



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y NEGOCIOS  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MINAS**

## **APLICACIÓN DE MECÁNICA DE ROCAS PARA LA PEQUEÑA MINERÍA**

Tesis para optar al Título de Ingeniero en Minas



Profesor guía:  
Manuel Viera Flores  
Estudiante:  
Brayan Florián Alvarado

**DICIEMBRE - 2018  
SANTIAGO DE CHILE**

## I. RESUMEN

El presente trabajo de investigación se enfoca en entregar buenos criterios de mecánica de rocas para el ámbito minero específicamente en el sector de la pequeña minería subterránea, esto debido a que es en esta área donde no se tiene mucho conocimiento sobre la importancia que se le debe dar a la mecánica de roca al momento de estar realizando labores en una mina, en pocas palabras la pequeña minera adolece de temas geomecánicos, para esto existen diversos métodos o formas de saber cómo será el comportamiento del macizo rocoso.

Los métodos de análisis geomecánicos ocupados en este proyecto son; Análisis Macroscópico, Esclerómetro o Martillo Schmidt, cálculo de densidad (Método Arquímedes) y la Velocidad de perforación que se explicará de una forma fácil y detallada el uso de estos instrumentos.

Además, se crearon matrices geomecánicas para obtener una mejor decisión al momento de enfrentarse a la mecánica de roca.

La idea o la motivación de este proyecto se desarrolló en base a los acontecimientos lamentables presenciados sobre este tipo de actividad y en particular la pequeña minería, es por esto que el principal objetivo es mitigar al máximo accidentes dentro de la mina.

Este proyecto de tesis va dirigido a toda persona interesada en el tema y en especial a los trabajadores de pequeñas mineras de Chile, ofreciéndoles las mejores prácticas geomecánicas que se deben contemplar al momento de estar en faena.

## **II. ABSTRACT**

This research work focuses on deliveries in the same way that is in this area where you do not have much knowledge about the importance of what should be. give to the mechanics of the rock at the time of doing work in a mine, in a few words, the small mining, suffers from geomechanical issues, for which there are ways to know how the behavior of the rock massif will be.

The methods of geomechanical analysis occupied in this project are; Macroscopic analysis, sclerometer or hammer Schmidt, density calculation (Archimedes Method) and the speed of drilling that will be explained easily and quickly in the use of these instruments.

In addition, geomechanical matrices have been created to obtain a better decision when facing the mechanics of the rock.

The idea or motivation of this project is based on the unfortunate events witnessed on this type of activity and, in particular, in small-scale mining, the main objective is to mitigate the maximum accidents within the mine.

This thesis project is aimed at anyone interested in the subject and especially the workers of the small mining companies in Chile, offering the best geomechanical practices that should be contemplated at the moment of being on the job.

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. Índice de Contenido</b>	
<b>I. RESUMEN</b>	2
<b>II. ABSTRACT</b>	3
<b>III. INTRODUCCIÓN</b>	9
<b>IV. OBJETIVOS</b>	10
1. <i>Objetivo general</i>	10
2. <i>Objetivo específico</i>	10
<b>V. ALCANCES</b>	11
<b>VI. JUSTIFICACIÓN</b>	12
<b>VII. HIPÓTESIS DE ESTUDIOS</b>	12
<b>VIII. CARTA GANTT</b>	13
<b>IX. MARCO TEORICO</b>	14
1. <i>Clasificación de las rocas</i>	14
2. <i>Clasificación de la Pequeña, Mediana y Gran Minería</i>	15
2.1. <i>Clasificación según el Sernageomin</i>	16
2.2. <i>Clasificación según el Servicio de Impuestos Internos (SII)</i>	17
2.3. <i>Clasificación según el Instituto de Ingenieros de Minas de Chile</i>	17
3. <i>Caracterización de la Pequeña Minería (PM)</i>	19
3.1. <i>Propiedades mínimas requeridas para trabajar en PM</i>	21
3.2. <i>Riesgos operacionales más relevantes en PM</i>	22
4. <i>Estadísticas de Accidentes</i>	23
4.1. <i>Índice de Frecuencia</i>	24
4.2. <i>Índice de Accidentes más comunes</i>	25
4.3. <i>Índice de Mortalidad</i>	26
5. <i>Métodos de explotación más comunes en PM</i>	28
6. <i>Producción y Productividad en PM</i>	33
7. <i>Sistematización y control</i>	34
<b>X. DESARROLLO DE UN MODELO DE MECÁNICA DE ROCAS</b>	35
1. <i>Métodos de Medición</i>	35
1.1. <i>Métodos macroscópicos de reconocimiento de rocas</i>	35
1.2. <i>Calculo de densidad aplicando método de Arquímedes</i>	37
1.3. <i>Esclerómetro o Martillo Schmidt</i>	38

1.4. <i>Velocidad de penetración de perforador manual</i>	52
1.5. <i>Matriz de Identificación de Dureza de la Roca</i>	56
1.6. <i>Matriz de Operaciones Unitarias v/s Técnicas Geomecánicas a Aplicar</i>	58
1.7. <i>Costos de los métodos de medición</i>	61
<b>2. Drivers</b>	62
<b>3. Criterio del Diseño</b>	63
3.1. <i>Tamaño y geometría de excavaciones</i>	63
3.2. <i>Recomendaciones relacionadas con la forma de la excavación</i>	64
3.3. <i>Recomendaciones relacionadas con la orientación de las excavaciones</i>	65
3.4. <i>Recomendaciones relacionadas con el tamaño de la excavación</i>	67
<b>4. Roca Host más complicadas y competentes</b>	68
<b>XI. APORTES Y RECOMENDACIONES</b>	70
<b>XII. CONCLUSIONES</b>	71
<b>XIII. COMENTARIOS</b>	73
<b>XIV. BIBLIOGRAFIAS</b>	74
<b>XV. ANEXOS</b>	75
1. <b>ANEXO 1: Los 12 pasos seguros, SONAMI.</b>	75
2. <b>ANEXO 2: Tablas de equivalencias.</b>	78
3. <b>ANEXO 3: Leyenda de la Matriz “Operaciones Unitarias v/s Técnicas geomecánicas a Aplicar.</b>	80
4. <b>ANEXO 4: Guía de buenas prácticas en base a procedimientos geomecánicos en PM.</b>	81

## **2. Índice de Imágenes, Tablas y Gráficos**

### **2.1. Índice de Imágenes**

Imagen 1: Método de explotación subterráneo, Shrinkage. ....	28
Imagen 2: Método de explotación subterráneo, Sublevel Stoping. ....	29
Imagen 3: Método de explotación subterráneo, Cut and Fill.....	30
Imagen 4: Acuñadura manual en MS, previo trabajo de perforación. ....	31
Imagen 5: Veta de Cobre. ....	31
Imagen 6: Equipo de perforación neumático manual. ....	32
Imagen 7: Determinación de la densidad de un sólido irregular. ....	37
Imagen 8: Sección longitudinal a través del martillo mostrando sus componentes. ....	39
Imagen 9: Principio de funcionamiento del martillo. ....	40
Imagen 10: Preparación de la superficie de ensayo.....	41
Imagen 11:Ejecución del ensayo. ....	41
Imagen 12: Soporte para testigos de roca. ....	42
Imagen 13: Yunque de prueba o calibración.....	43
Imagen 14: Procedimiento de calibración del Martillo Schmidt.....	47
Imagen 15: Sistema de explotación en Pequeña Minería. ....	63
Imagen 16: Formas de las excavaciones. ....	64
Imagen 17: La forma de las excavaciones deberá acomodarse a rasgos estructurales. ....	65
Imagen 18:Orientacion de la excavación con respecto a los rasgos estructurales. ....	66
Imagen 19: A mayor tamaño de la excavación se favorece a la inestabilidad. ....	67
Imagen 20: Veta mineralizada. ....	68

## 2.2. Índice de Tablas

Tabla 1: Número de Personas / Porcentaje Total en Minería .....	16
Tabla 2: Definiciones legales de pequeña minería y minería artesanal.....	20
Tabla 3: Descripción de las Rocas.....	35
Tabla 4: Clasificación de la Resistencia.....	45
Tabla 5: Valores típicos de numero de rebotes medidos con martillo tipo L para diferentes rocas.....	46
<i>Tabla 6: Medidas de calibración.</i> .....	48
Tabla 7: 10 puntos equidistantes sobre la muestra.....	48
<i>Tabla 8: Descarte de puntos alejados del promedio.</i> .....	49
Tabla 9: Valores obtenidos de la Campana de Gauss. ....	49
Tabla 10: Factor Hr o Dureza de Rebote de la muestra.....	50
Tabla 11: Velocidad de Rotación según el tipo de roca [MPa]. .....	52
Tabla 12: Escala de Resistencia a la Compresión según el tipo de roca [MPa]. .....	53
Tabla 13: Clasificación de las rocas con respecto a su resistencia a la compresión. ..	54
Tabla 14: Fuerza de empuje mínima según el tipo de roca.....	55
Tabla 15: Matriz de Identificación de Dureza de la Roca. ....	57
Tabla 16: Matriz de Operaciones Unitarias v/s Técnicas Geomecánicas a Aplicar. ....	59
Tabla 17: Tabla de equivalencias de densidad. ....	78
Tabla 18:Tabla de equivalencias de volumen. ....	78
Tabla 19:Tabla de equivalencias de masa. ....	79
Tabla 20:Tabla de equivalencias de presión. ....	79
Tabla 21: Leyenda de la Matriz "Operaciones Unitarias v/s Técnicas geomecánicas a Aplicar". .....	80

### **2.3. Índice de Gráficos**

Gráfico 1: Carta Gantt.....	13
Gráfico 2: Clasificación de la producción por Sector Minero. ....	15
Gráfico 3: Distribución de accidentes ocurridos durante el año 2000 al 2017. ....	23
Gráfico 4: Índice de Frecuencia de Accidentes en Minería. ....	24
Gráfico 5: Accidentes más comunes desde 2014 al primer trimestre del 2018.....	25
Gráfico 6: Tasa de Fatalidad en Minería al 2018.....	26
Gráfico 7: Fallecidos por tipo de instalación desde el 2014 al primer trimestre del 2018.	
.....	27
Gráfico 8: Perfil de Producción y Productividad en la PM. ....	33
Gráfico 9: Correlación de Resistencia a compresión, densidad y rebote del esclerómetro.	
.....	44
Gráfico 10: Campana de Gauss, descarte de valores alejados.....	49
Gráfico 11: Ubicación de los datos obtenidos, Grafico de Miller.....	51
Grafico 12: Relación entre los métodos de medición geomecánicos y las operaciones en PM. ....	58

### **III. INTRODUCCIÓN**

Se estudió que Chile es un país minero a nivel mundial y número uno en exportaciones de muchos minerales como, por ejemplo; cobre, litio, molibdeno, entre otros. No obstante, existen muchos riesgos dentro de este gran trabajo como lo es la mecánica de rocas, término que explica el comportamiento mecánico de las rocas ante esfuerzos y los cambios que sufren al aplicarse distintas presiones y temperaturas, es por ello la dificultad de saber la predicción del comportamiento de las rocas bajo presión. Debido a este gran problema la gran minería y la mediana minería ponen mucho énfasis y estudio en el tema de la geomecánica, para brindarles la protección adecuada a cada uno de sus trabajadores, pero no es así en el caso de la pequeña minería, es acá donde adolecen de conocimientos sobre mecánica de rocas, por ende, existen mayores riesgos de accidentes.

Debido a esto es que se propone este tema de investigación para obtener la información necesaria, con el objetivo de entregarles los mejores criterios geomecánicos a las pequeñas empresas mineras de nuestro país, ya que esto les servirá de gran ayuda al momento de entrar a la faena tanto para la empresa como también para sus trabajadores y a su vez realizar una minería cada vez más segura.

Sin embargo, es sabido que en la pequeña minería no se cuenta con grandes recursos para realizar estudios de las rocas como lo es en la gran minería con la muestra de testigo, por ejemplo. Por eso se hablará de instrumentos de precios accesibles para este sector de la minería, que no necesariamente sean deficientes en su trabajo, ya que son utilizados en la mediana y gran minería entregando buenos resultados.

Por último, se pretende que las pequeñas empresas mineras aprendan a darle importancia a la mecánica de rocas ya que es el principal problema en este rubro. A la vez lo que se entrega es una ayuda al pequeño minero, con la información necesaria junto con dos matrices para perpetrar un buen trabajo.

## **IV. OBJETIVOS**

### ***1. Objetivo general***

- ✓ Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un modelo de mecánica de rocas para la pequeña minería, con el propósito de evitar accidentes ya que es en este sector donde adolecen de conocimiento geomecánico. De esta manera aportar para el desarrollo y avance de nuestra gran industria como es la minería.

### ***2. Objetivo específico***

- ✓ Identificar dentro del laboreo subterráneo cuáles son las propiedades mínimas de mecánica de rocas que se deben conocer.
- ✓ Emplear criterios mínimos de la geomecánica para desarrollar una buena práctica minera.
- ✓ Diseñar aplicando prácticas geotécnicas para la pequeña minería.
- ✓ Mitigar los accidentes laborales y mejorar la producción.
- ✓ Demostrar que es factible emplear dichos procedimientos, tanto económicos como también seguridad operacional.

## V. ALCANCES

El proyecto de tesis que se está desarrollando, busca implementar los criterios mínimos que se pueden tener en cuenta al momento de desarrollar buenas prácticas en el ámbito minero.

- Específicamente en el sector de pequeña minería.
- El método a seguir será en laboreo subterráneo.
- Empleando métodos de medición de Mecánica de Rocas como, por ejemplo; Reconocimiento macroscópico de la roca, Esclerómetro o Martillo Schmidt relacionándolo al gráfico de Miller, cálculo de velocidad de perforación de un equipo manual, cálculo de densidad (Método de Arquímedes) y elaboración de dos matrices (Matriz de identificación de dureza de la roca y Matriz de operaciones unitarias v/s técnicas geomecánicas a aplicar).

Además, con la ayuda de fórmulas empíricas, se busca desarrollar un buen empleo geomecánico en dicho ámbito.

Por último, se reunirá toda la información necesaria para terminar con éxito la tesis y posteriormente entregar y aplicar lo investigado en distintas pequeñas mineras, de este modo realizar una mejor minería.

## **VI. JUSTIFICACIÓN**

Lo más importante en la minería es la vida humana por ende es muy trascendente no tener accidentes, la seguridad es un desafío permanente y no se puede descuidar, por esta razón se pretende evitar accidentes fatales aplicando criterios geomecánicos a la pequeña minería.

Otro punto, es que la pequeña minería adolece la falta de prácticas geomecánicas para su desarrollo, no siendo el caso de la mediana y gran minería; esto lleva a que este proyecto sea de mucha importancia e interés, y por tal caso, será de gran ayuda para lograr los puntos explicados anteriormente.

## **VII. HIPÓTESIS DE ESTUDIOS**

Demostrar que se puede reducir accidentes aplicando criterios de mecánica de rocas a escala pequeña minería. Ya que, al obtener y entregar un mejor conocimiento del tema de planificación de mecánica de rocas tanto a las personas como empresas mineras, bajará la probabilidad de tener algún evento no deseado y a su vez aumentar la producción que es algo que toda empresa desea para el bien de todos.

## VIII. CARTA GANTT

Gráfico 1: Carta Gantt

PROYECTO DE TESIS			APLICACIÓN DE MECANICA DE ROCAS PARA LA PEQUEÑA MINERIA															
Nº DE ACTIVIDADES			2018-20															
			AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE					
			S e m a n a	S e m a n a	S e m a n a	S e m a n a	S e m a n a	S e m a n a	S e m a n a	S e m a n a	S e m a n a	S e m a n a	S e m a n a	S e m a n a	S e m a n a	S e m a n a		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Diseño y Construcción	1	Elección de tema	■															
	2	Definir objetivos		■														
	3	Definir el alcance		■														
	4	Estructurar hipótesis		■														
	5	Busqueda de antecedentes		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	6	Corrección de la información		■	■				■			■	■	■				
	7	Analisis y comentarios			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	8	Elaboracion de informe y PPT		■	■	■	■	■			■	■	■	■		■		
Reuniones	9	Reunion con profesor guia		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	10	Asesoramiento Profesional			■	■	■		■		■	■	■	■	■			
Evaluaciones	11	Controles			■					■			■			■		
	12	Catedras					■				■			■				
	13	Examen Final														■		

Fuente: Elaboración propia.

## IX. MARCO TEORICO

### 1. Clasificación de las rocas

Todo nuestro planeta tierra es una gran bola de rocas. Las rocas son los materiales de los que está compuesto el hogar de los seres vivos, y se encuentran tanto en el interior como en el exterior de la superficie terrestre. ¿Pero qué es exactamente una roca?, en pocas palabras, es un agregado de granos de minerales, trozos de cristales o piezas de otras rocas que encajan entre sí, si bien los minerales son los compuestos básicos de toda roca, estos son compuestos químicos sólidos.

Existen 3 tipos básicos de roca los cuales son: rocas ígneas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas

Las rocas ígneas son aquellas que se forman según el calentamiento del magma.

Ejemplo, si el magma tiene un enfriamiento lento al interior de la corteza terrestre la roca se llamará plutónica. Estos minerales forman cristales de gran tamaño, un ejemplo de la roca plutónica es el granito.

Si el magma sale a la superficie se formarán rocas volcánicas, esto es debido a que el magma se enfria rápidamente y no da tiempo a que se formen cristales, solo vidrios. Un ejemplo de este tipo de roca es el basalto.

Rocas sedimentarias, estas rocas se forman cuando los sedimentos arrastrados de las rocas por meteorización o erosión se unen entre sí y forman aglomerados que alcanzan considerable espesor hasta que se convierten en nuevas rocas.

Y por último tenemos las rocas metamórficas que se forman de rocas preexistentes por cambios mineralógicos, texturales y estructurales. Estos cambios pueden ser el resultado de variaciones importantes de temperatura y presión producidas a diferentes profundidades en la corteza terrestre.

Las rocas están compuestas por minerales que son de importancia para nuestra humanidad ya sea para usos primarios de medicina u otros tipos de usos. Y para obtener minerales primero que todo se debe llegar a la roca que la contenga, luego analizar como separar el mineral de la roca, difícil, pero a su vez hermoso trabajo que lo realizan los mineros, para esto se diseñan distintos métodos de explotación dependiendo del tipo de yacimiento o tipo de roca que se tenga que enfrentar, pero al mismo tiempo tienen una serie de obstáculos y peligros a diario, y uno de los temas más preocupantes y más repetitivos son los accidentes por culpa de los esfuerzos inducidos al macizo

rocoso. Estos problemas están presentes en toda la minería ya sea en la gran, mediana o pequeña minería, pero con mucha más frecuencia en la pequeña minería ya sea por falta de recursos al momento de estudiar la roca o falta de conocimientos hacia la roca por parte de los trabajadores.

## 2. Clasificación de la Pequeña, Mediana y Gran Minería

Existe en Chile diversas definiciones y criterios para clasificar los sectores de la Minería, una primera división tradicional, corresponde a la basada en la producción:

Gráfico 2: Clasificación de la producción por Sector Minero.



Fuente: Memoria del Programa PAMMA 2002-2008.

Sin embargo, también existen clasificaciones de distintas reparticiones públicas, las que dependen del objetivo que tenga cada una de ellas. Así, en Chile, se encuentra, por ejemplo, dentro de las más comunes, la clasificación que hace el Servicio de Impuestos Internos (SII), el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) y el Instituto de Ingenieros de Minas de Chile (IIMCH).

## 2.1. Clasificación según el Sernageomin

Caracteriza los segmentos de la Minería de acuerdo con la cantidad de horas/persona; la siguiente tabla muestra la relación en cada Categoría (*Tabla 1*):

Categoría “A” Igual o superior a 1.000.000 horas/persona trabajadas durante el período de un año (corresponde al trabajo promedio aproximado de un mínimo de 400 trabajadores durante el año).

Categoría “B” Igual o superior a 200.000 e inferior a 1.000.000 horas/persona trabajadas durante el período de un año (corresponde al trabajo promedio aproximado de un mínimo de 80 y un máximo de 400 trabajadores durante el año).

Categoría “C” Menos de 200.000 horas/persona trabajadas durante el período de un año (corresponde al trabajo promedio aproximado de mínimo de 12 y un máximo de 80 trabajadores durante el año).

Categoría “D” Menos de 27.000 horas/persona trabajadas durante el período de un año (corresponde al trabajo promedio aproximado de menos de 12 trabajadores durante el año).

Durante el año 2011, trabajó en cada una de estas categorías de empresas el número de personas que se indica en el cuadro que sigue, con su participación porcentual en el total de trabajadores de la Minería.

*Tabla 1: Número de Personas / Porcentaje Total en Minería.*

	Personas	
	Cantidad	Porcentaje del Total
<b>Categoría “A”</b>	89.937	45,63
<b>Categoría “B”</b>	60.453	30,64
<b>Categoría “C”</b>	34.463	17,47
<b>Categoría “D”</b>	12.338	6,26
<b>TOTAL</b>	<b>197.191</b>	<b>100</b>

*Fuente: Sernageomin.*

Según los datos señalados, se puede apreciar cierta relación entre la clasificación conceptual común de los sectores de la Minería y la que hace SERNAGEOMIN. Es así, por ejemplo, cómo se puede relacionar la Categoría A con el concepto de “Gran Minería”, por el volumen de trabajo por persona y el número de trabajadores al año; la Categoría “B” con la Mediana Minería, la Categoría “C” con la Pequeña Minería y la “D” con la Minería Artesanal, ocupando esta última el menor porcentaje de trabajadores en el rubro.

## *2.2. Clasificación según el Servicio de Impuestos Internos (SII)*

Tiene que ver con la Ley de la Renta:

Mineros de Mayor Importancia: Se clasifican en este grupo las empresas mineras S.A., en compañía por acciones y otras sociedades de cualquier naturaleza que exploten plantas de beneficio de minerales en los cuales se traten minerales de terceros en un 50% o más. Todos los no clasificados en los anteriores.

Mineros de Mediana Importancia: Se clasifican en este grupo los mineros que no tienen el carácter de “pequeños mineros artesanales”, exceptuando las S. A., en comandita por acciones y la explotación de plantas de beneficio de minerales en los cuales se traten minerales de terceros en un 50% o más.

Mineros Artesanales: Personas naturales que trabajen una mina o planta propia o ajena, con un máximo de 5 dependientes asalariados. Sociedad Legal Minera (SLM) que no tengan más de 6 socios. Cooperativas mineras con socios con el carácter de mineros artesanales.

## *2.3. Clasificación según el Instituto de Ingenieros de Minas de Chile*

Data de 1990 y propone una clasificación, de acuerdo con la capacidad de extracción de mineral y otras características que se indican a continuación:

- Gran Minería: Agrupa a las empresas que explotan más de 3.000.000 de toneladas de mineral al año, o sea, sobre 8.000 toneladas al día. Su gestión técnica, empresarial y financiera es muy sólida y se hace a un nivel supranacional. Su estrategia de desarrollo y operación dependen, normalmente, de la planificación global de las respectivas casas matrices. Pertencen a este segmento de la Minería: AngloAmerican, Barrick, BHPBilliton y Codelco, entre otras.

- Mediana Minería: Pertenece a la Mediana Minería, las empresas que explotan entre 100.000 y 3.000.000 de toneladas de mineral al año, es decir, entre 300 y 8.000 toneladas al día. Este segmento se caracteriza por contar con una estructura empresarial moderna y una gestión técnica y administrativa claramente profesionalizada. Además de las condiciones naturales del yacimiento, infraestructura y precio de los metales, sus resultados económicos están condicionados por las políticas económicas e institucionales del país.

Para una mejor identificación de sus características, esta categoría se subdivide en Mediana Minería Mayor y Mediana Minería Tradicional.

- Mediana Minería Mayor: Está constituida por empresas con clara capacidad de gestión y con posibilidades y experiencia de exportación de sus productos. Es frecuente en ellas, la participación de capitales extranjeros y se manejan con amplios recursos de administración, finanzas y tecnología. Las operaciones presentan, en general, productividades altas, en faenas racionalmente desarrolladas y planificadas en el largo plazo, con reservas mineras bien reconocidas. Ejemplos típicos de esta subcategoría, son la Compañía Minera Mantos de Oro, Compañía Minera Ojos del Salado, etc.
- Mediana Minería Tradicional: Estas empresas, si bien tienen también capacidad de gestión administrativa y tecnológica, presentan normalmente ciertas limitantes para seguir aumentando producciones y mejorando productividades. La más importante de estas limitaciones es, generalmente, la falta de conocimiento de las reservas y, como consecuencia, la imposibilidad de planificación a mediano y largo plazo. Empresas mineras típicas de esta subcategoría serían las siguientes: Compañía Minera Tocopilla, Compañía Minera y Comercial Sali Hoschild, Compañía Minera Cerro Negro, Compañía Minera El Bronce.

- Pequeña Minería: Agrupa productores que explotan hasta 100.000 toneladas al año de mineral, operando faenas de pequeño tamaño, pero con inversiones importantes. La gestión técnica y administrativa generalmente es muy personalizada, careciendo de una organización empresarial debidamente estructurada. Normalmente no hay reconocimientos confiables, por lo cual no existe planificación de las operaciones más allá del corto plazo. Esta categoría está integrada por una gran cantidad de productores como El Cerrado, Eduardo Lery, Gunther Rochefort, el inglés, entre otros.
- Minería Artesanal: Corresponde a la categoría de mineros independientes que operan en forma rudimentaria, con escaso patrimonio, y cuya orientación técnica es absolutamente empírica, normalmente conocidos como mineros de trabajo al pirquén. Son generalmente grupos de personas que aportan su trabajo, asociados de hecho, en torno a un buen depósito de mineral y a buenos precios. Las reservas del yacimiento son totalmente inciertas y su producción carece, por lo mismo, de continuidad en el tiempo.

### ***3. Caracterización de la Pequeña Minería (PM)***

En Pequeña Minería (PM), los productores en su gran mayoría trabajan como pequeñas empresas, en el proceso de extracción del mineral (oro, plata o cobre), el cual venden a ENAMI. Este segmento productivo es apoyado por un programa de fomento que busca el fortalecimiento de competitividad de estas pequeñas operaciones.

La caracterización de este sector a nivel mundial no tiene parámetros universales y uniformes. Incluso en Chile no se ha establecido una norma que la defina en forma única, por lo cual existen distintas definiciones, dependiendo de la institución considerada.

De acuerdo con Cochilco (2013) se distinguen cuatro definiciones para la pequeña minería. Tres de estas se relacionan ya que la definen en relación con el número de trabajadores.

- I. Sernageomin: define de acuerdo con el número de trabajadores y las horas trabajadas por ellos (menor a 80 trabajadores o menor de 200.000 horas trabajadas anuales).
- II. Código de Minería: establece que la cantidad de trabajadores es menor a 12.

- III. Ley de impuesto a la renta: indica que es menor a 5 trabajadores.
- IV. Enami: se basa en la producción que benefician mensualmente, esto indica que el productor vende hasta 10.000 toneladas de minerales o su equivalente en productos mineros.

*Tabla 2: Definiciones legales de pequeña minería y minería artesanal.*

Sernageomin	Código de Minería	Ley de Impuesto a la renta (Minería Artesanal)	ENAMI
Definición en base a Trabajadores y Horas Trabajadas	Definición en base a Trabajadores	Definición en base a Trabajadores	Definición en base a Producción
Menor a 80 trabajadores			
Menor a 200.000 horas trabajadas	Menor a 12 trabajadores	Menor a 5 trabajadores	Son los productores que en forma individual venden o benefician mensualmente hasta 10.000 toneladas de minerales o su equivalente en productos mineros.

*Fuente: Sernageomin, Código de Minería, Enami y SII.*

Bajo este contexto otros países, incluso Chile, utilizan diversos parámetros para clasificar la pequeña minería, tales como: nivel de producción, número de trabajadores, cantidad de propiedades mineras.

Por otro lado, actualmente no existe absoluta certeza de cuántas pequeñas faenas mineras existen en el país; sin embargo, de acuerdo con información proporcionada por Enami, el año 2013 un total de 1.159 pequeños mineros le vendieron mineral. Esto da cuenta que existe un número importante de microempresarios dedicados a este sector de la economía, lo cual permite desarrollar otras áreas como el comercio y la compra de insumos mineros.

Si bien la pequeña minería tiene una baja incidencia en la producción total de cobre en el país, con solo 1,4% (83,3 mil toneladas); si tiene una mayor importancia en términos de empleo, ya que al año 2013 se contabilizaron 8.746 trabajadores operando en la minería del cobre y oro, lo que representa una participación de 13,5% en el total de personas ocupadas en el sector de la minería metálica.

Existen factores estructurales que afectan negativamente a la pequeña minería como el menor acceso a la propiedad minera y al financiamiento, bajo nivel de economías de escala y de uso de tecnología lo que genera mayores costos de producción. Según indica la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco, 2014).

Otro punto importante es saber que por ley se establece que en las empresas por cada 100 trabajadores debe contar con un profesional en Prevención de Riesgos, sin embargo, en el sector de la PM por contar con una menor cantidad de trabajadores no está dentro de esa ley, pero que por efectos de que los trabajadores siguen expuestos a los peligros se les obliga a contar con un profesional en Prevención de Riesgos en horario Part-Time.

### *3.1. Propiedades mínimas requeridas para trabajar en PM*

Mediante Decreto Supremo N° 34 del Ministerio de Minería, de fecha 14 de junio de 2013, se modificó el Reglamento de Seguridad Minera, incorporándose el Título XV sobre “NORMAS DE SEGURIDAD MINERA APPLICABLE A FAENAS MINERAS QUE INDICA”.

Este título reconoce las características especiales de las faenas mineras cuya extracción subterránea o a rajo abierto y/o tratamiento de minerales, sea igual o inferior a 5.000 toneladas por mes (en adelante indistintamente la “pequeña minería”), estableciendo medidas en seguridad acordes con la realidad propia de dichas faenas.

En este contexto, el Título XV establece que las Empresas Mineras de la pequeña minería y sus trabajadores, deberán conocer y cumplir con las disposiciones específicas contenidas en Guías de Operación que publicará el Servicio Nacional de Geología y Minería, (en adelante el “Servicio”). Dichas guías deben formar parte del Reglamento Interno de cada una de estas Empresas Mineras.

El presente documento cumple con lo señalado en el Artículo 597 y 631 letra (a) del Reglamento de Seguridad Minera, y constituye una “Guía de Operación para la Descripción de Proyectos de Explotación, Tratamiento de Minerales y Cierres de Faenas” (en adelante indistintamente la “Guía”), y su contenido forma parte integral del Título XV para todos los efectos legales.

### *3.2. Riesgos operacionales más relevantes en PM*

La pequeña minería está compuesta por faenas cuya dotación es inferior a 80 trabajadores y posee una cantidad menor a 200.000 horas hombre trabajadas al año.

Estos datos, nos permiten caracterizar el tipo de estructura que poseen estas organizaciones, donde la regla general es un bajo nivel de complejidad administrativa y alto nivel de concentración en la labor extractiva. Para efectos del análisis, podemos subdividir este sector en dos segmentos: el de la pequeña minería con estructura empresarial y el denominado “artesanal”.

Desde ya, podemos anticipar que este último es el más precario en materia de seguridad. Si consideramos la participación en el total de la producción nacional de cobre, su aporte es bajo con un 1,6% (2012), pero tiene un impacto significativo en el empleo, contabilizando un total de 7.950 trabajadores en minería del cobre y oro, lo que representa un 11,2% de personas ocupadas en la actividad minera, según datos de la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco 2013).

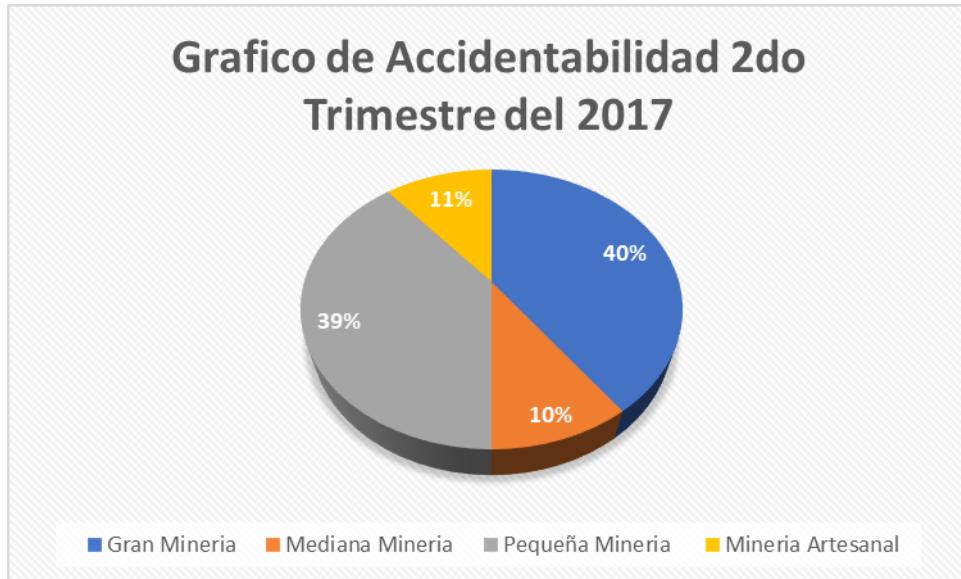
Debido a la baja complejidad de su organización administrativa, es muy raro encontrar faenas de la pequeña minería con altos niveles de estandarización, lo que significa que no cuentan con sistemas de Gestión de Calidad, Medio Ambiente o Seguridad y Salud en el Trabajo. Esto se suma al hecho que aquellas faenas con menos de 100 trabajadores no se les exige un Experto en Prevención de Riesgos (solo visitas regulares) de ninguna de las categorías establecidas por Sernageomin, a menos que este servicio lo indique específicamente.

Esta situación es clave, debido a que un profesional de Prevención de Riesgos provee la estructura de seguridad necesaria a través de un plan que contiene las estrategias para el control de los incidentes, bajo la observancia del DS 132 (Reglamento de Seguridad Minera), que entrega los requisitos mínimos que toda faena minera debe poseer.

#### **4. Estadísticas de Accidentes**

Según el balance presentado por el Ministerio de Minería y el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin), publicado el año 2018. Donde se muestran los datos correspondientes al porcentaje de accidentabilidad hasta el segundo trimestre del 2017.

*Gráfico 3: Distribución de accidentes ocurridos durante el año 2000 al 2017.*



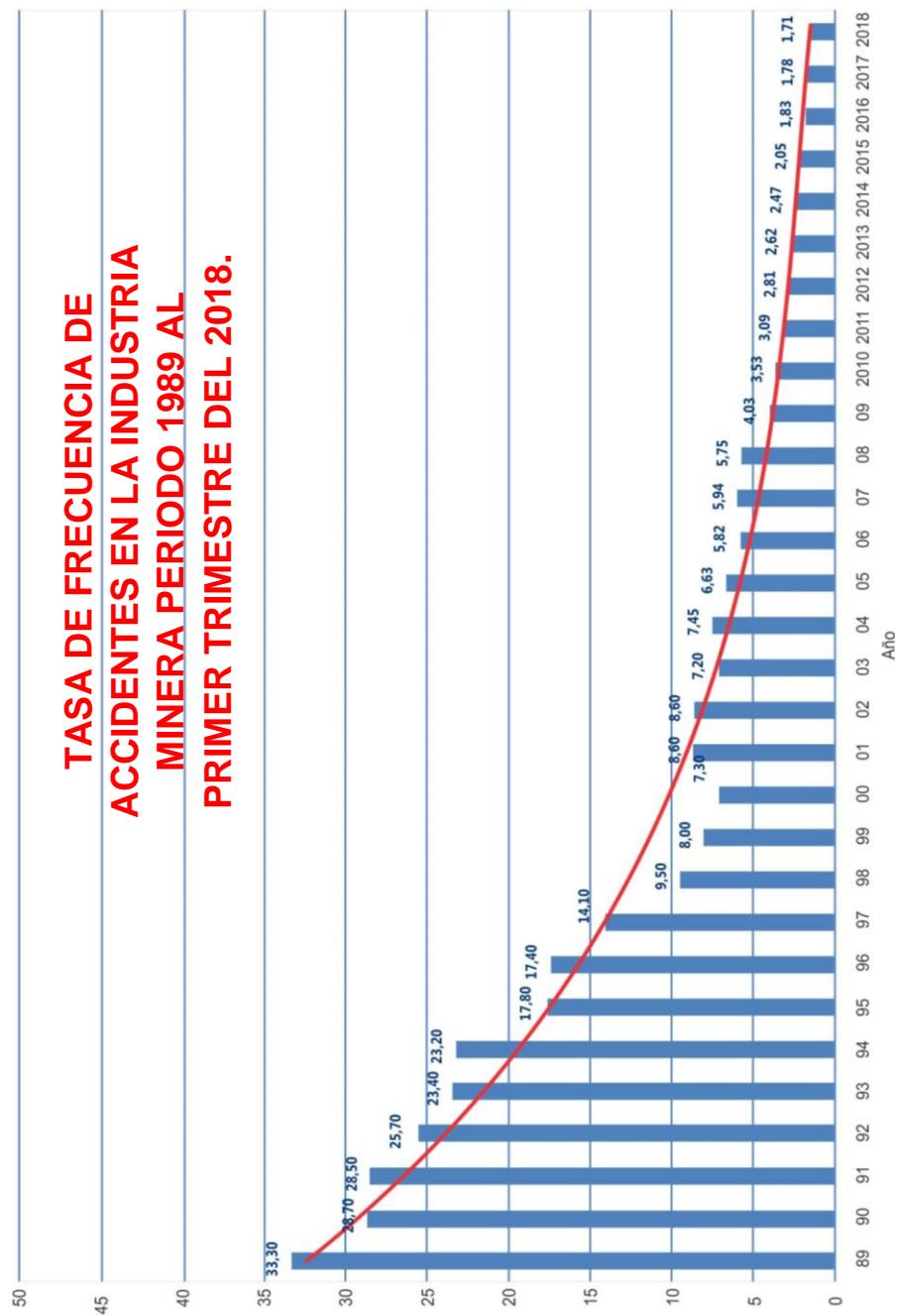
*Fuente: Sernageomin, 2018.*

En cuanto a la distribución de accidentes por categorías de empresas, el orden de cantidad es el siguiente: Gran Minería (40%), Pequeña Minería (39%), Mediana Minería (10%), y Minería Artesanal (11%).

#### 4.1. Índice de Frecuencia

Este grafico corresponde al número de accidentes incapacitantes por cada millón de horas personas trabajadas en la industria de la minería, datos recopilados desde 1989 al 2018 según Sernageomin.

Gráfico 4: Índice de Frecuencia de Accidentes en Minería.

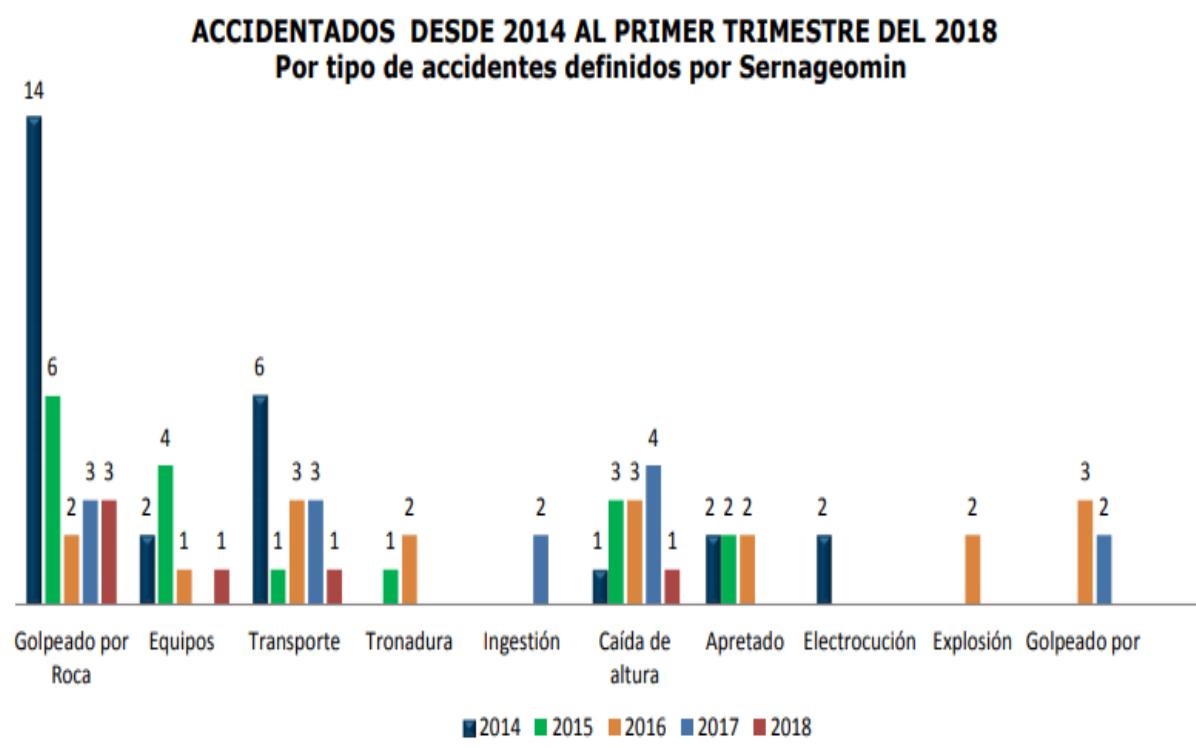


Fuente: Informe de Accidentabilidad Minera, Sernageomin, 2018.

#### 4.2. Índice de Accidentes más comunes

La mayoría de los accidentes en la minería subterránea se deben a la caída de rocas provenientes del techo y/o hastiales de las excavaciones subterráneas. Las fracturas que aflojan las rocas son las naturales del macizo rocoso y las generadas por altos esfuerzos inducidos o por voladura. Esta roca suelta requiere dejarla caer en forma controlada a fin de brindar a los trabajadores un ambiente seguro de trabajo.

Gráfico 5: Accidentes más comunes desde 2014 al primer trimestre del 2018.

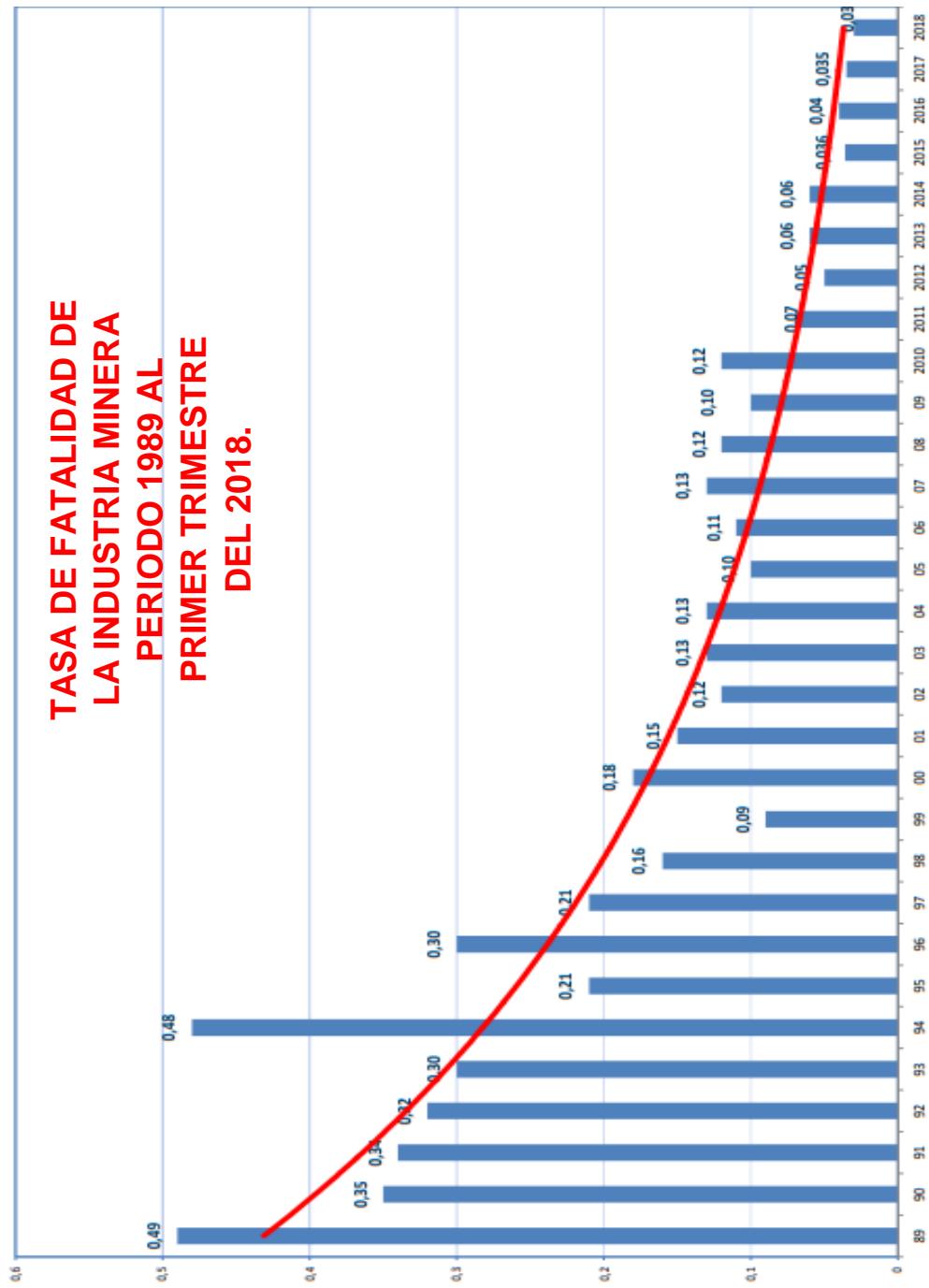


Fuente: Sernageomin, 2018.

#### 4.3. Índice de Mortalidad

Este grafico corresponde a la cantidad de trabajadores fallecidos a causa de accidentes de trabajo en la industria minera, por cada millón de horas por personas trabajadas.

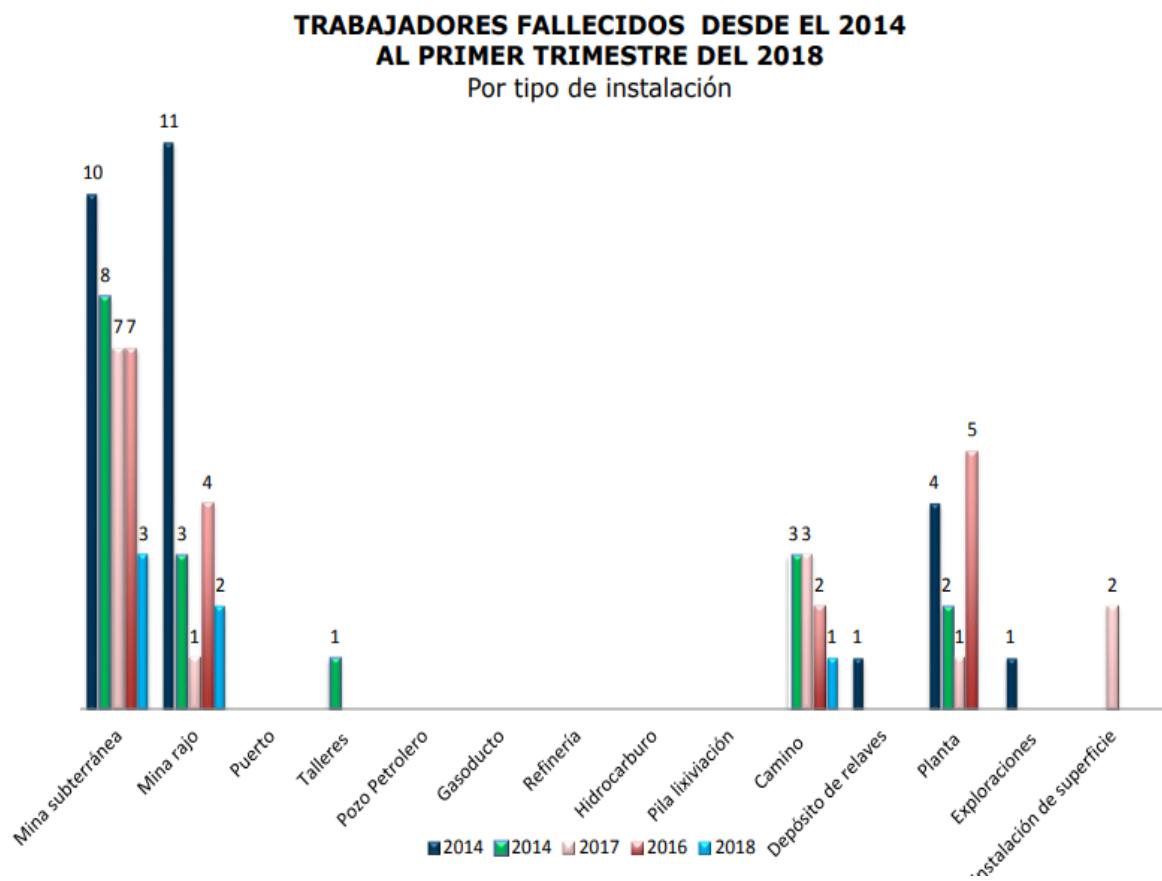
Gráfico 6: Tasa de Fatalidad en Minería al 2018.



Fuente: Sernageomin, 2018.

Este grafico corresponde a los trabajadores fallecidos según el tipo de instalación en donde se encuentren, dentro de la industria minera desde el periodo del 2014 al primer trimestre del 2018 según indica el Sernageomin.

Gráfico 7: Fallecidos por tipo de instalación desde el 2014 al primer trimestre del 2018.



Fuente: Sernageomin, 2018.

## 5. Métodos de explotación más comunes en PM

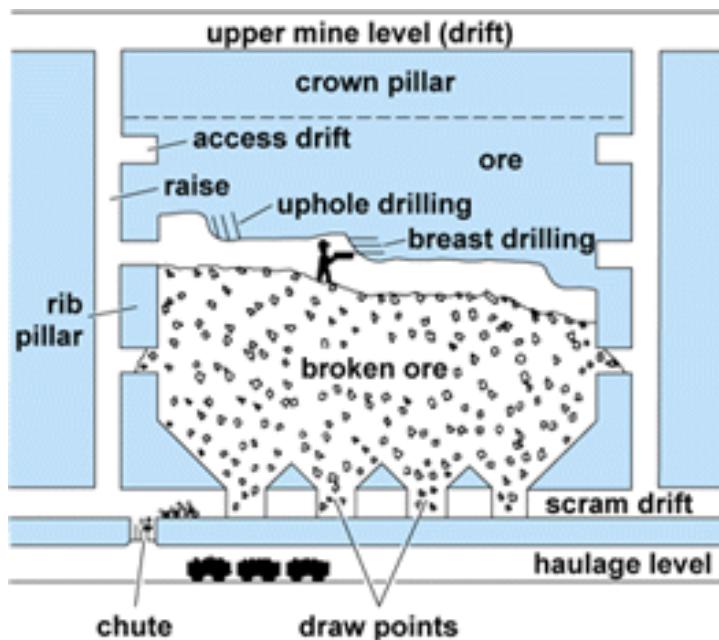
Para empezar a detallar el método de explotación más utilizado primero es importante definirlo, por lo tanto, el método de explotación es la estrategia global que permite la excavación y extracción de un cuerpo mineralizado del modo técnico y económicamente más eficiente.

Por ende, lo más empleado en pequeña minería debido a los bajos recursos, escasez de equipos y conocimiento, son los laboreos en dirección a la veta (estructura vertical) o zona mineralizada.

Sin embargo, también existen labores similares al método de explotación Shrinkage pero que debido a la baja selectividad no se tiene como primera opción al momento del diseño del método a seguir por los pequeños mineros. No obstante, se toman como ejemplo para realizar el desarrollo de las galerías, dentro las cuales se destacan las siguientes:

- Shrinkage: se ataca directamente al mineral en dos niveles extrayendo el 40 % de esponjamiento y el restante se deja para que sirva de piso al acceder a niveles mayores.

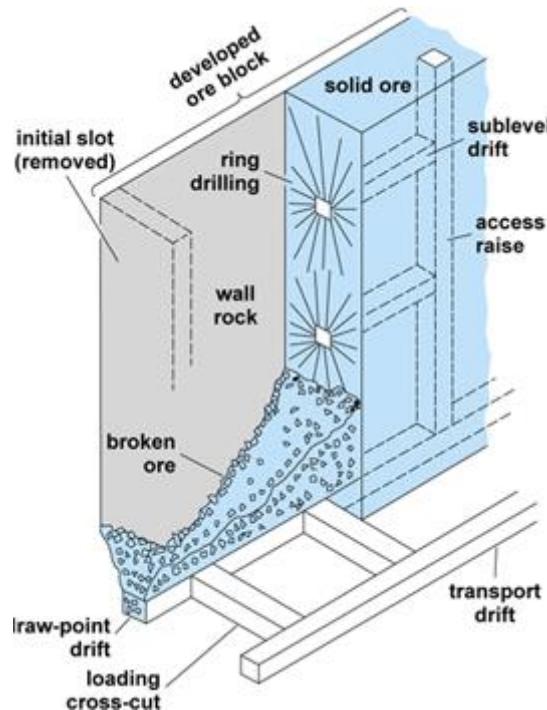
Imagen 1: Método de explotación subterráneo, Shrinkage.



Fuente: Miners Database.

- Sublevel stoping: Es un método en el cual se excava el mineral por tajadas verticales dejando el caserón vacío, por lo general de grandes dimensiones, particularmente en el sentido vertical. El mineral arrancado se recolecta en embudos o zanjas emplazadas en la base del caserón, desde donde se extrae según diferentes modalidades. La expresión “sublevel” hace referencia a las galerías o subniveles a partir de los cuales se realiza la operación de arranque del mineral.

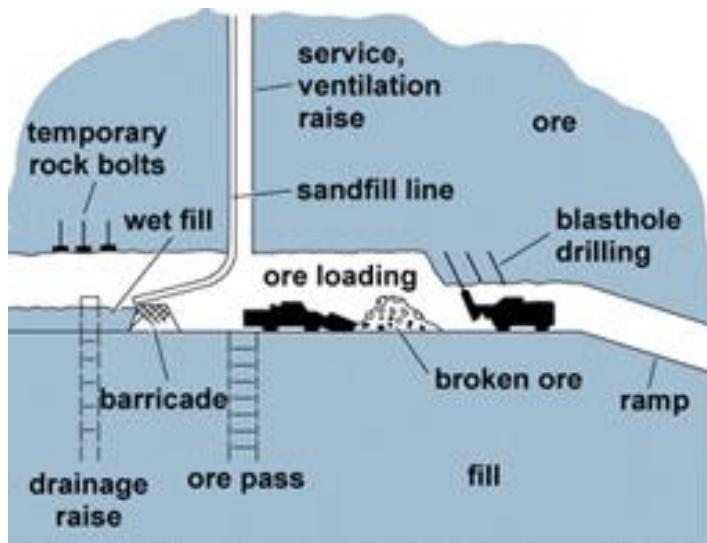
*Imagen 2: Método de explotación subterráneo, Sublevel Stoping.*



*Fuente: Miners Database*

- Cut and fill (oro): Método de explotación por corte y relleno, mayormente ocupado en veta de oro, consiste en arrancar el mineral por franjas horizontales y/o verticales, una vez extraída una franja se rellena con material estéril, el cual sirve de piso de trabajo a los obreros y permite sostener las paredes de la cámara, y en algunos casos especiales el techo.

Imagen 3: Método de explotación subterráneo, Cut and Fill.



Fuente: Miners Database

Es muy difícil encontrar un método que se acomode a las necesidades de los pequeños mineros, por esta razón es que se debe considerar bien los siguientes parámetros:

- Lograr generar un diseño de explotación que se acomode a la forma del cuerpo mineralizado.
- Maximizar la extracción del mineral de interés, minimizando el movimiento de material estéril.
- Poseer la capacidad de desestabilizar y reducir de tamaño las zonas que poseen valor económico (mena) y mantener estables las que actuarán como pilares estructurales del diseño.

De esta manera se logrará desarrollar un modelo estratégicamente rentable para extracción del mineral de interés.

A continuación, se detalla de forma breve el método de explotación empleado en la Pequeña Minería (PM).

Previo al trabajo de extracción, se bota todo el terreno suelto (Acuñadura) y luego se empieza a perforar.

*Imagen 4: Acuñadura manual en MS, previo trabajo de perforación.*



*Fuente: Manual de Acuñadura, ACHS.*

Básicamente, se realiza un seguimiento en la dirección de la veta, y según la formación del cuerpo mineralizado que se puede presentar en forma vertical o sub vertical, los PM están obligados a realizar subniveles para lo cual es necesario una chimenea que la conecte, esta chimenea la abastecen con tornos, rodamientos y cuerdas para la extracción del material a superficie.

*Imagen 5: Veta de Cobre.*



*Fuente: Minera “La Sortuda 3”, Coquimbo, Chile.*

De cierta forma van explotando el mineral sin ningún diseño previamente establecido, esto quiere decir que puede variar según la dirección de la veta.

En la práctica normal se utilizan perforadoras manuales (jack-legs o stopers) y barras integrales. Los tiros pueden ser horizontales (1.6 a 4.0 m) o verticales (1.6 a 2.4 m) con diámetros de 32 a 38 mm.

*Imagen 6: Equipo de perforación neumática manual.*



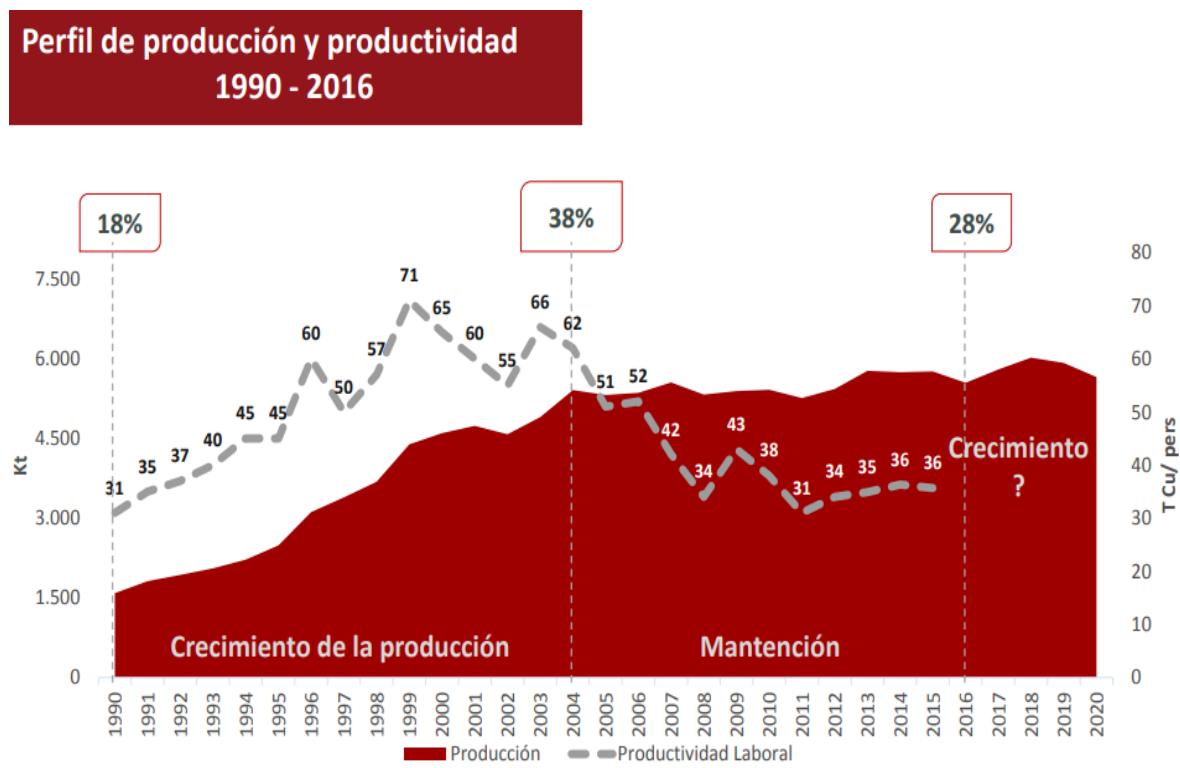
Fuente: STM (Subterránea Maquinaria Minera S.A.), [industriaminera.cl](http://industriaminera.cl).

## 6. Producción y Productividad en PM

Este grafico muestra la evolución de la producción de cobre fino de la pequeña minería en los últimos 5 años, que este ha fluctuado entre las 56,4 a 60 toneladas.

Cabe señalar que la fuerte caída en la productividad laboral se ve afectada por distintos patrones, dentro de estos se encuentran: la disponibilidad efectiva del trabajador, ubicación de la veta mineralizada, entre otros patrones que afecten directamente la productividad de la mina.

Gráfico 8: Perfil de Producción y Productividad en la PM.



Fuente: SONAMI, 2017.

## **7. Sistematización y control**

Sabemos que los incidentes que potencialmente podrían ocurrir en la pequeña minería tienen como fuente los peligros asociados a las condiciones del entorno y a los actos de las personas. Esto significa que las empresas de la pequeña minería deben orientar el control de los accidentes hacia la identificación de las condiciones de la faena, que debería incluir desde las condiciones ambientales (roca suelta, planchoneo), higiénicas (polvo respirable, sílice), hasta las ergonómicas (enfermedades musculoesqueléticas de los miembros superiores).

Sin embargo, lo más complejo es el control de las conductas, pues la informalidad del trabajo implica la carencia de programas de capacitación, nula selección de personal, procesos de inducción incompletos, procedimientos de trabajo inexistentes o que no se cumplen debido a una supervisión orientada a la producción en desmedro de la seguridad.

Por otro lado, existen Guías de Buenas Prácticas Mineras denominados 12 Pasos Seguros para Controlar Accidentes en la Pequeña Minería que las entrega el SONAMI (Sociedad Nacional de Minería), con el propósito de entregar orientaciones y recomendaciones a este sector productivo tendientes a mejorar su gestión de seguridad.

Esta guía, junto con dar a conocer recomendaciones sobre los riesgos de accidentes, establece un Política de Seguridad que persigue, entre otras materias, promover las normas y procedimientos que permitan trabajar en lugares seguros, limpios y ordenados. Pero que lamentablemente no son suficientes en cuanto a entregar materia geomecánica, y por ende falta de control de seguridad en la labor.

## X. DESARROLLO DE UN MODELO DE MECÁNICA DE ROCAS

### 1. Métodos de Medición

#### 1.1. Métodos macroscópicos de reconocimiento de rocas

Este método es imprescindible al momento de realizar trabajos de extracción de minerales y a la vez es simple de usar y económico, ya que solo basta observar el material rocoso y con simples herramientas se puede describir algunas propiedades físicas de las rocas.

Las herramientas necesarias no son muchas y las que se ocupan no tienen un valor elevado. Para realizar este análisis macroscópico se deben ocupar las siguientes herramientas como, por ejemplo; martillo minero o pico minero, brochas y otras herramientas que aporten al análisis.

Utilizando este método se pueden describir aspectos como; textura, color, densidad, dureza, brillo, morfología, fracturamiento, tipos de minerales, entre otros. Los cuales son detallados en la siguiente tabla.

Tabla 3: Descripción de las Rocas.

DESCRIPCIÓN DE LAS ROCAS		
<b>1. Generalidades</b>		
Color	color general	café, amarillo, bicolor blanco - negro, ...
Peso	peso específico	liviano, normal, pesado
Fracturamiento	manera general como se rompe la roca	irregular, regular, laminar, cubico, superficie lisa, áspera
Dureza	dureza general	blando, mediano, duro
<b>2. Textura / Estructura</b>		
2.1. Cristalinidad	tamaño, visibilidad de los cristales (componentes)	Macrocrystalino/Fanerítico Microcrystalino/Afanerítico Criptocrystalino Amorfo

Tamaño absoluto de los granos	tamaño en mm	grano muy grande grano grande grano mediano grano fino compacto
Distribución de los tamaños	todos iguales o existen diferentes diámetros	equigranular heterogranular (textura porfidica) irregular
Forma de los cristales /de los granos	magnitud de la forma original cristalina de los componentes	idiomorfo hipidiomorfo xenomorfo

Magnitud de la cristalización	cristal o vidrio	holocristalino hemicristalino amorfo
<b>3. Componentes de la roca</b>		
Orientación de los componentes.	con o sin orientación preferida	isotropo (sin orientación) anisotropo; estratiforme, fluidal, esquistosa, plegada, compacto.
Ocupación del espacio	porosidad	poroso: pumitica, espumosa, esferolitica.
Límites de los componentes	Análisis del conjunto	Normal, regular, alterado
Tipos de granos	cristales o fragmentos	cristales, fragmentos de minerales, rocas: textura clástica
Minerales	componentes: contenido modal	componente principal componente secundario minerales especiales

Fuente: Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM), 1981.

## 1.2. Calculo de densidad aplicando método de Arquímedes

Es importante primero saber que la densidad es la relación entre la masa de un cuerpo y el volumen de este. En minería se ocupa bastante esta magnitud ya que permite saber dentro de muchos otros parámetros, la dureza de la roca, cantidad de mineral y estéril.

Para efectos de esta investigación se realizará el cálculo de esta magnitud, enfocados en cuerpos irregulares (sin una forma geométrica específica), para ser más específicos se realizará el cálculo de densidad a las rocas de la mina, que esto se puede realizar posterior a la tronadura.

Por ende, para determinar dicho cálculo se aplicará el método de Arquímedes.

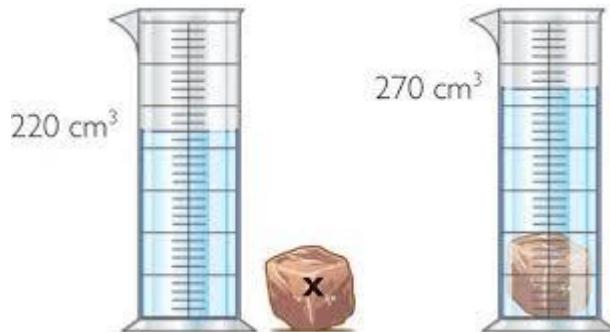
El cual explica que todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje (fuerza) vertical hacia arriba igual al peso del fluido desalojado. Esto demuestra que, al ingresar un cuerpo irregular, con masa conocida, a un recipiente con agua (con el volumen y densidad conocidos) se obtiene la magnitud de densidad del cuerpo.

Normalmente, medimos el volumen de los líquidos en milímetros (mL) y el volumen de los sólidos en centímetros cúbicos ( $\text{cm}^3$ ), por ende, son unidades equivalentes:

$$1 \text{ mL} = 1\text{cm}^3$$

Por lo tanto, para medir el volumen de las rocas se utiliza el  $\text{cm}^3$  y para considerar el peso de estos se ocuparán los gramos, con el fin de terminar el cálculo de la densidad en una unidad conocida internacionalmente.

*Imagen 7: Determinación de la densidad de un sólido irregular.*



*Fuente: IES “ANTONIO CALVÍN”.*

### *1.3. Esclerómetro o Martillo Schmidt*

Se presentan en este documento las características, principios de funcionamiento y procedimiento de utilización del Martillo Schmidt (Esclerómetro) según la Norma ASTM D5873-05 y las recomendaciones de la ISRM (1978c) y su versión revisada (Aydin, 2009), para estimar en el campo o en laboratorio la resistencia a compresión simple de la roca ensayada a partir de la medida de rebote proporcionado por el martillo.

Ideado en un principio para estimar la resistencia a compresión simple del concreto, el martillo de Schmidt se ha modificado convenientemente dando lugar a varios modelos, alguno de los cuales resulta apropiado para estimar la resistencia a compresión simple de la roca (RCS).

Su uso es muy frecuente dada la manejabilidad del aparato, pudiendo aplicarse sobre roca matriz y sobre las discontinuidades (resistencia de los labios).

El ensayo consiste en medir la resistencia al rebote de la superficie de la roca ensayada.

La medida del rebote se correlaciona con la resistencia a compresión simple mediante un gráfico debido a Miller (1965) que contempla la densidad de la roca y la orientación del martillo respecto del plano ensayado.

#### *1.3.1. Tipos de Martillo*

En la práctica común se utilizan dos tipos de martillo, el tipo L con una energía de impacto de 0.735 N.m y el tipo N con una energía de impacto de 2.207 N.m. Los rebotes medidos con estos martillos se denotan con los símbolos RL y RN, respectivamente.

Ambos martillos proporcionan buenos resultados para valores de compresión simple de la roca o la discontinuidad ensayada dentro del rango 20-150 MPa.

Previamente al año 2009, ISRM recomendaba únicamente el martillo de tipo L; ahora los dos están permitidos (Aydin 2009). El martillo tipo N se usaba mayoritariamente para concreto. Sin embargo, es menos sensible a las irregularidades de la superficie ensayada y sería por tanto preferible para la realización de ensayos de campo. La norma ASTM no especifica el tipo de martillo.

Ayday y Göktan (1992) obtuvieron, de acuerdo con el procedimiento de toma de datos sugerida por la recomendación ISRM (1978c), la siguiente correlación empírica entre los números de rebotes de ambos martillos:

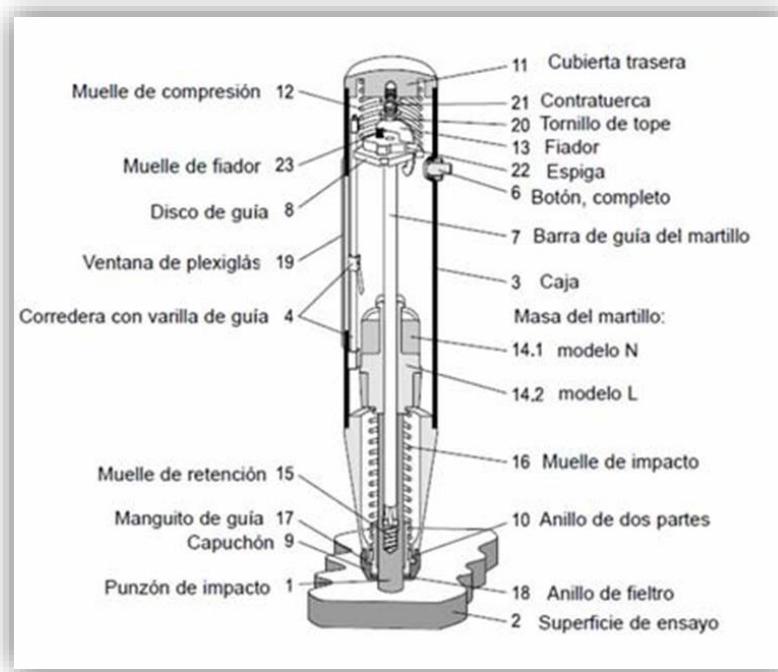
$$RN = 7.124 + 1.249 RL \quad (r^2 = 0.882)$$

siendo RN y RL el número de rebotes proporcionado por un martillo tipo N y L, respectivamente; y  $r^2$ , el coeficiente de determinación lineal.

### 1.3.2. Descripción y principio de funcionamiento

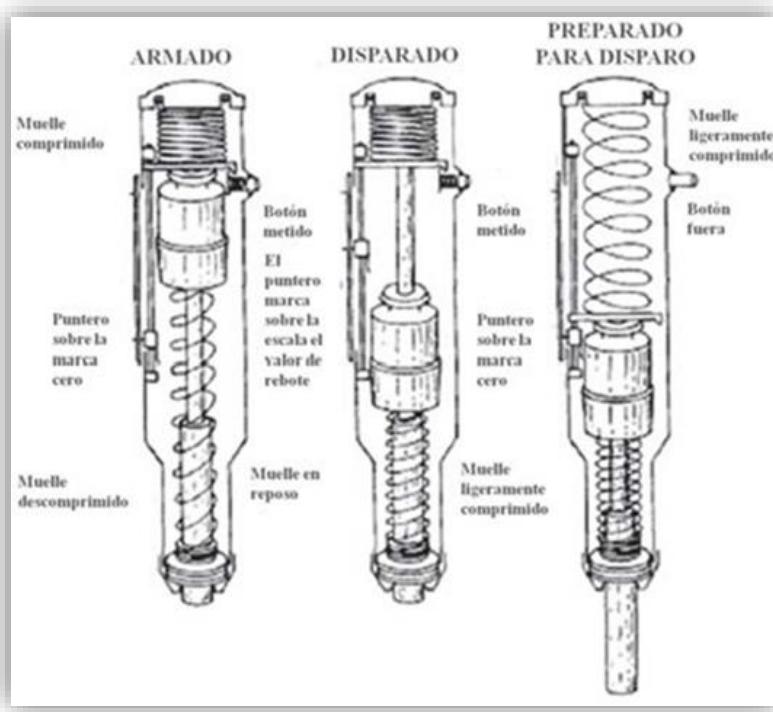
El martillo de Schmidt (*Imagen 8*) es un dispositivo mecánico usado para realizar ensayos no destructivos en materiales como el concreto o roca.

*Imagen 8: Sección longitudinal a través del martillo mostrando sus componentes.*



Fuente: Norma ASTM D5873-05.

*Imagen 9: Principio de funcionamiento del martillo.*



*Fuente: Norma ASTM D5873-05.*

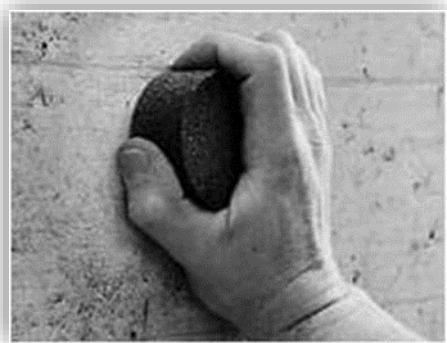
Consiste básicamente en un vástago que lleva conectado un muelle. Se coloca el vástago sobre la roca y se introduce en el martillo empujándolo contra la roca, lo que da lugar a que se almacene energía en el muelle que se libera automáticamente cuando esa energía elástica alcanza un cierto nivel y lanza una masa contra el vástago. La altura que alcanza esta masa al rebotar, que se mide en una escala graduada de 0 a 100, es directamente proporcional a la dureza y por tanto a la resistencia a compresión simple de la superficie de la roca (*Imagen 9*).

#### *1.3.3. Procedimiento de medida*

El martillo únicamente se debe usar en las superficies de los materiales a ensayar y en el yunque de prueba.

En el caso de ensayos *in situ*, el desarrollo del ensayo consiste en una preparación de las zonas elegidas, eliminando la pátina de roca meteorizada. Para alisar la superficie de ensayo se utiliza una piedra de amolar (*Imagen 10*).

*Imagen 10: Preparación de la superficie de ensayo.*

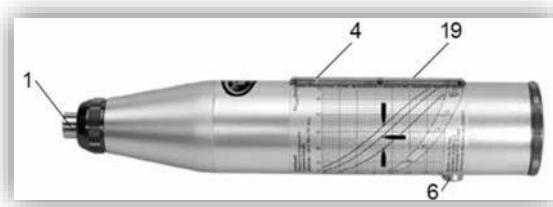


*Fuente: Norma ASTM D5873-05.*

Para la ejecución del ensayo, se realizan los siguientes pasos:

- Posicionar el martillo perpendicularmente a la superficie de la roca ensayada.
- Disparar el vástago o punzón de impacto [1] empujando el martillo hacia la superficie de ensayo hasta que el botón [6] salte hacia fuera (*Imagen 11*).
- Pulsar el botón para bloquear el vástago de impacto después de cada impacto.
- A continuación, leer y anotar el valor de rebote indicado por el puntero [4] en la escala [19].

*Imagen 11:Ejecución del ensayo.*



*Fuente: Norma ASTM D5873-05.*

Para la realización de ensayos sobre testigos de roca obtenidas en la perforación de sondeos se utiliza una base especial de acero (*Imagen 7*), de 20 kg de peso para los ensayos con martillo tipo L, sobre la que se apoya la probeta de roca cilíndrica de diámetro mínimo 54 mm (NX) y longitud superior a 100 mm (ISRM).

Para los ensayos con martillo tipo N, ISRM sugiere un diámetro igual o superior a 84 mm (T2) y que la base tenga un peso de 40 kg.

Para calibrar el martillo se utiliza un yunque de prueba. Se recomienda realizar esta prueba de funcionamiento cada vez que se utilice el dispositivo. Si no se dispone del

yunque de prueba se recomienda enviarlo al fabricante para su chequeo después de realizar 1000 impactos o cada 3 meses.

*Imagen 12: Soporte para testigos de roca.*



*Fuente: Norma ASTM D5873-05.*

Para la ejecución de la prueba de funcionamiento se deben realizar los siguientes pasos:

- Colocar el yunque de prueba (*Imagen 12*) en una superficie dura y lisa.
- Limpiar las superficies de contacto del yunque y del vástago de impacto.
- Ejecutar 10 impactos con el martillo y comprobar los resultados comparándolos con el valor de calibración especificado en el yunque de prueba.

*Imagen 13: Yunque de prueba o calibración.*



*Fuente: Norma ASTM D5873-05.*

El factor de corrección (FC) se debe aplicar a todas las lecturas obtenidas en los ensayos y se calcula como:

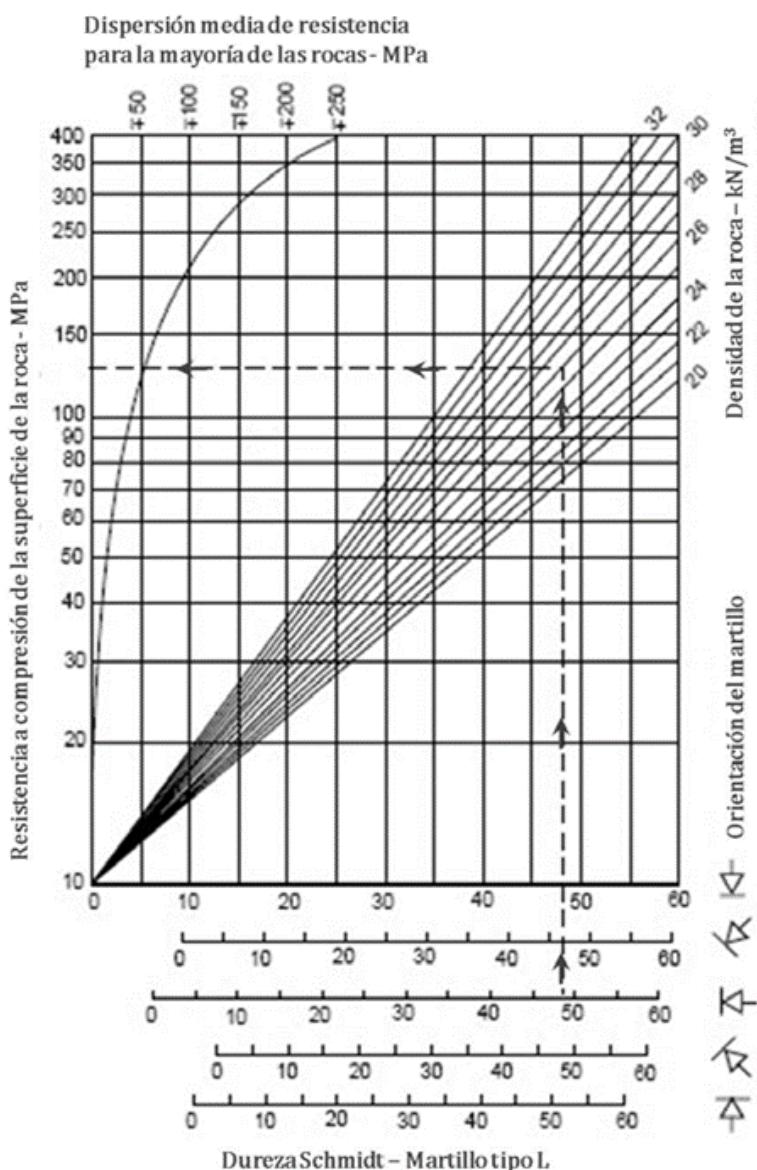
$$FC = \frac{\text{Valor de calibración del yunque de prueba}}{\text{Promedio de los diez impactos sobre el yunque}}$$

De esta manera se tiene en cuenta la pérdida de rigidez del muelle del martillo con el paso del tiempo.

Mediante el martillo de Schmidt, o esclerómetro, se puede, por tanto, estimar la resistencia a compresión simple de la roca a partir de la resistencia al rebote de la superficie de roca ensayada. Como se ha comentado anteriormente, esta superficie deberá estar fresca y limpia, sin ningún signo de alteración ni fracturas.

Esta medida del rebote se correlaciona con la resistencia mediante el gráfico de Miller (*Grafico 9*) que tiene en cuenta la densidad de la roca y la orientación del martillo respecto al plano de roca ensayado.

Gráfico 9: Correlación de Resistencia a compresión, densidad y rebote del esclerómetro.



Fuente: Miller, 1965.

El valor estimado a partir del martillo de Schmidt debe ser obtenido estadísticamente, de tal manera que sea un valor representativo.

ISRM recomienda tomar 20 lecturas en diferentes zonas con la opción de parar cuando alguna de las lecturas siguientes a las diez primeras difiera de la inmediatamente anterior un máximo de 4 golpes. La norma ASTM recomienda tomar 10 lecturas.

ISRM (1978c) sugiere utilizar el promedio de las diez lecturas con valores más altos. La ASTM recomienda descartar las lecturas que difieran más de 7 golpes del promedio y después promediar las restantes. La ISRM revisada sugiere no descartar ninguna lectura y presentar los valores obtenidos mediante un histograma de frecuencias que incluya el promedio, mediana, moda y el rango.

Con el valor medio obtenido y conociendo la densidad de la roca se entra en el gráfico de Miller, obteniéndose el valor de resistencia a compresión para el material ensayado.

Con los valores obtenidos se puede clasificar la roca por su resistencia (*Tabla 4*).

*Tabla 4: Clasificación de la Resistencia*

Descripción	Resistencia a la compresión
<b>Extremadamente blanda</b>	< 1 MPa
<b>Muy blanda</b>	1 – 5 MPa
<b>Blanda</b>	5 – 25 MPa
<b>Moderadamente blanda</b>	25 – 50 MPa
<b>Dura</b>	50 – 100 MPa
<b>Muy dura</b>	100 – 250 MPa
<b>Extremadamente dura</b>	>250 MPa

*Fuente: Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, ISRM.*

La siguiente tabla (*Tabla 5*) muestra valores típicos medidos en diferentes tipos de roca con un martillo Schmidt tipo L.

*Tabla 5: Valores típicos de numero de rebotes medidos con martillo tipo L para diferentes rocas.*

Tipo de Roca	RL
<b>Andesita</b>	28 – 52
<b>Arenisca</b>	30 – 47
<b>Basalto</b>	35 – 58
<b>Caliza</b>	16 – 59
<b>Creta</b>	10 – 29
<b>Cuarcita</b>	39
<b>Diabasa</b>	36 – 59
<b>Dolomía</b>	40 – 60
<b>Esquisto</b>	29 – 41
<b>Gabro</b>	49
<b>Gneiss</b>	48
<b>Granito</b>	45 – 56
<b>Limonita</b>	47
<b>Lutita</b>	15
<b>Marga</b>	18 – 39
<b>Mármol</b>	31 – 47
<b>Peridotita</b>	45
<b>Prasinita</b>	41
<b>Sal</b>	23
<b>Serpentinita</b>	45
<b>Toba</b>	13 – 40
<b>Yeso</b>	30 – 44

Igualmente, mediante la aplicación del martillo de Schmidt tipo L sobre una discontinuidad se puede obtener la resistencia a compresión simple de los labios de la discontinuidad (JCS).

En este caso, se indicará expresamente que son valores de resistencia medidos sobre la superficie de la discontinuidad.

En general, el valor de JCS que se obtenga para una determinada discontinuidad deberá ser inferior a la resistencia a compresión simple de la roca sana, de forma que en general se podrá estimar JCS como la resistencia a compresión simple del material sano dividida entre una constante que se aproximará a 2.5 para rocas densas, a 5 para rocas intermedias y que llegará a 10 para el caso de rocas porosas.

#### *1.3.4. Ejemplo de cálculo de Resistencia de la roca (MPa)*

Utilizando el martillo Schmidt se determina la dureza de la roca, ya sea en el laboratorio o en terreno.

El procedimiento se basa principalmente en seguir una serie pasos de calibración del martillo, cálculos de promedios y datos alejados a la media establecida como se muestran a continuación:

- 1) Se realiza 10 ensayos con el martillo sobre el yunque calibrador, como lo muestra la (*Imagen 14*), promediando las 10 medidas y dividiendo el resultado por 70 para obtener el Factor de Corrección.

*Imagen 14: Procedimiento de calibración del Martillo Schmidt.*



*Fuente: Elaboración propia, 2016.*

*Tabla 6: Medidas de calibración.*

1º	70	6º	80
2º	72	7º	72
3º	80	8º	79
4º	73	9º	82
5º	72	10º	72

*Fuente: Elaboración propia.*

Ejemplo:

$$\text{Promedio} = \frac{70+72+80+73+72+80+72+79+82+72}{10} = 75,2$$

$$\text{Factor de Corrección} = \frac{\text{Promedio}}{70} = \frac{75,2}{70} = 1,074285714 = 1,07$$

- 2) Luego, marcar 10 puntos equidistantes sobre la muestra o superficie que se desee ensayar y realizar los impactos correspondientes.

*Tabla 7: 10 puntos equidistantes sobre la muestra.*

1º	50	6º	41
2º	43	7º	32
3º	33	8º	50
4º	53	9º	44
5º	43	10º	32

*Fuente: Elaboración propia.*

- 3) Se promedian los resultados y se descartan todos los que se alejen del promedio por más de 7 unidades.

$$\text{Promedio} = \frac{50+43+33+53+43+41+32+50+44+32}{10} = \frac{421}{10} = 42,1$$

Tabla 8: Descarte de puntos alejados del promedio.

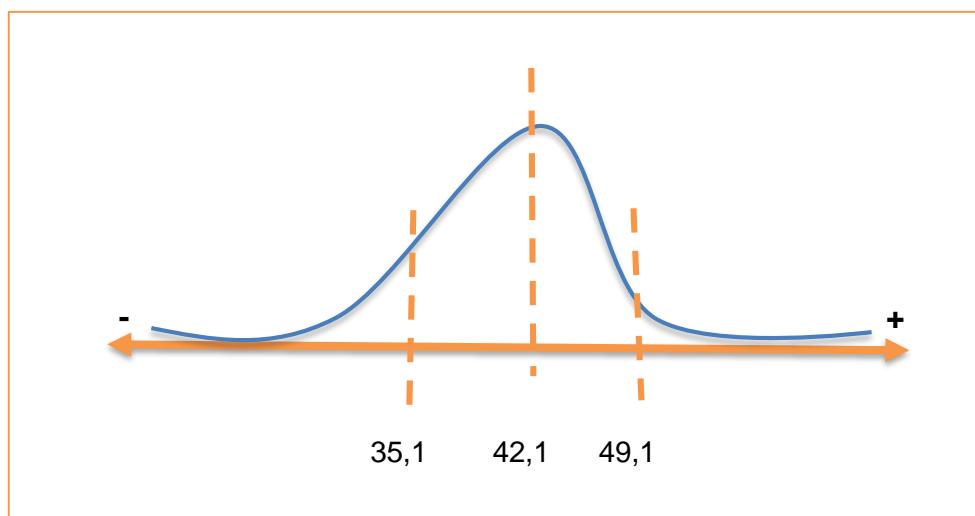
1º	<del>52</del>	6º	41
2º	43	7º	<del>50</del>
3º	<del>52</del>	8º	<del>50</del>
4º	<del>52</del>	9º	44
5º	43	10º	<del>50</del>

Fuente: Elaboración propia.

Entonces:

Se realiza el descarte de los datos alejados utilizando el método de la Campana de Gauss:

Gráfico 10: Campana de Gauss, descarte de valores alejados.



Fuente: Elaboración propia.

Valores obtenidos:

Tabla 9: Valores obtenidos de la Campana de Gauss.

1º	43
2º	43
3º	41
4º	44

Fuente: Elaboración propia.

- 4) Posteriormente se multiplican los resultados restantes por el Factor de Corrección y se promedian, este será el Factor Hr o Dureza de Rebote de la muestra.

Factor de Corrección = 1,07

*Tabla 10: Factor Hr o Dureza de Rebote de la muestra.*

<b>1º</b>	46,01
<b>2º</b>	46,01
<b>3º</b>	43,87
<b>4º</b>	47,08

*Fuente: Elaboración propia.*

$$\text{Promedio} = \frac{46,01+46,01+43,87+47,08}{4} = \frac{182,97}{4} = 45,7425 = 45,7$$

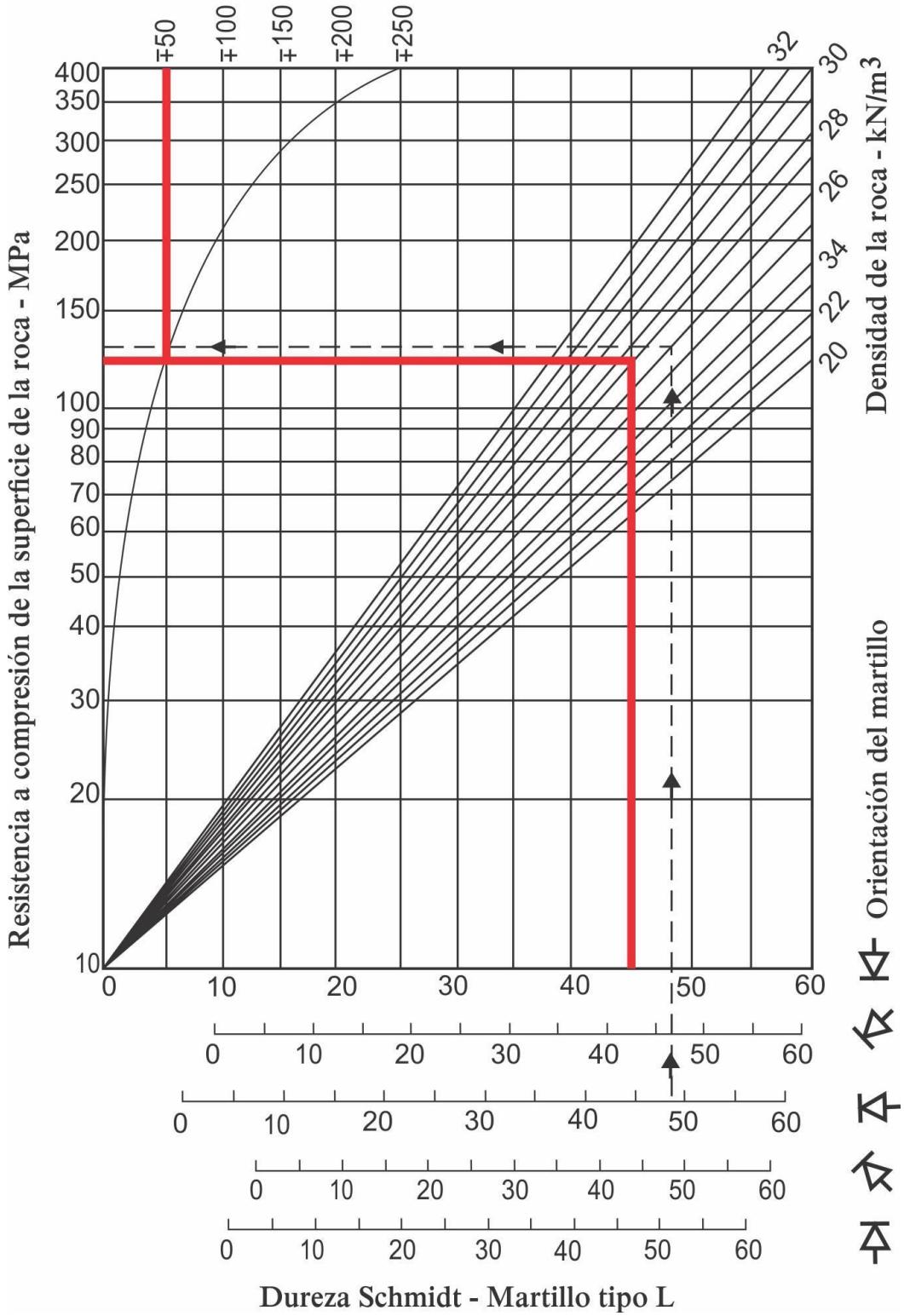
Entonces, el promedio corresponde al Factor Hr o Dureza de Rebote de la muestra que en este caso dio un valor de 45,7.

- 5) Por último, al observar el grafico de Miller se verifica en qué dirección se ocupa el martillo de Schmidt, en esta ocasión se ocupó en dirección vertical descendente.

Posteriormente se ubica el promedio del Factor Hr o Dureza de Rebote de la roca que en este caso es 45,7 en la Orientación del martillo, y de ese punto se traza una línea vertical ascendente en el gráfico y se observa al lado derecho donde se encuentra la Densidad de la roca que en este caso es 27 KN/m<sup>3</sup> o 2,7 g/cm<sup>3</sup>, se debe seguir la línea hasta topar la línea vertical ascendente que se había realizado anteriormente (línea de la Orientación del martillo) al encontrar el punto de intersección de ambas líneas se hace una en dirección a Resistencia a compresión de la superficie de la roca-MPa que está al lado izquierdo del gráfico y el resultado nos da 125 mega pascales. Nuevamente se hace otra línea hacia la Dispersión media de resistencia para la mayoría de las rocas-MPa ubicada en la parte superior, esta línea debe comenzar donde topa con la curva, y se identifica el margen de resistencia que en este caso fue más 50 y menos 50.

Gráfico 11: Ubicación de los datos obtenidos, Grafico de Miller.

Dispersión media de resistencia  
para la mayoría de las rocas-MPa



Fuente: Adaptación propia.

#### 1.4. Velocidad de penetración de perforador manual

Utilizando la variable de la velocidad de penetración o velocidad de corte se puede mediante una formula empírica llegar a la obtención de las RPM del equipo perforador manual. Esto es importante ya que existe una tabla donde se muestran los parámetros de calidad de la roca según la Velocidad de Rotación en RPM.

La velocidad de penetración o de corte, se puede medir fácilmente en terreno calculando el tiempo de avance de la perforación y esta puede estar expresada en m/s, m/min o m/hora. Pero para efectos de este cálculo se utilizará la unidad en metros/minutos.

Además, se sabe que la velocidad con que se penetra la roca (perforación) depende de muchos factores externos, por ejemplo, factores geológicos; tales como las propiedades físicas de la roca y la resistencia a la compresión.

Entonces calculando este tiempo de perforación de la roca, se puede calcular la resistencia que tiene y por ende se puede deducir el tipo de roca que esté presente en el yacimiento.

Formula empírica para calcular la revolución por minuto del equipo de perforación:

$$\text{RPM} = \frac{Vc \cdot 1000}{D \cdot \pi}$$

Donde:

Vc: Velocidad de corte [metros/min]

D: diámetro del taladro [metros]

Tabla 11: Velocidad de Rotación según el tipo de roca [MPa].

TIPO DE ROCA	VELOCIDAD DE ROTACION (RPM)
BLANDA	75 – 160
MEDIA	60 – 80
DURA	35 - 70

#### *1.4.1. Resistencia a la compresión (SC):*

A su vez, estas variables dependen de un factor externo al sistema: la dureza o resistencia de la roca.

En el caso de la perforación rotativa, la evidencia empírica indica, tanto a partir de las investigaciones a nivel de ensayos como de lo observado en la práctica, que existe una buena correlación entre la Resistencia a la Compresión de la roca y la velocidad de penetración.

Esta conclusión resulta conceptualmente coherente, atendiendo a la forma como se aplica la energía a la roca y su consiguiente ruptura originada principalmente por un proceso de indentación.

No existe una clasificación universalmente aceptada de las rocas en función de su resistencia a compresión (Sc). En la literatura técnica sobre el tema se encuentran diversas proposiciones. Algunas muy simples, que sólo diferencian entre rocas blandas, medianas y duras. Otras más sofisticadas, incluyen hasta seis o siete categorías.

Haciendo una síntesis, para los efectos del análisis que sigue, se adoptará la clasificación que se enuncia en la tabla.

*Tabla 12: Escala de Resistencia a la Compresión según el tipo de roca [MPa].*

TIPO DE ROCA	Sc (MPa)
Muy blandas	< 40
Blandas	40 – 80
Medianas	80 – 120
Duras	120 - 200

*Tabla 13: Clasificación de las rocas con respecto a su resistencia a la compresión.*

Resistencia en MPa	Condición	Descripción
<b>5 – 20</b>	Muy débil	Sedimentarias alteradas y débilmente compactadas.
<b>20 – 40</b>	Débil	Sedimentarias y esquistos débilmente cementados.
<b>40 – 80</b>	Resistencia media	Sedimentarias competentes; y rocas ígneas cuarzosas de densidad un poco baja.
<b>80 – 160</b>	Resistencia alta	Ígneas competentes, metamórficas; y algunas areniscas de grano fino.
<b>160 – 320</b>	Resistencia muy alta	Cuarcitas; rocas ígneas densas de grano fino.

*Fuente: Manual de diseño de obras civiles, B.3.4, México, Comisión Federal de Electricidad, 1979.*

#### 1.4.2. Fuerza de empuje y diámetro de perforación

La fuerza de empuje que es necesario aplicar aumenta directamente con la dureza de la roca, y debe alcanzar una magnitud suficiente para sobrepasar su resistencia a la compresión. Por otra parte, esta fuerza no puede exceder un determinado valor límite, para evitar daños prematuros en la cabeza de perforación. En formaciones rocosas duras o muy duras, una fuerza excesiva conduce a la incrustación de la cabeza y consecuente destrucción, lo que significa el término de la vida útil de la herramienta.

A su vez, a mayor diámetro de perforación, más grande es la cabeza de la barrena y por consiguiente mayor la superficie a perforar por lo que ofrecerá mayor resistencia. En suma, la fuerza de empuje es función de dos variables: la dureza de la roca y el diámetro de perforación.

Por tanto, está acotada entre un valor máximo y mínimo y durante la perforación depende de la habilidad del maquinista del equipo para saber ir ajustando según el tipo de terreno.

Según la dureza de la roca, la fuerza de empuje mínima necesaria para vencer su resistencia a la compresión, está dada por la siguiente fórmula empírica:

$$F_{\min} = 28,5 \cdot S_c \cdot \phi \quad [\text{lbp}]$$

Donde:

- $S_c$ : Resistencia a la compresión de la roca (MPA)
- $\phi$ : Diámetro de perforación (pulgadas)

La fuerza de empuje se acostumbra a expresar en libras-peso (lbp) por unidad de diámetro del trépano, expresado en pulgadas ( $\phi''$ ). En la tabla siguiente se comparan los valores mínimos que resultan de aplicar la fórmula anterior con los valores observados en la práctica minera según la dureza de la roca.

Tabla 14: Fuerza de empuje mínima según el tipo de roca.

TIPO DE ROCA	$S_c$ [Kgp/cm <sup>2</sup> ]	$F'_{\min}$ [lbp/'' de $\phi$ ]	$F'_{\text{práct}}$ [lbp/'' de $\phi$ ]
Muy blandas	< 400	< 1150	< 1500
Blandas	400 – 800	1150 – 2300	1500 – 3000
Medianas	800 – 1200	2300 – 3400	3000 – 5000
Duras	1200 – 2000	3400 – 5700	5000 – 7000
Muy duras	>2000	>5700	>7000

### *1.5. Matriz de Identificación de Dureza de la Roca*

En base a los estudios realizados y la recolección de información, se optó por desarrollar una matriz con el fin de simplificar la toma de decisiones en cuanto a la identificaron de un cuerpo rocoso.

Esta matriz cuenta con parámetros de escala de dureza, velocidad de corte o penetración, Resistencia a la compresión, Fuerza de empuje y otros parámetros de medición que se explicaron anteriormente.

Pero que en resumen ayudan al trabajador minero a identificar el macizo rocoso en base a escalas de dureza, resistencias, tiempos de penetración y otros, que estos ayudan a la toma de decisiones en caso de requerir algún tipo de fortificación en el sector.

Además, cabe destacar que se realizó en base a parámetros ya establecidos por fuentes confiables, como es el caso de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) y Manuales de Diseño de Obras Civiles (Méjico, 1979).

Tabla 15: Matriz de Identificación de Dureza de la Roca.

MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE DUREZA DE LA ROCA						
ESCALA DE DUREZA DE LA ROCA	Diametro de la barra de perforación	Velocidad de penetración o de corte	Velocidad de rotación de la perforadora	Resistencia a la compresión	Fuerza de Empuje	Clasificación tipo de Roca perteneciente
	$\varnothing$ [mm]	Vc [mm/min]	RPM	Sc [Mpa]	Fmin [lbp"]	Fpráct [lbp"]
Muy débil	20 - 45 mm	< 21,45 mm/min	< 200 RPM	< 5 MPa	< 400	< 1150
Debil	20 - 45 mm	7,66 - 16,34 mm/min	75 - 160 RPM	5 - 25 MPa	400 - 800	1150 - 3000
Resistencia Media	20 - 45 mm	6,13 - 8,17 mm/min	60 - 80 RPM	25 - 50 MPa	800 - 1200	3000 - 5000
Dura	20 - 45 mm	3,57 - 7,15 mm/min	35 - 70 RPM	50 - 100 MPa	1200 - 2000	5000 - 7000
Muy dura	20 - 45 mm	> 3,32 mm/min	> 32 RPM	> 250 Mpa	> 2000	> 7000

Fuente: Elaboración propia.

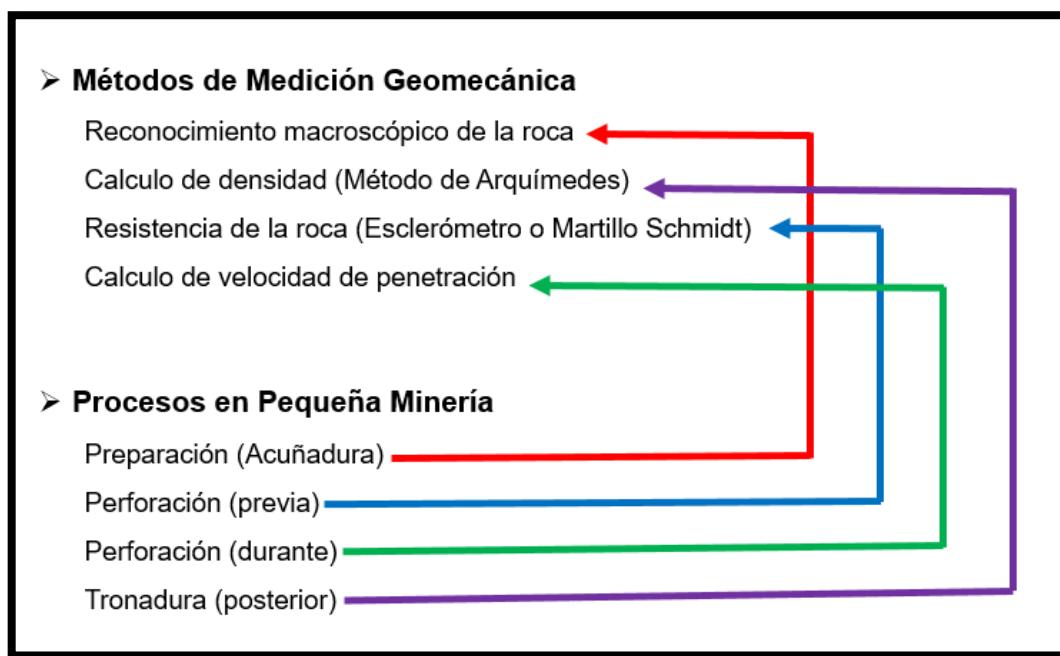
## 1.6. Matriz de Operaciones Unitarias v/s Técnicas Geomecánicas a Aplicar

Para efectos de la investigación se decidió dar ubicación a cada método de medición geomecánico descrito previamente, con la finalidad de facilitar el manejo de estos y la toma de decisiones oportuna ante cualquier situación.

Por lo cual el grafico que se muestra a continuación tiene relación entre los métodos de medición y las operaciones que se realizan en una labor minera.

Además, este grafico nos sirvió de apoyo para la elaboración de la matriz.

Grafico 12: Relación entre los métodos de medición geomecánicos y las operaciones en PM.



Fuente: Elaboración propia.

En base a los estudios realizados se optó por desarrollar esta matriz, donde se explica los pasos a seguir para controlar los procesos en la pequeña minería desde el punto de vista de la seguridad operacional y mejora constante de la producción.

Tabla 16: Matriz de Operaciones Unitarias v/s Técnicas Geomecánicas a Aplicar.

METODOS DE MEDICIÓN		OPERACIONES UNITARIAS									
		RECONOCIMIENTO		DESEARROLLO Y PREPARACIÓN		PERFORACIÓN		TRONADURA		ACUÑADURA	
		Macroscopía de Rx	Mx	X	X	X	X	X	X	CARGUJO	TRANSPORTE
Determinación densidad	Roca Host(Huesped o Caja)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Determinación de la litología (Visual/Geológica)		X									
Determinación de calidad de Rx (Ábacos)		X	X								
Mapeo Geominero		X									
Levantamiento Topo/Brujula		X	X								
Reconocimiento Martillo Minero		X	X								
Velocidad Neta de Perforación				X							
Flujómetro					X						
Manómetro						X					
Velocímetro							X				
Esclerómetro (Martillo Schmidt)								X			
Mediante laboratorio	Propiedades de la Rx(Rt y Rc)							X			
	Blastability (Rt/RC)							X			
	Over Burden/Barrenos							X			
	Granulometria/Foto							X			
	Identificación fallas principales/Madera							X			
	Drenaje y/o Presencia de agua (Pº de poros)								X		

Fuente: Elaboración propia.

Esta matriz permite al trabajador minero tomar decisiones en base a la etapa del proyecto en la que se encuentra, debido a que esta consta de información organizada como también sistematizada en columnas horizontales y verticales concentrando y relacionando la información que es obtenida a partir de parámetros junto con criterios considerados como los más imprescindibles dentro de las operaciones.

Esto quiere decir que, la información está relacionada con los criterios geomecánicos descritos anteriormente, también de procesos operativos en pequeña minería, siendo de mucha ayuda ya que entrega información que se puede entender fácilmente, y esto genera un rápido manejo de este recurso, mejorando los procesos en cuanto seguridad como también en productividad de la faena.

### 1.7. Costos de los métodos de medición

Estos costos de adquisición están asociados a los equipos y herramientas empleados en los métodos de medición, además se consideró que no se incluirá en estos costos la mano de obra, ya que son ejercicios prácticos que un trabajador la puede realizar.

Claro está que debería saberse perfectamente los pasos a seguir de cada procedimiento, de la mano de un buen análisis de los resultados y toma de buenas decisiones.

- Reconocimiento macroscópico de la roca:

Herramientas	Precios (CLP)
<b>Martillo Minero o Pico</b>	25.9900 – 31.800
<b>Minero</b>	
<b>Cincel</b>	3.000 – 5.000
<b>Brocha</b>	2.000 – 4.000

- Esclerómetro o Martillo Schmidt:

Equipos	Precios (CLP)
<b>Esclerómetro</b>	400.000 – 1.200.000
<b>Yunque Calibrador</b>	60.000 – 150.000

- Velocidad de penetración:

Herramientas	Precios (CLP)
<b>Calculadora</b>	3.000 – 15.000
<b>Cronometro</b>	2.000 – 8.000
<b>Libreta de Notas</b>	1.000 – 3.500

- Calculo de densidad mediante el método de Arquímedes:

Herramientas	Precios (CLP)
<b>Jarra Graduada (1 litro = 1000 mL)</b>	1.000 – 2.500
<b>Balanza digital</b>	5.000 – 15.000
<b>Calculadora</b>	3.000 – 15.000

## **2. Drivers**

Datos que el operador tiene que tener en consideración al momento de utilizar los métodos de medición que se detallaron anteriormente.

La velocidad de penetración o velocidad de avance depende de la dureza de la roca. Por lo tanto, es preciso caracterizar la dureza de la roca para los efectos del proceso que aquí se analiza. En una primera aproximación, parece obvio caracterizar la dureza de la roca por sus propiedades físico-mecánicas, tales como densidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, módulos elásticos u otras.

- Dureza: La dureza es la oposición que ofrecen los materiales a alteraciones físicas como la penetración, la abrasión y el rayado
  - ✓ Es importante conocer la dureza de la roca con la que se trabajara para elegir los equipos adecuados esto debido a que entre más dura sea la roca más desgastara los equipos al momento de trabajar,
  - ✓ Saber los tiempos que demoraremos en hacer un trabajo
  - ✓ Para saber los costos.
- Densidad: Es la acumulación de gran cantidad de elementos en un espacio determinado o cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia.
  - ✓ Nos sirve para saber la cantidad de masa de un lugar.
  - ✓ Para determinar la cantidad de equipos para sacar el material.
  - ✓ Para saber el peso de alguna sustancia.
- Calidad de la roca: tiene por objetivo caracterizar un determinado macizo rocoso en función de una serie de parámetros a los que se les asigna un determinado valor.
  - ✓ Se puede conocer la dureza de la roca.
  - ✓ Darle un sostenimiento adecuado a la obra.
- Resistencia a la tracción y compresión.
  - Resistencia a la tracción: Máximo esfuerzo que un cuerpo puede soportar antes de romperse.
  - La resistencia a la compresión: Es la carga o peso por unidad de área, a que el material se rompe (Falla), por fracturación por cizalle o extensional.

### 3. Criterio del Diseño

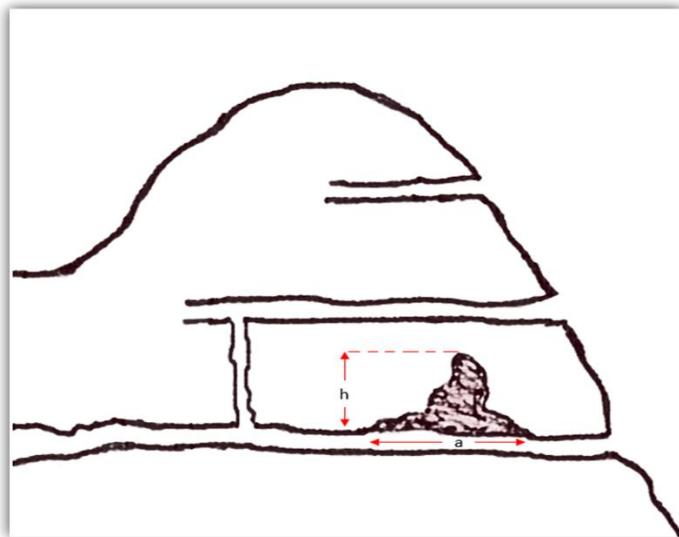
Los depósitos raramente se ajustan exactamente a las características ideales de aplicación de alguno de los métodos de explotación (Shrinkage y sublevel Stoping).

Las consideraciones que se deben tener en cuenta y que se consideran como los criterios de selección de cualquier método de explotación son los siguientes:

- Tamaño (alto, ancho o espesor)
- Forma (tabular, lenticular, masivo, irregular)
- Disposición (inclinado, manteo)
- Profundidad (media, extremos, razón de sobrecarga)

Sin embargo, en la pequeña minería algunos de esos criterios no están logrados, esto quiere decir que no se cumplen por motivos de escasez de recursos.

*Imagen 15: Sistema de explotación en Pequeña Minería.*



*Fuente: Elaboración propia.*

#### 3.1. Tamaño y geometría de excavaciones

La forma del perímetro de la excavación, la orientación con respecto a las discontinuidades y esfuerzos tiene gran influencia en la estabilidad de las excavaciones subterráneas. Las dimensiones deben ser compatibles con las condiciones geo estructurales del macizo rocoso. Teniendo en cuenta estos conceptos se logrará la estabilidad controlada por estructuras. Esto quiere decir que si la roca no es competente no se podrá aumentar las dimensiones de la labor.

Además, los pequeños mineros se basan en la extensión de la veta para calcular las dimensiones de la frente, además de tener en consideración que requieren un espacio óptimo para manejar con facilidad los equipos que ellos emplean en el proceso como, por ejemplo, equipos de perforación neumáticos manuales.

### 3.2. Recomendaciones relacionadas con la forma de la excavación

Para la estabilidad, las formas esquinadas, por ejemplo, rectangulares son desfavorables, porque las esquinas en ángulo son lugares de alta concentración de esfuerzos.

Imagen 16: Formas de las excavaciones.



La forma em arco de las excavaciones favorece la estabilidad



Formas esquinadas desfavorecen la estabilidad

Fuente: SNMPE, 2004.

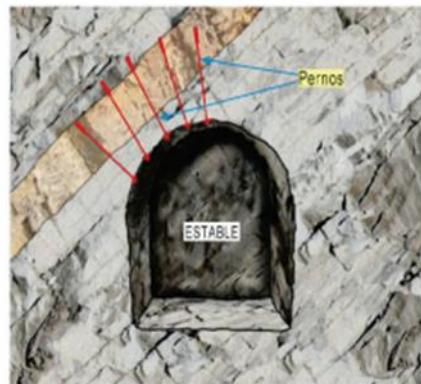
El efecto arco ayuda a lograr la estabilidad, ya que los techos de tajeos en arco desvían los esfuerzos críticos y el peligro de colapso hacia sectores fuera de la excavación.

Para conseguir excavaciones estables, la forma de la excavación deberá acomodarse a los rasgos estructurales del macizo rocoso. De no ser así se tendrá que emplear mayor sostenimiento con el consiguiente aumento de costos.

*Imagen 17: La forma de las excavaciones deberá acomodarse a rasgos estructurales.*



Acomodo de la excavación a los rasgos estructurales



Sostenimiento necesario para favorecer la estabilidad

*Fuente: SNMPE, 2004.*

En rocas masivas y frágiles, la estabilidad está gobernada por la forma de la excavación.

En ambientes de altos esfuerzos, la mayor dimensión de la excavación, en lo posible, debe estar orientada en forma paralela al esfuerzo principal mayor.

Sin embargo, la forma de la sección por obvias razones será irregular, ya que el pequeño minero va en dirección del cuerpo mineralizado, la veta, este cuerpo de por si es irregular sin estructura definida, pero que de todas formas se le da preferencia al diseño en forma de arco ya que ayuda mucho en cuanto a desviar los esfuerzos geomecánicos.

### 3.3. Recomendaciones relacionadas con la orientación de las excavaciones

La orientación de la excavación, con respecto a rasgos estructurales como: fallas, diaclasas, etc. Tiene influencia en la estabilidad, por tanto, es mejor avanzar perpendicularmente a la discontinuidad o a las zonas de corte. Tener en cuenta que el avance más desfavorable es el que se da en forma paralela a las discontinuidades o al rumbo de los estratos (la condición es crítica cuando el buzamiento de las discontinuidades es mayor de 45°).

Sin embargo, en la explotación de vetas angostas no existe opción para la dirección preferencial de avance y si el macizo rocoso es de mala calidad se implementará el sostenimiento como parte integrante del proceso de explotación.

Imagen 18: Orientación de la excavación con respecto a los rasgos estructurales.



Separación o despegue de los estratos empinados o subverticales, pandeo y caída hacia el vacío minado.

Avance paralelo al sistema de discontinuidades.  
Condición desfavorable.



Condiciones de avance muy desfavorable para la estabilidad. La estructura rocosa funciona a manera de varillas apiladas en forma paralela a la excavación, las mismas que presentan inestabilidad.

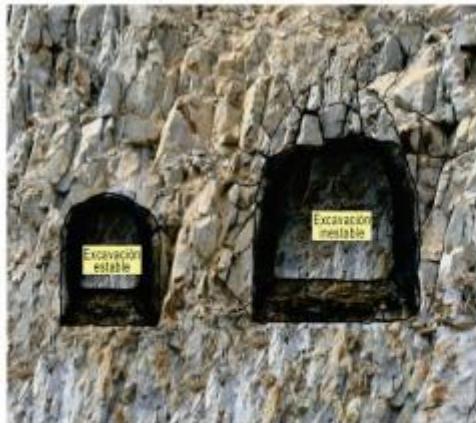
Condiciones de avance muy favorables para la estabilidad. La estructura funciona a manera de varillas apiladas en forma perpendicular a la excavación, las mismas que presentan buena estabilidad.

Fuente: SNMPE, 2004.

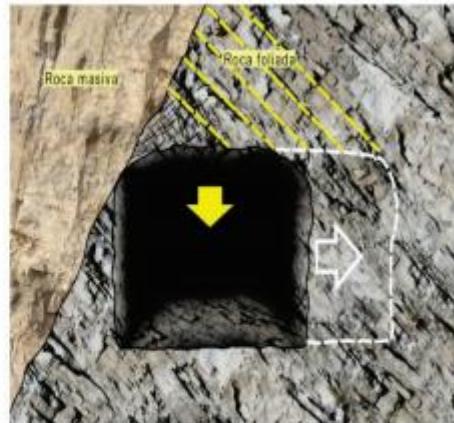
### 3.4. Recomendaciones relacionadas con el tamaño de la excavación

En roca de mala calidad no es recomendable ampliar las excavaciones porque se genera inestabilidad, siendo necesario adoptar medidas de control adecuadas.

Imagen 19: A mayor tamaño de la excavación se favorece a la inestabilidad.



Cuando las dimensiones de la excavación crecen, aumenta la posibilidad de que la roca pueda deslizarse o caerse



Cuñas potencialmente inestables con el incremento del ancho de la excavación

Fuente: SNMPE, 2004.

Hay que considerar que un aumento en el tamaño de la excavación incrementa el peligro porque crece y genera que las rocas encajonantes se expongan a los rasgos estructurales (ejemplo, los techos liberarán los bloques que estaban auto sostenidos generándose riesgo potencial de deslizamientos).

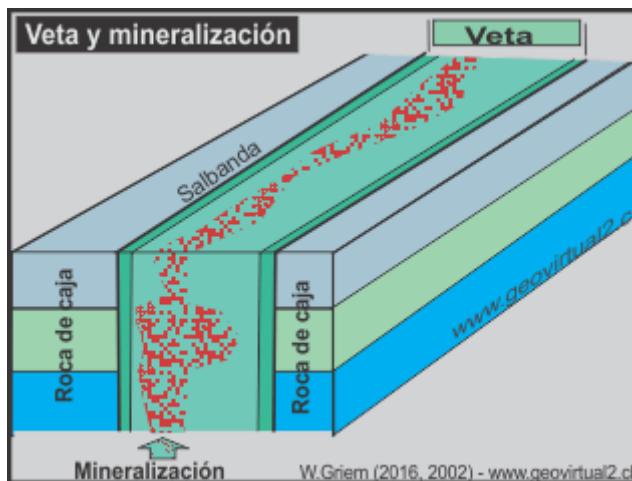
Tener cuidado con rocas intensamente fracturadas y débiles, porque el crecimiento de la excavación producirá su colapso.

#### 4. Roca Host más complicadas y competentes

Host Rock o en su traducción al español “Roca Anfitriona”, es la roca preexistente fracturada, donde se encuentra el cuerpo mineralizado (mena). Y este se clasificaría según el tipo de mineralización presente en roca de caja o en roca huésped.

- La roca de caja es la roca que rodea al depósito mineral, por ejemplo, las rocas a ambos lados de una veta.
- La roca huésped, es la roca dentro de la cual se presenta el depósito mineral, por ejemplo, Pórfido Chuqui en Chuquicamata.

*Imagen 20: Veta mineralizada.*



Fuente: [W.Griem, geovirtual2.cl](http://www.geovirtual2.cl)

En una labor minera el comportamiento de la roca host se caracterizaría en: buena, regular o mala.

Esto quiere decir que cuando las rocas metamórficas pasan por un proceso de metamorfismo (alta temperatura y presión), posteriormente pasan por otro proceso llamado recristalización; esto implica que la roca se vuelva más resistente y a la vez se vuelva más rígido; sin embargo, al tener estas dos propiedades por el proceso de recristalización, la roca se vuelve frágil.

Entonces, en minería subterránea si la roca está presente como roca caja, se necesitaría un sostenimiento adecuado y bien planificado para este tipo de roca, ya que a la hora

de hacer perforaciones la roca puede caer, este suceso servirá para clasificar a la roca de regular a mala dependiendo del ambiente en la que se trabaje.

Por otro lado, cuando la roca se recristaliza cambia su composición química, mayormente en minería lo clasificaríamos de regular a buena dependiendo del ambiente en el que se encuentra la mineralización. Poniendo como ejemplo al skarn que pasa por un proceso de metamorfismo hidrotermal (forma yacimientos de mineral polimetálicos), en un intercambio de iones del agua con la roca, como lo es en el caso del Cu, Zn, Pb, Ag, Fe, que son procesos naturales en la cual podemos encontrar calcopirita, galena, pirita, esfalerita, entre otros.

Cuando las rocas pasan por un proceso de recristalización, la roca se vuelve dura sin embargo es frágil, entonces el sostenimiento en minería subterránea debe ser bien planificada, correctamente estructurada con materiales adecuados para este tipo de terreno ya que la roca puede caer y causar fatales accidentes.

La roca puede estar presente con una foliación horizontal, eso no quiere decir que la roca no requiera sostenimiento, sino que necesitaría un sostenimiento de menor resistencia ya que la misma foliación te ayuda por estar presente de manera horizontal.

Como recomendación cuando la roca es frágil se puede utilizar cimbras de metal ya que ejercen flexión a la roca, o también se puede realizar el método de cámaras y pilares o algún diseño con características similares cuando nos encontramos con este tipo de roca.

- Roca Host competentes y menos competentes:
  - ✓ Arcillas y sales: pueden llegar incluso a fluir viscosamente en condiciones extremas de presión y temperaturas, se trata de rocas incompetentes que no transmiten los esfuerzos tectónicos.
  - ✓ Calizas y granitos: pueden comportarse de forma plástica o frágil, se trata de rocas competentes capaces de transmitir los esfuerzos tectónicos.

## XI. APORTES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Como aporte al tema investigativo se consideró elegir criterios geomecánicos orientados a la pequeña minería subterránea, además de la elaboración de matrices que ayudaran al trabajador en la oportuna toma de decisiones.
- ✓ Parte de la recomendación, es seguir los pasos que se recomiendan en este proyecto de tesis, en complemento de los pasos seguros expuestos por el Sernageomin, Sonami y otras entidades preocupadas por la seguridad operacional.
- ✓ Para evitar caídas de rocas se recomienda diseñar la galería de tal forma que el techo presente una curvatura para lograr desviar los esfuerzos que produce presión del macizo rocoso hacia el vacío que se generó. Forma del túnel en “D”.
- ✓ Fortificar cuando la galería conecte a una falla, fortificación pasiva (madera) sin embargo si la empresa cuenta con recursos se debe dar prioridad a una fortificación del tipo activa.
- ✓ A la vez se recomienda que, para excavaciones con profundidades mayores a los 700 metros, se recomienda cambiar la metodología de trabajo como, por ejemplo; aumento de la fortificación, ventilación y otros aspectos que generen un buen rendimiento laboral, teniendo en cuenta que este grupo pertenece a la pequeña minería, por lo tanto, es pobre en cuanto a recursos por lo que en este caso no se aplicaría el reemplazo de las personas por equipos.
- ✓ Pasado los 200 metros de avance de la galería, es necesario un sistema de ventilación, ya que se reduce la cantidad de oxígeno dificultando el trabajo tanto al personal como también a los equipos.

## XII. CONCLUSIONES

Se logró desarrollar cada aspecto descrito en los objetivos de este proyecto, con la única finalidad de mejorar tanto la seguridad como también producción en la pequeña minería subterránea.

Es importante a la vez saber que la seguridad operacional desde todo punto de vista, es imprescindible para una empresa, por ende, aparte de manuales existentes de cómo reaccionar en caso de accidentes, se desarrolló esta tesis para evitar y controlar de forma óptima todos los procesos dentro de la faena minera.

Parte de este informe integran las dos matrices que se lograron desarrollar con éxito, una va orientada a la clasificación del macizo rocoso (clasificación macroscópica de propiedades físicas y a la vez clasificación de dureza) y la segunda contiene información sobre las operaciones unitarias en relación con los métodos o criterios geomecánicos que se aplican a cada uno de ellos. Asimismo, aportar para el desarrollo y avance de nuestra gran industria como es la minería.

Otro punto importante es que se logró identificar las propiedades mínimas de las rocas, requeridas para tener un buen desarrollo de las actividades en faena minera, tanto físicas como mecánicas a la vez. De esta manera se logra identificar los minerales que contiene la roca presente en el yacimiento y por lo tanto tener noción de dureza que puede presentar dicha roca. Y esto se logra gracias a la matriz desarrollada de identificación de calidad de la roca.

Se entregaron drivers para aportar al conocimiento de los trabajadores en pequeña minería al momento de enfrentarse a anomalías que presente el macizo rocoso como por ejemplo; presencia de fallas o discontinuidades, calidad de roca, resistencias entre otros.

Asimismo, se entregaron criterios de diseño geomecánico con la finalidad de mejorar el diseño del método de explotación de los pequeños mineros, por ejemplo; forma, tamaño, disposición y profundidad de la galería o sección de la mina.

Además, se dieron a conocer herramientas accesibles y fácil manipulación que ayudan a la obtención de datos en pos de un buen desarrollo geomecánico, también se generó una segunda matriz de operaciones unitarias en base a los métodos geomecánicos a emplear, el cual en simples palabras es una tabla de toma de decisiones en cuanto a criterios geomecánicos para cada proceso o actividad en la labor minera.

Del mismo modo se concluye que al emplear correctamente las matrices entregadas se logra mitigar o disminuir los accidentes laborales en pequeña minería por ende una mejora en la producción debido a que existe una buena disponibilidad por parte de los trabajadores y a su vez no se realizaran paros de faena no deseados por causa de algún accidente.

Por último, se logró demostrar que el proyecto es:

- ✓ Técnicamente el proyecto es factible, debido a que la pequeña minería es un eterno prospecto de exploración, trabajan netamente con recursos.
- ✓ Económicamente el proyecto es rentable, ya que los costos de implementación de los métodos de medición geomecánicos son accesibles para un proyecto en pequeña minería, puesto que los instrumentos son de fácil manipulación y a la vez económicos.
- ✓ No aplica en el caso financiero porque, la pequeña minería se caracteriza de estar siempre endeudado.
- ✓ Desde el punto de vista de los riesgos, los riesgos graves y de menos magnitud son controlados gracias al desarrollo de este proyecto.
- ✓ En relación con la comunidad se presenta armonía, ya que los trabajadores estarán en una buena jornada laboral y regresarán ilesos a sus hogares. Suceso que fortalece el lazo entre empresa y familia.
- ✓ Y por último el proyecto es ambientalmente sustentable, por lo que en la pequeña minería solo se realiza el proceso de explotación. Sin embargo, debe existir preocupación de parte de la empresa y de los trabajadores para no generar botaderos, los cuales si contaminan e impiden que exista armonía con el medio ambiente.

### **XIII. COMENTARIOS**

Se desarrollaron dos matrices, pero siguen estando en proceso de mejora con la finalidad de conseguir un buen instructivo de criterios geomecánicos de alto nivel en la pequeña minería.

Existen manuales o guías que ofrecen pasos seguros después de un accidente y a la vez existen otros que indican las recomendaciones que se deben tener en cuenta al momento de entrar a una faena, sin embargo, no existen guías que nos ayuden a controlar fenómenos geomecánicos dentro de la faena, por lo cual se desarrolló este proyecto con la finalidad de dar solución a la problemática de que hacer al momento de afrontar a estas actividades dentro de la mina.

Por ende, sería imprescindible que estas matrices se otorguen a toda empresa del sector de la pequeña minería por parte de un ente fiscalizador que vela por la seguridad operacional en la industria minera.

## XIV. BIBLIOGRAFIAS

- Empresa Nacional de Minería, ENAMI.  
[www.enami.cl](http://www.enami.cl)
- Servicio Nacional de Geología y Minería, Sernageomin.  
[www.sernageomin.cl](http://www.sernageomin.cl)
- Ministerio de Minería de Chile.  
[www\[minmineria.cl\]](http://www[minmineria.cl])
- Comisión Chilena del Cobre, Cochilco.  
[www.cochilco.cl](http://www.cochilco.cl)
- Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, ISRM.  
[www.isrm.net](http://www.isrm.net)
- STM (Subterránea Minería S.A)  
[www.subterramineria.cl](http://www.subterramineria.cl)
- Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, Perú, SNMPE.  
[www.snmpe.org.pe](http://www.snmpe.org.pe)
- Guía de Buenas Prácticas en Seguridad Minera en la Pequeña Minería, SONAMI, 2002.
- Manual de Acuñadura, Nelson Pinto Lobos, ACHS.
- ESTANDARD TEST METHOD FOR DETERMINATION OF ROCK HARDNESS BY REBOUND HAMMER METHOD, Norma ASTM D5873-05, 2014.
- Manual de diseño de obras civiles, B.3.4, México, Comisión Federal de Electricidad, 1979.

## XV. ANEXOS

### 1. ANEXO 1: Los 12 pasos seguros, SONAMI.

#### Consideraciones Generales

Respecto del Control sobre los Riesgos de Accidentes en la Pequeña Minería, 12 Pasos Seguros.

Ningún trabajador o persona podrá ingresar a la Mina o una Planta de Beneficio si no cumple con las siguientes indicaciones:

- 1) Todo trabajador que ingresa a una faena debe estar capacitado para ello, en cuanto a:
  - Condiciones de salud, físicas y psíquicas.
  - Conocimiento del sector y de los peligros que existen al ingresar a una Faena Minera o Planta de Beneficio:
    - ✓ Caída de Rocas.
    - ✓ Planchoneo.
    - ✓ Ventilación del lugar.
    - ✓ Respetar las señalizaciones.
    - ✓ Usar los Elementos de Protección Personal, como; casco, zapatos (botas de agua de seguridad), respirador, anteojos de seguridad, protector auditivo, guantes, cinturón o arnés de seguridad (de cola), lámpara minera.
- 2) Todo trabajador que manipule explosivos debe estar capacitado para ellos y deberá portar la “Licencia de Manipulador de Explosivos” que otorgan las autoridades competentes”.
- 3) Todo trabajador que manipule Perforadoras o Herramientas de Perforación debe ser experto y estar capacitado para su uso. Además, debe estar en conocimiento de los riesgos de:
  - Uso de aire comprimido.
  - Uso de compresoras y sus elementos, como:
    - ✓ Válvulas de “retención de aire”.
    - ✓ Mangueras de alta presión.
    - ✓ “Pato lubricador”.
    - ✓ Redes y cañerías de aire.

- 4) Todo trabajador que opere un equipo minero sea este por medio de aire comprimido o a “pulso”, debe estar en conocimiento de los riesgos de accidentes que pudiera sufrir o de accidente material que pueda provocar una mala maniobra.
- 5) Todo trabajador que opere un “huinche”, o se ubique en un portalón, o manipule una “pateca”, o una “roldana” deberá estar preparado para evaluar las condiciones de los aceros, cables y “eslingas” de tal manera de evitar los accidentes de “cortes” y caídas de personas y/o materiales desde altura.  
Todo trabajador que se traslade o “deslice” a través de escaleras o cuerdas, deberá estar entrenado para realizar esta acción y conocer además los riesgos de accidentes por caídas de distinto nivel.
- 6) Todo trabajador que use un “equipo” o “maquina” para:
  - Trasladar material.
  - Voltar material de acopio.
  - “Desaguar” la mina (bomba).
  - Ventilar la mina.
  - U otras acciones parecidas;Deberá conocer, estar entrenado y capacitado para su uso o manipulación. En ningún caso deberá usar en el interior de la mina una Bomba a Bencina para desaguarla, dado que esta produce monóxido de carbono (CO) y puede provocarle la muerte.
- 7) Todo trabajador que ingrese a la mina, por cualquier de sus vías, deberá saber anticipadamente sus condiciones de tránsito, de ventilación y seguridad en relación a peligros como:
  - Caída de rocas.
  - Humos tóxicos.
  - Inundaciones importantes con agua.
  - Piques “escondidos” bajo agua.
  - Estocadas “colgadas” con peligro de goteo o corrida de “saca”.
  - Huinches, cables y cordeles en buenas condiciones.
- 8) Todo trabajador que ingrese a la mina o este trabajando en el Beneficio del Mineral (Planta o Trapiche) o en un arreo y/o acarreo de mineral, traslado de materiales pesados y otras actividades de alto riesgo, deben estar entrenados y capacitados para autocontrolar heridas y aplicar primeros auxilios en caso de accidentes.

9) Todo trabajador que opere sustancias químicas o materiales peligrosos para su salud deberá estar capacitado para evitar:

- Contaminación.
- Intoxicaciones.
- Inhalaciones de gases peligrosos.

Además, deberá aplicar los mínimos conocimientos de Higiene y de Salud Ocupacional.

10) En toda operación minera subterránea se deberá cumplir con las siguientes normas de seguridad:

- Ingresar con todos sus elementos de protección personal y con la lámpara minera en buenas condiciones.

11) Al ingresar a una faena minera el operador minero deberá asegurarse que:

- El lugar esté ventilado.
- El lugar esté “acuñado”.
- La zona no esté comprometida con un “disparo” (tronadura).
- El lugar no esté inundado.
- El huinche esté en buenas condiciones de funcionamiento y mantención.
- Que no esté el letrero “No pasar”.

12) Antes de “ejecutar un disparo”, el operador minero deberá cerciorarse de evacuar todo el sector “en lo posible que toda persona abandone la mina” y realizar las siguientes actividades:

- Avise el disparo o tronadura.
- Instale “loros” en los sectores amagados por el disparo.
- Revise la línea de disparo o cambie la línea por una nueva.
- Evite que la “línea de disparo” (alambre explora) quede en contacto con materiales de fierro (pataches o mallas).
- Corte todo tipo de energía o agua que va por la red.
- Ventile el lugar después del disparo y antes de entrar nuevamente a la mina.

## 2. ANEXO 2: Tablas de equivalencias.

En este anexo se presentan tablas que sirven de ayuda al momento de realizar los ejercicios expuestos en el informe, estas tablas cuentan con información de conversión de unidades como, por ejemplo; densidades, volumen, masa, presiones, entre otros.

Estas tablas sirven de mucha ayuda, ya que para efectos de cálculos de algunos ejercicios se requiere la conversión de unidades.

*Tabla 17: Tabla de equivalencias de densidad.*

Tabla de equivalencias de densidad					
Unidad	g/cm <sup>3</sup>	g/l	kg/m <sup>3</sup> (SI)	lb/pie <sup>3</sup>	lb/galón
1 g/cm <sup>3</sup>	1	1000	1000	62,428	8,3454
1 g/l	0,001	1	1	6,2428 E-2	8,3454 E-3
1 kg/m <sup>3</sup> (SI)	0,001	1	1	6,2428 E-2	8,3454 E-3
1 lb/pie <sup>3</sup>	1,6018 E-2	16,0185	16,0185	1	0,13368
1 lb/galón	0,119826	119,826	119,826	7,48052	1

es.tableworld.net

*Fuente: es.tableworld.net*

*Tabla 18: Tabla de equivalencias de volumen.*

Tabla de equivalencias de volumen						
Unidad	cm <sup>3</sup>	litro	m <sup>3</sup> (SI)	pulgadas <sup>3</sup>	pies <sup>3</sup>	galón
1 cm <sup>3</sup>	1	0,001	1,0 E-6	6,1024 E-2	3,5325 E-5	2,6417 E-4
1 litro	1000	1	0,001	61,024	3,5315 E-2	0,26417
1 m <sup>3</sup> (SI)	1,0 E+6	1000	1	6102,4	35,315	264,17
1 pulg. <sup>3</sup>	16,3871	1,6387 E-2	1,6387 E-5	1	5,7870 E-4	4,3290 E-3
1 pie <sup>3</sup>	2,8317 E+4	28,3168	2,8317 E-2	1728	1	7,4805
1 galón	3785,4	3,7854	3,7854 E-3	231	0,13368	1

es.tableworld.net

*Fuente: es.tableworld.net*

Tabla 19: Tabla de equivalencias de masa.

Tabla de equivalencias de masa						
Unidad	gramo	kilogramo (SI)	ton. métr.	onza	libra	ton. corta
<b>1 gramo</b>	1	0,001	1,0 E-6	3,5274 E-2	2,2046 E-3	1,1023 E-6
<b>1 kilogramo</b>	1000	1	0,001	35,274	2,2046	1,1023 E-3
<b>1 ton. métr.</b>	1,0 E+6	1000	1	3,5274 E+4	2204,6	1,1023
<b>1 onza</b>	28,349	2,8349 E-2	2,8349 E-5	1	0,0625	3,1250 E-5
<b>1 libra</b>	453,59	0,45359	4,5359 E-4	16	1	5,0000 E-4
<b>1 ton. corta</b>	9,0718 E+5	907,18	0,90718	3,2000 E+4	2000	1

es.tableworld.net

Fuente: es.tableworld.net

Tabla 20: Tabla de equivalencias de presión.

Tabla de equivalencias de presión							
Unidad	atm.	bar	kg/cm <sup>2</sup>	lb./pulg. <sup>2</sup>	mmHg	pascal (SI)	pulg. H <sub>2</sub> O
<b>1 atmósfera</b>	1	1,01325	1,03323	14,696	760	1,01325 E+5	406,782
<b>1 bar</b>	0,986923	1	1,01972	14,5038	750,064	1,0 E+5	401,463
<b>1 kg/cm<sup>2</sup></b>	0,967841	0,980665	1	14,2233	735,561	9,80665 E+4	393,701
<b>1 lb./pulg.<sup>2</sup></b>	6,8046 E-2	6,8948 E-2	7,03E-02	1	51,7151	6894,76	27,6799
<b>1 mmHg</b>	1,3158 E-3	1,3332 E-3	1,3595 E-3	1,9337 E-2	1	133,322	0,535239
<b>1 pascal (SI)</b>	9,8692 E-6	1,0 E-5	1,0197 E-5	1,4504 E-4	7,5006 E-3	1	4,0146 E-3
<b>1 pulg. H<sub>2</sub>O</b>	2,4583 E-3	2,4909 E-3	2,5400 E-3	3,6127 E-2	1,86833	249,089	1

es.tableworld.net

Fuente: es.tableworld.net

### 3. ANEXO 3: Leyenda de la Matriz “Operaciones Unitarias v/s Técnicas geomecánicas a Aplicar.

Se elaboró una leyenda con la finalidad de hacer que el pequeño minero entienda perfectamente el lenguaje de la matriz.

Tabla 21: Leyenda de la Matriz "Operaciones Unitarias v/s Técnicas geomecánicas a Aplicar".

SIGLA	DEFINICIÓN
<b>Rx</b>	Roca mineral
<b>Mx</b>	Mineral
<b>Roca Huesped</b>	Es la roca dentro de la cual se presenta el deposito mineral.
<b>Roca Caja</b>	Es la roca que rodea el deposito mineral, por ejemplo, la roca a ambos lados de la veta.
<b>Topo</b>	Topografia (Técnica que consiste en describir y representar en un plano la superficie o el relevie de un terreno).
<b>Flujómetro</b>	Es un aparato portatil que permite medir la máxima cantidad de aire exhalado.
<b>Velocímetro</b>	Contador que registra la velocidad a la que circula el aire.
<b>Manómetro</b>	Instrumento para medir la presión de los fluidos, principalmente de los gases.
<b>Rt</b>	Resistencia a la tracción.
<b>Rc</b>	Resistencia a la compresión.
<b>Blastability</b>	Traducido al español, "Explosividad", es la diferencia matematica entre RC y Rt.
<b>Over Burden</b>	Traducido al español, "Sobre Carga".
<b>Pº de poros</b>	Presión de poros

Fuente: Elaboración propia.

**4. ANEXO 4: Guía de buenas prácticas en base a procedimientos geomecánicos en PM.**



**UDUA**



# **“GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS EN BASE A PROCEDIMIENTOS GEOMECÁNICOS EN PM”.**



**Autores:**

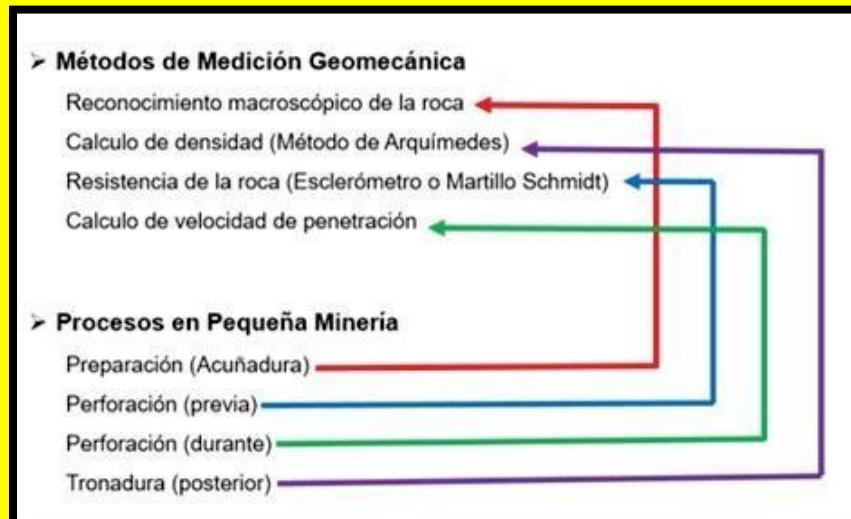
*Brayan Smith Florian  
Alvarado*

**Santiago - Chile**

# “GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS EN BASE A PROCEDIMIENTOS GEOMECAÑICOS ENPM”.

## 1. EXPLICACION / INTRODUCCION:

¿Cuál es la finalidad de eso?



Esta guía se desarrolla en base a los métodos de medición geomecánica destinada a cada tipo de operación en la que se vean comprometidos los mineros, se elaboró con la ayuda de la matriz de operaciones unitarias v/s técnicas geomecánicas a aplicar. La cual explica los pasos a seguir para controlar los procesos en la PM desde el punto de vista de seguridad operacional y mejora constante de la producción.

**MATRIZ DE OPERACIONES UNITARIAS V/S TÉCNICAS GEOMECAÑICAS A APLICAR**

OPERACIONES UNITARIAS		Reconocimiento	Desarrollo y Preparación	Perforación	Tronadura	Acuñadura	Carguio	Transporte	Ventilación	Fortificación	Clasificación
METODOS DE MEDICIÓN											
Macroscopía de Rx		X	X			X				X	X
Determinación densidad	Mx	X	X	X	X						X
	Roca Host/Huesped o Caja	X	X								
Determinación de la litología (Visual/Geologica)		X	X								
Determinación de calidad de Rx (Ábacos)		X	X								
Mapeo Geominero		X	X								
Levantamiento Topo/Brujula		X	X								
Reconocimiento Martillo Minero		X	X	X						X	
Velocidad Neta de Perforación				X							
Flujómetro									X		
Manómetro									X		
Velocímetro									X		
Esclerómetro (Martillo Schmidt)			X	X						X	
Mediante laboratorio	Propiedades de la Rx(Rt y Rc)	X	X	X	X					X	X
	Blastability (Rt/Rc)				X						
Over Burden/Barrenos					X	X				X	
Granulometria/Foto				X	X		X	X			X
Identificación fallas principales/Madera		X	X							X	
Drenaje y/o Presencia de agua (Pº de poros)						X				X	

## 2. GUÍA DE PASOS GEOMECÁNICOS A SEGUIR EN PM

Siguiendo con la metodología del concepto del desarrollo minero o ciclo minero, se consideran las siguientes actividades; perforación, tronadura, carguío y transporte. Y sus actividades secundarias; fortificación, ventilación y drenaje.

Se optó por desarrollar una serie de preguntas, las cuales sirven de ayuda al momento de explotar un yacimiento en PM.

### 2.1. ¿Qué hacer cuando existe presencia de mineral, cuando existe certeza que nos encontramos en presencia de una veta? (Preparación)

Se recomienda utilizar el método de Reconocimiento Macroscópico de la Roca, en el cual solo con los ojos y algunas herramientas se describe la roca.



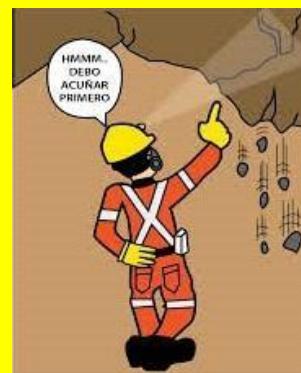
### 2.2. ¿Qué hacer cuando se requiere saber la calidad de roca? (Previa perforación)

Se recomienda utilizar el Esclerómetro o Martillo Schimdt, el cual mide el rebote y mediante ese dato se genera la Resistencia a la Compresión Simple de la roca.



### 2.4. ¿Qué hacer cuando se extiende la labor? (Fortificación)

Se recomienda realizar una adecuada acuñadura en los sectores comprometidos y que requieran un sostenimiento.



Es importante analizar los avances, realizar observaciones de la labor.

### 2.3. ¿Qué hacer cuando se realiza el avance? (Perforación)

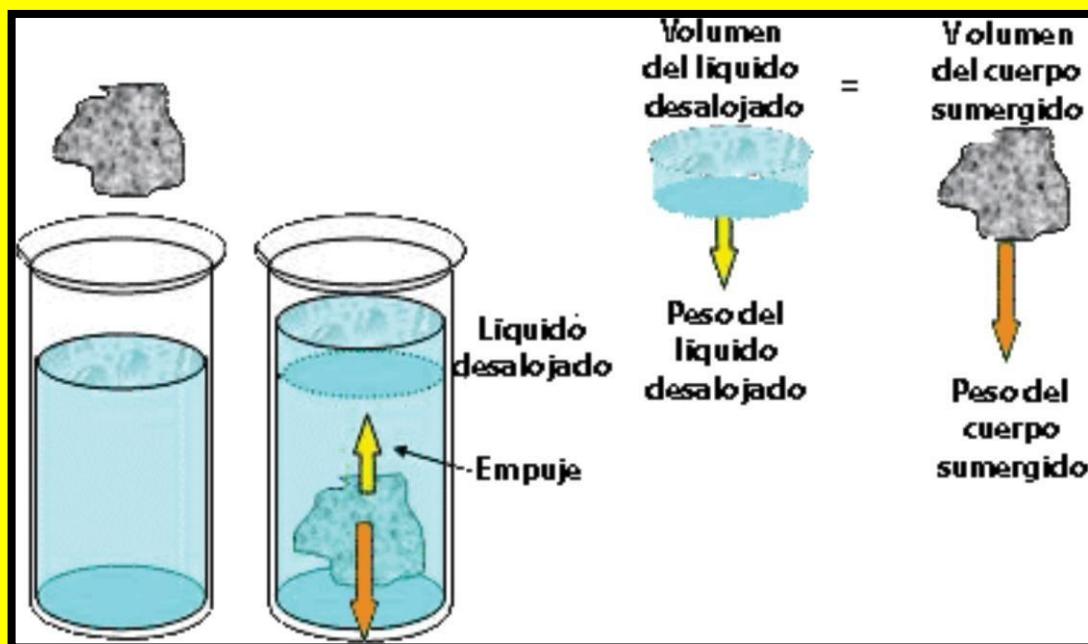
Se recomienda realizar el cálculo de Velocidad de Penetración a la Roca, el cual entrega un valor que sirve para identificar la calidad de la roca (blanda, media, dura).



Se realiza la fortificación para evitar accidentes en la frente.

## 2.5. ¿Qué hacer cuando se necesita saber la densidad del material/mineral? (Posterior a la tronadura)

Se recomienda realizar el Cálculo de densidad por el método de Arquímedes, para obtener el valor del cuerpo irregular (roca).



## 3. Bibliografía

- **Imagen:** "Reconocimiento macroscópico de la Roca", "Velocidad de penetración a la roca", "Acuñadura" – Guía N° 2 y 5, Operación para la pequeña minería, Sernageomin.
- **Imagen:** "Calculo de densidad por el método de Arquímedes" - Masa, Volumen y Densidad, Jeinmy Avila.
- **Imagen:** "Esclerómetro o martillo Schmidt", Hammer or Sclerometer, Minex Products.