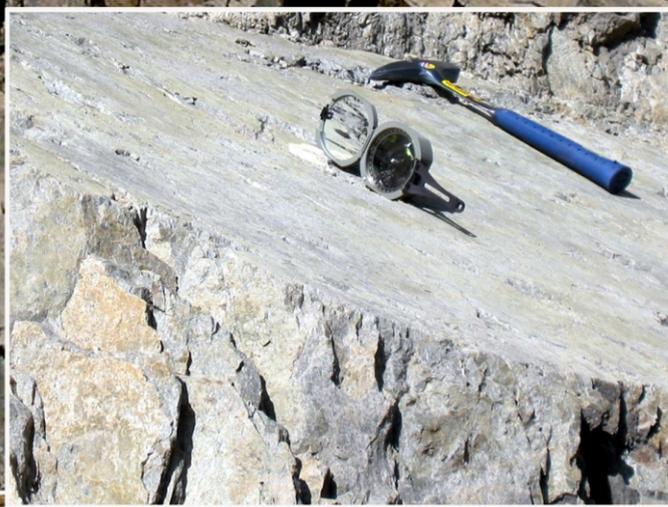


CONOCIENDO A LA ROCA



1.1 INTRODUCCIÓN

Dependiendo de sus características y condiciones, la masa rocosa puede variar de una mina a otra, como también de área en área dentro de una misma mina. Con el paso del tiempo crecen las labores mineras y el minado se realiza a mayores profundidades, desarrollándose así diferentes problemas de inestabilidad en la roca.

A fin de organizar y mantener una adecuada estrategia de control de la estabilidad de la roca en las labores mineras, el personal de una mina debe estar familiarizado con las características y condiciones de la masa rocosa propias de su mina. En tal sentido, este manual va a ayudar al personal a hacer del ambiente subterráneo un lugar de trabajo más seguro.

Cuando el personal de la mina sea capaz de conocer la roca, va a estar con mejor capacidad de identificar los peligros potenciales que podrían causar accidentes.

Conocer la roca también permitirá tomar decisiones correctas sobre diferentes aspectos relacionados con las labores mineras, entre otras, se podrá establecer la dirección en la cual se deben avanzar las excavaciones, el tamaño de las mismas, el tiempo de exposición abierta de la excavación, el tipo de sostenimiento a utilizar y el momento en que éste debe ser instalado.

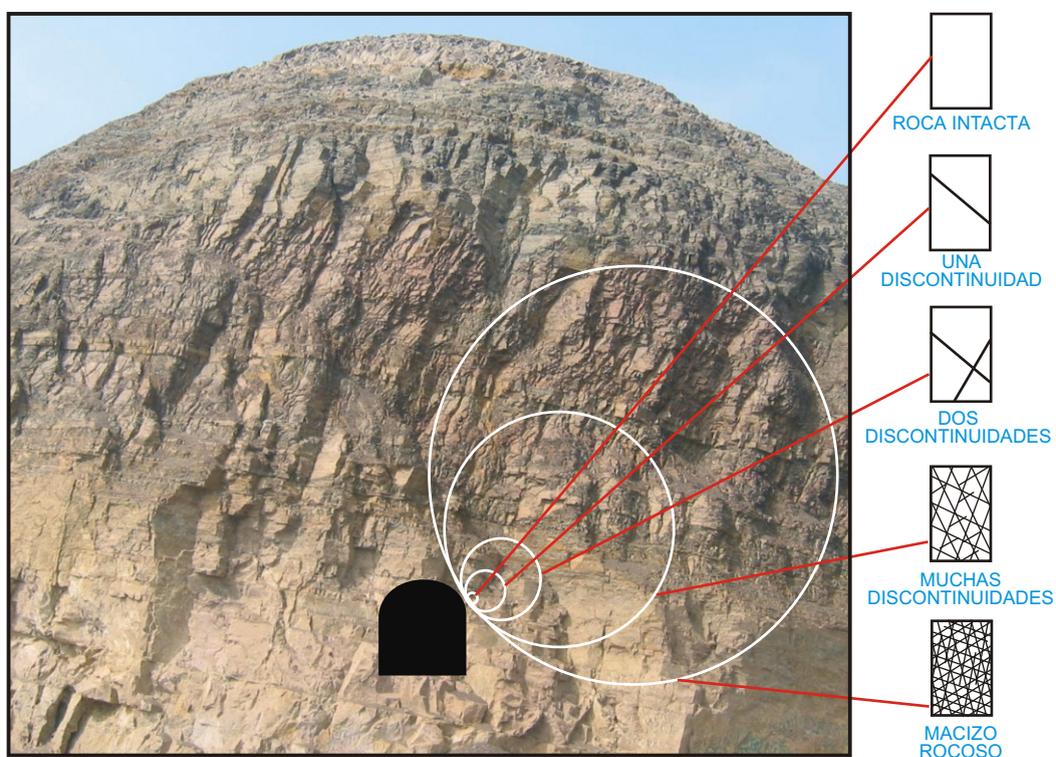


Figura 1.1 Diagrama que muestra la transición desde la roca intacta hasta el macizo rocoso muy fracturado.

1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA

La roca es un conjunto de sustancias minerales que formando masas, constituye gran parte de la corteza terrestre.

Según su origen, las rocas pueden ser ígneas, sedimentarias y metamórficas.

- **Rocas ígneas**, son aquellas que han sido formadas por la consolidación del magma.
- **Rocas sedimentarias**, formadas por la deposición de sedimentos.
- **Rocas metamórficas**, formadas por procesos de altas presiones y temperaturas.

La roca difiere de la mayoría de otros materiales utilizados en la ingeniería. Ésta tiene discontinuidades (fracturas) de diferentes tipos, que hacen que su estructura sea discontinua. Además, debido a los procesos geológicos que la han afectado entre el tiempo de su formación y la condición en la cual la encontramos en la actualidad, presenta heterogeneidades y propiedades variables. Todas estas características requieren ser evaluadas en forma permanente durante el laboreo minero.

Primero es necesario distinguir lo que es el "material rocoso" o denominado también "roca intacta" y lo que es la "masa rocosa" o también denominada "macizo rocoso".

- **Roca intacta**, es el bloque ubicado entre las discontinuidades y podría ser representada por una muestra de mano o trozo de testigo que se utiliza para ensayos de laboratorio.

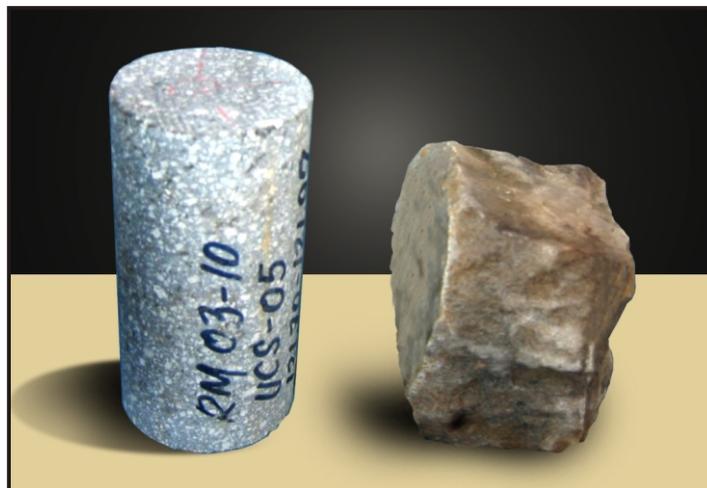


Figura 1.2 Roca intacta.

- **Masa rocosa**, es el medio in-situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales.



Figura 1.3 Masa rocosa.

Dependiendo de cómo se presenten estas discontinuidades o rasgos estructurales dentro de la masa rocosa, ésta tendrá un determinado comportamiento frente a las operaciones de minado.

1.3 DISCONTINUIDADES DE LA MASA ROCOSA

Los principales tipos de discontinuidades presentes en la masa rocosa son:

- **Planos de estratificación**, dividen en capas o estratos a las rocas sedimentarias.



Figura 1.4 Roca sedimentaria.

- **Fallas**, son fracturas que han tenido desplazamiento. Éstas son estructuras menores que se presentan en áreas locales de la mina o estructuras muy importantes que pueden atravesar toda la mina.



Figura 1.5 Fallas.

- **Zonas de corte**, son bandas de material que pueden ser de varios metros de espesor, en donde ha ocurrido fallamiento de la roca.



Figura 1.6 Zona de corte.

- **Diaclasas**, también denominadas juntas, son fracturas que no han tenido desplazamiento y las que más comúnmente se presentan en la masa rocosa.

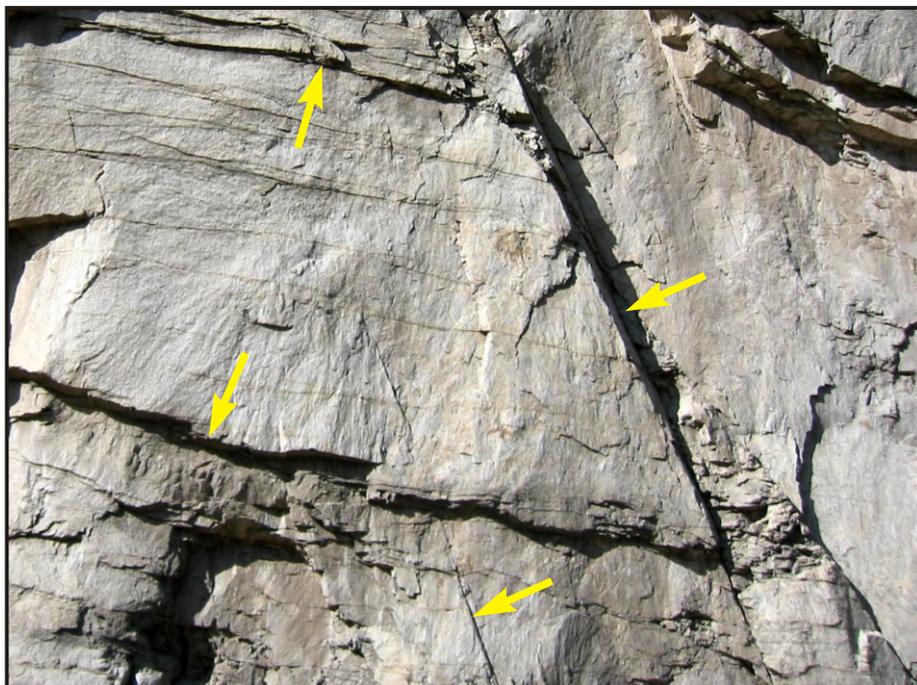


Figura 1.7 Diaclasas o juntas.

- **Planos de foliación o esquistosidad**, se forman entre las capas de las rocas metamórficas dando la apariencia de hojas o láminas.



Figura 1.8 Planos de foliación.

- **Contactos litológicos**, que comúnmente forman, por ejemplo, la caja techo y caja piso de una veta.

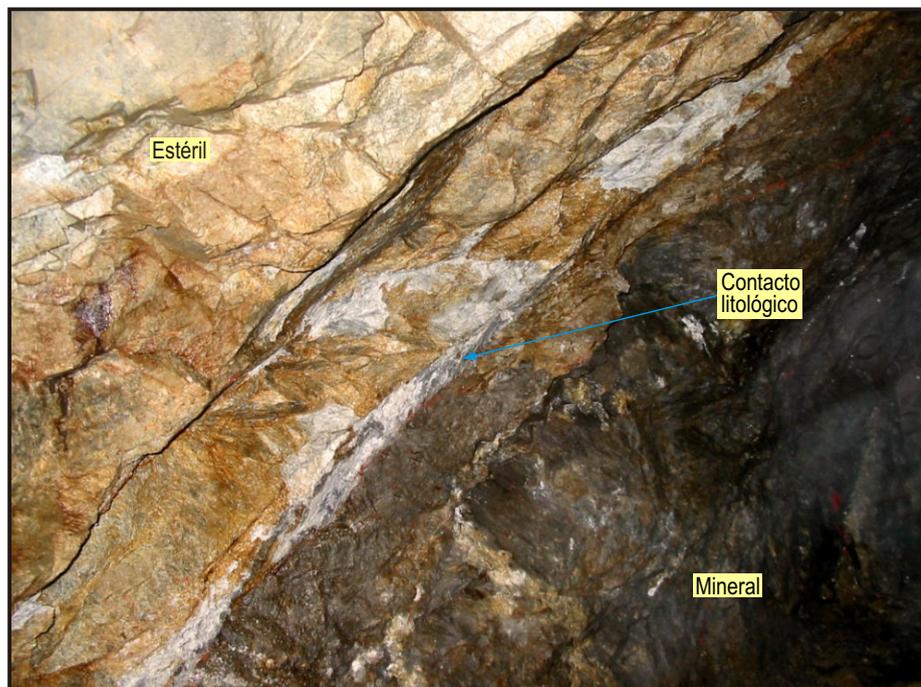


Figura 1.9 Zona de contacto.

- **Venillas**, son rellenos de las fracturas con otros materiales.

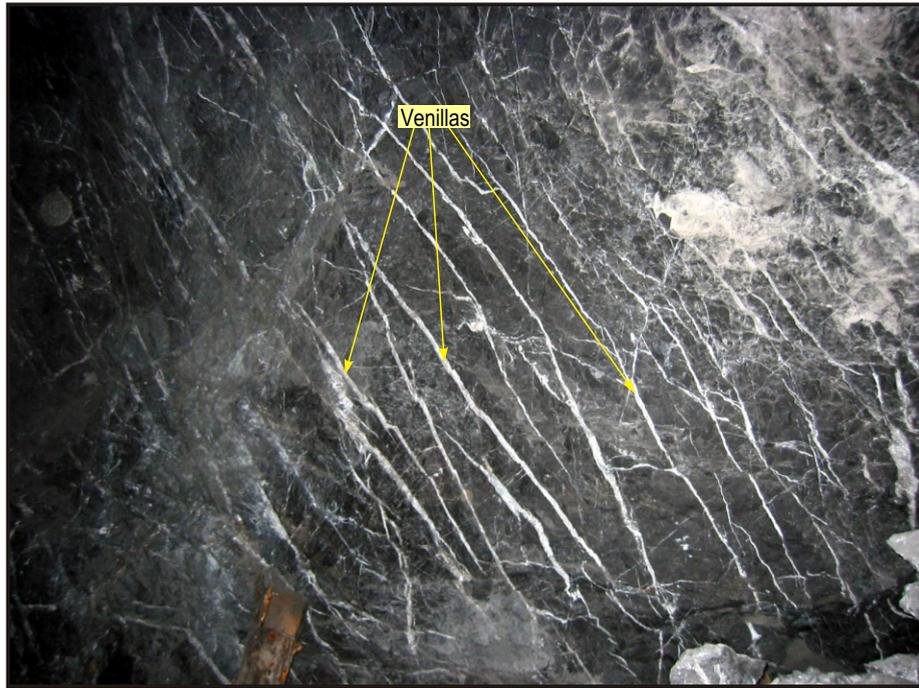


Figura 1.10 Venillas

1.4 OTROS RASGOS GEOLÓGICOS IMPORTANTES

Existen otros rasgos geológicos importantes que deben ser tomados en cuenta, como:

- **Pliegues**, son estructuras en las cuales los estratos se presentan curvados.



Figura 1.11 Pliegues.

- **Diques**, son intrusiones de roca ígnea de forma tabular, que se presentan generalmente empuñadas o verticales.



Figura 1.12 Dique.

- **Chimeneas o cuellos volcánicos**, son intrusiones que han dado origen a los conos volcánicos.

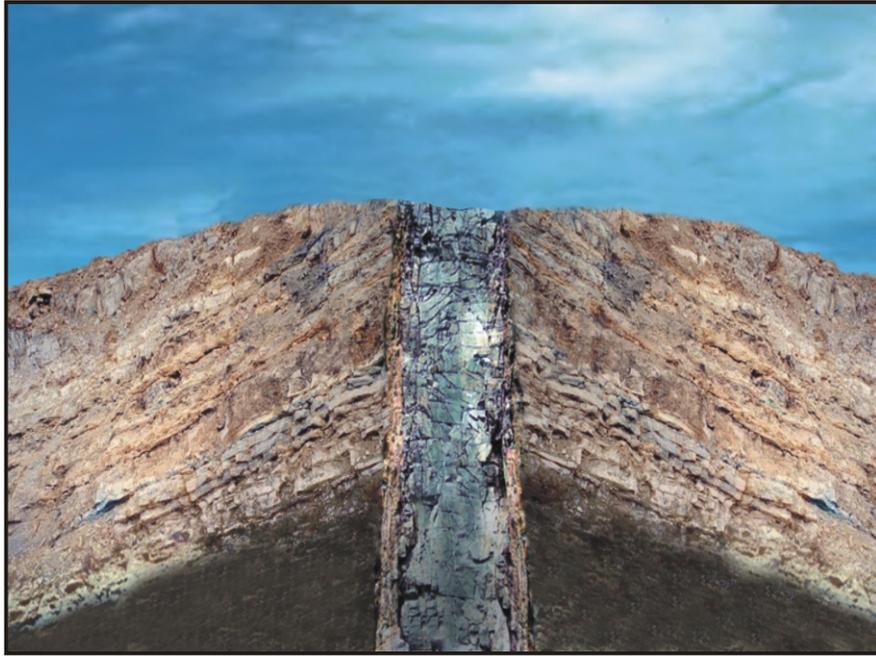


Figura 1.13 Chimenea volcánica.

1.5 PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES

Todas las discontinuidades presentan propiedades geomecánicas importantes que las caracterizan y que influyen en el comportamiento de la masa rocosa. Estas propiedades son principalmente:

- **Orientación**, es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente es descrito por su rumbo y buzamiento. Cuando un grupo de discontinuidades se presentan con similar orientación o en otras palabras son aproximadamente paralelas, se dice que éstas forman un "sistema" o una "familia" de discontinuidades.

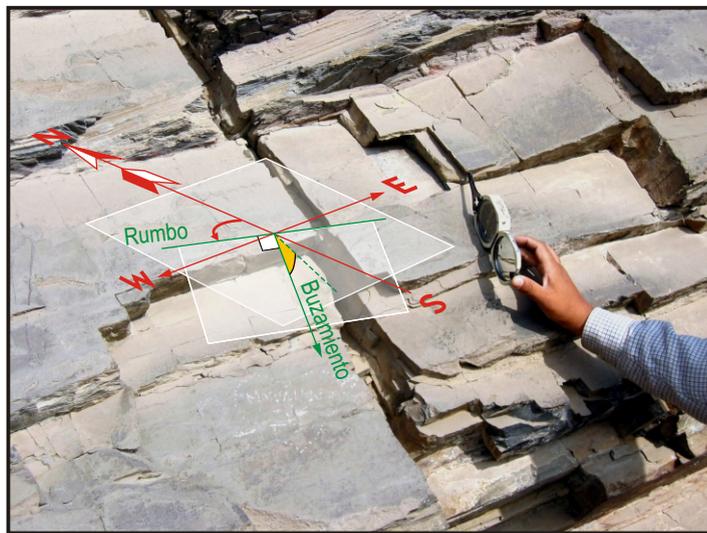


Figura 1.14 Orientación de discontinuidades.

- **Espaciado**, es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Éste determina el tamaño de los bloques de roca intacta. Cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grandes.

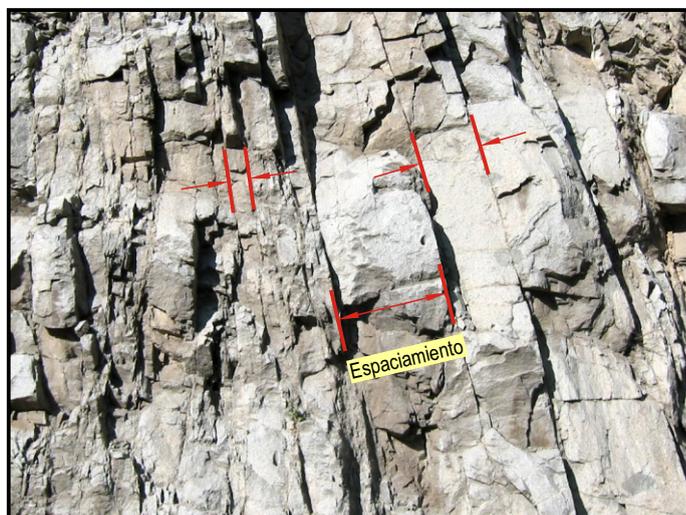


Figura 1.15 Espaciado de una discontinuidad.

- **Persistencia**, es la extensión en área o tamaño de una discontinuidad. Cuanto menor sea la persistencia, la masa rocosa será más estable y cuanto mayor sea ésta, será menos estable.

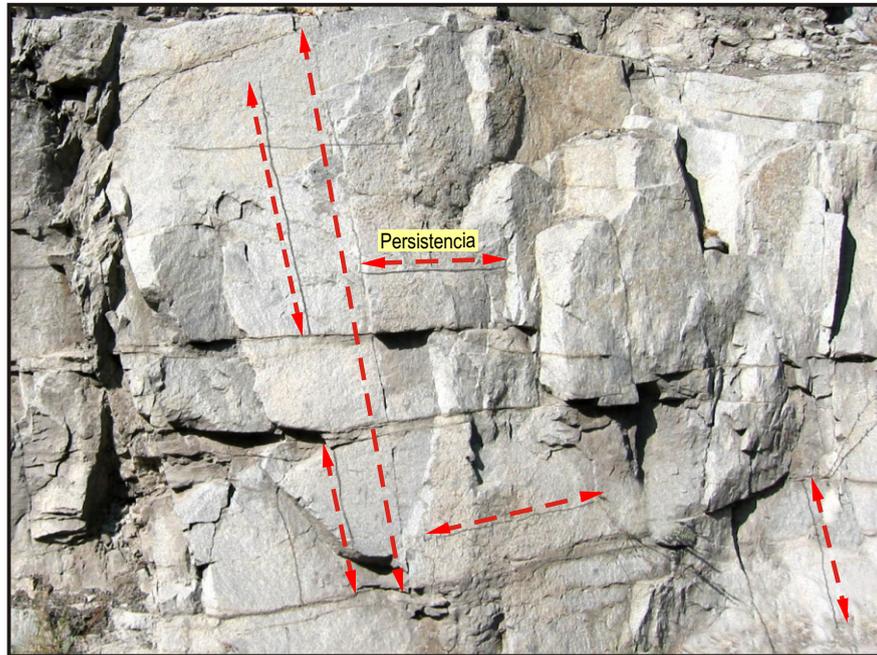


Figura 1.16 Persistencia de discontinuidades.

- **Rugosidad**, es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad. Cuanto menor rugosidad tenga una discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y cuanto mayor sea ésta, la masa rocosa será más competente.

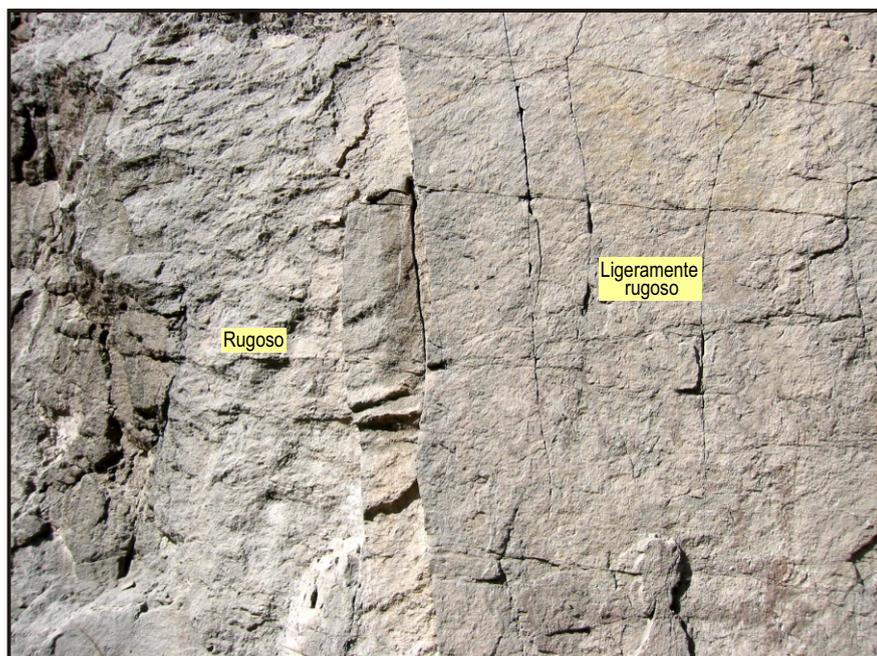


Figura 1.17 Grado de aspereza de discontinuidades.

- **Apertura**, es la separación entre las paredes rocosas de una discontinuidad o el grado de abierto que ésta presenta. A menor apertura, las condiciones de la masa rocosa serán mejores y a mayor apertura, las condiciones serán más desfavorables.

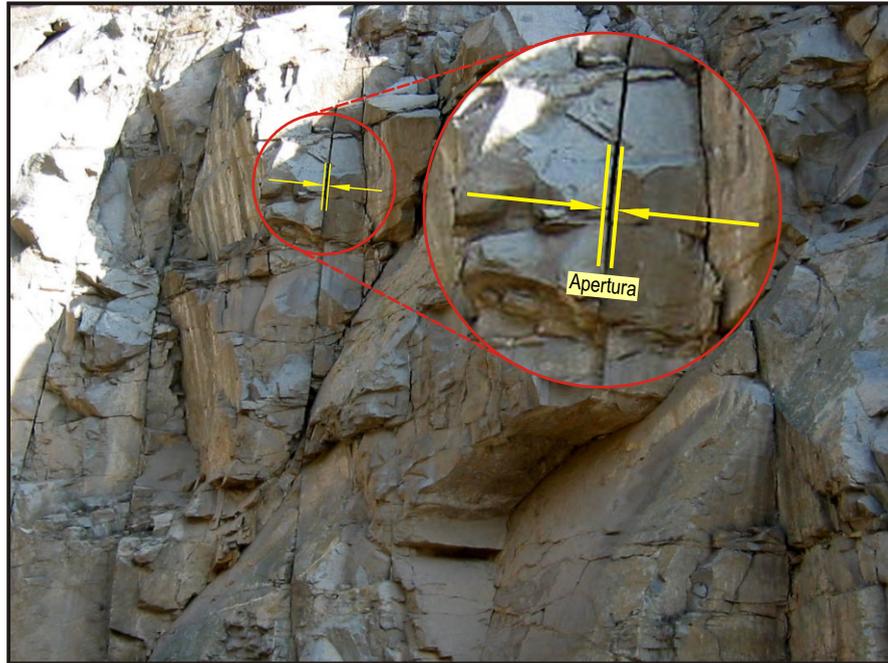


Figura 1.18 Apertura de una discontinuidad.

- **Relleno**, son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa es menos competente y cuando éstos son más duros, ésta es más competente.



Figura 1.19 Relleno de discontinuidades.

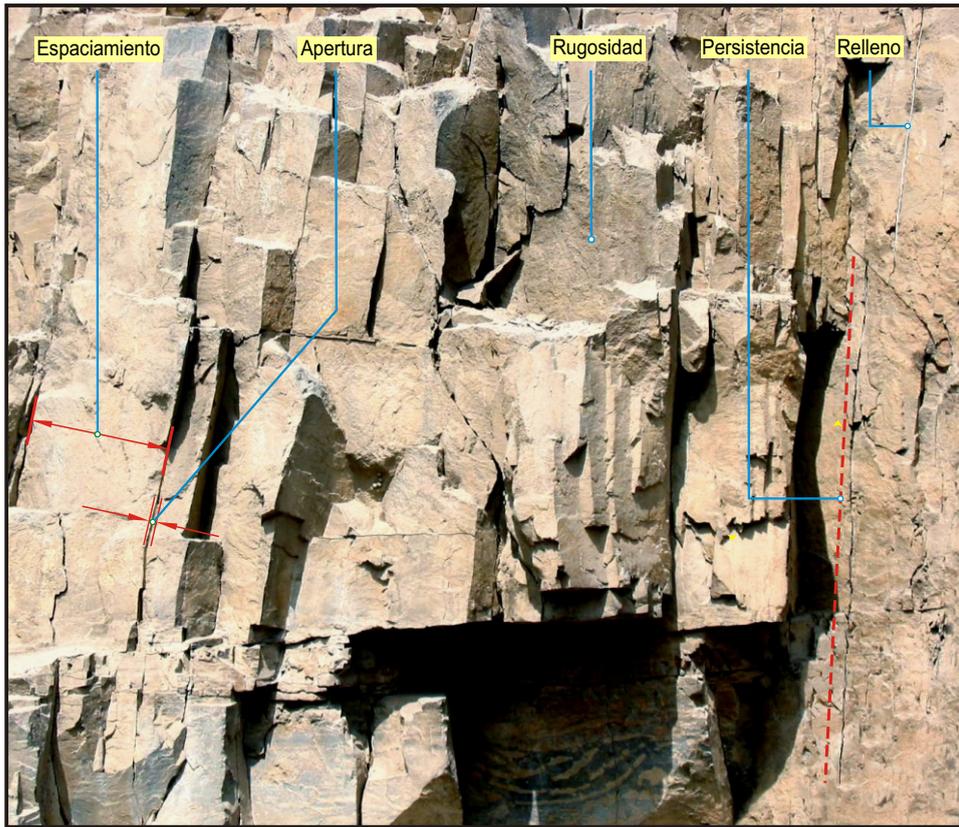


Figura 1.20 Esquema de las propiedades de las discontinuidades.

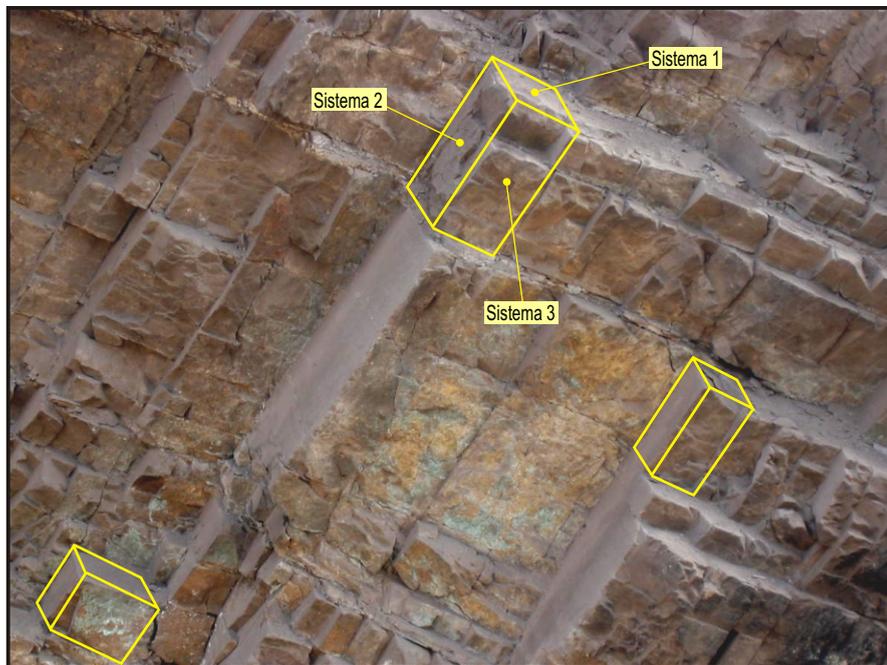


Figura 1.21 Representación espacial de los sistemas de discontinuidades.

1.6 LA METEORIZACIÓN Y LA ALTERACIÓN

Entre los procesos geológicos que más influyen en las condiciones de resistencia de la roca y que están presentes en todos los yacimientos metálicos, hay dos factores importantes, la meteorización y alteración.

1.6.1 Meteorización

Denominada también intemperización, está relacionada con la modificación que sufre la superficie de la roca o en sus proximidades, debido a la acción de agentes atmosféricos. El grado de la meteorización dependerá de las condiciones climatológicas, morfológicas y la composición de la masa rocosa.

La meteorización se divide en meteorización física, química y biológica.

- **Meteorización física**, como consecuencia de ésta, la apertura de las discontinuidades aumenta o pueden formarse nuevas fracturas por el relajamiento de la roca.
- **Meteorización química**, origina la decoloración de la roca hasta la descomposición de la misma.
- **Meteorización biológica**, está regida por la presencia y actividad de los seres vivos.



Figura 1.22 Masa rocosa meteorizada.

1.6.2 Alteración

La alteración de la roca o más propiamente dicha, alteración hidrotermal, se produce por la ascensión de fluidos o gases magmáticos a altas temperaturas a través de fracturas o zonas de falla. Éstos afectan a los rellenos de las zonas de falla y sus cajas, originando reemplazamientos y rellenos, que modifican las condiciones del macizo rocoso en los cuales se emplazan.

Algunos tipos de alteración, como la silicificación y en menor grado la calcificación, mejoran las características de la masa rocosa, incluyendo las zonas de falla. Otros, como la propilitización, disminuyen levemente las condiciones debido a la presencia de cloritas en las paredes de las fracturas. La sericitización y la argilitización (aumento de minerales arcillosos) son las alteraciones más desfavorables para los macizos rocosos donde se emplazan.

1.7 CARACTERIZACIÓN DE LA MASA ROCOSA

Para conocer la masa rocosa, hay necesidad de observar en el techo y las paredes de las labores mineras, las diferentes propiedades de las discontinuidades, para lo cual se debe primero lavar el techo y las paredes. A partir de estas observaciones se podrán sacar conclusiones sobre las condiciones geomecánicas de la masa rocosa.

Debido a la variación de las características de la masa rocosa, el supervisor deberá realizar en forma permanente una evaluación de las condiciones geomecánicas, conforme avanzan las labores, tanto en desarrollo como en explotación, utilizando el presente manual como una herramienta de clasificación de la masa rocosa.

En situaciones especiales, el supervisor deberá realizar un mapeo sistemático de las discontinuidades, denominado mapeo geomecánico, utilizando métodos como el "registro lineal", para lo cual debe extender una cinta métrica en la pared rocosa e ir registrando todos los datos referidos a las propiedades de las discontinuidades, teniendo cuidado de no incluir en ellos las fracturas producidas por la voladura. Los datos se irán registrando en formatos elaborados para este fin, luego serán procesados y presentados en los planos de las labores mineras.

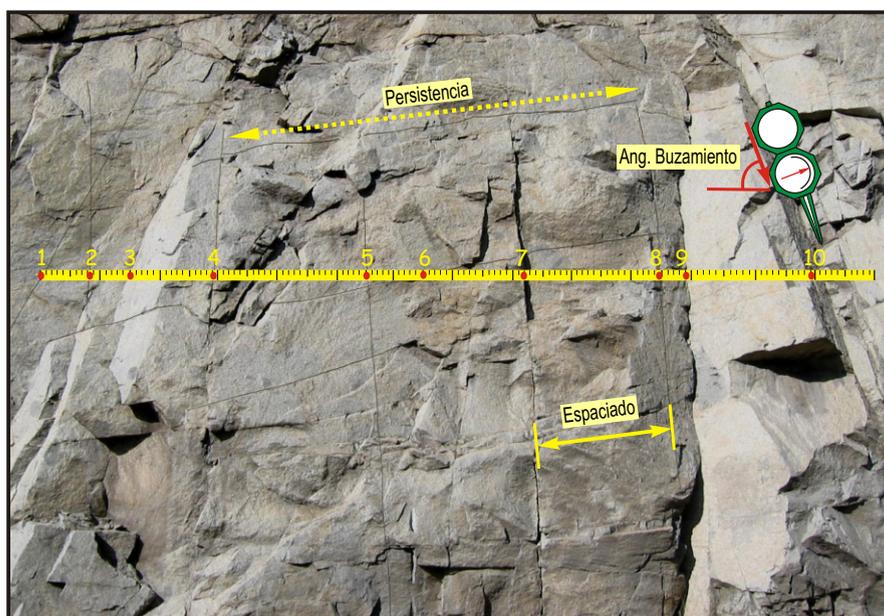


Figura 1.23 Mapeo geomecánico.

1.8 CONDICIONES DE LA MASA ROCOSA

De acuerdo a cómo se presenten las características de la masa rocosa, ésta tendrá un determinado comportamiento al ser excavada.

- Si la roca intacta es dura o resistente y las discontinuidades tienen propiedades favorables, la masa rocosa será competente y presentará condiciones favorables cuando sea excavada.
- Si la roca intacta es débil o de baja resistencia y las discontinuidades presentan propiedades desfavorables, la masa rocosa será incompetente y presentará condiciones desfavorables cuando sea excavada.
- Habrá situaciones intermedias entre los extremos antes mencionados donde la roca tendrá condiciones regulares cuando sea excavada.

Existen criterios para poder clasificar la masa rocosa, éstos están basados en la experiencia ganada en la ejecución de excavaciones en roca.

1.8.1 Criterios según la resistencia de la roca

Considerando la resistencia de la roca a romperse o indentarse con golpes de picota, la guía práctica de clasificación de la roca es la siguiente:

- **Resistencia muy alta:**
Solo se astilla con varios golpes de picota.
- **Resistencia alta:**
Se rompe con más de 3 golpes de picota.
- **Resistencia media:**
Se rompe con 1 a 3 golpes de picota.
- **Resistencia baja:**
Se indenta superficialmente con la punta de la picota.
- **Resistencia muy baja:**
Se indenta profundamente con la punta de la picota.

1.8.2 Criterios según las características del fracturamiento

Para clasificar la masa rocosa tomando en cuenta las características del fracturamiento (o grado de presencia de las discontinuidades), se mide a lo largo de un metro lineal cuántas fracturas se presentan, según esto, la guía práctica es la siguiente:

- **Masiva o levemente fracturada:**
2 a 6 fracturas /metro.
- **Moderadamente fracturada:**
6 a 12 fracturas/metro.
- **Muy fracturada:**
12 a 20 fracturas/metro.
- **Intensamente fracturada:**
Más de 20 fracturas/metro.
- **Triturada o brechada:**
Fragmentada, disgregada, zona de falla.

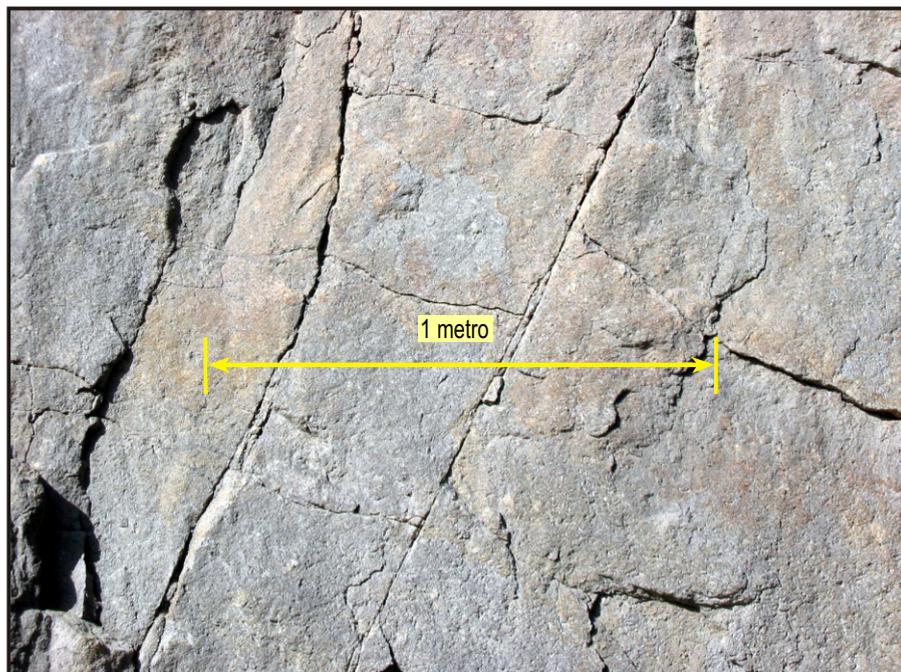


Figura 1.24 Roca masiva o levemente fracturada.

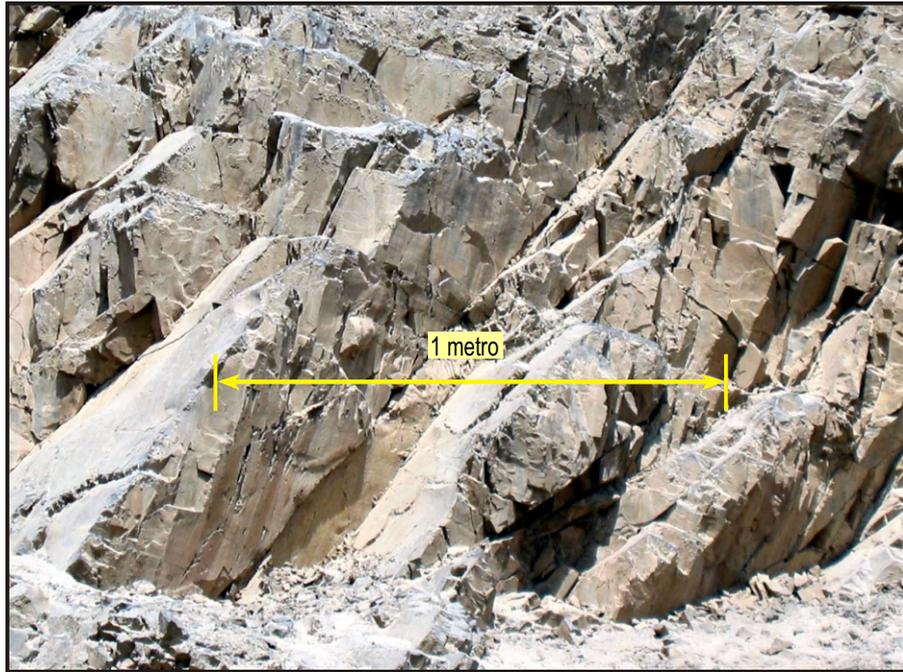


Figura 1.25 Roca moderadamente fracturada.

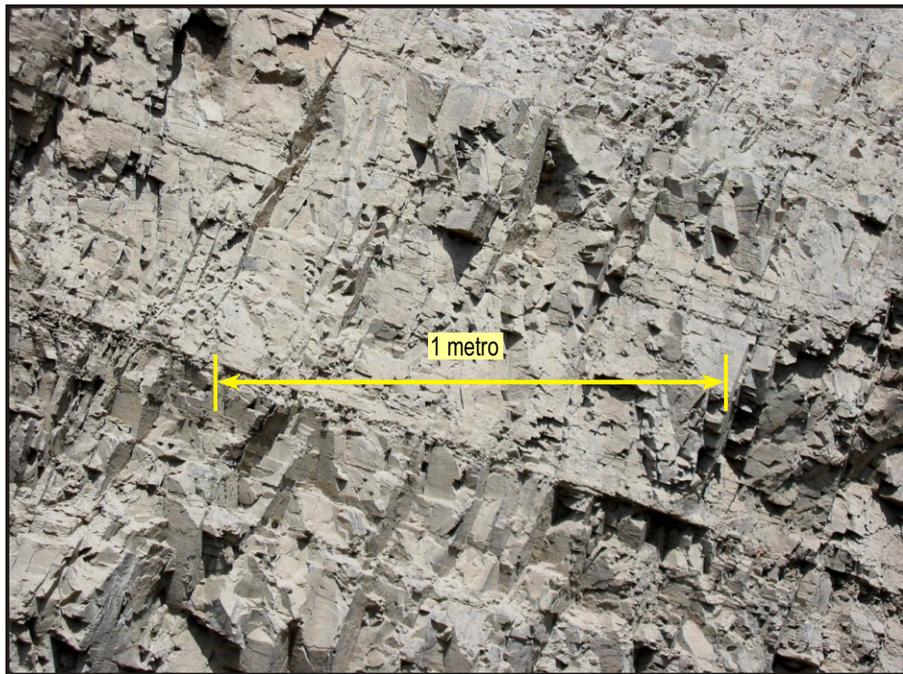


Figura 1.26 Roca muy fracturada.

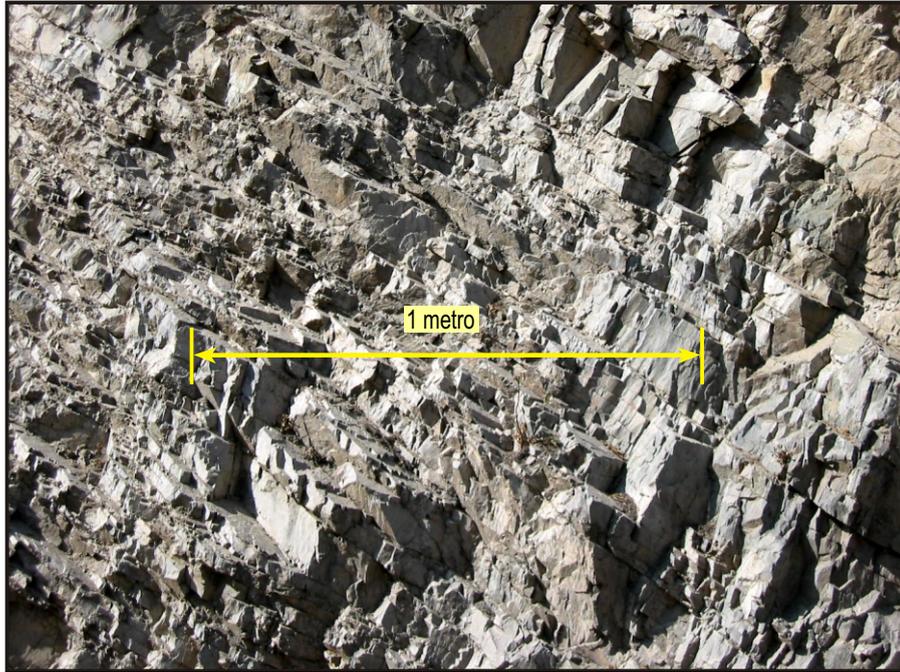


Figura 1.27 Roca intensamente fracturada.



Figura 1.28 Roca triturada o brechada.

1.8.3 Criterios según las condiciones de las paredes de las discontinuidades

Si tomamos en cuenta algunas propiedades de las paredes de las discontinuidades como la apertura, rugosidad, relleno y meteorización o alteración, la guía de clasificación de la masa rocosa es la siguiente:

- **Condición Muy Buena:**
Si las discontinuidades están cerradas, muy rugosas y están frescas.
- **Condición Buena:**
Si están ligeramente abiertas, moderadamente rugosas y tienen manchas de oxidación.
- **Condición Regular:**
Si están moderadamente abiertas, ligeramente rugosas a lisas y presentan oxidación.
- **Condición Mala:**
Si están abiertas, lisas y presentan relleno blando (por ejemplo limo o panizo).
- **Condición Muy Mala:**
Si están muy abiertas, estriadas y tienen relleno de panizo.

1.8.4 Condiciones geomecánicas

Cuando se quiere conocer cómo se comportará la masa rocosa, ésta debe ser clasificada en forma conjunta tomando en cuenta todas sus características. Así, si juntamos las guías de clasificación antes indicadas, considerando la resistencia de la roca, las características del fracturamiento y las condiciones de las paredes de las discontinuidades, la masa rocosa puede clasificarse en cinco categorías:

- **Masa rocosa Muy Buena:**
Condiciones geomecánicas muy favorables para el minado.
- **Masa rocosa Buena:**
Condiciones geomecánicas favorables para el minado.
- **Masa rocosa Regular:**
Condiciones geomecánicas regulares para el minado.

- **Masa rocosa Mala:**
Condiciones geomecánicas desfavorables para el minado.
- **Masa rocosa Muy Mala:**
Condiciones geomecánicas muy desfavorables para el minado.

1.8.5 Otros factores a tenerse en cuenta

Si se tiene definida la condición de la masa rocosa para cada zona de la mina, se conocerá como se comportará ésta durante el minado, pero es necesario además, conocer otros aspectos o factores adicionales que podrían modificar su comportamiento al ser excavada. Estos otros factores están referidos a lo siguiente:

- A la presencia de agua.
- A la presencia de los esfuerzos o también denominados presiones de la roca o del terreno.
- A la presencia de fallas principales .

La presencia de estos factores en la masa rocosa, por lo general tienen un efecto adverso sobre su comportamiento. Estos factores son tratados en el Capítulo **Identificación de los Problemas del Terreno**.

1.9 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LA MASA ROCOSA

Para definir las condiciones de la masa rocosa de una manera sistemática, hoy en día existen criterios de clasificación geomecánica ampliamente difundidos en todo el mundo, como los desarrollados por Barton y colaboradores (1974), Laubscher (1977), Bieniawski (1989), Hoek y Marinos (2000) y otros.

Por su simplicidad y utilidad, presentamos aquí los criterios RMR (Valoración de la Masa Rocosa) de Bieniawski (1989) y GSI (Índice de Resistencia Geológica) de Hoek y Marinos (2000), los mismos que se determinan utilizando los datos de los mapeos geomecánicos efectuados en las paredes de las labores mineras o en

1.9.1 El criterio RMR de Bieniawski (1989)

Se presenta en el Cuadro 1.1. Este criterio toma en cuenta cinco parámetros:

1. La **resistencia compresiva (R_c)** de la roca intacta, que puede ser determinada con golpes de picota o con otros procedimientos como los ensayos de laboratorio.
2. El **RQD (Rock Quality Designation)**, que puede ser determinado utilizando los testigos de las perforaciones diamantinas. El RQD es el porcentaje de trozos de testigos recuperados mayores a 10 cm, de la longitud total del taladro.

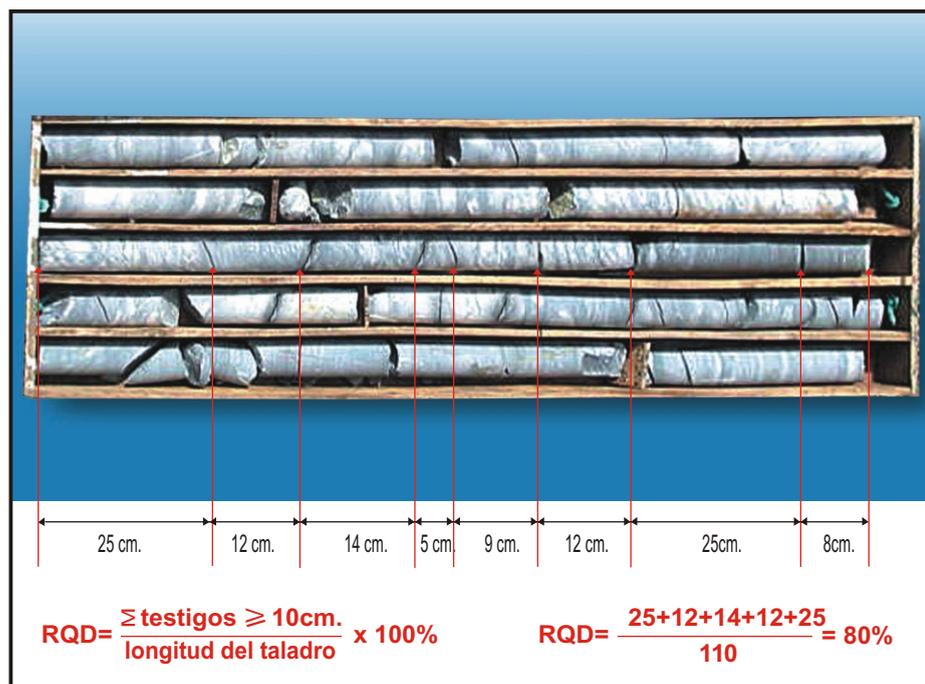


Figura 1.29 Testigos de perforación diamantina.

- El **espaciamiento** de las discontinuidades.
- La **condición de las discontinuidades**, referidas en este caso a la persistencia, apertura, rugosidad, relleno y meteorización.
- La **presencia de agua**.

Cuadro 1.1

Clasificación RMR de Bieniawski (1989)

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES								VALORACIÓN
RESIST. COMP. UNIAxIAL (M Pa)	>250 (15)	X 100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	12		
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	X 50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	13		
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	X 0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3	8		
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10mm (2)	X 10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	1	
	APERTURA	Cerrada (6)	X <0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	5	
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	X Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3	
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	X Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	1	
	ALTERACIÓN	Sana (6)	X Lig. Alterada. (5)	Mod.Alterada (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	5	
AGUA SUBTERRÁNEA	X Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	15		
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =									63
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II			
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA				

Para cada parámetro se han establecido rangos de valores y para cada rango una valoración. La utilización de este sistema de clasificación se ilustra con el siguiente ejemplo.

Para una determinada masa rocosa se tienen los siguientes parámetros:

- Resistencia compresiva: 120 MPa
- RQD: 60 %
- Espaciamiento de las discontinuidades: 0.06 - 0.2 m
- Condición de las discontinuidades:
 - Persistencia 10-20 m
 - Apertura < 0.1 mm
 - Rugosidad Ligera
 - Relleno Suave < 5 mm
 - Alteración (o intemperización) Ligera
- Presencia de agua: Seco

Las valoraciones respectivas de éstos parámetros se presentan en el Cuadro 1.1. Según las valoraciones efectuadas el RMR = 63, corresponde a una masa rocosa de Clase II de calidad Buena. Este valor de RMR debe ser corregido tomando en cuenta como se presentan las discontinuidades con el avance de la excavación.

- Si la excavación avanza cruzando en forma más o menos perpendicular al sistema principal de discontinuidades y el buzamiento de éstas es empujado a favor del avance, no se requiere ninguna corrección, por que ésta es la condición más favorable para la estabilidad de la excavación. Si el buzamiento fuera menos empujado ($< 45^\circ$), la corrección sería (-2).
- Si la excavación avanza cruzando en forma más o menos perpendicular al sistema principal de discontinuidades y el buzamiento de éstas es empujado en contra del avance, la corrección sería (-5). Si el buzamiento fuese menos empujado ($< 45^\circ$), la corrección sería (-10).
- Si la excavación avanza cruzando en forma más o menos paralela al sistema principal de discontinuidades y el buzamiento de éstas es empujado, la corrección sería (-12), por que ésta es la condición más desfavorable para la estabilidad de la excavación. Si el buzamiento fuese menos empujado ($< 45^\circ$), la corrección sería (-5).
- En general, si el sistema principal de discontinuidades se presenta con bajo buzamiento ($< 20^\circ$), la corrección sería (-5).

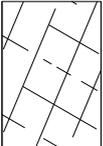
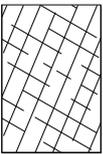
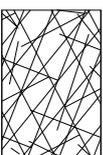
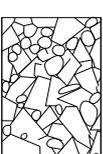
Ejemplo: Una excavación viene avanzando en una masa rocosa donde el sistema principal de discontinuidades tiene rumbo perpendicular al eje de esta galería y buzamiento de 60° en contra del avance, entonces la corrección será de (-5). El RMR corregido será $RMR = 63 - 5 = 58$. Ahora la masa rocosa será de Clase III calidad Regular.

1.9.2 El Índice de Resistencia Geológica GSI de Hoek y Marinos (2000)

Se presenta en el Cuadro 1.2. En el criterio original se consideran 6 categorías de masas rocosas, pero para el presente manual se han considerado 5 categorías, para compatibilizar este criterio con el criterio RMR y las guías de clasificación antes presentadas. El Índice de Resistencia Geológica GSI considera dos parámetros: la condición de la estructura de la masa rocosa y la condición superficial de la misma.

Cuadro 1.2

Caracterización geotécnica del macizo rocoso según el grado de fracturamiento y resistencia (se toma en cuenta la condición de discontinuidades).

<p>CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN GSI MODIFICADO</p> <p>Se basa en la cantidad de fracturas por metro lineal, medidas insitu con una wincha. La mala voladura afecta esta condición. La resistencia se determina golpeando o indentando la roca con una picota. Se toma en cuenta la rugosidad, alteración de paredes y relleno de las discontinuidades.</p> <p>ESTRUCTURA</p>	<p>CONDICIONES SUPERFICIALES</p> <p>MUY BUENA (EXTREMADAMENTE RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIES DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc > 250 MPa). (SE ASTILLA CON GOLPES DE PICOTA).</p> <p>BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEVEM. ALTERADAS, MANCHAS DE OXIDACIÓN, LIGERAM. ABIERTAS. (Rc 100 a 250 MPa). (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA).</p> <p>REGULAR (RESISTENTE Y LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADAS, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 a 100 MPa). (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA).</p> <p>MALA (MODERADAMENTE RESIT. MODERADAM. ALTERADA) SUPERFICIES PULIDAS O CON ESTRÍACIONES, MUY ALTERADAS, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (Rc 25 a 50 MPa) - (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE).</p> <p>MUY MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIES PULIDAS Y ESTRÍADAS, MUY ABIERTAS CON RELLENO DE ARCILLAS BLANDAS. (Rc < 25 MPa). (SE DISGREGA O INDENTA PROFUNDAMENTE).</p>				
 <p>LEVEMENTE FRACTURADA. TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (RQD 75 - 90%) (2 A 6 FRACT. POR METRO)</p>	LF/MB	LF/B	LF/R	LF/M	LF/MM
 <p>MODERADAMENTE FRACTURADA. MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CÚBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (RQD 50 - 75%) (6 A 12 FRACT. POR METRO)</p>	F/MB	F/B	F/R	F/M	F/MM
 <p>MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MÁS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES. (RQD 25 - 50%) (12 A 20 FRACT. POR METRO)</p>	MF/MB	MF/B	MF/R	MF/M	MF/MM
 <p>INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (RQD 0 - 25%) (MÁS DE 20 FRACT. POR METRO)</p>	IF/MB	IF/B	IF/R	IF/M	IF/MM
 <p>TRITURADA O BRECHADA. LIGERAMENTE TRABADA, MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE ROTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DISGREGABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS. (SIN RQD)</p>	T/MB	T/B	T/R	T/M	T/MM

1. La **estructura** de la masa rocosa considera el grado de fracturamiento o la cantidad de fracturas (discontinuidades) por metro lineal, según esto, las cinco categorías consideradas se definen así:
 - Masiva o Levemente Fracturada (LF)
 - Moderadamente Fracturada (F)
 - Muy Fracturada (MF)
 - Intensamente Fracturada (IF)
 - Triturada o brechada (T)

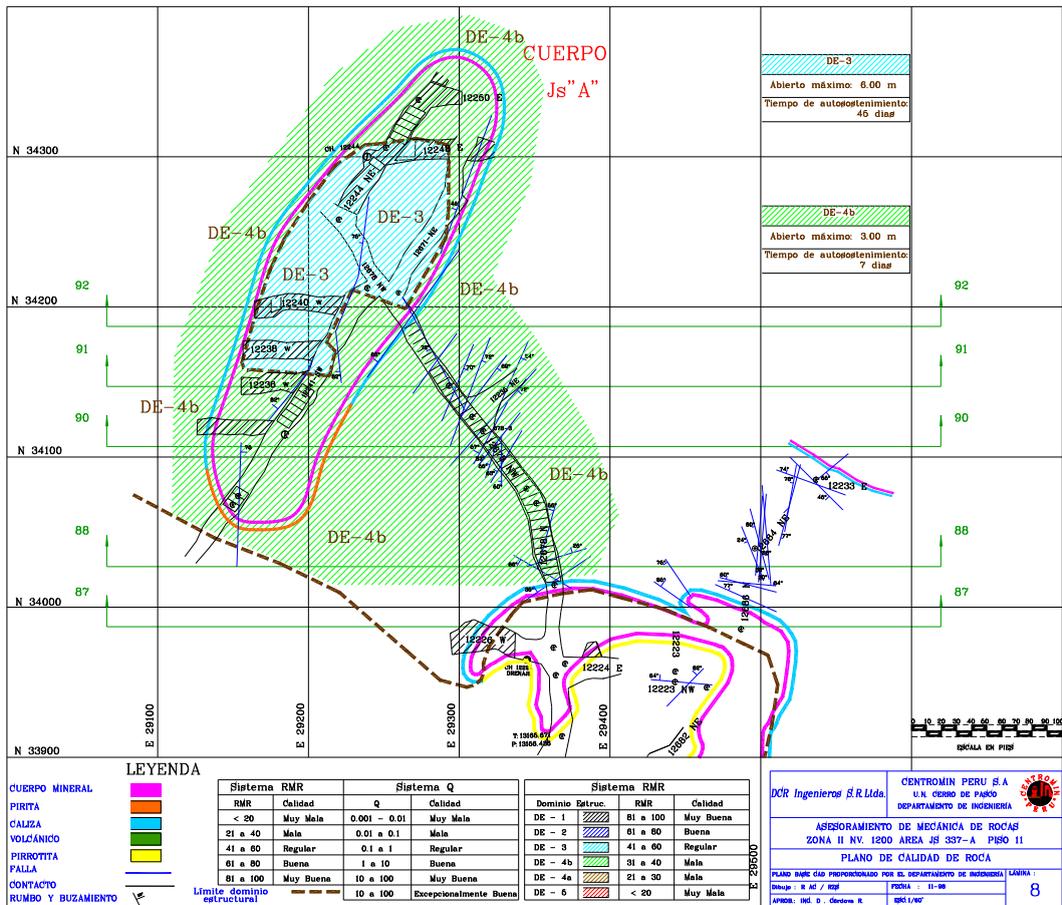
2. La condición superficial de la masa rocosa involucra a la resistencia de la roca intacta y a las propiedades de las discontinuidades: resistencia, apertura, rugosidad, relleno y la meteorización o alteración. Según esto, las cinco categorías consideradas se definen así:
 - Masa rocosa Muy Buena (MB)
 - Masa rocosa Buena (B)
 - Masa rocosa Regular (R)
 - Masa rocosa Mala (M)
 - Masa rocosa Muy Mala (MM)

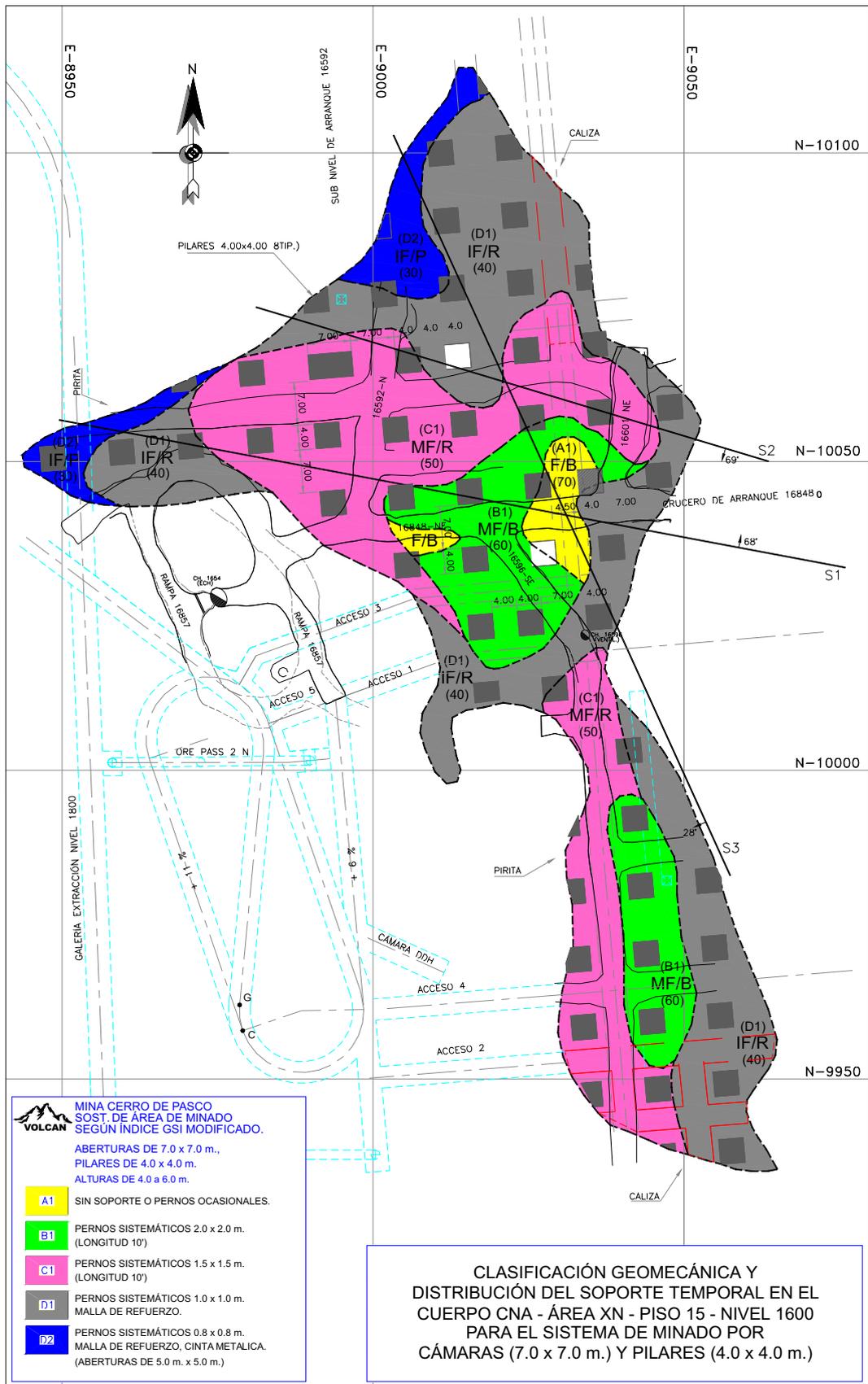
Como ejemplo de aplicación de este criterio, consideremos una roca que puede indentarse profundamente al golpearlo con la punta de la picota, correspondiéndole una resistencia muy baja. Si sus fracturas están muy abiertas con relleno de arcillas blandas, su condición será la de Muy Mala. Si esta roca tuviera 10 fracturas /metro, su clasificación según el GSI será: **Moderadamente Fracturada y Muy Mala (F/MM)**.

Cabe señalar que entre los diferentes criterios de clasificación geomecánica existen relaciones matemáticas para su correlación. Por ejemplo, el RMR de Bieniawski (1989) está correlacionado al Q (índice de calidad de la masa rocosa) de Barton (1974), por la expresión $RMR = 9 \ln Q + 44$. Por otro lado, el RMR de Bieniawski (1989) está correlacionado al GSI de Hoek y Marinos (2000), por la expresión $GSI = RMR - 5$, para el caso $RMR > 23$ y considerando condiciones secas.

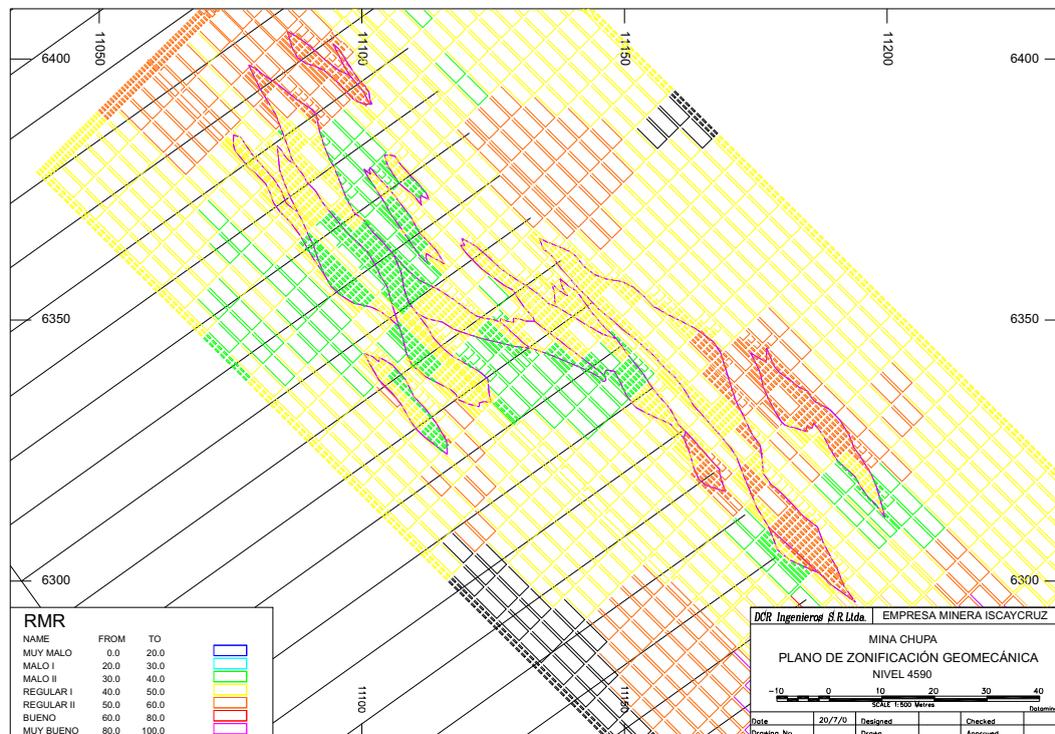
1.9.3 Zonificación geomecánica de las labores mineras

Cualquiera que sea el criterio de clasificación que se adopte en una mina, los valores de calidad de la masa rocosa deberán plotearse en los planos de las labores mineras. En estos planos serán delimitadas las zonas de similar calidad, así tendremos un plano de zonificación geomecánica de las diferentes labores mineras, como se muestra en el ejemplo. Es recomendable también que en las paredes de las labores mineras se marque con pintura la calidad de la roca, según códigos que se adopten para cada tipo de roca.





La citada zonificación puede elaborarse manualmente o cuando las minas lo dispongan, con paquetes como el MINESIGHT, DATAMINE, GEMCOM, VULCAN u otros. Estos últimos son particularmente útiles para zonas nuevas de un yacimiento donde la información que se dispone procede de los testigos de las perforaciones diamantinas.



En cada zona geomecánica se deberá estandarizar las diferentes variables mineras, por ejemplo:

- La dirección de avance de la excavación.
- El ancho y altura de la excavación.
- El tiempo de exposición abierta de la excavación.
- El tipo de sostenimiento.
- El tiempo en el cual se debe instalar el sostenimiento y
- El tipo de voladura (breasting o realce), etc.