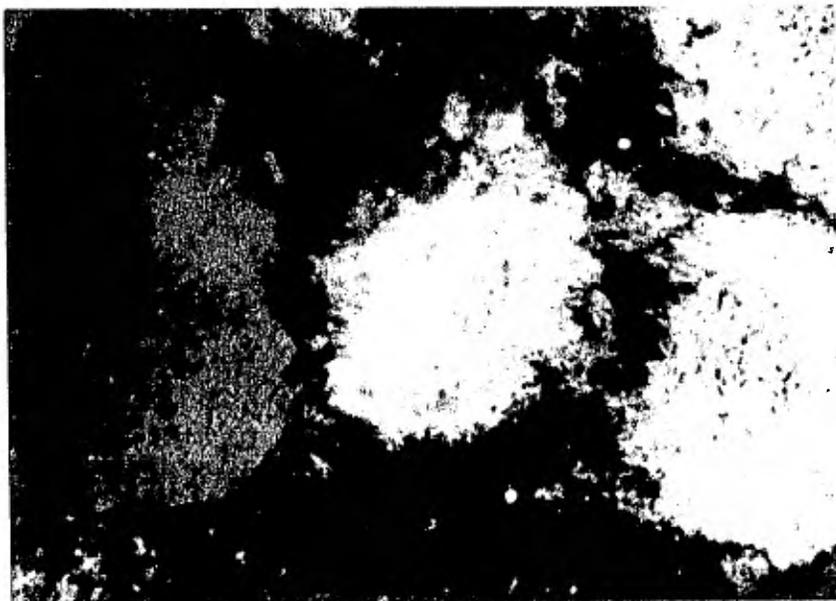


Foto No. 30 (100 X nícoles X)

Fragmentos de cuarzo alineados soportados por una matriz arcillosa con intercrecimientos aislados de cuarzo en metagrauvaca (conglomerado C. Amicoite). Obsérvese la disolución de los límites de los fragmentos.

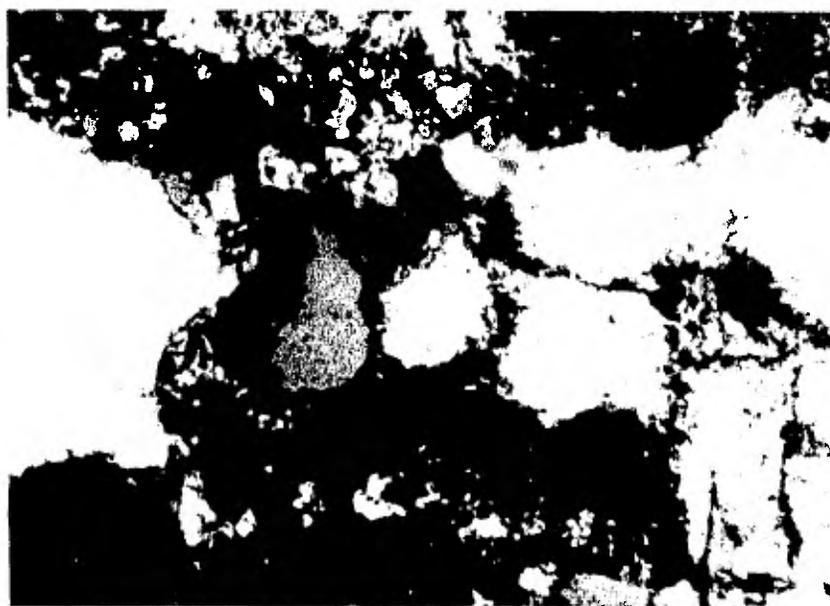


Foto No. 31 (25 X nícoles X)

Matriz arcillosa con intercrecimientos de cuarzo en meta-gravaca (Conglomerado C. Amicoite) del P. H. Peñitas, -- Chiapas. Los fragmentos de cuarzo alineados (en el centro de la foto) únicamente se encuentran soportados por la matriz arcillosa, pero ésta no actúa como buen cementante. Nótese la disolución de los límites de los granos.



Foto No. 32 (25 X nícoles X)

Fracturamiento cloritizado y parcialmente silicificado en
grauvaca ("Conglomerado" Malpaso).

VI. CONCLUSIONES

Las conclusiones generales de todo lo tratado en el presente trabajo pueden resumirse en cuatro puntos que a continuación se enumeran:

1. La petrografía determina cualitativamente las características físicas y químicas de la roca intacta que tienen relación con su comportamiento mecánico.

La utilidad de los sistemas de clasificación petrográfica en la ingeniería, radica más en el método para clasificar la roca que en la propia clasificación.

2. Al relacionar el índice de calidad petrográfico con características mecánicas importantes como lo son el módulo de elasticidad (E_t) y la resistencia a compresión simple (R_c), se está pasando de los parámetros cualitativos determinados por petrografía, a los cuantitativos que tienen aplicación real a problemas prácticos de ingeniería.

3. La aplicación de la petrografía a problemas como los del banco de enrocamiento Amacoite para la cortina del P.-II. Peñitas, representa una experiencia que puede ser de mucha utilidad en posteriores estudios para la selección de otros bancos de enrocamiento cuyas características litológicas sean semejantes a las del mencionado.

4. Este trabajo puede servir como punto de partida para otros más especializados que deban realizarse en base a un número mayor de ensayos tanto petrográficos como de mecánica de rocas. Un ejemplo de ello podría ser el establecer cuantitativamente la proporción entre el índice petrográfico y la calidad mecánica de la roca.

BIBLIOGRAFIA

1. Aires, L. y Barros "Alteracao e Alterabilidade de Rochas Igneas". Lisboa, Portugal. 1971
2. Cepeda, D. L. Apuntes inéditos de Petrología Ignea. México. 1969
3. Coates, D.F. Fundamentos de Mecánica de Rocas. Ministerio de Energía, Minas y Recursos Naturales. Canadá. 1979
4. Colegio de Ingenieros Civiles Construcciones en Roca. México. 1965
5. Dobrin, M.B. Introduction to Geophysical -- Prospecting. Third Edition. 1976
6. Goodman, E.R. Introduction to Rock Mechanics First Edition. 1980
7. Heinrich, E.Wm. Petrografía Microscópica. Departamento de Mineralogía. Universidad de Michigan. 2a.Ed.-- 1972
8. Hyndman, W.D. Petrology of igneous and metamorphic Rocks. 1972
9. Huang, W.I. Petrología. Departamento de -- Geología. Universidad de Baylor. 1968.
10. Juárez B. Rico R. Mecánica de Suelos. Tomo I. -- Fundamentos. 1963.
11. Krynine, D.P. Principios de Geología y Geotecnica para ingenieros. 1975
12. Rodríguez A. Deformación en cuarcitas en un sector de la zona Asturoccidental-Leonesa. Tesis Profesional. Oviedo. España. 1977. Inédita.
13. Turner y Verhoogen Petrología ígnea y metamórfica. 1963.

14. Williams, Turner y Gilbert Petrografía, Introducción al estudio de las rocas en secciones delgadas. 1955.
15. Winkler, G.F. Petrogenesis of Metamorphic Rocks. 1974
16. Yakonov, M.M.P. Mechanical Properties of Rocks. Academia de Ciencias de la URSS. 1969.
17. Zalesski, B.V. Physical and Mechanical Properties of Rocks. Academia de Ciencias de la URSS. 1967.