



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DESCRIPCION, CLASIFICACION
Y PROPIEDADES INGENIERILES
DE LAS ROCAS

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEOLOGO
PRESENTA
JOSE ADOLFO GAMINO OCHOA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA

Dirección
60-I-263

Señor GAMIÑO OCHOA JOSE ADOLFO.
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Prof. M.enC. Rolando de la Llata Romero, para que lo desarrolle como tesis -- para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO GEOLOGO.

"DESCRIPCION, CLASIFICACION Y PROPIEDADES INGENIERILES
DE LAS ROCAS"

- I INTRODUCCION.
- II DESCRIPCION INGENIERIL DE LAS ROCAS.
Descripción de la roca intacta.
Descripción del macizo rocoso.
- III CLASIFICACIONES INGENIERILES DE LAS ROCAS.
Clasificación de la roca intacta.
Clasificación del macizo rocoso.
- IV PROPIEDADES, INDICE Y MECANICAS DE LAS ROCAS.
- V COMENTARIOS.
BIBLIOGRAFIA.

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

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D.F., Noviembre 5 de 1984.

EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rascón Chávez

m
OARCH' MRV' gtg

C O N T E N I D O.	Pág.
1. INTRODUCCION.	7
2. DESCRIPCION INGENIERIL DE LAS ROCAS.	13
2.1 Descripción de la Roca Intacta.	15
Tipo de roca.	16
Color	16
Estructura	17
Textura	20
Cementación	23
Estado de intemperismo	23
Resistencia.	24
Modo de descripción	24
2.2 Descripción del Macizo Rocosó (discontinuidad)	25
Orientación	26
Espaciamiento	32
Persistencia	34
Rugosidad	38
Resistencia en las paredes de las discontinuidades	43
Apertura o separación	45
Relleno	47
Filtraciones	50
Número de sistemas	52
2.3 Descripción Geotécnica Básica del Macizo Rocosó (BGD)	56
Nombre de la roca	57
Espesor de las capas	58
Intercepción de fracturas	58

	Pág.
Resistencia a la compresión simple o uniaxial	58
Angulo de fricción de fracturas	59
Aplicación de la B G D.	59
3. CLASIFICACIONES INGENIERILES DE LAS ROCAS.	61
• 3.1 Clasificación de la Roca Intacta.	63
Durabilidad	71
Resistencia a la compresión simple	72
Clasificación de Coates	73
Clasificación de Deere y Miller	75
Clasificación de Franklin (índice combinado de la calidad de la roca intacta)	76
3.2 Clasificación de Macizo Rocoso.	78
Clasificación de USBM	84
Índice de calidad de la roca (R.Q.D.)	84
Factor C o Factor de fisuración	86
Índice de estabilidad de Ege	87
Clasificación de Terzaghi	88
Clasificación de Bieniawski	91
Clasificación de Barton, Lien y Lunde	98
Arabilidad	106
4. PROPIEDADES INDICE Y MECANICAS DE LAS ROCAS (TABLAS BASICAS)	111
Permeabilidad	116
Porosidad	118
Densidad	120
Resistencia	120
Propiedades dinámicas de las rocas	132

	Pág.
Propiedades eléctricas de las rocas	134
Propiedades elásticas de las rocas	135
Abrasividad	138
5. COMENTARIOS.	145
6. BIBLIOGRAFIA.	149
ANEXO (Las tablas descriptivas).	155
INDICE DE FIGURAS	183
INDICE DE LAS TABLAS DE CLASIFICACION	185
INDICE DEL ANEXO.	188

1.- INTRODUCCION

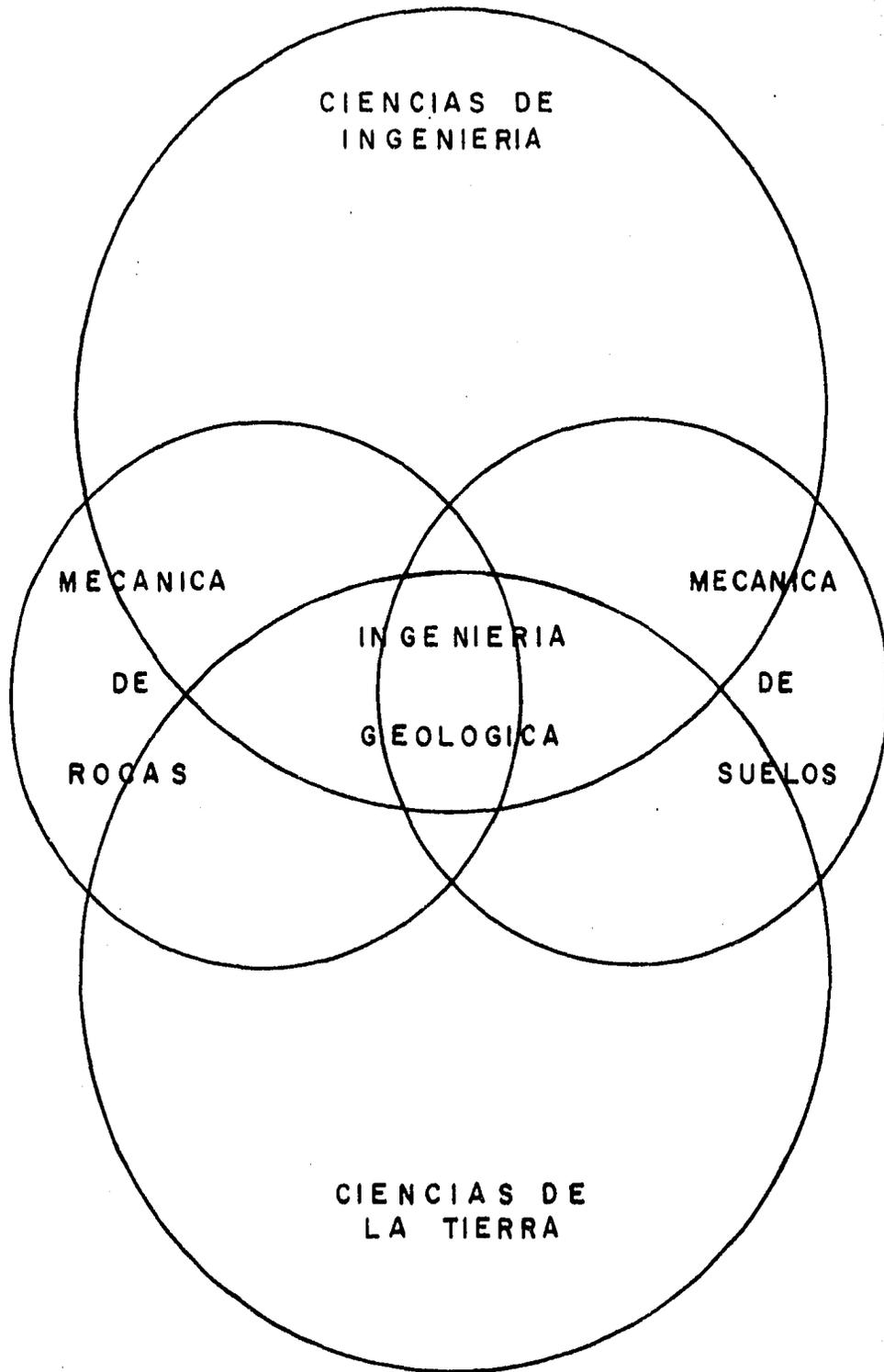
1. INTRODUCCION

La Geología aplicada a las obras de ingeniería civil forma parte - muy importante de las diferentes etapas de construcción, por lo - que es necesario elaborar a diferentes escalas de detalle los estu- dios y los levantamientos geológicos. Sin embargo, se puede consi- derar que la observación de ciertas características en los macizos rocosos y rocas blandas es aplicable en cualquier escala, como por ejemplo; la alteración, las estructuras geológicas, la presencia - del agua y, la petrología (apoyada convenientemente con estudios - petrográficos). Por otra parte, se ha llegado al extremo de ela- borar clasificaciones y descripciones de las rocas para un determi- nado tipo de obra, con lo cual aumenta la información y se puede - dar lugar a un banco de datos estadísticos y por tanto, factible - de poderse manejar con una computadora.

El presente trabajo tiene como objetivo recopilar y analizar algu- nas de las descripciones y clasificaciones, tanto de los macizos rocosos como de la roca intacta, además, concentrar en lo posible los datos necesarios de las propiedades de las rocas y que son úti- les en la ingeniería geológica. Esto, pretende también tratar de unificar la terminología para lograr una mejor comunicación entre- el Ingeniero Geólogo, el Ingeniero Civil y el Ingeniero de Minas, debido a que a todos ellos, en un momento dado, les puede intere- sar el comportamiento geomecánico de los macizos rocos, inherente a la geología aplicada a la ingeniería. Duffaut (1981), establece el carácter multidisciplinario enlazando las Ciencias de la Inge- niería y las Ciencias de la Tierra (Fig. 1.1)

En los requerimientos del aspecto multidisciplinario es necesario que las descripciones y clasificaciones de las rocas (sobre todo para el trabajo de campo) sean sencillas, de manera que puedan ser recordadas con facilidad, que aporten los datos necesarios en cuan- to al comportamiento geomecánico y sobre todo que sean aplicables a los requerimientos de la etapa de construcción en que se encuen- tre la obra. Coates (1970), hace énfasis en que este tipo de cla-

Fig. 1.1



sificaciones debe ser funcional, y que las palabras utilizadas para la comunicación entre los grupos de trabajo, deberán ser definidas, ampliamente reconocidas y relacionadas al uso de la información.

Es conveniente citar algunos antecedentes a cerca de las descripciones y clasificaciones de las rocas respecto a las necesidades de las obras de ingeniería. En primer lugar, cabe hacer destacar al Profesor Karl Terzaghi, aunque se le conoce como mecanicista de suelos, posiblemente su interés por la geología le haya permitido buscar la interpretación de los fenómenos de la naturaleza y de la confrontación con los hechos reales de campo; lo que se debe considerar en cualquier tiempo como objetivo. Una parte de su mensaje-filosófico transmitido al Profesor Leonardo Zeevaert, se refiere a que, "la geología práctica es una aliada de primera magnitud en la comprensión de los problemas de mecánica de suelos" (Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Reunión Conmemorativa, México, D.F., 9 de Diciembre de 1983); seguramente, ese mensaje se puede ampliar hacia la geotécnica.

En la descripción de la roca se tienen aportaciones un tanto aisladas, por lo cual para cubrir con su propósito es necesario que ésta siga cierta secuencia, una forma de lograrlo es utilizando el método para la descripción de la roca intacta, propuesto por la Sociedad Geológica de Londres. Para los macizos rocosos, la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) sugirió métodos para la descripción cuantitativa de discontinuidades en macizos rocosos publicados en el año de 1978. De la misma manera, otro Comité para Clasificación de Rocas y Macizos Rocosos, de la ISRM, elaboró en 1980 una Descripción Geotécnica Básica de los Macizos Rocosos. Por considerarse de utilidad, los tres tipos de descripciones se incluyen en este trabajo.

En cuanto a la clasificación de la roca la información, es más ex tensa, tanto desde el punto de vista puramente geológico como en el de las propiedades de las rocas. En lo que corresponde a la roca intacta es posible que la necesidad de clasificarla coincida en alguna forma con el surgimiento de la mecánica de rocas. Una de las aportaciones de mayor interés son las de Deere y Miller (1966) y Franklin et al (1971), los cuales se basan en la resistencia de la roca intacta; mientras que Coates (1964), hace intervenir en la clasificación tanto a la roca intacta como al macizo rocoso.

Respecto al macizo rocoso las clasificaciones tienden a particularizarse hacia las excavaciones de túneles, por ejemplo: Bierbaumer (1913) y Stini (1950); sin embargo, Deere (1966), propuso una cla sificación más general a partir de un índice de Calidad de Roca. Más recientemente y debido al auge de las excavaciones subterráneas, se pueden señalar las clasificaciones de Barton et al (1974) Bieniawski (1974-1980), entre otras.

En México los trabajos de naturaleza semejante a los objetivos de esta tesis han sido propuestos como manuales; así se tiene el Manual de Obras Civiles (Geotécnica) de la C.F.E. Por otra parte, González (1982), desarrolló una clasificación geomecánica para ex cavaciones subterráneas partiendo de los datos de superficie.

Para cumplir con los objetivos planteados anteriormente, se consi dera apropiado indicar la forma en que se presente este trabajo. Se establece la descripción de las características de la roca, de acuerdo a su origen y consecuencias singenéticas de la roca intacta y del macizo rocoso; en la primera, la información existente es tá diversificada por lo que fue necesario agrupar la más convenien te, mientras que en el segundo se obtuvo de la información concentrada en los métodos sugeridos para la estandarización de pruebas de campo y laboratorio elaborados por Comités de la Sociedad Inter nacional de Mecánica de Rocas.

En cuanto a las clasificaciones de la roca, también se separó la roca intacta del macizo rocoso. En estas clasificaciones se toma en cuenta la agrupación de aquellos caracteres que intervienen en el comportamiento de la roca intacta durante pruebas de laboratorio o campo. El orden de aparición de las clasificaciones obedece sólo a su importancia relativa.

Las propiedades índice de las rocas frecuentemente son necesarias en cálculos preliminares, de manera que se incluyen una serie de tablas de valores de propiedades para diferentes clases de rocas. Se hace hincapié que este tipo de información solo es generalizado de manera que el rango de variación de los valores puede resultar muy amplio. Las unidades utilizadas corresponden casi siempre al SI o al SMD.

Se exponen también una serie de comentarios a cerca de las descripciones y clasificaciones, tablas-resumen de los requerimientos de campo en los estudios geotécnicos y otros comentarios de aspecto general.

Finalmente, la bibliografía consultada se obtuvo de fuentes diversas como lo son: la Biblioteca del Instituto de Ingeniería de la UNAM, publicaciones de diferentes sociedades (SMMR, SMMS, AMITOS), así como bibliotecas particulares de empresas consultoras o de estudios geotécnicos.

2.- DESCRIPCION INGENIERIL DE LAS ROCAS

2. DESCRIPCION INGENIERIL DE LAS ROCAS

Se pueden establecer dos criterios descriptivos de las rocas, los cuales difieren principalmente en la magnitud o escala en que se aplican; no obstante, ambos tienen por finalidad conocer los parámetros que intervienen en el comportamiento geomecánico del macizo rocoso. Unos de estos criterios, el de menor escala, considera la descripción de la roca intacta, es decir, la que se efectúa para una muestra de roca y en la que es posible observar características tales como: estructuras menores, textura, alteración, etcétera. El otro criterio está enfocado a las discontinuidades que forman parte del macizo rocoso. De lo anterior, se considera conveniente lograr la uniformidad en la descripción de las rocas y ofrecer una interpretación más comprensible de los datos geológicos. Estas descripciones es factible hacerlas en núcleos de roca recuperados de perforaciones con máquina rotaria, muestras de mano, pequeñas obras exprofeso y, aún en la obra misma; sin embargo, no siempre es posible obtener todos los parámetros que intervienen en ellas, pero sí recopilar los más útiles con cierto orden. En este capítulo se describirán los parámetros o características más importantes de las rocas y se complementan éstos con tablas descriptivas para facilitar su determinación en el campo (ver Anexo 1)

2.1 Descripción de la Roca Intacta

Las características que pueden ser utilizadas para este tipo de descripción son: tipo de roca, color, estructura, textura, cementación, intemperismo y resistencia. La mayoría de éstas permiten conocer las condiciones de estabilidad, la cual es en gran parte, el problema a resolver o anticipar, tanto en las obras de ingeniería civil como de la minería.

Tipo de roca

Es el nombre geológico de la roca, de manera que sirve principalmente para identificarla, en él está involucrado el origen y, por otra parte, representa ciertas características estructurales, texturales e incluso algunas propiedades mecánicas, de manera que da un juicio de las condiciones existentes o problemas en general que se pudieran presentar en determinada obra. Debido a que es prácticamente la clasificación petrológica de la roca, los diferentes tipos de roca se muestran en las tablas del Capítulo 3.

Color

Es un índice cualitativo, aparentemente de escasa utilidad; sin embargo, puede dar indicios de la alteración, la composición mineral y en ocasiones es un auxiliar para la identificación de la roca. Consiste de tres componentes: color, propiamente dicho, tono y valor (claro-oscuro). En la Tabla 2.1 del Anexo 1 están presentes los términos utilizados para esta descripción. Dietrich y Skinner (1979) propusieron un índice de color basado en el porcentaje de minerales máficos en las rocas de textura fanerítica:

- Si el contenido de minerales máficos está por debajo del área clara de un campo normal y representativo de la muestra, la roca se clasifica con el adjetivo "leucocrática" ó el prefijo "leuco."
- Si el contenido de minerales máficos está por encima del campo claro de la muestra, se clasifica como "melanocrática" ó el prefijo "mela". La Tabla 2.2 del Anexo 1, ejemplifica este índice de color.

Estructura

Es el término en el que está implícita la continuidad de la roca, por tanto es perceptible en gran escala, es decir, en las macroestructuras observadas en campo. Sin embargo, en la muestra de mano es posible identificar laminación, estilolitas y vesículas; la primera representa anisotropía; la segunda discontinuidad; y la tercera, porosidad. En las tablas 2.3, 2.4 y 2.5 se presentan estructuras típicas de la clasificación genética de las rocas (ver Anexo 1). A continuación se definen brevemente algunas estructuras importantes.

- a. Estructura de las rocas ígneas volcánicas. Los procesos que conducen al grupo genético de las rocas volcánicas son: a) la efusión o derrame por la superficie terrestre de la masa magmática fundida (lava) y, b) la explosión que tiene lugar al arrojar al aire o al agua materia que puede encontrarse en estado de gas o vapor, líquida o sólida. A continuación se describen en forma breve algunas de las más comunes.
- Mantos lávicos, originados como resultado de la efusión de la lava sobre la superficie terrestre y, cuyas dimensiones en dos direcciones horizontales perpendiculares entre sí son más o menos iguales, superando al espesor en varios órdenes.
 - Coladas, se diferencia del anterior por tener en planta una forma bandeada; su longitud supera a su ancho, ostensiblemente.
 - Lavas almohadilladas, debidas a la efusión de lavas básicas en el fondo del mar o de un lago; morfológicamente se presentan como aglomeraciones de bolsas.
 - Fluidal, ocasionada cuando la lava sale a través de un conducto y adquiere una forma sinuosa con abundantes diaclasas paralelas.

- Vesicular y amigdaloidal; son el resultado de las oquedades producidas por las burbujas de los gases que contiene la lava (vesicular) y, cuando estas oquedades son rellenas, se denomina estructura amigdaloidal.
- Estructura columnar; se expresa en la fracturación del cuerpo lávico durante su solidificación y enfriamiento; es debida a la reducción de su volúmen, de manera que se manifiesta como grietas que originan disyunciones columnares o prismáticas cuya sección es generalmente hexagonal. La altura de los prismas puede tener decenas de metros, dependiente del espesor del manto lávico.

b. Estructura de las rocas ígneas plutónicas. Sus formas de emplazamiento tuvieron lugar en el interior de la corteza. Siendo los procesos genéticos que prevalecen, la penetración y la solidificación de la masa magnética. Algunas de estas estructuras se describen aquí.

- Mantos intrusivos, cuerpos magmáticos planos que se introdujeron a lo largo de ciertas superficies de estructuras, tales como juntas o estratificación de las rocas regionales.
- Diques; intrusión cuya forma es la de un cuerpo plano de espesor pequeño y longitud considerable; corta o otros planos estructurales tales como planos de junta o estratificación, planos de crucero, etc. Generalmente yace verticalmente o de manera bastante abrupta.
- Lacólitos; cuerpos intrusivos de forma lenticular que se introdujeron entre las capas y alzaron sobre sí las capas suprayacentes dándoles forma de domo.
- Batolitos; son los cuerpos intrusivos más grandes, tienen forma de cúpula, cresta o cono; en planta generalmente es ovalado.

c. Estructuras de las rocas sedimentarias. Las estructuras de las rocas sedimentarias pueden ser tanto de origen físico como químico, son procesos que actúan durante la diagénesis de los sedimentos. Aquí se resumen algunas de las más significativas.

- Estratificación; es la característica representada por una serie de cuerpos de naturaleza sedimentaria cuyas extensiones superficiales son considerables y el espesor relativamente pequeño; a estos cuerpos se les denomina capas o estratos. Aquí solo se mencionan algunas particularidades fundamentales que forman parte de la estructura interna:
- Estratificación cruzada; es una disposición de láminas transversales al plano de estratificación, en líneas rectas inclinadas ó de formas cóncavas, se efectúa por el cambio de dirección de las corrientes.
- Estratificación gradual; capas en las cuales el tamaño de los granos cambia gradualmente de grueso a fino, de la base a la cima, respectivamente.
- Laminación; puede originarse por la presencia de capas de arcilla o por paralelismo de los granos de forma plana y de ciertos minerales.
- Fisilidad; propiedad de algunas rocas arcillosas en separarse en láminas delgadas de espesor uniforme.
- Estilolitas; líneas quebradas y delgadas que se observan con más claridad en la superficie transversal del estrato; representan el resultado de la disolución durante la diagénesis, comunmente se presentan en calizas y dolomías.
- Imbricación; arreglo burdo de los clastos, donde éstos se reclinan hacia aguas abajo de una corriente.
- Depósitos masivos; se considera cuando no están definidos los estratos, de manera que su espesor es considerable
- Diapiros; están representados por los domos, compuestos de sal que se caracterizan por su elevada plasticidad y baja densidad; las formas de un compuesto plástico pueden ser muy variadas (lenteja, crestas, conos, cilindros y más comunmente hongos.)

- d. Estructuras en rocas metamórficas. Están íntimamente relacionadas a la textura, de manera que aquí solo se agrupan en tres tipos principales que son:
- Foliadas (del latín folium, hoja) son debidas al paralelismo de los minerales laminares, y según el grado de perfección de las superficies paralelas, se pueden dividir en: pizarroso (la más perfecta), esquitosa y estructura gnésica (la menos perfecta)
 - No foliadas; se refiere a rocas metamórficas generalmente masivas.
 - Cataclástica; desarrollada por la deformación mecánica producto de metamorfismo dinámico sobre rocas duras y frágiles (milonita)

Textura

Es el arreglo que existe entre los granos o minerales individuales, su grado de cristalización, forma y tamaño. Cuando se indica la orientación o un arreglo especial de los elementos de una roca, se refiere a un concepto de la textura denominado como fábrica; este concepto se podría entender como una estructura de menor escala, es decir, que en ocasiones se puede observar en una muestra de roca. Ver tablas 2.3, 2.4 y 2.5, que relacionan la textura y la estructura (Ver Anexo 1)

Grado de cristalinidad. Establece la perfección de los cristales y lo relaciona con la textura de las rocas ígneas faneríticas. En la Tabla 2.6 del Anexo 1, se muestran los términos para el desarrollo de los cristales y su descripción.

Forma. En los sedimentos y rocas sedimentarias (principalmente las de textura clásica), es necesario para la descripción indicar el grado de redondez, la cual se define como la abrasión indicada por la agudeza de las esquinas y angularidad de los fragmentos y, la esfericidad, es decir, el grado en que los fragmentos se aproxima

man al modelo de la forma de una esfera, M.C. Sowers, (1970). La Tabla 2.7 ejemplifica el término mencionado. Por otra parte, Zinn propuso cuatro tipos diferentes de forma general de los granos minerales, tal como se presentan en las rocas ígneas de texturas fanerítica o porfídica y, algunas metamórficas. Tabla 2.8 del Anexo 1.

Tamaño. En las rocas de textura clásica y en depósito piroclásticos es importante definir el tamaño de los componentes, ya que pueden ser indicativos de la porosidad y a su vez la resistencia. Las tablas 2.9 y 2.10 del Anexo 1 sugieren los límites de tamaño con su término y descripción. Tanto la textura como la estructura están estrechamente relacionadas con las propiedades físicas de las rocas (índice y mecánicas) Para los propósitos de la geología aplicada a las obras de ingeniería civil y de minado, se puede describir la textura en los términos siguientes:

- a. Textura de las rocas ígneas. Las condiciones de emplazamiento de las rocas ígneas, son determinantes en la textura resultante. En la Tabla 2.3 se presentan algunos de estos tipos de textura; enseguida se define brevemente cada una de éstas.
 - Fanerítica; se refiere a componentes minerales equigranulares observables a simple vista (grano grueso)
 - Afanítica; cuando los componentes minerales de la roca no es posible determinarlos a simple vista o con ayuda de una lente de mano (grano fino)
 - Porfídica; es el término empleado cuando existe una distribución inequigranular de los componentes minerales. Generalmente contiene una matriz afanítica.

- b. Textura de las rocas sedimentarias. Las rocas sedimentarias despliegan dos tipos diferentes de texturas: textura clástica y no clástica ó de mosaico o, interconectada. Cada uno de éstas tienen variantes que pueden ser discernidas megascópicamente.

- Textura clástica. Formada por fragmentos transportados que han sido compactados y cementados a la vez.
- Textura no clástica. La cual es aplicable a la cristalización directa de minerales de soluciones acuosas o a la re cristalización.

Los sedimentos y rocas resultantes pueden contener cualquiera o alguna combinación de los diferentes tipos de clastos. Por otra parte, la textura generalmente es descrita sobre las bases de forma y tamaño de los granos, elección de los fragmentos y cementante; también se puede utilizar el grado de cristalización como en las rocas ígneas. En la Tabla 2.4 del Anexo 1 están los términos descriptivos utilizados comúnmente.

- c. Textura de las rocas metamórficas. La forma y arreglo de los granos en las rocas metamórficas reflejan en general las causas del metamorfismo. Los adjetivos que se mencionan abajo son utilizados para describir aquellas texturas que pueden ser reconocidas durante un examen megascópico (ver Tabla 2.5)
- Cataclástica; contiene muchos granos que han sido quebrados o fragmentados, en respuesta al metamorfismo de dislocación-dinámico.
 - Cristaloblástica; indica la recristalización por presión di rigida
 - Granoblástica; caracterizada por contener granos más o menos equidimensionales.
 - Lepidoblástica; contiene una notable proporción de minerales laminares o escamas (mica o clorita) los cuales exhiben una foliación.
 - Nematoblástica; contiene una notable proporción de minerales prismáticos (anfíboles) los cuales exhiben un alineamiento preferencial.
 - Poikiloblástica; contiene megacristales con inclusiones de otros minerales.

Cementación

Es uno de los procesos diagenéticos de litificación o aglutinante de los sedimentos; se desarrolla a bajas temperaturas. Es por ello que en el caso de la mecánica de rocas es de mucha importancia la determinación del tipo y grado de cementación que presentan las rocas, principalmente las rocas sedimentarias y algunas rocas volcánicas (piroclásticas). Por otra parte, también se relaciona ampliamente con la porosidad y la permeabilidad. Los tipos más comunes de minerales cementantes son: calcita, dolomita, siderita y sílice. Las Tablas 2.11 y 2.12 indican los cementantes comunes y la calidad, respectivamente (ver Anexo 1)

Estado de intemperismo

El intemperismo es conocido también como meteorización y se entiende como un conjunto de modificaciones causadas a las rocas por los agentes atmosféricos. Este tipo de alteración generalmente disminuye las propiedades mecánicas de la roca. Cabe considerar que durante un muestreo con objetivos ingenieriles, se debe tomar en cuenta e identificar las zonas con alteración por intemperismo y no sólo dirigir el muestreo a la roca sana, con este criterio se tendrá una base de comparación en el comportamiento mecánico del macizo rocoso. Es común suponer que la meteorización afecta la parte superficial; sin embargo, en ocasiones el agua y oxígeno atmosféricos penetran a través de las discontinuidades y alteran las rocas a profundidad. Para la descripción del estado de intemperismo, se sugiere utilizar la Tabla 2.13 del Anexo 1.

Es necesario considerar que así como el intemperismo produce alteración en las rocas, ésta también puede ser ocasionada por procesos en los que no intervienen los agentes atmosféricos. De manera que estos tipos de alteración son producto de soluciones hidrotermales que afectan las rocas disminuyendo o aumentando su resis

tencia. Algunas de las alteraciones son: argilización, greisenización, propilitización, sericitización y silicificación.

Resistencia

Es necesario considerar la diferencia que existe entre la resistencia de una muestra de roca y el macizo rocoso, debido a los factores que los gobiernan. El resultado del ensaye de la roca intacta en el laboratorio, es difícil extrapolarlo cuando la roca intacta pertenece a un macizo rocoso descrito por sistemas de discontinuidades que controlan en gran medida el comportamiento y resistencia del mismo. Sin embargo, con pruebas sencillas de campo, es posible describir la dureza y correlacionarla en términos de resistencia a la compresión no confinada. En el manual de pruebas índice del Anexo 1, se proporciona la descripción adecuada a los diferentes grados de resistencia de las rocas. Para la dureza de los componentes de la roca se proponen los términos indicados en la Tabla 2.14 del Anexo 1.

Modo de descripción

Con el propósito de unificar los diferentes criterios para la descripción de las rocas intactas y por consiguiente disponer de una clasificación más significativa para los requerimientos de la ingeniería, la Sociedad Geológica de Londres, estableció que la información geológica debe cumplir con la secuencia siguiente:

- Estado de intemperismo
- Estructura
- Color
- Tamaño de los granos (partículas predominantes)
- Textura
- Estado de alteración
- Estado de cementación
- Resistencia de la roca
- Tipo de la roca

Seguramente en la mayoría de las veces no es posible obtener todos los parámetros indicados debido a que en esta secuencia no se toma en cuenta la clasificación de la roca basada en su origen.

2.2 Descripción del Macizo Rocoso

Es posible que resulte obvio entender ¿qué es un macizo rocoso? - sin embargo, se debe considerar que en él, está involucrada la li tología y sus condiciones de alteración, así como sus estructuras geológicas. De lo anterior, se puede establecer que la unidad li tológica o en ocasiones la formación geológica representan en sí al macizo rocoso. Considerando las características que lo definen y que éstas controlan su comportamiento geomecánico, se apoya la conveniencia de formar este apartado con los métodos para la descripción cuantitativa del macizo rocoso, haciendo hincapié que el objetivo es la normalización de la descripción de campo. El apartado, está basado en los métodos elaborados por el Comité para la normalización de pruebas de campo y laboratorio, de la Sociedad In ternacional de Mecánica de Rocas.

El primer término que el mismo Comité sugiere es el de "discontinuidad", es decir, el que da lugar a las características generales de los planos de debilidad (discontinuidad mecánica) de la masa ro cosa, en los cuales, la resistencia a la tensión y al esfuerzo cor tante es baja e incluso nula. Dentro de estos planos de debilidad o discontinuidades (estructuras geológicas), quedan comprendidos; los planos de estratificación, juntas, fallas, fracturas, contactos litológicos, discordancias, foliación, esquistosidad, etc. Por lo tanto, se deduce que el comportamiento mecánico de un macizo rocoso está en función principalmente de las discontinuidades que contiene. De manera que, la descripción se enfoca a ésta, haciendo destacar los parámetros siguientes:

- orientación
- espaciamiento
- persistencia

- rugosidad
- resistencia de las paredes en las discontinuidades
- abertura
- relleno
- filtraciones
- número de sistemas de discontinuidad
- tamaño de los bloques

A continuación se presenta en forma resumida, la definición de cada uno de los parámetros que intervienen, así como su utilidad y el procedimiento de obtención y, en ocasiones, la presentación de resultados. En el Anexo 1 se agrupan las tablas que complementan la descripción de discontinuidades.

Orientación

Es la posición de la discontinuidad en el espacio. Está descrita por la dirección del buzamiento de la línea de máxima pendiente - contenida en el plano de la discontinuidad y por el ángulo que forma esta línea respecto a un plano horizontal; implícitamente el rumbo de la discontinuidad es perpendicular a la dirección de la línea del buzamiento o echado verdadero del plano

Se conocen dos métodos para obtener la orientación de las discontinuidades; el primero es fotogramétrico, en el se determinan las coordenadas de por lo menos cuatro puntos de cada plano de discontinuidad, de manera que el plano debe ser extenso, puesto que la exactitud disminuye si el área del plano decrece. Este método es económico sólo si se requiere de la orientación de un gran número de discontinuidades. Sin embargo, la fotogrametría puede ser la única alternativa en el caso de un frente relevante de roca en la vecindad de anomalías magnéticas o, si el frente es inestable y/o inaccesible. El segundo método es el de la brújula y clinómetro; debido a su utilidad, se considera este método un poco más ampliamente.

Alcances

- a. La orientación de las discontinuidades relativas a una estructura geológica indica a grandes rasgos la posibilidad de las condiciones de inestabilidad; la importancia de la orientación se incrementa cuando están presentes otras condiciones que intervienen en la deformación, tales como baja resistencia al esfuerzo cortante y un número suficiente de sistema de discontinuidades que propicien el deslizamiento.
- b. La orientación recíproca de discontinuidades determina la forma de los bloques individuales y los sistemas de discontinuidades comprendidos en el macizo rocoso.

Procedimiento (se menciona sólo el método de brújula y clinómetro)

- a. El azimut del buzamiento (dirección del buzamiento) es medido con la brújula en grados contados a partir del norte verdadero y se expresa con tres dígitos (000° - 360°) También se puede utilizar el echado del plano que contiene la línea de máxima pendiente respecto a los puntos cardinales.
- b. La inclinación (buzamiento, echado) del plano de discontinuidades es medido con el clinómetro con respecto al plano horizontal y debe expresarse en grados con dos dígitos (00° - 90°)
- c. Para anotar estos datos se utilizan las formas siguientes: dirección del buzamiento/inclinación (en forma azimutal o por cuadrantes) $045^{\circ}/20^{\circ}$. $N45^{\circ}E/20^{\circ}$; $210^{\circ}/35^{\circ}$, $S30^{\circ}W/35^{\circ}$

Presentación de los resultados

Existen formas muy variadas para indicar las discontinuidades, tales como, bloques diagramáticos (Fig. 2.1 .), rosetas de juntas (Fig. 2.2), proyecciones esteográficas (Fig. 2.3 y 2.4) y, símbo-

bolos de rumbo y echado. En el Manual de Obras Civiles de la C.F. E. se muestra una serie de símbolos de discontinuidades, los cuales son necesarios para el mapeo geológico; en la figura 2:5 se incluyen dichos símbolos.

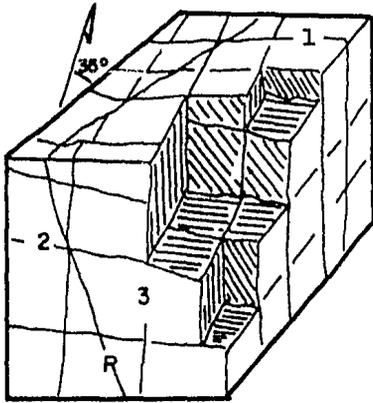


Fig. 2.1.

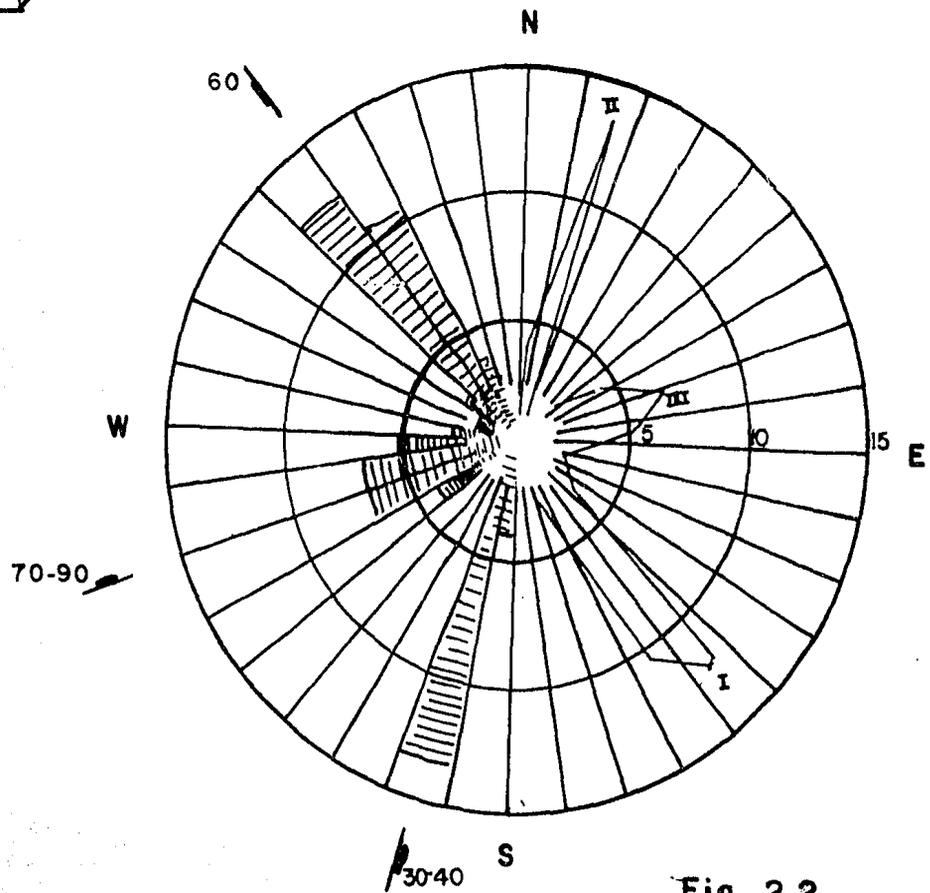


Fig. 2.2

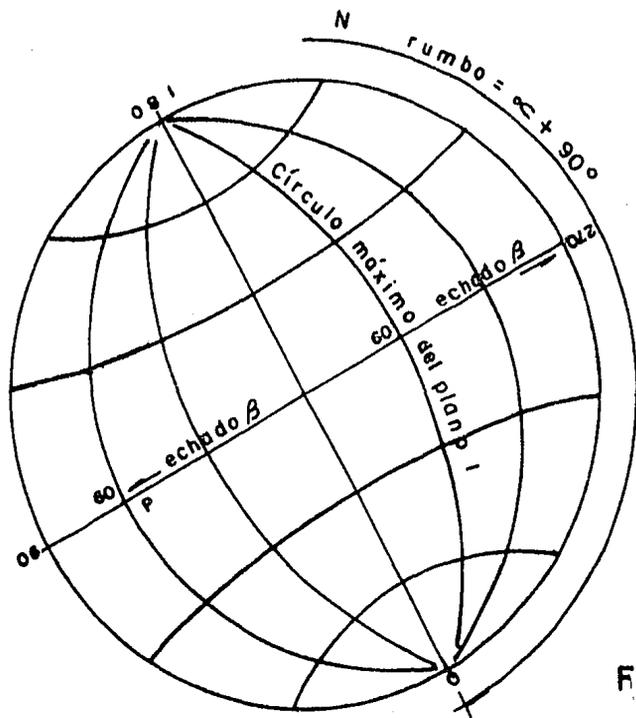


Fig. 2.3

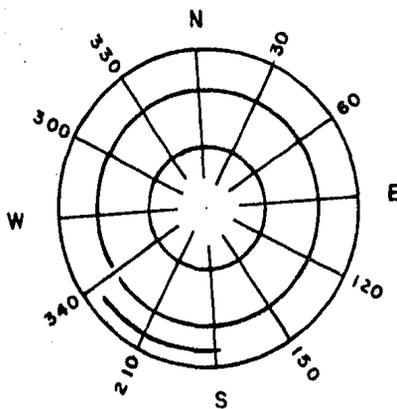
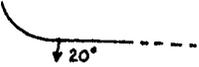
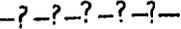
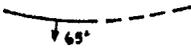
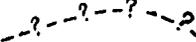
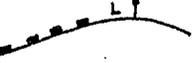
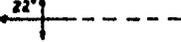
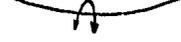
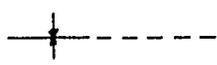


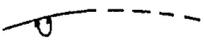
Fig. 2.4

FIG. 2.5 Simbología para discontinuidades comunes

	Contacto. mostrando el echado. Discontinuo donde es <u>in</u> ferido
	Contacto. localización incierta
	Contacto de gradación
	Contacto oculto
	Falla , mostrando rumbo a intensidad del echado.
	Falla, existencia incierta
	Falla oculta
	Falla normal mostrando el echado, el flanco estriado <u>so</u> bre la parte hundida
	Falla inversa o de deslizamiento, mostrando el echado: L Parte deslizada hacia arriba. Los rectángulos en el lado elevado, la fecha indica dirección de falla 45°
	Zona de corrimiento con expresión del echado general
	Eje de anticlinal. Muestra el rumbo del plano axial y - su buzamiento. Línea discontinua donde no está localizado con precisión.
	Eje anticlinal recumbente, indicando la dirección de -- echado de sus flancos.



Eje de sinclinal, con línea interrumpida donde no está localizado con precisión



Eje de sinclinal recumbente, indicando la dirección del echado de sus flancos



Domo



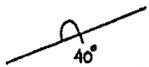
Depresión



Rumbo y echado de capas



Rumbo de capas verticales



Rumbo y echado de capas recumbentes



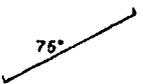
Rumbo de capas horizontales



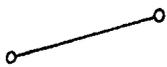
Rumbo y echado de juntas



Rumbo de juntas horizontales



Rumbo y echado de planos de fractura o exfoliación y lajeamiento



Rumbo de planos verticales de fractura y exfoliación y lajeamiento



Rumbo de planos horizontales de fractura o exfoliación y lajeamiento



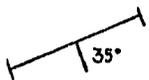
Rumbo y echado de foliación de gneis o de esquisto



Rumbo de foliación vertical de gneis o de esquisto



Rumbo de foliación horizontal de gneis o de esquisto



Diques con expresión del echado

Espaciamiento

Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes; - normalmente se refiere al espaciamiento principal o modal de una - familia de juntas.

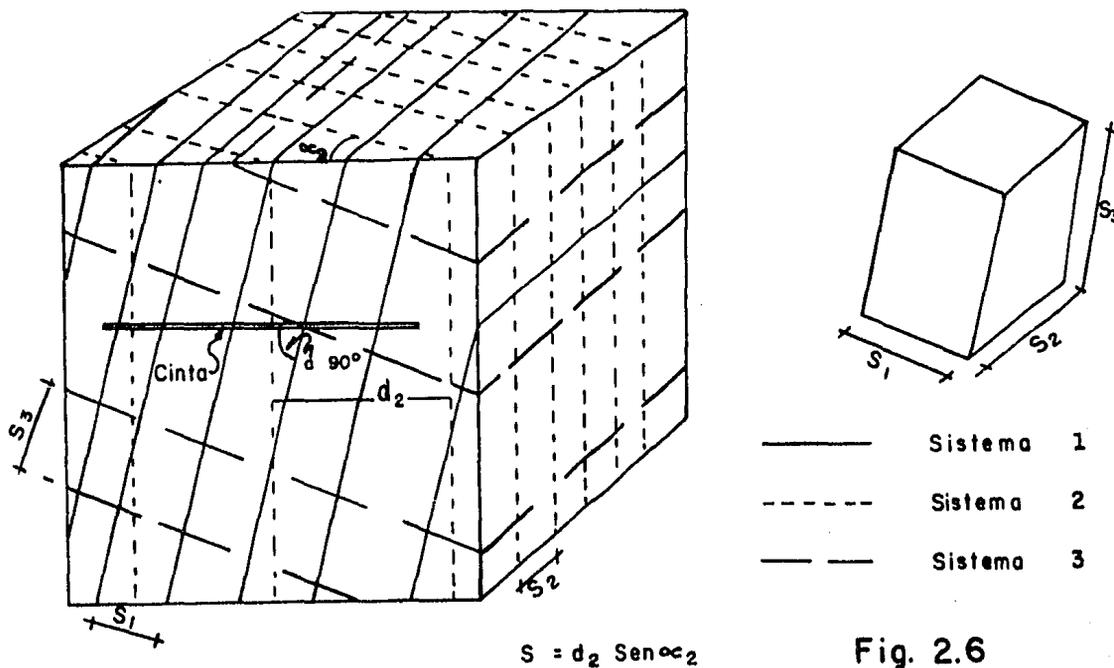
Alcances

- a. Generalmente controla el tamaño de bloques individuales de la roca intacta. Varios sistemas de espaciamientos muy cerrado - tienden a dar condiciones de baja cohesión de masas, mientras - que los sistemas ampliamente espaciados producen comúnmente con - diciones de interconexión.
- b. En casos excepcionales un espaciamiento cerrado puede cambiar - el modo de falla de una masa rocosa, de transicional a circular - o hasta de flujo.
- c. La importancia del espaciamiento se incrementa cuando están pre - sentes otras condiciones de deformación, como una baja resisten - cia al esfuerzo cortante y un suficiente número de discontinui - dades para que ocurra el deslizamiento.
- d. El espaciamiento de discontinuidades individuales y sistemas - asociados tienen una fuerte influencia sobre las característi - cas de permeabilidad y filtraciones. En general la conductivi - dad hidráulica de cualquier sistema será inversamente proporcio - nal al espaciamiento, si la abertura individual de las juntas - son comparables.

Procedimiento

- a. Siempre que sea posible, la cinta para medir el espaciamiento - deberá ser colocada de manera que la traza de la superficie del sistema de discontinuidad sea perpendicular a la cinta.

- b. Todas las distancias entre discontinuidades adyacentes deberán ser medidas y anotadas en una longitud de muestreo mayor de 3m. Esta longitud deberá ser preferentemente mayor a diez veces el espaciamiento estimado.
- c. El ángulo más pequeño (α) entre la cinta y el sistema de juntas observado será medido con una aproximación de 5° (Fig.2.6)
- d. El espaciamiento común (modal) es calculado de la ecuación $S = dm \text{ sen } \alpha$; dm es la distancia común o modal

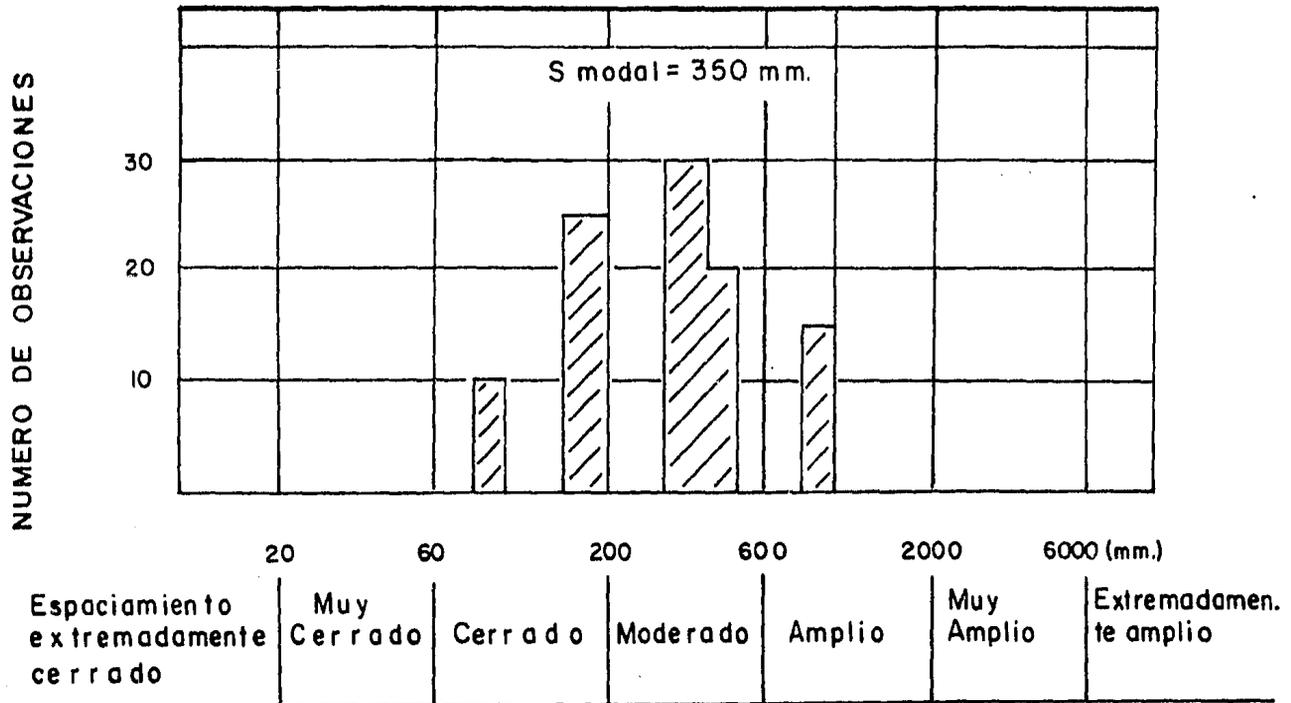


Presentación de resultados

- a. El espaciamiento mínimo, modal y máximo, S (mín) y S (máx) se rán anotados para cada sistema de discontinuidad. La distribución puede ser representada con histogramas, uno para cada sistema (Fig. 2.7). También, se puede utilizar la descripción de la Tabla 2.15 del Anexo 1.

Fig. 2.7

HISTOGRAMA DE FRECUENCIA

Persistencia

Es la traza longitudinal de una discontinuidad tal y como es observada en un afloramiento; puede dar una idea de la dimensión aproximada del área o longitud de penetración de la discontinuidad.

Alcances

- La persistencia implica la extensión en área o tamaño de una discontinuidad dentro de un plano. Puede ser burdamente cuantificada por la medida de la longitud de la traza de la discontinuidad en la superficie del afloramiento. Es uno de los parámetros más importantes del macizo rocoso y de los más difíciles de cuantificar.
- Las discontinuidades del sistema principal se consideran frecuentemente como las de mayor continuidad que las de los otros sistemas. Por consiguiente la persistencia del sistema menor -

tenderá a terminar en las fracturas primarias o en la roca.

- c. En el caso de taludes y cimentación de presas, es de gran importancia tratar de asignar el grado de persistencia de las discontinuidades que están orientadas desfavorablemente para la estabilidad. También es necesario considerar la persistencia en el desarrollo de fracturas de tensión localizadas de trás de la cima de un corte.
- d. En los túneles, la falla en primera instancia puede ser local y, además de la persistencia a través de un número limitado de bloques se requiere de otras condiciones compatibles con la falla; por ejemplo, la existencia de superficies lisas, rellenos arcillosos o por lo menos tres sistemas de discontinuidad.
- e. Frecuentemente los afloramientos son pequeños comparados con el área o longitud de las discontinuidades persistentes, por lo cual la persistencia real puede ser sólo sugerida o inferida.

Procedimientos

- a. En los afloramientos de roca o en superficies limitadas, deberá indicarse la persistencia relativa de los diferentes sistemas de discontinuidades (Tabla 2.16) Los sistemas pueden ser descritos por los términos persistente, sub-persistente y no persistente (Fig. 2.8)
- b. En cada discontinuidad se deberá medir su longitud en la dirección del buzamiento y en la dirección del rumbo. Esto puede ser imposible en el caso de afloramientos planos limitados. Sin embargo, en el caso de grandes exposiciones tridimensionales, tales como excavaciones a cielo abierto, en bermas, o excavaciones subterráneas con intersección de túneles, se pueden obtener historgramas de frecuencia para cada sistema de discon

tinuidad identificado. Las longitudes de la traza modal medida para cada sistema de discontinuidades se puede describir de -- acuerdo a la Tabla 2.17 del Anexo 1.

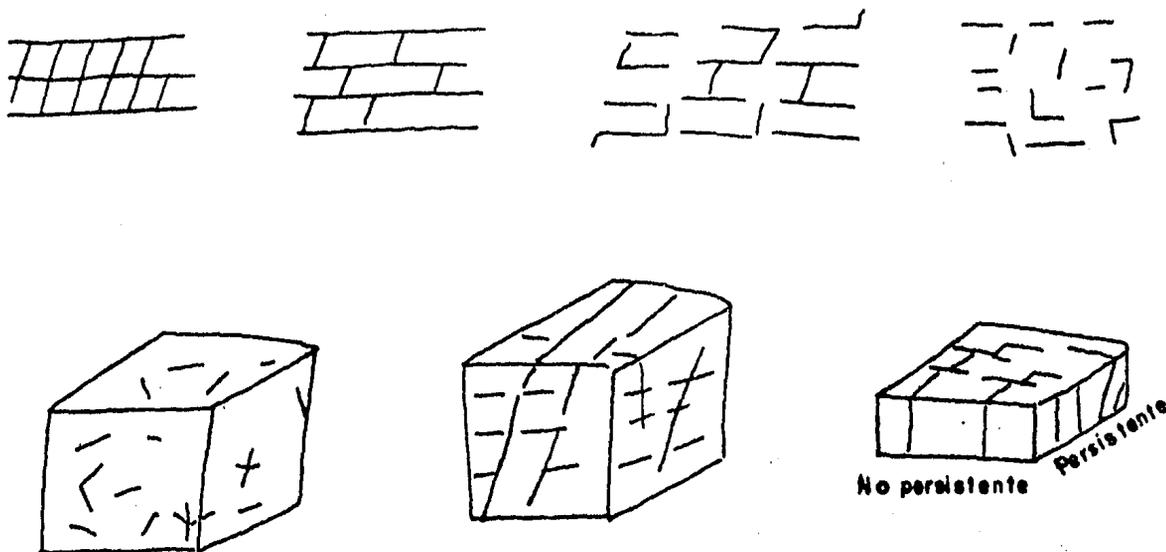


Fig. 2.8 Esquema de campo para indicar la persistencia relativa

- c. Una manera útil para la cartografía de las longitudes de las discontinuidades es anotar el tipo de terminación de acuerdo al esquema siguiente:
- discontinuidad extendida fuera de la superficie de exposición (x)
 - discontinuidad que termina en roca dentro de la superficie de exposición (r)
 - discontinuidad que termina en otra discontinuidad (d)

Una familia sistemática de discontinuidades con una alta marca en (x) es de mayor persistencia que una familia sub-sistemática con marcas predominantes en (d). Discontinuidades no-sistemáticas tenderán a tener muchos valores en (r)

- d. Los datos de terminación (x, r o d) deben ser anotados para cada extremo de las discontinuidades relevantes, junto con la longitud en metros (ejemplo: 8(dx) = discontinuidad de 8 metros; - un extremo termina contra otra discontinuidad y el otro no se determina por extenderse fuera de los límites de exposición). Es importante especificar las dimensiones de exposición o afloramiento sobre los que se efectuaron las mediciones; ésto, obviamente influenciará el número de observaciones (x) y la longitud relevante.

Presentación de resultados

- a. Los diferentes sistemas se deben describir como sistemáticos, sub-sistemáticos y no-sistemáticos, de acuerdo a su persistencia relativa y pueden ser representados en bloques diagramáticos o fotografías
- b. Donde las exposiciones de discontinuidad sean de tamaño conveniente, se puede elaborar un histograma con la resistencia de las longitudes de las trazas de cada sistema de discontinuidad, ésto es necesario si subsecuentemente se aplicarán teorías de probabilidad de las cuales se debe anotar la longitud principal, tanto en la dirección del rumbo como del echado.
- c. Los datos de terminación de cada discontinuidad observada (por ejemplo, 8dx), deben ser presentados con el índice de terminación (Tr), el cual se define como el porcentaje de las discontinuidades que terminan en roca ($\leq r$) en relación con el número total de terminación ($\leq r + \leq d + \leq x$); ésto se multiplica por dos, puesto que cada traza tiene dos terminaciones:

$$Tr = \frac{(\sum r) \cdot 100}{N^{\circ} \text{ de discontinuidades observadas}} \%$$

Rugosidad

Se refiere a la rugosidad y ondulación que presenta la superficie del plano principal de una discontinuidad, la cual contribuye a disminuir ó aumentar la resistencia al esfuerzo cortante.

Alcances

- a. La rugosidad de las paredes de una discontinuidad es una componente potencialmente importante para el esfuerzo cortante, en especial cuando las fracturas están interconectadas (juntas sin relleno) o sin desplazamiento. Su importancia declina con la abertura, espesor del relleno o cualquier incremento en el desplazamiento previo.
- b. En general, el término de rugosidad de las paredes de una discontinuidad puede ser caracterizado por una ondularidad (que puede alterar localmente el echado) y por rugosidad propiamente dicha (de pequeña escala y que puede ser dañada durante el desplazamiento de corte.)
- c. En la práctica, las ondularidades afectan la dirección inicial del desplazamiento de cortante relativo al plano de discontinuidad principal, mientras que, la irregularidad afecta al esfuerzo cortante; normalmente éste es probado en un laboratorio ó en pruebas directas de corte in situ.
- d. Si se conoce la dirección del desplazamiento potencial, la rugosidad puede ser obtenida de perfiles lineales paralelos a esa dirección. En muchos casos, la dirección relevante es paralela al echado o buzamiento. En el caso en que el deslizamiento sea provocado por la intersección de dos discontinuidades, la dirección potencial de deslizamiento es paralela a la línea de intersección de los planos.

- e. Si la dirección potencial de deslizamiento es desconocida pero sin embargo de importancia, la rugosidad debe ser obtenida en tres direcciones en lugar de una o dos.

Procedimiento. Para definir la rugosidad de las superficies de discontinuidad es posible hacerlo con métodos indirectos y directos; el primero, por medio de la fotogrametría; en el segundo, con un disco-clinómetro o, un perfil lineal. En seguida se describen brevemente estos procedimientos:

- a. El método fotogramétrico. Se basa en la fotogrametría terrestre, con él se pueden obtener las coordenadas de numerosos puntos de rugosidad sobre superficies de discontinuidades inaccesibles. De estos datos es posible elaborar contornos o perfiles de rugosidad. El intervalo mínimo de contornos dependerá de la distancia de la cámara fotográfica a la superficie en cuestión. En algunos casos se podrán efectuar intervalos de 1 mm, siendo los más comunes de 10 y 50 mm. Estos perfiles deben ser considerados en la dirección potencial del deslizamiento.
- b. Disco-clinómetro con brújula. Para utilizar este método es importante que las discontinuidades sean accesibles y se considere el sitio donde puede ocurrir la falla por cortante. Las mediciones de las superficies de rugosidad se pueden efectuar con discos de diámetro diferentes (Fig. 2.9); una base cuyo diámetro es pequeño dará valores altos de ángulo de rugosidad efectiva; mientras que, bases de gran diámetro proporcionarán ángulos menores. En la Fig. 2.10 se complementa el procedimiento y a la vez se da una forma de representar los resultados de este método.
- c. Perfil lineal. En este método también es necesario seleccionar las superficies accesibles y relacionadas a falla por esfuerzo-cortante. Dependiendo de las dimensiones del plano de disconti

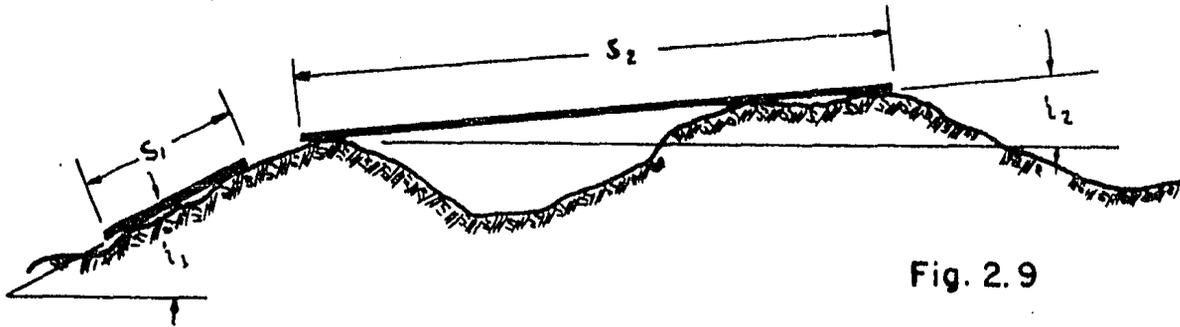
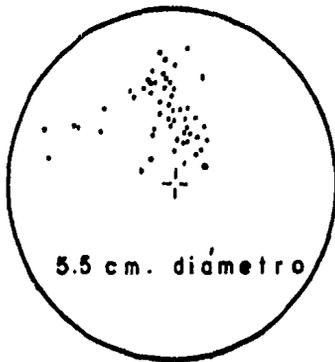
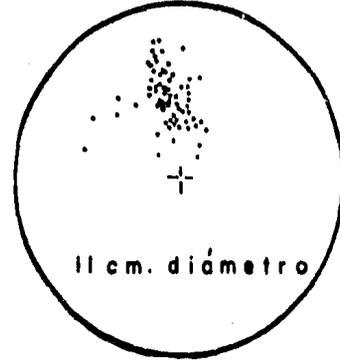
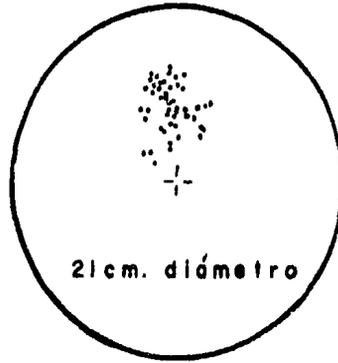
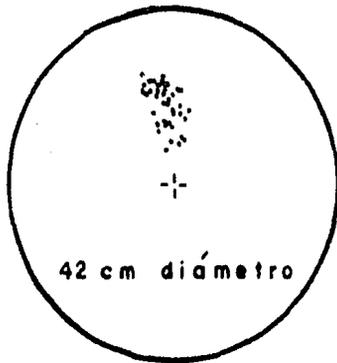


Fig. 2.9



Polos en diagramas estereográficos de igual área representan la rugosidad de una superficie de roca utilizando discos de diámetros diferentes. El echado promedio del plano es de 35° y su dirección de 170°

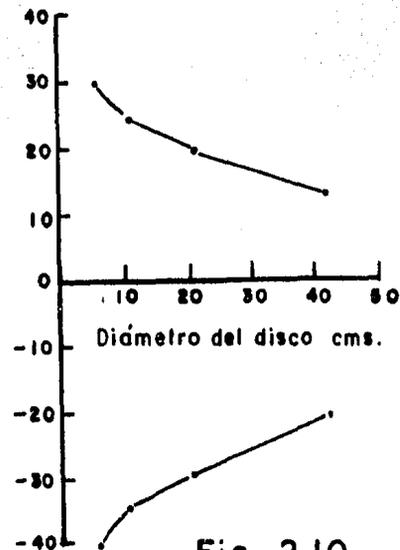
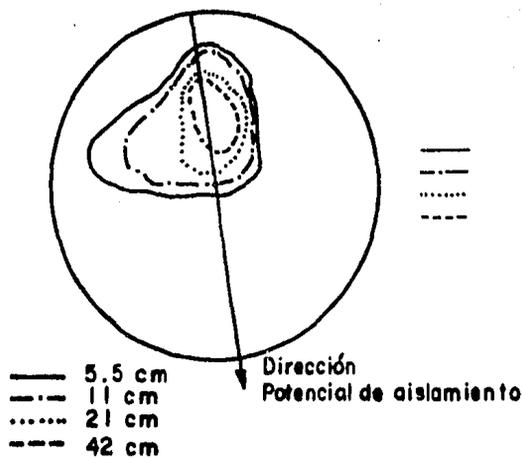


Fig. 2.10

Contornos de dispersión máxima para diferentes diámetros de disco y gráfica de ángulos de rugosidad efectiva (i) a lo largo de la dirección de desplazamiento potencial. Ejemplo: adaptado de Ficker y Rengers

nuidad, se puede utilizar una regla plegable de 2 m ó 10 m, colocándola extendida por encima del plano de discontinuidad, paralelamente a la dirección principal de deslizamiento potencial. Por conveniencia deberán referirse a un plano los puntos más altos de la discontinuidad y éstos deberán, dentro de lo posible, estar alineados. (Fig. 2.11). La distancia perpendicular (y) de la regla a la superficie de discontinuidad será anotada con una aproximación de un milímetro, para las distancias tangenciales (x) es aconsejable ser flexible en la elección puesto que en un intervalo regular puede resultar que no se detecte un pequeño borde o cualquier otra forma similar de importancia potencial para el esfuerzo cortante. Con un promedio de intervalo de (x), aproximadamente igual al 2% del total de la longitud medida, es suficiente para proporcionar un buen resultado de la rugosidad.

Las lecturas de (x) y de (y) se anotan paralelamente a las medidias del rumbo y echado. Estas, pueden ser diferentes de la orientación α/A de la discontinuidad. Dependiendo del detalle requerido, los perfiles lineales pueden obtenerse de un sistema completo de discontinuidad, o bien de una discontinuidad crítica en particular. Si el perfil lineal es tan corto que la ondularidad no fue obtenida a la vez de la rugosidad, el ángulo (i) de la ondulación ilustrado en la Fig. 2.12 deberá ser obtenido utilizando el borde recto del clinómetro; además se deberá obtener la longitud y amplitud de la ondulación

En las etapas preliminares de la cartografía (durante los estudios de factibilidad), la descripción de la rugosidad puede ser limitada a términos descriptivos, los cuales están basados en dos clases de observaciones: a) pequeña escala, en varios centímetros; b) escala mayor, en varios metros. En la tabla 2.18 del Anexo 1 se presentan estos términos

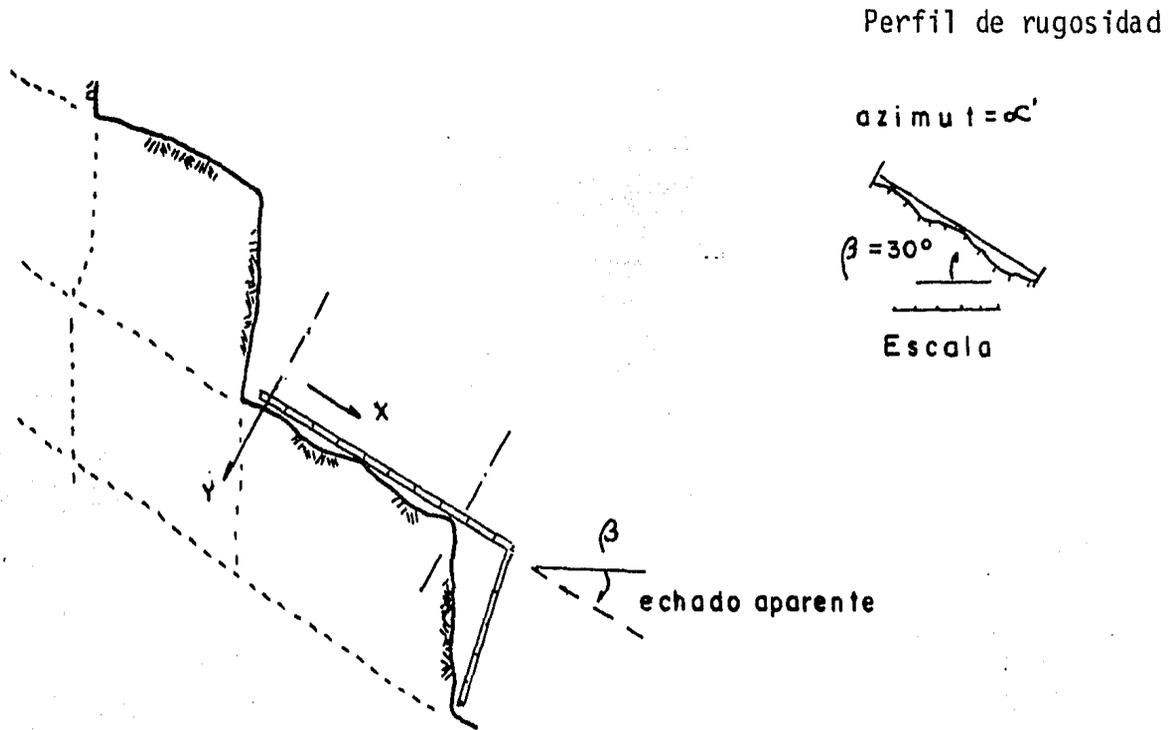


Fig. 2.11 Determinación de la rugosidad a lo largo de la dirección potencial de deslizamiento

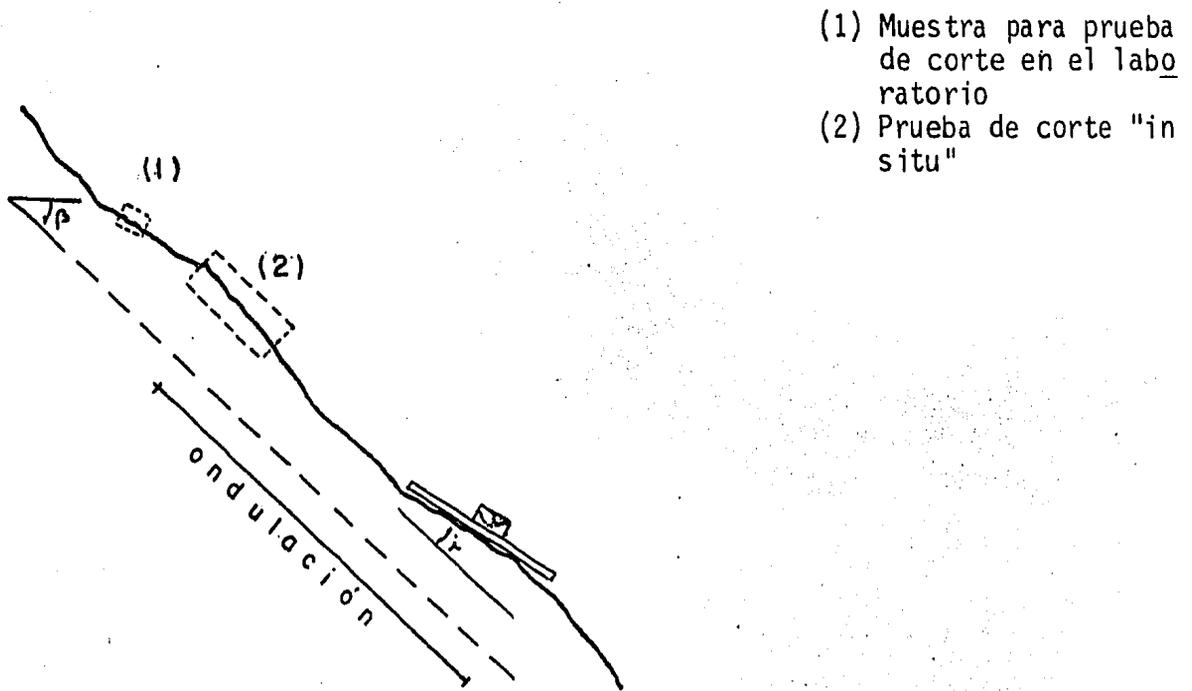


Fig. 2.12 Diferentes escalas de rugosidad en discontinuidades. La ondularidad puede ser caracterizada por el ángulo (i)

Resistencia en las paredes de las discontinuidades.

Equivale a la resistencia a la compresión de las paredes adyacentes en una discontinuidad. Esta resistencia puede ser menor que la resistencia del bloque de la roca debido a la meteorización ó alteración de las paredes. Si las paredes de la roca están en contacto la resistencia a la compresión es un componente importante del esfuerzo cortante.

Alcances

- a. La resistencia a la compresión de las paredes de una discontinuidad es una componente importante del esfuerzo cortante y de deformabilidad, especialmente si las paredes están en contacto, - como es el caso de juntas sin relleno.
- b. Los macizos rocosos generalmente están meteorizados cerca de la superficie, y en ocasiones están alterados por procesos hidro - termales. La meteorización (y alteración) generalmente afecta las paredes de las discontinuidades más que al interior de la masa rocosa. Una descripción del estado de meteorización tanto del macizo rocoso como de la roca intacta es esencial para la descripción de la resistencia a la compresión de la pared de la discontinuidad.
- c. Son dos los resultados de la meteorización: Uno denominado por desintegración mecánica y el otro por la descomposición química incluyendo la disolución. Generalmente ambos efectos actúan - juntos, pero depende del régimen climatológico que uno de éstos pueda predominar.
- d. La capa relativamente delgada de la pared de la discontinuidad en la roca afecta el esfuerzo cortante y a la deformabilidad, - puede ser detectada por una simple prueba índice. La resistencia a la compresión simple se estima cualitativamente en el cam

po con pruebas de impacto con el martillo de Schmidt o el martillo de geólogo.

- e. El contenido de determinado tipo de minerales o alteración de éstos, afecta la resistencia al esfuerzo cortante de las discontinuidades en forma intensa si las paredes son planas y lisas, por lo que el tipo de minerales contenidos entre estas deberá ser descrito cuando sea posible.

Procedimientos

- a. Grado de meteorización del macizo rocoso. Se sugiere utilizarlos mismos términos para la descripción de la roca intacta. No obstante que se pueden modificar para situaciones particulares. (Tabla 2.13, Anexo 1)
- b. Manual de pruebas. En la Tabla 2.19 del Anexo 1 se presenta un procedimiento de campo para determinar de manera aproximada la resistencia a la compresión simple en las paredes de las discontinuidades. La elección del número de pruebas y su localización dependerá del detalle que se requiera. Se pueden usar, si están a disponibilidad, pruebas de cargas puntuales para determinar la resistencia de las porciones intactas o frescas que se hayan obtenido en una superficie potencial de falla.
- c. Los resultados se pueden representar anotando el grado y la descripción junto con el rango de la resistencia a la compresión simple que aparece en la Tabla 2.19. Además es importante indicar el porcentaje de los resultados, por ejemplo; sistema de juntas Num. 1, la mayoría de resistencia media (R3, 25-50-MPa); aprox. 20% resistente (R4, 50-100 MPa)

Abertura o separación

Es la distancia perpendicular entre las paredes adyacentes de una discontinuidad. Este espacio sólo puede estar ocupado por agua ó aire; es decir, no debe existir relleno entre las paredes de la discontinuidad.

Alcances

- a. La abertura deberá ser distinguida del espesor de relleno. Las discontinuidades que han tenido relleno, también están en esta categoría, es decir, si el material de relleno ha sido lavado localmente.
- b. Aberturas grandes pueden resultar del desplazamiento de corte de las discontinuidades con ondularidad y rugosidad apreciable, de fracturas de tensión, lavado del relleno y por disolución
- c. En la mayor parte de las masas de roca bajo superficie, las aberturas son pequeñas y probablemente menores de medio milímetro, comparadas a las decenas, centenas o aun miles de milímetros de ancho de algunas de las variedades de discontinuidades de extensión ó de aquellas en las que el relleno ha sido lavado. A menos que la discontinuidad esté excepcionalmente lisa y plana, no es de gran significado para la resistencia al esfuerzo cortante una discontinuidad "cerrada. (0.1 mm a 1.0 mm de separación); sin embargo, indirectamente como un resultado de conductividad hidráulica la estrechez de la abertura puede ser significativa en el cambio del esfuerzo normal efectivo y, consecuentemente, al esfuerzo cortante.
- d. Desafortunadamente, la observación visual de pequeñas aberturas es desconfiable, con las posibles excepciones de las que se efectúan en núcleos de perforación y excavación de túneles; las aberturas visibles están destinadas a ser aberturas aleato

rias, sea debido a la voladura ó debido a efectos de meteorización superficial. La influencia de las aberturas se valora mejor con pruebas de permeabilidad; de manera que, son anotadas - desde el punto de vista de su capacidad para desalojar y conducir agua.

Procedimiento

- a. Es conveniente lavar las exposiciones de roca, principalmente - cuando se observan en excavaciones subterráneas, en éstas resulta útil rociar con pintura blanca a la exposición pues se facilita la observación de aberturas finas; es esencial una buena iluminación.
- b. Las aberturas finas se pueden medir con calibradores de mayor - aproximación, mientras que aberturas más grandes conviene utilizar una regla graduada al milímetro. La variación de la abertura de una discontinuidad mayor se mide a lo largo de la traza - de la discontinuidad.

Presentación de los resultados

- a. Para la presentación de los resultados de la abertura de las - discontinuidades se puede utilizar la descripción de los términos de la Tabla 2.20, Anexo 1.
- b. La abertura modal deberá ser anotada para cada sistema de dis - continuidad. Se deben describir cuidadosamente aquellas discontinuidades que son más abiertas ó más largas que las del valor - modal.
- c. Es conveniente fotografiar aquellas aberturas extremadamente am - plias (10-100 cm) o cavernosas (> 1 m)

Relleno

Es el material que separa las paredes adyacentes de roca en una discontinuidad, usualmente es más débil que la roca que lo origina

Alcances

- a. El relleno puede estar formado por arcilla, limo, arena, brecha ó milonita. También puede incluir minerales que sellen las discontinuidades, por ejemplo; cuarzo y calcita. La distancia perpendicular entre las paredes adyacentes de roca determina el "espesor" de una discontinuidad con relleno.
- b. Debido a la enorme variedad de ocurrencia, los rellenos de las discontinuidades tienen un amplio rango de comportamiento físico, en particular es de consideración su resistencia al esfuerzo cortante, deformabilidad y permeabilidad.
- c. El amplio rango de comportamiento físico depende de muchos factores de los cuales los más importantes pueden ser; la mineralogía del material de relleno, el tamaño de las partículas, su proporción de consolidación, el contenido de agua y permeabilidad, el desplazamiento previo de cortante, la rugosidad de las paredes, el espesor del relleno y el fracturamiento de la pared de la roca en la discontinuidad.
- d. En cada observación se deben incluir los factores mencionados (ver Tabla 2.21 del Anexo 1), utilizando en lo posible descripciones que se puedan cuantificar y dibujar o fotografías de los casos más importantes. Ciertas pruebas índice son sugeridas para investigaciones detalladas de discontinuidades mayores que pueden poner en peligro la estabilidad del macizo. En casos especiales, los resultados de estas descripciones de campo pueden dar apoyo a la recomendación de pruebas "in situ" de gran escala, como es el caso de cimentación de presas y cortes en taludes de gran altura.

Procedimientos

- a. **Espesor.** Los espesores máximo y mínimo de discontinuidades sim ples con relleno deben ser medidos con una aproximación de -- error del 10% y hacer una estimación del espesor común o modal. Diferencias marcadas entre los espesores máximo y mínimo pueden indicar el desplazamiento de corte ocurrido, esencialmente si las paredes están inalteradas o sin intemperismo. La dimensión-principal de una discontinuidad compleja y con relleno, por -- ejemplo; zonas de corte, zonas fragmentadas, fallas, zonas de fa lla, diques y contactos litológicos, también se estimarán cu an do sea posible, con una aproximación de error del 10%.
- b. **Grados de alteración.** Las discontinuidades con relleno, origina das por meteorización pueden estar compuestas de roca desinte - grada o alterada. El tipo relevante del relleno debe ser anota do de la manera siguiente:
- desintegrada. La roca está meteorizada a la condición de un suelo en el cual la fábrica (arreglo) original aún está intac ta. La roca es friable, pero los granos minerales no están - alterados.
 - alterada. La roca está meteorizada a la condición de suelo - en el que la fábrica original todavía está intacta, pero al gunos o todos los granos minerales están alterados.
- c. **Mineralogía.** Es necesario determinar la composición mineralógi ca del relleno. La fracción fina es de mucho interés puesto - que comunmente controla a largo plazo el esfuerzo cortante, en especial, cuando se tiene la sospecha de arcillas expansivas.
- d. **Tamaño de las partículas.** El método para describir la granulo - metría depende del tipo de ocurrencia. Con una estimación bur da de la granulometría se pueden obtener porcentajes de arcilla limo, arena y fragmentos de roca (\pm 10%). Se puede clasificar - el tamaño de las partículas de acuerdo a la escala presentada -

en la Tabla 2.9 del Anexo 1. Una investigación detallada puede ser apoyada con estudios de laboratorio de mecánica de suelos - para determinar:

- fracción de arcilla ($\% < 2$ micras)
- $\%$ que pasa la malla No 200 (74 micras)
- pruebas índice de Atterberg para determinar límite líquido y el límite plástico: $IP = (LL-LP)\%$ (ver Tablas 2.22, 2.23 y 2.24 del Anexo 1)

- e. Resistencia del relleno. El material de relleno, en particular la fracción fina, comúnmente débil, puede ser valorada por medio del manual de pruebas índice tabulado en el inciso de la resistencia de las paredes; sin embargo, puede ser reemplazada - utilizando un penetrómetro estándar de los utilizados en mecánica de suelos.
- f. Desplazamiento previo. Se debe tomar cuidado si una discontinuidad con relleno ha sufrido desplazamiento de corte (superficies pulidas, cizallas, desplazamiento de juntas transversales, etc.)
- g. Contenido de agua y permeabilidad. Es necesario describir en conjunto el contenido de agua y la permeabilidad del relleno, - describir el contenido de arcilla como un caso particular (ver también Filtraciones)

Presentación de los resultados

- a. El detalle de la presentación dependerá de la importancia del sistema o de la discontinuidad individual. Debe ser proporcionado como se indica en la Tabla 2.21 en ésta, se incluye la geometría, tipo de relleno, resistencia del relleno y el escurrimiento, para el cual se sugiere la valoración de la Tabla 2.25- del Anexo 1.

Filtraciones

Se refiere al flujo de agua y humedad libre visible en discontinuidades o en el macizo rocoso.

Alcances

- a. Las filtraciones de agua en los macizos rocosos ocurren principalmente a través de las discontinuidades ("permeabilidad secundaria"). Sin embargo, en el caso de ciertas rocas sedimentarias la "permeabilidad primaria" puede ser tan significativa que gran proporción de las filtraciones sea a través de los poros.
- b. El conocimiento de los niveles de agua subterránea, la trayectoria de las filtraciones y las presiones aproximadas de agua pueden dar un antecedente de estabilidad o dificultad para la construcción. La descripción de campo del macizo rocoso deberá preceder cualquier recomendación de prueba de campo de permeabilidad, de manera que estos factores deberán ser cuidadosamente valorados en una etapa temprana.
- c. Los niveles irregulares de agua subterránea y los mantos colgados pueden ser encontrados en masas de roca que son interceptados por estructuras impermeables, tales como diques, discontinuidades rellenas de arcilla, o a través de estratos permeables. Detectar las barreras de flujo asociadas a mantos de agua irregulares es de considerable importancia, especialmente para proyectos de ingeniería donde tales impedimentos pueden penetrar a la profundidad de una obra subterránea, resultando flujos de agua de alta presión al interior de la excavación.
- d. Los escurrimientos causados por el drenaje dentro de una excavación pueden provocar graves consecuencias en casos de abatimientos de los niveles de agua subterránea; por ejemplo, hundimien-

tos de estructuras cimentadas sobre depósitos arcillosos.

- e. La descripción aproximada de la hidrogeología local deberá ser suplementada con observaciones detalladas del escurrimiento a través de las discontinuidades o sistemas particulares, de acuerdo a su importancia relativa para la estabilidad. Las observaciones concernientes a la precipitación reciente en el área ayudará en la interpretación de estos datos.
- f. En el caso de taludes en roca, el diseño preliminar estará basado sobre valores supuestos del esfuerzo normal efectivo. Si con el resultado de las observaciones de campo se tiene una suposición pesimista de presión de agua, son justificados los problemas que se tendrán para el diseño.

Procedimientos

- a. Se deben estudiar los mosaicos obtenidos con procedimientos fotogramétricos, y obtener una exposición del drenaje local y del agua subterránea. El agua subterránea puede estar indicada por el aumento de vegetación a lo largo de fallas y diques de composición básica.
- b. La descripción de la geohidrología local será limitada a las etapas preliminares de la cartografía. Con ésta se deberá valorar la necesidad de barrenos de exploración para determinar niveles de agua; instalación de piezómetros y bombeo; su localización óptima debe ser indicada en planos apropiados.

El escurrimiento a través de discontinuidades con o sin relleno pueden ser valoradas de acuerdo a los esquemas descriptivos de las Tablas 2.25 y 2.26.

En el caso de obras de ingeniería que actúan como drenaje del macizo rocoso; por ejemplo un túnel, es de mucha ayuda descri-

bir el flujo hacia el interior de la excavación en secciones individuales de la estructura. Esto deberá efectuarse inmediatamente después de la excavación, puesto que los niveles de agua subterránea, o el agua almacenada en la roca puede agotarse rápidamente. Las descripciones se pueden basar en el esquema de la Tabla 2.27, Anexo 1.

Presentación de resultados

- a. Es conveniente indicar con flechas en las fotos aéreas o mapas-geológicos, el flujo general del agua subterránea.
- b. Anticipar las barreras que impiden el flujo del agua, tales como diques, discontinuidades grandes con rellenos de arcilla y capas o estratos impermeables.
- c. Cuando sea posible se debe anticipar la interacción del proyecto de ingeniería y el régimen del flujo de agua subterránea.
- d. Las observaciones de escurrimiento local de discontinuidades individuales, sistemas específicos o para el macizo rocoso en general, se pueden presentar como una valoración del escurrimiento W1-W6 o I-VI, de las Tablas 2.25, 2.26 y 2.27 del Anexo 1.

Número de sistemas

Se refiere al número de sistemas de juntas considerando las fami -
lias de discontinuidades que se interceptan.

Alcances

- a. El comportamiento mecánico y la apariencia de la masa de roca -
está dominada por el número de sistemas de discontinuidades que
se interceptan. El comportamiento mecánico es especialmente -
afectado puesto que el número de sistemas determina el límite -

en el cual la masa rocosa puede deformarse sin involucrar una falla de la roca intacta. El aspecto de la masa de roca es afectado debido a que el número de sistemas determina el grado de fisuramiento que tiende a ocurrir cuando se efectúan excavaciones con explosivos.

- b. El número de sistemas puede ser un factor dominante en la estabilidad de taludes en roca. Sin embargo, si el número de sistemas no es suficiente, la probabilidad de inestabilidad puede reducirse casi a cero. Por otro lado, un gran número de sistemas puede cambiar el modo potencial de la falla de un talud.
- c. En el caso de estabilidad de un túnel, tres o más sistemas constituyen bloques tridimensionales, por lo que se tienen más grados de libertad para la deformación, que cuando la masa de roca tiene menos de tres sistemas de discontinuidad.

Procedimientos

- a. El número de sistemas a menudo estarán en función del área mapeada. En investigaciones preliminares es importante anotar todos los sistemas presentes. El reconocimiento de los sistemas individuales será comúnmente precedido de los datos de orientación.
- b. Si las orientaciones son consistentes, un muestreo cuidadoso puede reducir el número de juntas que tienen que ser medidas para definir el número de sistemas.
- c. La estabilidad de una sección de túnel, talud en roca, o la deformabilidad de una cimentación, estará en función del número local de sistemas relevantes, más que del total del número cartografiado.
- d. Para propósitos de identificación el reconocimiento visual del

número de sistemas, se deberá acompañar de algún sistema de numeración, por ejemplo, el sistema más sistemático y persistente puede ser rotulado como "Sistema No 1", consecuentemente, los sistemas pueden ser numerados en el orden de su importancia con relación a la estabilidad.

Presentación de resultados

- a. El número de sistemas, puede ser representado en parte con los datos de la orientación (Ver orientación)
- b. El número de sistemas de juntas que ocurren localmente (por ejemplo, a lo largo de un túnel), puede ser descrito de acuerdo al esquema de la Tabla 2.28 (Anexo 1)

Tamaño del bloque

Las dimensiones del bloque de roca son el resultado de la orientación de los sistemas de juntas que se interceptan y del espaciamiento individual de los sistemas. Las discontinuidades individuales pueden tener también influencia en la forma y tamaño de los bloques.

Alcances

- a. El tamaño de los bloques es un indicador importante del comportamiento del macizo rocoso.
- b. El número de sistemas y la orientación determina la forma de los bloques resultantes, los cuales pueden ser semejantes a cubos, rombohedros, tetrahedros, lajas, etc. Sin embargo, las formas geométricas regulares son la excepción más que la regla puesto que las juntas en cualquier sistema son rara vez consistentemente paralelas. La estratificación en rocas sedimentarias produce comúnmente las formas de bloques más regulares.

- c. Las propiedades combinadas del tamaño del bloque e interconexión entre sí, determinan el esfuerzo cortante y el comportamiento mecánico del macizo rocoso bajo condiciones de esfuerzos. Los macizos rocosos compuestos por grandes bloques tienden a ser menos deformables; en el caso de construcciones subterráneas desarrollan un arqueamiento e interconexión favorable. En el caso de taludes, un tamaño de bloque pequeño puede cambiar el modo potencial de falla.
- d. La eficiencia de las voladuras en la explotación de canteras es tá en función del tamaño del bloque natural "in situ"
- e. El tamaño del bloque puede ser descrito por los términos de di men sión promedio de los bloques típicos (índice del tamaño de bloque, I_b), o por el número total de juntas que se interceptan por unidad de volúmen del macizo rocoso (consideración volumétrica de juntas, J_v)

Procedimientos

- a. Índice del tamaño del bloque (I_b). Puede ser estimado por la selección ocular de varios bloques de tamaño típico y tomar sus dimensiones promedio. Puesto que puede tener un rango de milímetros a varios metros, una medida aproximada de 10% será suficiente.

Cada dominio deberá ser caracterizado por un valor I_b modal, jun to con el rango, por ejemplo; el índice de bloques típicos más grandes y los más pequeños. Siempre se debe anotar el número de sistemas junto con I_b .

En el caso de rocas sedimentarias, dos sistemas de juntas mutua mente perpendiculares, constituyen formas de bloques cúbicos o prismáticos. En tales casos, I_b se describe correctamente por:

$$I_b = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{3}$$

- b. Consideración volumétrica de juntas (J_v). Se define como la su ma del número de juntas por metro para cada sistema de juntas - presente. Las discontinuidades aleatorias también se pueden in cluir, aunque generalmente tienen poco efecto en los resultados. El número de juntas de cada sistema deberá ser contado perpendi cularmente del sistema relevante. Se sugiere un muestreo en una longitud de 5 o 10 m. La cantidad de juntas tendrá que ser dividida entre 5 o 10 m de muestreo para expresar los resulta - dos como número de juntas por metro. Un resultado típico de - tres sistemas de juntas y una discontinuidad aleatoria, conta - dos a lo largo de 5 o 10 m de líneas de muestreo perpendicula - res, pueden representarse como sigue:

$$J_v = \frac{6}{10} + \frac{24}{10} + \frac{5}{5} + \frac{1}{10}$$

$$J_v = 0.6 + 2.4 + 1.0 + 0.1 = 4.1/m^3 \text{ (Tamaño medio de bloques)}$$

Los términos descriptivos de la Tabla 2.29 dan la proporción - aproximada del tamaño del bloque

- c. Para dar una idea de la forma de los bloques en los macizos ro cosos, se pueden describir con los adjetivos de la Tabla 2.30 - del Anexo 1.

2.3 Descripción Geotécnica Básica de Macizos Rocosos

La descripción geotécnica básica (BGD), fue sugerida por la ISRM, y elaborada por su Comisión para la Clasificación de Rocas y Macizos Rocosos, en 1980; intenta reunir los requerimientos siguientes:

- Proporcionar un lenguaje que le facilite al observador transmi - tir su impresión general del macizo rocoso, particularmente con siderando preveer el comportamiento mecánico.
- Obtener en lo posible datos cuantitativos.
- Utilizar mediciones simples, en vez de sólo observaciones.

Las características esenciales del comportamiento del macizo rocoso que deben tomarse en consideración son las cinco siguientes:

- el nombre de la roca, con una descripción geológica simplificada
- dos características estructurales del macizo rocoso; es decir, - espesor de las capas e intercepción de fractura
- dos características mecánicas; la resistencia a la compresión simple de la roca intacta y el ángulo de fricción de las fracturas.

Cuando se aplica la BGD se debe dividir el macizo rocoso en zonas que son unidades geotécnicas, cuyas características pueden ser consideradas uniformes con respecto a los requerimientos del proyecto sin embargo, las características relevantes pueden desplegar una variación considerable dentro de la unidad geotécnica. Una zona puede incluir volúmenes de macizos rocosos no contiguos, tales como interestratificaciones de capas sedimentarias o formaciones volcánicas con las mismas características geotécnicas. Un zoneamiento preliminar puede basarse en los datos geológicos generales; diferenciación litológica, grado de alteración, características de fracturas, etc. La terminología para definir las cinco características esenciales se describen brevemente a continuación.

Nombre de la roca. Debe estar de acuerdo a la clasificación genética y deberán considerarse los aspectos siguientes:

- estructura geológica del macizo rocoso (pliegues, fallas, etc)
- fracturamiento del macizo rocoso (sistemas de fracturas y sus características)
- color, textura y composición mineral de la roca intacta
- grado de alteración o meteorización.

Espesor de las capas. En una zona donde un macizo rocoso está formado por capas, el espesor de las capas es el valor medio de la zona considerada. El término capa se utiliza aquí en su sentido más amplio y puede ser aplicado a formaciones ígneas, sedimentarias ó metamórficas.

El espesor de las capas en una zona se indica con cinco intervalos L1 a L5 (ver Tabla 2.31 del ANEXO); a las zonas que no tienen capas se les asigna el símbolo L0. Si sólo se muestran tres intervalos se utilizan los símbolos L1, 2; L3; L4, 5 con su descripción correspondiente de la Tabla 2.31.

Intercepción de fracturas. Se define como la distancia media entre fracturas sucesivas medidas a lo largo de una línea recta. Cuando la intercepción de fractura cambia de dirección, el valor adoptado en la descripción será correspondiente al de la dirección a lo largo de la cual se intercepte el valor medio más pequeño.

Los intervalos están representados por símbolos F1 a F5 y/o usando un sistema simplificado de tres clases: F1, 2; F3; F4, 5; como se presenta en la Tabla 2.32 del Anexo. Una zona sin fracturas se describe por el símbolo F0.

Resistencia a la compresión simple. Se refiere al valor medio de la resistencia de muestras de roca tomadas en puntos de la zona fuera de fracturas y otras discontinuidades donde la roca puede estar más alterada.

Cuando la roca intacta es marcadamente anisotrópica en su resistencia, el valor considerado para la descripción deberá corresponder al de la dirección a lo largo de la cual el valor medio de la resistencia sea el más pequeño. Sin embargo, en tales casos es importante anotar la resistencia a la compresión simple en otras direcciones. Como en los dos casos anteriores, la caracterización de la resistencia a la compresión simple estará basada en cinco o tres intervalos (ver Tabla 2.33).

Angulo de fricción de fracturas. Está definido como la pendiente de la tangente en el punto de la envolvente donde el esfuerzo normal es de un Mega Pascal. Esta es una definición arbitraria sólo para propósitos de clasificación, de manera que el valor no tiene porque ser igual al que se use en el diseño del proyecto. La obtención del ángulo puede resultar de las pruebas de laboratorio o de una estimación auxiliada de las observaciones de campo, tales como la rugosidad de las superficies de las fracturas, la naturaleza y espesor de los materiales de relleno, etc. El valor del ángulo de fricción de fractura en una zona, es el valor medio de los resultados obtenidos en la zona (ver Tabla 2.34 del ANEXO).

Cuando ocurran sistemas de fractura que difieren en su resistencia al esfuerzo cortante, el ángulo de fricción adoptado corresponderá al sistema que presenta al valor medio más pequeño, a menos que se garanticen otras circunstancias específicas.

Aplicación de la BGD. Para la aplicación de este tipo de descripción del macizo rocoso, los datos deben ser presentados con los requerimientos de los esquemas de las Tablas 5.3 y 5.4; en la primera, se ponen los datos de la descripción y, en la segunda los valores de los parámetros (ver ANEXO). La información suplementaria depende de los requerimientos particulares de cada proyecto.

3.- CLASIFICACIONES INGENIERILES DE LAS ROCAS

3. CLASIFICACIONES INGENIERILES DE LAS ROCAS

En este capítulo también se considera conveniente apartar a la roca intacta del macizo rocoso, con el fin de especificar las características que los definen. En la roca intacta en general, las clasificaciones están basadas en la resistencia, el módulo de deformación y por otra parte, en la geología, es decir, toma en cuenta el origen de la roca y la relación con su estructura y textura. Respecto al macizo rocoso se puede establecer que los objetivos de clasificación se dirigen al tipo de obra y de allí los alcances se han ampliado debido a la necesidad y utilidad práctica.

Es por lo anterior que cuando se trata de la roca intacta las clasificaciones tienden a ser generales por que sus resultados se pueden particularizar a una necesidad especial, por tanto, existe mayor número de clasificaciones de roca intacta cuyo propósito es general. En cambio, para los macizos rocosos prevalecen las clasificaciones particulares, debido a que los factores que intervienen son demasiados y en diferentes grados de importancia, por tanto es de mayor dificultad generalizarlos.

En los apartados de este capítulo se presentan en forma resumida los criterios considerados en diferentes clasificaciones, tanto para la roca intacta como para el macizo rocoso; mientras que, en la Tabla 3.1 se anticipan los datos de los autores y el propósito para el cual elaboró su clasificación.

3.1. Clasificación de la Roca Intacta

El primer criterio de clasificación que se considera es el relacionado con el origen de las rocas, pues es el que en un momento dado proporciona el nombre para identificación, considerando la composición mineralógica, textura y estructura. En esta forma se da una idea inmediata de los problemas que se pudieran tener en determina

Tabla 3.1

CLASIFICACIONES DE LA ROCA

Clasificación	Propósito General	Propósito Especial
ROCA INTACTA	Geológicas * ()	Bergh-Christensen y Selmer-Olsen
	Coates * (1964)	- resistencia a la voladura (1970)
	Deer y Miller * (1966)	Selmer-Olsen y Blindheim
	Underwood * (1967)	- Perforación (1970)
	Gamble * (1971)	
	Franklin et al * (1971)	
	Stapledon * ()	
MACIZO ROCOSO	U S B M * (1962)	Terzaghi-Túneles *(1946)
	John (1967)	Lauffer-Túneles (1958)
	Onodera (1970)	Bieniawski-Túneles *(1974)
	Iida et al (1970)	Barton et al-Túneles *(1975)
	Muller y Hoffman (1970)	Kruse et al-diseño de revestimiento
	Deer y Miller RQD * (1966)	de túneles (1968)
	Hansagi-Factor de	Ege-Túneles en rocas graníticas *(1968)
	Fisuración * ()	Albert y Duvall-Minas (1967)
		Goodman y Duncan-Taludes en rocas (1971)

* Consideradas en el texto

3. CLASIFICACIONES INGENIERILES DE LAS ROCAS

En este capítulo también se considera conveniente apartar a la roca intacta del macizo rocoso, con el fin de especificar las características que los definen. En la roca intacta en general, las clasificaciones están basadas en la resistencia, el módulo de deformación y por otra parte, en la geología, es decir, toma en cuenta el origen de la roca y la relación con su estructura y textura. Respecto al macizo rocoso se puede establecer que los objetivos de clasificación se dirigen al tipo de obra y de allí los alcances se han ampliado debido a la necesidad y utilidad práctica.

Es por lo anterior que cuando se trata de la roca intacta las clasificaciones tienden a ser generales por que sus resultados se pueden particularizar a una necesidad especial, por tanto, existe mayor número de clasificaciones de roca intacta cuyo propósito es general. En cambio, para los macizos rocosos prevalecen las clasificaciones particulares, debido a que los factores que intervienen son demasiados y en diferentes grados de importancia, por tanto es de mayor dificultad generalizarlos.

En los apartados de este capítulo se presentan en forma resumida los criterios considerados en diferentes clasificaciones, tanto para la roca intacta como para el macizo rocoso; mientras que, en la Tabla 3.1 se anticipan los datos de los autores y el propósito para el cual elaboró su clasificación.

3.1. Clasificación de la Roca Intacta

El primer criterio de clasificación que se considera es el relacionado con el origen de las rocas, pues es el que en un momento dado proporciona el nombre para identificación, considerando la composición mineralógica, textura y estructura. En esta forma se da una idea inmediata de los problemas que se pudieran tener en determina

da obra, no obstante, que el nombre por sí solo de la roca abarque un amplio rango de resistencia o deformabilidad de un macizo rocoso. En las tablas 3.2, 3.2a, 3.3, 3.4, 3.5 y 3.5a se presentan las clasificaciones geológicas de las rocas.

Para las características físicas se incluyen los ensayos y correlaciones que han efectuado los autores siguientes: Gamble (1971), sobre "durabilidad", la cual puede considerarse en función de la resistencia; Stapledon, establece rangos de resistencia de diferentes rocas respecto a la compresión simple o uniaxial; Coates (1964) resume cinco propiedades importantes basadas en las propiedades de la roca intacta y en las discontinuidades geológicas in situ; Deer y Miller (1966) también efectúan un sistema de clasificación en función de la resistencia a la compresión simple y el módulo relativo o deformabilidad; Franklin et al (1971), relacionaron la resistencia a la compresión simple, con un índice de anisotropía y el espaciamiento de las discontinuidades geológicas para obtener una clasificación de la resistencia.

Tabla 3.2 **ROCAS PIROCLASTICAS Y VIDRIOS VOLCANICOS**

Rocas Piroclásticas	Componentes
<u>Aglomerado</u> <u>Brecha</u> <u>Toba</u>	<u>bombas</u> <u>bloques y fragmentos</u> <u>ceniza (lapilli, bombas o bloques)</u>
Vidrios	Composición
<u>Obsidiana</u> <u>Taquilita</u> <u>Perlita</u> <u>Pómez</u> <u>Escoria</u>	Generalmente no es posible determinar su composición pero se puede poner como prefijo el nombre de la roca afanítica asociada

Tabla 3.2a

CLASIFICACION SIMPLE DE LAS ROCAS IGNEAS

Volcánicas-Extrusivas		Composición mineralógica								Plutónicas-Intrusivas	
Estructura	Textura	Esenciales				Accesorios Característicos				Estructura	Textura
Diques, mantos derrames o flujos lávicos (someros)	afanítica y porfídica (matriz afanítica)	Qz	Fel (k)	Pla (Na)	Pla (Ca)	Anf	Pir	Oli	Mic	Batolitos, lacolitos Troncos, diques y mantos profundos	Fanerítica y porfídica (Matriz Fanerítica)
CLARAS	Riolita	*	*			o			o	Granito	
	Traquita		*			o	o		o	Sienita	
	Latita de cuarzo	*	+			o	o		o	Monzonita de cuarzo	
	Latita (Traqui-Andesita)	-	+	+		o			o	Monzonita	
	Dacita	-	+	*		o	o		o	Granodiorita	
OSCURAS		+	-	*		o	o		o	Diorita de cuarzo	
	Andesita		-	*		o	o			Diorita	
	Basalto	o			*		o	o	o	Gabro	
					*		o	o	o	Diabasa (fanerítica fina)	

Qz = Cuarzo
 Fel (K) = Feldespato Potásico (ortoclasas-microclina)
 Pla (Na) = Plagioclasa sódica
 Pla (Ca) = Plagioclasa cálcica
 Anf = Anfíbol (hornblenda)
 Pir = Piroxeno (augita)

Oli = Olivino
 Mic = Mica (biotita, muscovita)
 * = Abundante
 + = Moderado
 - = Escaso
 o = Puede o no estar presente

Tabla 3.3

CLASIFICACION SIMPLE DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

Textura	R O C A	C O M P O S I C I O N	C A R A C T E R I S T I C A S
CLASTICA	Conglomerado	Fragmentos de 2 a 200 mm, cementante (Calcirudita)	Estratos gruesos, lentes y masiva
	Arenisca	Fragmentos de 0.06 - 2 mm, cementante (Calcarenita)	Estratificación en diferentes tipos
	Limolita	Fragmentos de 0.06 mm, cementante (limolita calcárea)	Estratificada y masiva
	Lutitas	Minerales arcillosos (micas, clorita) cementante (Calcilutita)	Fisilidad, estratificación
CRISTALINA	Marga	Minerales arcillosos, calcita (cementante)	Estratificación delgada y laminar
	Caliza	Minerales carbonatados (Ca Co3) en ocasiones arcillas, limos, silicatos, fósiles	Estratificada y masiva
	Tufa travertino	Minerales carbonatados	Porosa
	Dolomía	CaMg (CO ₃) ₂ Dolomita	Estratificada, masas irregulares, filones
	Yeso	CaSO ₄ - 2H ₂ O	capas, lentes
FRAGMENTO	Coquina	Fragmentos de fósiles (conchas), cementante	Arrecifes
	Creta	Ca CO ₃ y fragmentos (limo)	capas, nódulos, bandas, masivas
CRIPTOCRISTALINA	Carbón	C, H, O, H, S	Estratos, bandas, láminas y lentes
	Fosforita	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F,OH) apatita	Estratificada, masiva y oolítica

Tabla 3.4

CLASIFICACION SIMPLE DE LAS ROCAS METAMORFICAS

COMPOSICION			ESTRUCTURA					
Color	Minerales Principales	Minerales Acc. Carac.	No Foliada	FOLIADA				
				CATACLASTICA	PIZARROSA	FILICA	ESQUISTOSA	GNEISICA
CLARO	Cuarzo Feldespato Calcita Dolomita Talco Muscovita Sericita	Moscovita Sericita Silimenita Cordierita Tremolita Wollastonita Albita Andalusita Diopsido Estauroлита Olivino Serpentina Clorita Biotita Grafito Granate	Metacuarcita, Mármol Hornfels (cualquier roca metamórfica de estructura no direccional)	Miltonita		Filica. Se diferencia de la pizarra por el brillo que proporcionan los minerales de mica; se diferencia del esquisto por el tamaño de los granos (son más pequeños en la filita)	Mica-esquisto y esquisto de sericita, ambos con cuarzo	Gneis de cuarzo Granulita, bandeamiento debido al QZ elongado ó Fel.
INTERMEDIO (incluye rojo ó café)	Proporciones iguales de minerales claros y oscuros						Mica esquisto	Aujen-gneis Gneis de biolita Gneis de granate Gneis de granito
OSCURO (incluye verde)	Cuarzo Calcita Dolimita Feldespato Clorita Hornblenda Serpentina Biotita Piroxeno Epidota				Pizarra		Esquistos verdes, esquistos de clorita, Anfibolita Esquisto de hornblenda y biolita	Gneis de diorita Gneis de anfibolita

Tabla 3.5

CLASIFICACION DEL TIPO DE ROCA

GRUPO GENETICO		SEDIMENTARIAS DETRITICAS					PIROCLASTICAS	QUIMICAS/ORGANICAS	
Estructura común		ESTRATIFICADA							
Composición		Granos de roca, cuarzo, feldespato y minerales arcillosos			Por lo menos el 50 % de los granos son de carbonato.		Por lo menos el 50% de los granos son rocas ígneas de grano fino		
TAMANO DEL GRANO (mm)	60 2	grano muy grueso grano grueso	RUDACEA	Fragmentos de roca		GRAVA	CALCIRUDITA	AGLOMERADO: granos redondeados BRECHA VOLCANICA. TOBA DE LAPILLI: granos angulares	ROCAS SALINAS Halita Anhidrita Yeso CALIZA DOLOMIA PEDERNAL TURBA LIGNITO CARBON
				BOLEOS	CONGLOMERADOS: granos redondeados.				
	GRAVA	BRECHA: granos angulosos							
	grano medio	ARENACEA	Principalmente fragmentos de minerales		ARENA	CALCARENITA	TOBA		
			ARENISCA: fragmentos de minerales ARENISCA CUARZOSA: 95% de cuarzo						
			ARCOSA: 75% de cuarzo, más de 25% de feldespato. GRAUWAKA: 75% de cuarzo, 15% de tritos finos.						
0.06	grano fino	ARCILLOSA O LUTACEA	LIMO	LIMOLITA: 50% de partículas de grano fino	LIMO	CALCILIMOLITA, CRETA	TOBA de grano fino		
			ARCILLA	ARCILLITA: 50% de partículas de grano muy fino				LODO	CALCILUTITA
0.002	grano muy fino	ARCILLOSA O LUTACEA	ARCILLA	ARCILLITA: 50% de partículas de grano muy fino	LODO	CALCILUTITA	TOBA de grano muy fino		
								LODOLITA Lutita: lodolita fisil MARGA	
	VIDRIO AMORFO								

Tabla 3.5a

CLASIFICACION DEL TIPO DE ROCA

METAMORFICA		I G N E A S				GRUPO GENETICO		
FOLIADAS		M A S I V A S				Estructura común		
Cuarzo, feldespatos, minerales aciculares oscuros		Minerales de color claro; cuarzo, feldespato, mica		Minerales claros y oscuros	Minerales oscuros	Composición		
		Rocas → : Acidas	Intermedias	Básicas	Ultrabásicas			
Gneis (orto-parra-, capas alternadas de minerales granulares y escamosos) MIGMATITA	CUARCITA HORNFELS	PEGMATITAS			PIROXENITA Y PERIDOTITA	grano muy grueso	60	TAMAÑO DEL GRANO (mm)
		GRANITO	DIORITA	GABRO		grano grueso		
ESQUISTO	ANFIBOLITA	MICROGRANITO	MICRODIORITA	DIABASA (DOLERITA)	SERPENTINITA	grano medio		
		RIOLITA	ANDESITA	BASALTO		grano fino	0.06	
FILITA						grano muy fino	0.002	
PIZARRA MILONITA		OBSIDIANA Y TAQUILITA				VIDRIO		
		VIDRIOS VOLCANICOS				AMORFO		

Clasificación de la roca intacta según su "durabilidad"

La durabilidad es fundamentalmente importante en las aplicaciones de la mecánica de roca. Los cambios de las propiedades de la roca son producto de los procesos físicos y químicos, los cuales su ceden rápidamente al ser expuesta la roca en la superficie, actuando generalmente imperceptiblemente, siendo la parte externa inmediata de la roca la que se degrada en por lo menos una decena de años. Puesto que los procesos de destrucción de la naturaleza son muy variados, no es posible reproducir una prueba que cuente con más de una de las varias situaciones naturales, por tanto, se utiliza un índice de alteración para dar una valoración relativa de la durabilidad de la roca.

La prueba para determinar la durabilidad fue propuesta por Franklin y Chendra (1972), consiste en rotar a 20 rpm durante 10 minutos, 50 gr. de roca en baño de agua y dentro de un cilindro de 140 mm de diámetro y 100 mm de longitud, formado por una malla de 2 mm de abertura. El porcentaje retenido dentro del tambor después de la rotación y sobre la base de peso seco es interpretado como la "durabilidad". La prueba de Los Angeles para determinar la resistencia a la abrasión de los agregados es muy semejante a lo expuesto por Franklin y Chendra. Por otra parte, Gamble (1971), consideró un segundo ciclo también de 10 minutos; en la Tabla 3.6 se presenta su clasificación sobre las bases expuestas arriba.

Tabla 3.6

DESCRIPCION DEL GRUPO	% RETENIDO DESPUES DE UN CICLO DE 10 MINUTOS	% RETENIDO DESPUES DEL SEGUNDO CICLO DE 10 MINUTOS
muy alta	> 99	> 98
alta	98 - 99	95 - 98
moderadamente alta	95 - 98	85 - 95
media	85 - 95	60 - 85
baja	60 - 85	30 - 60
muy baja	< 60	< 30

Gamble (1971)

Clasificación respecto a la "resistencia a la compresión simple" - de la roca intacta.

Las medidas de la resistencia a la compresión simple o resistencia a la compresión uniaxial se efectúan en especímenes de geometría regular y principalmente caracterizan la resistencia de la roca intacta; es calculada con el cociente formado por la carga máxima transmitida al espécimen durante la prueba, entre el área de la sección transversal original. Es muy importante considerar la orientación de los ejes de carga respecto a la anisotropía del espécimen.

Stapledon, en base a una propuesta australiana estandar sobre la clasificación de la resistencia a la compresión simple de la roca, coincide con la clasificación de Coates en el nivel de "resistente" e incluyen una clase de "resistencia media" la cual corresponde aproximadamente al rango de resistencia de los concretos. Ver Tabla 3.7.

Tabla 3.7

RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

Término	Símbolo	Rango de Resistencia Kg/cm ²
muy débil	vw	< 70
débil	w	70 - 200
media	ms	200 - 700
resistente	s	700 - 1400
muy resistente	vs	> 1400

Para rocas que presentan una anisotropía plana; el eje longitudinal de la muestra es perpendicular a los planos naturales de debilidad (foliación, etc.). Stapledon

Clasificación de Coates

Coates (1964), revisó los usos que se hacen de la mecánica de rocas en los trabajos de ingeniería y enlistó cinco propiedades que consideró como las más importantes. Sobre estas bases propuso un sistema de clasificación en el cual reconoce que la "sustancia" de roca (roca intacta) tiene ciertas propiedades que pueden ser identificadas; sin embargo, también la condición de la sustancia de roca "in situ" es de gran importancia. Las tres características que intervienen con las propiedades de la roca intacta se enlistan como sigue:

- la resistencia a la compresión simple. Es la característica que inmediatamente indica si la sustancia de roca es lo suficientemente débil, con respecto a la aplicación
- la pre-falla es la información característica de la sustancia de roca que indica la deformación lenta en niveles de esfuerzos menores a los requeridos para producir la falla
- la característica de la falla, por ejemplo; frágil ó dúctil deberá influenciar en el factor de seguridad utilizando para el diseño, como en las precauciones que se tomen durante la construcción.

El sistema de clasificación propuesto por Coates, está basado en las propiedades la roca intacta (puntos 1 a 3) y las discontinuidades geológicas "in situ" (puntos 4 y 5) y se presenta en la Tabla-3.8. Los valores de resistencia de la tabla siguiente son el resultado de la conversión de cantidades cerradas del Sistema Inglés de Unidades; de manera que los valores expuestos en esa tabla podrán expresarse con números enteros; incluso a la decena próxima.

Tabla 3.8 **CLASIFICACION DE ROCAS PARA MECANICA DE ROCAS**

1. Resistencia a la compresión uniaxial de la roca
a. Débil (menos de 68.95 MN/m^2)
b. Resistente ($68.95 - 137.9 \text{ MN/m}^2$)
c. Muy resistente (más de 137.9 MN/m^2)
2. Deformación de la roca antes de la falla
a. Elástica
b. Viscosa (si una fuerza de 50% de la resistencia a la compresión uniaxial de proporción de esfuerzo es más grande que - dos microesfuerzos por hora)
3. Características de falla en el espécimen de roca
a. Frágil
b. Dúctil (si más del 25% del esfuerzo total es permanente antes de la falla)
4. Homogeneidad burda
a. Masiva
b. En capas (incluye generalmente rocas sedimentarias y esquistosas)
5. Discontinuidad de la roca en la formación
a. Masiva (espaciamiento de juntas mayor de dos metros)
b. Bloques (espaciamiento de juntas de un metro a dos metros)
c. Fragmentada (en fragmentos que pasan a través de la malla de 75 mm)

Coates (1964)

Clasificación de "Deere y Miller"

También se basa en la resistencia a la compresión no confinada, - consta de varias clases; de la A a la E, siguiendo una progresión geométrica. La línea escogida entre las clases A y B es de 2250 - kg/cm² la cual es cercana al límite superior de resistencia de las rocas. Ver Tabla 3.9.

Tabla 3.9 **CLASIFICACION INGENIERIL DE LA ROCA INTACTA SOBRE LAS BASES DE SU RESISTENCIA**

Clase	Descripción	Resistencia a la- Compresión Simple kg/cm ²	Ejemplo
A	muy alta	> 2250	Igneas densas y metamórficas no direccionales (densas)
B	alta	1125 - 2250	La mayoría de las rocas ígneas, las metamórficas más resistentes, la mayoría de las sedimentarias densas o macizas, los sedimentos más densos.
C	media	560 - 1125	metamórficas más débiles y las sedimentarias porosas
D	baja	280 - 560	Rocas porosas, friables y meteorizadas
E	muy baja	< 280	Rocas porosas, friables y meteorizadas

Deer y Miller (1966)

Un segundo criterio de clasificación de Deere y Miller es el Módulo relativo, definido como la relación:

$$\frac{E}{\sigma} = \frac{\text{Módulo de Elasticidad}}{\text{Resistencia a la Compresión Uniaxial.}}$$

Las rocas están clasificadas por tener un módulo relativo alto (H), medio (M), o bajo (L). Tal como se presenta en la Tabla 3.10

Tabla 3.10

MODULO RELATIVO

Clase	Descripción	Módulo Relativo
H	alto	> 500
M	medio	200-500
L	bajo	< 200

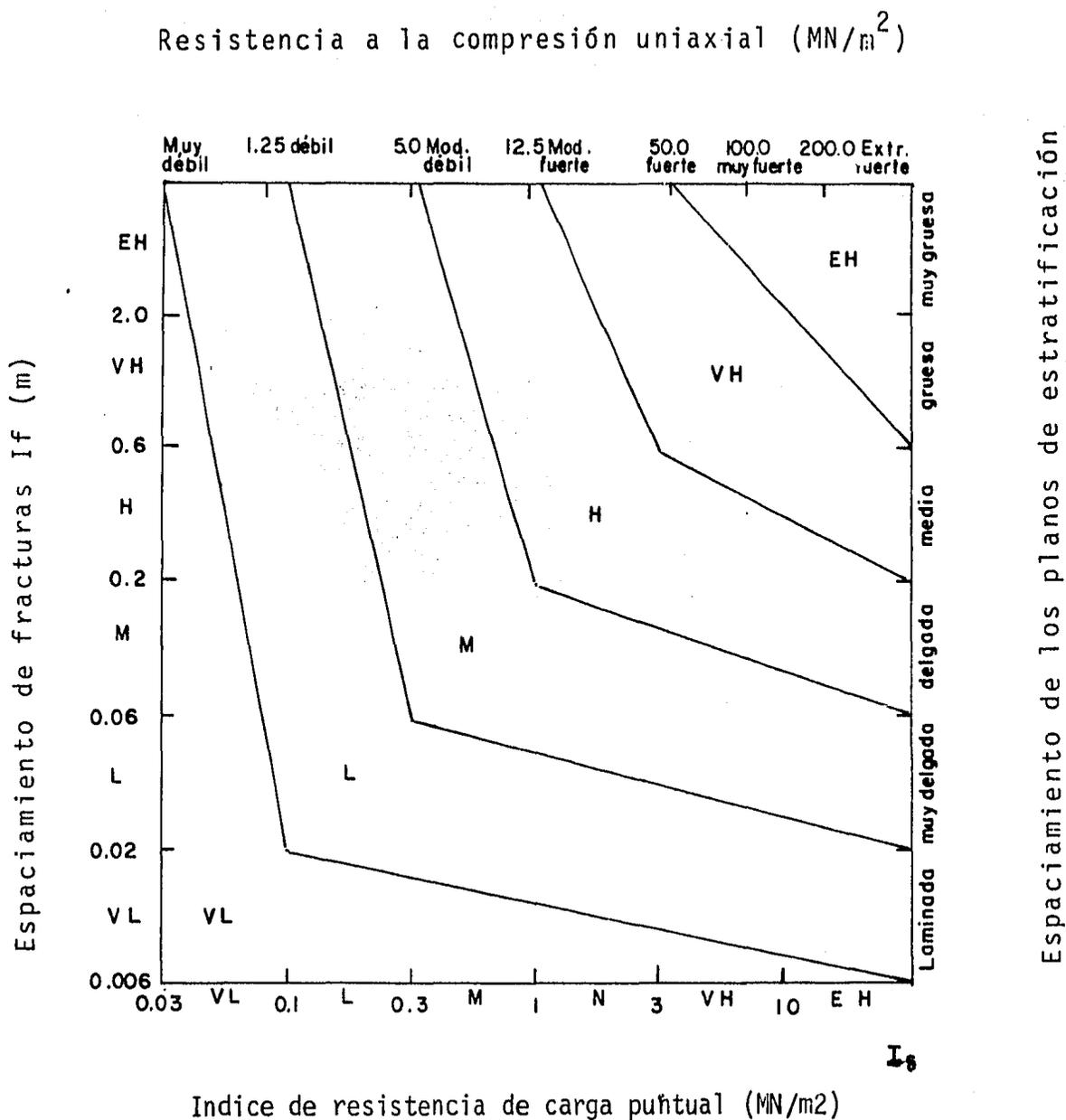
Modulo Relativo = $\frac{E}{\sigma}$, donde E = módulo tangente al 50% de la resistencia de la roca

Franklin et al (índice combinado de la calidad de la roca intacta)

Franklin, Broch y Wilson, combinaron dos índices; la resistencia a la compresión simple y el espaciamento de las discontinuidades y, obtuvieron un índice de calidad de roca combinado. Consiste en un cuadro (Figura 3.1) en el cual, aparecen en la parte superior siete clases de roca en rangos de resistencia de "muy débil" a "extremadamente resistente". En las partes laterales se observa de un lado la frecuencia de fracturas o juntas en seis clases que van de "muy abajo" a "extremadamente alta", y en el otro lado está la frecuencia de espaciamento de estratificación y laminación, los cuales se dividen también en seis clases de magnitud. Sobre la base del cuadro se localiza un índice de "anisotropía de resistencia", I_s , definido como la relación entre el valor máximo y mínimo del índice de carga puntual, medido en direcciones diferentes del material. $I_s = P/D^2$ donde P = a la fuerza requerida para quebrar el espécimen y D = a la distancia entre los puntos de contacto (diámetro)

Para la aplicación general, el índice puede obtenerse con el zonea miento del cuadro siguiente:

Fig. 3.1.



3.2. Clasificación del macizo rocoso

Existen varios criterios de clasificación para macizos rocosos; aquí se presentan algunos que se consideraron interesantes, así como las clasificaciones de diversos autores, no obstante que son conocidas es conveniente incluirlas debido al carácter multidisciplinario que se involucra en la tesis.

Coates, en Principios de Mecánica de Rocas, 1970, parte de la base de la definición de la palabra "clasificación" ("Arreglo de cosas - en clases de acuerdo a las características que tienen en común", Enciclopedia Británica). Deduce que en la clasificación deben estar reconocidas las propiedades más significativas y considera que las comunes y fácilmente determinables son: a) la resistencia de la sustancia de roca, b) las características de deformación de la sustancia de roca antes y después de la falla y, c) la homogeneidad y anisotropía; en este último inciso quedan comprendidas las características generales del macizo rocoso, por lo que es conveniente añadir algunos conceptos:

- Heterogéneo. Sus constituyentes son de diferente naturaleza, de manera que los especímenes pequeños no representan al todo.
- Homogéneo. Sus constituyentes son de la misma naturaleza y están distribuidos de manera que los especímenes pequeños representan verdaderamente a un todo.
- Isotrópico. Despliega las mismas propiedades físicas en cualquier dirección. Si las partículas, cristales, poros o microfracturas tienen una orientación aleatoria, una sección del material deberá exponer un arreglo similar independiente a la dirección.
- Anisotrópico. Contiene orientación preferencial de sus constituyentes, causada por procesos geológicos de sedimentación o metamorfismo; las propiedades físicas desplegadas por tales rocas son variables dependiendo de la dirección de las mediciones (Ver Fig.3.2)

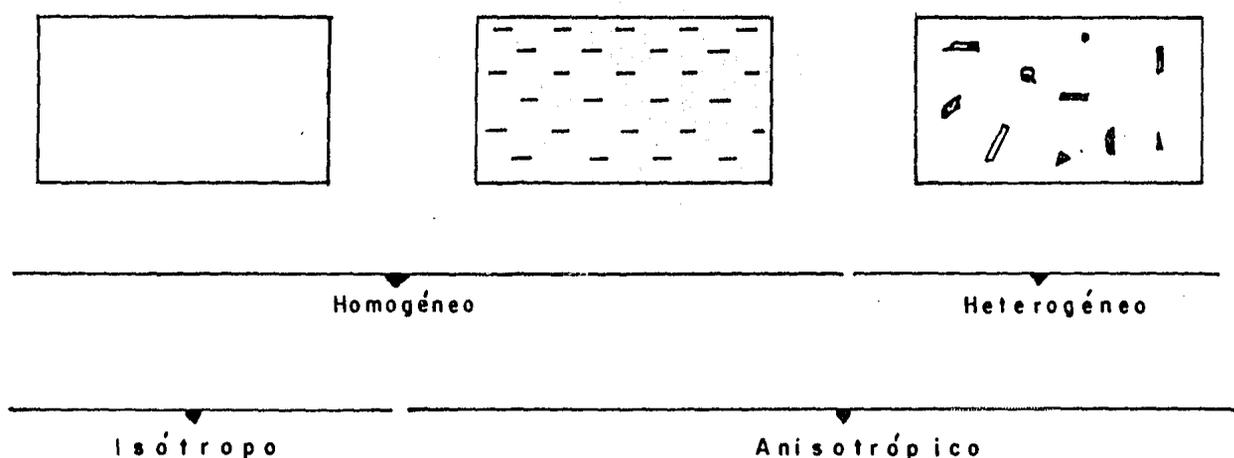


Fig. 3.2

P. Lokin y colaboradores (1980), proponen que la clasificación del macizo rocoso deberá ser capaz de dar la asistencia necesaria para resolver problemas relacionados con los factores siguientes:

- Estabilidad de la excavación
- Estabilidad en la construcción
- Condiciones de excavación
- Condiciones de drenaje y ventilación
- La posibilidad de interacción entre la roca y el agua subterránea y materiales estructurados o almacenados dentro de la obra
- La influencia de la construcción sobre el terreno circundante y otras estructuras

P. Lokin, R. Nijajilovic y M. Vasic, consideran que con la aplicación de la Tabla 3.11 se proporcionan datos de gran importancia para la clasificación y la toma de decisiones en la etapa de diseño, por ejemplo; para una excavación en un macizo rocoso, ya sea a cielo abierto o subterránea, se puede definir: si se necesitan o no anclas, malla metálica, concreto lanzado, espacio máximo sin soporte, qué método de excavación utilizar, y espesor del revestimiento definitivo. En esta misma Tabla (3.11) se presentan los elementos que intervienen en las diferentes clasificaciones y los objetivos para los que son apropiados; sin embargo, un análisis cuidadoso revela que muchas clasificaciones tienen ciertos defectos en sus límites de aplicabilidad y éstos son los siguientes:

Tabla 3.11

Elementos de Clasificación Propiedades del macizo rocoso (Bases)			AUTORES						
			TERZAGHI 1946	RABCEVICZ 1957 LAUFFER 1958	DEER 1970	BIENIAWSKI 1973	BARTON ETAL 1974	LOUIS 1974	BULICHEV 1977
DATOS SOBRE EL MACIZO ROCOSO	Juntas	1. Presencia de juntas 2. Número de sistemas de juntas 3. Densidad de juntas 4. Calidad de roca (R.Q.D) 5. Orientación de juntas 6. Rugosidad de juntas 7. Ancho de abertura, relleno, intemperismo	*	*	*	*	*	*	*
	Propiedades Mecánicas	8. Compresión uniaxial 9. Compresión uniaxial y carga puntual 10. Índice de compresión general				*	*	*	*
	Estado de Esfuerzo	11. Esfuerzos iniciales 12. Esfuerzos secundarios debidos a la excavación 13. Esfuerzos de hinchamiento	*				*	*	*
	Agua Subterránea	14. Permeabilidad 15. Flujo de agua subterránea 16. Presión de agua subterránea				*	*	*	*
Datos sobre la Obra	17. Tipo y propósito 18. Forma y dimensiones de la sección transversal 19. Tiempo de soporte 20. Tramo no sustentado (soportado)	*	*			*		*	
APLICACIONES	21. Estimación de la estabilidad de la excavación 22. Predicción de tramos sin soporte 23. Predicción del tipo de soporte 24. Selección de técnica de excavación 25. Selección de soporte permanente	*	*	*	*	*	*	*	

- Muchas de las clasificaciones no toman en cuenta los caracteres distintivos de la obra, excepto el sistema Q, el cual considera el tipo y objetivo de la obra en términos del factor ESR.
- Algunas clasificaciones se originaron de la experiencia ingenieril bajo condiciones geológicas específicas.
- Las clasificaciones no son apropiadas para técnicas de excavación especial, tales como: pre-corte, mecánico sin voladura, etc.
- No ofrecen soluciones para problemas específicos, por ejemplo, grandes bloques inestables.
- Muchas de las clasificaciones consideran solamente la estabilidad de la excavación
- Las clasificaciones no están adaptadas a la secuencia de las etapas de diseño.

Por otra parte, Moreno E. (1982), también efectuó algunas observaciones de las clasificaciones de Wickham y colaboradores, Bieniawski y, Barton y colaboradores. En resumen establece los aspectos siguientes:

- Es difícil obtener el índice de calidad al incrementarse la heterogeneidad
- Deben de establecerse criterios de clasificación entre los miembros del grupo de trabajo
- Basándose en la experiencia se deben revisar los criterios de la clasificación para ajustarlos a las áreas de trabajo.

De acuerdo con lo anterior, se puede resumir que la clasificación deberá evolucionar gradualmente a través del número de etapas así como al diseño mismo. Los sistemas de clasificación padecen cambios esenciales cuando los datos obtenidos de la observación, dan lugar a ensayos de laboratorio y mediciones en el sitio. En la Tabla 3.12 se presentan los datos necesarios para la clasificación en las etapas de diseño y construcción.

Tabla 3.12

Datos para clasificación y aplicación de resultados		Etapas de Diseño ó Construcción		Antecedentes	Estudio de Factibilidad	Diseño			Datos de la obra en ejecución
						Preeliminar	Detalle	Durante la construcción	
DATOS PARA CLASIFICACION	DATOS SOBRE EL TERRENO	GEOLOGIA	Composición litológica	1 (2)	2 (3)	3,5	3,5 (4)	4 (5)	
			Estructura tectónica	1 (2)	2 (3)	3	3 (4)	4	
			Actividad Neotectónica	1	1	2	2 (4)	4	
			Intemperismo-Meteorización	1 (2)	2 (3)	3,5	3,5 (4)	4 (5)	
			Carsticidad	1 (2)	2 (3)	3	3 (4)	4	
	DISCONTINUIDAD DEL TERRENO	Número de Sistemas de Juntas		(2)	2 (3)	3	3 (4)	4	
		Condición de las juntas	Densidad de juntas	(2)	2 (3)	3	3 (4)	4	
			Rumbo y echado	(2)	2 (3)	3	3 (4)	4	
			Longitud y continuidad	(2)	2 (3)	3	3 (4)	4	
			Ancho-abertura (relleno)				(4)	4	
Características del relleno					(5)	5			
R.Q.D., tamaño de bloque			1	1	3	(4)	4		
Fisuras, porosidad			1	1	1	(4)	4		
PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS	ESTADO INICIAL DE ESFUERZOS	Densidad volumétrica		5	5	5	(5)		
		Resistencia a la compresión		5	5	5	(5)		
		Abrasión		5	5	5	(5)		
		Deformabilidad	1	1	5 (3)	5 (3,6)	6		
		Esfuerzo cortante	1	1	5	5 (6)	6		
		Permeabilidad	1	1	3	3 (6)	6		
		Temperatura				(6)	6		
AGUA-SUBTERRANEA	PROCESOS EN EL TERRENO	Niveles y ocurrencia	(2)	2 (3)	3	3 (4)	4		
		Dirección y tipo del flujo			3	3 (4)	4		
		Cantidad de agua		2 (3)	3	3 (4)	4		
		Temperatura y composición química		5 (3)	3,5	3,5	(5)		
PROCESOS EN EL TERRENO	Químicos	Expansión		3,5	3,5	3,5 (4)	4		
		tubificación			5	5 (6)	6		
						(4)	4		

Tabla 3.12 (Continuación)

Datos para clasificación y aplicación de resultados		Etapa de Diseño o Construcción	Antecedentes	Estudio de Factibilidad	Diseño			Datos de la obra en ejecución
					Preliminar	Detallado	Durante la Construcción	
DATOS PARA CLASIFICACION DATOS SOBRE LA OBRA Y FENOMENOS COMPARACIONES DURANTE LA CONSTRUCCION	OBRA	Tipo y objetivo	7	7	8	8	8	
		Dimensión de la sección gruesa	7	7	8	9	9	10
		Forma de la sección transversal	7	7	8	9	9	10
		Posición y orientación	7	7	8	9	9	10
		Tipo de estructura	7	7	8	9	9	10
	CONSTRUCCION	Técnica y método de excavación					10	10
		Esfuerzos secundarios					10	10
		Espacio sin soporte					10	11
		Sitios de inestabilidad					10	11
		Filtraciones de agua y ocurrencia de presión de gases y calentamiento					10	11

1. Datos del análisis de documentación o analogías con casos similares
2. Datos de reconocimiento
3. Datos del mapeo detallado, barrenación de exploración o investigación similares
4. Datos de observaciones "in situ" en una excavación
5. Datos de pruebas de laboratorio
6. Datos de mediciones "in situ" en una excavación
7. Datos del plan general de la concepción del proyecto
8. Datos del programa
9. Datos de documentación de diseño
10. Datos de observación durante la construcción
11. Datos del análisis del comportamiento de la obra

Clasificación de USBM

El "U.S. Bureau of Mines" (1962), utilizó para describir en términos de los mecanismos que intervienen en el comportamiento de los macizos rocosos en excavaciones subterráneas, la clasificación siguiente:

1. Roca competente; es el macizo rocoso que no necesita soporte artificial para alojar una excavación subterránea
 - a. Masiva-elástica, v.gr., homogénea e isotrópica
 - b. Estratificada-elástica, v.gr., homogéneo, estratos isotrópicos cuyos espesores son menores que el tamaño de la sección excavada, poca cohesión entre los estratos.
 - c. Masiva-plástica, v.gr., rocas con tendencia a la fluencia lenta
2. Roca incompetente; es aquella que requiere de un soporte artificial para alojar una excavación subterránea.

Este sistema de clasificación da alguna información sobre la resistencia relativa de las rocas, pero la información está muy relacionada al tamaño y forma de la excavación subterránea. No incluye información sobre las características de la falla o sobre el aspecto estructural, por ejemplo, las juntas dentro de la formación. Contiene cierta información sobre los estratos, pero éstos restringen a las rocas sedimentarias y no incluye el bandeamiento de las rocas metamórficas.

Clasificación según el Índice de Calidad de la Roca, R.Q.D. (Rock Quality Designation)

Fue propuesto por Deere y Miller; es una correlación entre las recuperaciones obtenidas en un barrenado de exploración y la frecuencia de las juntas o fracturas existentes en el macizo rocoso, está basado en el porcentaje de la recuperación de núcleos de roca con ba

renación de diamante de 57.15 mm o más de diámetro. Se botiene su mando los núcleos recuperados, descartando los que sean menores de 10 cm de longitud; el resultado se expresa en porcentaje considerando el total de la longitud perforada. En la Tabla 3.13 se expresan los rangos y la calidad de la roca propuestos por los autores.

Tabla 3.13 **INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D.)**

Rango %	Calidad
0 - 25	muy mala
25 - 50	mala
50 - 75	regular
75 - 90	bueno
90 - 100	muy buena

Deer y Miller (1966)

En el capítulo anterior se trató la cantidad volumétrica de juntas (J_v) y debido al amplio uso que tiene el R.Q.D. en varios métodos de clasificación de macizos rocosos, se puede efectuar una correlación aproximada entre J_v y el R.Q.D. con la expresión (1). Propuesta por Palmstrom, 1975:

$$\text{R.Q.D.} = 115 - 3.3 J_v \text{ (aprox)} \dots (1)$$

$$\text{R.Q.D.} = 100 \text{ para } J_v < 4.5$$

Esta expresión puede ser usada para estimar el orden de magnitud del R.Q.D. cuando no se cuente con el núcleo de barrenación; con el mismo propósito, también se puede obtener de la ecuación (2)

$$\text{R.Q.D.} = 100 e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1) \dots (2)$$

donde; λ es la frecuencia de discontinuidades por metro lineal

Factor C

Hansagi describe un método de clasificación de rocas en muestras de núcleos, basado no sólo en la longitud total de los fragmentos intactos y el porcentaje de longitud total de núcleo recuperado, sino también en el número de piezas cilíndricas obtenidas; el límite inferior está ligado con el diámetro del núcleo. El índice de clasificación obtenido es llamado por Hansagi, como "Factor de Fisuración" o Factor C, se obtiene de la expresión (3)

$$C = \frac{1}{2} S(PH + k/n) \dots (3)$$

Donde: S = unidad de longitud de la barrenación (depende del diámetro del núcleo y la resistencia de la roca)

P = número de muestras cilíndricas de longitud S que pueden ser obtenidos de la recuperación

H = altura del núcleo de muestra utilizado para determinar la resistencia a la compresión

k = longitud total de los fragmentos de núcleo recuperados los cuales deben ser más largos que el diámetro del núcleo

n = el número de los fragmentos de núcleo que sirvieron para determinar k.

Este factor C, fue desarrollado para un estudio de la resistencia y carácter de los depósitos de hierro de Kiruna, Suecia. Fue utilizado para observar y registrar las propiedades de resistencia del estrato penetrado durante la exploración con barrenos. La Tabla 3.14 correlaciona el factor C y el R.Q.D.

Esta correlación puede ser útil, en términos generales, para comprobar la estimación del índice de calidad de roca (R.Q.D.). Como puede observarse la obtención del factor es aplicable en las etapas preliminares de ejecución del proyecto.

Tabla 3.14 CORRELACION DEL FACTOR C Y EL R.Q.D.

Características del Estrato	Factor C	R.Q.D.
muy pobre	0.00 - 0.15	0 - 25
pobre	0.15 - 0.30	25 - 50
regular	0.30 - 0.45	50 - 75
bueno	0.45 - 0.65	75 - 90
excelente	0.65 - 1.00	90 - 100

Indice de estabilidad de Ege

Ege en 1968 propuso un método de evaluación de la calidad de roca en núcleos de barrenación para desarrollar una ecuación que incluye los factores siguientes:

0.1 veces la longitud perforada menos la recuperación total de núcleos (np)

el número de fracturas por pie (nf)

0.1 veces la cantidad de fragmentos de núcleos menores de 7.5 cm de largo (nr)

la alteración (a) y resistencia (r) en grados de 1 a 4; de inalterado a muy alterado y de muy resistente a incompetente

El número índice (NI) está referido a un grado de clasificación de roca de 10 a 1, el cual se obtiene de la expresión (4) y la descripción de la Tabla 3.15

$$NI = 0.1 (np) + (nf) + 0.1(nr) + a + r \dots (4)$$

Ejemplo:

Longitud perforada	3.0 m
recuperación	2.3 m
fracturas por pie	1
núcleos rotos	18
alteración	2
resistencia	2

$$NI = 0.1(0.7)+1+0.1(18)+2+2 = 7.5; \text{ roca buena}$$

Tabla 3.15 INDICE DE ESTABILIDAD

Descripción	Número de Índice
roca buena	< 8
roca incompetente	> 8

Ege (1968)

Clasificación de Terzaghi

Terzaghi (1946), clasifica a los macizos rocosos en nueve categorías y en cada una de éstas, asocia un término "carga de roca" (Hp) que está en función del ancho (B) y altura (Ht) del túnel. El término indica la altura de la masa de roca que tiende a gravitar del techo del túnel. La descripción de estos términos es la siguiente

- a. Roca dura e intacta. No contiene ninguna discontinuidad, por el uso de explosivos se le pueden ocasionar daños a la roca y producir desprendimientos de lajas. También, es frecuente el desprendimiento de la roca en lajas delgadas y de manera súbita (popping rock), debido a que la roca está sometida a un intenso estado de deformación elástica.
- b. Roca estratificada. Consiste en estratos individuales de roca con poca o ninguna resistencia a separarse entre éstos. El estrato puede o no tener debilidades debidas a fracturas transversales. Es frecuente el desprendimiento en forma de lajas.
- c. Moderadamente fracturada. El macizo rocoso contiene juntas y grietas pero los bloques entre las juntas están localmente unidas o íntimamente interconectadas, de manera que las paredes no requieren soporte lateral.
- d. Bloques y grietas. El macizo rocoso está constituido por fragmentos de roca inalterada los cuales están completamente separados uno de otro o imperfectamente interconectados; las paredes pueden requerir de algún tipo de soporte temporal.

- e. Roca fragmentada. Inalterada y tiene las características de un material triturado sin cribar. Si la mayor parte o todos los fragmentos son menores que la arena fina y no han sido cementados, bajo condiciones del nivel freático se presentan corrientes de arena que se precipitan dentro de la excavación.
- f. Roca alterada y que fluye hacia la excavación. La roca trata de obturar el túnel sin un notable cambio de volúmen, es necesario para este fenómeno que exista un alto porcentaje de partículas de minerales micáceos o minerales arcillosos con baja capacidad de expansión.
- g. Roca expansiva. La roca trata de obturar la excavación principalmente por efecto de la expansión. La capacidad de expansión está limitada a las rocas que contienen minerales arcillosos, como la montmorillonita.

Aunado a lo anterior, Terzaghi indica que no hay fronteras bien definidas entre cada condición de la roca, de manera que estos términos pueden variar en un margen muy grande. En la Tabla 3.16 se presenta un resumen de las condiciones anteriores y la "carga de roca" correspondiente (Hp)

Cabe agregar que esta clasificación sólo anticipa una forma burda acerca del conocimiento del macizo rocoso y los efectos que se pueden esperar del terreno circundante a la excavación y, una apreciación de los requerimientos del soporte temporal. Por otra parte, aunque considera la presencia de las discontinuidades, no toma en cuenta su posición relativa a la excavación, ni sus condiciones de presencia de agua o relleno. Los nuevos métodos de túneleo y los avances en el diseño del soporte temporal tienden a hacerla obsoleta.

Tabla 3.16

Condiciones de la roca	Carga de Roca (Hp)	Observaciones
a. Dura e intacta	Cero	Soporte ligero sólo si se presenta <u>lajeamiento</u> o <u>estallido</u> de la roca por altos esfuerzos en el macizo rocoso
b. Dura, estratificada o esquistosa	0.0 - 0.50 B	Soporte ligero
c. Masiva moderadamente fracturada	0.0 - 0.25 B	La carga puede variar <u>enráticamente</u> de un punto a otro
d. Bloques y grietas (condición moderada)	0.25B- 0.35(B+Ht)	No hay esfuerzo lateral
e. Bloques y grietas (abundantes)	(0.35-1.10) (B+Ht)	Presión lateral nula ó escasa
f. Completamente <u>fragmentada</u> pero <u>quimicamente</u> intacta.	1.10 (B+Ht)	<u>Considerable</u> presión lateral. El <u>ablandamiento</u> por abajo del piso del túnel debido al nivel freático requiere de soporte continuo para la parte inferior de los marcos o marcos circulares
g. Roca alterada y que fluye moderadamente	1.10 - 2.10 (B+Ht)	Alta presión lateral, se recomiendan marcos circulares
h. Roca alterada y que fluye considerablemente	2.10 - 4.50 (B+Ht)	
i. Roca expansiva	Más de 8 m y sin <u>relación</u> con (B+Ht)	Se requieren marcos circulares

Terzaghi (1946)

B = Ancho del túnel (m)

Ht= Altura del túnel (m)

Hp Carga de roca encima del techo del túnel (m)

Clasificación de Bieniawski (1974-1979)

Está basada en cinco parámetros derivados de las características - del macizo rocoso y un sexto parámetro para aplicaciones específicas a excavaciones subterráneas, cimentaciones o minería; estos parámetros son los siguientes:

- a. Resistencia de la roca
- b. R.Q.D.
- c. Condiciones de flujo de agua subterránea
- d. Espaciamiento de las discontinuidades
- e. Características de las discontinuidades
- f. Orientación de las discontinuidades

A cada parámetro le corresponde una calificación parcial de manera que al ser sumados se determina una calificación global (de 0 a 100) o RMR (Rock Mass Rating) del macizo rocoso. A continuación se describen brevemente cada uno de los parámetros y los rangos para asignar la calificación:

Resistencia de la roca. Se evalúa usando pruebas de compresión simple en laboratorio; las cuales se efectúan sobre núcleos de roca previamente preparados y obtenidos de la exploración con barrenos de diámetro NX, cuya relación de esbetez es mayor de 2.5. Otra forma de obtener la resistencia de la roca es mediante la prueba de carga puntual (I_s) que se relaciona directamente con la resistencia a la compresión simple.

Tabla 3.17

Resistencia a la Compresión Simple (Kg/cm ²)	Indice de Carga Puntual (Kg/cm ²)	Calificación
> 2000	81	15
1000 - 2000	40 - 81	12
500 - 1000	20 - 40	7
250 - 500	10 - 20	4
100 - 250	-	2
30 - 100	-	1
< 30	-	0

R.Q.D. El valor del índice de calidad de roca se relaciona con una calificación para esta clasificación RMR (Ver Tabla 3.18)

Tabla 3.18

R. Q. D. (%)	Calificación
91 - 100	20
76 - 90	17
51 - 75	13
25 - 50	8
< 25	3

Condición del flujo de agua. El flujo de agua tiene una gran influencia en el comportamiento de un macizo rocoso durante las excavaciones subterráneas, de manera que se considera en RMR en la forma que se presenta en la Tabla 3.19

Tabla 3.19

Gasto por cada 10 m de longitud del túnel (litros/minuto)	Presión de agua dividida entre el esfuerzo princ. mayor	Condición General	Calificación
Ninguno	0	seco	10
25	0.0 - 0.2	húmedo	7
25 - 125	0.2 - 0.5	presión moderada	4
125	0.5	problemas severos por el agua	0

Espaciamiento de las discontinuidades. Estos datos son obtenidos de los levantamientos geológicos, debido a que en la simple observación de los testigos de roca producto de las perforaciones con máquina rotaria, es difícil evaluar y distinguir las diferentes familias de fracturas. Ver Tabla 3.20.

Tabla 3.20

Espaciamiento	Calificación
> 3	30
1 - 3	25
0.3 - 1	20
0.005 - 0.3	10
< - 0.005	5

Características de las discontinuidades. En este parámetro se incluye la abertura, persistencia o continuidad; una fractura se considera continua si su longitud es mayor que el diámetro del túnel; además, es necesario describir y tomar en cuenta el material de relleno de las discontinuidades. (Tabla 3.21)

Tabla 3.21

Descripción	Calificación
Superficies muy rugosas de extensión limitada; superficies de roca dura.	25
Superficies ligeramente rugosas; abertura menor a 1 mm; superficies de roca dura.	20
Superficies ligeramente rugosas; abertura menor a 1 mm; superficies de roca blanda.	12
Superficies lisas, o rellenos de salbanda de 1 a 5 mm de espesor, o abiertas de 1 a 5 mm.	6
Discontinuidades abiertas rellenas con más de 5 mm de salbanda, o abiertas más de 5 mm.	0

Orientación de las discontinuidades. La posición de una discontinuidad con respecto a la obra puede tener una influencia notable - en cuanto al comportamiento del macizo rocoso. Bieniawski recomienda ajustar la suma de los primeros cinco parámetros con el sexto valor que dependerá de la influencia de la orientación de las discontinuidades. Es necesario relacionar las Tablas 3.22 y 3.23 para determinar la calificación

Tabla 3.22

RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DEL TUNEL				RUMBO PARALELO AL EJE DEL TUNEL	
A Favor del Echado		En Contra del Echado			
echado 45° - 90°	echado 20° - 45°	echado 45° - 90°	echado 20° - 45°	echado 45° - 90°	echado 20° - 45°
Muy favorable	favorable	regular	desfavorable	muy desfavorable	regular

echado de 0°-20°: desfavorable sin tomar en cuenta el rumbo.

Tabla 3.23

Influencia de la Orientación con la Obra	CALIFICACIONES PARA :		
	Túneles	Cimentaciones	Taludes
muy favorable	0	0	0
favorable	-2	-2	-5
regular	-5	-7	-25
desfavorable	-10	-15	-50
muy desfavorable	-12	-25	-60

Finalmente, para la clasificación de Bieniawski, se suman los valores de cada uno de los seis parámetros, es decir, RMR determina la clase y calidad del macizo rocoso de acuerdo a la Tabla 3.24.

Tabla 3.24 CLASIFICACION GEOMECANICA

Clase	Descripción	R.M.R.
I	roca muy buena	81 - 100
II	roca buena	61 - 80
III	roca regular	41 - 60
IV	roca mala	21 - 40
V	roca muy mala	0 - 20

Las aplicaciones de la Clasificación Geomecánica de Bieniawski están relacionadas en el tiempo en el cual puede ocurrir un derrumbe en un tramo o claro sin soporte; además, relaciona la clase de la masa de roca y un soporte de tipo temporal para túneles de 5m a 12m de ancho. En la Tabla 3.25 se presenta una guía para la elección del soporte temporal en túneles poco profundos y de 5m a 12m de diámetro o ancho.

Por otra parte, en base a casos prácticos se ha demostrado que el RMR puede ser correlacionado con el módulo de deformación de la roca (E), donde la relación es:

$$E = 2(\text{RMR}) - 100; \text{ para valores superiores a } 55 (\text{RMR})$$

El resultado indica que en las clases de roca I, II y III los valores de módulos de deformabilidad decrecen al aumentar el número de la clase, es decir, (E) es mayor en la clase I que en la clase III

Tabla 3.25

SOPORTE TEMPORAL (TUNELES POCO PROFUNDOS)

Clase	DIFERENTES SISTEMAS DE SOPORTE PARA EXCAVACIONES CON METODO CONVENCIONAL		
	ANCLAS*	CONCRETO LANZADO	MARCOS METALICOS
I	En general no requiere soporte		
II	Espacio entre anclas de 1.5 a 2.0 m en ocasiones malla metálica	Concreto lanzado 50 mm en el techo	No es económico
III	Espacio entre anclas de 1.0 a 1.5 m, además malla metálica y, si es necesario, 30 mm de concreto lanzado en el techo.	Concreto lanzado de 100 mm de espesor en la clave y 50 mm en las paredes, en ocasiones malla metálica y anclas donde sea necesario	Marcos ligeros con separación de 1.5 a 2.0 m.
IV	Espacio entre anclas de 0.5 a 1.0 m, malla metálica y de 30 a 50 mm de concreto lanzado en clave y paredes	Concreto lanzado de 150 mm en la clave y 100 mm en las paredes con malla metálica y anclas espaciadas entre 3 y 1.5 m.	
V	No es recomendable	Concreto lanzado de 200 mm en la clave y 150 mm en las paredes, con malla de alambre, anclas y marcos ligeros	Marcos pesados separados 0.7 m, concreto lanzado de 75 mm y colocado lo más pronto posible

* Anclas de 20 mm de diámetro, cubiertas con resina, largo igual a media vez el ancho del túnel.

Para la utilización de la tabla, es necesario elegir el sistema de soporte principal y de ahí hacer las combinaciones pertinentes según sea el caso. Como se puede observar, el concreto lanzado es el más ampliamente utilizado.

En la Tabla 3.26, se observa que algunos valores no coinciden con los de las tablas anteriores, puesto que en los de ésta, el Sr. Bieniawski ajustó los valores según sus consideraciones posteriores.

TABLA 3.26

PARAMETRO		RANGOS DE VALORES							
1	RESISTENCIA MPa (Roca intacta).	Indice de carga puntual	10	4 ^a 10	2 ^a 4	1 ^a 2	--		
		Resistencia a la compresión simple	250	100 ^a 250	50 ^a 100	25 ^a 50	5 ^a 25	1 ^a 5	1
	valor	15	12	7	4	2	1	0	
2	R. Q. D. %	90 ^a 100	75 ^a 90	50 ^a 75	25 ^a 50	25			
	valor	20	17	13	8	3			
3	Espaciamiento (discontinuidades)	2 m	0.6 ^a 2 m	20 ^a 60 cm	6 ^a 20 cm	6 cm			
	valor	20	15	10	8	5			
4	Condición de las discontinuidades	muy rugosas, no continuas, sin separación, pared inalterada	ligeramente rugosas, separación 1 mm, pared con alteración ligera.	ligeramente rugosa, separación 1 mm, alteración alta.	superficies pulidas, o salbanda 5 mm o separación continua de 1 ^a 5 mm.	Salbanda suave 5 mm o separación continua 5 mm.			
	valor	30	25	20	10	0			
5	Agua Subterránea	flujo en 10 m de longitud de túnel	ninguno	10 L/min	10 ^a 25 L/min.	25 ^a 125 L/min.	125		
		*	0	0.0 ^a 0.1	0.0 ^a 0.2	0.0 ^a 0.5	0.5		
	Condiciones generales	completamente seco	húmedo	goteos	escurrimiento	flujo			
	valor	15	10	7	4	0			
SIGNIFICADO DE LAS CLASES DEL MACIZO ROCOSO									
Núm. de clase	I	II	III	IV	V				
Autosostente-tiempo y espacio.	10 años 15 m	6 meses 8 m	1 semana 5 m	10 horas 2.5 m	30 minutos 1 m				
Cohesión de macizo rocoso	400 kPa	300 ^a 400 kPa	200 ^a 300 kPa	100 ^a 200 kPa	100 kPa				
Angulo de Fricción M. R.	45°	35° 45°	25° ^a 35°	15° ^a 25°	15°				

* Relación. Presión de agua en las juntas y Esfuerzo principal mayor.

Bieniawski (1979)

Clasificación de Barton, Lien y Lunde (1974)

El método Q es una descripción numérica de la calidad del macizo rocoso con respecto a la estabilidad de un túnel. El valor de Q está definido por una función (función Q) que consiste de seis parámetros, los cuales pueden ser estimados de la cartografía de observaciones "in situ" o de núcleos de perforación. El método es utilizado internacionalmente para la descripción general de la calidad del macizo rocoso, y como una guía para estimar los requerimientos de soporte temporal en un túnel, Fredrik Loset (1983)

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_r}{J_a} \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

- RQD = descripción de la calidad de la roca
- J_n número de sistemas de discontinuidades
- J_r número de rugosidad de las juntas
- J_a número de alteración y relleno de las juntas
- J_w factor de reducción por la condición de agua en las discontinuidades
- SRF factor de reducción por esfuerzos

El número de Q varía en el rango de 0.001 (para rocas excepcionalmente pobres) a 1000 (para roca excepcionalmente buena)

RQD

En la función Q el valor del RQD es utilizado solo como una medida del espaciamiento de las discontinuidades. El RQD tiene valores de 0 a 100, en la función Q el valor más bajo que se utiliza es de 10.

J_n

	<u>Valor</u>
a. masiva, pocas discontinuidades	0.5 a 1.0
b. un sistema de discontinuidades	2
c. un sistema más distribución aleatoria	3
d. dos sistemas de discontinuidades	4
e. dos sistemas más distribución aleatoria	6

f. tres sistemas de discontinuidades	9
g. tres sistemas más distribución aleatoria	12
h. cuatro o más sistemas, distribución aleatoria, intensamente fracturada, fragmentada, etc	15
i. roca fragmentada, granular tipo suelo	20

En las intersecciones de excavaciones subterráneas el valor de J_n se deberá multiplicar por tres y en el caso de los portales, se multiplicará por dos; con esto se disminuye el valor del cociente RQD/J_n que representa al macizo rocoso como unidad y es la medida relativa del tamaño del bloque.

<u>J_r</u>	<u>Valor</u>
A. Cuando existe contacto roca con roca en las juntas y	
B. Cuando existe este contacto con menos de 10 cm de desplazamiento de cortante	
a. juntas discontinuas	4.0
b. asperas y onduladas	3.0
c. tersas y onduladas	2.0
d. lustrosas y onduladas	1.5
e. asperas y planas	1.5
f. tersas y planas	1.0
g. lustrosas y planas	0.5
C. Cuando no hay contacto roca con roca al existir desplazamiento de cortante	
h. rellenos de arcilla, limos, arenas o gravas	1.0

Se suma 1.0 cuando el espaciamiento medio de las discontinuidades importantes es mayor de 3 m.

Comunmente es utilizado el valor del sistema de juntas, significando la debilidad del macizo rocoso.

<u>Ja</u>	<u>Valor</u>
A. Cuando existe contacto roca y roca en las juntas	
a. juntas limpias o con rellenos impermeables y resistentes como cuarzo y epidota	0.75'
b. juntas con ligera oxidación superficial	1.0
c. paredes ligeramente alteradas. Relleno de materiales que no pierden resistencia al deformarse como roca desintegrada y partículas de arena sin arcilla	2.0
d. paredes recubiertas o con rellenos arcillo arenosos que no pierden resistencia con la deformación	3.0
e. rellenos de minerales que pierden resistencia al deformarse como caolinita, mica, talco, yeso, grafito, etc. y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Estos rellenos son discontinuos y con espesor de dos milímetros	4.0
B. Cuando existe contacto entre roca y roca - en las juntas y menos de 10 cm de cortante	
f. relleno de partículas arenosas o roca desintegrada sin arcilla	4.0
g. rellenos continuos con espesor menor de 5 mm, formados por arcilla fuertemente consolidada la cual no pierde resistencia al deformarse	6.0
h. relleno continuo con espesor menor de 5 mm formado por arcilla de consolidación media a baja la cual pierde resistencia al deformarse	8.0
i. rellenos con espesor de 5 mm, formado por arcilla de alta plasticidad. El valor depende del porcentaje de partículas de arcilla expansiva, de la factibilidad de entrar en contacto con el agua, etc.	8.0 a 8.2

C. Cuando no hay contacto con la roca al existir desplazamiento de cortante

k.	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcilla (véase la descripción de la arcilla de g,h,i, respectivamente)	6.0, 8.0 ó 8.0 a 12.0
n.	Zonas o bandas de limo o arena arcillosa con pequeñas cantidad de arcilla (no pierde resistencia al deformarse)	5.0
o.	Zonas o bandas de arcilla continuas y de espesor considerable (vease la descripción de la arcilla de los puntos g,h,i, respectivamente)	10.0, 13.0 ó 13.0 a 20.0

En la función Q la debilidad o sistemas de juntas menos favorables son las que generalmente se consideran. El cociente J_r/J_a representa el comportamiento del macizo rocoso sin tomar en cuenta la orientación de las discontinuidades; es decir, es una aproximación del esfuerzo cortante en el macizo rocoso.

<u>J_w</u>	Presión Hidrostática apróx. (kg/cm ²)	<u>Valor</u>
a. Ambiente seco o flujo reducido, por ejemplo 5 L/min. localmente	< 1.0	1.0
b. Flujo o presión medianos, lavado ocasional del relleno de las juntas	1.0 a 2.5	0.66
c. Flujo o presión grandes en roca competente con juntas limpias	2.5 a 10.0	0.50
d. Flujo o presión grandes, lavado considerable del relleno de las juntas	2.5 a 10.0	0.33
e. Flujo excepcionalmente grande o agua a presión durante las voladuras la cual disminuye con el tiempo	> 10.0	0.2 a 0.1
f. Flujo excepcionalmente grande o presión constante sin disminuir en forma perceptible	> 10.0	0.1 a 0.05

Nota: Los valores para los puntos c. a f. están burdamente estimados. El valor de J_w deberá aumentarse si se tiene la medida del drenaje instalado. Los problemas especiales que causa la formación de hielo en el interior de las grietas, no están considerados.

S R FValor

A. Existencia de zonas de debilidad que interceptan la excavación y pueden ocasionar que se formen zonas de material suelto al excavar el túnel.				
a.	Numerosas zonas de debilidad conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente o roca muy suelta a cualquier profundidad		10.0	
b.	Numerosas zonas de debilidad aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente a una profundidad de 50m o menor		5.0	
c.	Igual a 2 pero a una profundidad mayor de 50m		2.5	
d.	Numerosas zonas de cortante o cizalladas en roca competente sin arcilla o roca suelta a cualquier profundidad		7.5	
e.	Zonas cizalladas aisladas, en roca competente sin arcilla a una profundidad de 50m o menor		5.0	
f.	Igual a 5 pero a una profundidad mayor de 50m		2.5	
g.	Roca suelta con discontinuidades abiertas, roca intensamente fracturada		5.0	
B. Roca competente, problemas de esfuerzos en roca			<u>Valor</u>	
h.	Esfuerzos reducidos cerca de la superficie del terreno	> 200	> 13	2.5
i.	Esfuerzos medianos	200 a 10	13 a 0.66	1.00
j.	Esfuerzos grandes en estructura bien interconectada.	10 a 5	0.66 a 0.33	0.5 a 2
k.	Ocurrencia de estallidos leves en roca masiva	5 a 2.5	0.33 a 0.16	5 a 10
l.	Ocurrencia de estallidos importantes en roca masiva	< 2.5	< 0.16	10 a 20

Valor

C. Extrusión de la roca incompetente bajo la acción de grandes esfuerzos	
m. Extrusión leve	5 a 10
n. Extrusión importante	10 a 20
D. Expansión de la roca debido a la presencia de agua y esfuerzos	
o. Expansión leve	5 a 10
p. Expansión importante	10 a 15

Nota 1. Reducir en a. el valor de SRF del 25 al 50% si las zonas importantes de cizalla tienen influencia en la excavación sin ser interceptadas por ésta.

Nota 2. σ_1 y σ_3 son los esfuerzos principales mayor y menor y R_c y R_t son la resistencia a la compresión y tensión de la roca, respectivamente. En esfuerzos fuertemente anisotrópicos, cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, deben reducirse R_c y R_t al 80% ($0.8 R_c$ y $0.8 R_t$) y, cuando $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, se deberán reducir R_c y R_t a 60%.

Nota 3. En el punto h. se sugiere aumentar el valor de SRF de 2.5 a 5.0 cuando la profundidad del túnel sea menor de su claro

En el cociente formado por J_w/SRF están consideradas las fuerzas activas que actúan en la excavación de un túnel.

Estimación de los requerimientos de soporte por el método Q

El valor Q describe la condición de estabilidad del macizo rocoso. Por consiguiente cada valor dará una aproximación para el soporte que se requiere. El diseño de soporte depende de las dimensiones de la excavación; la dimensión utilizada (claro ó diámetro cuando se analiza la estabilidad del techo y altura cuando se analizan las paredes) se modifica dividiendo su valor entre el factor ESR-

(de sus siglas en inglés Excavation Support Ratio) que depende del propósito o finalidad de la obra, la presencia de maquinaria, personal, etc. En la Tabla 3.27 se presentan los valores del factor ESR obtenidos del análisis de los casos reales (200) en que se basa el método Q, los cuales respaldan la selección del valor ESR para cada tipo de obra.

Tabla 3.27 RELACION SOPORTE-EXCAVACION (E S R)

TIPO DE EXCAVACION	E.S.R.	CASOS
A. Excavaciones temporales mineras, etc	3 - 5	2
B. Pozos verticales: 1) sección circular 2) sección cuadrangular	2.5 2.0	0 0
C. Excavaciones mineras permanentes, túneles para hidroeléctricas (excepto para altas presiones) túneles pilotos, derivaciones y portales para grandes excavaciones, etc).	1.6	83
D. Almacenes, plantas de tratamiento de aguas, carreteras pequeñas y túneles ferroviarios, túneles de acceso, galerías cilíndricas.	1.3	25
E. Casas de máquinas, carreteras grandes y túneles ferroviarios, portales, intersecciones, cámaras para defensa civil, etc.	1.0	79
F. Estaciones nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, fábricas, etc.	0.8	2

Para la selección del soporte se presenta el procedimiento de un caso particular:

- a. De las características del macizo rocoso, se selecciona el valor de participación de los seis parámetros mencionados.
- b. Se substituyen los valores en la función Q para obtener el valor Q.
- c. Se estima el valor de ESR según la Tabla 3.27.
- d. Se calcula el cociente de la dimensión efectiva entre ESR.
- e. Con el valor Q y el cociente determinado en d. se define un punto en la gráfica de la Figura 3.3, y se relaciona con la Tabla 3.28 que muestra la clasificación de calidad Q.
- f. Con el número de la sección de la gráfica siguiente se define el soporte entre 38 categorías.

Tabla 3.28

Valor	Q
< 0.01	excepcionalmente pobre
0.01 - 0.1	extremadamente pobre
0.1 - 1.0	muy pobre
1.0 - 4.0	pobre
4.0 - 10.0	regular
10.0 - 40.0	bueno
40.0 - 100.0	muy bueno
100.0 - 400.0	extremadamente bueno
> 400.0	excepcionalmente bueno

Barton et al (1975)

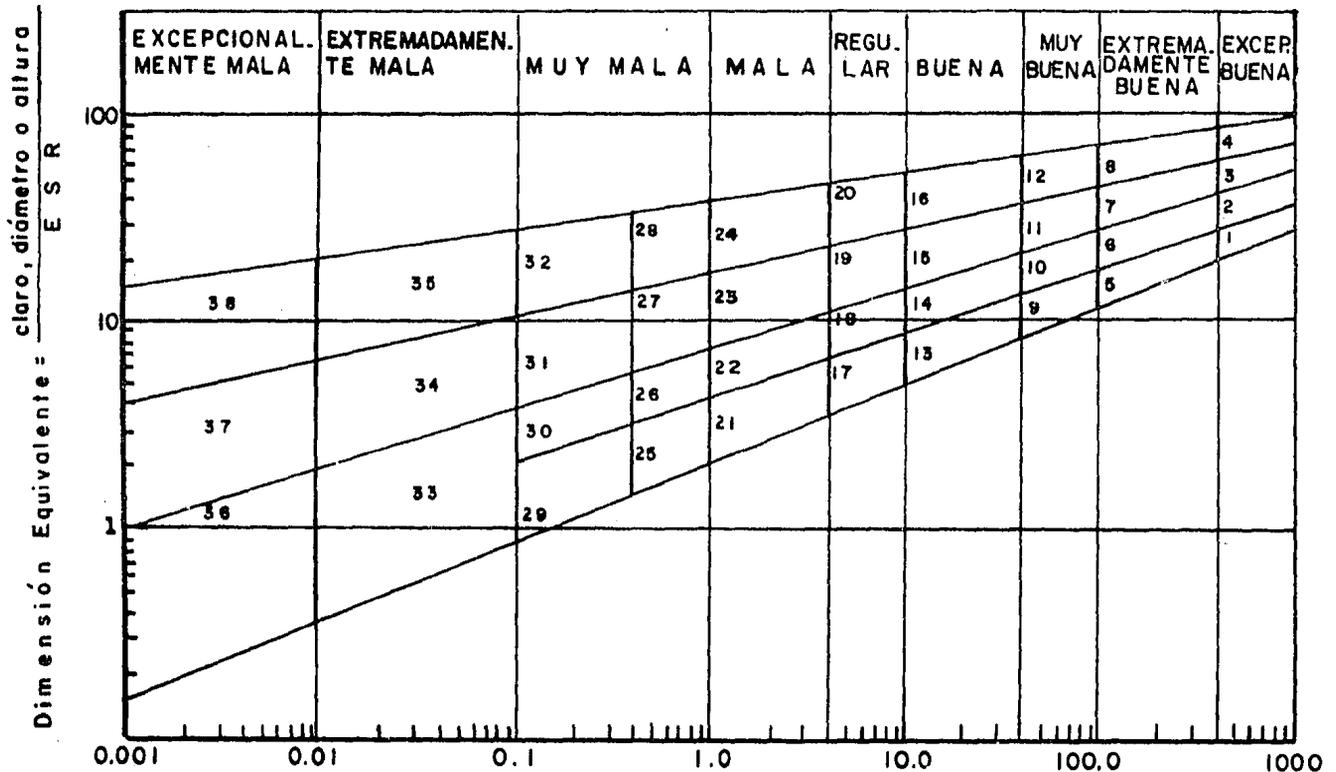


Fig. 3.3 Calidad del macizo rocoso $Q = \left(\frac{RQD}{dn}\right) \cdot \left(\frac{J_r}{da}\right) \cdot \left(\frac{J_w}{SRF}\right)$

Arabilidad

En muchas ocasiones es fundamental conocer el tipo de material que se pretende excavar para decidir sobre el uso del arado. En términos generales la decisión no sólo se apoya en la dureza de la roca sino en sus condiciones geológicas; algunas de estas pueden ser las siguientes:

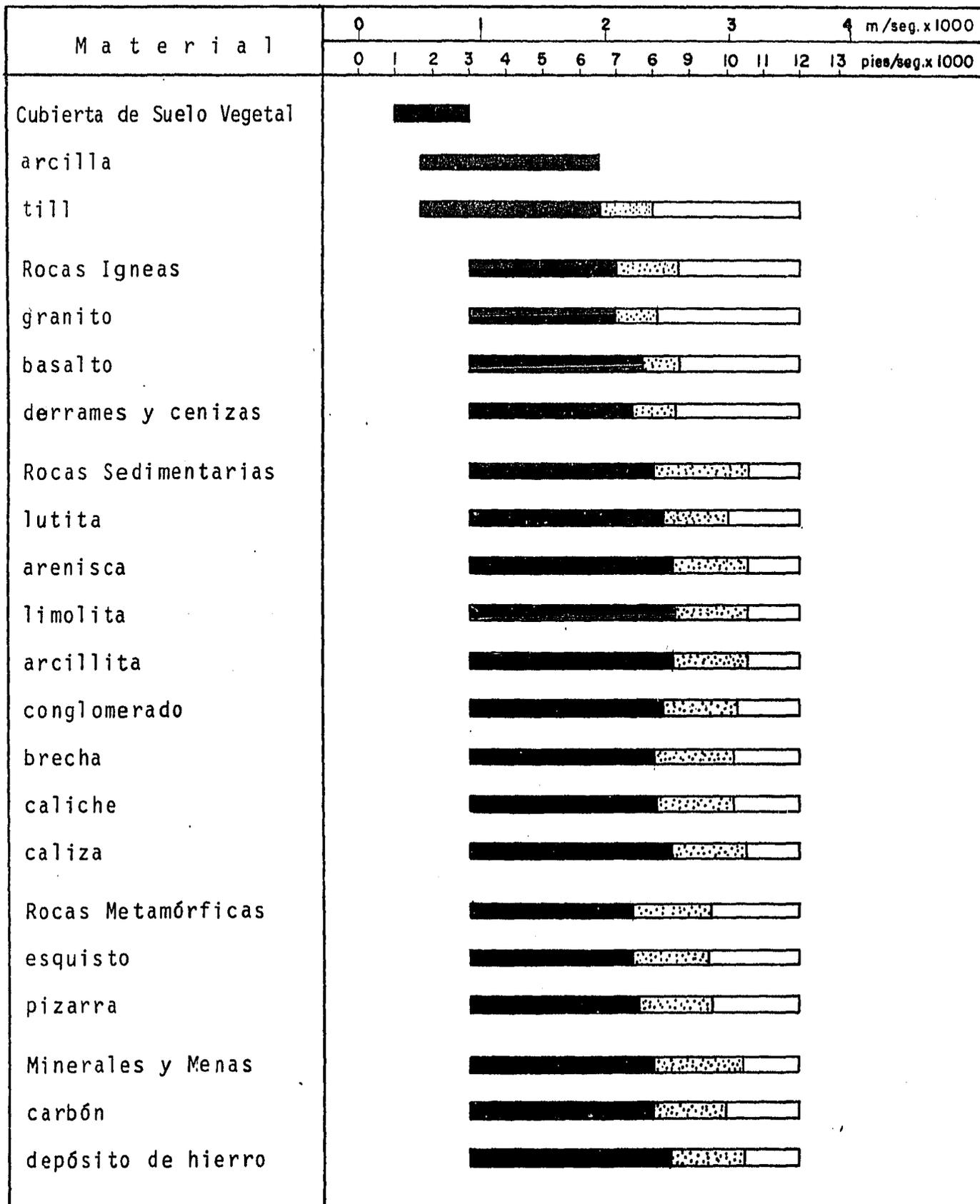
- planos laminados
- intemperización o meteorización avanzada
- conglomerados empacados en materiales arcillosos, con escaso cementante

Lo anterior da un indicio de los materiales arables y deben confirmarse a través de exploraciones geológicas, o muestras obtenidas mediante sondeos y la observación directa.

Otro de los indicios de la posibilidad para arar una roca (blanda) es la respuesta de la refracción sismográfica, la cual se basa en la velocidad de una onda sonora. A través de terrenos compactos, esta respuesta es más rápida que a través de terrenos suaves, de modo que las distintas velocidades sísmicas definen ciertos límites dentro de los cuales los materiales son susceptibles de desgarrarse o ararse. Las gráficas de las Tablas 3.29, 3.30 y 3.31 muestran los rendimientos de los tractores Caterpillar D9G, D8H y D7 equipados con desgarradores (arado)

RENDIMIENTO DEL ARADO N° 9, DE UNO Y DE VARIOS VASTAGOS,
EN TRACTOR D9G (389 hp) EN RELACION CON LAS VELOCIDADES
SISMICAS

Tabla 3.29



[Legend bar: solid black, dotted, solid white]
Arable Marginal No-Arable

RENDIMIENTO DEL DESGARRADOS N° 8 SERIE D, DE UNO Y DE ARIOS VASTAGOS, EN TRACTOR D8H (270 ph) EN RELACION- CON LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS SISMICAS

Tabla 3.30

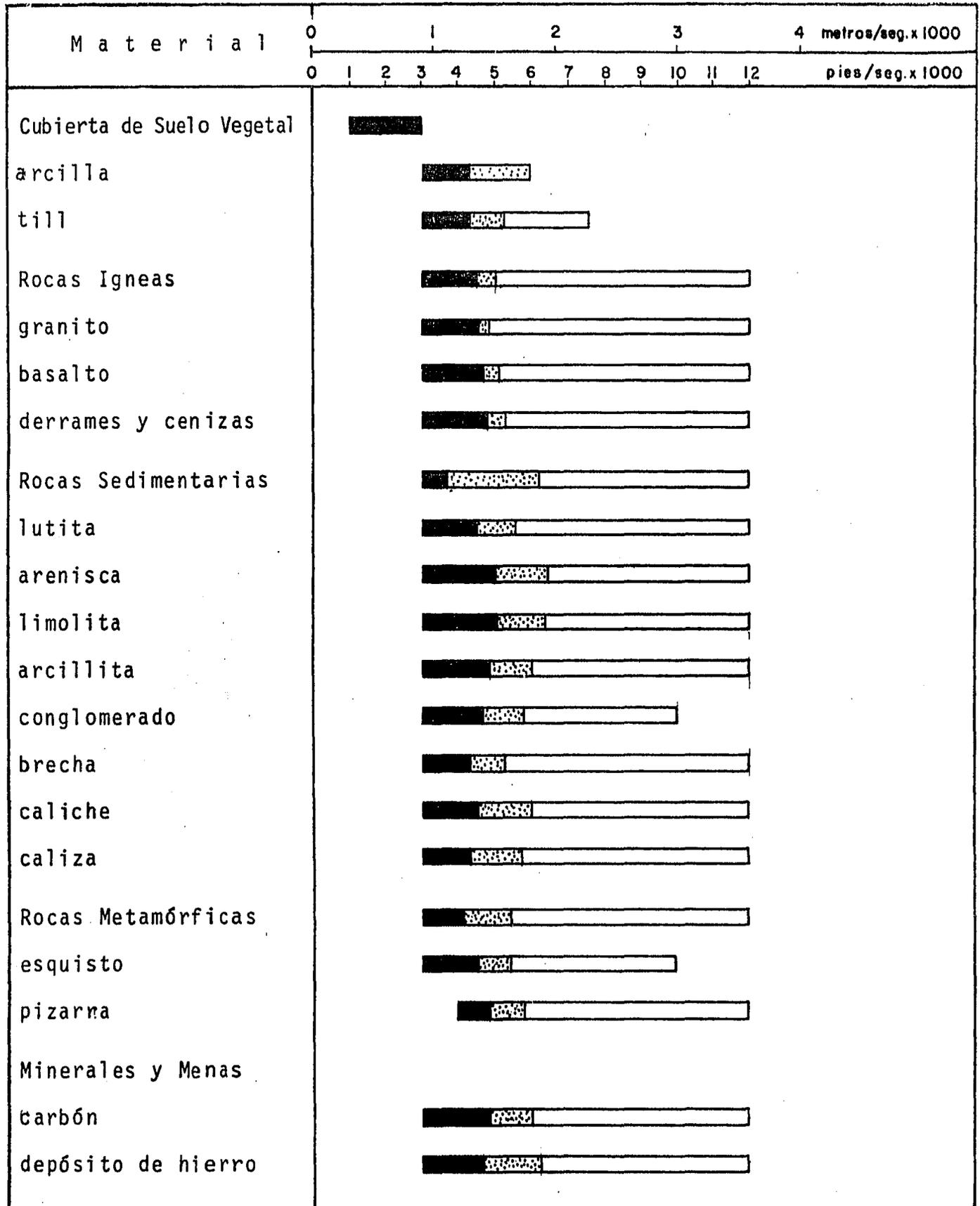
Material	0 1 2 3 4 metros/seg.x1000													
	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 pies /seg. x 1000													
Cubierta de Suelo Vegetal	██████████													
arcilla	██████████ 2900													
till	██████████ 2900000													
Rocas Igneas	██████████ 2900000													
granito	██████████ 2900													
basalto	██████████ 29000													
derrames y cenizas	██████████ 2900													
Rocas Sedimentarias	██████████ 2900000													
lutita	██████████ 2900000													
arenisca	██████████ 2900000													
limolita	██████████ 2900000													
arcillita	██████████ 29000													
conglomerado	██████████ 2900000													
brecha	██████████ 2900000													
caliche	██████████ 2900000													
caliza	██████████ 2900000													
Rocas Metamórficas	██████████ 2900000													
esquisto	██████████ 2900000													
pizarra	██████████ 2900000													
Minerales y Menas	██████████ 2900000													
carbón	██████████ 2900000													
depósitos de hierro	██████████ 2900000													

██████████ 2900000

Arable Marginal No.Arable

RENDIMIENTO DEL DESGARRADOR N° 7 EN EL TRACTOR D7F (180hp)
EN RELACION CON LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS SISMICAS

Tabla 3.31



██████████ ██████████ ██████████
Arable Marginal No.Arable

4.- PROPIEDADES INDICE Y MECANICAS DE LAS ROCAS
(TABLAS BASICAS)

4. PROPIEDADES INDICE Y MECANICAS DE LAS ROCAS (TABLAS BASICAS)

Este capítulo está constituido por una recopilación de tablas que muestran los rangos o valores comunes de algunas propiedades y de ciertas rocas; no obstante que la mayoría de los resultados son obtenidos de pruebas de laboratorio, los cuales pueden diferir al comportamiento mecánico del macizo rocoso "in situ". Sin embargo, se considera que siempre será necesario tener en cuenta estos rangos de valores de las propiedades, principalmente para la presentación de trabajos geotécnicos representativos de las etapas preliminares o tempranas. El método consistió en considerar en términos generales la influencia de los factores sobre las propiedades, después, continuar una secuencia que considera la permeabilidad, la porosidad y la densidad que están íntimamente ligadas a la resistencia, en donde están comprendidos los términos como la resistencia a la compresión y a la tensión, el esfuerzo cortante, el ángulo de fricción interna y la cohesión. Posteriormente se involucraron las propiedades dinámicas, eléctricas y elásticas de las rocas además, una evaluación para las lutitas, debido a que éstas pueden ser en un momento dado un tema de controversia para su consideración ingenieril. Finalmente se convino incluir a la abrasividad por ser una propiedad de la roca que interviene en forma directa en muchos trabajos de ingeniería.

A continuación se mencionan brevemente algunos conceptos importantes:

- Elasticidad; propiedad del material por la cual retorna a su forma original o condición, después de que se le ha retirado la fuerza que lo había deformado.
- Plasticidad; un cuerpo plástico no recupera su forma original cuando se le retira la fuerza aplicada que lo deformó
- Creep; deformación lenta de un material cuando se le han aplicado cargas relativamente pequeñas en un tiempo relativamente largo.

- Módulos de deformación; es la relación del incremento de deformación causado por el incremento del esfuerzo normal aplicado.
- Relación de Poisson; la relación del acortamiento en la dirección transversal a la elongación en la dirección de una fuerza aplicada a un cuerpo en tensión, debajo del límite proporcional.

Para lo anterior, McCutchen (1949), elaboró un esquema (Tabla 4.1) en el que se muestra el efecto de varios factores sobre el comportamiento físico de los macizos rocosos. A continuación se enlistan los símbolos que complementan las indicaciones de la Tabla 4.1

+ indica incremento

- indica decremento

* capacidad de mayor plasticidad o deformaciones elástico-viscosas

incrementa un grado y después decrece

si el grano es grueso

es mayor cuando es paralelo al bandeamiento que perpendicular a éste.

Tabla 4.1

INFLUENCIA DE VARIOS FACTORES SOBRE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LAS ROCAS

INFLUENCIA DE SOBRE	PROPIEDADES GENERALES	Densidad	Módulos de Young	Resistencia	Plasticidad	Relación de Poisson	Rigidez	Compresibilidad	Velocidad de Ondas	Límite elástico
Profundidad (incremento de la presión confinante)	Puede causar recristalización, diastrofismo, metamorfismo	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Tiempo de aplicación de esfuerzo	Causa fatiga y "creep" en las rocas			-	+*					
Temperatura	Incrementa la posibilidad de reconstitución de las rocas	-		-	+			+		
Reacción de soluciones en poros	Disolución y precipitación, causando deformaciones			-						
Porosidad	Sedimentos someros y alterados tienden a ser más porosos	-	-			-	-	+	-	-
Composición Mineral a) Rocas ígneas b) Rocas sedimentarias	Cuando son más ácidas Cuando son clásticas opuesto a crist.	-	-	-		-	-	+	-	
Textura (grano fino vs grano grueso)	En granos finos la influencia es menos pronunciada		+	+			+			
Contenido de Humedad a) Rocas consolidadas b) Rocas no consolidadas	Comúnmente: alteraciones en la roca original			-	+			-	+	
Carácter y grado de metamorfismo	En rocas metamórficas. Diastrofismo prominente	+	+ ^o				+ ^o	-	+ ^o	+

Permeabilidad. Se entiende como la propiedad de la roca para permitir la conducción de agua (o cualquier líquido). Los valores de la permeabilidad son importantes puesto que dan una indicación de la valoración del flujo de agua a través de una roca en particular. Una roca impermeable tal como una roca con una constante de permeabilidad menor que 0.001 y aquella en la que no es posible que pase o contenga una cantidad significativa de agua. Tales consideraciones son de gran importancia en el estudio de sitios para presas, túneles, etc. En la Tabla 4.2 se muestran valores de permeabilidad, de la constante de permeabilidad que es independiente de las propiedades del líquido que se infiltre y, la porosidad correspondiente. Farmer (1968)

Tabla 4.2

R o c a	Constante de Permeabilidad (cm ²)	Coefficiente de Permeabilidad (cm/s a 15°C)	Porosidad (%)
Granito	0.001 - 0.05	10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁵	1 - 4
Gabro	0.00001 - 0.002	10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁷	0.1 - 0.5
Microgranito	0.001 - 0.05	10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁵	1 - 3
Diabasa	0.00001 - 0.002	10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁷	0.1 - 0.5
Basalto	0.01 - 0.05	10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁵	1 - 3
Arenisca	0.2 - 0.3	10 ⁻³ a 10 ⁻⁴	4 - 20
Lutita	0.02 - 0.3	10 ⁻³ a 10 ⁻⁴	5 - 20
Caliza	0.02 - 0.3	10 ⁻³ a 10 ⁻⁴	5 - 15
Cuarcita	0.00001 - 0.001	10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁷	0.2 - 0.6
Mármol	0.001 - 0.05	10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁵	2 - 4
Pizarra	0.00001 - 0.05	10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁷	0.01 - 1

Permeabilidad en rocas fisuradas o fracturadas.

Tratándose de una masa rocosa discontinua por la presencia de juntas, fisuras u otras discontinuidades, la permeabilidad se puede considerar más alta, debido a que las discontinuidades actúan como canales. Para la determinación de la permeabilidad equivalente (k) de un arreglo planar de fracturas lisas y paralelas, se tiene la expresión $k = ge^3 / 12 \nu \cdot b$, donde g ; es la aceleración de la gravedad (981 cm/s^2), e ; es la abertura de fracturas o fisuras, b ; es el espaciamiento entre fracturas y, ν ; es el coeficiente de viscosidad cinemática ($0.0101 \text{ cm}^2/\text{s}$) para agua pura a 20°C . La tabla 4.2b muestra una forma comparativa y descriptiva de la permeabilidad.

Tabla 4.2b

	k cm/s	Roca intacta	Roca fracturada	S U E L O
Prácticamente impermeable	10^{-10}	Pizarra		arcilla homogénea debajo de la zona de intemperismo.
	10^{-9}	Dolomia		
	10^{-8}	Granito		
Descarga baja Drenaje pobre	10^{-7}	—		arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena y arcilla, -- depósitos glaciares y arcillas estratificadas.
	10^{-6}	Caliza		
	10^{-5}	—	juntas rellenas con arcilla	
	10^{-4}	Arenisca		
Descarga alta Drenaje libre	10^{-3}	—		
	10^{-2}		roca con juntas	
	10^{-1}			arena limpia, mezclas de -- arena limpia y grava.
	1.0		roca con juntas abiertas	
	10			
10^2		roca fuertemente fracturada	grava limpia	

Porosidad. Es la relación entre el volúmen de huecos o intersticios en una roca o suelo y su volumen total, de manera que la densidad está íntimamente ligada a la porosidad. Los autores sobre mecánica de rocas consideran que de todas las características físicas que afectan el comportamiento mecánico de una roca, la presencia de huecos es de lo más importante. La cantidad y grado de porosidad dependen del tipo, estructura y modo de formación de la roca. En el caso de las rocas ígneas un enfriamiento lento del magma dará lugar a una roca menos porosa, mientras que, el enfriamiento rápido en el caso de lava asociada con el escape de gases producirá rocas porosas. En las rocas sedimentarias la porosidad depende en gran parte de la cantidad de cementante y tamaño de los constituyentes, Farmer (1968). En la Tabla 4.3 están expresados algunos valores típicos en términos de porcentaje de poros en la roca, y la densidad, definida como la relación del peso de la roca y su volumen.

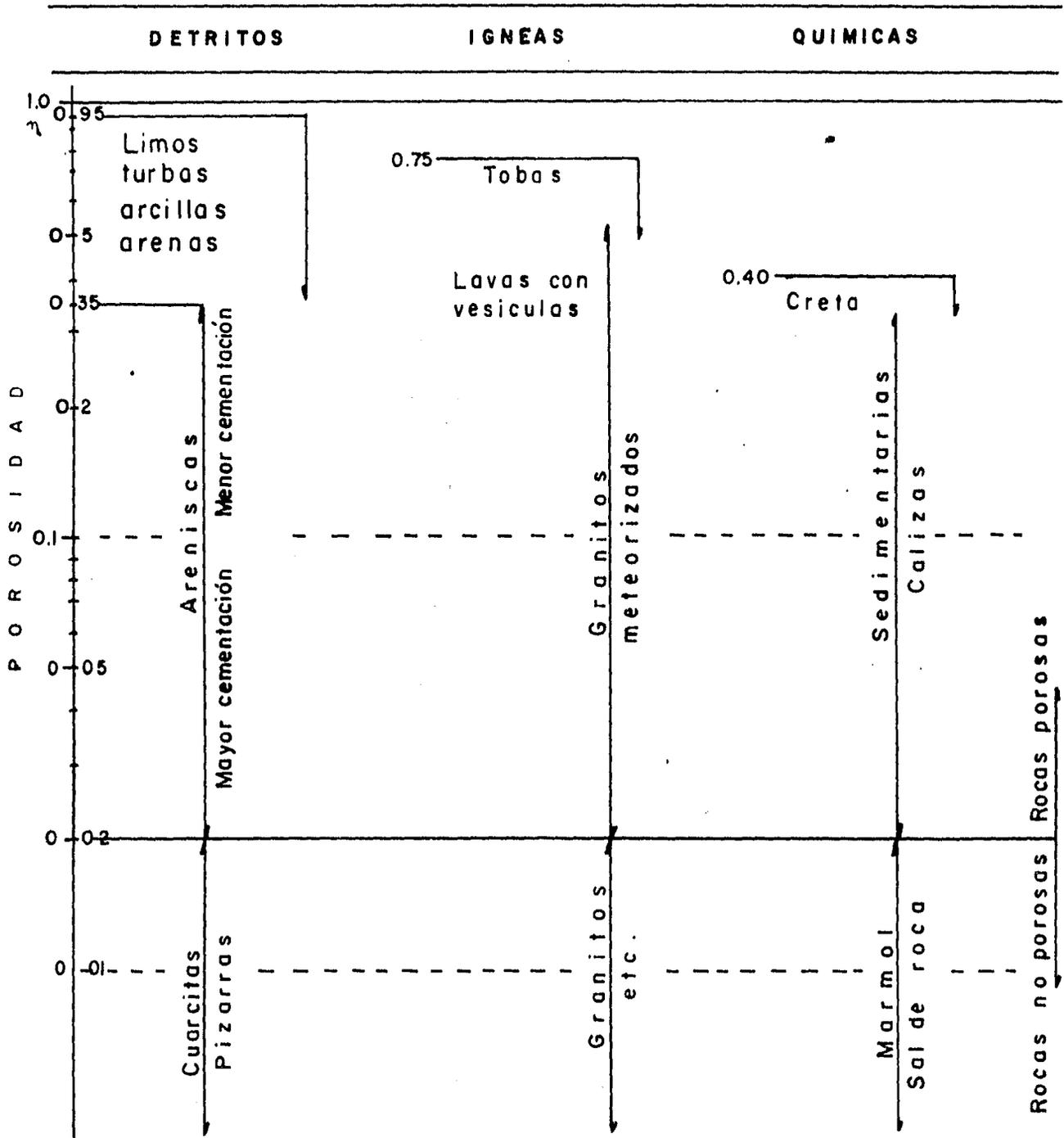
Tabla 4.3 **POROSIDAD Y DENSIDAD DE ROCAS**

R o c a	Porosidad (%)	Densidad (gr/cm ³)
Granito	0.5 - 1.5	2.6 - 2.7
Riolita	4.0 - 6.0	2.4 - 2.6
Gabro	0.1 - 0.2	3.0 - 3.1
Basalto	0.1 - 1.0	2.8 - 2.9
Dolerita	0.1 - 0.5	3.0 - 3.05
Andesita	10.0 - 15.0	2.2 - 2.3
Lutita	10.0 - 30.0	2.0 - 2.4
Arenisca	5.0 - 25.0	2.0 - 2.6
Caliza	5.0 - 20.0	2.2 - 2.6
Dolomita	1.0 - 5.0	2.5 - 2.6
Pizarra	0.1 - 0.5	2.6 - 2.7
Gneis	0.5 - 1.5	2.9 - 3.0
Mármol	0.5 - 2.0	2.6 - 2.7
Cuarcita	0.1 - 0.5	2.65

Farmer (1968)

La Fig. 4.1, adaptada de Dessenne y Dufaut (1980). En una escala logarítmica para la porosidad se muestran tres columnas: una; para suelos y rocas clásticas, incluyendo las cuarcitas (metamórficas); otra columna, para rocas ígneas y, la tercera, para rocas calcáreas y otras rocas químicas.

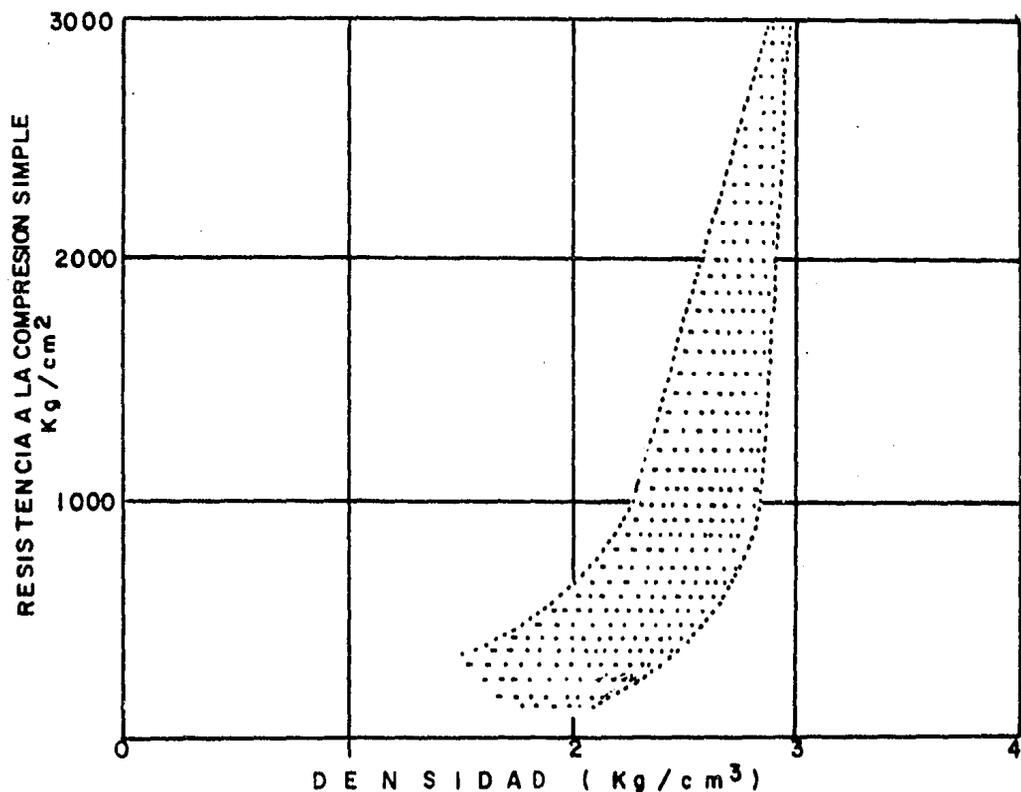
Fig. 4.1



El límite 0.02 de porosidad no deberá ser considerado como fijo

Densidad. Se define como la relación del peso de la roca respecto a su volumen; si una roca tiene espacios internos sin cohesión molecular o mecánica, estará afectada por la cantidad de contactos internos entre sus fracciones que la constituyen. En el caso de una roca altamente porosa los contactos internos son menores y ésto, se refleja particularmente en la resistencia de la roca y su densidad. La situación está representada en la Figura 4.2, basada en observaciones de D'Andrea et al (1965) y, Judd y Huber (1962); representa una clara relación entre la resistencia a la compresión y al densidad, Farmer (1968). En la Tabla 4.3 se tienen rangos de valores de la densidad de algunas rocas.

Fig. 4.2 Relación aproximada entre la resistencia y la densidad



Resistencia. Esfuerzo máximo en el cual un material puede resistir sin fallar por la aplicación de cualquier tipo de carga, SIMR (1975) De acuerdo con Farmer (1968), la resistencia de una roca bajo condiciones de carga se puede definir en términos de: a) su resistencia a la compresión uniaxial, b) su resistencia a la tensión uniaxial, c) su resistencia al cortante y d) su ángulo o coeficiente de fricción interna.

Como la resistencia a la compresión de una roca está afectada por su estructura interna, y puesto que la verdadera falla a la compresión requerirá condiciones de carga hidrostática; la resistencia a la compresión de un espécimen es un reflejo de su resistencia al cortante, es por eso que una roca no confinada falla en cortante. Aunado a lo anterior, el coeficiente de fricción es una constante de proporcionalidad que relaciona el esfuerzo normal y el correspondiente esfuerzo cortante crítico, en el cual se inicia el deslizamiento entre dos superficies sólidas.

Puesto que en muchos casos de diseño en rocas se involucra el esfuerzo compresivo, el concepto de resistencia a la tensión en rocas puede ser utilizado indirectamente. Sin embargo, en algunos criterios de falla y en el fracturamiento de rocas por la acción de los explosivos, la resistencia a la tensión es de mucha importancia, Farmer (1968). En la Tabla 4.4 se presentan algunos valores típicos de los términos comprendidos en la resistencia de diferentes tipos de rocas. Cabe agregar las definiciones breves siguientes:

- compresión no confinada, es la compresión causada por la aplicación de un esfuerzo normal (en una dirección)
- esfuerzo de tensión, es el esfuerzo normal que tiende a alargar un cuerpo en la dirección en la que se aplica
- esfuerzo cortante, es el esfuerzo dirigido paralelamente a la superficie del elemento a través del cual actúa
- ángulo de fricción interna, es el ángulo formado entre los ejes de esfuerzos cortante y normal, y la tangente a la envolvente de Mohr en un punto que representa una condición de falla por esfuerzo
- cohesión, es la resistencia al corte cuando el esfuerzo normal es cero.

Para complementar los conceptos anteriores se presenta la Figura 4.3.

Fig. 4.3

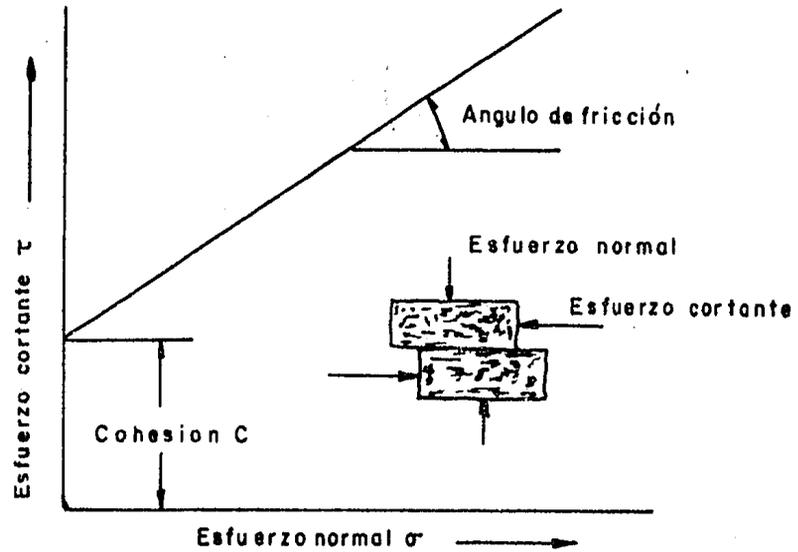


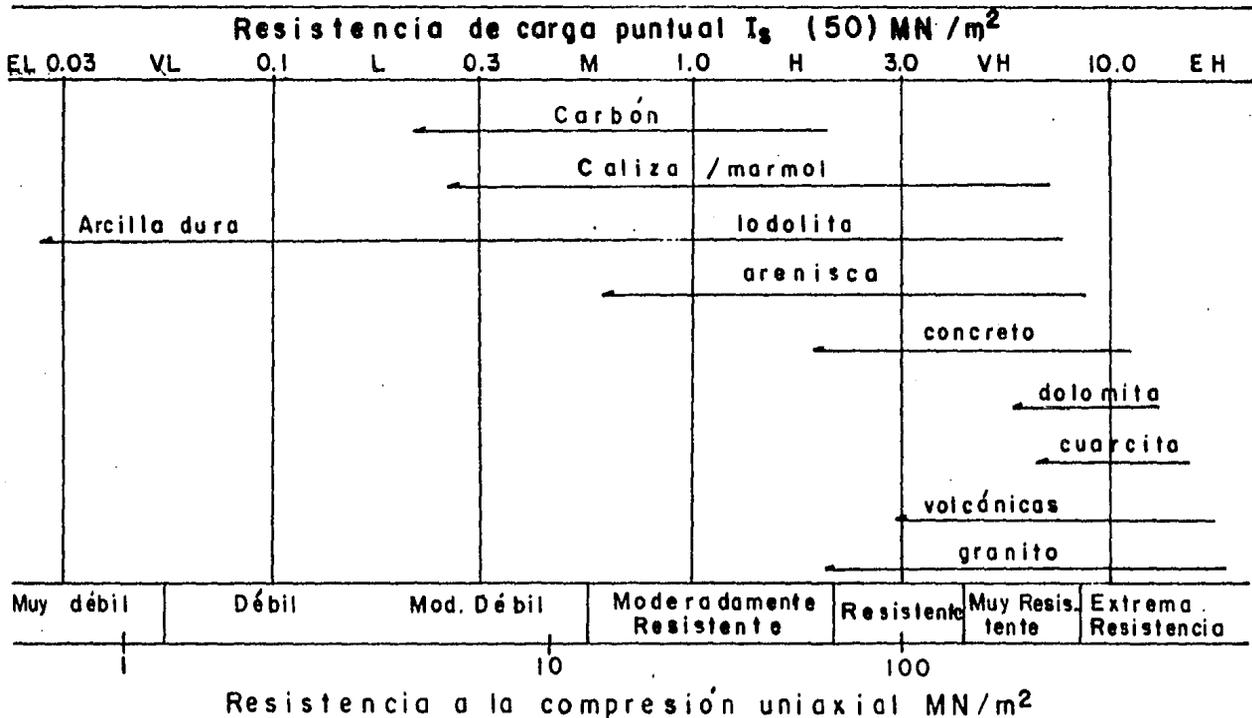
Tabla 4.4

R o c a	Resistencia a la Compresión Uniaxial (kg/cm ²)	Resistencia a la Tensión (kg/cm ²)	Resistencia al Cortante (kg/cm ²)
Granito	1000 - 2500	70 - 250	140 - 500
Diorita	1800 - 3000	150 - 300	
Diabasa	2000 - 3500	150 - 350	250 - 600
Gabro	1800 - 3000	150 - 300	
Basalto	1500 - 3000	100 - 300	200 - 600
Arenisca	200 - 1700	40 - 250	80 - 400
Lutita	100 - 1000	20 - 100	30 - 300
Caliza	300 - 2500	50 - 250	100 - 500
Dolomía	800 - 2500	150 - 250	
Carbón	50 - 500	20 - 50	
Cuarcita	1500 - 3000	100 - 300	200 - 600
Gneis	500 - 2000	50 - 200	
Mármol	1000 - 2500	70 - 200	150 - 300
Pizarra	1000 - 2000	70 - 200	

Se observa la diferencia tan marcada entre la resistencia a la compresión uniaxial (mucho mayor) y la resistencia a la tensión. Otro tipo de consideraciones establecen que en un espécimen cilíndrico-bajo esfuerzo compresivo, la resistencia a la compresión se incrementará cuando la relación longitud/diámetro (del cilindro) disminuye. Además, es importante tomar en cuenta la dirección de los esfuerzos aplicados respecto a los sistemas de debilidad de la muestra.

El índice de carga puntual, es otra valoración de la resistencia que puede ser medida en direcciones diferentes; la Figura 4.4 representa dos sistemas alternativos de subdivisión y nomenclatura, junto con la correlación entre la resistencia de carga puntual y la resistencia a la compresión uniaxial y rangos típicos de estos valores en rocas comunes. Wilson, Broch y Franklin (1972)

Fig. 4.4 Correlación entre la resistencia de carga puntual y la uniaxial



Por otra parte, Deere reunió en diagramas varios valores de resistencia a la compresión y módulos de deformación de diferentes rocas como se muestra en las figuras 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11.

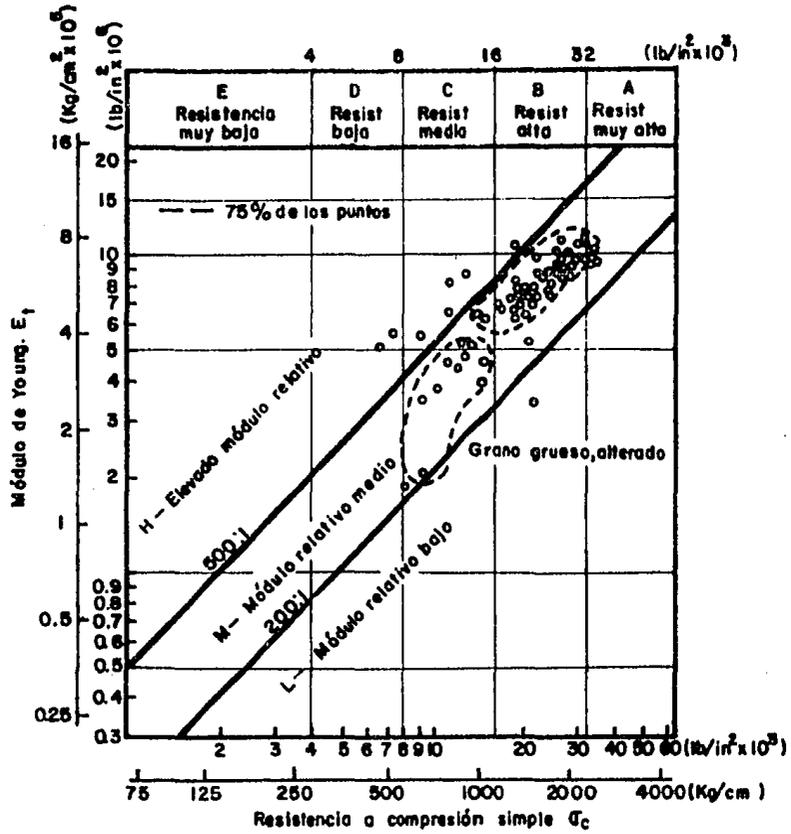


Figura.4.5 Clasificación de rocas intactas de la familia del granito

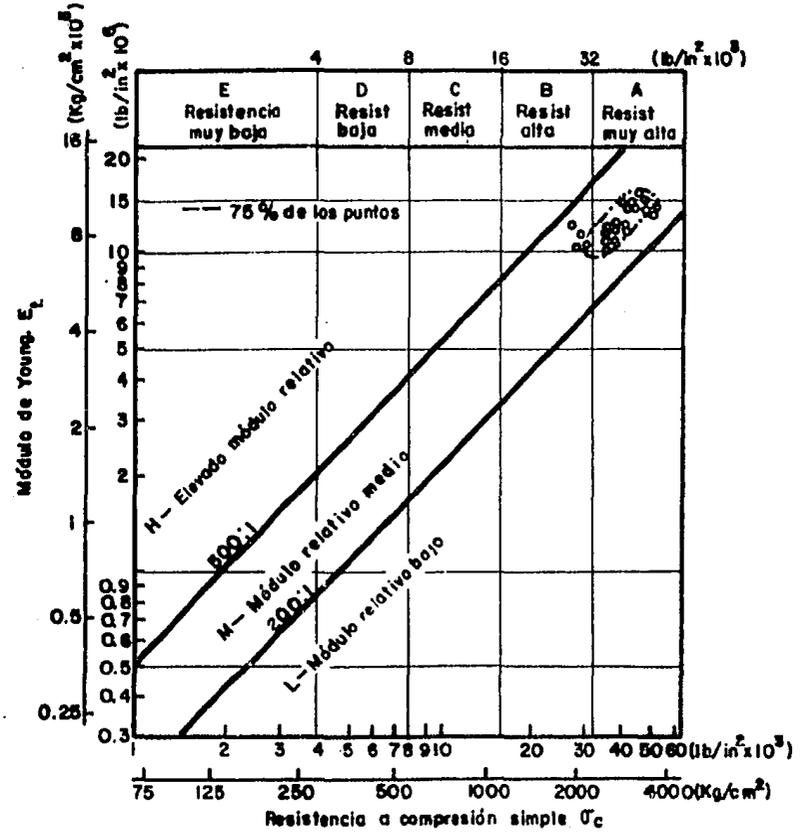


Figura 4.6 Clasificación de rocas intactas-Diabasas

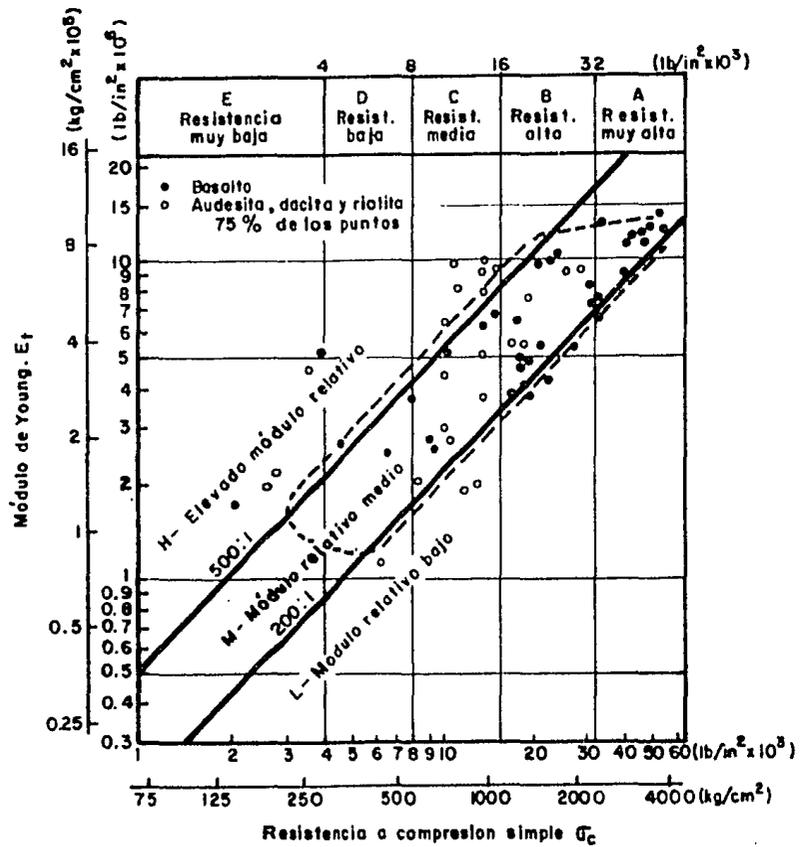


Figura 4.7 Clasificación de rocas intactas-Basalto y otras rocas volcánicas

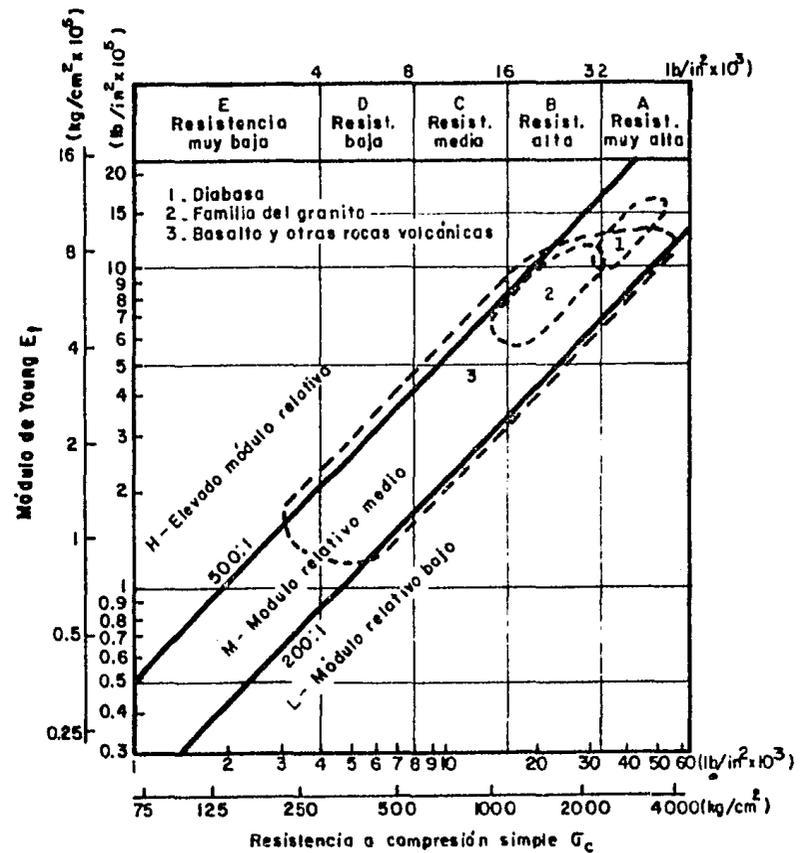


Figura 4.8 Clasificación de rocas intactas-Resumen de rocas ígneas

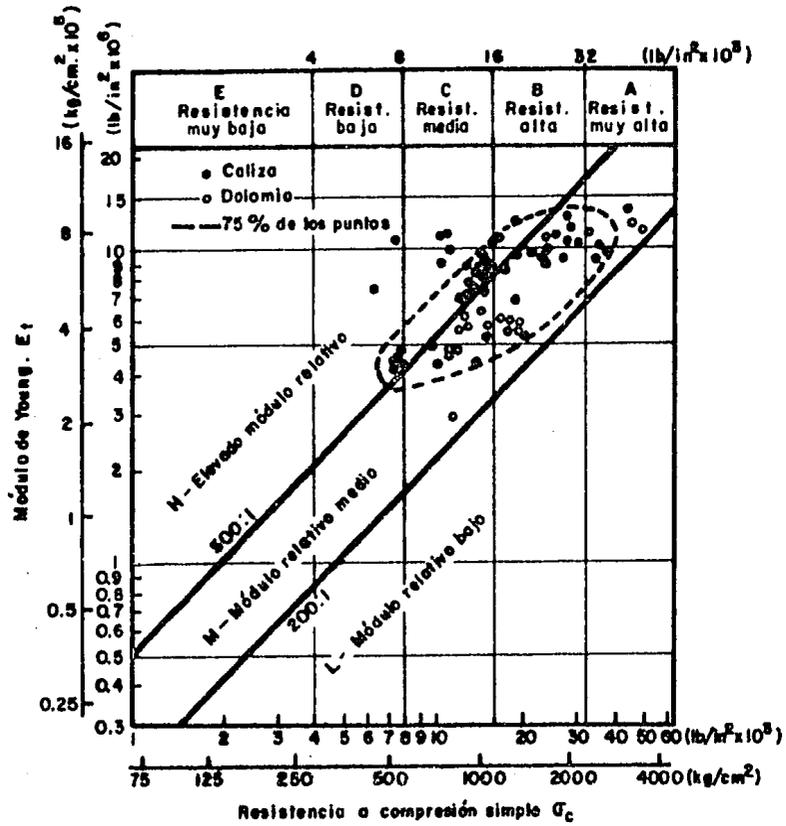


Figura 4.9 Clasificación de rocas intactas-Caliza y dolomita

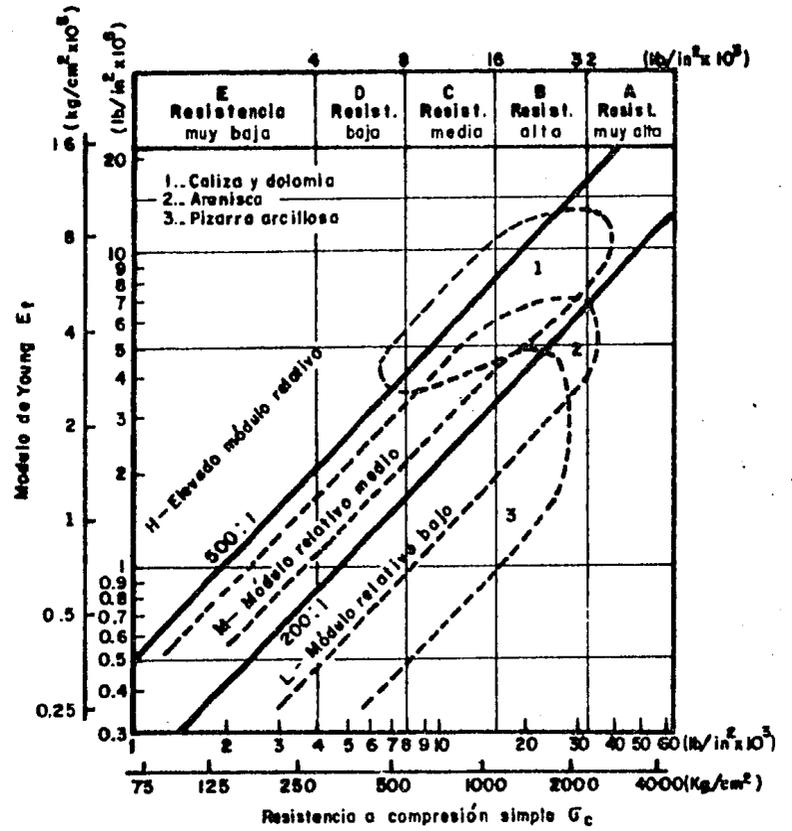


Figura 4.10 Clasificación de rocas intactas-Resumen de rocas sedimentarias

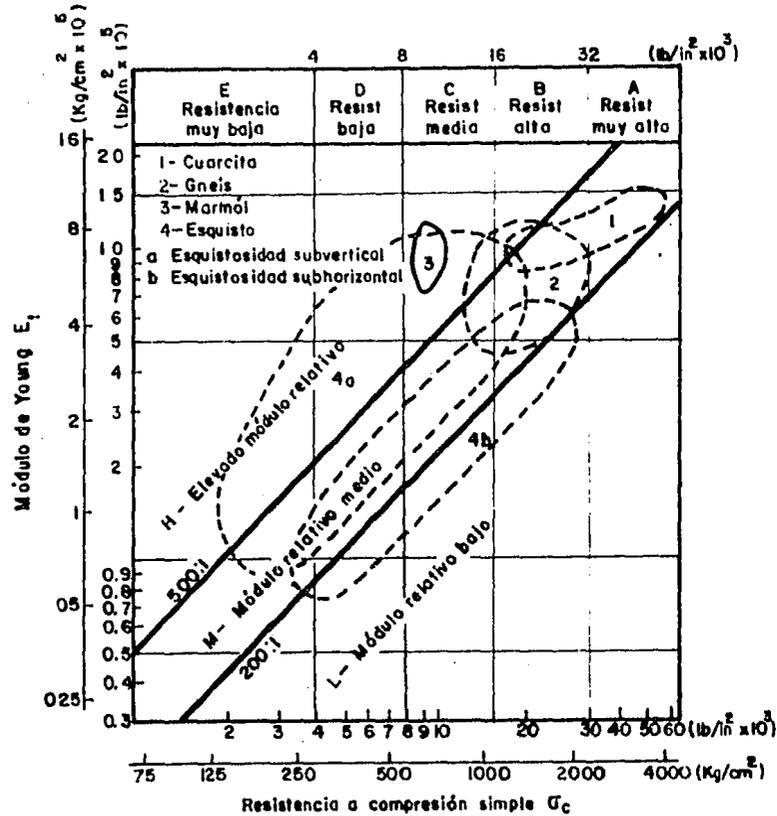


Figura 4.11 Clasificación de rocas intactas-Resumen de rocas metamórficas

E_1 = módulo tangente para el 50% de la carga de rotura
 la roca se clasifica como AM, BH, BL, etc.

En las tablas 4.5 y 4.6 se tienen valores del ángulo de fricción y cohesión, los cuales están basados en pruebas de esfuerzo cortante en suelos y rocas. Estos valores sólo dan una idea de la magnitud que puede ser considerada, de manera que se pueden utilizar para - obtener una estimación preliminar, por ejemplo, en la estabilidad de un talúd.

Tabla 4.5 PROPIEDADES DE SUELOS Y ROCAS TÍPICAS

Tipo	Material	Densidad kg/m ³	Angulo de Fricción		
			Material	Grados	
F r i c c i o n a n t e s	A r e n a	Arena gruesa seca	1440	Compacta, bien graduada	
		Arena fina seca	1600	Uniforme	40-45
		Arena húmeda	1840	Uniforme, gruesa, fina, media	
		Arena muy húmeda	1920	o arena con limo	35-40
				suelta bien graduada	35-40
				arena fina seca	30-35
	G r a v a	Mezcla común	1760	mezcla común	35-45
		Grava de río	2240	angulosa	40
		Angulosa suelta	1840	con arena compacta	40-45
		Grava con arena	1920	con arena suelta	35-40
	R o c a d i s g r e g a d a	Granito	1600 - 2000	triturada ó roca quebrada	35-45
		Basalto y diabasa	1760 - 2240	marga quebrada	35-45
Caliza y arenisca		1280 - 1920	lutita quebrada	30-35	
Marga		1000 - 1280			
Lutita		1600 - 2000			

Tabla 4.5 (Continuación)

Tipo	Material	Densidad	Angulo de Fricción		Material	Cohesión kg/m ²
			Material	Grados		
A r c i l l a	Arcilla seca	1760	arcilla con boleos, seca	30	muy dura con boleos	17600
	Arcilla saturada, drenada	1840	saturada, con boleos, drenada	40	lutita arcillosa dura	14600
	arcilla húmeda	1920	dura o tenáz	10-20	arcilla dura o tenáz	9800
	lodo con arena	1600	blanda	5-7	arcilla firme	4900
	marga	1760	salbanda	10-20	arcilla blanda	2400
	arcilla con grava	2000	calcita con material de zona de cortante	20-27		
			lutita zona de falla	14-22		
S u p e r f i c i a l	cubierta de suelo	1360				
	suelo seco	1440				
	suelo mojado	1600	suelo superficial	30-35	suelo superficial	490-4900
	suelo húmedo	1680				
M a c i z o r o c o s o	granito	2614	granito	30-50	macizo rocoso duro	9800 _s
	cuarcita	2614	cuarcita	30-45	(granito, pórfido, etc)	30000
	arenisca	1950	arenisca	30-45	arenisca o calizas	4900 _s
	caliza	3619	caliza	30-50	masivas	14600
	pórfido	2580	pórfido	30-40	lutita o roca blanda	2400
	lutita	2400	lutita	27-45	masivas	9800 _s
	marga	1760	marga	30-40		

Tabla 4.6

ALGUNOS ANGULOS DE FRICCION Y VALORES DE COHESION (APROXIMADOS)

R o c a	ANGULOS DE FRICCION (ϕ°)			Cohesión kN m ⁻²
	Roca intacta	Discontinuidad	Fundamental	
andesita	45	31 - 35	28 - 30	
basalto	48 - 50	47		
diorita	53 - 55			
granito	50 - 64		31 - 33	100 - 300
grauwackas	45 - 50			
caliza	30 - 60		33 - 37	50 - 150
monzonita	48 - 65		28 - 32	
pórfido		40	30 - 34	100 - 300
cuarcita	64	44	26 - 34	
arenisca	45 - 50	27 - 38	25 - 34	50 - 150
esquisto	26 - 70			
lutita	45 - 64	37	27 - 32	25 - 100
pizarra	45 - 60		25 - 34	
limolita	50	43		

Hoek y Londe (1974), apoyan el uso de una caja mecánica (portátil) para determinar el esfuerzo cortante de superficies de discontinuidad. El argumento está basado en la conclusión de que la resistencia fundamental de una superficie de cizalla es independiente de la escala a la que se efectúe la prueba, puesto que la fricción fundamental o esencial es un número adimensional al cual se le puede asignar un valor con la ausencia de la cohesión y en pruebas sobre especímenes pequeños. El ángulo de fricción fundamental refleja la presencia de las irregularidades menores contenidas en los ángulos (i) de las ondularidades; la Tabla 4.6 muestra algunos ángulos de fricción y valores de cohesión en ciertas rocas. En cuanto a los materiales de rellenos de las discontinuidades. Hoek sugiere los ángulos de fricción enlistados en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 **ANGULOS DE FRICCIÓN PARA POSIBLES MATERIALES DE RELLENO EN JUNTAS**

M a t e r i a l	Angulo de Fricción Grados
Salvanda de arcilla	10 - 20
Calcita en zona de cortante	20 - 27
Lutita como material de falla	14 - 22
Brecha (roca) dura	22 - 30
Agregado de roca compactado (duro)	40
Relleno duro de roca	38

Hoek (1970)

Propiedades dinámicas de las rocas. Las rocas pueden estar sujetas a transmitir una carga dinámica que puede ser el producto de la acción de los explosivos o impactos mecánicos. Una carga dinámica está definida por la rapidez de su acción y su habilidad para iniciar un choque y/o ondas de esfuerzo en una roca. La manera en la que una roca pueda aceptar o rechazar los esfuerzos dinámicos es de importancia fundamental en el diseño de estructuras en roca.

Son dos los tipos básicos de onda elástica; ondas de cuerpo y, ondas de superficie. Las ondas de cuerpo pueden subdividirse en dos: a) ondas de compresión o primaria (P) y b) ondas de corte o secundarias (S). Las ondas P indican un movimiento oscilatorio longitudinal de las partículas. En las ondas S el movimiento de las partículas es en dirección transversal sin comprimir el material. Las ondas superficiales también han sido subdivididas en cuatro tipos. La Tabla 4.8 presenta velocidades típicas de onda P en diferentes rocas.

Tabla 4.8 VELOCIDADES DE PROPAGACION DE ONDAS SISMICAS

R o c a	Velocidad de la Onda P. m/s
Granito	3 000 - 5 000
Basalto	4 500 - 6 500
Diabasa	4 500 - 6 500.
Gabro	4 500 - 6 500
Arenisca	1 400 - 4 000
Lutita	1 400 - 4 000
Caliza	2 500 - 6 000
Mármol	3 500 - 6 000
Cuarcita	5 000 - 6 500
Pizarra	3 500 - 5 500

De manera general, en la Tabla 4.9 se pueden observar velocidades de propagación de ondas longitudinales (P), en distintos materiales

Tabla 4.9 VELOCIDADES DE PROPAGACION DE ONDAS SISMICAS

M a t e r i a l	Velocidad en m/seg.
Suelo	170 - 500
Arcilla	1000 - 2800
Arcilla arenosa	975 - 1100
Arcilla arenosa cementada	1165 - 1280
Limo	760
Arena seca	300
Arena húmeda	610 - 1830
Aluvi6n	550 - 1000
Aluvi6n (Terciario)	800 - 1500
Aluvi6n profundo	1100 - 2360
Dep6sito glaci6r	490 - 1700
Dunas	500
Loess	375 - 400
Lutita	1800 - 3800
Arenisca	2400 - 4000
Marga	3000 - 4700
Creta	1830 - 3970
Caliza	3000 - 5700
Dolomía	5000 - 6200
Evaporitas	3500 - 5500
Granito	4000 - 5600
Gneis	5100 - 7500
Esquisto o pizarra	2290 - 4700
Roca ígena del basamento	5500 - 6600
Agua (dependiendo de la temperatura y contenido de sales)	1430 - 1680

Propiedades eléctricas de las rocas. Con la interpretación del campo eléctrico creado por la circulación de una corriente eléctrica en el subsuelo, se puede establecer una relación entre los parámetros físicos que intervienen en la propagación de una corriente eléctrica y las características físicas de las rocas o materiales. Esto es posible por medio de: a) la resistividades aparentes de las rocas, b) generando un campo eléctrico y c) midiendo tanto la intensidad como la caída de potencial. La resistividad de una material se define como la resistividad de Ohms entre las caras de un cubo unitario de material; la unidad es el ohm-metro. El uso de las propiedades eléctricas de las rocas, está enfocado a la localización de acuíferos y estructuras geológicas.

La Tabla 4.10 muestra algunos valores de resistividad en suelos y rocas.

Tabla 4.10

VALORES DE RESISTIVIDAD

M a t e r i a l	Resistividad (ohm-m)
arcillas	3 - 30
margas	10 - 100
lutitas	30 - 300
arenas y gravas	100 - 1000
calizas	300 - 3000
arenisca	70 - 7000
rocas intrusivas	1000 - 10000

Propiedades elásticas de las rocas. En un medio elástico el esfuerzo es directamente proporcional a la deformación y, el módulo de elasticidad es la constante que representa en el sentido mecánico, la rigidez de un material (roca). En problemas ingenieriles donde se requiere una medida de la reacción directa de una roca a una fuerza, el módulo de deformación o de elasticidad (Módulo de Young) y la Relación de Poisson son las constantes elásticas más comúnmente citadas. En la Tabla 4.11 se enlistan valores de estas constantes; está basada en un amplio rango de orígenes.

Tabla 4.11

R o c a	Módulo de Deformación ($\times 10^5$) (kg/cm ²)	Relación de Poisson
Granito	2 - 6	0.25
Microgranito	3 - 8	0.25
Sienita	6 - 8	0.25
Diorita	7 - 10	0.25
Diabasa	8 - 11	0.25
Gabro	7 - 11	0.25
Basalto	6 - 10	0.25
Arenisca	0.5 - 8	
Lutita	1 - 3.5	
Lodolita	2 - 5	
Caliza	1 - 8	
Dolomía	4 - 8.4	
Carbón	1 - 2	

Farmer (1968)

Coates en "Rock Mechanics Principles" establece que las pruebas de compresión simple o uniaxial, tienen como objeto determinar la resistencia a la compresión del terreno para propósitos ingenieriles (algunos valores obtenidos de rocas particulares están presentes en la Tabla 4.12). Asumiendo que la falla en compresión debe ser precedida, comparando el esfuerzo calculado alrededor de una abertura con la resistencia que ha sido probada. Esto se basa en la

suposición de que la resistencia de muestras en laboratorio debe representar al macizo rocoso.

MODULOS DE DEFORMACION Y RESISTENCIA A LA COMPRESION

Tabla 4.12

UNIAXIAL; SOBRE ROCA INTACTA

R o c a	Módulo de deforma - ción kg/cm ²	Resistencia a la Com presión Simple kg/cm ²
Caliza	6×10^5	1100
Caliza	4	350
Arenisca	3	2200
Lutita	3	370
Lutita	1	370
Limolita	1	250
Conglomerado	8	1700
Cuarcita	7	2000
Granito	4	1500
Granito	2	430
Toba	0	2680
Toba	0.1	40
Lava	6	1030
Esquisto de hornblenda	9	2500

Coates (1970)

La relación entre la resistencia a la compresión uniaxial con el módulo de deformación, la velocidad sísmica y la resistencia a la tensión uniaxial se presenta en la Figura 4.12.

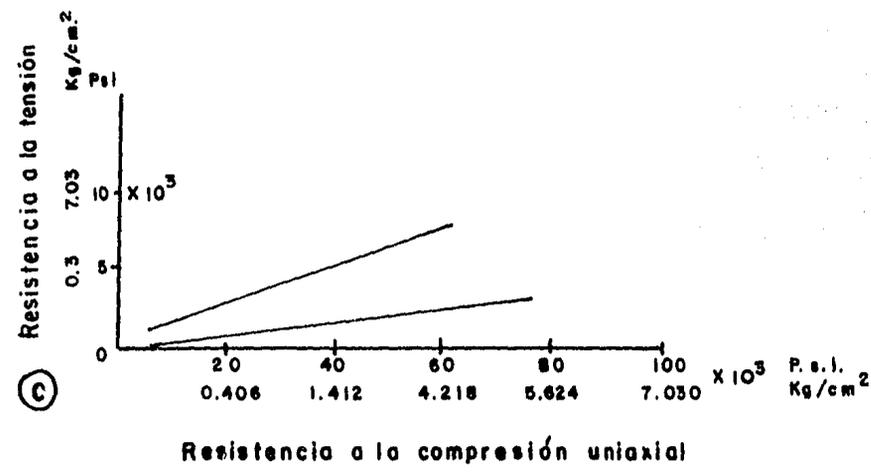
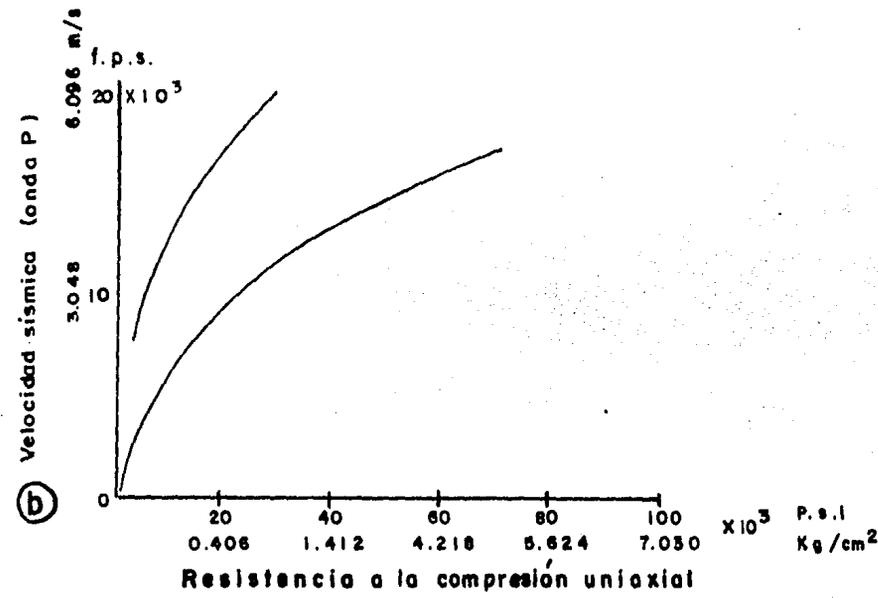
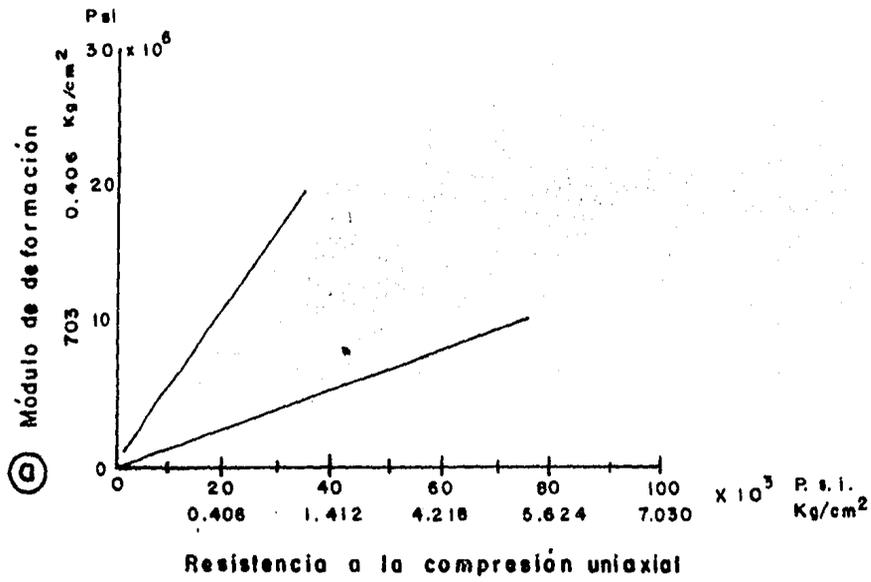


Fig. 4.12 Correlaciones entre la resistencia a la compresión uniaxial y algunas propiedades elásticas, dinámicas y mecánicas, a), b) y c), respectivamente

En la ingeniería, el término arcilla se usa para definir un suelo - con cierto contenido de mineral arcilla, y se describe como un sedimento fino sin consolidar; mientras que, la lutita con arcilla o arcillosa se refiere a un material bien consolidado, duro y con tendencia a la fisilidad. Por otra parte, se ha considerado que las lutitas ocupan comunmente una posición geotécnica intermedia entre suelos y rocas (Attewell y Farmer, 1976), por lo tanto es conveniente incluir en este capítulo una evaluación ingenieril de las lutitas, la cual ha sido propuesta por Underwood en la Tabla 4.13

Abrasividad Es la propiedad de un material para causarle a otro - pérdida de materia, raspaduras o pulverización. Algunos métodos - conocidos para determinar la abrasividad son los petrológicos y - los mecánicos.

Métodos petrológicos

Se conocen dos escalas; la escala de Mohs que se basa en la dureza de un mineral con respecto a otro, y, la escala de Rosiwal, basada en el tratamiento de Moler con abrasivo estándar de corundo.

La proporción de cada mineral en la roca se multiplica por su dureza y la suma de los resultados proporciona un valor numérico llamado "dureza principal", el cual se toma como una medida de la abrasividad (Tablas 4.14 y 4.15)

La desventaja de los métodos petrológicos en la medida de la abrasividad, es que no toman en cuenta el tamaño de las partículas, la angularidad, ni la firmeza de adhesión de los granos minerales que forman la roca.

Tabla 4.13 (Continuación)

EVALUACION INGENIERIL DE LAS LUTITAS

Coeficiente de permeabilidad ms ⁻¹	10 ⁻⁷ - 10 ⁻¹²	*			*			*
	10 ⁻⁷	---	---	---	---	---	---	---
Minerales de arcilla predominantes	Montmorillonita ó illita	*						*
	Caolinita ó clorita	---	---	---	---	---	---	---
Proporción de actividad = $\frac{\text{índice plástico}}{\text{contenido de arcilla}}$	0.75 - 2.0							*
	0.35 - 0.75	---	---	---	---	---	---	---
Ciclos de humedecimiento y secado	reduce el tamaño del grano				*	*		
	reduce a las hojuelas	---	---	---	---	---	---	---
Espaciamiento de discontinuidades en la roca	espaciamiento próximo		*			*	*	*
	espaciamiento amplio	---	---	---	---	---	---	---
Orientación de discontinuidades en la roca	orientación adversa		*				*	*
	orientación favorable	---	---	---	---	---	---	---
Estado de esfuerzos	mayor que la sobrecarga existente			*			*	*
	aprox. a la sobrecarga existente	---	---	---	---	---	---	---

* Significa afirmación

Underwood (1967)

Tabla 4.14

ESCALA DE MOHS

Dureza	Mineral	Equivalente
10	Diamante	
9	Corundo	
8	Topacio	Lima dura
7	Cuarzo	
6	Ortoclasa	Vidrio de ventana
5	Apatito	Moneda de cobre
4	Fluorita	
3	Calcita	Uña
2	Yeso	
1	Talco	

Tabla 4.15

ESCALA DE ROSINAW

Dureza	Mineral
140 000	Diamante
1 000	Corundo
175	Topacio
120	Cuarzo
37	Ortoclasa
6.5	Apatito
5	
4.5	Calcita
0.25	Yeso
0.03	Talco

Métodos mecánicos

1. Pruebas en especímenes de roca intacta y
2. Pruebas en agregados de roca

Ambas pruebas están basadas en el desgaste de una herramienta metálica bajo condiciones controladas. Dos ejemplos de estas pruebas son los siguientes:

Para espécimen de roca. Un punzón de acero de punta cónica con ángulo de cono de 90° es pasado a lo largo de 10 mm, con una carga normal de 7 kg sobre la superficie de un espécimen de roca. La abrasividad es obtenida de la medida del diámetro de desgaste llano sobre el cono de acero. La unidad de abrasividad está definida como un desgaste llano de 0.1 mm de diámetro. Esta prueba es utilizada por Atlas Copco y French Coal Mining Industry.

En la Tabla 4.16 se muestran algunos valores de abrasividad de diferentes tipos de roca.

Tabla 4.16

Tipo de Roca	Abrasividad
Calizas	0.2 a 1.2
Conglomerados	0.4 a 1.3
Esquistos	1.4 a 1.8
Diabasas y Granitos	3.0 a 4.2

Un valor de 4 indica una abrasividad "ALTA"

Prueba con agregados. Una placa rectangular de acero es rotada - durante cinco minutos en un cilindro que contiene una cierta cantidad de roca fragmentada. La placa es pesada antes y después de la prueba, de tal forma que la abrasividad de la roca es expresada como la pérdida en peso de la placa en gramos por tonelada de roca probada (ver Tabla 4.17)

Tabla 4.17

Abrasi- vidad	Muy débil	débil	media	resistente	muy resistente
	0	500	1000	1500	2000 g/ton
Tipos de Rocas	Calizas				
		Basaltos			
		Areniscas			
			Granitos		
				Cuarcitas	

Fourmaintraux y Massieu (1978), concluyen que la abrasividad de la roca no depende solo de su contenido de cuarzo sino también de su textura y firmeza.

5.- COMENTARIOS

5. COMENTARIOS

Los objetivos planteados en este trabajo están íntimamente relacionados a la necesidad de desarrollar un método de campo que consista en completar formas para que a la vez de servir de recordatorio la información obtenida sea en la mayoría de los casos más útil, y de fácil manejo. Por otra parte, deberá ser fácilmente comprensible debido a la actividad de varias disciplinas.

No obstante que el Grupo de Ingeniería de la Sociedad Geológica de Londres estableció una secuencia para la descripción de la roca intacta, se agrega la Tabla 5.1 que resume los datos necesarios (ver ANEXO). Para la descripción del macizo rocoso, se desarrolló la Tabla 5.2 basada en los parámetros utilizados para la descripción de discontinuidades y, además, se presentan en las Tablas 5.3 y 5.4 para el zonamiento del macizo rocoso; estas están basadas en las sugerencias de los comités de la ISRM. Naturalmente, estos datos serán recopilados de una manera más adecuada por un geólogo.

Se considera que a través de una correcta descripción de la roca es posible lograr una clasificación más precisa, puesto que ambas (descripción y clasificación), son totalmente inherentes; a pesar de que las clasificaciones tienden a ser especializadas y en ocasiones es difícil encerrar las observaciones de campo en el conjunto de circunstancias que acompañan a las diversas clasificaciones.

Las propiedades índice y mecánicas de las rocas que se presentan en las diferentes tablas, son representativas de ensayos en laboratorio, lo anterior debe ser una consideración importante debido a las condiciones tan diferentes que se presentan en el macizo rocoso "in situ".

Existe un problema que es necesario tomar en cuenta en los trabajos geológicos aplicados, principalmente en levantamientos de tipo estructural, como aquellos que dan lugar a mediciones (ángulos, distancias, número de fracturas o discontinuidades, etc) en las que

la repetibilidad no es la misma debido a los diferentes criterios de observación y las condiciones en que se efectúan algunos levantamientos de este tipo. Estos trabajos deberán ser ampliamente apoyados, ya sea con obras exprofeso en el caso de observaciones en la superficie, o condiciones óptimas en cuanto a los trabajos subterráneos. Lo anterior tiene por objeto obtener identificaciones precisas.

Por otra parte, una buena clasificación del macizo rocoso efectuada durante los estudios preliminares, no se debe considerar como la panacea en cuanto al conocimiento de los macizos rocosos, sino como una consideración, ya que las observaciones geológicas deberán continuar durante las diferentes etapas de cada obra; con el auxilio de otras disciplinas, efectuar los ajustes necesarios en cada etapa.

Se pueden establecer cuatro pasos para lograr en una medida importante el conocimiento del comportamiento del macizo rocoso, éstos son: a) la observación directa e indirecta, b) la descripción, c) la clasificación y d) el análisis junto con la interpretación. En las tres primeras están muy involucradas las bases geológicas, en la cuarta intervienen otras disciplinas y la instrumentación.

Es probable que para algunas personas relacionadas con las excavaciones, cortes en vías de comunicación, cimentación, etc. algunos conceptos, términos o descripciones, resulten obvios; sin embargo seguramente para otros serán necesarios o útiles e incluso desconocidos. Lo anterior es debido a que en este trabajo se hicieron intervenir conceptos de varias disciplinas, los cuales deben intervenir en una geotécnica que es necesario considerarla en un sentido amplio para su correcta aplicación.

6.- BIBLIOGRAFIA

6. BIBLIOGRAFIA

- Attewell, P.B. and Farmer, S.W. Principles of Engineering Geology, Chapman and Hall Ltd, London, 1976.
- Barton, N., Lien, R. and Lunde, J. Engineering classification of rock Mechanics, Vol. 6, No. 4 PP 189-230
También publicada como: Norwegian - Geotechnical Institute, Publication 106, 1974.
- Bell, F.G. Engineering Geology and Geotechnics Butterworth & Co. Ltd, London, 1980
- Bieniawski, Z. T. Rock mass classification in rock -- engineering, Proc Symp. Exploration for Rock Engn., Johannesburg, A. A. Balkema, Vol. 1, 1976.
- Bieniawski, Z.T. and Orr, C.M. Rapid site appraisal for dam foundations by the Geomechanics --- Classification, Trans. 12th Int. -- Congr. Large Dams Icold, Mexico City 1976.
- Centro de Educación Continua, UNAM, Propiedades de las rocas y ensayes de laboratorio, curso sobre Aplicaciones de la Mecánica de Rocas a -- las Obras de Ingeniería, Centro de Educación Continua, U.N.A.M. Junio-1974.
- C. F. E. Manual de Obras Civiles, Geotécnia, México, D. F., 1979.
- Coates, D. F., Mechanical nature of rocks, Rock -- Mechanics principles, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, 1970, PP 1-1 a 1-50
- Chappell, B.A. and R. -- Maurice Classification of rock mass related to foundations, International Conference on Structural Foundations on Rock, Sidney May, 1980, Vol. 1, - pp 29-35, Edited P.J.N
- Deere, D. U. Design of tunnel liners and support systems, Appendix, University of -- Illinois, Urbana, Illinois, February 1969.

- Dietrich, R. V. and Skinner, B. J. Rocks and Rock Minerals, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1979.
- División de Educación Continua, UNAM. Técnicas geofísicas para la determinación de las propiedades elásticas, Curso de Metodos Geofísicos en la Exploración Geotécnica, División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería U.N.A.M, Agosto, 1984
- Duffaut, P. M. Significance of geological features for the mechanical behaviour of rocks and rock masses, Proceedings of the International Symposium on Weak Rock Tokyo 1981, Vol. 3, PP 1355-1363, Balkema Publishers, Rotterdam, 1982.
- Duffaut, P. M. Structural Weaknesses in rocks and rock masses tentative classification and behaviour Proceedings of the International Symposium on Weak Rock Tokio 1981, Vol. 1 PP. 93-97, Balkema Publishers, Rotterdam, 1982.
- Ewan, V. J., West, G. and Temporal J., Variation in measuring rock joints for tunnelling, tunnels and tunnelling, PP 15 - 18, april, 1983.
- Farmer, I. W., Engineering Properties of Rocks, E. & F. N. Spon Ltd, London, 1968
- Goodman, R. E., Introduction to Rock Mechanics, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1980.
- Hoek, E. and Bray, Rock slope Engineering, Institution of Mining and Metallurgy and E. Hoek and J. W. Bray, 1974, London 1974.
- Huang, W. T. Petrología, UTEHA, México, D. F., 1968.
- I. S. R. M., Rock characterization testing and monitoring ISRM Suggested Methods, editor E.T. Brown, Published for the commission on testing Methods, International Society for Rock Mechanics, Pergamon Press Ltd, 1981.
- I. S. R. M., Terminology, commission on terminology, Symbols and graphic representation, International Society for Rock Mechanics, July, 1965.

- Juarez, B. E. y Rico, R. A., Mecánica de Suelos tomo 1, Limusa, México, - D. F., 1975.
- Krynine, D. P. and Judd, W. R. Principles of Engineering Geology and Geotechnics, McGraw Hill Book Company, Inc., - New York, 1957.
- Loiset, F., The Q-Method and its Application- A Method - for Describing Rock Mass Stability in tunnels, Norwegian tunnelling technology, - Publication No. 2, Norwegian Soil and rock Engineering Association, Tapir publishers, - 1983.
- Moreno, Tallón, E. Comparison and application of geomechanics classification schemes in tunnel construction, EPTISA, Madrid.
- Pettijohn, Francis, J Sedimentary Rocks, Harper and Brothers New-York, 1957.
- Ragan, D. M., Geología Estructural, Introducción a la Técnicas Geométricas, Omega, Barcelona, 1980.
- Roberts, A., Geotechnology, Pergamon Press Ltd, New York, 1977.
- Rosas, L. J. L., Apuntes del curso, Geología en la Mecánica - de Rocas, GAP, SMMR, CICM, México, D. F., -- Octubre 1983.
- Ruiz, V. M., Apuntes del Curso Victor Hardy, SARH, AMITOS México, D. F. 1985.
- Sowers, G. B., Sowers G.F. Introducción a la Mecánica de Suelos y cimentaciones, Limusa, México, D. F. 1972.
- Stagg and Zinkiewicz. Mecánica de Rocas en la Ingeniería Práctica- Blume, 1970.
- Széchy, K., The art of tunnelling, Chapter 2 Akadémiai - Kiadó, Budapest, 1967.
- Travis, R. B., Classification of rocks, Quarterly of the - Colorado School of Mines, Vol. 50, Number 1- third edition, sept. 1981.
- West, G., A review o rock abrasiveness testing for - tunnelling, proceedings of the international Symposium on Weak Rock, Tokyo, Sep. 1981, - Publishers, Rotterdam, 1982.

Záruba, Q. and Menci, V.,

Engineering Geology, Academia, Publishing --
House of the Czechoslovak Academy of Sciences
Prague, 1976. Distribución en E. U. y Cana--
dã, American Elsevier Publishing Company, --
Inc., New York.

A N E X O
(LAS TABLAS DESCRIPTIVAS)

TABLA 2.1

C O L O R

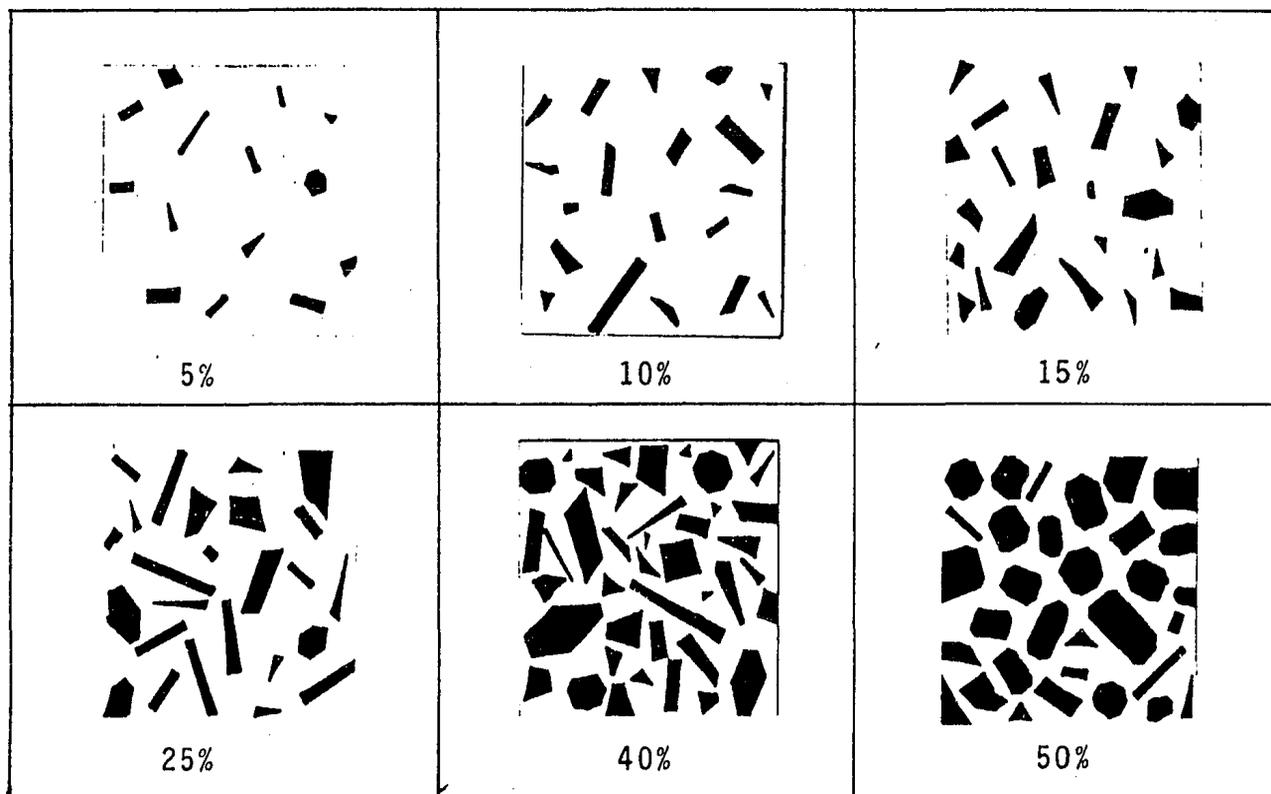
Color	Tono	Valor
blanco	blanquecino	claro-oscuro
gris	grisáceo	
negro	negrusco	
amarillo	amarillento	claro-oscuro
rojo	rojizo	claro-oscuro
azúl		claro-oscuro
café		claro-oscuro
verde		claro-oscuro
	anaranjado	

*Se puede agregar el valor "intermedio"

C.F.E. (1979)

TABLA 2.2

INDICE DE COLOR



Dietrich y Skinner (1979)

TABLA 2.3 ESTRUCTURA DE LAS ROCAS IGNEAS Y TEXTURAS COMUNES

Estructura	Textura
mantos lávicos	afanítica o con adjetivo porfídico
coladas	afanítica, porfídica
lavas almohadilladas	afanítica, porfídica o vítrea
fluidal	afanítica, porfídica
vesicular	afanítica
amigdaloides	afanítica
columnar	afanítica, porfídica
mantos intrusivos	fanerítica o con sustantivo pórfido
diques	fanerítica o pórfido
lacolitos	fanerítica
batolitos	fanerítica

TABLA 2.4 ESTRUCTURA DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS Y TEXTURAS COMUNES

Estructura	Textura
estratificación	clástica y no clástica
cruzada	clástica
gradual	clástica
laminación	
fisilidad	
estilolitas	crystalina o no clástica
imbricación	clástica
masiva	clástica y no clástica
diapiros	crystalina

Tabla 2.5 **ESTRUCTURA DE LAS ROCAS METAMORFICAS Y TEXTURAS COMUNES**

Estructura	Textura
foliado o direccional	cristaloblástica lepidoblástica nematoblástica poikiloblástica
no foliada o no direccional	granoblástica poikiloblástica
cataclástica	cataclástica

Tabla 2.6 **CRISTALINIDAD DE LOS MINERALES**

Desarrollo	Textura	Descripción
euهدral	idomórfica	cristales bien desarrollados
subهدral	hipidiomórfica	cristales parcialmente desarrollados
anhedral	xenomórfica	cristales sin desarrollo

Tabla 2.7 **FORMA DE LOS COMPONENTES**

		Angular	Subangular	Subredondeada	Redondeada
Esfericidad	Alta				
	Baja				

Redrawn después de Sowers(1953)

1.0 Tabla 2.8 **FORMA DE LOS MINERALES**

1.0		I Tabular	II 	Equidimensional
2/3	-----			
b/a		III Laminada	IV 	prismática
0	c/b		2/3 1.0	
			Zingg ()	
a, longitud; b, ancho; e, espesor				

Tabla 2.9

TAMAÑO DE LOS COMPONENTES

Término	Límite de tamaño (mm)	Ejemplo
bloque	> 300	mayor que una pelota de basquetbol
canto rodado	75 a 300	naranja a sandía
grava gruesa	20 a 75	uva a naranja
grava fina	4.7 a 20	chícharo a uva
arena gruesa	2.0 a 4.7	sal de cocina
arena media	0.42 a 2.0	azúcar
arena fina*	0.074 a 0.42	azúcar en polvo
finos	< 0.074	malla No 200

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

Sowers (1972)

Tabla 2.10

TAMAÑO DE LOS PIROCLASTICOS

Piroclástico	Tamaño	Consolidación
bomba bloque	> 64	Rocas Igneas Piroclásticas
lapilli	2 a 64	
ceniza	< 2	

Tabla 2.11

CEMENTANTES COMUNES

Cementante	Composición	Reacción con HCl para identificación
calcita	Ca CO ₃	fuerte
dolamita	3Ca Mg (CO ₃) ₂	apreciable
siderita	Fe CO ₃	fuerte, color café
sílice	SiO ₂	nula

ASTM D2 488-69

Tabla 2.12 **TERMINOS CUALITATIVOS DE CEMENTACION**

Muy bien cementado
bien cementado
pobrememente cementado
sin cementante

Manual de Obras Civiles

CFE (1979)

Tabla 2.13 ALTERACION POR METEORIZACION O INTEMPERISMO

Grado	Término	D e s c r i p c i ó n
I	Fresca	No hay señas visibles de meteorización en la esencia de la roca, ligera decoloración siendo mayor en las superficies de las discontinuidades
II	Ligeramente meteorizada	Decoloración en la esencia de la roca y en las superficies de discontinuidad. La roca puede estar algo debilitada externamente.
III	Meteorización moderada	Menos de la mitad de la roca está alterada ó desintegrada a suelo. Roca fresca o descolorida puede estar presente como estructura ó núcleo continuo
IV	Altamente Meteorizada	Más de la mitad de la esencia de la roca está alterada y/o desintegrada a suelo. Roca descolorida o fresca sólo está presente como núcleos discontinuos.
V	Meteorización Completa	Toda la roca está alterada y/o desintegrada a suelo; sin embargo, la estructura de la masa original aún se conserva
VI	Suelo	Toda la roca está convertida en suelo. La estructura de la masa y su arreglo (fábrica) están destruidos. Tiene un gran cambio de volúmen pero el suelo no ha sido significativamente transportado

Tabla 2.14 **DUREZA DE LOS GRANOS QUE COMPONEN LA ROCA**

Término	Descripción
muy suave	se puede desintegrar con la presión de los dedos
suave	se puede rayar con la uña
muy dura	difícilmente se raya con la navaja

Manual de Diseño de Obras Civiles, C.F.E.

Tabla 2.15 **ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES**

Descripción	Espaciamiento
extremadamente cerrado	< 20
muy cerrado	20 - 60
cerrado	60 - 200
moderado	200 - 600
amplio	600 - 2000
muy amplio	2000 - 6000
extremadamente amplio	> 6000

Tabla 2.16

PERSISTENCIA RELATIVA

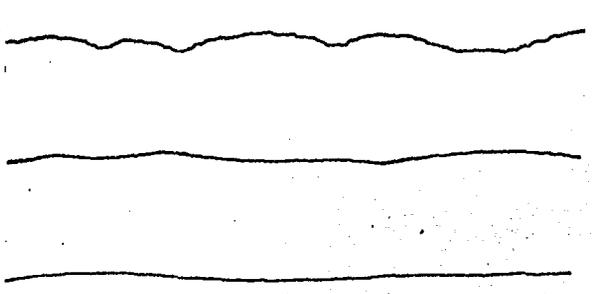
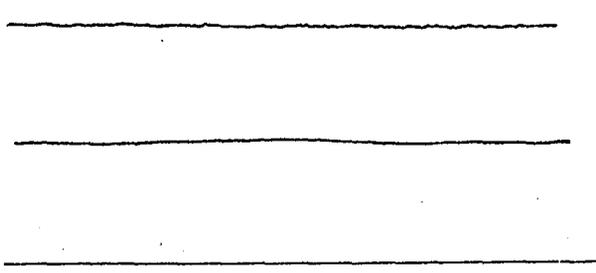
Término	Descripción
persistente	sistemático
sub-persistente	sub-sistemático
no persistente	no sistemático

Tabla 2.17 **LONGITUD DE LA TRAZA MODAL DE LA PERSISTENCIA**

Persistencia	Longitud (m)
muy baja	< 1
baja	1 - 3
media	3 - 10
alta	10 - 20
muy alta	> 20

Tabla 2.18

R U G O S I D A D

I rugoso II liso III lustroso	 <p style="text-align: right;">Quebrado</p>
IV rugoso V liso VI lustroso	 <p style="text-align: right;">Ondulante</p>
VII rugoso VIII liso IX lustroso	 <p style="text-align: right;">Plano</p>

En la Tabla 2.18 se presentan los perfiles típicos de rugosidad y la nomenclatura sugerida. La longitud de cada perfil está en el rango de 1 a 10 metros. Las escalas horizontal y vertical tienen que ser iguales.

Tabla 2.19

MANUAL DE PRUEBAS INDICE

Grado	Descripción	Identificación del Campo	Rango aproximado de resistencia a la compresión simple
S1	Arcilla muy blanda	Puede penetrarse fácilmente varios centímetros con el puño	< 0.025 (MPa)
S2	Arcilla blanda	facilmente el pulgar penetra varios centímetros	0.025 - 0.05
S3	Arcilla firme	el pulgar penetra varios centímetros, aplicando un esfuerzo moderado	0.05 - 0.10
S4	Arcilla rígida	el pulgar penetra, pero sólo con gran esfuerzo	0.10 - 0.25
S5	Arcilla muy rígida	mellada fácilmente con la uña	0.25 - 0.50
S6	Arcilla dura	mellada con dificultad con la uña	> 0.50
R0	Extremadamente débil	mellado con la uña	0.25 - 1.0
R1	Muy débil	se desmorona con los golpes firmes de martillo de geólogo, se puede rayar con una navaja de bolsillo	1.0 - 5.0
R2	Roca débil	puede ser rayada con dificultad con una navaja de bolsillo	5.0 - 25
R3	Moderadamente resistente	se fractura con un golpe firme de martillo de geólogo. No se raya con navaja	25 - 50
R4	Roca resistente	se requiere más de un golpe de martillo para fracturar al espécimen	50 - 100
R5	Muy resistente	el espécimen requiere de muchos golpes de martillo para fracturarse	100 - 250
R6	Extremadamente resistente	el espécimen solo se astilla cuando se le golpea con el martillo de geólogo	> 250

Los grados S1 a S6 representan arcillas, limos y sus combinaciones (cohesivos y generalmente baja permeabilidad); en muchas ocasiones forman el relleno de las discontinuidades. La resistencia de las paredes de las discontinuidades está representada por los grados de R0 a R6.

Tabla 2.20

ABERTURA O SEPARACION DE LAS DISCONTINUIDADES

ABERTURA	DESCRIPCION	
0.1 mm	Muy estrecha	"Cerrada"
0.1 - 0.25 mm	Estrecha	
0.25- 0.5 mm	Parcialmente abierta	
0.5 - 2.5 mm	Abierta	"Entreabierta"
2.5 - 10 mm	Moderadamente amplia	
10 mm	Amplia	
1 - 10 cm	Muy amplia	"Abierta"
10 - 100 cm	Extremadamente amplia	
1m	Cavernosa	

Tabla 2.21

FACTORES EN DISCONTINUIDADES CON RELLENO

Geometría	Espesor Rugosidad de la pared Croquis de campo
Tipo de Relleno	Minerología Tamaño de las partículas Grado de intemperismo
Resistencia del Relleno	Parámetros índice de suelos Hinchamiento potencial Pruebas índice ($S_1 - S_6$) Esfuerzo cortante Relación de consolidación Desplazamiento/sin desplazamiento
Filtración	Contenido de agua (valoración $W_1 - W_6$) Datos cuantitativos de permeabilidad

TABLA 2.22 **PLASTICIDAD**

Término	I P (LL - LP)	Resistencia en estado seco	Prueba de Campo
No plástico	0-3	muy baja	Se despedaza fácilmente
Ligeramente - Plástico	4-5	ligera	Se tritura fácilmente con los dedos
Medianamente plástico	15-30	media	Difícil de triturar
Muy plástico	30	alta	Imposible trituarlo con los dedos

I P (Índice de Plasticidad), representa la variación en humedad que puede tener un suelo que se conserva en estado plástico, 1:8 Sowers (1979)

Tabla 2.23 **LÍMITE DE ATTERBERG**

Estado	Descripción	Límites
Líquido	Una pasta; sopa de guisantes a mantequilla blanda; un líquido viscoso	Límite líquido (LL)
Plástico	Mantequilla blanda a masilla dura; se deforma pero no se agrieta	
Semisólido	Queso; se deforma permanentemente pero se agrieta	Límite plástico (LP)
Sólido	Caramelo duro; se quiebra al deformarse	Límite retracción (LR)

Sowers (1979)

Tabla 2.24

CONSISTENCIA (SUELOS FINOS)

CONSISTENCIA	NUMERO DE GOL - PES (SPT*)	PRUEBA SIMPLIFICADA
Muy blanda	2	Fácilmente penetrable con el puño (varios centímetros)
Blanda	2 - 4	Fácilmente penetrable con el pulgar (varios centímetros)
Media	4 - 8	Penetrado con el pulgar con <u>esfuer</u> zo moderado (varios centímetros)
Dura	8 - 15	Fácilmente marcada con el pulgar pero penetrado sólo con gran <u>es</u> fuerzo
Muy dura	15 - 30	Fácilmente marcado con la uña
Durísima	30	Marcado con dificultad con la uña

*Se refiere a una correlación con la prueba de penetración estándar Malcev, A. Interpretation of Standard Spoon Penetration for Test - ing, the Economic Use of Soil Testing in site Investigation, Bir - mingham, 1964.

**CONTENIDO DE AGUA Y PERMEABILIDAD DEL RELLENO
(DISCONTINUIDADES CON RELLENO)**

Tabla 2.25

G r a d o	I d e n t i f i c a c i o n d e C a m p o
W1	El material de relleno está fuertemente consolidado y seco, no es probable que se presente un flujo significativo debido a la baja permeabilidad.
W2	El material de relleno está húmedo pero no hay agua libre
W3	El material de relleno está húmedo y hay goteos ocasionales de agua
W4	El material de relleno presenta signos de ser lavado; flujo continuo de agua (estimar litros/minuto)
W5	Los materiales de relleno son acarreados localmente, flujo considerable de agua a través de grietas (estimar litros/minuto y describir la presión, por ejemplo ; baja, media, alta)
W6	Los materiales de relleno son acarreados completamente, muy alta presión de agua, especialmente al principio de la exposición (estimar litros/minutos y describir la presión)

Tabla 2.26

FILTRACIONES EN DISCONTINUIDADES SIN RELLENO

Valoración del Esgurrimento	Descripción
I	La discontinuidad es muy cerrada y seca; el flujo de agua a través de ésta no parece posible
II	La discontinuidad está seca sin evidencia de flujo de agua
III	La discontinuidad está seca pero presenta evidencia de flujo de agua; por ejemplo, manchas de moho, etc.
IV	La discontinuidad está húmeda pero el agua libre no está presente
V	La discontinuidad presenta esgurrimento difuso; goteos ocasionales, pero no flujos contínuos
VI	La discontinuidad presenta un flujo contínuo (Estimar litros/minuto y describir la presión, por ejemplo, baja, media, alta)

Tabla 2.27 **FILTRACION EN EL INTERIOR DE UNA EXCAVACION SUBTERRANEA (TUNEL)**

Valuación del Esgurrimiento	D e s c r i p c i ó n
I	Techo y paredes secos, no se detecta escurrimiento
II	Esgurrimiento difuso, goteo en discontinuidades especfi <u>cas</u> .
III	Infiltración media, discontinuidades específicas con flujo contínuo (estimar litros por minuto por 10 m de longitud de excavación)
IV	Infiltración mayor, discontinuidades específicas con flujos fuertes (estimar litros por minuto por 10 m de longitud de excavación)
V	Infiltración excepcionalmente alta, origen específico de flujos excepcionales (estimar litros por minuto por 10 m de longitud de excavación)

Tabla 2.28

NUMERO DE SISTEMAS DE JUNTAS (LOCAL)

Valoración	D e s c r i p c i ó n
I	Masiva, juntas aleatorias ocasionalmente
II	Un sistema de juntas
III	Un sistema de juntas más aleatorias
IV	Dos sistemas de juntas
V	Dos sistemas de juntas más aleatorias
VI	Tres sistemas de juntas
VII	Tres sistemas de juntas más aleatorias
VIII	Cuatro o más sistemas de juntas
IX	Roca fragmentada, terrosa

Discontinuidades individuales mayores deben ser anotadas por separado

Tabla 2.29 **TAMAÑO DE LOS BLOQUES**

Descripción	Jv (Juntas/m ³)
Bloques muy grandes	<1.0
Bloques grandes	1-3
bloques de tamaño medio	3-10
bloques pequeños	10-30
bloques muy pequeños	>30

Valores de Jv mayores que 60 representan roca fragmentada

Tabla 2.30 **FORMA DE LOS BLOQUES**

Descripción	Características
masivo	Pocas juntas o espaciamiento muy amplio
cúbica	Aproximadamente equidimensional
tubular	Una dimensión considerablemente más pequeña que las otras dos
columnar	Una dimensión considerablemente más grande que las otras dos
irregular	Variación amplia en la forma y tamaño de los bloques
fragmentada	Gran cantidad de juntas

Tabla 2.31

ESPESOR DE CAPAS

Intervalos (cm)	Símbolos (BGD)		Términos Descriptivos	
> 200	L ₁		muy grande	
		L _{1,2}		grande
60-200	L ₂		grande	
20-60	L ₃		moderado	moderado
6-20	L ₄		pequeño	
		L _{4,5}		pequeño
< 6	L ₅		muy pequeño	

Tabla 2.32

INTERCEPCION DE FRACTURAS

Intervalos (cm)	Símbolos (BGD)		Términos Descriptivos	
> 200	F ₁		muy amplio	
		F _{1,2}		amplio
60-200	F ₂		amplio	
20-60	F ₃		moderado	moderado
6-20	F ₄		cerrado	
		F _{4,5}		cerrado
< 6	F ₅		muy cerrado	

Tabla 2.33 RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE LA ROCA

Intervalos (M Pa)	Símbolos (BGD)		Términos Descriptivos	
> 200	S1		muy alta	
		S1,2		alta
60-200	S2		alta	
20-60	S3		moderada	moderada
6-20	S4		baja	
		S4,5		baja
< 6	S5		muy baja	

Tabla 2.34 ANGULO DE FRICCION DE LAS FRACTURAS

Intervalos (°)	Símbolos (BGD)		Términos Descriptivos	
> 45	A1		muy alto	
		A1,2		alto
35-45	A2		alto	
25-35	A3		moderado	
15-25	A4		bajo	
		A4,5		bajo
< 15	A5		muy bajo	

Tabla 5.1 Descripción y clasificación de la roca

PROYECTO	LOCALIZACIÓN				Nº. DE MUESTRA				BARRENO		PROFUNDIDAD				FECHA		ELABORO			
COMPONENTES	Forma			Estericidad		Redondez			Tamaño (mm)				Dureza							
	tabular	equidi. mensional	laminar	prismática	alta	bajo	angular	sub.ang.	sub.red	redon. deada	finos	arena	grava	boleas	muy suave	suave	duro	muy duro	durísimo	
CEMENTANTE	Calcita		dolomita		(otro)		CEMENTACION (Término cuantitativo)				reacción al HCl (diluido al 10%)		ALTERACION	Minerales secundarios				Resistencia		
	Siderita		sílice				muy bien	bien	pobre	sin	fuerte	apreciable		nula					umenta	disminuye
TEXTURA	afanítica	fanerítica			Porfídica	Clásica	interconectada	contactística	Cristala	grano-	lépido-	nemato-	política	otra	METEORIZACION DE LA ROCA				Color:	
		idio-	hipido-	xeno-																
ESTRUCTURA	masiva	fluidal	vesicular	amigdaloidal	Columnar	dique	manto	(otro)	blástica				follado	Cataclástico	DUREZA DE LA ROCA (Kg/cm ²)					
									estratificada	gradual	laminada	fisilidad			estilo. litas	(otro)		muy dura (<1400)	dura (560-1400)	blanda (175-560)
NOMBRE Y ORIGEN									ENSAYES DE LABORATORIO (Indicar resultado y término descriptivo)		Resistencia. Módulos de deformabilidad abrasividad/durabilidad Otras.									

OBSERVACIONES
(Croquis, fotografías, etc.)

PROYECTO				LOCALIZACION				FECHA				ELABORO			
EXTENSION EN AREA O LONGITUD DEL CAMPO EN OBSERVACION								RELLENO	Discont. individual	Fam. 1	Fam. 2	Fam. 3	Fam. 4		
TIPO DE ROCA								espesor							
INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (%)				METEORIZACION DEL MACIZO ROCOSO				tipo							
muy mala	0-25			I	fresco			dureza							
mala	25-50			II	ligera										
regular	50-75			III	moderada										
buena	75-90			IV	alta										
muy buena	90-100			V	completa										
O también: RQD = 115 - 3.3 J _v ; (Si J _v = 4.5, RQD = 100 %)				VI				RESISTENCIA* MP ₀ , relleno (r) y/o pared (P) de la discontinuidad							
PRESENCIA DE AGUA								muy blando < 0.025	S1						
Seco (no existe la posibilidad de algún flujo)	Seco	Seco con evidencia de flujo de agua		Húmedo	Goteo	Flujo	blando 0.025-0.05	S2							
TAMAÑO DE LOS BLOQUES Y FORMA DE LOS BLOQUES								firme 0.05-0.1	S3						
J _y (Juntas/m ³)				masivo				rígido 0.1-0.25	S4						
muy grandes	una junta			cúbico				muy rígido 0.25-0.5	S5						
grandes	1-3			tabular				duro > 0.5	S6						
medianos	3-10			columnar				ext. débil 0.25-1.0	R0						
pequeños	10-30			irregular				muy débil 1.0-5.0	R1						
muy pequeños	más de 30			fragmentada				débil 5.0-25	R2						
NUMERO DE FAMILIA DE DISCONTINUIDADES								mod. resist. 25-50	R3						
Discontinuidad individual sobresaliente: (falla, fractura, discordancia, contacto geológico, etc.)								resistente 50-100	R4						
ORIENTACION	Tipo de estructura	Rumbo	echado	dirección	Tipo de terminación			muy resistente 100-250	R5						
					X	r	g	ext. resistente > 250	R6						
Familia 1								ONDULACION				SEPARACION			
Familia 2								RUGOSIDAD	quebrado	ondulado	plano	Cerrada 0.1-0.5(mm)	Entreabierta 0.5-10(mm)	Abierta 1cm-1m.	
Familia 3								rugoso	Fam.	Fam.	Fam.	Fam.	Fam.	Fam.	
Familia 4								liso	Fam.	Fam.	Fam.	Fam.	Fam.	Fam.	
Discont. individual								lustroso (pulido)	Fam.	Fam.	Fam.	Fam.	Fam.	Fam.	
ESPACIAMIENTO (mm)		FAMILIA No.		PERSISTENCIA (m)		CALIDAD $\frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_o} \cdot \frac{J_v}{SRF} = Q$				R. M. R.	Descripción	Clase			
extremadamente cerrado (<20)				muy baja (<1)		excepcionalmente mala 0.001-0.01				81-100	muy buena	I			
muy cerrado (20-60)						extremadamente mala 0.01-0.1				61-80	buena	II			
cerrado (60-200)				baja (1-3)		muy mala 0.1-1.0				41-60	regular	III			
moderado (200-600)						mala 1.0-4.0				21-40	mala	IV			
amplio (600-2000)				media (3-10)		regular 4.0-10.0				0-20	muy mala	V			
muy amplio (2000-6000)						buena 10-40									
extremadamente amplio (>6000)				alta (10-20)		muy buena 40-100									
OBSERVACIONES:				muy alta (>20)		extremadamente buena 100-400									
						excepcionalmente buena 400-1000									
* resistencia a la compresión simple								RMR = 13.5 log Q + 43, RSR = 0.77 RMR + 12.4							

Tabla 5.3

DESCRIPCION GEOTECNICA BASICA (BGD)

Tipo de trabajo (1)					
Etapa de investigación (2)			Exposición (3)		
Localización		Observador (4)		Fecha:	
(5)					
Nombre de la roca y descripción geológica general (6)					
<p>Descripción geológica adicional (7)</p> <p>Zona :</p>					
Zonas	Ocurrencia % (8)	Caracterización (9)	Zonas	Ocurrencia % (8)	Caracterización (9)
I			V		
II			VI		
III			VII		
IV			VIII		

Tabla 5.4

COMPUTACION DE PARAMETROS

Zona	Parámetros	Muestras				%	Desviación Estandar	BGD Símbolo
		1	2	3	4			
I	Espesores de las capas (cm)							
	Interc. fracturas (cm)							
	Resist. a la comp. (Mpa)							
	Angulo de fricción (°)							
II	Espesor de las capas (cm)							
	Interc. fracturas (cm)							
	Resist. a la comp. (Mpa)							
	Angulo de fricción							
III	Espesor de las capas (cm)							
	Interc. fracturas (cm)							
	Resist. a la comp (Mpa)							
	Angulo de fricción (°)							
IV	Espesor de las capas (cm)							
	Interc. fracturas (cm)							
	Resist. a la comp. (Mpa)							
	Angulo de fricción (°)							
V	Espesor de las capas (cm)							
	Interc. fracturas							
	Resist. a la comp. (Mpa)							
	Angulo de fricción (°)							

Observaciones (11)

Espesor de las capas:
Interc. fracturas:
Resist. a la comp:
Angulo de fricción

Información adicional

(1) Principales características de la estructura (2) Preliminar, final... (3) Afloramiento Trinchera, Núcleo.. (4) Nombre (5) Pares estereoscópicos de fotografías, con las zonas marcadas. Pueden ponerse fotos normales y/o esquemas (6) Nombre de la roca; estructura, -- fracturamiento, alteración (7) Aspectos específicos que deben ser considerados para cada zona (8) Proporción estimada, por volumen, de la ocurrencia de cada zona relativa a la masa de roca observada (9) Nombre de la roca seguida por el símbolo del intervalo del valor del parámetro (10) Ver los artículos 3,5,6,7 y 8 del BGD (11) Métodos seguidos en la determinación de los parámetros y las dificultades encontradas.

INDICE DE FIGURAS

Pág.

No. DE FIGURA:

1.1	ENLACE ENTRE LAS CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y LAS CIENCIAS DE LA TIERRA,	8
2.1	BLOQUES DIAGRAMÁTICOS	28
2.2	ROSETA DE JUNTAS	28
2.3	PROYECCIONES ESTEREOGRÁFICAS	29
2.4	PROYECCIONES ESTEREOGRÁFICAS	29
2.5	SIMBOLOGÍA PARA DISCONTINUIDADES COMUNES	30
2.6	MEDICIÓN DEL ESPACIAMIENTO	33
2.7	HISTOGRAMA PARA ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES	34
2.8	PERSISTENCIA DE DISCONTINUIDADES	36
2.9	MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD, DISCO-CLINÓMETRO	40
2.10	PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS, PARA LA RUGOSIDAD	40
2.11	DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD	42
2.12	ESCALAS DE RUGOSIDAD	42
3.1	INDICE COMBINADO DE LA CALIDAD DE LA ROCA INTACTA	77
3.2	ISOTROPÍA Y HOMOGENEIDAD	79
3.3	CALIDAD Q (BARTON)	106
4.1	POROSIDAD DE ROCAS	119
4.2	RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE Y LA DENSIDAD	120
4.3	CONCEPTO DE RESISTENCIA	122
4.4	INDICE DE CARGA PUNTUAL	123
4.5	CLASIFICACIÓN DE ROCAS INTACTAS DE LA FAMILIA DEL GRANITO	124
4.6	CLASIFICACIÓN DE ROCAS INTACTAS-DIABASAS	124

No. DE FIGURA		Pág.
4.7	CLASIFICACIÓN DE ROCAS INTACTAS-BASALTO Y OTRAS ROCAS VOLCÁNICAS	125
4.8	CLASIFICACIÓN DE ROCAS INTACTAS-RESUMEN DE ROCAS ÍGNEAS	125
4.9	CLASIFICACIÓN DE ROCAS INTACTAS-CALIZA- Y DOLOMÍA	126
4.10	CLASIFICACIÓN DE ROCAS INTACTAS-RESÚMEN DE ROCAS SEDIMENTARIAS	126
4.11	CLASIFICACIÓN DE ROCAS INTACTAS-RESÚMEN DE ROCAS METAMORFICAS	127
4.12	RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COM- PRESIÓN SIMPLE CON EL MÓDULO DE DEFORMA CIÓN, LA VELOCIDAD SÍSMICA Y LA RESIS-- TENCIA A LA TENSIÓN UNIAxIAL	137

INDICE DE TABLAS DE CLASIFICACION .

Pág.

No. DE TABLA

3.1	CLASIFICACIONES DE LA ROCA	64
3.2	ROCAS PIROCLASTICAS Y VIDRIOS VOLCÁNICOS	65
3.2 A	CLASIFICACIÓN SIMPLE DE LAS ROCAS IGNEAS	66
3.3	CLASIFICACIÓN SIMPLE DE LAS ROCAS SEDI-MENTARIAS	67
3.4	CLASIFICACIÓN SIMPLE DE LAS ROCAS META-MORFICAS	68
3.5	CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE ROCA	69
3.5 A	CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE ROCA (CONT.)	70
3.6	DURABILIDAD	71
3.7	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	72
3.8	CLASIFICACIÓN DE ROCAS PARA MECÁNICA DE ROCAS	74
3.9	CLASIFICACIÓN INGENIERIL DE LA ROCA IN-TACTA SOBRE LAS BASES DE SU RESISTENCIA	75
3.10	MÓDULO RELATIVO	76
3.11	BASES DE LAS CLASIFICACIONES DE DIVER-SOS AUTORES	80
3.12	DATOS PARA CLASIFICACIÓN EN DIFERENTES-ETAPAS DE DISEÑO O CONSTRUCCIÓN	82
3.13	INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA (R.Q.D)	85
3.14	CORRELACIÓN DEL FACTOR C Y EL R.Q.D.	87
3.15	INDICE DE ESTABILIDAD	88
3.16	CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO, TERZAGHI	90
3.17	CALIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA EN LA - CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI	91
3.18	CALIFICACIÓN PARA EL R.Q.D. EN LA CLASI-FICACIÓN DE BIENIAWSKI	92
3.19	CALIFICACIÓN PARA LA CONDICIÓN DE AGUA-EN LA CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI	92
3.20	CALIFICACIÓN DEL ESPACIAMIENTO EN LA -- CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI	93

No. DE TABLA		Pág.
3.2.1	CALIFICACIÓN DE LA RUGOSIDAD EN LA CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI	93
3.2.2	CALIFICACIÓN DEL ECHADO EN LA CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI	94
3.2.3	CALIFICACIÓN SEGÚN LA INFLUENCIA DE LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES CON LA OBRA, BIENIAWSKI	94
3.2.4	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BIENIAWSKI	95
3.2.5	SOPORTE TEMPORAL O PRIMARIO EN TUNELES-POCO PROFUNDOS	96
3.2.6	VALORES PARA LA CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI	97
JN	NÚMERO DE SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES	98
JR	NÚMERO DE RUGOSIDAD DE JUNTAS	99
JA	NÚMERO DE ALTERACIÓN Y RELLENO DE LAS JUNTAS	100
JW	FACTOR DE REDUCCIÓN POR LA CONDICIÓN DE AGUA EN LAS DISCONTINUIDADES	101
SRF	FACTOR DE REDUCCIÓN POR ESFUERZOS	102
3.2.7	RELACIÓN SOPORTE-EXCAVACIÓN (ESR)	104
3.2.8	CLASIFICACIÓN DE BARTON	105
3.2.9	RENDIMIENTO DEL DESGARRADOR EN RELACIÓN A LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS SÍSMICAS EN ROCAS, TRACTOR D9G	108
3.3.0	RENDIMIENTO DEL DESGARRADOR (ARADO) EN RELACIÓN CON LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS SÍSMICAS EN ROCAS, TRACTOR D8H.	109
3.3.1	RENDIMIENTO DEL DESGARRADOR (ARADO) EN RELACIÓN CON LAS VELOCIDADES DE LAS ONDAS SÍSMICAS EN ROCAS, TRACTOR D7F	110

INDICE DEL ANEXO (TABLAS DESCRIPTIVAS)

pág.

No. DE TABLA

2.1	COLOR	157
2.2	INDICE DE COLOR	157
2.3	ESTRUCTURA DE LAS ROCAS IGNEAS Y TEXTURAS COMUNES	158
2.4	ESTRUCTURA DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS Y TEXTURAS COMUNES	158
2.5	ESTRUCTURA DE LAS ROCAS METAMORFICAS Y TEXTURAS COMUNES	159
2.6	CRISTALINIDAD DE LOS MINERALES	159
2.7	FORMA DE LOS COMPONENTES	160
2.8	FORMA DE LOS MINERALES	160
2.9	TAMAÑO DE LOS COMPONENTES	161
2.10	TAMAÑO DE LOS PIROCLASTICOS	161
2.11	CEMENTANTES COMUNES	162
2.12	TERMINOS CUALITATIVOS DE CEMENTACION	162
2.13	ALTERACIÓN POR METEORIZACIÓN O INTEMPERISMO	163
2.14	DUREZA DE LOS GRANOS QUE COMPONEN LA ROCA	164
2.15	ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES	164
2.16	PERSISTENCIA RELATIVA	165
2.17	LONGITUD DE LA TRAZA MODAL DE LA PERSISTENCIA	165
2.18	RUGOSIDAD	166
2.19	MANUAL DE PRUEBAS INDICE	167
2.20	ABERTURA O SEPARACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	168
2.21	FACTORES EN DISCONTINUIDADES CON RELLENO	168

No. DE TABLA		pág.
4.1	INFLUENCIA DE VARIOS FACTORES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS ROCAS	115
4.2	PERMEABILIDAD Y POROSIDAD EN ROCAS	116
4.2B	PERMEABILIDAD EN ROCAS FISURADAS O FRAC TURADAS	117
4.3	POROSIDAD Y DENSIDAD EN ROCAS	118
4.4	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL, A LA TENSIÓN Y AL ESFUERZO CORTANTE	122
4.5	PROPIEDADES DE SUELOS Y ROCAS TÍPICAS	128
4.6	ANGULOS DE FRICCIÓN Y VALORES DE COHE-- SIÓN	130
4.7	ANGULOS DE FRICCIÓN PARA POSIBLES MATE-- RIALES DE RELLENO EN JUNTAS	131
4.8	VELOCIDADES DE PROPAGACIÓN DE ONDAS SÍS MICAS EN ROCAS	132
4.9	VELOCIDADES DE PROPAGACIÓN DE ONDAS SÍS MICAS	133
4.10	VALORES DE RESISTIVIDAD	134
4.11	MODULO DE DEFORMACIÓN Y RELACIÓN DE POI SSON	135
4.12	MODULO DE DEFORMACIÓN Y RESISTENCIA A - LA COMPRESIÓN UNIAXIAL; SOBRE ROCA IN-- TACTA	136
4.13	EVALUACIÓN INGENIERIL DE LAS LUTITAS	139
4.14	ESCALA DE MOHS	141
4.15	ESCALA DE ROSI WAL	141
4.16	ABRASIVIDAD (ATLAS COPCO)	142
4.17	ABRASIVIDAD (AGREGADOS)	143

No. DE TABLA

Pág.

2.22	PLASTICIDAD	169
2.23	LIMITES ATTERBERG	169
2.24	CONSISTENCIA (SUELOS FINOS)	170
2.25	CONTENIDO DE AGUA Y PERMEABILIDAD DEL - RELLENO	171
2.26	FILTRACIONES EN DISCONTINUIDADES SIN RE- LLENO	172
2.27	FILTRACIÓN EN EL INTERIOR DE UNA EXCAVA- CIÓN SUBTERRÁNEA	173
2.28	NÚMERO DE FAMILIAS DE JUNTAS	174
2.29	TAMAÑO DE LOS BLOQUES	175
2.30	FORMA DE LOS BLOQUES	175
2.31	ESPESOR DE CAPAS	176
2.32	INTERCEPCIÓN DE FRACTURAS	176
2.33	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE - LA ROCA	177
2.34	ANGULO DE FRICCIÓN DE LAS FRACTURAS	177
5.1	DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA ROCA- INTACTA	178
5.2	DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL MACIZO- ROCOSO	179
5.3	DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA BÁSICA	180
5.4	COMPUTACIÓN DE PARÁMETROS	181