

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**GEOTECNIA MINERA EN CONSTRUCCIONES DE CÁMARAS EN ROCA  
VOLCÁNICA EN LA REGIÓN DE PUNO**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADO POR:**

**EBER PARQUI MAMANI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO - PERÚ**

**2009**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

**GEOTECNIA MINERA EN CONSTRUCCIONES DE CÁMARAS EN ROCA  
VOLCÁNICA EN LA REGIÓN DE PUNO**

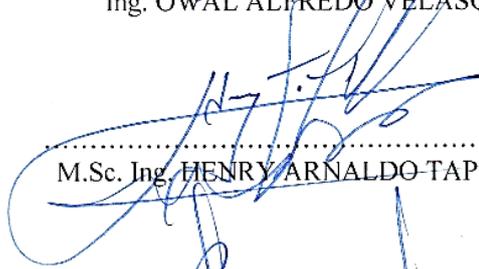
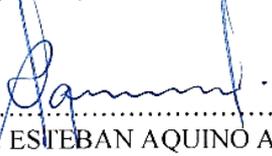
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADO POR:

**EBER PARQUI MAMANI**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO DE MINAS**

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE	:	 ..... Dr. Ing. ALFREDO CAMAC TORRES
PRIMER MIEMBRO	:	 ..... Ing. DAVID VELASQUEZ MEDINA
SEGUNDO MIEMBRO	:	 ..... Ing. OWAL ALFREDO VELASQUEZ VIZA
DIRECTOR	:	 ..... M.Sc. Ing. HENRY ARNALDO-TAPIA VALENCIA
ASESOR	:	 ..... Ing. ESTEBAN AQUINO ALANOCA

**ÁREA :** Geotecnia

**TEMA :** Geotecnia Minera en Construcciones de Cámaras en Roca Volcánica en la Región de Puno

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 21 de enero del 2009

## DEDICATORIA

A Dios y a mis Padres: Victoria Mamani

Gutierrez y Justo German Parqui Quispe.

A mi esposa Gladis Marisol Gutierrez

Collanqui y a mi hijo Victor Rodrigo Parqui

Gutierrez

## AGRADECIMIENTOS

- Un agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano por brindarme sus instalaciones y en especial a la Facultad de Ingeniería de Minas, institución donde me forme y a la que debo todo lo que soy.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
RESÚMEN .....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN .....	13

### CAPÍTULO I

#### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1. Rocas ígneas, utilización y comportamiento.....	14
1.1. Composición mineralógica de las rocas ígneas .....	15
1.2. Textura de las rocas ígneas .....	16
1.3. Estructura de las rocas ígneas .....	18
1.4. Clasificación de las rocas ígneas.....	19
1.4.1. Rocas volcánicas .....	20
1.4.2. Utilización y comportamiento de las rocas volcánicas .....	23
1.5. Investigación y auscultación del macizo.....	27
1.5.1. Introducción .....	27
1.5.2. Factores de la investigación .....	30
1.5.3. Intensidad de la investigación .....	30
1.5.4. Etapas de la investigación .....	31
1.5.5. Investigaciones a realizar en las etapas .....	33
1.6. Clasificación de macizos rocosos .....	36
1.6.1. Introducción .....	36
1.7. Investigaciones geotécnicas .....	44
1.7.1. Los medios de investigación .....	44
1.7.2. Investigaciones en sub-suelo.....	47

**CAPÍTULO II****CASO PRÁCTICO**

2.1.	Aplicaciones.....	57
2.2.	Modelos de dimensionado .....	57
2.2.1.	Modelo geológico.....	57
2.2.2.	Modelo geomécanico .....	58
2.2.3.	Modelo matemático.....	58
2.3.	Aplicación de la geotecnia en construcción de cámaras en la mina El Cofre – Puno (Simulación).....	59
2.3.1.	Objetivo general .....	59
2.3.2.	Objetivo específico.....	59
2.3.3.	Planificación del trabajo.....	59
2.3.4.	Aspectos geológicos.....	60
2.3.5.	Caracterización geotécnica.....	61
2.3.6.	Procesamiento de dimensionamiento de los pilares .....	65
	CONCLUSIONES .....	74
	RECOMENDACIONES.....	75
	BIBLIOGRAFÍA .....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1:</b> Estructura de las rocas ígneas .....	19
<b>Figura 2:</b> Diagrama de streckeisen .....	19
<b>Figura 3:</b> Andesita y basalto .....	24
<b>Figura 4:</b> Riolita.....	25
<b>Figura 5:</b> Traquita y Fonolita.....	26
<b>Figura 6:</b> Dacita .....	26
<b>Figura 7:</b> Plano de ubicación. ....	68
<b>Figura 8:</b> Sección transversal de una explotación por cámaras y pilares mostrando la altura de techo inmediato. ....	69
<b>Figura 9:</b> Esquema asumido para explicar criterio de diseño de luz de cámaras de minado.....	70
<b>Figura 10:</b> Aplicación modelo de viga elástica para el diseño de cámaras .....	71

**ÍNDICE DE TABLAS**

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1:</b> Minerales componentes de las rocas ígneas.....	15
<b>Tabla 2:</b> Composición mineralógica media aproximada de las rocas ígneas.....	17
<b>Tabla 3:</b> Carga sobre el sostenimiento y parámetro m y s de Hoek y Brown .....	38
<b>Tabla 4:</b> Clasificación MRM de Bieniawski.....	62
<b>Tabla 5:</b> Propiedades mecánicas de la roca.....	63
<b>Tabla 6:</b> Clasificación geomecánica CSIR.....	72
<b>Tabla 7:</b> Ajuste de la evaluación. ....	72
<b>Tabla 8:</b> Clasificación de rocas según el total de valuación.....	72
<b>Tabla 9:</b> Significado de la clasificación del macizo rocoso. ....	73
<b>Tabla 10:</b> Ensayo de índice y manual de resistencia de la roca. ....	73

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>%</b>	: Porcentaje.
<b>&lt;</b>	: Menor que.
<b>&gt;</b>	: Mayor que.
<b>a</b>	: Constante de material (criterio de Hoek – Brown).
<b>ASTM</b>	: American Section of the International Association for Testing Materials.
<b>D</b>	: Factor de alteración por efectos de voladura o relajación en el macizo rocoso.
<b>E</b>	: Este
<b>Ei</b>	: Módulo de elasticidad o de deformación de la roca intacta.
<b>Em</b>	: Módulo de elasticidad o de deformación del macizo rocoso.
<b>FS</b>	: Factor de Seguridad
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	: Gramos sobre centímetro cubico.
<b>GSI</b>	: Geological Strength Index.
<b>INGEMMET</b>	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
<b>ISRM</b>	: International Society for Rock Mechanics.
<b>JCS</b>	: Joint Wall Compressive Strength.
<b>JRC</b>	: Joint Roughness Coefficient.

<b>Km</b>	: Kilómetro.
<b>MPa</b>	: Mega Pascal.
<b>RMR</b>	: Rock Mass Rating.
<b>RQD</b>	: Rock Quality Designation.
<b>S</b>	: Espaciamiento entre las estructuras.
<b>S</b>	: Constante de material (criterio de Hoek – Brown).
<b>UCS</b>	: Uniaxial Compressive Strength o Resistencia a la Compresión Simple.
<b><math>\sigma_c</math></b>	: Resistencia a la compresión uniaxial.
<b><math>\sigma_{cm}</math></b>	: Resistencia a la compresión uniaxial del macizo rocoso.
<b><math>\sigma_t</math></b>	: Resistencia a la tracción.
<b><math>m_i</math></b>	: Constantes de material (criterio de Hoek – Brown).
<b><math>\phi</math></b>	: Ángulo de fricción.

## RESÚMEN

En el Capítulo I, se tiene el fundamento teórico, donde se describe la formación y características de las rocas ígneas y en forma particular las rocas ígneas volcánicas. Luego se hace una investigación auscultado del macizo, donde de la clasificación del macizo rocoso, se tiene diferentes tipos de clasificaciones como el RQD, clasificación Q, clasificación RMR entre otros. El objetivo de las investigaciones geotécnicas, es la de sustentar las investigaciones de campo y procesamiento en gabinete, en este trabajo se indican las principales actividades desarrolladas en las investigaciones, las cuales son análisis de parámetros geotécnicos, referidos a la obtención de los módulos elásticos (modelo de Young y el modelo de Poisson) y las propiedades geomecánicas en general. Los estudios geotécnicos, incluyen las investigaciones directas, mediante los sondeos rotatorios, excavaciones subterráneas, calicatas, trincheras, pozos, etc. En el Capítulo II, se describe brevemente el modelo geológico, el modelo geomecánico y el modelo matemático, luego con las características con las propiedades físicas de la andesita, se diseña la construcción de una cámara en la Mina el Cofre, para lo cual se considera la clasificación MRM de Bieniawski, la cual nos permite dar valores después de la evaluación. Con las propiedades mecánicas de la roca andesita se diseña una cámara de minado de 5 m con pilares de sección cuadrada y una cobertura de roca por encima de 30 m.

**Palabras clave:** Rocas ígneas, macizo rocoso, RMR, RQD.

## ABSTRACT

In Chapter I, you have the theoretical foundation, which describes the formation and characteristics of igneous rocks and particularly volcanic igneous rocks. Then an auscultation investigation of the massif is made, where from the classification of the rock massif, there are different types of classifications such as the RQD, Q classification, RMR classification among others. The objective of geotechnical investigations is to support field investigations and cabinet processing, in this work the main activities carried out in the investigations are indicated, which are geotechnical parameters analysis, referred to obtaining elastic modules ( Young model Poisson model) and geomechanical properties in general. Geotechnical studies include direct investigations, through rotary surveys, underground excavations, calicatas, trenches, wells, etc. In Chapter II, the geological model, the geomechanical model and the mathematical model are briefly described, then with the characteristics with the physical properties of the andesite, the construction of a chamber in the El Cofre Mine is designed, for which Consider the MRM classification of Bieniawski, which allows us to give values after the evaluation. With the mechanical properties of the andesite rock, a 5-meter mining chamber is designed, with square section pillars and a rock cover above 30 meters.

**Keywords:** Igneous rocks, rock mass, RMR, RQD.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se le viene dando la importancia debida, a la influencia que tiene el terreno sobre un proyecto minero especialmente en lo referente a sus características, propiedades y resistencia con respecto a las normas existentes, dándosele la prestancia en el aspecto del recurso; medio ambiente y de seguridad. La misma que se encuentra relacionada con la geotecnia (mediante suelos y rocas), como medio de base, sostenimiento de taludes y las combinaciones en las diferentes infraestructuras mineras.

Hoy en día, todo técnico, ingeniero o investigador en la rama de geotecnia debe conceptualizar la importancia que tiene dentro de la vida económica del país, lo cual tácitamente está relacionado con la utilidad pública, bienes sociales y el manejo adecuado de los recursos en este caso el suelo y el subsuelo está relacionado a las normas de carácter internacional (ISO) o los relacionados a las leyes sectoriales como los de minería.

## CAPÍTULO I

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 1.1. Rocas ígneas, utilización y comportamiento

Las rocas ígneas son las más abundantes de la corteza, suelen ocupar el 90% de la litosfera y tiene por origen la solidificación de una mezcla fundida, llamada magma cuando está dentro de la corteza y lava para el magma que llega a la superficie.

Las rocas ígneas se forman conforme se enfrían y solidifica una roca fundida, que a su vez se forma por la fusión parcial de las rocas preexistentes, proceso que produce a grandes profundidades de alrededor de 200 km, ígneo proviene del latín “ígnis” que significa fuego.

Las rocas ígneas se clasifican de acuerdo a la profundidad de solidificación:

**Plutónicas.-** Cristalizan o solidifican a gran profundidad de la superficie, su textura es fanerítica o granular.

**Volcánicas.-** Solidifican en la superficie o cerca de ella, su textura es afanítica o microgranular.

**Hipabisales.-** Solidifican a cierta profundidad de la superficie, su textura es porfirítica.

### 1.1. Composición mineralógica de las rocas ígneas

Para el estudio mineralógico de las rocas ígneas dividiremos los minerales en:

- **Esenciales.-** Que no faltan nunca y caracterizan la especie litológica.
- **Accesorios.-** son menos abundantes en la formación de las rocas, aunque se presentan con cierta regularidad; su frecuencia o ausencia no genera otra especie, sino variedades de la misma roca.
- **Secundarios.-** Se presentan en las rocas por las alteraciones de los minerales esenciales o accesorios, sin importancia en la constitución de clases o variedades de las rocas.

Ejemplo. Granito sus minerales esenciales son cuarzo, feldespato y mica negra. Accesorio son turmalina, rutilo, titanita, etc. y accidental puede ser la mica blanca. (ver tabla 1)

**Tabla 1:** Minerales componentes de las rocas ígneas.

MINERAL	MINERALES LEUCOERATOS O CLAROS	MINERALES MELANOERATOS U OSCUROS
Esenciales	Si O <sub>2</sub> : cuarzo, tridimita o anstobalita, ambos en algunas rocas volcánicas. Felpes patos, potásicos, ortasa y microdina. Pertita, Feldespato potásico enfriado con albitas Feldespatos calcosedicas, plagicelosas Feldespatoides refelina, leucita, sodalita, sanidina	Olivino  Prioeno: Nestetit, hipeistena, augita  Horblenda  Biótica
Accesorios	Apatito, corindón, esfena, circón, moscovita, flourita	Ilmenita magnetita, piritita y pirratina
Accidentales	Topacio	Tormalina y granate

Fuente: (Rivera, 2011).

## 1.2. Textura de las rocas ígneas

Textura de la relación existente entre los granos que constituyen la roca y dependen del grado de instalación de los minerales, tamaño, forma y la relación mutua entre los contactos. (ver tabla 2)

### Cristalización

Halocristalina	Minerales totalmente cristalizados
Hipocristalina	Minerales cristalizados y masa vítrea
Holohialinas	Masa vítrea

### Tamaño

- Grano fino > 1 mm
- Grano medio 1-5 mm
- Grano grueso 5mm - 30 mm
- Muy grueso > 30 mm.

**Tabla 2:** Composición mineralógica media aproximada de las rocas ígneas.

Oxido	Sienita	Sienita	Granito	Tonalita	Diorita	Gabro	Peridotita	Dunita
	<b>Nefelítica</b>							
SiO <sub>2</sub>	54.83	59.41	72.08	66.15	51.86	48.36	43.54	40.16
TiO <sub>2</sub>	0.39	0.83	0.37	0.62	1.50	1.32	0.81	0.20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.63	17.12	13.86	15.56	16.40	116.94	3.99	0.84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.56	2.19	0.86	1.36	2.73	2.55	2.51	1.88
FeO	3.45	2.83	1.67	3.42	6.97	7.92	9.84	11.87
MnO	Trazas	0.08	0.06	0.08	0.18	0.18	0.21	0.21
MgO	Trazas	2.02	0.52	1.94	6.12	8.06	34.02	43.16
CaO	1.94	4.06	1.33	4.65	8.40	1.07	3.40	0.75
Na <sub>2</sub> O	10.63	3.92	3.08	3.90	3.36	2.26	0.56	0.31
K <sub>2</sub> O	4.16	6.53	5.46	1.42	1.33	0.56	0.25	0.14
H <sub>2</sub> O	0.19	0.63	0.53	0.69	0.80	0.64	0.76	0.44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.38	0.18	0.2	0.35	0.24	0.05	0.04
TOTAL	99.77	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: (Rivera, 2011).

### Forma

Cristal eudral.- cristal con caras completas.

Cristal anhedral.- limitadas por caras no cristales.

Cristal subhedral.- cuando no presentan caras de cristal.

### Relación de los contratos

#### Granuda:

Granítica

Aplítica

Segmática

Dorpirítica

Ofídica

Traquítica

Vítrea

Esferulítica

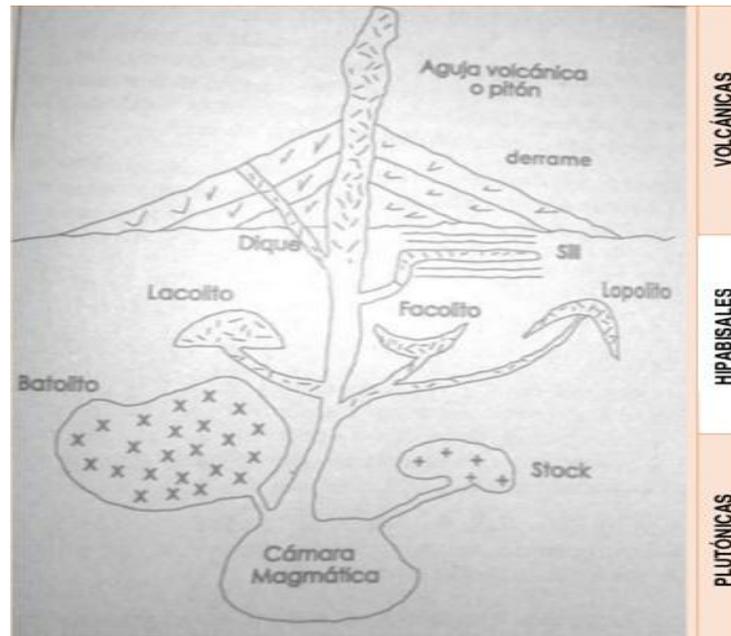
Perlítica

Fluidal

### **1.3. Estructura de las rocas ígneas**

Como observamos en la figura 1, el rasgo estructural más habitual de las rocas ígneas es la de aparecer en grandes masas, cuerpos tabulares y las chimeneas, las cuales son:

1. Batolito
2. Dique
3. Facolito
4. Lacolito
5. Lopolito



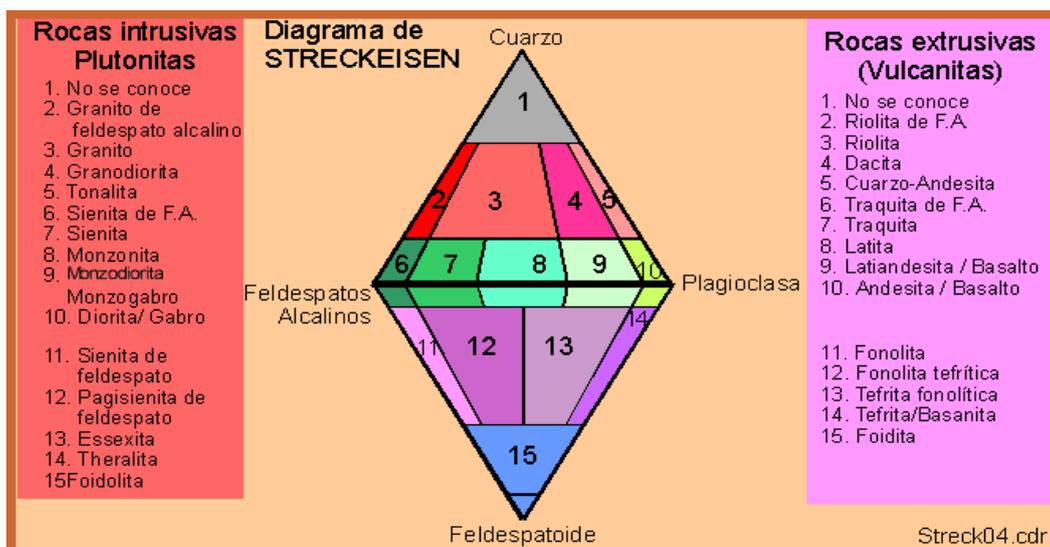
**Figura 1:** Ocurrencia de los plutones intrusivos y estructuras volcánicas

Fuente: (Rivera, 2011).

#### 1.4. Clasificación de las rocas ígneas

En la figura 2, tenemos la clasificación de rocas ígneas recomendadas por la IUGS (Institute United Geology Systems)

El tipo pétreo de interés dentro de una familia o grupo con lo cual tiene una idea aproximada de sus características físicas y mecánicas fundamentalmente.



**Figura 2:** Diagrama de streckeisen

Fuente: (Streckeisen, 1974).

### 1.4.1. Rocas volcánicas

El magma fundido, sometido a alta presión, tiende a moverse hacia las áreas de menor presión; es por ello que el sentido dominante del movimiento es hacia arriba, de tal manera que puede ser expulsado por erupción sobre la superficie a través de fisuras o aberturas volcánicas, dando lugar a la formación de rocas volcánicas llamadas también rocas extrusivas o efusivas.

Las coladas de lavas que llegan a la superficie a lo largo de grietas o fracturas reciben el nombre de erupciones fisurales y aquellas que tiene su erupción localizada se les llama erupciones centrales.

#### Textura y estructuras

#### Ocurrencia

Las rocas volcánicas típicas se presentan como derrames o coladas de lavas y de piroclásticos sobre la superficie de la Tierra, variando de grosor de algunos centímetros hasta varios cientos de metros. El área que cubren puede abarcar desde varias hectáreas hasta muchos kilómetros, cuadrados y algunas grandes extensiones.

Las coladas de lava son cuerpos ígneos tabulares, delgados en comparación con su extensión horizontal, y su posición corresponde de un modo general a la superficie sobre las cuales fueron expulsados. La superficie de las coladas de lavas puede ser lisa, pero en ocasiones éstas presentan irregularidades de diferente magnitud:

- a) **La lava Pahoehoe.** Es de superficie tersa, Ondulada o de aspecto de cordel o cordada, cuya composición es basáltica. Estas lavas se conocen como lavas cordadas, que recuerdan a las hebras trenzadas de los cordeles.

- b) **La lava aa.** Consiste de bloques irregulares cubiertos comúnmente con pequeñas asperezas o rugosidades, de composición basáltica; viene a ser el resultado de una mayor viscosidad ocasionada por temperaturas más bajas y contenido de gas más bajo.
- c) **La lava de bloque.** Está compuesta por bloques irregulares sin apariencia escoriforme, es típica de las lavas silíceas.
- d) **Lava almohadilladas.** Cuando la lava llega al océano o cuando se originan en las cuencas oceánicas, las zonas superficiales de las coladas se enfrían rápidamente, adquiriendo estructuras alargadas que se parecen a grandes almohadillas apiladas unas sobre otras, su presencia indica que su depositación se produjo, en un ambiente subacuático.

Las coladas de piroclásticos es otra forma de ocurrencia de las rocas volcánicas formada por fragmentos denominados piroclásticos (del griego piro, fuego, y clastos, fragmentos), que son el producto de las explosiones volcánicas: tobas, brechas, cenizas, etc. El tamaño de estos fragmentos expulsados varía desde polvo fino hasta bloques. Las partículas finas se denominan ceniza, polvo volcánico, lapilli (“piedras pequeñas”), las partículas mayores que los lapillis compuestas de lava endurecida se denominan bloques y bombas volcánicas, cuando la lava incandescente es expulsada al espacio y se enfría violentamente en su caída tomando la forma de “huso”.

Los domos de lava, al contrario de las lavas ferromagnesianas, las lavas ricas en sílice son viscosas que apenas pueden fluir, conforme es extruida la lava fuera de la chimenea, puede producir una masa bulbosa de lava solidificada denominada domo de lava. La mayoría de los domos volcánicos se desarrollan a continuación de una erupción explosiva de un magma rico en volátiles. Aunque la mayoría de los domos volcánicos

se forman en asociación con conos compuestos preexistentes, algunos se forman en forman independiente.

### **Texturas y estructuras**

El magma expulsado en superficie se le llama lava y debido a la pérdida de agua y gas su viscosidad aumenta y se enfría rápidamente. En tales condiciones favorece la formación no sólo de vidrio sino de ciertos minerales característicos de las rocas volcánicas. Las variedades y estructuras son variadas. Aquí se mencionan las principales:

1. **Textura afanítica.** Es común en las rocas volcánicas y se define como la textura de la roca en la cual los cristales son demasiado pequeños para ser vistos a simple vista, ya sea en roca cristalizada o vítrea.
2. **Textura porfirítica.** En la cual existen cristales grandes y bien formados conocidos como fenocristales de uno o más minerales, incluidos en una masa de grano fino, o vítrea.
3. **Textura fluidal.** Cuando los minerales constituyentes de la roca muestran una tendencia paralela o subparalela en la trama.
4. **Estructura perlítica.** La mayoría de las rocas vítreas presentan diminutas grietas curvadas, a veces parcialmente concéntricas, debido a la contracción del vidrio.
5. **Estructura esferolítica.** Algunos minerales forman pequeños corpúsculos esféricos llamados esferolitas.

6. **Estructura vesicular.** Muchas rocas se caracterizan por, tener burbujas atrapadas, las que pueden ser de diferente forma, como elípticas, redondeadas e irregulares.
7. **Estructura amigdaloides.** Cuando las amígdalas, que son vesículas, han quedado rellenas por minerales secundarios como carbonatos y varias formas de vidrio.
8. **Escoria.** Es un término que se aplica a la lava basáltica, en la cual las vesículas u oquedades dejadas por el gas son numerosas y de forma irregular.
9. **Piedra pómez.** Llamada también pumita, es una lava ácida o silíceas con aspecto de espuma que se produce en una etapa extrema del escape de gases y contiene innumerables cavidades aisladas unas de otras, de tal manera que puede flotar en el agua.
10. **Disyunción columnar.** Son estructuras que se forman cuando las rocas volcánicas básicas se enfrían y desarrollan fracturas de contracción en forma de columnas alargadas parecidas a pilares

#### 1.4.2. Utilización y comportamiento de las rocas volcánicas

##### A. Andesitas y basalto

Son las rocas volcánicas extrusivas más extendidas que son equivalente al gabro, diorita y diabasa, los minerales predominantes en el caso de la andesita son los plagioclasas y andesina aunque también presenta feldespato alcalino y cuarzo y en el basalto plagioclasas y piroxeno (augita) puede tener olivino en cambio el cuarzo. Hornblenda e hiperstena aparecen en cantidades insignificantes, preservando un color en ambos casos gris, negro o verde oscuro y rojizo cuando se altera.

Tiene un aspecto masivo aunque en algunos casos una disyunción columnar, por el enfriamiento diferencial también se presenta en forma de coladas de espesores muy variable, a veces alternas con horizontes de piroclastos en forma horizontal y subhorizontal, o en forma de coladas empresariales como cono de volcanes activos como inactivos.

Por sus resistencias al desgaste, adherencia y escasa absorción se utiliza, como material de base y sub base en carreteras y vías de ferrocarril como balastro no adecuada para obras hidráulicas, presentan alternaciones a favor de la factura del lugar o zonas arcillo-arenosa de color rojizo (ver figura 3)

La localización de agua en las zonas volcánicas es generalmente una tarea difícil por el excesivo inter cruzamiento de mantos de erupción con rocas de diferente permeabilidad.

Para la cimentación en forma masiva o fracturada dan buenos resultados. Los taludes en estas rocas obligan hacer estabilizaciones como muros de contención y contrafuertes.



**Figura 3:** Andesita y basalto

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Basalto>

## B. Riolita

Roca volcánica equivalente en su composición mineralógica al granito, presenta textura porfídica existe dos tipos riolitas sódicos y dotasicos según el tipo de feldespatos presente. (véase figura 4)

Es una roca dura y resistente, es impermeable con alteración en su último grado de arcillas. (La obsidiana es una riolita de textura vítrea)



**Figura 4:** Riolita

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Riolita>

## C. Traquita y fonolita

Son rocas equivalentes por su composición mineralógica al intrusivo sienita. Son rocas permeables, poco resistentes y bastante alterables presenta poca resistencia para coberturas subterráneas y taludes. (ver figura 5)

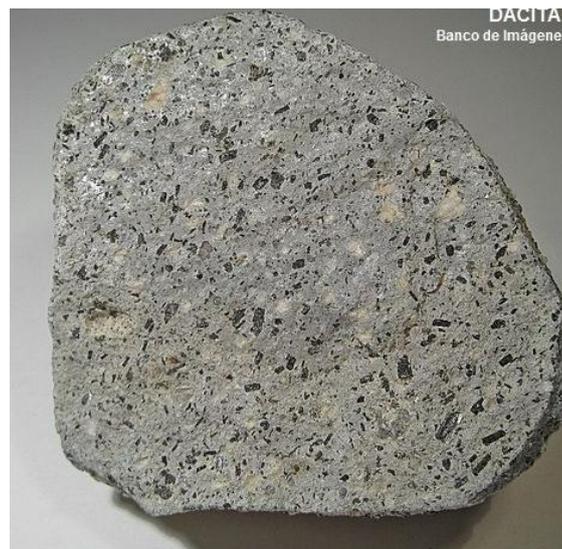


**Figura 5:** Traquita y Fonolita

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Traquita>

#### D. Dacita

Es el equivalente volcánico de la fonolita y la granodionita, pero de menor resistencia y más permeabilidad a su equivalente intrusivo. (ver figura 6)



**Figura 6:** Dacita

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Dacita>

#### E. Cenizas, tobas blandas y escorias

Son rocas piroclásticas que al cementarse dan lugar a tobas blandas son poco densos, muy alterables y adquieren plasticidad con presencia del agua, estos materiales por lo común aparecen interestratificados con colados volcánicos se presentan en ladera, presentando las características de suelos endurecidos con las características siguientes:

Límite líquido	100 – 80
Indica plasticidad	50-30
Densidad seca	0.6-1.1
Humedad	90-130%
Grandometrio	5-10% < 2u
Angulo de rocamiento	25° a 25°
Cohesión	2-4 ton/m <sup>2</sup>

La disposición interestratificado se puede dar en los siguientes casos.

## **1.5. Investigación y auscultación del macizo**

### **1.5.1. Introducción**

El macizo rocoso es la masa rocosa constituida, por uno o varios tipos litológicos con una situación especial y afectada por distintas discontinuidades que dan anisotropía al conjunto.

Por consiguiente es necesario caracterizar el:

- Macizo rocoso.
- Matriz rocoso.

### **Discontinuidades y sollicitaciones (fuerzas externas)**

En la investigación de macizo rocoso se debe tener en cuenta.

- Tema de investigación.

- Problemas del macizo.
- Objetivo del estudio.
- Hipótesis o solución.
- Intensidad.
- Fases.
- Medios.

#### **A. Tema de investigación**

Las características de un tema de investigación son:

- i) Que haga referencia a un problema por resolver
- ii) Que el tema sea específico al trabajo o proyecto a realizar
- iii) Que se presupueste dentro el tiempo y ámbito determinado

#### **B. Problema**

Es el conjunto de interrogantes que deben tener respuestas para su solución y se deben plantear las siguientes interrogantes:

¿Qué? Genera un problema

¿Cómo? Guía el método aplicable

¿Para qué? Genera efectos posibles sobre al macizo de manera potencial

¿Para qué? Utilidad del estudio

## C. Objeto de la investigación del macizo

### C-1. Objetivo general

Es conocer las características geomecánicas del macizo, en términos generales

### C.2. Objetivo parcial.

Se deben tratar de manera detallada o específica sobre el macizo rocoso.

- 1. Definición de la litología.** Es primordial conocer el material o materiales que constituyen el macizo y el proceso de su conformación es la base de partida de toda investigación en macizo rocoso.
- 2. Definición de la estructura.** Otro aspecto importante es el determinar el tipo de roca si es homogénea, masiva, estratificada
- 3. Definición de las discontinuidades.** La influencia de las fracturas y juntas de planos de falla decisiva para la viabilidad de un emplazamiento o estructura que ocupara el terreno.
- 4. Definición de propiedades ingenieriles.** No hay que olvidar que el objetivo general del estudio de M.R. es su utilización como lugar de ubicación de una estructura o campo aprovechamiento de materiales por lo que es importante la aplicación de M.R.
- 5. Definición del nivel freático.** Y los cambios estacionales o introducidos por la construcción de la infraestructura y sus complicaciones posteriores.
- 6. Condicionantes de riesgo.** Como pendientes inestables, todas activas o potencialmente activas, sismicidad regional, hundimiento, colapsos

levantamiento del terreno, etc. y por lo que requieren de un análisis detallado que revise la extensión del terreno.

7. **Respuesta del terreno de los cambios de condiciones naturales.** Por los cambios de carga superficiales o vaciados subterráneos o excavaciones o sea por un cambio de estado tensional en incremento o decremento “in situ”.
8. **Validez de materiales.** Para su diverso uso en la obra, núcleos, impermeables, filtros, mallas, etc.

### 1.5.2. Factores de la investigación

Se señalan 03 factores primordiales pero que son proporción desde su magnitud.

- Costo
- Extensivo
- Profundidad

Es decir que el factor económico influye decisivamente en la investigación de un macizo y acondicionamiento por completo o sea cuanto mayor sea la investigación será mayor el costo, extensión y profundidad o sea la relación.

### Costo – tamaño

### 1.5.3. Intensidad de la investigación

Sin embargo no todas las investigaciones tienen el mismo grado de intensidad; que está en función de la importancia de la construcción y las intensidades para efecto de la investigación se denominan.

**Grado 1**

Condiciones geológicas generales del macizo obtenido de datos ya existentes.

Interpretación de datos aportados por prospección (sensores remotos)

Reconocimiento de campo.

Preparación planes. Geológico - Ingenieriles.

**Grado 2.**

Realización de costos geológicos en base a reconocimiento de campo y planes geológico ingenieriles, sondeos, calicatas y pozo y métodos geofísicos.

**Grado 3.**

Toma de muestras para identificación de materiales y ensayos de laboratorio.

**Grado 4.**

Medida de propiedades informales “in situ” y en laboratorio.

**Grado 5.**

Instrumentación para el control de tamaño y las estructuras (evaluación del terreno constante) una vez realizada la construcción.

**1.5.4. Etapas de la investigación**

La investigación de un macizo tiene diferentes etapas, que van desde la concepción de la construcción hasta su puesto en marcha.

**A. Viabilidad**

El estudio de viabilidad es recomendable por dos situaciones.

1. No hay experiencias en la construcción en obras anteriores.
2. Cuando se trata de un proyecto de gran envergadura, que supone costos muy importantes

### **B. Ante proyecto**

Una vez aceptada de viabilidad del macizo se continuará la investigación en la etapa de anteproyecto con interrogantes.

1. Materiales que constituyen el M.R. estructura, propiedades geotécnicas, etc.
2. Paralelamente se deberá evaluar los riesgos que afronta la realización de la obra.
3. Los datos obtenidos sirven para definición de M.R. y la influencia del N.F sobre la estructura y el diseño de las estructuras de acceso, estabilización de las estructuras naturales.

### **C. Proyecto**

El anteproyecto definido debe ser llevado en definitivo hasta el proyecto profundizando en cada una de las interrogantes y respuestas analizadas e implica.

1. Ensayos in situ, laboratorio y gabinete y los define con la precisión a partir de sus costos.
2. Los datos obtenidos sirven para ejecutar el proyecto para acoger la estructura en su dimensión más ajustada.

#### **D. Construcción**

En esta fase se realiza la construcción y verificando paso a paso el proyecto y sin embargo completa y matiza el proceso de investigación del macizo rocoso cuando quedará a la vista el terreno lo que da origen.

- Pueden presentarse problemas imprevistos
- Pueden obligar a dar cambios o giros en el proyecto original
- En un proceso normal en esta etapa se complementara los datos geológicos y se matizan las hipótesis realizadas

#### **E. Evaluación**

La investigación continúa durante la vida de una construcción minera o de infraestructura productiva tales como:

- 1 Asientos
- 2 Estabilidad de la construcción.
- 3 Campo tensional, filtraciones, etc.

Los datos que se obtienen en esta fase final sirven para verificar la salud de la estructura de los cimientos y poder tener un plan de eventualidades (ver tabla 3).

#### **1.5.5. Investigaciones a realizar en las etapas**

##### **A. Investigación etapa de ante proyecto**

**Sondeos de reconocimiento.** Definición de la potencia de cobertura y zonas alteradas.

1. Datos complementarios para definir la estructura.
2. Datos complementarios para definir la estratigrafía.

**Ensayos.** Ensayos de laboratorio para determinar las características y dinámicas de las rocas.

**Geofísica.** Testificación en sondeos, deformación de algunas propiedades físicas y dinámicas de las rocas y del macizo.

**Calicatas, zanjas y pocillos.** Completar la estratigrafía, definir la potencia de cobertura, zonas alteradas y acarreos.

**Calificación del macizo.** Con los datos obtenidos se debe intentar establecer un modelo de macizo y su clasificación.

## **B. Investigación etapa de proyecto**

Geología. Mapa geológico que incorpora los datos de las campañas anteriores.

- Rasgos estructurales.
- Interpretación de los sondeos y ensayos
- Elaboración del modelo geológico
- Cantera

**Galerías de reconocimiento.** Definición de la estratigrafía. Profundidad de las zonas cubiertas y alteradas.

Estudio estadístico de la fracturación.

Análisis de las principales discontinuidades.

**Sondeos.** Labor complementaria a la campaña anterior.

Actuación sobre zonas muy localizadas.

Estudio de tensiones “In-situ”

**Ensayos:**

**In-Situ:**

Ensayo de cargas en galerías.

Ensayo de placa.

Ensayos de carga en sondeos.

Velocidad de onda sísmica.

Descomposición por explosivas.

Esfuerzo cortante infractora.

Ensayos de rendimiento de explosivos.

**Laboratorio.**

Ensayo triaxial

Dureza

Ensayo brasileño

Desgaste de los ángeles

## **1.6. Clasificación de macizos rocosos**

### **1.6.1. Introducción**

Una clasificación de macizos es una conclusión de mucha experiencia aplicable a zonas complejas cuyo conocimiento requiere de una investigación, para analizar su compatibilidad con la obra por lo que hay que recurrir que modelos simplificados cuyos resultados es una clasificación del macizo rocoso que permite unificar criterios de distintos profesionales ceñidos al campo de las rocas

La clasificación del macizo rocoso es:

#### **A. Clasificación de Bieniawski**

El sistema de clasificación Rock Mass Rating o sistema RMR fue desarrollado por Z.T. Bieniawski durante los años 1972- 1973, y ha sido modificado en 1976 y 1979, en base a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición de 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979.

Para determinar el índice RMR de calidad de la roca se hace uso de los seis parámetros del terreno siguientes:

- La resistencia a compresión simple del material
- El RQD (Rock Quality Designation)
- El espaciamiento de las discontinuidades
- El estado de las discontinuidades
- La presencia de agua
- La orientación de las discontinuidades

El RMR se obtiene como suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros enumerados. El valor del RMR oscila entre 0 y 100, y es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca. Bieniawski distingue cinco tipos o clases de roca según el valor del RMR:

CLASE I:  $RMR > 80$ , Roca muy buena

CLASE II:  $RMR < 60$ , Roca buena

CLASE III:  $RMR < 40$ , Roca media

CLASE IV:  $RMR < 20$ , Roca mala

CLASE V:  $RMR < 10$ . Roca muy mala

**Resistencia de la roca.** Tiene una valoración máxima de 15 puntos, y puede utilizarse como criterio el resultado del ensayo de resistencia a compresión simple o bien el ensayo de carga puntual (Point Load).

**RQD.-** Tiene una valoración máxima de 20 puntos. Se denomina RQD de un cierto tramo de un sondeo a la relación en tanto por ciento entre la suma de las longitudes de los trozos de testigo mayores de 10 cm y la longitud total del sondeo.

**Separación entre las discontinuidades.-** Tiene una valoración máxima de 20 puntos. El parámetro considerado es la separación en metros entre juntas de la familia principal de diaclasas de la roca.

**Estado de las discontinuidades.** - Es el parámetro que más influye, con una valoración máxima de 30 puntos, en la que el estado de las diaclasas se descompone en otros cinco parámetros: persistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración de la junta.

**Presencia de agua:** La valoración máxima es de 15 puntos. Existen tres posibles criterios de valoración, estado general, caudal cada 10 metros de túnel y relación entre la presión del agua y la tensión principal mayor en la roca.

**Orientación de las discontinuidades.-** Este parámetro tiene una valoración negativa, y oscila para túneles entre 0 y -12 puntos. En función del buzamiento de la familia de diaclasas y de su rumbo, en relación con el eje del túnel (paralelo o perpendicular), se establece una clasificación de la discontinuidad en cinco tipos: desde muy favorable hasta muy desfavorable. Según el tipo, se aplica la puntuación especificada.

Para clase de roca. Bieniawski propone una cuantía de sostenimiento y un método de excavación.

Por último creemos de utilidad indicar algunas correlaciones que algunos autores han elaborado entre el RMR y otros parámetros, citadas igualmente por Bieniawski como se observa en la tabla 3.

**Tabla 3:** Carga sobre el sostenimiento y parámetro m y s de Hoek y Brown

CARGA SOBRE EL SOSTENIMIENTO	PARAMETRO m Y s DE HOEK Y BROWN	
$p = \frac{100 - RMR}{100} \cdot \gamma \cdot b$	$m = m_i \cdot e^{\frac{RMR-100}{28}}$	$m = m_i \cdot e^{\frac{RMR-100}{14}}$
p: carga sobre el sostenimiento	$s = e^{\frac{RMR-100}{9}}$	$s = e^{\frac{RMR-100}{6}}$
γ: peso específico de la roca	Roca excavada mecánicamente      Roca excavada mediante voladura	
b: anchura del túnel	m,s: parámetros del criterio de rotura de Hoek y Brown	
	m: parámetros m de la roca intacta, obtenido en laboratorio	
MODULO DE DEFORMACIÓN	CORRELACION CON LA CLASIFICACIÓN DE BARTON	
$E_m = 2RMR - 100 \text{ (para } RMR > 55)$	RMR = 9.0 InQ+44 (según Bieniawski, 1976)	
$E_m = 10^{\frac{RMR-10}{40}} \text{ (para } RMR < 85)$	RMR = 10.5 InQ+42 (Según Abad et al, 1983)	
Em: Modulo de deformación en GPa	RMR = 13.5 InQ+43 (Según Rutledge, 1978)	
	Según diversos autores	

Fuente: (Hoek y Brown, 1981).

**Tiempo de estabilidad.** Se observa el tiempo de estabilidad de la excavación sin sostener, en función de la calidad de la roca (RMR) y del vano existente (normalmente la anchura del túnel)

## B. Clasificación de Barton

El sistema Q o clasificación de Barton fue desarrollado en Noruega en 1974 por Barton, Lien y Lunde, del Instituto Geotécnico Noruego. Se basó su desarrollo en el análisis de cientos de casos de túneles construidos principalmente en Escandinavia. Actualmente se denomina nuevo método noruego de túneles al diseño de las excavaciones basándose directamente en los trabajos de Barton. La clasificación de Barton asigna a cada terreno un índice de calidad Q, tanto mayor cuanto mejor es la calidad de la roca. Su variación no es lineal como la del RMR, sino exponencial, y oscila entre Q=0.001 para terrenos muy malos y Q=1000 para terrenos muy buenos. El valor de Q se obtiene de la siguiente expresión:

$$Q = \frac{RQD Jr Jw}{Jn Ja SRF}$$

Donde cada parámetro representa lo siguiente

RQD es el índice Rock Quality Designation, es decir, la relación en tanto por ciento entre la suma de longitudes de testigo de un sondeo mayores de 10 cm y la longitud total.

RQD Es el índice de calidad de rocas designada por Deere.

JD Es el índice de diaclasado en el que se tiene en cuenta de 6 fracturación

Jr. Es el índice de rugosidad e incorpora la rugosidad, relleno continuidad, etc. de las fracturas.

Ja	Es índice que indica la alteración de las discontinuidades.
Jw	Es un coeficiente reductor para la presencia de agua en el macizo
SRF	(Stress Reduce Factor) coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional del macizo rocoso.

El rango de variación de cada parámetro.

RQD            0-100

Ja                0.75-20

Jn                0.50-20

Jr                0.50-4

Jw                0.05-1.0

SRF             0.5-20

La valoración del índice Q

0.001-0.01    Roca excepcionalmente mala

0.01-0.1        Roca extremadamente mala

0.1-1.0         Roca muy mala

1-4                Roca mala

4-10             Roca media

10-40            Roca buena

40-100          Roca muy buena

100-400	Roca extremadamente buena
400-1000	Roca excepcionalmente buena

La definición del soporte necesario para una excavación subterránea se hace también en  $f(Q)$ .

La presión soportada en bóveda en  $\text{Kg/cm}^2$  se da a través de la siguiente expresión:

$$p = \frac{2}{Jr} Q^{-1/3}$$

Pero en el caso de que el número de familias de fracturas es  $<3$  se supondrá:

$$P = \frac{2}{3} Jr^{-1/2} (J^{-1})$$

En los hasta les se supone que la presión es menor que en la bóveda y es necesario introducir conexiones en función del valor de  $Q$ .

Para  $Q > 10$  se tomará el valor de  $5 Q$

Para  $0.1 < Q < 10$  se tomará el valor de  $2.5 Q$

Para  $Q < 0.1$  se tomará el valor de  $Q$

### C. Clasificación RMR (Rock Mass Rating)

Desarrollada por Bieniawski y publicada en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotectónicos del macizo y de excavaciones y sostenimiento en túneles.

El índice se determina en función de 6 parámetros.

1. Resistencia a compresión simple.
2. RQD
3. Espaciamiento de las discontinuidades.
4. Características de las discontinuidades.
5. Condiciones hidrogeológicas.
6. Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

El índice RMR varía entre 0-100 y de acuerdo con los valores se define las características de los macizos (transparencia).

Sin embargo en el caso de cimentaciones, Bieniawski 1979, establece una correlación entre el módulo de deformación y el índice RMR.

$$E_m = 2RMR - 100; \text{ donde}$$

$$E_m = \text{Módulo "in - situ" de deformación en GPa y el RMR debe ser } > 50$$

Posteriormente Serafín y Pereira (1983) ha dado otra relación para  $RMR < 50$ .

$$RMR < 10$$

$$E_m = 10$$

Finalmente, Bieniawski señala como ventaja el índice RMR tiene una extensa aplicación en:

- Excavaciones de minas.
- Túneles.
- Taludes.

- Cimentaciones.

#### **D. Clasificación SRM**

Romana, ha hecho una adaptación de la clasificación de Bieniawski, para Taludes, obteniendo un índice SRM Slope Mass Rating, que resulta de restar el índice RMR un factor de ajuste y sumarle un factor de excavación.

$$SRM = RMR - (F1, F2, F3) + F4$$

El factor de ajuste es el producto de 3 factores:

F1: Del paralelismo entre el rumbo de las fracturas y el plano del talud.

F2: Depende del buzamiento de las fracturas.

F3: Refleja la relación entre los buzamientos del plano del talud y las fracturas.

El factor F4, tiene un valor distinto según se trate de un talud natural o de uno excavado dependiendo en este caso de método de excavación.

#### **E. Clasificación de Terzaghi**

La clasificación de Terzaghi fue propuesta por este autor en 1964. Clasifica los terrenos en 9 tipos: los tipos 1 al 5 son diversidades calidades de roca, el tipo 6 son arenas y gravas, el 7 y 8 son arcillas y el tipo 9 son terrenos expansivos. Para cada uno de ellos da una carga de roca sobre el revestimiento del túnel en función de las dimensiones de este, de la profundidad y de la densidad de la roca

#### **F. Clasificación de Protodyakonov.**

Es una clasificación que fue usada en los países del Este de Europa. Se basa en clasificar los terrenos asignándoles un parámetro “f” llamado coeficiente de resistencia a

partir del cual se definen las cargas que actúan sobre el revestimiento. El valor de  $f$  se obtiene en rocas a partir de la resistencia a compresión simple en suelos a partir de la cohesión y el ángulo de rozamiento.

### **G. Clasificación de Lauffer**

Se definen siete clases de terreno, denominadas A, B..., G, a partir de características generales. Es un ábaco se muestra el tiempo de estabilidad de la excavación sin sostener en función de la clase de terreno y del vano máximo del túnel.

### **1.7. Investigaciones geotécnicas**

El objeto de las investigaciones geotécnicas es la de sustentar las investigaciones de campo y procesamiento en gabinete.

A continuación se indican las principales actividades desarrolladas en las investigaciones de las cuales son análisis de parámetros geotécnicos referidos a la obtención de los módulos elásticos (módulos de Young – módulo de Poisson) y las propiedades geomecánicas incluyeron de las rocas en genera.

Los estudios geotécnicos incluyeron las investigaciones directas mediante los sondeos rotatorios incluyeron las investigaciones directas mediante los sondeos (SR), excavaciones manuales, calicatas (CA) trincheras (TR), etc.

#### **1.7.1. Los medios de investigación**

Los medios para realizar una investigación adecuada son variados, sin embargo cualquier investigación debe comenzar con un análisis del material previo que se ha obtenido, seguido de un reconocimiento “in- situ” que proporcione un plano geológico previo, en base a lo cual se debe proyectarse la investigación detallada.

Tanto el Ingeniero de Minas o Ingeniero Civil no solo le interesa la parte superficial sino que también necesitará disponer de datos de profundidad y los medios necesarios para realizarla; por lo tanto implica conocer los condicionamientos que impondrá el terreno, a fin de prever las disposiciones estructurales adecuadas y los problemas a los que deberá hacer frente en la realización de la obra, para obtener una eficacia en el trabajo.

#### **A. Documentación previa**

Una primera labor a efectuarse en la recogida y análisis de la documentación existente sobre el tema o zona de trabajo y esta documentación, por lo común será más restringida cuando más profundicemos o cuando más se limite la zona de trabajo. La información puede estar constituida por informes, estudios, planos y fotografías aéreas.

#### **B. Planos y mapas**

Los primeros planos a analizar son los mapas geológicos y geotécnicos de gran ámbito, que son publicados por organismos dependientes del sector público como en Instituto Geológico Minero metalúrgico INGEMMET; Instituto Geográfico Militar IGM Instituto Nacional de Catastro Minero INACC, que son públicas a diferentes escalas.

#### **C. Fotografía aérea**

La fotografía aérea de más uso en nuestro país es la escala aproximada de 1/33,000 conocida como vuela americano realizado por los EE.UU. o realizado para organismos como el IGM (Instituto Geográfico Militar) y Ministerio de Agricultura. La fotografía aérea es un instrumento de importancia primordial y siempre que sea posible debe utilizarse, por ejemplo en trabajos detallados a una escala de 1/5,000.

**D. Información escrita**

Por lo general habrá que recurrir a estudios más concretos que existen sobre la zona y en especial a experiencias similares o en que se encuentran próximas al área de estudio.

**E. Levantamiento geológico**

En ocasiones, dado la escala, detallada y el tipo de topografía, incluyendo los de topografía suave, es preciso contar con puntos de apoyo para realizar el levantamiento y estos puntos de apoyo para realizar el levantamiento y estos puntos deberán ser claramente señalados en el terreno y representados en el plano mediante restitución fotográfica en base al levantamiento topográfico. Deberá realizar el levantamiento geológico debe centrarse esencialmente en los siguientes aspectos, los cuales en su mayor parte deben quedar reflejadas en el plano como:

- 1 Afloramiento de rocas y zonas cubiertas
- 2 Zonas rocosas alteradas
- 3 Dirección y buzamiento de las familias de las fracturas presentes
- 4 Dirección y buzamiento de los estratos
- 5 Fallas con sus características
- 6 Otras discontinuidades y puntos singulares
- 7 Columnas estratigráficas
- 8 Situaciones de las nuestras tomadas
- 9 Zonas de obtención de materiales

Posteriormente en plano geológico, resultado del levantamiento, deberá incorporar la situación de todas las investigaciones que se hagan como: Calicatas, sondeos, galerías, geofísica, geoquímica, etc.

### **1.7.2. Investigaciones en sub-suelo**

#### **A. Investigaciones directas**

Se entiende las que se efectúan directamente en el terreno a través de zanjas, pozos, galerías y los sondeos y en contraposición las investigaciones indirectas, en las cuales no se altera el terreno, sin embargo ambas investigaciones son complementarias, sin que se pueda atribuirse mayor utilidad a unos u otros.

##### **a). Calicatas, zanjas y trincheras**

Las trincheras son excavadas a mano, la profundidad y anchura de la misma tendrá unas dimensiones, tales que se permitan el trabajo de un hombre con la comodidad y la longitud estará en función de las necesidades requeridas.

Las calicatas, está indicadas especialmente para rocas blandas, cuya excavación no requiere del uso de tos explosivos y observar importantes detalles del sub suelo a través de ellas.

Zanjas, son excavaciones realizadas en forma manual, mecánica y/o con la ayuda de explosivos y a través de ellas podemos observar la continuidad de la roca en afloramiento separados por derrubios, estudiar la estratigrafía en una ladera cubierta, analizar la potencia de los acarrees en el fondo de un valle, confirmar la situación y continuidad y anchura tectónica cubierta por materiales sedimentarios, también permitirá muestras siempre que estas sean necesarias.

**b) Pozos**

Presentan dificultades de ejecución superiores a las zanjas, su limitación está impuesta por el tipo rocoso y la situación del nivel freático y su mayor interés radica en que se trata de una observación directa del terreno.

**c) Galerías**

La galería es un procedimiento de investigación de gran calidad, ya que permite la observación en profundidad mayor que en zonas afectadas directamente por la estructura, sin embargo tiene un costo elevado, que hace que solo podrá efectuarse en obras de importancia, la galería deberá aprovecharse para todo tipo de muestreo. Así mismo para efectuar todo tipo de ensayos “in situ”, sin embargo la ventaja sobre otros es que se pueden realizarse mapeos geológicos y geotécnicos al detalle.

**d) Sondeos**

Es la forma más extendida de investigación del terreno, ya que permite alcanzar grandes profundidades, obtener muestreos del terreno (testigo) y realizar una serie de ensayos que nos definen las características del macizo rocoso. El objetivo primordial de las perforaciones de investigaciones, es generalmente, la obtención de testigos del terreno que nos permite conocer, éste de forma directa y en profundidad, sin embargo el sondeo proporciona una información puntual, condicionada tanto por el propio método como por la calidad con que se hace el trabajo y la información estará en función de dos factores.

Por todo lo indicado, la toma de datos y su análisis deben ser hecho con el mayor cuidado, poniendo de relieve si las conclusiones a las que se han llegado son dudosas; por lo que es impreciso insistir en que el planteamiento los sondeos de investigación

deben hacerse en función de un levantamiento geológico previo y como consecuencia de las dudas que este pone en relieve.

Un equipo de sondeo está compuesta por sonda, el motor, bomba, el castillete o torre de sondeo y de material de corte y soporte del mismo, los métodos esenciales para de investigación son dos: Percusión y rotación.

**e) Interpretación del testigo**

El fin de sondeo es la obtención de la muestra de roca que permite conocer las características del terreno en profundidad y por consiguiente su interpretación es importante.

Los testigos obtenidos se guardan en cajas de madera debidamente acondicionadas con compartimientos que están en función del diámetro de la perforación y dimensionados en base a su manipuleo y traslado.

Los compartimentos en que se coloca el testigo son individuos en tramos con tabillas cuando se produce un cambio de material, término de la operación, hueco por descanso brusco de operación, tramo con o sin recuperación, etc. y se marca en ellas la profundidad a la que se ha producido las incidencias anteriormente señaladas; además en la tapa de las cajas, tanto interior como exterior debe señalarse el número de sondeo, el tramo que contiene, con la finalidad de revisarlos posteriormente.

**f) Presentación de resultados**

La presentación es similar en los gladios de geotecnia, para la obtención de datos como.

- Cota de la boca.

- Coordenadas de la boca
- Fecha de comienzo
- Fecha de terminación
- Tipo de maquinaria de perforación
- Tipo de corona o elemento de corte
- Espesor de cada tramo diferenciado
- Profundidad de cada tramo
- Diámetro de la perforación
- Descripción del testigo.
- Características del terreno.
- Fracturación (tipo, ángulo que forma con el eje, aspectos de la superficie. apertura, anchura y relleno)
- Tamaño del testigo obtenido (recuperación y RQD).
- Sugerencia de agua y pérdida.
- Avance
- Ensayo de penetración (saca muestras, tubería, aparato, standard, etc.)
- Niveles freáticos.

**g) Planteamiento de investigación con sondeos**

Toda investigación geotécnica con sondeos debe apoyarse en el levantamiento geológico que permite determinar el número de sondeos para averiguar las incógnitas en el terreno en función al tipo de obra o infraestructura a fijar en el terreno sin embargo la

investigación con sondeos puede complementarse con otras investigaciones como la geofísica, geoquímica, etc.

Las condiciones requeridas para sondeo de investigación debe indicarse en un pliego de condiciones técnicas como:

- Situación de los sondeos
- Profundidad
- Inclinación con respecto a la vertical
- Diámetro requerido
- Requerimiento de tubería de sostenimiento
- Obtención del testigo
- Manipulación
- Conservación
- Almacenamiento
- Accesos
- Disposición de equipos
- Plataformas de trabajo.
- Suministro de energía, agua y luz.

#### **B. Investigaciones indirectas**

Las investigaciones indirectas, son las que se realizan sin la necesidad de alterar el terreno, no prometen la observación directa de él. Se basan en la medida desde

superficie alguna propiedad alguna propiedad física de los materiales que constituyen en macizo rocoso y/o suelo, pero no obstante en algunos casos se requiere el apoyo de métodos directos como sondeos.

Los métodos indirectos tiene su origen y aplicación en la investigación petrolífera y minera y posteriormente en la ingeniería civil, cabe mencionar que estos estudios estarán siempre apoyados por estudios geológicos.

Se conocen, en los métodos indirectos los siguientes:

1. Método eléctrico. Fundamentan sus alcances en la circulación o flujo de corriente eléctrica en el macizo y o suelo
2. Método sísmico. Fundamentan su diagnóstico en la propagación de las ondas elásticas en el macizo y/o suelo.
3. Método magnético. Fundamentados de la diferencia de magnetismo que presentan los diferentes tipos de material rocoso en su disposición.
4. Método gravimétrico. Fundamentados en las anomalías que presenta el campo gravitacional, producidas por los componentes rocosos del macizo rocoso.

En la presente guía nos limitaremos a indicar los métodos eléctricos y sísmicos que son las más utilizadas en la ingeniería geotécnicas.

**a) Métodos eléctricos**

Los métodos o procedimientos eléctricos pueden agruparse en:

1. Utiliza fenómenos naturales.

Corrientes telúricas

Potencial propio.

2. Utiliza fenómenos inducidos.

Potenciales.

Resistivos

Caída de potencial.

De todo lo indicado el que más se adapta al campo de la geotecnia aplicada a la minería e infraestructura civil es el método resistivo, que se usa en la medición de la resistividad del material que constituye el terreno objeto de investigación al crear un campo eléctrico acondicionado o controlado > se ajusta en la resistencia eléctrica específica de un material rocoso y o escala.

Supongamos el terreno de resistividad  $P$ , homogénea, en el que introducimos una corriente de intensidad  $L$  mediante electrodos  $A$  y  $B$ , cuyo potencial se mide con voltímetro, unido a los electrodos  $C$  y  $D$ , electrodos de potencial y por consiguiente el potencial en los puntos  $C$  y  $D$  será respectivamente;

$$V_c = \frac{Ip}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$V_d = \frac{Ip}{2\pi} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

En donde  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $R_1$  y  $R_2$ , son las distancias de electrodos  $A$  y  $B$  a las  $C$  y  $D$  respectivamente.

La diferencia de potencial entre los puntos  $C$  y  $D$  será, por tanto:

$$V_c - V_d = \frac{Ip}{2\pi} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

En donde:

$$p = \frac{2\pi V}{I \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)}$$

La resistividad será expresada en ( $\Omega\text{m}$ )

Si por procedimiento separamos los electrodos a la vez que aumentamos la intensidad, el campo creado será mayor y la profundidad de terreno afectado por ese campo también crecerá, esta profundidad puede suponerse a  $1/3$  de la distancia entre los electrodos A y B.

Las medidas de campo nos dan curvas de resistividad aparente, profundidad aparente, profundidad a distancia entre los electrodos que se comparan y para ellos se dibuja la curva obtenida en papel logarítmicos transparente y se ajusta a las curvas patrón y nos señala profundidad de la separación entre las capas y para ello se debe disponer de la resistividad de los diferentes tipos de p etroo con o sin la presencia de agua en la resistividad del terreno.

La forma más práctica a realizar un sondeo eléctrico, el sondeo eléctrico vertical (SEV) es la siguiente: se sitúan los electrodos en el punto determinado y se crea un campo aplicando corriente continuo mediante electrodos de corriente; procedimiento mediante electrodos de corriente, procedimiento a leer el potencial, se sepan los electrodos de corriente y se vuelve a hacer una nueva lectura. Se sigue de igual manera hasta alcanzar la separación entre los electrodos A B deseada.

Mediante un conjunto de SEV, se define un perfil resistivo. Este perfil puede realizar mantenimiento fijo la distancia y entre los electrodos AB para cada sondeo o bien realizando los sondeos de profanidad variable, si realizamos de la primera forma mediante la variación de resistividad aparente en un espesor de subsuelo constante y se conoce con el nombre de calicata eléctrica.

Es importante mencionar que la prospección es casi siempre un método de investigación complementaria de los levantamientos geológicos y debe de apoyarse en investigaciones directas como sondeos.

La prospección eléctrica resistivo se utiliza por lo común para definir los contactos entre formaciones cuya resistividad es muy diferenciado por ejemplo entre material de acarreo fluvial, pluvial o derrubio con material rocoso adyacente, estudiar la posición de la napa freática, definición de fallas ocultas bajo el suelo, análisis de trazado de obras lineales, a fin de evitar un número exagerado de sondeo mecánicos.

## b) Métodos sísmico

El método sísmico consiste en la provocación de impulso elástico a partir de la superficie y su consiguiente propagación de movimiento dinámico en el suelo por efecto de la onda creada según la naturaleza de las rocas varía la transmisión de las ondas elásticas y la refacción de ondas a partir de las discontinuidades o superficie de contacto.

Las ondas que se generan son de tres clases.

1. **Ondas longitudinales.** Denominados ondas primarias u ondas P. en estas la dirección del movimiento coincide con la dirección de propagación y se expresa del siguiente modo:

$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}n}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1 - \mu}{(1 - 2\mu)(1 + \mu)}}$$

Dónde:

K = Módulo compresibilidad

n = Módulo de rigidez

P = Densidad

E = Módulo elástico

M = Coeficiente de Poisson

2. **Ondas transversales.** Denominado ondas secundarias u ondas S, en estas, la dirección del movimiento es normal a la dirección de propagación y su expresión matemática es la siguiente:

$$V_s = \sqrt{\frac{n}{p}} = \sqrt{\frac{E}{p} - \frac{1}{2(1 + \mu)}}$$

3. **Ondas de impacto.** Denominados onda de choque, son los de mayor importancia, para el caso de una prospección sísmica y se propagan en todas las direcciones y se basa en el impacto intermolecular del medio de propagación y son las primeras en ser registrados en las geófonos o sismógrafos de prueba.

Hay dos métodos de prospección sónica el de reflexión y de refracción, el primero se utiliza para investigaciones de gran profundidad y muy circunstancialmente se usa en algunos estudios, lo más común de uso frecuente es el de refracción.

## CAPÍTULO II

### CASO PRÁCTICO

#### 2.1. Aplicaciones

“Las aplicaciones de las geotecnia para el diseño de construcción de minas y obras complementarias se debe acudir a modelos de los terrenos o macizo rocoso constituido por elementos estructurales definidos”.

“Los modelos con simplificaciones de la realidad por ello se deben comparar los resultados obtenidos con experiencias empíricas anteriormente sujeto a un periodo de comprobación”

“El dimensionamiento de las estructuras y construcciones requiere de realización de modelos”

#### 2.2. Modelos de dimensionado

##### 2.2.1. Modelo geológico

- Recopilación de la información geológica de la zona de estudio.

- Levantamiento geológico de la zona con énfasis en la parte de discontinuidades geológicas (fallas, diaclasas, pliegues, estratificación, etc.)
- Determinación del tipo de roca, minerales, textura, estructura.
- Estudio en profundidad de los macizos o suelo a través de galerías, sondeos.
- El testigo se describe cuidadosamente para obtener información sobre caracteres geomecánicos.
- Finalmente es importante toda información geológica recopilada y medida en campo.

### **2.2.2. Modelo geomécanico**

- Elemento de enlace entre modelo geológico y matemático o sea cuantificando los parámetros del modelo geológico y procesados por el modelo matemático.
- Se deben incluir las propiedades mecánicas de los materiales en función del tamaño y forma de las probetas.
- Las propiedades mecánicas deben incluir el estudio del módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson cohesión y fricción.
- Estimar las propiedades del macizo rocosos con las clasificación geomecánicas.
- Estimar indicadores del suelo con la determinación de ensayos apropiados.
- Los estudios indicados deben dar viabilidad y continuar al proyecto.

### **2.2.3. Modelo matemático**

- Se trata de calcular las tensiones y deformaciones considerando el estado y las discontinuidades del suelo o macizo rocoso.

- La macizo o suelo puede considerarse como medio continuo, cruzado por distintas familias de discontinuidades o como medio discontinuo de tal forma que se asimila a un conjunto de bloques individuales.
- Los modelos matemáticos que se usan en el proyecto pero de manera simplificada con soluciones reales.
- La validez de la solución se debe comprobar mediante medidas “in-situ” y según a la concordancia variar los parámetros.
- El dimensionado queda al comprobar mediante medidas “in-situ” y según a la concordancia variar los parámetros.
- El dimensionado queda el comparar las tensiones y deformaciones previstas por modelo y las admitidas por el terreno para obtener coeficiente de seguridad.

### **2.3. Aplicación de la geotecnia en construcción de cámaras en la mina El Cofre – Puno (Simulación)**

#### **2.3.1. Objetivo general**

Dar un caso de alcance práctico sobre aplicación de la geotecnia al diseño y dimensionamiento en construcción de cámaras.

#### **2.3.2. Objetivo específico**

- Mostrar la aplicación y utilidad de la geotecnia en la construcción de cámaras.
- Analizar y verificar la compatibilidad operacional y geotecnia del laboreo.

#### **2.3.3. Planificación del trabajo**

- Identificación de los alcances del tema.
- Análisis y revisión de los conceptos y teorías geotécnicos.

- Recolección de información y toma de datos “In-situ”.
- Descripción geológica local.
- Formulación del modelo geotécnico.
- Sistematización y procesamiento matemático para obtener resultados.

### 2.3.4. Aspectos geológicos

#### A. Regional

La zona en estudio está ubicada en una secuencia volcánica que aflora extensamente en la región altiplánica del sur del Perú, en la unidad morfoestructural comprendida entre las estribaciones orientales de la cordillera occidental y cordillera oriental, región adyacente a la subunidad Puna altiplánica occidental, al oeste del lago Titicaca.

La cordillera occidental, en la franja que enmarca la región altiplánica está constituida por una cadena de montaña de dirección NO-SE, con picos que están sobre los 6 000 m.s.n.m., siendo el más alto el nevado de Ampato con 6 288 m.s.n.m estas montañas están unidas a la altiplanicie conocida como Puna, región de pampas, colinas y mesetas altas de extensos afloramientos volcánicos que van desde los 4 000 a 4 800 m.s.n.m.

Según Laubacher, la construcción del altiplano moderno empezó a partir del plioceno. Por el fuego, y en forma normal de fallas antiguas, la depresión así formado se rellenó con depósitos recientes: lacostes volcánicos, aluviales

Los ríos de esta parte de la división de la cordillera occidental se van a la cuenta del lago Titicaca, recorriendo grandes extensiones y formando en su trayecto muchos meandros.

La litología predominante en la región que abarca el cuadrángulo de Ocuveri, región donde se ubica la Unidad Minera “El Cofre” consiste en una secuencia volcánica ampliamente distribuida correspondiente a tres fases del terciario.

## **B. Local**

### **Volcánicos Tacaza**

Conformado por andesita en forma de lavas influjos de derecho, generalmente de color gris rojizo, de grano fino.

#### **2.3.5. Caracterización geotécnica**

Conste en el procesamiento y sistematización de las características del macizo rocoso y la roca intacta a través del sistema de clasificación geomecánico RMR.

- a) Antecedentes en repones de trabajo de consultoría y tesis desarrollados.
- b) Procesamiento de datos de carácter geomecánico en el lugar de interés con:
  - Ensayo de índice manual de resistencia de la roca (ISRM)
  - Clasificación geomecánica de macizos de roca fisurada (CSIR).
  - Clasificación MRM de Bieniawski (ver tabla 4).
  - Clasificación de Bieniawski relación de luz y periodo de auto soporte.

**Tabla 4:** Clasificación MRM de Bieniawski.

Parámetros	Evaluación	Valoración
Resistencia de roca intacta Co (MPQ) IRS. Intact Rock Strength	100	12
RQD %	94	20
Espaciamiento de discontinuidades (m)	0.6 - 2	15
Condición de discontinuidades:		
- Persistencia (m)		
- Rugosidad		
- Apertura (mm)		
- Relleno (mm)		
- Intermerismo		
	<b>SUB TOTAL</b>	15
Agua Subterránea	Total Seco	15
RMR (Básico)		77
Clasificación del macizo rocoso	Clase buena	11
Peso unitario M.R. (Ton/m3) 2.6		

Fuente: (Bieniawski, 1979).

### Valuación de parámetros

Cálculo de BRMS (Basic Bock Mas Strenght)

$$BRMS = \frac{RMR-IRS}{85} \cdot Co \cdot \frac{80}{100} = \frac{77-12}{85} \cdot 100 \cdot \frac{80}{100} = 61.2 \text{ MPa}$$

Cálculo de DRMS (Design Rock Mass Strength)

$$DRMS = 90\% \times 80\% \times 90\% \times BRMS = 0.648 \times 61.2 = 39.66 \text{ Mpa}$$

90% = Intemperismo

80% = Orientaciones discontinuidad

90% = Erecto de voladura

Cálculo de parámetros de resistencia del macizo rocoso.

a) Ángulo de fricción interna del M R

$$0m = 0.5 \times RMR + 5 = 0.5 \times 77 + 5 = 43.5^\circ$$

- b) Cohesión del macizo rocoso.

$$C^M = 0.5 \times RMR = 0.5 \times 77 = 154 \text{ kPa}$$

Cálculo del módulo de deformación de M R (RMR>50)

$$E_m = 2 \times RMR - 100 = 2 \times 77 - 100 = 44 \text{ GPa}$$

### Luz del techo y tiempo de permanencia

Para un macizo de valor RMR = 77, macizo rocoso de clase buena; se tiene:

- a) Para luz de techo de 22 m de tiempo de permanencia de 08 meses con colapso potencial inmediato.
- b) Para luz de techo de 3,5 m; de tiempo de permanencia de 12 años sin necesidad de mejora de propiedades físico-mecánicas y en condición segura.

### Propiedades mecánicas de la roca

En la tabla 5 se muestra la andesita en base a las pruebas de laboratorio.

**Tabla 5: Propiedades mecánicas de la roca**

Resistencia a compresión simple	$C_o(l) = 116.77 \text{ MPa.}$
Resistencia tensiva	$T_o (//) = 35 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de elasticidad	$E(//) = 4.27 \times 10 \text{ kg/cm}^2$
Coeficiente de Poisson	$\mu(//) = 0.33$
	$\mu(/) = 0.4$
Peso unitario de la roca	$\gamma = 2.7 \text{ Tm/m}^3$

Fuente: Laboratorio.

### Procesamiento de dimensionamiento de cámaras

“Dimensionamiento del espesor del tiempo inmediato en función a la mecánica de colapso o equilibrio límite”

#### Dotación

- Expansión estimada  $E=60\%$  (derrumbe techo inmediato)
- Factor de expansión  $K=1 + E = 1-0.6 = 1.6$
- Altura o potencia de minado por camas y pilares  $m=2.0$  m.
- Espesor de techo Inmediato.

$$h = \frac{m}{K - 1} = \frac{2}{1.6 - 1} = \frac{2}{0.6} = 3.3m$$

- Altura potencial de colapso local ( $h_c$ ) en cámaras para  $B=4m$

$$h_c = Bx \left( \frac{100 - RMR}{100} \right) = 4x \left( \frac{100 - 77}{100} \right) = 4x0.28 = 1.12m$$

#### Dimensionamiento de luz de cámaras de explotación (moderno viga elástica) 1

$$Lr = \sqrt{\frac{2xRoxt}{ya.FS}}$$

Dónde:

$R_o$ = Módulo de ruptura a flexión;  $R_o \wedge T_o = 35 \text{ kg./cm}^2$

$S_a$  = Densidad aparente de roca sobre cargada =  $2.8 \text{ kg/cm}^2$

$T$  = Espesor de roca en flexión »  $h_c = 1.12 \text{ m.}$

$FS$ = En condición de vieja = 8

$$L_r = \sqrt{\frac{2xR_{ox}t}{\gamma a.FS}} = \sqrt{\frac{2x35x112}{2800x8x10^{-6}}} = 5.9m$$

$L_r$  = Luz de la cámara en dirección del rumbo del manto.

$L_o$  = Luz corregida por efecto de la inclinación.

$$L_o = \sqrt{\frac{2xR_{ox}t}{\gamma a.FSx\cos B}} = \sqrt{\frac{2x35x112}{2800x8x10^{-6}}} = 6m$$

### Modelo de flujo de materiales granulares

“Efecto arco ocurre cuando el ancho de la abertura es menor que dos veces el tamaño del fragmento más grande”

- Rango de espaciamiento de fracturas  $\varnothing$  6-2m. tamaño de fragmento de  $\varnothing$  0.6 - 2m, tamaño de fragmento  $\varnothing$  de 0.6 a 2m.
- L arqueo  $< 2x\varnothing$  (max)= $2x2=4m$
- L arqueo  $< 4x\varnothing$  (max)= $4x2=8m$ ; por consiguiente
- Efecto arco= $4m < L$  arqueo  $< 8m$
- Por situación práctica la luz de las cámaras de minado
- L operacional  $\leq 5m$

### 2.3.6. Procesamiento de dimensionamiento de los pilares

“Tomando la teoría tributaria de las columnas o pilares”

$$S_v A_t = S_p A_p \longrightarrow S_p = S_v \left(\frac{A_t}{A_p}\right) (1); \text{ donde}$$

$S_v$  = Esfuerzo vertical de campo =  $\gamma H$

$H$  = Espesor de roca sobre el monto = 30m.

$A_t$  = Área tributaria al pilar =  $A_p + A_m(2)$

$A_m$  = Área minado.

$A_p$  = Área de la sección del pilar.

$S_p$  = Esfuerzo sobre el pilar.

Concepto de radio de extracción:  $R_e = A_m/A_t$  (3) (1) y (2) en (3)

$$S_p = \frac{S_v}{1 - \frac{A_m}{A_s}} = \frac{S_v}{1 - R_c} \quad (4)$$

Para fines de diseño por factor de seguridad  $FS = \frac{Q_p}{S_p}$  (5)

$Q_p$  = resistencia del pilar

$$(4) \text{ en } (5) \quad R_e = 1 - \frac{S_v FS}{Q_p}$$

**Considerando la estimación de una radio de extracción en función del macizo del pilar y esfuerzo de campo**

$$Q_p = DRMS = 36.6 \text{ MPa}$$

$FS = A$  Compresión 21.5, entonces

$RE = \text{Practico} = 95\%$

Para fines de configuración geométrica del minado por campos y pilares (pilares cuadrados)

$$A_T = (W_p + W_o)^2$$

$$A_p = W_p^2$$

$W_p$  = Ancho del pilar

$W_o$  = Ancho o luz de la cámara; luego

Reordenado

$W_p = \text{práctico} = 2\text{m.}$  (Por antecedentes)

### Verificación del dimensionamiento (stacey)

“Análisis y diseño de pilares H:W - SI (Stability Index)”

$Q_p = DRMS = FS H$

$4 A_p$

$W = \text{Ancho de pilar} =$

$p =$  Perímetro del pilar

$A_p = W_p^2$  0 Pilar cuadrado  $= 2^2 = 4 \text{ m}^2$

$P = 4W_p = \text{Perímetro} = 4 \times 2 = 8 \text{ m.}$

$H =$  Altura de pilar de minado  $= 2 \text{ m.}$

$FS = 4.4/8 = \text{m.}$

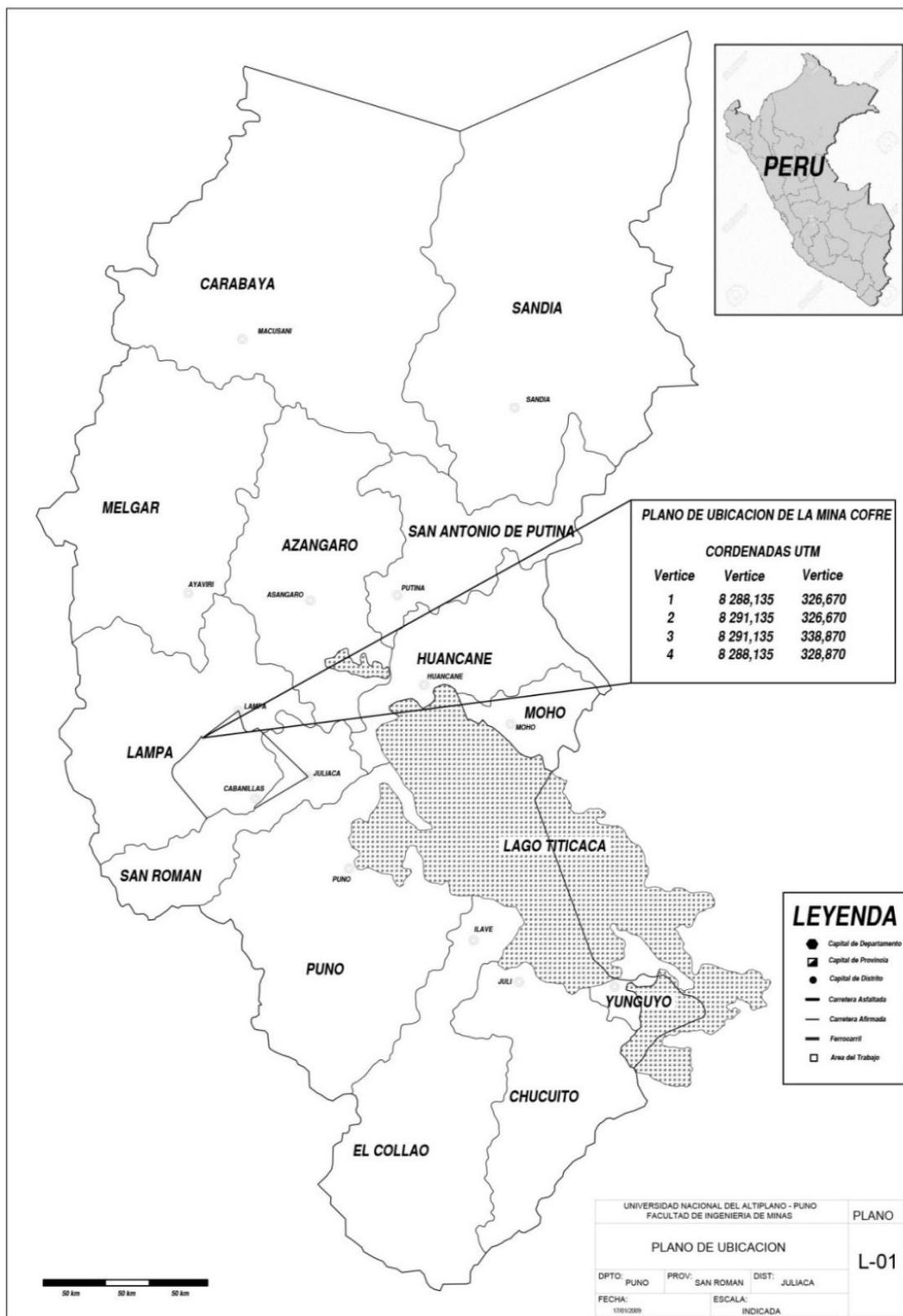
$DRMS = 39.6 \text{ MPa,}$

### Suministrando datos

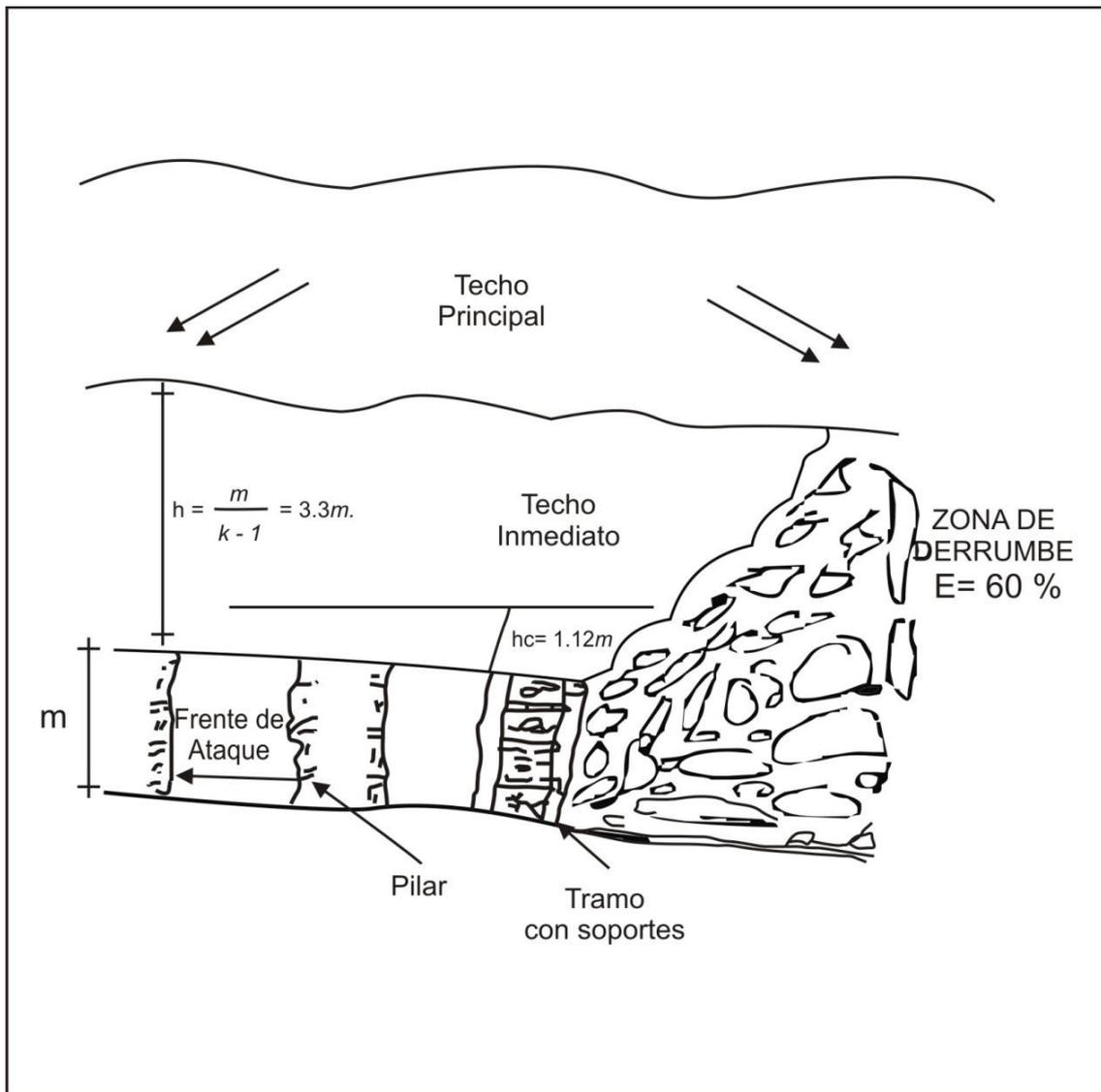
$$Q_p^1 = 43.6 \left( \frac{2^{0.5}}{2^{0.7}} \right) (1.2) = 41.52 \text{ MPa}$$

### Comparando se tiene:

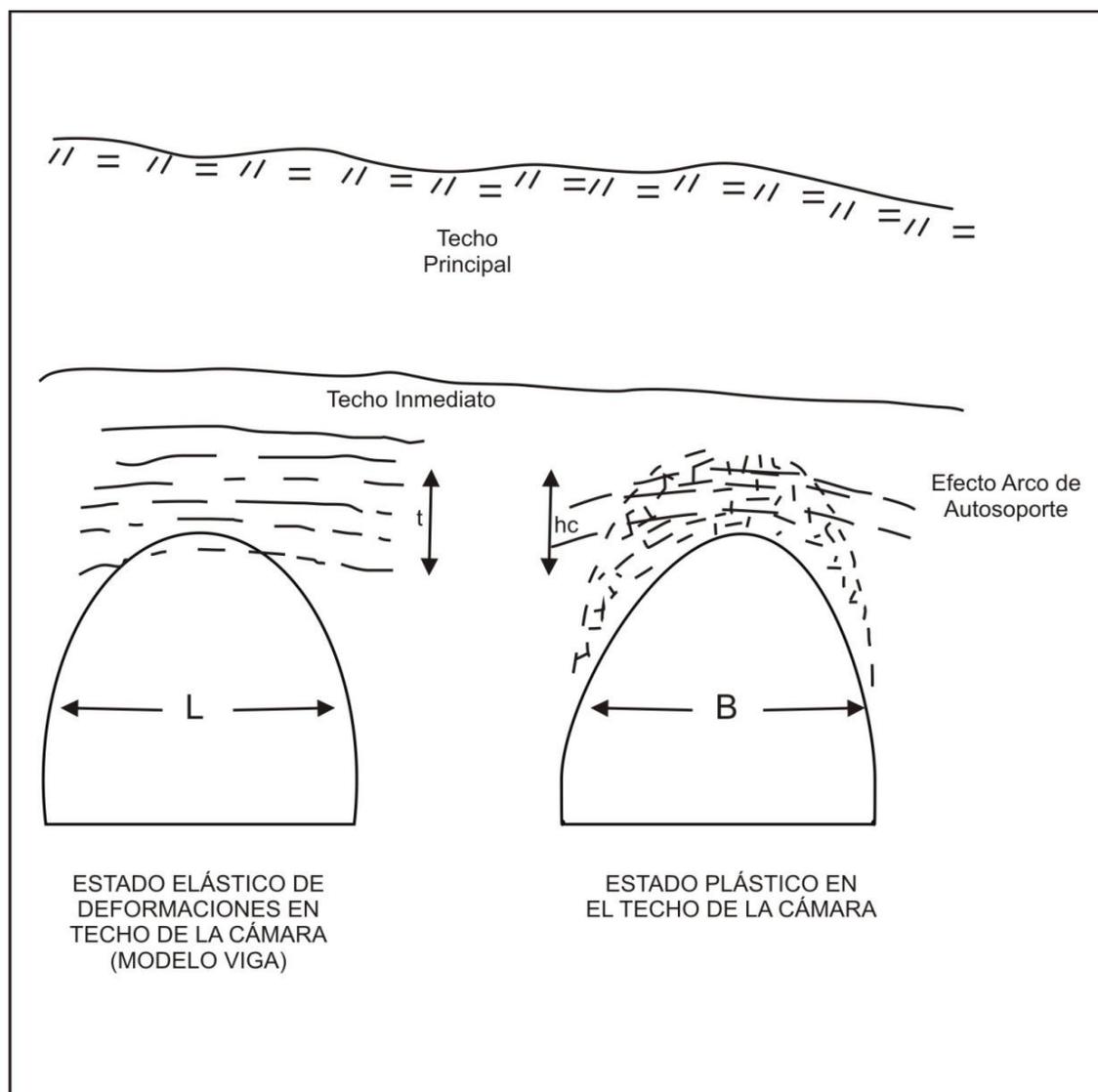
$$Q_p^1 = 41.52 \text{ MPa} > Q_p = 39.6 \text{ MPa}$$



**Figura 7:** Plano de ubicación.  
Fuente: INGEMET.



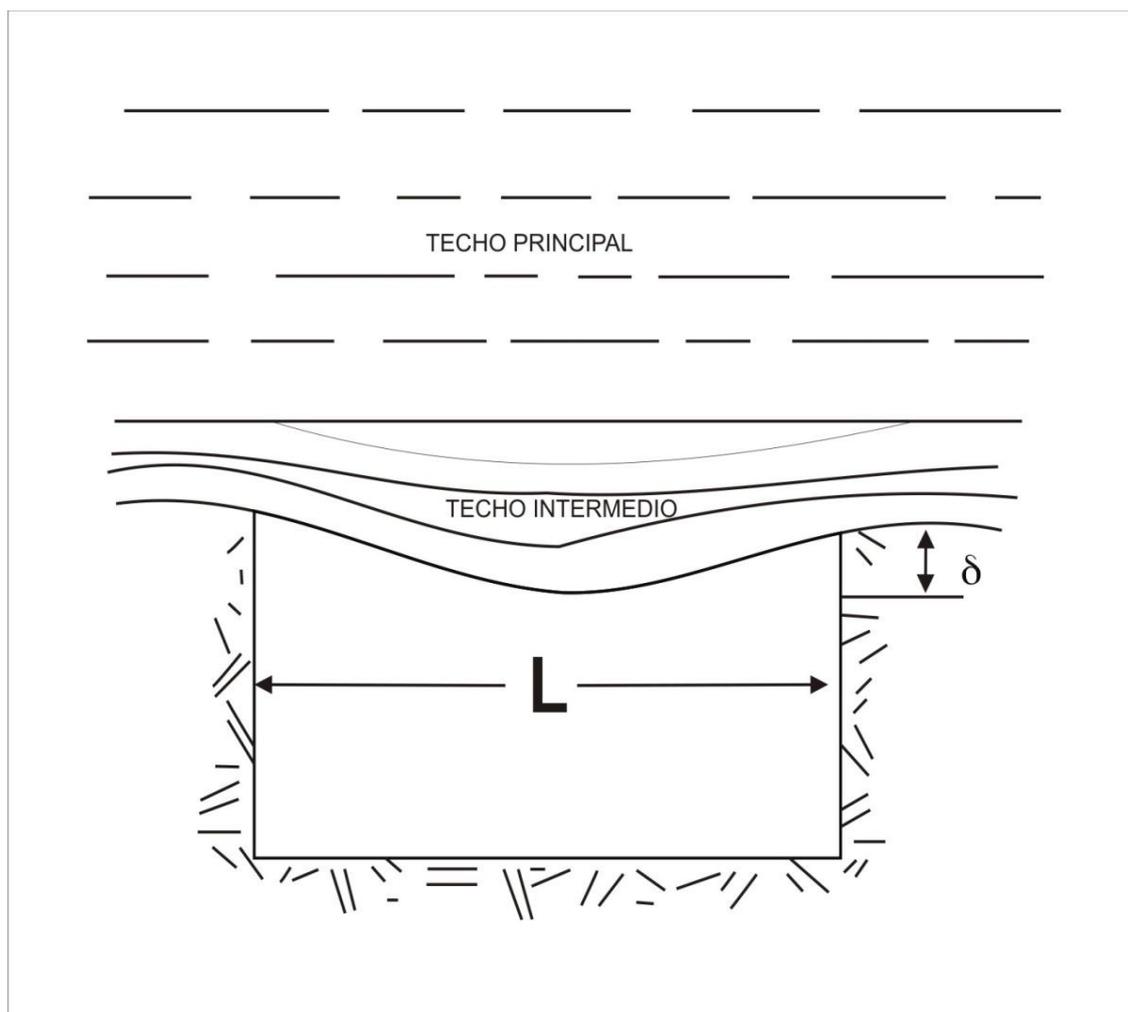
**Figura 8:** Sección transversal de una explotación por cámaras y lares mostrando la altura de techo inmediato.



**Figura 9:** Esquema asumido para explicar criterio de diseño de luz de cámaras de minado.

$$L=R$$

$$T=hc=B \frac{(100-RMR)}{100}$$



**Figura 10:** Aplicación modelo de viga elástica para el diseño de cámaras

L = Luz de cámara

T = Espesor del techo inmediato con deformación elástica

Y0 = Densidad aparente del techo inmediato

Ro = Módulo de ruptura.

$$L = \sqrt{\frac{2Rot}{y_0 F_s}}$$

**A. Clasificación de los parámetros y su evaluación.- Ver tabla 6 y 7**

**Tabla 6:** Clasificación geomecánica CSIR.

1	Resistencia	Ensayo de 1 punto	>100 kg/cm <sup>2</sup>	40-80 kg/cm <sup>2</sup>	20-40 kg/cm <sup>2</sup>	10-40 kg/cm <sup>2</sup>	Compresión simple (kg/cm <sup>2</sup> )		
		C. Simple	>2.500 kg.cm <sup>2</sup>	1,00-2,500 kg/cm <sup>2</sup>	500.1000 kg/cm <sup>2</sup>	500-250 kg/cm <sup>2</sup>	500	10-50	<10
		Valoración	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75%-90%	50% - 75%	25%-50%	<25%		
	Valoración		20	17	10	8			
3	Separación entre diaclasas		> 2 m.	0.6-2m	0.2-0.6m	0.6-0.02m	< 0.06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de diaclasas		E-1	E-2	E-3	E-4	E-5		
			Muy rugosas.	Ligeramente rugosas,	Ligeramente rugosas.	Espejos de falla con relleno	Relleno blando		
			Discontinuas Sin separaciones bodes danos y duros	Abertura <1mm. Bordes duros.	Abertura <1mm bordes blandos	abiertas 1-5	>5mm o <5mm Diaclasas continuas		
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Agua frástica	Caudal por 10mm de túnel	Nulo Litros /min	< 10 Litros / min	10 – 25 Litros / min	25 – 125 Litros/min	> 25 Litros / min		
		Tensión principal mayor Estado general	Seco	Liquido húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	Valoración		15	10	7	4	0		

Fuente: (Bieniawski, 1979).

**Tabla 7:** Ajuste de la evaluación.

Orientación de rumbo y echado de las fisuras		Muy bueno	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Valuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-6	-25	-50	-60

Fuente: (Bieniawski, 1979).

**Tabla 8:** Clasificación de rocas según el total de valuación.

Valuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Clasificación N°	I	II	III	IV	V
Descripción	Muy buena roca	Buena roca	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala

Fuente: (Bieniawski, 1979).

**Tabla 9:** Significado de la clasificación del macizo rocoso.

Clasificación N°	I	II	III	IV	V
Tiempo medio de sostén	10 años para claro de 5m	6 meses para claro de 5m.	1 semana para claro de 3m.	5 horas para claro de 1.5 m.	10 minutos para claro de 0.5m.
Cohesión de la roca ángulo de fricción de la roca	300 Kg. Pa > 45°	40° - 45°	35° - 40°	30° - 35°	< 30°

Fuente: (Bieniawski, 1979).

**Tabla 10:** Ensayo de índice y manual de resistencia de la roca.

GRADOS	DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN DEL CAMPO	VALOR APROXIMADO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE	
			MPa	kg/cm <sup>2</sup>
R1	Roca muy débil	Deleznable bajo golpes del martillo del geólogo, puede rayarse con una navaja.	1.0 – 5.0	10 – 50
R2	Roca débil	Puede rayarse con dificultad con la navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente con la punta del martillo.	5.0 – 25	50 – 250
R3	Roca media débil	No se puede rayar con una navaja la muestra en mano, se puede romper con un golpe fuerte del martillo del geólogo, al impacto la punta del martillo inyecta hasta 5 mm.	25 – 50	250 – 500
R4	Roca dura	Se necesita más de un golpe el martillo de geólogo para romper la muestra, especímenes sostenidos en la mano se rompe con un simple golpe de martillo.	50 – 100	500 – 1000
R5	Roca muy dura	Se necesita muchos golpes con el martillo del geólogo para romper la muestra.	100 – 250	1000 – 2500
R6	Roca extremadamente dura	El martillo produce solamente descarrillado de la muestra sonido metálico de golpe.	>250	>2500

Fuente: (Bieniawski, 1979).

## CONCLUSIONES

**PRIMERA.** La calidad del macizo rocoso se determinó a través de las clasificaciones geomecánicas de RMR (Rock Mass Rating) para determinar la Luz de cámaras de minado a 5 m.

**SEGUNDA.** Para la clasificación geomecánica se consideraron las características geomecánicas del macizo rocoso las cuales son; resistencia a la compresión uniaxial (RCU), espaciamiento, persistencia, apertura, relleno, rugosidad, alteración, JRC, JCS y agua en las discontinuidades

**TERCERA.** Con los datos que se procesaron se obtuvieron pilares de sección cuadrada.

Ancho: 2 m

Altura: 2 m

**CUARTA.** La Cobertura de roca da por encima: 30 m

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA.** Tener siempre presente la clasificación geomecánica rmr.

**SEGUNDA.** Tener siempre en cuenta la clasificación geomecánica Q, la cual se emplea casi exclusivamente para túneles.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Barton, N., Lien, R. y Lunde, J. (1974). *Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support*. Rock Mechanics, Springer Verlag, vol. 6.
- Barton, N. *Et al* (1992). *Norwegian Method of Tunnelling*. World Tunnelling. Julio-Agosto, 1992.
- Bieniawski, T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. John Wiley y Sons, Inc.
- Harvey, J. (1987). *Geología para ingenieros geotécnicos Primera edición*.
- Hoek y Brown (1980). *Underground Excavations in Rock*. Institution of Metalurgy.
- Lopez, M. (1997). *De Túneles y obras subterráneas*. (1ra edición).
- Mayhua, G. (2006). *Aplicada a la minería y Construcciones Civiles*. (1ra edición).
- Moreno, E. (1981). *Las Clasificaciones Geomecánicas de las Rocas, aplicadas a las Obras Subterráneas*. Cuadernos EPTISA, n° 1.
- Rivera, H. (2001). *Geología General*. (1ra. Edición).
- Robles, H. (1994). *Excavación y sostenimiento de Túneles en roca*. (1ra Primera Edición).
- INGEMMET, Boletín 55, (1995). *Geología del Perú*: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima.