

ESCUELA DE POSGRADO NEWMAN

MAESTRÍA EN
GESTIÓN MINERA Y AMBIENTAL



**“Elaboración de una propuesta metodológica para la
caracterización geomecánica en labores mineras subterráneas
en el Ecuador”**

**Trabajo de Investigación
para optar el Grado a Nombre de la Nación de:**

Maestro en
Gestión Minera y Ambiental

Autor:

Bach. Quespaz Pozo, Fernando Samir

Docente Guía:

Ing. Honores Incio, Mónica Georgina

TACNA – PERÚ

2023

QUESPAZ_POZO_FERNANDO.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

“El texto final, datos, expresiones, opiniones y apreciaciones contenidas en este trabajo son de exclusiva responsabilidad del (los) autor (es)”

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por permitirme cumplir con una meta más en mi vida y por guiarme por el camino correcto.

A mi Madre Lola Pozo, quien con su ejemplo me inculcaba en mí su sabiduría y sus experiencias de vida para entender los objetivos en mi vida.

A mis maestros que mediante su experiencia y enseñanza desarrollaron en mí, conocimientos técnicos, humanos y sociales, los cuales me permitieron culminar esta etapa con éxito y formarme como un profesional ético y de calidad.

A mi familia, por estar conmigo dándome fuerzas y valor para continuar con mis objetivos y su apoyo motivándome a ser adelante.

A Katherine Sangucho, por siempre darme aliento y su apoyo para culminar el presente trabajo.

A mis compañeros de la Kyushu University, por su aporte y puntos de vista técnico para el desarrollo de los procedimientos.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi familia que siempre se encuentra pendiente de mis actividades y siempre me acompaña en los momentos más difíciles de mi vida con coraje y valor, especialmente a mi madre Lola Pozo por brindarme su amor, sabiduría y paciencia y demostrando en mí que el esfuerzo culmina con éxito.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág
AGRADECIMIENTOS.....	3
DEDICATORIA	4
ÍNDICE GENERAL	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
RESUMEN.....	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO I.....	17
1.1. Título del Tema.....	17
1.2. Planteamiento del Problema.....	17
1.3. Objetivos de la Investigación	19
1.3.1. Objetivos generales.....	19
1.3.2. Objetivos específicos	19
1.4. Metodología	20
1.5. Justificación	21
1.5.1. Justificación Teórica.....	21
1.5.2. Justificación Metodológica	22
1.5.3. Justificación Práctica.....	22
1.6. Definiciones	22
1.7. Alcances y Limitaciones.....	24
1.7.1. Alcance.....	24
1.7.2. Limitaciones.....	24
1.8. Cronograma.....	25

CAPÍTULO II.....	26
2.1. Conceptualización de la(s) variable(s) o tópico(s) clave	26
2.1.1. Generalidades.....	26
2.1.1.1. Aspectos Geotécnicos.....	26
2.1.1.2. Estructuras Geológicas	27
2.1.1.3. Dominio Geotécnico.....	28
2.1.1.4. Modelo Geológico	28
2.1.1.5. Modelo Geomecánica.....	28
2.1.1.6. Recopilación de Datos Geológicos	29
2.1.1.7. Ensayos de Laboratorio	30
2.1.1.7.1. Compresión Uniaxial	32
2.1.1.8. Caracterización del Macizo Rocoso.....	32
2.1.1.9. Métodos de clasificación del macizo rocoso.....	33
2.1.1.9.1. Índice de Calidad de la Roca (RQD)	34
2.1.1.9.2. Rock Mass Rating System (RMR)	36
2.1.1.9.3. Rock Quality System	39
2.1.1.9.4. Mining Rock Mass Rating (MRMR).....	41
2.1.1.9.5. Geological Strenght Index - Indice Geologico de Resistencia (GSI).....	43
2.1.1.10. Metodologías Relacionadas para la Clasificación del Macizo Rocoso	44
2.2. Importancia de la(s) variable(s) o tópico(s) clave.....	49
2.2.1. La Minería en el Ecuador	49
2.2.2. Minería Subterránea	52
2.2.3. Ingeniería de rocas.....	54
2.2.4. Importancia de la geomecánica en minería subterránea.....	55
2.2.5. Estabilidad en Labores Mineras Subterráneas.....	56
2.2.6. Consecuencias Geomecánicas.....	59

2.2.7. Influencia de la Calidad del Macizo Rocosó en Accidentes de Caída de Rocas	
62	
2.2.8. Estudios Realizados de Caracterización del Macizo Rocosó en Minería Subterránea y Obras Civiles	63
2.4. Análisis comparativo.....	64
2.4.1. Comparación entre Clasificaciones del Macizo Rocosó	64
2.4.2. Comparación de Metodologías para la Clasificación del Macizo Rocosó.....	65
2.5. Análisis crítico.....	68
2.5.1. Análisis crítico de las Clasificaciones del Macizo Rocosó.....	68
2.5.1. Análisis Crítico de las Metodologías Aplicadas en los Estudios Previos	70
CAPÍTULO III.....	76
3.1. Reseña histórica	76
3.2. Filosofía organizacional	77
3.2.1. Misión	78
3.2.2. Visión	78
3.2.3. Valores	79
3.3. Diseño organizacional.....	80
3.4. Productos y/o servicios	83
3.5. Diagnóstico organizacional	84
3.6. Marco Legal	85
3.6.1. Estructura Institucional del Sector Minero Ecuatoriano	85
3.6.2. Normativa del Sector Minero	87
CAPÍTULO IV	90
4.1. Diagnóstico	90
4.1.1. Revisión de Diversos Estudios.....	90
4.1.2. Encuestas	93
4.1.3. Entrevistas	104
4.2. Diseño de la Mejora.....	106

4.2.1. Descripción de las Fases Metodológicas	107
4.2.1.1. Fase I.- Recopilación de la Información	107
4.2.1.2. Fase II.- Levantamiento de Información de Campo	108
4.2.1.3. Fase III.- Procesamiento de la Información	111
4.2.1.4. Fase IV.- Zonificación Geotécnica.....	112
4.2.2. Capacitación del personal minero y compra de equipos para el levantamiento 113	
4.2.2.1. Capacitación	113
4.2.2.2. Equipos y plantillas para el registro de datos	114
4.2.3. Presupuesto estimado para llevar a cabo la metodología.....	116
4.3. Mecanismos de Control	117
CAPÍTULO V	121
5.1. Conclusiones	121
5.2. Recomendaciones	122
5.3. Bibliografía	123
5.4. Anexos.....	128
Price List.....	131
All programs and plans	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Categorías de métodos de prueba sugeridos por ISRM (after Brown, 1981)	31
Tabla 2 Interpretación de valores de RQD (Deere, 1964).....	34
Tabla 3 Clasificación del macizo rocoso según Q.....	41
Tabla 4 Clasificación GSI (Hoek et al., 1995).....	44
Tabla 5 Consecuencias geomecánicas en minas	59
Tabla 6 Comparación de parámetros utilizados por las clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso.....	65
Tabla 7 Comparación simplificada de metodologías, información e instrumentación	66
Tabla 8 Revisión y comparación bibliográfica de metodologías, actividades e información de estudios realizados para la caracterización del macizo rocoso en obras subterráneas.....	71
Tabla 9 FODA	84
Tabla 10 Tabla de observaciones	91
Tabla 11 Tabla de preguntas y respuestas de la encuesta	94
Tabla 12 Tabla de entrevistas	104
Tabla 13 Tabla de Presupuesto referencial.....	116
Tabla 14 Formato para la descripción de rocas macroscópica - microscópica	118
Tabla 15 Formato para la presentación de mapeo geológico - geomecánico	119
Tabla 16 Matriz empleada para levantamientos geológico-geotécnicos	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de las concesiones mineras en Ecuador	19
Figura 2 Flujo de Trabajo para el desarrollo del trabajo de investigación	21
Figura 3 Efecto escala, desde roca intacta hasta un macizo rocoso muy fracturado	33
Figura 4 Proceso usado para evaluar el valor del RQD de un testigo de roca	35
Figura 5 Proceso comúnmente utilizado para evaluar el RQD a partir del mapeo de paredes de excavaciones subterráneas	36
Figura 6 Interpretación de los valores de RMR, (Bieniawski, 1989)	37
Figura 7 Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)	37
Figura 8 Orientación de la excavación en relación con las capas	39
Figura 9 Diagrama de flujo que ilustra el procedimiento para evaluar los índices IRMR y MRMR de calidad geotécnica (modificada de Laubscher & Jakubec, 2001)	43
Figura 10 Metodología para resolver un problema	45
Figura 11 Metodología del Estudio: Evaluation of Slope Stability in an Urban Area as a Basis for Territorial Planning: A Case Study.....	47
Figura 12 Esquema de una metodología genérica para la caracterización del macizo rocoso.....	48
Figura 13 Diagrama de flujo de la metodología para el estudio: Methodologies for geological-geotechnical characterization of rock masses: role of geomechanical classifications and indexes	49
Figura 14 Exportaciones del Ecuador a diciembre del 2022	50
Figura 15 Exportaciones del Ecuador a diciembre del 2022.....	51
Figura 16 Proyección de exportaciones de productos mineros del Ecuador	51
Figura 17 Labores mineras dentro de una mina subterránea	52
Figura 18 Esfuerzos antes de la excavación	57

Figura 19 Esfuerzos inducidos alrededor de una excavación simple.....	57
Figura 20 Esfuerzos inducidos alrededor de excavaciones múltiples.....	58
Figura 21 Diagrama de causa-efecto de influencia del macizo rocoso en accidentes por caída de roca.....	63
Figura 22 Estructura orgánica funcional de la ENAMI EP.....	81
Figura 23 Estructura Organizacional de la Sociedad Minera “Golden Mining”.....	83
Figura 24 Mapa de relacionamiento interinstitucional.....	86
Figura 25 Pregunta: Profesión en la que se especializa.....	95
Figura 26 Resultados: Pregunta Nro. 01.....	96
Figura 27 Resultados: Pregunta Nro.02.....	96
Figura 28 Resultados: Pregunta Nro.03.....	97
Figura 29 Resultados: Pregunta Nro.04.....	98
Figura 30 Resultados: Pregunta Nro.05.....	99
Figura 31 Resultados: Pregunta Nro.07.....	99
Figura 32 Resultados: Pregunta Nro.08.....	100
Figura 33 Resultados: Pregunta Nro.09.....	100
Figura 34 Resultados: Pregunta Nro.10.....	101
Figura 35 Resultados: Pregunta Nro.11.....	101
Figura 36 Resultados: Pregunta Nro.12.....	102
Figura 37 Resultados: Pregunta Nro.13.....	103
Figura 38 Resultados: Pregunta Nro.14.....	103
Figura 39 Resultados: Pregunta Nro.15.....	104
Figura 40 Propuesta metodológica para la caracterización del macizo rocoso	106
Figura 41 Fase I: Recopilación de información.....	108
Figura 42 Fase II: Levantamiento de información de campo	110

Figura 43 Fase III: Procesamiento de la información.....	112
Figura 44 Fase IV: Zonificación Geotécnica y Final.....	113

RESUMEN

Las labores mineras subterráneas en el Ecuador, especialmente la pequeña minería y minería artesanal, desarrollaron sus operaciones sin contar con procedimientos técnicos y parametrizados que definió la caracterización del macizo rocoso, dichos procedimientos técnicos fueron de suma importancia para garantizar el correcto y seguro desarrollo de actividades mineras; dentro de las actividades mineras la información geológica y geomecánica son fundamentales, esta información se encuentra dispersa, por lo que, es necesario centralizar el flujo de la información para conservarla en el tiempo. Por esta razón, se desarrolló la revisión y comparación de varias fuentes bibliográficas, encuestas y entrevistas a técnicos expertos, y se obtuvo una visión de como los técnicos realizan una caracterización en el campo, reflejando los resultados en tablas y gráficos. Se logro obtener un diagnóstico de como posiblemente se desarrolla una caracterización del macizo rocoso y con esto se diseñó una propuesta metodológica que cuenta con el procedimiento en cuatro (4) fases: en la primera fase (1) denominada de Recopilación de la Información, donde se recopila información y se tiene un estado actual y una percepción del objetivo de estudio, en la segunda fase (2) de Levantamiento de Información de Campo, donde se recopila y se mide la variables de manera sistemática que son de interés del estudio, en esta fase se utiliza equipos de levantamiento de información, en la tercera fase (3) Procesamiento de Información, se transforma los datos de campo a datos útiles y que servirán para la toma de decisiones, y en la última fase (4) Zonificación Geotécnica, se presenta los resultados de la caracterización del macizo rocoso. De igual manera, se realizó el cálculo de un presupuesto referencial siendo un total de \$ 177,567.00 para un equipo de trabajo en una empresa minera.

Palabras claves: Macizo Rocos, Geomecánica, Minería Subterránea, Procedimiento, Propuesta Metodológica.

ABSTRACT

Underground mining activities in Ecuador, especially small-scale mining, and artisanal mining, carried out their operations without having technical and parameterized procedures that defined the characterization of the rock mass, these technical procedures were of the utmost importance to guarantee the correct and safe development of activities. mining: Within mining activities, geological and geomechanical information are fundamental, this information is dispersed, so it is necessary to centralize the flow of information to preserve it over time. For this reason, the review and comparison of various bibliographic sources, surveys and interviews with expert technicians was developed, and a vision of how technicians carry out a characterization in the field was obtained, reflecting the results in tables and graphs. It was possible to obtain a diagnosis of how a characterization of the rock mass is possibly developed and with this a methodological proposal was designed that has the procedure in four (4) phases: in the first phase (1) called Information Gathering, where information is collected and there is a current state and a perception of the study objective, in the second phase (2) of Field Information Gathering, where the variables that are of interest to the study are systematically collected and measured, in In this phase, information gathering equipment is used, in the third phase (3) Information Processing, the field data is transformed into useful data that will serve for decision-making, and in the last phase (4) Geotechnical Zoning, the results of the characterization of the rock mass are presented. In the same way, the calculation of a referential budget was made, being a total of \$177,567.00 for a work team in a mining company.

Keywords: Rock Mass, Geomechanics, Underground Mining, Procedure, Methodological Proposal.

INTRODUCCIÓN

Ecuador ha sido desde hace mucho tiempo un país minero, iniciando con sus culturas aborígenes con la extracción artesanal de arcilla y metales. La minería ecuatoriana se ha desarrollado de manera artesanal y de pequeña minería en diferentes distritos mineros, solo iniciando sus operaciones mineras a gran escala en el 2019 con dos minas la de Fruta del Norte y Mirador.

Las operaciones de minería artesanal y pequeña minería debido a su escala, y nivel de inversión, es posible que no consideren la caracterización del macizo rocoso como una actividad para garantizar la estabilidad y la durabilidad de las labores mineras subterráneas o cuentan con procedimientos muy simples y que no toman en cuenta la conservación de la información geológica-minera.

De igual manera, la cantidad mínima de trabajadores técnicos o ninguna, pone en riesgo de suprimir actividades que son fundamental para la toma de decisiones, por esta razón, se propone una metodología que pueda aplicarse a un departamento de geomecánica de una empresa minera. Esta propuesta metodología presenta un flujo de procedimiento tomando en cuenta las actividades y la línea a seguir para obtener la información de campo hasta la caracterización de manera digital y si es posible la utilización de un software que presente la información procesada, esto dentro de cuatro fases de procedimiento, la información y herramientas necesaria para cada una, la utilización de esta mejora metodológica brinda a los técnicos que trabajan en un departamento geomecánico, tener una guía (procedimiento) y que herramientas pueden utilizar para la caracterización geomecánica en las labores subterráneas.

En el Capítulo I, se desarrolla el planteamiento del problema y se plasman los objetivos de la investigación y en base a estos se escoge la metodología que se aplica,

se expresan los alcances y límites de la investigación, presentando las definiciones más importantes.

En el Capítulo II, se presentan las variables claves de la geotecnia minera subterránea se expresa las definiciones para una caracterización del macizo rocoso y que ensayos es necesario aplicar. Además, se realiza el análisis comparativo de la clasificación del macizo rocoso y la de las metodologías aplicadas en los estudios de investigación revisados.

En el Capítulo III, se muestra los valores fundamentales de una empresa minera, su organización y estructura, así como, el marco legal en el que estas se desempeña.

En el Capítulo IV, se aplica los instrumentos de medición como encuestas y entrevistas a expertos internacionales y se presenta el diseño de mejora con su debida explicación y procedimiento para la empresa. Al igual, que un presupuesto aproximado para el funcionamiento de un departamento geomecánico.

En el Capítulo V, se presenta las conclusiones de la mejora, las debidas recomendaciones, la bibliografía y anexos.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

1.1. Título del Tema

Elaboración de una propuesta metodológica para la caracterización geomecánica en labores mineras subterráneas en el Ecuador.

1.2. Planteamiento del Problema

La minería ecuatoriana inicia desde los años 3.500 A.C con la cultura Valdivia mediante la arcilla y la cultura Tolita para los trabajos en metales como oro, cobre y plata, es decir, Ecuador es un país minero desde sus orígenes.

Durante varios años, se ha desarrollado operaciones mineras en la ciudad de Zaruma, Portovelo de manera artesanal y a pequeña escala, y debido al incremento en el precio del oro también se desarrollan operaciones en Nambija, Chinapintza, Guayzimi y Ponce Enríquez.

Estas operaciones se han desarrollado de manera antitécnica en varias partes del país, sin contar con el apoyo técnico de profesionales especializados para el manejo de las estructuras mineras subterráneas, por lo que se ha producido impactos negativos en la superficie, generando hundimientos y deslizamientos, producto del colapso de los pilares del techo, afectando varios bienes y afectando vidas humanas.

Actualmente, existen varias concesiones mineras en estos sitios donde se producen operaciones subterráneas, que se desarrollan con una cantidad mínima de personal técnico (especialistas geólogos, mineros, geotécnicos, etc.) o ninguna, y en el caso de existir, este personal se desenvuelve en un solo departamento técnico “multifuncional”, que debe cumplir con diversas actividades para el desarrollo de la mina.

Debido a que este departamento multifuncional tiene que distribuir sus esfuerzos y tiempo a todas las actividades o ciclos de la mina, esto afectará a mediano y/o largo plazo en la producción minera, producto de la pérdida de accesos a frentes de explotaciones pasadas o actuales, así también, posiblemente a mineral que se encuentra en lugares antes accesibles, pero que actualmente no se puede acceder producto de la inestabilidad o riesgo que se presenta la infraestructura subterránea.

Por esta razón, este estudio se dirige a estos actores tomando en cuenta que la actividad minera continúa en el Ecuador con 2.032 áreas de minería artesanal, 979 áreas mineras de pequeña minería y 477 áreas mineras en minería industrial de acuerdo con los datos de especificados en el Boletín Institucional del Sector Minero 2021.

La principal característica de las concesiones mineras en el Ecuador es su ubicación, ya que las mismas se concentran en la parte sur del país, y más específicamente en las provincias de El Oro, Loja, Azuay y Zamora Chinchipe. Las demás concesiones se distribuyen en el resto del país (Delaune & Costa, 2021).

Para evitar este tipo de problemas dentro de ambiente minero subterráneo, se plantea elaborar una propuesta metodológica para la caracterización geomecánica en labores subterráneas que aporte los sistemas y procedimientos necesarios para cubrir todo el ciclo de entendimiento geomecánica en sus diversas etapas.

subterráneas.

- Diseñar una propuesta metodológica para la caracterización geomecánica dentro de un departamento de geotecnia para una empresa minera.
- Establecer mecanismos de procedimiento y control de la propuesta diseñada.

1.4. Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo, se ha planifica realizar las siguientes etapas, para el cumplimiento de los diferentes objetivos específicos. A continuación, se presenta la metodología de trabajo para el presente proyecto:

Etapas 1.- Estudio Preliminar y Diagnóstico (Objetivo Especifico 1): para el desarrollar de esta etapa, se pretende realizar una recopilación de información de varias literaturas científicas, específicamente de una revisión bibliográfica y la entrevista de diferentes técnicos mineros. Toda la información aportara para definir una situación actual de la geomecánica minería subterránea ecuatoriana, plasmándonos la pregunta: ¿qué se conoce por caracterización geomecánica?

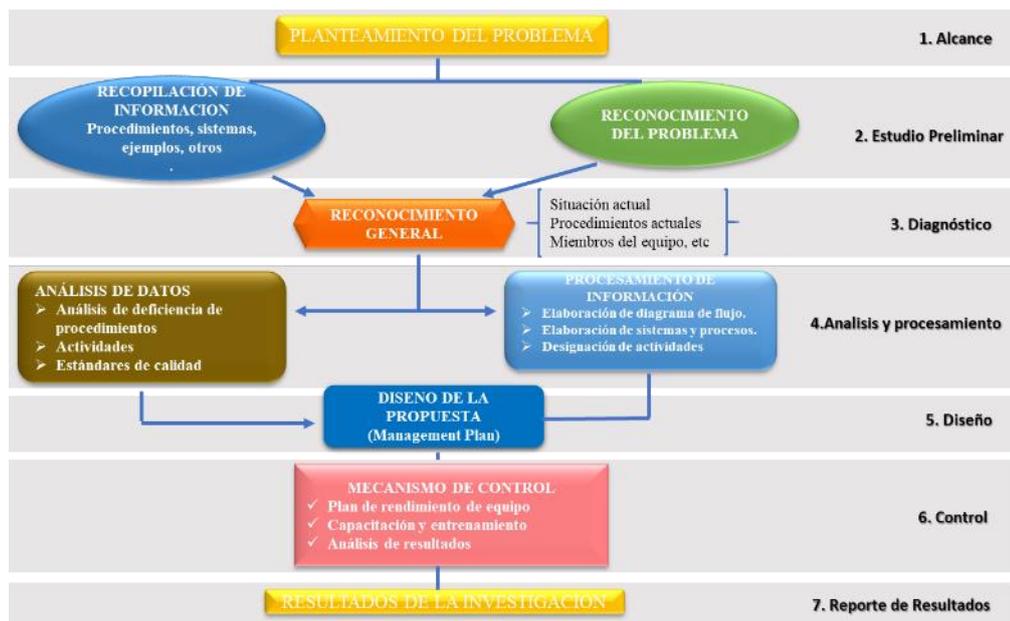
Etapas 2.- Análisis y procesamiento – Diseño (Objetivo Especifico 2 y 3): En esta etapa se realiza un estudio de revisión sistemática de la bibliográfica basado en la revisión de la parte de geomecánica de documentos científicos publicados por diferentes estudios de investigación, tesis de maestrías y pregrado, así mismo se aplica el análisis de barras de los resultados de las encuestas, con el objetivo de examinar las actividades críticas para proponer un procedimiento preliminar.

Etapas 3.- Propuesta – Control (Objetivo específico 4 y 5): Generar con la información de las anteriores etapas una metodología simple para la caracterización

del macizo rocoso en labores mineras subterráneas y establecer la forma de control de las actividades.

Figura 2

Flujo de Trabajo para el desarrollo del trabajo de investigación



Fuente: Elaborado por el Autor

1.5. Justificación

1.5.1. Justificación Teórica

Existen varios libros, trabajos de investigación y guías respecto a la caracterización geomecánica en labores mineras subterráneas, como por ejemplo la siguiente guía denominada, Huaman, A. A., Ardiles, V. R., Mendieta, E. H., Arias, A. F., Salas, M. W., Nikaido, H. E., Curi, A. N. (2017). Guía de Criterios Geomecánicos para Diseño, Construcción, Supervisión y Cierre de Labores Subterráneas. Osinergmin.

De igual manera, podemos encontrar diferentes procedimientos de varias compañías mineras para desarrollar las operaciones dentro de un departamento de geomecánica minera.

1.5.2. Justificación Metodológica

Este trabajo aplica tres puntos esenciales para el análisis y obtención de los resultados; el primer punto, se ejecutará un estudio previo mediante la recopilación de información bibliográfica de estudios de investigación, maestrías y pregrado de la información aplicado a la geomecánica subterráneas, de esto se obtendrá un diagnóstico, que será apoyado con el empleo de entrevistas, encuestas, la aplicación de instrumentos y observaciones minuciosas. El segundo, es analizar y procesar la información para la obtención de la propuesta de metodología (management plan) para la caracterización geomecánica de labores subterráneas que pueda establecer el propósito de esta investigación, y el tercero, es aplicar unos mecanismos de control mediante indicadores claves de rendimiento que puedan llegar al propósito.

1.5.3. Justificación Práctica

El presente proyecto de investigación será una herramienta de gestión para los departamentos de geomecánica de las empresas mineras o para los técnicos que se encuentren en este ámbito de trabajo, ellos contarán con una metodología efectiva y sencilla para la caracterización geomecánica de labores mineras subterráneas.

1.6. Definiciones

A continuación, se presentan conceptos básicos para el entendimiento del tema de investigación:

Caracterización Geomecánica: Es el estudio que se le realiza al macizo rocoso para entender y estimar su comportamiento ante los esfuerzos lito estáticos y por los producidos por diversas obras de ingeniería superficiales o subterráneas.

Departamento o Área de Geomecánica: es el área encargada dentro de la empresa minera para realizar la evaluación del macizo rocoso en todas las etapas de la operación de la mina, y sus estudios sirven para la construcción de la infraestructura subterránea, su objetivo principal es el controlar la inestabilidad del macizo rocoso y recomendar medidas anticipadas para la estabilidad física de las excavaciones subterráneas siempre garantizando la seguridad del personal, equipos, maquinaria e infraestructura.

Gestión geomecánica: se maneja mediante el establecimiento y elaboración de procedimientos documentados se sirven para garantizar que las operaciones y el desarrollo de las minas se encuentren en concordancia a un confiable modelo geomecánica. La gestión geomecánica debe abarcar todas las actividad y operaciones dentro del interior mina en compromiso con toda la empresa minera desde su alta dirección hasta el último trabajador de la mina.

Geomecánica: Es una ciencia que estudia el comportamiento mecánico de los materiales naturales que se encuentran en la tierra formados geológicamente como son rocas y suelos, basándose en los conceptos y teorías de la mecánica de rocas y mecánica de suelos (Ingeniería de Roca).

Labor minera: Se le denomina labor minera a cualquier excavación minera que sirve para la extracción, transporte y acarreo de mineral, así como, acceso y transporte de personal, en la etapa de explotación de un yacimiento mineral.

Macizo rocoso: es la masa de roca intacta y diversas discontinuidades (estructuras geológicas) que se presentan en la naturaleza y que presentan propiedades heterogéneas y/o anisótropas.

Minería subterránea (Underground mining): Es aquella actividad económica que sus actividades para la extracción del recurso mineral se las realizan bajo la superficie de la tierra, mediante infraestructura subterránea (labores mineras), y tecnología mediante una forma sistemática e iterativa.

Metodología de proceso geotécnico o geomecánica (Management plan): es el grupo de mecanismos o procedimientos apropiados dirigidos a un departamento o área geotécnica de una empresa minera, que sirve para la recopilación de manera sistemática la información geomecánica y que garantiza la calidad de los datos para su análisis y procesamiento, y que su objetivo principal es dirigir una investigación para la obtención confiable de sus resultados y que pueden ser utilizados en las diferentes áreas operativas de la empresa.

1.7. Alcances y Limitaciones

1.7.1. Alcance

La investigación no se desarrolla específicamente en un lugar dado, sin embargo, podemos decir que esta se basara en la información que se encuentre disponible de varias empresas mineras de la República del Ecuador, tomando como ejemplos los procedimientos, guías y otras herramientas de gestión, que se encuentren disponibles.

17.2. Limitaciones

El presente trabajo tiene como limitación la disponibilidad de información, recursos y acceso a los datos de las empresas mineras para la revisión de sus

procedimientos, por esta razón, es necesario la revisión de guías y libros como herramientas para el análisis, diseño y control de la propuesta metodológica.

1.8. Cronograma

Las diferentes actividades que se llevaran a cabo en el presente trabajo se presentan mediante un diagrama de Gantt (Anexo 1):

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptualización de la(s) variable(s) o tópico(s) clave

2.1.1. Generalidades

La ingeniería geotécnica en comparación con otras disciplinas o ingenierías es prácticamente nueva, se podría mencionar que esta se ha desarrollado debido a los inicios de ciertos proyectos que desencadenaron retos para el desarrollo de obras de ingeniería civil o de explotación de minería superficial y/o subterráneas, con el objetivo de continuar con sus operaciones y mantener costos efectivos.

Es sumamente importante el reconocimiento de los materiales que se encuentran en los terrenos estudiados, permite conocer un amplio aspecto de la resistencia, geología o procesos de meteorización de estos, que varía de acuerdo al tipo de material (roca y/o suelo) que se está atravesando mientras se realiza las labores mineras, esto permite genera soluciones y elaborar espacios subterráneos estables.

2.1.1.1. Aspectos Geotécnicos

Respecto a los aspectos de la ingeniería geotécnica, esta podría incluir la geología, mecánica de rocas y de suelos, y la sismología minera, sin embargo, es preferible mencionar la geomecánica como ingeniería geotécnica para abarcar las componentes de la geología, la mecánica de rocas, mecánica de suelos e incluir el estudio de los materiales naturales para solucionar los problemas y el control de los terrenos donde se realizan las operaciones.

La ingeniería geotécnica es una herramienta para la industria minera que promueve su aplicación para lograr explotaciones seguras y rentables.

Los trabajos mineros exponen a los trabajadores a condiciones extremas debido a las condiciones geomecánicas del macizo rocoso que predominan, en el caso de que, en las operaciones mineras exista una continua necesidad de realizar trabajos de rehabilitar esto es un indicio de una inadecuada actividad minera, y esto afectara de manera directa o indirectamente a los costos de la mina. Y para evitar este tipo de problemas es necesario realizar los trabajos de manera responsable y seguros desde el primer instante de las operaciones. Por lo que, se debe tener en claro este concepto desde la alta gerencia hasta la parte operativa.

2.1.1.2. Estructuras Geológicas

Las estructuras geológicas es todo aquel plano de debilidad que precede y se encuentra en el macizo rocoso siendo estas, las diaclasas, fallas, planos de estratificación, esquistosidad, foliación entre otras. Podría denominarse a estas discontinuidades y que a través de estos planos de debilidad el macizo rocoso posee muy poca o nula resistencia a la tracción. Para entender de mejor manera, una discontinuidad es cualquier ruptura o fractura significativa en el macizo rocoso que cuenta con una resistencia a la tracción insignificante. Estas discontinuidades o planos de debilidad dividen al macizo rocoso en un conjunto de bloques con tamaño, forma y orientación que influyen fuertemente a las condiciones de estabilidad del macizo rocoso (roca) en las obras subterráneas, en este caso en minería subterránea.

Las estructuras geológicas pueden tener las siguientes características: la orientación de las discontinuidades (que esta especificada por el rumbo y buzamiento de la estructura). Espaciado, persistencia o continuidad, rugosidad, resistencia de la pared, apertura, relleno, infiltración y numero de juntas. El estudio de las estructuras geológicas es sumamente vital para entender la influencia de estas a las condiciones del terreno.

2.1.1.3. Dominio Geotécnico

Un dominio geotécnico es un volumen de roca con propiedades geotécnicas del macizo rocoso generalmente similares. Para definir un dominio geotécnico se debe considerar las siguientes propiedades:

- Características similares de los planos de debilidad
- Grado de alteración y/o alteración
- Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta
- Módulo de deformación del macizo rocoso
- Campo de tensión de la roca (campo de tensión previo a la extracción y campo de tensión inducidos)
- Permeabilidad del macizo rocoso

2.1.1.4. Modelo Geológico

El modelo geológico de la zona en donde se situará la estructura por construir se inicia con el levantamiento geológico a una escala que permite poner énfasis a los dominios estructurales delimitados por las discontinuidades existentes; se describen y caracterizan los parámetros de mayor importancia para el diseño o construcción. (Gaviláñez J & Andrade, 2004).

La descripción geológica debe contener detalles cualitativos y cuantitativos de la roca intacta, discontinuidades y del macizo rocoso. Tales descripciones provienen de las clasificaciones litológicas, sondajes de perforación y, principalmente, de trabajos de campo. (Gaviláñez J & Andrade, 2004).

2.1.1.5. Modelo Geomecánica

En el modelo geomecánica se evalúa las propiedades mecánicas de la roca intacta, de las discontinuidades y del macizo rocoso como tal. Las propiedades

mecánicas de los macizos rocosos deben incluir el estudio de los parámetros de deformabilidad y de resistencia, a fin de estudiar el comportamiento del macizo rocoso frente a procesos de desestabilización por efecto de la construcción de la obra; esto implica el empleo de criterios de rotura aplicables en función de las características del macizo rocoso. (Gavilánez J & Andrade, 2004).

2.1.1.6. Recopilación de Datos Geológicos

Lo más importante antes de empezar un análisis práctico de mecánica de rocas, es el modelo y los datos geológicos en los cuales se basa para determinar el tipo de roca, las discontinuidades estructurales y propiedades de los materiales. Además, si se realiza un análisis sofisticado, este podría llegar a tonarse sin sentido si el modelo geológico en el que se basa es el inadecuado o inexacto.

Durante varios años, las técnicas para la recolección de datos geológicos no han cambiado mucho, tanto para el mapeo de campo como para el logueo geológico, pero respecto a la tecnología actualmente existe avances para la recopilación de datos en campo como, por ejemplo, las brújulas digitales, los analizadores manuales de XRF.

De igual manera, la importancia del entrenamiento a los geólogos y su constante desarrollo en su profesión ayudara a las empresas a contar con mayor capacidad de especialistas y contar con datos más fiables para el reconocimiento geológico en campo, como en los laboratorios.

Una vez obtenidos los datos de campo, es necesario ingresarlos en una base de datos y estos deben ser procesados mediante softwares dependiendo la actividad para su interpretación y aplicación de la estadística.

2.1.1.7. Ensayos de Laboratorio

Los ensayos que se realizan en roca intacta están asociados a la descripción de características del macizo rocoso, medición de las propiedades físico-mecánicas y la medición de otras propiedades. La determinación de las propiedades del macizo rocoso puede estar enfocado de dos maneras:

- a) A través de las propiedades de la roca intacta y de las propiedades de las discontinuidades; o
- b) A través, de las propiedades del macizo rocoso medidas o estimadas directamente.

Como menciona (Zhang, 2005), existen diferentes métodos para determinar las propiedades del macizo rocoso, que se pueden dividir en dos categorías generales: métodos directos e indirectos. Los métodos directos incluyen pruebas de laboratorio e IN SITU. Existe una variedad de bibliografía que muestra los procedimientos de cómo realizar estos ensayos para determinar las propiedades de las rocas. Además, los estándares de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM) y la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) brindan orientación relacionada con los procedimientos específicos para realizar las pruebas reales de laboratorio e IN SITU.

En la tabla a continuación, se presentan las categorías de los métodos de prueba sugeridos de ISRM.

Tabla 1

Categorías de métodos de prueba sugeridos por ISRM (after Brown, 1981)

<p>1. PRUEBAS DE LABORATORIO</p> <p>(a) Caracterización</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) Porosidad, densidad, contenido de agua (ii) Absorción (iii) Dureza: rebote de Schmidt, escleroscopio de Shore (iv) Resistencia a la abrasión (v) Índice de fuerza de carga puntual (vi) Resistencia a la compresión uniaxial y deformabilidad. (vii) Hinchamiento y durabilidad del apagado (viii) Velocidad del sonido (ix) Descripción petrográfica <p>(b) Diseño de ingeniería</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) Ensayo de resistencia y deformabilidad triaxial (ii) Prueba de corte directo (iii) Ensayo de resistencia a la tracción (iv) Permeabilidad (v) Dependencia del tiempo y propiedades plásticas
<p>2. PRUEBAS IN SITU</p> <p>(a) Caracterización</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) Orientación de la discontinuidad, espaciamiento, persistencia, rugosidad, resistencia de la pared, apertura, llenado, filtración, número de juegos y tamaño del bloque (ii) Recuperación de testigos de perforación/RQD (iii) Registro geofísico de pozos (iv) Velocidad del sonido in situ <p>(b) Diseño de ingeniería</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) Pruebas de deformabilidad de placas y pozos (ii) Ensayo de resistencia y deformabilidad uniaxial y triaxial in situ (iii) Resistencia al corte - corte directo, corte torsional (iv) Medición de la permeabilidad del campo (v) Determinación de la tensión in situ

Fuente: (Zhang, 2005)

2.1.1.7.1. Compresión Uniaxial

El ensayo se realiza en probetas de roca cuya relación largo/ancho es de 2 a 2,5. La resistencia compresiva del material es dependiente de las dimensiones; muestras largas pueden romper por inestabilidad elástica y las muestras cortas pueden eliminar planos preferentes de rotura (Gavilánez J & Andrade, 2004). La resistencia a la compresión uniaxial es la relación entre la carga de pico P y la sección transversal A :

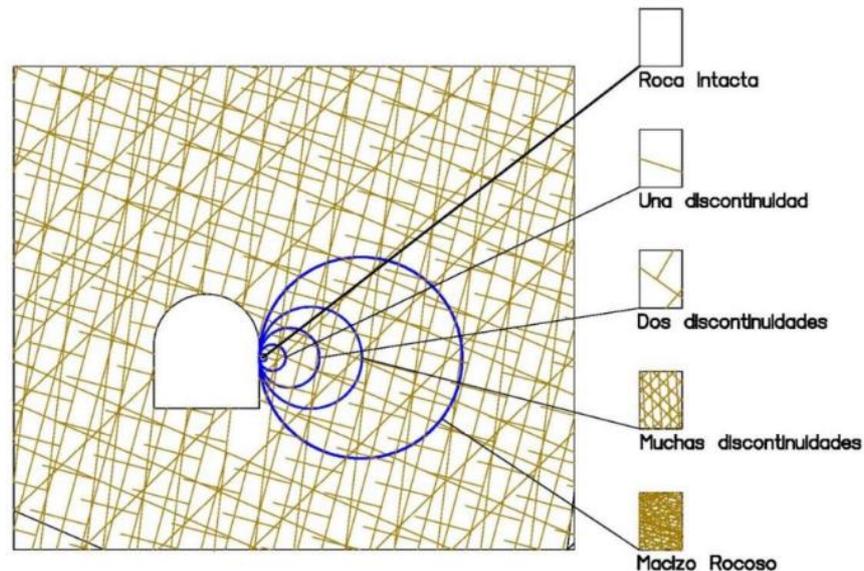
2.1.1.8. Caracterización del Macizo Rocos

Para dar una definición respecto a que es la caracterización del macizo rocoso, podemos decir que, es la recopilación de información geológica, de campo, estudios previos, sondeos, hidrológicos, geofísicos, ensayos, entre otros, para generar un modelo geológico y geomecánica.

El macizo rocoso es el conjunto de bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades por las que se ve afectado como son fallas, juntas, pliegues, planos de estratificación etc. Los macizos rocosos son por tanto discontinuos y heterogéneos, siendo la consecuencia más importante de ello el efecto escala (Cunha 1990), y que las propiedades tenso deformacionales de los macizos son de naturaleza anisótropa (Madariaga, 2015).

Figura 3

Efecto escala, desde roca intacta hasta un macizo rocoso muy fracturado



Fuente: (Madariaga, 2015)

2.1.1.9. Métodos de clasificación del macizo rocoso

Las clasificaciones del macizo rocoso pueden ser utilizado para determinar la extensión de los dominios geotécnicos en una excavación minera subterránea, es decir que, también es útil para la aplicación en una mina subterránea.

1. Rock Quality Designation (RQD) o Índice de Calidad de la Roca
2. Rock Mass Rating System o Sistema RMR
3. Rock Quality System o Sistema Q
4. Mining Rock Mass Rating System o Sistema MRMR

Debido a que se basa en varios parámetros que clasifican al macizo rocoso, estos parámetros tienen limitaciones en sus cálculos, por lo que, podría ser necesario aplicar trabajos geotécnicos adicionales para modificar y adaptar estos métodos y sean más sensibles a las variaciones en las propiedades geotécnicas.

2.1.1.9.1. Índice de Calidad de la Roca (RQD)

Este es uno de los sistemas más empleados para la caracterización del macizo rocoso de manera preliminar, se basa en la medición del número de fracturas a lo largo de la línea de medición, mientras más alto es el número de fracturas, la calidad del macizo es menor.

El valor del RQD es la relación expresada como un porcentaje de la suma de todas las partes de longitudes mayores a 10 cm dividido por la longitud total de la corrida de perforación. El RQD se mide normalmente para cada corrida de perforación (Huaman, et al., 2017).

El RQD asigna un porcentaje de calificación al macizo rocoso, de 100% (el más competente) a 0% (el menos competente: condición de suelo). La interpretación del valor del RQD se muestra en la Tabla Nro. 2:

Tabla 2

Interpretación de valores de RQD (Deere, 1964)

Descripción del índice de calidad de roca	Valor del RQD
Muy pobre	0 - 25
Pobre	25 - 50
Regular	50 - 75
Buena	75 - 90
Excelente	90 - 100

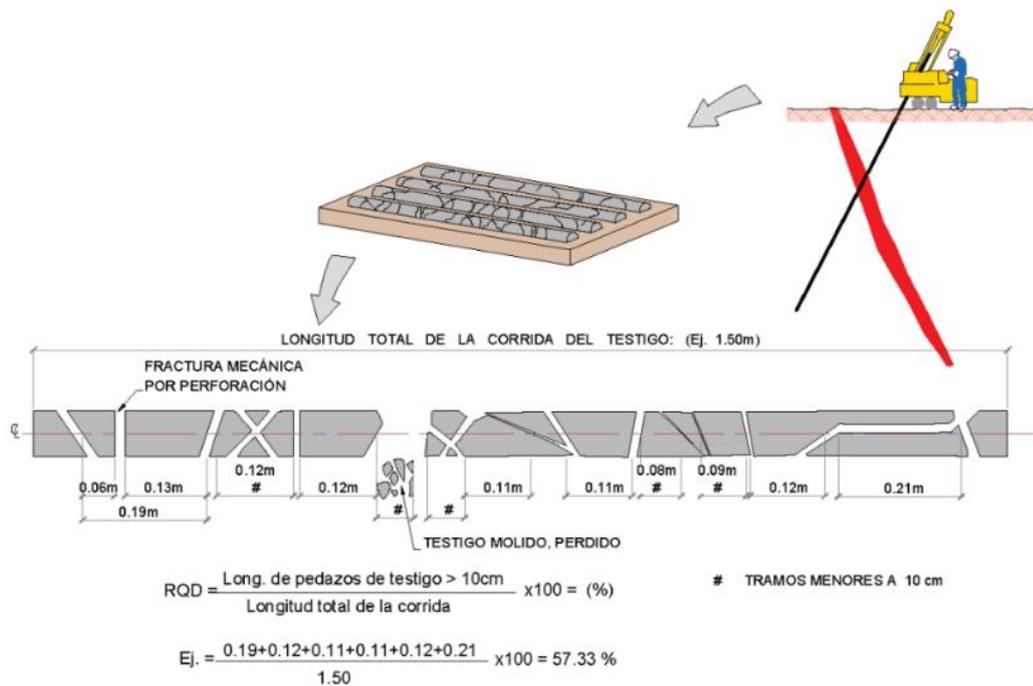
Fuente: (Huaman, et al., 2017)

El RQD debe considerarse como una estimación rápida y preliminar de las condiciones del macizo rocoso que deberá ser complementada posteriormente con

métodos de clasificación de macizo rocoso más sofisticados según sea necesario (Huaman, et al., 2017).

Figura 4

Proceso usado para evaluar el valor del RQD de un testigo de roca

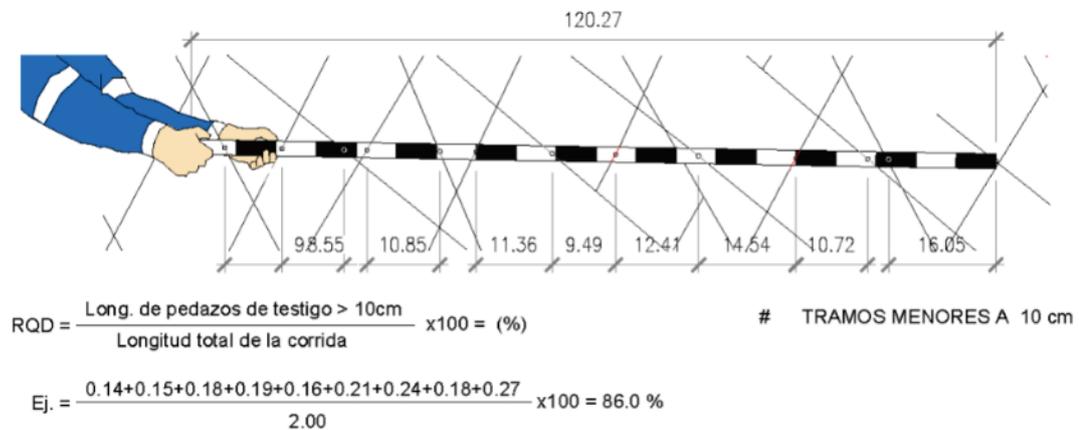


Fuente: (Huaman, et al., 2017)

Uno de los métodos alternativos para la evaluación del RQD en el mapeo de las paredes de las galerías subterráneas cuando no se cuenta con testigos de perforación es la medición mediante una línea de detalle en la pared de la labor, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 5

Proceso comúnmente utilizado para evaluar el RQD a partir del mapeo de paredes de excavaciones subterráneas



Fuente: (Huaman, et al., 2017)

2.1.1.9.2. Rock Mass Rating System (RMR)

Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos (González de Vallejo, 2002):

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

Estos parámetros inciden en el comportamiento geomecánico de un macizo rocoso y se expresa por medio del índice de calidad “RMR” (Rock Mass Rating), que varía de 0 a 100 como se puede observar en la siguiente tabla:

Figura 6

Interpretación de los valores de RMR, (Bieniawski, 1989)

Descripción	RMR	Clase de Macizo Rocosó
Roca Muy Buena	81-100	I
Roca Buena	61-80	II
Roca Regular	41-60	III
Roca Mala	21-40	IV
Roca Muy Mala	0-20	V

Fuente: (Huaman, et al., 2017)

Para el cálculo del RMR, se debe seguir la Figura Nro. 7, y aplicar la siguiente formula:

$$RMR = (I) + (II) + (III) + (IV) + (V) - \text{Ajuste por orientación de discontinuidades}$$

Figura 7

Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

Parámetros de clasificación									
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	< 1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m		

		Puntuación	20	15	10	8	5
4	Estado de las diaclasas	Continuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
		Puntuación	6	4	2	1	0
		Abertura	Nula	< 0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	>5 mm
		Puntuación	6	5	3	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
		Puntuación	6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Duro (<5 mm)	Duro (> 5 mm)	Blando (<5 mm)	Blando (>5 mm)
		Puntuación	6	4	2	2	0
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
		Puntuación	6	5	3	1	0
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0.0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
	Puntuación	15	10	7	4	0	

Clasificación del macizo rocoso según RMR					
Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

Corrección por la Orientación de las Diaclasas					
Dirección y Buzamiento	Muy Favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Túneles	0	-2	-5	-10	-12
Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Orientación de las Diaclasas						
Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0°-20° cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buz 45°-90°	Buz 20°-45°	
Buz 45°-90°	Buz 20°-45°	Buz 45°-90°	Buz 20°-45°			

Muy Favorables	Favorables	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable
----------------	------------	-------	--------------	------------------	-------	--------------

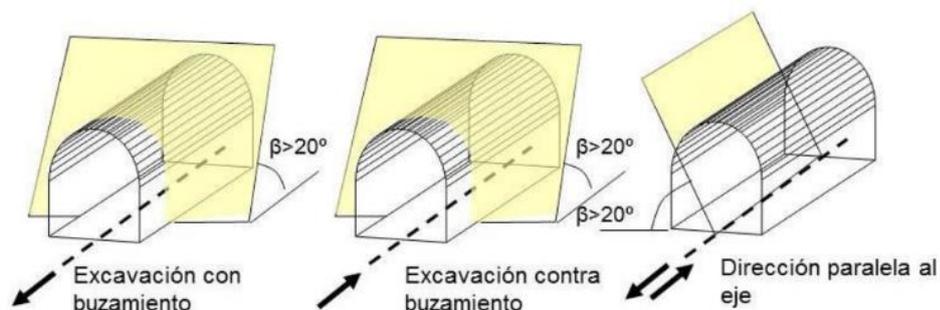
Clasificación del macizo rocoso según RMR					
Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100-81	>4 kg/cm ²	>45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/cm ²	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 kg/cm ²	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/cm ²	15°-25°
V	Muy mala	<20	<1 kg/cm ²	<15°

Fuente: Ing. Danny Burbano Catedra Geotécnica Minera - Universidad Central del Ecuador

Figura 8

Orientación de la excavación en relación con las capas



Fuente: (Madariaga, 2015)

2.1.1.9.3. Rock Quality System

Desarrollada por Barton, Lien y Lunde en 1974, a partir del estudio de un gran número de túneles, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite estimar parámetros geotécnicos del macizo y diseñar sostenimientos para túneles y cavernas subterráneas (González de Vallejo, 2002).

El índice Q está basado en una evaluación numérica de seis parámetros dados por la expresión:

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

Donde:

J_n = índice de diaclasado que indica el grado de fracturación del macizo rocoso.

J_r = índice de rugosidad de las discontinuidades o juntas.

J_a = índice que indica la alteración de las discontinuidades.

J_w = coeficiente reductor por la presencia de agua.

SRF (*stress reduction factor*) = coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional del macizo rocoso.

Los tres factores de la expresión representan:

$\frac{RQD}{J_n}$ = El tamaño de los bloques

$\frac{J_r}{J_a}$ = La resistencia al corte entre los bloques

$\frac{J_w}{SRF}$ = La influencia del estado tensional

Tabla 3*Clasificación del macizo rocoso según Q*

Clase		Rango	Clasificación
Clase 9	G	0,001- 0,01	Calidad excepcionalmente mala
Clase 8	F	0,01 - 0,1	Calidad extremadamente mala
Clase 7	E	0,1-1	Calidad muy mala
Clase 6	D	1-4	Calidad mala
Clase 5	C	4-10	Calidad media
Clase 4	B	10- 40	Calidad buena
Clase 3	A	40-100	Calidad muy buena
Clase 2		100-400	Calidad extremadamente buena
Clase 1		400-1000	Calidad excepcionalmente buena

Fuente: (González de Vallejo, 2002)

2.1.1.9.4. Mining Rock Mass Rating (MRMR)

Se desarrolló como una variante del método de Bieniawski orientada a aplicaciones mineras, definiendo la calidad geotécnica del macizo rocoso in situ mediante un índice IRMR, que luego se modifica para definir un índice de calidad geotécnico-minera: MRMR (Mining Rock Mass Rating). Este sistema ha tenido una amplia aplicación en métodos de hundimiento (Caving) (Huaman, et al., 2017).

El índice IRMR se define como:

$$IRMR = P(BS) + P(JS) + P(JC)$$

Donde:

$P(x)$: Es el puntaje asociado al parámetro x.

BS: Es la resistencia en compresión uniaxial de los bloques de roca que conforman el macizo rocoso, depende de la resistencia de la roca "intacta" (denominada IRS en el método de Laubscher), y la presencia

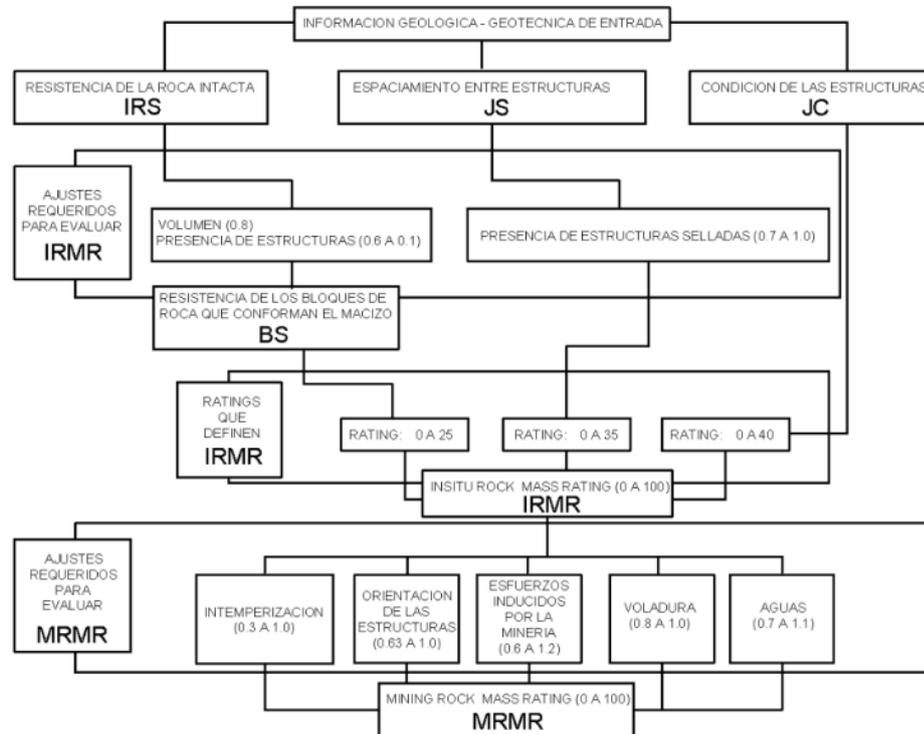
de vetillas. El puntaje asociado a BS puede variar de 0 (si $BS = 0$ MPa) a 25 (si $BS \geq 160$ MPa).

JS: Es el espaciamiento de las estructuras abiertas, e incluye una corrección para tomar en cuenta la presencia de uno o dos familias de estructuras selladas (e.g. vetillas) con rellenos de resistencia menores a los de la roca de caja. El puntaje asociado a JS varía de 3 (3 familias de estructuras con un espaciamiento de 0.1 m) a 35 (1 familia de estructuras con un espaciamiento de 2 m).

JC: Es la condición de las estructuras —definida en términos de su rugosidad a escala intermedia y menor—de la alteración de la roca de caja, y de la potencia y competencia del material de relleno (si lo hay). El puntaje asociado a JC varía desde 4 (estructuras planas y pulidas, con rellenos potentes de salbanda y fuerte alteración de la roca de caja) a 40 (estructuras onduladas en varias direcciones, bien trabadas, sin alteración de la roca de caja y con rellenos de competencia similar a la de la roca de caja).

Figura 9

Diagrama de flujo que ilustra el procedimiento para evaluar los índices IRMR y MRMR de calidad geotécnica (modificada de Laubscher & Jakubec, 2001)



Fuente: (Huaman, et al., 2017)

2.1.1.9.5. Geological Strenght Index - Índice Geológico de Resistencia (GSI)

Hoek et al. (1995) propusieron un índice geológico de resistencia, GSI (Geological Strength Index). La clasificación proporciona un sistema para evaluar la calidad del macizo rocoso en función de la resistencia y deformabilidad del mismo. La resistencia y deformabilidad se basan en los siguientes parámetros:

- Estructuras del macizo rocoso, blocosidad y grado de trabazón.
- Condiciones de las discontinuidades.

El índice de clasificación se encuentra un rango que variar de 0 a 100, definiéndose 5 clases de macizos rocosos, la categorización se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4

Clasificación GSI (Hoek et al., 1995)

Calidad del Macizo Rocosó	GSI
Muy Mala	0-20
Mala	20-40
Regular	40-60
Buena	60-80
Muy Buena	80-100

Fuente: (Molina, 2013)

2.1.1.10. Metodologías Relacionadas para la Clasificación del Macizo Rocosó

Es importante comprender cual es el camino que se debe seguir para realizar una investigación científica, por eso es importante conocer la metodología más adecuada para llegar a los objetivos planteados de manera fiable.

La Metodología es la ciencia que nos enseña a dirigir determinado proceso de manera eficiente y eficaz para alcanzar los resultados deseados y tiene como objetivo darnos la estrategia a seguir en el proceso (Cortés Cortés & Iglesias León, 2004).

La metodología es un seria de métodos y técnicas del ámbito científico que se desarrollan sistemáticamente en un proceso de investigación con el objetivo de obtener resultados teóricamente válidos. En otras palabras, la metodología que se aplica a cualquier investigación científica trabaja como una guía de ayuda para cumplir con el objetivo de la investigación.

El inicio del proceso para el estudio de un área específica nace de la extracción del problema de investigación, que puede ser de manera teórica o práctica.

Podría decirse que la investigación sigue la fórmula dialógica del binomio - respuesta, a cada tipo de pregunta le corresponde su propia respuesta (Octavio, 2016). A continuación, se presenta un diagrama de flujo metodológico para entender la solución de un problema:

Figura 10

Metodología para resolver un problema



Fuente: (Octavio, 2016)

En este contexto, a lo largo de los años se ha realizado el reconocimiento de varias problemáticas en minería relacionadas a la caracterización del macizo rocoso, preexistiendo varios estudios que presentan su metodología para reconocer, comprobar y comparar los resultados dirigidos al entendimiento de macizo rocoso. Así como el presente trabajo, plantea presentar una propuesta metodológica para la caracterización del macizo rocoso en labores mineras subterráneas.

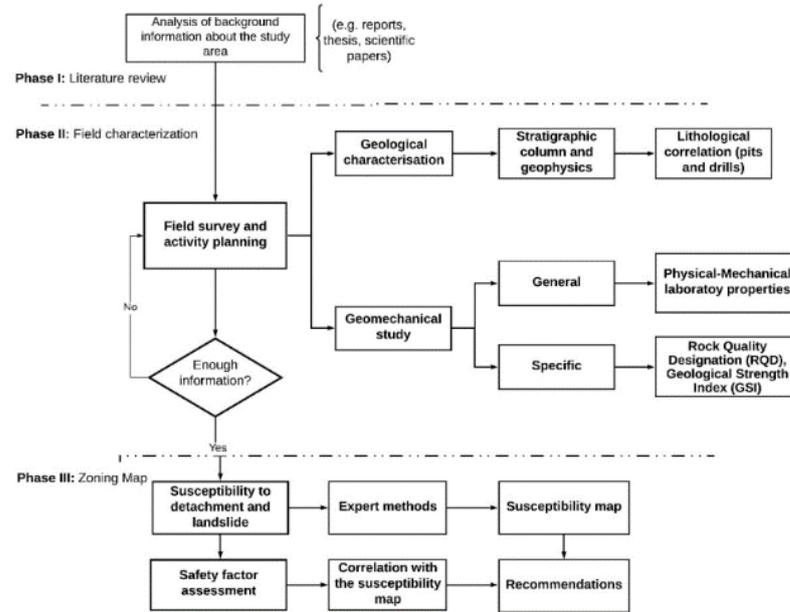
Mediante la revisión bibliográfica podemos citar las siguientes metodologías realizadas por varios actores, siendo las siguientes:

(1) Evaluation of Slope Stability in an Urban Area as a Basis for Territorial Planning: A Case Study.

A pesar de que este estudio es dirigido a la estabilización de taludes puede ser considerado como una metodología comparativa entre minería subterránea y actividades en superficie, el estudio plantea tres (3) fases de investigación en su metodología y podemos observar en la Figura Nro. 11, que este estudio se despliega en la provincia del Guayas en Ecuador; la Fase I: se trata de una revisión literaria basada en reportes, libros científicos, tesis y papers; la Fase 2, se basa en la caracterización de área de interés, la caracterización se divide en geológica y estudios geomecánicos , y en esta fase es donde se obtiene la calidad de la roca, de igual manera, aquí plante un análisis respecto a si la información adquirida es la suficiente para resolver el problema; la Fase 3, nos presenta los resultados de la investigación mediante un mapa de zonificación del macizo rocoso y sus respectivas recomendaciones.

Figura 11

Metodología del Estudio: Evaluation of Slope Stability in an Urban Area as a Basis for Territorial Planning: A Case Study



Fuente: (Carrión Mero, 2021)

(2) Models for Geomechanical Characterization of the Rock Mass Formations at DUSEL Using Data Mining Techniques

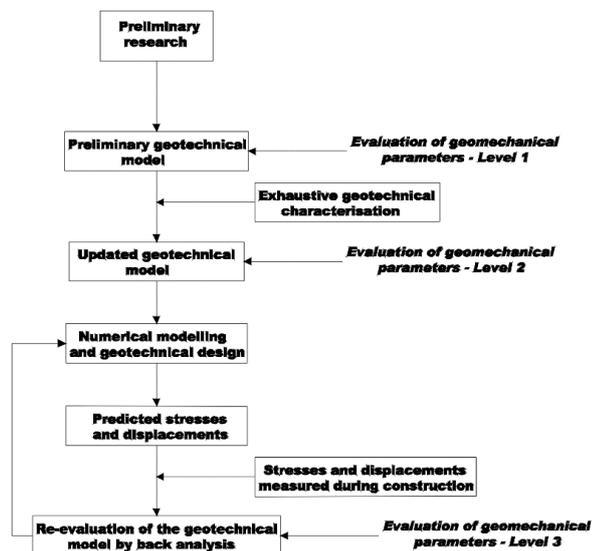
Este estudio se encuentra dirigido a realizar nuevos modelos de caracterización del macizo rocoso utilizando la técnica de minería de datos, en la mina antigua de oro “Homestake” en Dakota del Sur en los Estados Unidos de América. En la Figura Nro. XX, se presenta la metodología que se utiliza para generar grandes proyectos geotécnicos. La metodología comienza con una investigación basada en datos geológicos y varias pruebas para definir un modelo geotécnico inicial y mediante este se realiza una evaluación de los parámetros geotécnicos, seguido a este paso, se procede a una caracterización más completa y los resultados que se obtuvieron

anteriormente, se pueden actualizar para luego obtener un modelo geotécnico más exacto.

En esta metodología, los parámetros geomecánicos se encuentran evaluados en tres niveles considerando diferentes condiciones de los datos que se adquieren del macizo rocoso.

Figura 12

Esquema de una metodología genérica para la caracterización del macizo rocoso



Fuente: (Sousa, Miranda, Roggenthen, & Sousa, 2023)

(3) Methodologies for geological-geotechnical characterization of rock masses: role of geomechanical classifications and indexes.

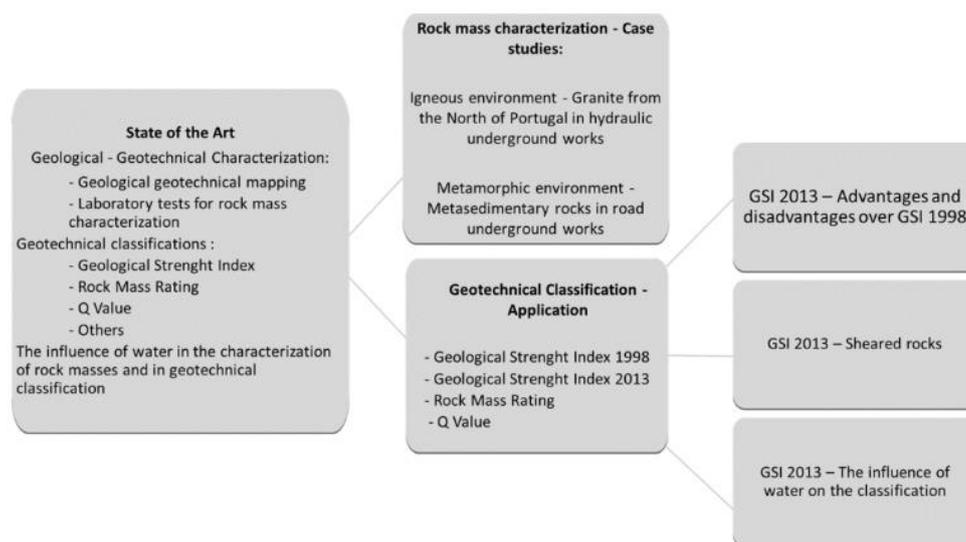
Este estudio analiza la aplicabilidad y factibilidad del Índice de Fuerza Geológica (GSI), basado en datos de campo recolectados en diferentes proyectos subterráneos (Santa, Fernandes, & Chaminé, 2021).

Esta metodología inicia con un estado del arte donde recopila información geológica y geotécnica para contar con los parámetros geomecánicos del macizo

rocoso, posteriormente realiza la clasificación geomecánica en base a los datos obtenidos en campo y de los ensayos de laboratorio.

Figura 13

Diagrama de flujo de la metodología para el estudio: Methodologies for geological-geotechnical characterization of rock masses: role of geomechanical classifications and indexes



Fuente: (Santa, Fernandes, & Chaminé, 2021)

2.2. Importancia de la(s) variable(s) o tópico(s) clave

2.2.1. La Minería en el Ecuador

El sector minero en el Ecuador tiene un papel sumamente importante para el desarrollo de su economía, a pesar de que históricamente la actividad minera se basaba en la pequeña minería y minería artesanal, el Gobierno Nacional del Ecuador, inicio con la explotación minera a gran escala con los proyectos estratégicos en el año 2019, con las operaciones mineras de Mirador y Fruta del Norte. Además, existen algunas compañías por ejemplo Ecuagoldmining S.A. que finalizo la fase de exploración y realizan los estudios correspondientes a la factibilidad y viabilidad para

la construcción de mina y arranque del destape y preparación de yacimiento mineral, otros se encuentran en la evaluación y categorización de reservas, y de ser el caso podrían seguir a las siguientes fases de la actividad minera.

La actividad minera de acuerdo con la Ley de Minería y sus reglamentos establece regímenes de minería, los cuales se dividen por el área donde se realizan las actividades mineras y la cantidad de producción que estas generan, siendo estos la minería artesanal, pequeña minería, mediana minería y gran minería, estas dos últimas podríamos mencionarlas como minería industrial. La división de los regímenes mineros se presenta en la siguiente tabla:

Figura 14

Exportaciones del Ecuador a diciembre del 2022

VOLUMENES DE PRODUCCIÓN				
TIPO DE MINERAL	RÉGIMEN	MÉTODO	DESDE (T/día)	HASTA (T/día)
Minerales Metálicos	Gran minería	Subterráneo	1001 T/día	en adelante
		Cielo Abierto	2001 T/día	
		Aluvial	3001 m ³ /día	
	Mediana minería	Subterráneo	301 T/día	1000 T/día
Cielo Abierto		1001 T/día	2000 T/día	
Aluvial		1501 m ³ /día	3000 m ³ /día	
Pequeña minería	Subterráneo	11 T/día	300 T/día	
	Cielo Abierto	-	1000 T/día	
Artesanal minería	Aluvial	121 m ³ /día	1500 m ³ /día	
	Subterráneo	-	10 T/día	
Minerales No Metálicos	Gran minería	Aluvial	-	120 m ³ /día
		-	3001 T/día	en adelante
	Mediana minería	-	1001 T/día	3000 T/día
	Pequeña minería	-	51 T/día	1000 T/día
Artesanal minería	-	-	50 T/día	
Materiales de construcción	Gran minería	Cielo Abierto	1001 T/día	en adelante
		Aluviales	2001 m ³ /día	
	Mediana minería	Cielo Abierto	501 T/día	1000 T/día
		Aluviales	801 m ³ /día	2000 m ³ /día
Pequeña minería	Cielo Abierto	51 T/día	500 T/día	
	Aluviales	101 m ³ /día	800 m ³ /día	
Artesanal minería	Cielo Abierto	-	50 T/día	
	Aluviales	-	100 m ³ /día	

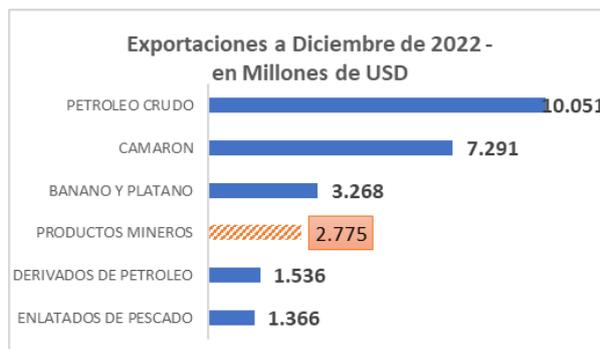
Fuente: (Ministerio de Minería, 2018). Actual "Ministerio de Energía y Minas"

Con respecto a las exportaciones mineras hasta diciembre de 2022, se han exportado USD 2.775,02 millones de productos mineros, 32,64% superior que lo exportado en el mismo periodo del 2021, con esto se ha superado en 103,82% de la

meta del 2022 propuesta, la misma que fue fijada en USD 2.673 millones (Dirección de Información y Transparencia de las Actividades mineras, 2022).

Figura 15

Exportaciones del Ecuador a diciembre del 2022



Fuente: (Dirección de Información y Transparencia de las Actividades mineras, 2022)

Hasta el 2025 se prevé que Ecuador exporte por productos mineros un valor cercano a los USD 4.000 Millones, que a valores actuales representaría el 15% de las exportaciones totales del país, lo que ubicaría a los productos mineros como el tercer producto más exportado del país y de mayor importancia, solo por detrás del petróleo y camarón (Dirección de Información y Transparencia de las Actividades mineras, 2022).

Figura 16

Proyección de exportaciones de productos mineros del Ecuador



Fuente: (Dirección de Información y Transparencia de las Actividades mineras, 2022)

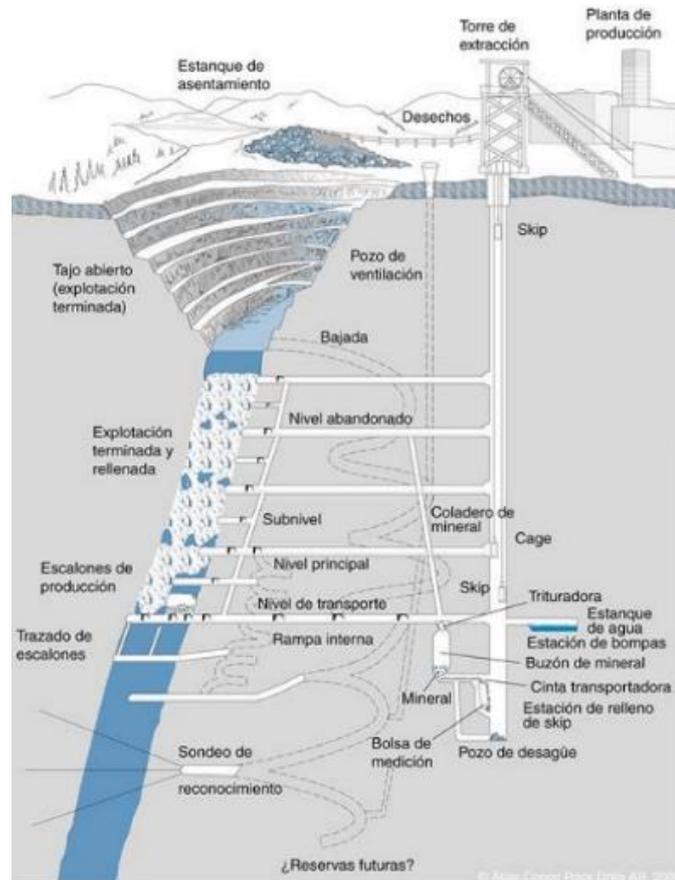
2.2.2. Minería Subterránea

En minería subterránea la extracción de estéril suele ser prácticamente insignificante a lo largo de la vida de la mina, pues sólo procederá de las labores de acceso y preparación. En este grupo de métodos, el control del terreno o de los huecos, una vez extraído el mineral, es una de las consideraciones más importantes que interviene en la forma de explotar un yacimiento. Los tipos de control o tratamiento de los huecos dentro de los macizos rocosos varían desde el mantenimiento rígido del terreno mediante pilares, pasando por diferentes grados de sostenimiento de los hastiales, con cierre y hundimiento controlado de estos, hasta el hundimiento completo del mineral o del recubrimiento de estéril. (Herrera, 2006).

En general, se llama minería subterránea o de interior al conjunto de pozos, galerías, rampas, chimeneas o coladeros, cámaras para alojamiento de servicios e infraestructura varias, así como de labores de explotación propiamente dichas, que han sido destinados a permitir la extracción eficiente de un mineral o conjunto de minerales de un yacimiento situado a una cierta profundidad y que no es accesible, tanto económicamente o ambiental o socialmente, por métodos de explotación a cielo abierto (Laboratorio de Innovación y Tecnología Minera, 2019).

Figura 17

Labores mineras dentro de una mina subterránea



Fuente: Laboratorio de Innovación y Tecnología Minera (2019)

El consumismo en todo el mundo continúa generando un incremento en las actividades mineras. Para muchas naciones, este hecho se convierte en fuentes de ingreso para el progreso, a la vez, crea retos a la sustentabilidad y compromisos principalmente sociales y ambientales en los territorios donde se realiza esta actividad (Salas Quelal, 2020).

Una de las principales ventajas de la minería subterránea es la evidente disminución de los impactos en las zonas de influencia directa de la mina. Debido a que las operaciones de extracción del mineral se lo realizan en las profundidades, no produce impactos en la zona exterior de la mina, es decir, que el impacto visual no es de alto grado, comparando a el método de explotación a cielo abierto. Aplicando el método de explotación subterránea no se produce un retiro de la cobertura vegetal, por estas razones, y dependiendo de la normativa que rija en cada país, las compañías

se inclinan a la aplicación de este método de explotación, para evitar futuros problemas socioambientales, a pesar de que no sea el método más técnicamente factible.

Del hecho de que las operaciones mineras se realizan a profundidad, la actividad minera subterránea, es considerada como un trabajo de alto riesgo, históricamente han preexistido centenares de pérdidas de vidas por impactantes accidentes.

Durante las operaciones se presentan varios factores de riesgo en los que podemos citar las características del macizo rocoso, el uso de explosivos en las voladuras, la utilización de quipos y maquinarias, el agua a profundidad (acuíferos subterráneos y nivel freático), la presencia de gases inflamables y mortales, la probabilidad de incendios en la profundidad, los errores de diseño o ejecución de los trabajos mineros, entre otros, que atienden a una gama de riesgos de alto potencial y severidad.

La caracterización del macizo rocoso brinda una herramienta para conocer la calidad de este y provee criterios para definir el sostenimiento necesario para que las operaciones se lleven a cabo de manera normal.

2.2.3. Ingeniería de rocas

Durante siglos los ingenieros civiles y mineros han estado construyendo sobre o dentro de los macizos rocosos, los principios de la ingeniería de rocas durante este largo tiempo han llegado a entenderse, la mecánica de roca es solo la expresión que se le denomina a estos principios y en unos pocos años se ha complementado las teorías y la práctica para desarrollar esta disciplina como es la ingeniería de rocas.

2.2.4. Importancia de la geomecánica en minería subterránea

El macizo rocoso dependiendo de las características y condiciones en el que se encuentra, varía de mina en mina, al igual que, en su interior varía de un área a la otra. A medida que va evolucionando el desarrollo de las operaciones crece el número de labores en subterráneo y para el alcance de reservas de mineral se accede a mayor profundidad, y con ello la obtención de mayores inestabilidades en el medio rocoso.

En las excavaciones subterráneas se puede producir la rotura del terreno alrededor de la excavación, a partir de inestabilidades como convergencia excesiva, derrames, hundimientos y estallidos de roca, entre otros. El conocimiento de la magnitud y dirección del estado tensional del terreno es una parte esencial del diseño de excavaciones subterráneas, pues en muchos casos las tensiones inducidas alrededor de la excavación superan a la resistencia del macizo rocoso (Laboratorio Oficial J.M. Madariaga, 2015).

La descripción y evaluación geológica y geotécnica son fundamentales en los proyectos de ingeniería y la industria extractiva, con énfasis en ambientes subterráneos. En la excavación de macizo rocoso, los sistemas de clasificación contribuyen a parametrizar el material rocoso y las características del macizo rocoso. Además, es fundamental la definición del soporte a aplicar, cuyos límites muchas veces se basan en el valor de las clasificaciones geomecánicas (Santa, Fernandes, & Chaminé, 2021).

Por lo tanto, la determinación de las características demanda técnica estructuradas que concilien rigor, precisión y eficiencia en la ejecución de la investigación del sitio para obtener datos confiables en una acción integrada del ciclo de trabajo.

La caracterización geomecánica permite evitar y/o disminuir los incidentes/accidentes por caída de rocas, utilizando las herramientas, a fin de controlar la estabilidad de rocas, estableciendo tipos de sostenimiento en las diferentes labores mineras y garantizando la estabilidad de la masa rocosa, con el fin de brindar una operación segura y de calidad (Cueva Romero & Arana Cabrera, 2019).

Para el control de la geomecánica en las explotaciones mineras es necesario determinar la calidad del macizo rocoso, en otras palabras, clasificarlo considerando aspectos como las características del macizo rocoso, determinación de la calidad del macizo, recomendaciones del tipo sostenimiento en base a los datos recolectados en campo y la ejecución y calidad del sostenimiento.

2.2.5. Estabilidad en Labores Mineras Subterráneas

Cuando las explotaciones mineras se las realiza cerca de la superficie (a poca profundidad), la estabilidad de las labores mineras está condicionadas por las diferentes estructuras geológicas en la roca. Sin embargo, a medida que nos profundizamos los esfuerzos que se encuentran ejerciendo en la masa rocosa también incrementan producto de la carga litostática (peso de la roca sobre la labor).

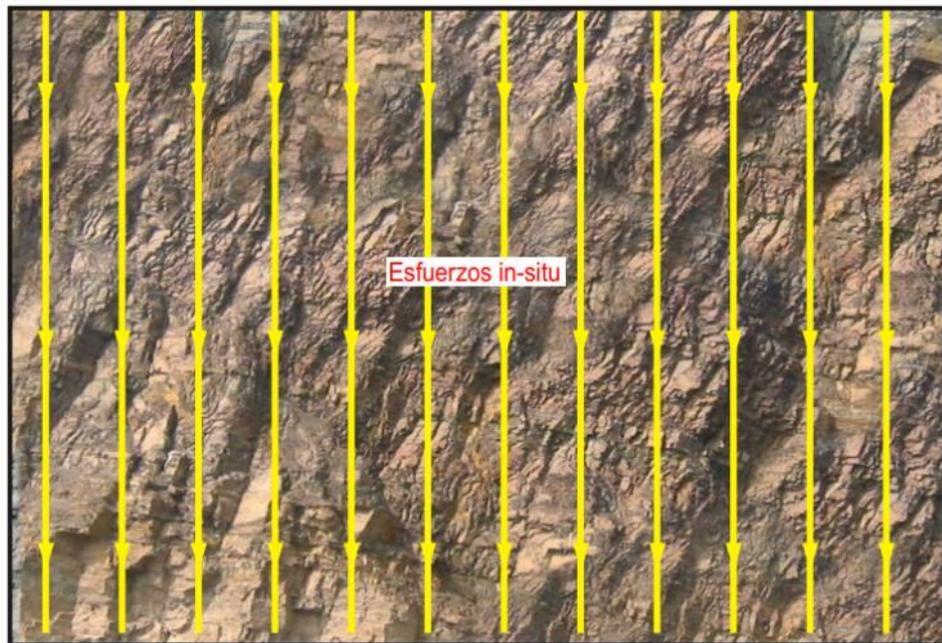
Cuando se realiza el franqueo de galerías en el medio rocoso, estamos cambiando el campo de los esfuerzos naturales, producto de esto se induce a la roca circundante a la labor a un nuevo estado de esfuerzos.

Conforme la explotación avanza, los esfuerzos consiguen concentrarse en diferentes zonas de la explotación, así como, en otros puede a llegar a disiparse. Los esfuerzos que se han acumulado en ciertas zonas de la mina pueden sobrepasar la resistencia de las rocas, creándose problemas de inestabilidad en el macizo rocoso excavado, detonando problemas potenciales de caídas de roca.

Para comprender los efectos de los esfuerzos dentro del macizo rocoso, a continuación, se presentan en la Figura Nro. 18, 19 y 20 el comportamiento de los esfuerzos frente a una excavación.

Figura 18

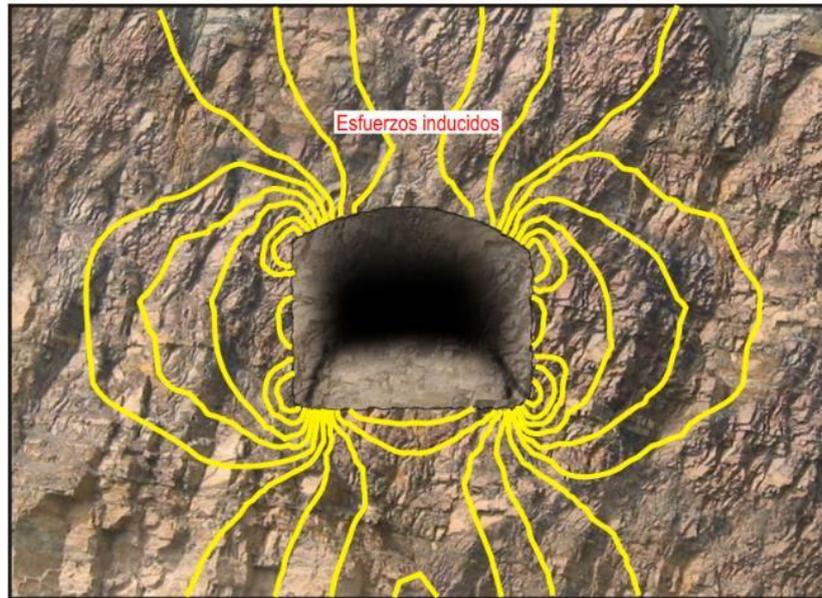
Esfuerzos antes de la excavación



Fuente: (Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, 2004)

Figura 19

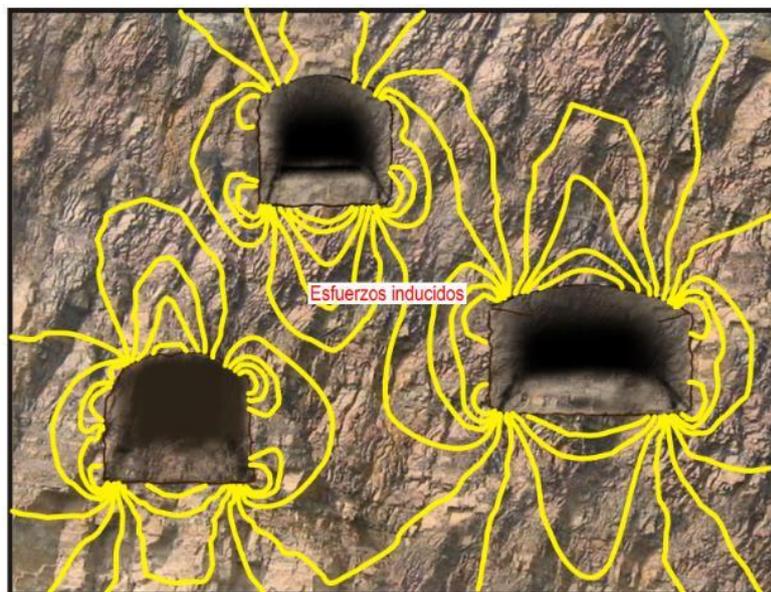
Esfuerzos inducidos alrededor de una excavación simple



Fuente: (Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, 2004)

Figura 20

Esfuerzos inducidos alrededor de excavaciones múltiples



Fuente: (Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, 2004)

Los factores que influyen en las condiciones de estabilidad de la masa rocosa de las excavaciones subterráneas, que son de particular interés en términos de la operación minera día a día, son: la litología, intemperización y alteración, la estructura

de la masa rocosa, los esfuerzos, el agua subterránea, la forma, el tamaño y orientación de las excavaciones, el esquema y secuencia de avance del minado, la voladura, el tiempo de exposición abierta de la excavación y los estándares de sostenimiento (Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, 2004).

La identificación de las inestabilidades de la masa rocosa debe ser llevada a cabo en forma continua durante el desarrollo de la mina a medida que avance el minado, en base a la información geomecánica que se tenga disponible y las inspecciones de rutina de la masa rocosa de las aberturas mineras (Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, 2004).

2.2.6. Consecuencias Geomecánicas

Según el Servicio Nacional de Geología y Minas del Gobierno “SERNAGEOMIN” de Chile (2018), define como consecuencia geomecánicas a los efectos referidos a la forma de comportamiento de un macizo rocoso frente a la activación de uno o más mecanismos de inestabilidad detonados por uno o más factores. Estas consecuencias condicionan la clasificación de la estabilidad física en una mina.

La SERNAGEOMIN, ha realizado una clasificación de estas consecuencias geomecánicas, para las explotaciones a cielo abierto y subterráneas, que se presenta en la tabla a continuación:

Tabla 5

Consecuencias geomecánicas en minas

RAJOS	MINAS SUBTERRÁNEAS
CONSECUENCIAS GEOMECÁNICAS	CONSECUENCIAS GEOMECÁNICAS
Caída de bloques y/o cuñas	Altos rangos de deformación
Falla estructura geológica relevante	Caída de bloques y cuñas
Sobreexcavación y/o adelgazamiento base del talud	Sobreexcavación
Roturas complejas	Falla de estructura geológica relevante
Roturas circulares	Daños en macizos de comportamiento frágil
Asentamiento-Subsidencia-Colapso	Asentamiento-Subsidencia-Colapso

Fuente: (Servicio Nacional de Geología y Minas, 2018)

A continuación, se describe brevemente cada una de estas consecuencias:

Caída de Bloqueos y/o cuñas. - Siempre que se corten o junten tres discontinuidades se formarán cuñas de roca en un macizo rocoso. A su vez, si se cruzan cuatro o más se formarán bloques, los que son potencialmente inestables. Se debe tener en cuenta que, en rocas estratificadas, la estratificación suele ser la discontinuidad principal. Para que una cuña de roca caiga o deslice por gravedad, el vértice de la cuña debe mirar hacia el interior del macizo rocoso. Si este vértice mira hacia la galería o la cara libre, no tendría salida y no podría caer (Laboratorio Oficial J.M. Madariaga, 2015).

Falla de estructura geológica relevante. – Se considera como una estructura geológica relevante aquella que de acuerdo con la escala de la excavación y las características de la estructura se considera importante. Podemos mencionar que una estructura es importante como, por ejemplo, un dique que presente mala calidad geotécnica posee dimensiones que respecto a la escala de la explotación sea identificable, es decir, genere anisotropía en el macizo rocoso o posea un comportamiento muy diferente a los otros materiales presentes en el macizo.

Sobreexcavaciones. - Comportamiento del macizo rocoso generado cuando éste posee un alto grado de fracturación. Este solo hecho puede generar esta consecuencia incluso sin previo aviso (Laboratorio Oficial J.M. Madariaga, 2015).

Altos rangos de deformación. - Como deformación se entenderá al cambio de forma o configuración de un cuerpo, correspondiéndose con los desplazamientos que sufre la roca al soportar la carga. Compara condiciones en dos instantes, y concierne únicamente a la configuración de los cuerpos. En el ámbito geotécnico, es necesario describir adecuadamente el nivel de deformaciones o desplazamientos para utilizar los conceptos de inestabilidad y fallamiento, reconociendo niveles de severidad según los siguientes conceptos básicos (González de Vallejo y Otros, 2002). Estas deformaciones son producidas por las tensiones o esfuerzos generados por la aplicación de las fuerzas en las rocas, dependiendo de la resistencia de las mismas y de otras condiciones extrínsecas al propio material rocoso (Ramírez y Alejano; 2004).

Daños en macizos de comportamiento frágil. - En macizos rocosos de resistencia alta sometidos a niveles tensionales elevados se producen roturas frágiles que tienen un carácter súbito, incluso explosivo (p.ej. estallidos de roca, lajamiento súbito) (Servicio Nacional de Geología y Minas, 2018).

Este tipo de rotura se inicia como resultado de la propagación de grietas de tracción a partir de micro-fisuras en la roca. Estas grietas se propagan a lo largo de la trayectoria de los esfuerzos principales mayores, fracturándose la roca. Dependiendo de la razón entre la resistencia de la roca intacta y los esfuerzos in-situ, el lajamiento puede limitarse a pequeñas lajas o evolucionar hacia una rotura masiva violenta, pudiendo provocar proyecciones o estallidos de roca (Laboratorio Oficial J.M. Madariaga, 2015).

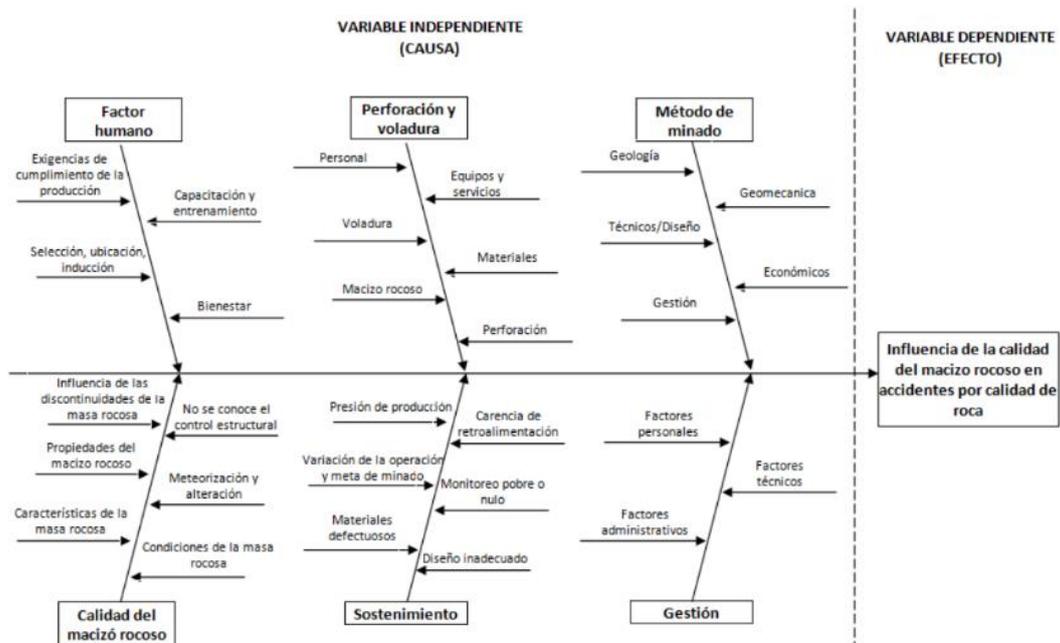
Asentamiento-Subsidencia-Colapso. – Según (González de Vallejo y otros, 2004), estos pertenecen a movimientos que se generan de manera vertical, es decir el desplazamiento de la masa rocosa se produce en el eje vertical. Según la clasificación de la Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes de la SERNAGEOMIN, agrupa en tres: (1) asentamientos que se producen hundimientos o descensos lentos del terreno a escalas pequeñas, que se caracteriza por las grietas semi circulares que pueden llegar a formar escalones. (2) Subsidencias que son hundimientos con descensos lentos y paulatinos de la superficie del terreno y (3) Colapsos, que son hundimientos que se producen repentinamente en la superficie del terreno, debido a que este alcanza un estado limite en la resistencia de las rocas que se encuentran suprayacentes debido a que estas están sometidas a tensiones que no pueden soportar. Los materiales presentan un comportamiento frágil con roturas violentas.

2.2.7. Influencia de la Calidad del Macizo Rocoso en Accidentes de Caída de Rocas

La caída de rocas en la mina es el efecto generado por una causa, en la que podrían juntarse muchos factores. Estos que se han estudiado en todo el mundo y desde que el hombre empezó a excavar en el subsuelo, han dado lugar a la prevención mediante la estibación, al principio con la madera, luego con el acero y el cemento (Orellana Mendoz, 2016).

Figura 21

Diagrama de causa-efecto de influencia del macizo rocoso en accidentes por caída de roca.



Fuente: (Orellana Mendoz, 2016)

2.2.8. Estudios Realizados de Caracterización del Macizo Rocosó en Minería Subterránea y Obras Civiles

Se realizó la revisión de 12 estudios que contemplan la caracterización del macizo rocoso; entre estos dos (2) son de otros países (Chile y Perú) dirigidos a minería subterránea, tres (3) se encuentran dirigidos a la construcción de proyectos hidroeléctricos (túneles) y siete (7) para minería subterránea en Ecuador.

Esta revisión se presenta en la Tabla Nro. 9, y presenta las diferentes metodologías que varios autores han seguido para completar su estudio (caracterización del macizo rocoso en obras subterráneas), al igual que, la información necesaria para el desarrollo de sus trabajos, los ensayos de laboratorio que realizaron

y los instrumentos necesarios para la adquisición de datos en campo durante las observaciones y levantamientos de datos geológicos y geomecánicas.

De esta manera, podemos darnos cuenta que debido al descubrimiento de nuevos depósitos minerales, construcción de obras civiles y en general para la obtención de recursos, la minería seguir siendo un pilar fundamental en las actividades del ser humano y es ahí, que para continuar las operaciones mineras de manera segura, es necesario caracterizar el medio donde se trabaja (macizo rocoso), tomando en cuenta que la minería subterránea es de alto riesgo y es necesario contar con el control de las operaciones y de este medio discontinuo donde se encuentra el recurso mineral.

2.3. Análisis comparativo

2.3.1. Comparación entre Clasificaciones del Macizo Rocosos

De acuerdo con las diferentes clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso y las metodologías aplicadas por los diferentes autores, se realiza una comparación de los parámetros que las clasificaciones geomecánicas que se toman en cuenta para designar una calidad al macizo rocoso, esta comparación se realiza a través de la bibliografía, mediante sus fórmulas y teoría, mas no es una comparación mediante el análisis d datos tomados en campo y procesados.

En la Tabla Nro. 6, Se observan la comparación de los métodos de clasificación del macizo rocoso:

Tabla 6

Comparación de parámetros utilizados por las clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso

Parámetros	Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989)	Mining Rock Mass Rating (MRMR)	Rock Quality System (Q de Barton)	Geological Strength Index (GSI)
Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta	X	X		
Grado de fracturación en términos del RQD. "Índice de calidad de la Roca" / Fracturamiento por metro	X	X	X	
Espaciado de las discontinuidades.	X	X		X
Condiciones de las discontinuidades.	X	X		X
Condiciones hidrogeológicas (agua subterránea) / Coeficiente reductor por la presencia de agua "Jw"	X	X	X	
Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.	X			
Índice de Rugosidad de las discontinuidades o juntas "Jr" / Rugosidad de las discontinuidades		X	X	
Índice que indica la alteración de las discontinuidades "Ja"			X	
Coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional del macizo rocoso - SRF (stress reduction factor)			X	
Toma en cuenta las alteraciones de la roca de caja		X		
Aplica corrección por orientación de las diaclasas	X			
Rangos de Clasificación	5 rangos con amplitud de 20		9 rangos con Con amplitudes diferentes	5 rangos con amplitud de 20
Depende de una clasificación previa		Si (RMR modificado)		
Factor de Radio Hidráulico		X		
Grado de Libertad del Macizo Rocosos				X

Fuente: Elaborado por el autor

2.3.2. Comparación de Metodologías para la Clasificación del Macizo Rocosos

Como se presenta en la Tabla Nro. 7, denominada "Revisión y comparación bibliográfica de metodologías, actividades e información de estudios realizados para la caracterización del macizo rocoso en obras subterráneas", que es una revisión de 12 investigaciones en el ámbito minero y civil, donde se despliega una comparación de su metodología de trabajo (actividades que se realizan), los datos necesarios para

	Mineralización		X	X													
	Litología	X			X					X	X						
	Alteraciones	X															
	Sismicidad				X	X											
	Topografía	X			X	X		X	X	X	X		X				
	Hidrología				X				X	X							
	Sondajes				X	X				X	X						
	Fotografías Aéreas																
	Índice de Calidad de la Roca "RQD"	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X				
	Toma de muestras de roca	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X				
	Toma de datos de datos de discontinuidades	X		X		X	X	X		X	X	X	X				
	Descripción macroscópica de las muestras	X	X	X	X	X					X	X					
	Descripción microscópica de las muestras	X			X	X					X						
	Parámetros fundamentales de la roca	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X				
	Resistencia a la Compresión Simple	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X				
	Ensayo triaxial									X	X						
	Carga Puntual				X												
	Mapa geológico de las labores							X									
	Zonificación geomecánica	X		X	X	X	X			X	X	X	X				
	Presentación de mapas de puntuación y calidad de la roca						X	X	X	X	X	X	X				
Instrumentos de levantamiento de Información	Plantilla de registro de levantamiento geológico	X		X		X		X	X								
	Plantilla para levantamiento de características de discontinuidades			X	X	X	X	X	X		X	X	X				
	Estereogramas de discontinuidades			X	X	X	X	X				X	X				
	Ficha de descripción macroscópica y/o microscópica				X												
	Fotografías Aéreas				X												
	Ficha de Mapeo Geológico - Geotécnico	X			X	X	X										
	Plantilla de caracterización de sondeos									X							
Reportes Geológicos – Geotécnicos				X	X	X											
Utilización de Software		X	X		X		X					X					
<p>1 Caracterización Geomecánica En Faenas Subterráneas De Pequeña Minería, Caso De Estudio Mina Los Pequeños, Región De Coquimbo. Chile.</p> <p>2 Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha - Sociedad Minera Corona S. A.</p> <p>3 Dimensionamiento de Los Pilares De Techo y El Espaciamiento De Los Buzones De Descarga De Los Bloques 3N y 2S del Área Minera "El Corazón"</p> <p>4 Análisis del Comportamiento Geomecánico del Macizo Rocosos para la Estimación del Sistema de Soporte en la Excavación del Tramo Inferior de las Tuberías de Presión del Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair, entre las Abscisas A0+955 A A1+275 Y B1+030 A B1+350.</p>																	

5 Empleo de las Clasificaciones Geomecánicas, para la Investigación del Comportamiento Geotécnico de las Excavaciones Subterráneas en la Central La Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair 1500 MW
6 Caracterización Geomecánica y Propuesta de Técnicas de Sostenimiento para las Principales Galerías de Explotación de la Mina Liga de Oro.
7 Diseño de Excavación De La Galería Principal de Acceso a la Mina Reina del Cisne, Distrito Minero Portovelo - Zaruma, Cantón Zaruma, Provincia de El Oro.
8 Evaluación de Reservas y Diseño del Sistema de Explotación del Área Minera Mary Elena Código: 102317
9 Diseño de Excavación del Túnel de Conducción del Proyecto Hidroeléctrico Topo
10 Análisis Geomecánica del Macizo Rocoso para la Construcción de la Chimenea Glory Hole mediante El Sistema Alimak.
11 Estudio Geomecánico y Propuesta de Fortificación en la mina El Mirador en Camilo Ponce Enríquez, Azuay.
12 Caracterización geomecánica del macizo rocoso y diseño de las fortificaciones a emplearse en la galería "Veta La 24" y el "Subnivel Principal", labores de la empresa minera Redgoldmin S.A. ubicadas en el sector Bella Rica, cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay.
13 Evaluation of Slope Stability in an Urban Area as a Basis for Territorial Planning: A Case Study.
14 Models for Geomechanical Characterization of the Rock Mass Formations at DUSEL Using Data Mining Techniques
15 Methodologies for geological-geotechnical characterization of rock masses: role of geomechanical classifications and indexes.

Fuente: Elaborado por el autor

2.4. Análisis crítico

2.4.1. Análisis crítico de las Clasificaciones del Macizo Rocoso

De lo presentado anteriormente, podemos entender que las clasificaciones geomecánicas que se aplican para la caracterización del macizo rocoso, toman en cuenta diferentes parámetros para su clasificación, sin embargo, es importante mencionar que, de las cuatro clasificaciones comparadas, la clasificación denominada Geological Strength Index (GSI) elaborada por Hoek et al. (1995), mide el grado de liberación del macizo rocoso, es decir, el espaciamiento de las discontinuidades y sus condiciones, este sistema está dirigido para obtener la calidad del macizo rocoso a partir de observaciones de campo, a diferencia de los demás métodos, no toma en cuenta el grado de fracturación de la roca mediante el índice de calidad de la roca "RQD" y tampoco un parámetro importante como es la resistencia de la roca intacta mediante los ensayos de compresión simple.

Sin embargo, este método en aspectos operativos es uno de los métodos más rápidos respecto al tiempo para reconocer en campo y tener una estimación de la calidad del macizo rocoso de manera oportuna y sencilla.

La clasificación Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989), utiliza cinco parámetros y una corrección de acuerdo con la orientación de las discontinuidades respecto a la excavación, de igual manera, otro de estos parámetros medidos es la resistencia de la roca intacta y la medición del tamaño de los bloques mediante el índice de calidad de la roca. Cuando este sistema de clasificación especifica el espaciamiento de las discontinuidades hace referencia respecto a la longitud de las discontinuidades en la zona de estudio, y para caracteriza las discontinuidades esta revisa la rugosidad, la abertura, el relleno, sus alteraciones, y en comparación a los otros métodos, observa la presencia del agua al igual solo excluyendo al Geological Strength Index (GSI). Este es el método más utilizado para valorar la estabilidad y los soportes de los túneles en diferentes actividades que se necesite realizar un túnel en subterráneo.

Respecto a la Mining Rock Mass Rating (MRMR), su fórmula se encuentra basada en la modificación del RMR de Bieniawski, es decir, considera la valorización del RMR y aplica una corrección o lo ajusta y evalúa los cambios en los esfuerzos inducidos que se producen por las actividades mineras sobre el macizo rocoso. A diferencia de los demás métodos, este también introduce un valor denominado factor de radio hidráulico, que involucra el área de intervención de la obra y el perímetro del macizo rocoso.

Con respecto al Índice de Calidad Tonelera que es el método denominado Rock Quality System o más conocido como Q de Barton, este considera para su caracterización el tamaño de los bloques mediante el RQD y el número de familias estructurales presentes en el macizo rocoso, de igual manera, el esfuerzo cortante inter-bloque que representa las condiciones de la interacción entre fracturas con respecto a la rugosidad y la alteración presente en la fractura. También, considera los esfuerzos activos que consiste en una relación entre el esfuerzo de presión de agua

presente en el macizo rocoso y un factor denominado SRF, el mismo que representa los esfuerzos por la pérdida de carga. Y finalmente, esta clasificación se representa en una escala semilogarítmica, con nueve (9) rangos desde el cero (0) al mil (1000).

2.4.1. Análisis Crítico de las Metodologías Aplicadas en los Estudios Previos

La metodología que se aplica en los diversos estudios cuenta con diferentes pasos o también se les denomina fases de estudio, y es importante recalcar que todas las investigaciones consideran cuenta desde el inicio la recopilación de información, y dependiendo de la información disponible esta se acopla dentro de la investigación

Si observamos en la Tabla Nro. 8, la cantidad de información que se recopila y se procesa, depende de la disponibilidad de la data, es decir, si la obra es de grandes dimensiones, la información es mayor, debido a que existe otros departamentos encargados de elaborar otros estudios que apoyen a la operación en campo, y así, se refleja el soporte para contar con una caracterización más completa o poder correlacionar la información. Al igual que, debido a las dimensiones del proyecto es necesario contar con datos más precisos para operar con mayor seguridad.

Tabla 8

Revisión y comparación bibliográfica de metodologías, actividades e información de estudios realizados para la caracterización del macizo rocoso en obras subterráneas

Nro.	Tema Investigado	Año	Tipo de Yacimiento	Método Empleado - Caracterización Geomecánica	Método de Trabajo (Actividades)	Información	Sistema de Explotación o Labor Minera	Instrumentos de levantamiento de Información
1	Caracterización Geomecánica en Faenas Subterráneas de Pequeña Minería, Caso de Estudio Mina Los Pequeños, Región De Coquimbo, Chile.	Cisterna Valdebenito, C. A. (2018). Chile / Coquimbo	Tipo vetas magnetita-apatito	Índice Q de Barton (2000)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recopilación de información bibliográfica: Estudios previos y bibliografía 2. Reconocimiento general: Mapeo y toma de muestras 3. Mapeo de detalle tipo Línea de Detalle: Toma de datos de discontinuidades con cartilla de mapeo 4. Creación de una base de datos: Ingreso de datos en Excel 5. Procesamiento de la Información: Elaboración de mapa de la Geología básica del sector, de las alteraciones presentes, y del comportamiento del macizo rocoso mediante la fórmula Q de Barton. 6. Compilación y Síntesis de los Resultados: Entrega de mapa geológico con la zonificación del comportamiento geomecánica del socavón, y recomendaciones respecto a las medidas correctivas de la fortificación existente y el método Q en sí. 	Recopilación de información: Geología regional Geología Estructural Geología Económica Topografía Litología y Alteraciones Levantamiento de Información: Litología Toma de muestras Toma de datos de discontinuidades Procesamiento Descripción de muestras de roca Caracterización del Macizo Rocosó	Galería de acceso	Línea de detalle
2	Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeros de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha - Sociedad Minera Corona S. A.	Salazar, E. (2020) Perú / Lima	Yacimiento de minerales sulfuros	R.M.R. (Software GeoTable)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recopilación de información bibliográfica: Estudios previos y bibliografía 2. Muestreo Geomecánica Toma de datos de discontinuidades con Registro Lineal 3. Ensayos de Laboratorio 4. Procesamiento de la Información: Mediante software Geotable 5. Presentación de Resultados y Recomendaciones 	Recopilación de información: Geología regional Geología Estructural Mineralización Estudio geomecánica de la Unidad Yauricocha Levantamiento de Información: Toma de muestras Descripción de muestras de roca Ensayos de Laboratorio Parámetros fundamentales de la roca	Corte y Relleno	Línea de detalle
3	Dimensionamiento de Los Pilares de Techo Y El Espaciamiento de Los Buzones de Descarga de los Bloques 3N y 2S del Área Minera "El Corazón"	Tapia Pallango, J. P. (2018) Ecuador / El Corazón	Los depósitos son de tipo vetiforme. "cuerpo diseminado"	Índice Q de Barton R.M.R. (método del inverso de la distancia al cuadrado)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recopilación de información bibliográfica: Estudios previos y bibliografía 2. Levantamiento de información en campo: Estaciones Geomecánicas, Toma de datos de discontinuidades con Lineal de Detalle con Excel 3. Ensayos de laboratorio: Resistencia a la compresión simple, Módulo de elasticidad, Coeficiente de Poisson, Cohesión, Ángulo de fricción. 4. Interpretación de las variables del macizo rocoso: Procesamiento de datos de campo con software DIPS Y PHASE2, Resultados de ensayos triaxiales se procesa en 	Recopilación de información: Geología regional y Local Geología Estructural Mineralización Levantamiento de Información: RQD Toma de muestras de roca Toma de datos de discontinuidades Ensayos de Laboratorio: Parámetros fundamentales de la roca Resistencia a la compresión simple	Dimensiones de los pilares de techo y el espaciamiento de los buzones de descarga / Corte y Relleno o Cámaras de Almacén	Plantilla para levantamiento de características de discontinuidades Plantilla para el registro de discontinuidades Estereogramas

					software ROCDATA, aplicación del método inverso a la distancia para caracterizar bloques de explotación. 5. Presentación de Resultados y Comparación: Mapas geológico-geotécnicos de los bloques, Comparación entre RMR - Q de Barton 6. Cálculo de Pilares	Módulo de elasticidad Coeficiente de Poisson Cohesión Ángulo de fricción. Procesamiento Descripción de las muestras de roca Caracterización del Macizo Rocoso		de discontinuidades
4	Análisis del Comportamiento Geomecánico del Macizo Rocoso para la Estimación del Sistema de Soporte en la Excavación del Tramo Inferior de las Tuberías de Presión del Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair, entre las Abscisas A0+955 A A1+275 Y B1+030 A B1+350.	Alquinga López, D. M. Y Asimbaya Amaguaña, D. X. (2013) Ecuador / Napo	Obra Hidroeléctrica	R.M.R., Q y GSI	1. Recopilación de información bibliográfica: Estudios previos y bibliografía 2. Ensayos de Laboratorio. 3. Levantamiento Geotécnico: Esta se subdivide en los siguientes. 3.1. Descripción visual de los aspectos y características del macizo rocoso 3.2. División en zonas y descripción general de cada zona 3.3. Descripción detallada de cada zona 3.4. Descripción de los parámetros del macizo rocoso 3.5. Caracterización global y clasificación geomecánica del macizo rocoso	Recopilación de información: Geología regional Geología Local Litología Geología Estructural Hidrogeología Sismicidad de la Zona Topografía Sondeos Levantamiento de Información: Toma de muestras de roca (2 muestras de testigos) Descripción de la muestra Ensayos: Hidrofracturamiento Parámetros fundamentales de la roca Carga Puntual Microscopia Resistencia a la compresión simple Módulo de elasticidad Coeficiente de Poisson Cohesión Ángulo de fricción. Procesamiento Descripción de las muestras de roca	Tuberías de Presión del Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair	Ficha de descripción macroscópica y microscópica Fotografías Aéreas Ficha de Mapeo Geológico - Geotécnico Plantilla para el registro de discontinuidades Estereogramas de discontinuidades Reportes Geológicos – Geotécnicos
5	Empleo de las Clasificaciones Geomecánicas, para la Investigación del Comportamiento Geotécnico de las Excavaciones Subterráneas en la Central La Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair 1500 MW	Mullo Vallejo, F. G. (2012). Ecuador / Napo	Obra Hidroeléctrica	Q, G.S.I y R.M.R. (CORRELACIONES ENTRE EL RMR Y EL ÍNDICE Q DE BARTON)	1. Recopilación de información bibliográfica: Estudios previos y bibliografía 2. Ensayos de Laboratorio 3. Levantamiento Geotécnico 4. Análisis e Interpretación de Datos	Recopilación de información: Geología Regional y Local Geología Estructural Sismicidad de la Zona Topografía Sondajes Levantamiento de Información: Toma de datos de discontinuidades Ensayos de Laboratorio: Parámetros fundamentales de la roca Resistencia a la compresión simple Procesamiento Descripción de las muestras de roca Caracterización del Macizo Rocoso	Obras subterráneas del complejo Casa de Máquinas	Tomado del reporte de avance de FISCALIZACIÓN Registro del levantamiento Geológico – Geotécnico Estereogramas de discontinuidades Ficha de Mapeo Geológico - Geotécnico Reportes Geológicos – Geotécnicos
6	Caracterización Geomecánica y Propuesta de Técnicas de Sostenimiento para	Gualacata Túquerres, J. O. (2018). Ecuador / Camilo	Yacimiento de minerales sulfuros	R.M.R.	Fase I.- Recopilación de información bibliográfica: Geología del sector, topografía, investigaciones previas referentes al tema, etc. Fase II.- Toma de datos in situ: Toma de datos de discontinuidades, Toma de muestras, Envío de muestras a	Recopilación de Información: Geología Regional Geología Local Levantamiento de información: RQD	Corte y Relleno	Plantilla Geomecánica de campo Hoja de mapeo estructural y

	las Principales Galerías de Explotación de la Mina Liga de Oro.	Ponce Enríquez			laboratorio Fase III.- Tabulación de toda la información: Determinación de la calidad del macizo y las principales familias de discontinuidades que pueden representar condiciones desfavorables para la estabilidad. Software Unwedge v 3.0, Software Dips v 5.1	Toma de datos de discontinuidades Toma de muestras de roca Ensayos de Laboratorio: Resistencia a la compresión simple Procesamiento: Presentación de mapas de puntuación y calidad del macizo rocoso Modelamiento de cuñas		geomecánica Estereogramas de discontinuidades
7	Diseño de Excavación De La Galería Principal de Acceso a la Mina Reina del Cisne, Distrito Minero Portovelo - Zaruma, Cantón Zaruma, Provincia de El Oro.	Zavala Serrano, C. J. (2014). Ecuador / Zaruma	yacimientos hidrotermales epitermales de baja sulfuración	Q, R.M.R. y R.M.R. Modificado	1. Recopilación de información: Documentación bibliográfica respecto a la geología y prácticas en el ámbito minero. 2. Trabajo de campo: observación, descripción y el levantamiento de información geológica y estructural. 3. Trabajo de Oficina: ordenar y analizar estadísticamente la información de campo y resultados de laboratorio. Procesamiento d datos estructurales con Software Dips y datos de caracterización con software Geotable	Recopilación de Información: Geología Regional Geología Local Topografía Levantamiento de información: RQD Toma de datos de discontinuidades Toma de muestras de roca Ensayos de Laboratorio: Resistencia a la compresión simple Procesamiento: Mapas Geológicos de las labores Presentación de mapas de puntuación y calidad del macizo rocoso Modelamiento de cuñas	Galería Principal de Acceso	Plantilla Geomecánica de campo Plantilla de datos estructurales Estereogramas de discontinuidades
8	Evaluación de Reservas y Diseño del Sistema de Explotación del Área Minera Mary Elena Código: 102317	Muñoz Reinoso, C.R. (2015). Ecuador / Morona Santiago	Caliza	R.M.R.y Q	1. Recopilación de información: Estudios previos y bibliografía 2. levantamiento de información en campo 3. Reconocimiento general: Toma de muestras y Toma de datos con ficha de campo 4. Procesamiento de la Información: Clasificación del Macizo Rocosó	Recopilación de Información: Geología Regional Geología Local Hidrología Topografía Levantamiento de información: RQD Toma de datos de discontinuidades Toma de muestras de roca Ensayos de Laboratorio: Parámetros fundamentales: Peso Específico, Absorción, Porosidad Resistencia a la compresión simple Procesamiento: Mapa Topográfico Presentación de mapas de puntuación y calidad del macizo rocoso	Diseño del Sistema de Explotación (cielo abierto)	Ficha de campo
9	Diseño de Excavación del Túnel de Conducción del Proyecto Hidroeléctrico Topo	Veintimilla Pillajo, F. E. (2015). Ecuador / Tungurahua	Obra Hidroeléctrica	Q, G.S.I y R.M.R.	1. Recolección y procesamiento de datos: los informes del diseño final del proyecto y de los estudios de ingeniería de detalle	Recopilación de Información: Geología Regional Geología Local Geología Estructural Hidrología Topografía Planos Sondajes Levantamiento de información: RQD Toma de datos de discontinuidades Toma de muestras de roca Ensayos de Laboratorio: Granulometría Parámetros fundamentales Ensayo triaxial	Túnel de conducción del Proyecto Hidroeléctrico	Plantilla de Caracterización de sondeos

						Resistencia a la compresión simple Procesamiento: Descripción de muestras Mapa Topográfico Presentación de mapas de puntuación y calidad del macizo rocoso		
10	Análisis Geomecánica del Macizo Rocoso para la Construcción de la Chimenea Glory Hole mediante El Sistema Alimak.	Yucás Mejía, V. H. (2015). Ecuador / Imbabura	Yacimiento de caliza	R.M.R.	1. Recopilación de información bibliográfica 2. Ensayos de Laboratorio 3. Levantamiento Geotécnico 4. Análisis e Interpretación de Datos	Recopilación de Información: Geología Regional Litología Geología Estructural Sondajes Levantamiento de información: RQD Toma de datos de discontinuidades Toma de muestras de roca Ensayos de Laboratorio: Parámetros fundamentales Ensayo triaxial Resistencia a la compresión simple Procesamiento: Descripción de muestras Mapa Topográfico Presentación de mapas de puntuación y calidad del macizo rocoso Resultados: Zonificación Geomecánica	Chimenea (Ore Pass)	Hoja de registro de datos estructurales
11	Estudio Geomecánico y Propuesta de Fortificación en la mina El Mirador en Camilo Ponce Enríquez, Azuay.	Duque Chávez, K. B. (2018). Ecuador / Camilo Ponce Enríquez	Yacimiento de minerales sulfuros (oro)	R.M.R y Q	Fase 1: Revisión Bibliográfica: Revisión de antecedentes y trabajos realizados en la zona de estudio. Fase 2: Obtención de datos: Levantamiento planimétrico, Caracterización Geomecánica, Auscultación. Estaciones Geomecánicas. Fase 3: Trabajo de gabinete: Análisis e interpretación de datos tomados de campo y análisis de resultados.	Recopilación de Información: Geología Regional Litología Geología Estructural Levantamiento de información: RQD Toma de datos de discontinuidades Toma de muestras de roca Ensayos de Laboratorio: Parámetros fundamentales Resistencia a la compresión simple Procesamiento: Descripción de muestras Mapa Topográfico Presentación de mapas de puntuación y calidad del macizo rocoso Resultados: Zonificación Geomecánica mediante Puntos	Labor Minera Horizontal	Ficha de estaciones geomecánicas Proyecciones Estereográficas
12	Caracterización geomecánica del macizo rocoso y diseño de las fortificaciones a emplearse en la galería "Veta La 24" y el "Subnivel Principal", labores de la empresa minera Redgoldmin S.A.	Ramos Armijos, N. J. (2021). Ecuador / Camilo Ponce Enríquez	Yacimiento de tipo Epi - Mesothermal	R.M.R y Q	1. Recopilación de información: información bibliográfica disponible 2. Obtención de datos experimentales: Mediante la descripción y calificación del macizo rocoso por estaciones 3. Ensayos de laboratorio 4. Planteamiento de la propuesta en base a resultados: Se utiliza el software RocData, Unwedge, Phase 2	Recopilación de Información: Geología Regional Geología Local Geología Estructural Topografía Levantamiento de información: RQD Toma de datos de discontinuidades Toma de muestras de roca Ensayos de Laboratorio: Parámetros fundamentales	Galería Horizontal	Ficha de estaciones geomecánicas Proyecciones Estereográficas

	ubicadas en el sector Bella Rica, cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay.					Resistencia a la compresión simple Procesamiento: Descripción de muestras Mapa Topográfico Presentación de mapas de puntuación y calidad del macizo rocoso Resultados: Zonificación Geomecánica mediante Puntos		
--	--	--	--	--	--	---	--	--

Fuente: Elaborado por el autor

CAPÍTULO III

MARCO REFERENCIAL

3.1. Reseña histórica

La minería en el Ecuador inicia desde los años 3.500 A.C con la cultura Valdivia extrayendo de la superficie arcilla para la elaboración de cerámica, seguido de esta la cultura Tolita que desarrolla trabajos con metales, entre los que se destacan los metales base (oro, cobre, plata entre otros).

En el siglo XVI existe el desarrollo de la metalurgia precolombina y el auge minero, donde las zonas de mayor productividad fueron Zaruma y Portovelo y su auge minero duró hasta el siglo XVII y se convirtió en una actividad marginal hasta inicios del siglo XX que repunta nuevamente (Gutiérrez, A, 2002).

En 1980, se produce un incremento en el precio del oro por lo que se desarrollan la minería artesanal en Nambija, Chinapintza, Guayzimi y Ponce Enríquez.

La pequeña minería se desarrolla por primera vez en el siglo XX. La South American Development Company (SADCO) realiza la explotación en el distrito minero de Zaruma Portovelo durante un periodo de 54 años desde 1896 hasta 1950, esta empresa desarrollo sus trabajos dejando un colchón de seguridad de aproximadamente 300 metros desde la superficie de la ciudad de Zaruma, luego esta compañía es adjudicada y posteriormente se crea la empresa estatal Compañía Industrial Minera Asociada S.A. (CIMA) que opera durante 26 años en el periodo comprendido 1950 – 1976, cerrando definitivamente debido a la baja rentabilidad de sus operaciones.

Las galerías mineras y espacios abiertos dejados por la CIMA fueron aprovechados por las personas que habitaban en el sector y que durante el transcurso de los años varios grupos de mineros ilegales y más tarde legales desarrollan trabajos

en el colchón de protección dejado por la SADCO, debido a la presencia de mineral rentable a pequeña escala. La persistencia de estos trabajos mineros realizados sin el asesoramiento técnico o profesionales especializados y la suma de diferentes factores naturales respecto a las condiciones del material de roca por donde pasan estos trabajos, han desencadenado subsidencias hasta que se produce en los últimos años 2016, 2017 y 2021, hundimientos como el de la Escuela la Inmaculada producto del colapso de los pilares del techo (asentamiento del macizo rocoso) y también la afectación de varios bienes.

De igual manera en 1993, en la ciudad de Nambija se produjo un deslizamiento conocido como el desastre del día de la madre donde se generó pérdidas de viviendas y de vidas humanas.

La actividad minera continúa en el Ecuador contando con aproximadamente 3.4288 áreas mineras entre los regímenes de minería artesanal, pequeña minería y minería industrial de acuerdo con los datos especificados en el Boletín Institucional del Sector Minero (2021).

Es por esta razón, es necesario generar una metodología que sea sencilla para que sirva como guía para el levantamiento de información y caracterización geomecánica de las labores mineras subterráneas.

3.2. Filosofía organizacional

Debido a que el presente estudio pretende elaborar una propuesta que se acople a varias empresas mineras para el desarrollo seguro de sus operaciones, se describe algunos ejemplos de misión, visión y valores de estas dentro del territorio ecuatoriano:

- Empresa Nacional Minera – ENAMI EP (1)
- Empresa Minera Minanca C.A (2)
- Bienes Raíces S.A. (3)

3.2.1. Misión

(1) Desarrollar de manera responsable, sustentable y sostenible, los recursos minerales no renovables mediante la ejecución de la actividad minera para contribuir con el desarrollo económico e integral del Estado ecuatoriano.

(2) La misión más importante de la empresa es extraer, distribuir y comercializar el mineral, a través de una gestión transparente y de calidad que satisfaga y supere las demandas de cada cliente, a través de la promoción de la protección al medio ambiente, favoreciendo el desarrollo socioeconómico de la Provincia del Oro y del país.

(3) Desarrollar labores mineras de manera segura, eficiente y responsable, sin causar daños al ambiente, generando utilidades para los accionistas, empleados y al Estado Ecuatoriano.

3.2.2. Visión

(1) Ser líder de la industria minera a nivel nacional con innovación tecnológica, responsable social y ambiental hasta el año 2025.

(2) La Empresa Minera Minanca C.A., tiene como objetivo erigirse como una empresa líder del sector minero del país, competitiva y de alta productividad; logro que solo se pueda alcanzar gracias a la colaboración y compromiso del talento humano que posee, con la aplicación de tecnología de punta y una alta responsabilidad social.

(3) Constituirnos en líderes mineros responsables en Ecuador y el mundo, para que mediante un desarrollo sustentable y sostenible. la minería metálica se convierta en uno de los mayores rubros de exportación del Ecuador.

3.2.3. Valores

En este estudio podemos citar los valores plasmados como ejemplo por la Empresa Nacional Minera – ENAMI EP, dentro de su documento “Código de Ética”, tomando en cuenta que, esta institución es la empresa minera pública del Ecuador:

Responsabilidad: es la obligación moral de hacer el mejor esfuerzo por alcanzar los objetivos empresariales con un manejo eficiente y eficaz de los recursos, asegurando el desarrollo sostenible del entorno y el auto cuidado.

Calidad: se basa en el alto desempeño de los servidores y trabajadores orientados al logro de objetivos que se fundamenta en la gestión por resultados, el liderazgo, procesos mejora continua e innovación.

Compromiso: es el vínculo que se genera entre cada servidor y trabajador con la ENAMI EP, donde se integran los intereses empresariales con los legítimos intereses individuales y viceversa.

Innovación: es el impulso constante para encontrar una mejor manera de realizar la actividad diaria. Es atreverse al cambio. Es abordar creativamente los problemas con el fin de darles la mejor solución operativa para crear una ENAMI EP sustentable.

Veracidad: Las actuaciones de los servidores y trabajadores se ajustarán a la verdad, y se manejarán con sinceridad, honestidad y con buena fe.

Colaboración: implica la disposición del individuo a participar en la actividad diaria de la ENAMI EP. La colaboración se manifiesta en el trabajo en equipo, uniendo esfuerzos en beneficio de la Empresa.

3.3. Diseño organizacional

Para contar con un entendimiento del manejo de las empresas mineras en el Ecuador, presentaremos algunos ejemplos de diseño organizacional como ejemplo.

Respecto a la Empresa Nacional Minera – ENAMI EP (1), esta es una empresa pública del Estado Ecuatoriano y actualmente cuenta con 48 trabajadores dentro de la empresa y su organigrama se presenta en la Figura Nro. 23, y se explica de la siguiente manera:

Gerencia General. – Emitir los lineamientos estratégicos y políticas institucionales para que la Empresa Nacional Minera EP de cumplimiento a los establecido en la Constitución de la Republica del Ecuador, la Ley Orgánica de Empresas Públicas y la Ley Minera.

Gerente Operativo de Exploración. – Planificar, organizar, dirigir, generar e interpretar la información de campo hasta llegar a definir el modelo del yacimiento con leyes, volúmenes y recursos categorizados y estimados.

Gerente Operativo de Explotación. - Planificar, organizar, dirigir, supervisar y/o ejecutar la explotación de los minerales en función a las políticas y planes de producción mineras aprobadas, así como asegurar la eficiencia y rendimiento de los procesos en el área de recuperación.

Gerente de Planificación y Seguimiento de Gestión.- Definir, coordinar e implementar los procesos de planificación estratégica, presupuesto anual, control y evaluación de proyectos de inversión, proporcionando las herramientas analítica, estratégicas, funcionales y de seguimiento, para reducir el riesgo empresarial, la incertidumbre en la toma de decisiones, mejor de procesos e implementación de mejores prácticas y asegurar el cumplimiento de los objetivos estratégicos alineados tanto a las agendas sectoriales como al Plan Nacional del Buen Vivir.

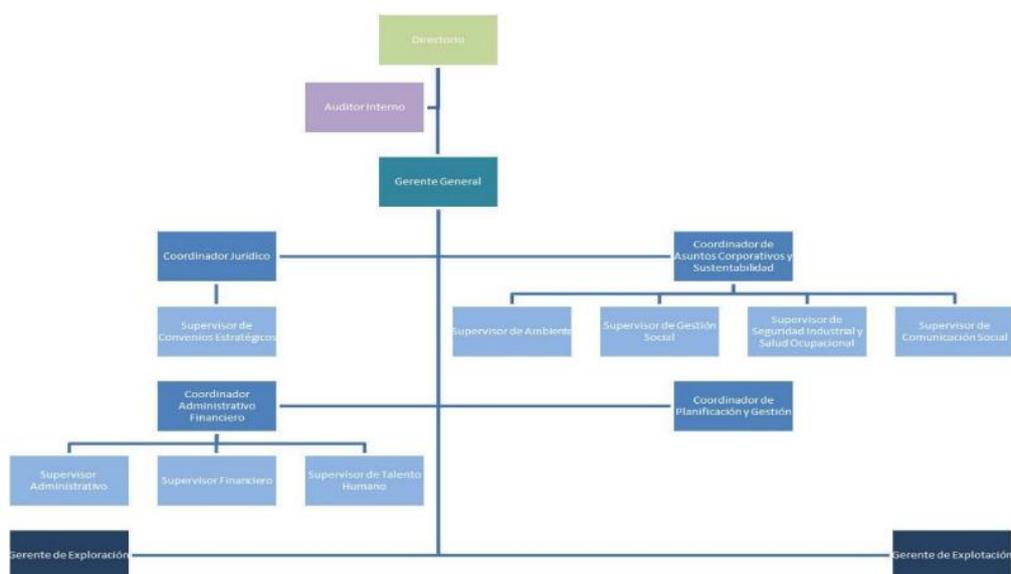
Gerente Jurídico. - atender los aspectos jurídicos, legales, normativos y contractuales de la ENAMI EP, en salvaguardar de los intereses institucionales; prestando asesoramiento y asistencia a las distintas unidades que conforman la Empresa, así como el patrocinio de la misma.

Gerente de Salud, Seguridad y Ambiente. – Planificar y coordinar los programas que estructuran el sistema de gestión en seguridad industrial y gestión ambiental, implementando las acciones preventivas, correctivas y de mejorar de acuerdo con las normas, políticas y procedimientos requeridos para garantizar el bienestar físico, mental y cuidado ambiental, para los servidores y trabajadores de la ENAMI EP, sus proyectos y la comunidad presente en las áreas de influencia de los mismos.

Gerente Financiero. – Planificar, administrar y controlar eficientemente, la calidad presupuestaria, procesos contables y financieros, con el propósito de brindar información oportuna y confiable para la toma de decisiones de la gerencia.

Figura 22

Estructura orgánica funcional de la ENAMI EP



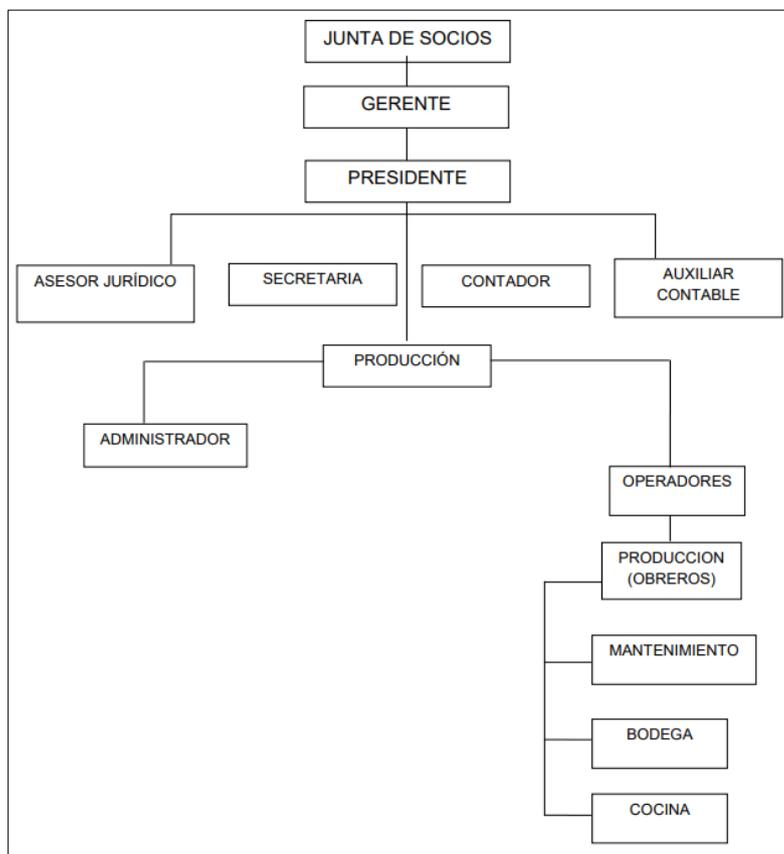
Fuente: Empresa Nacional Minera ENAMI EP (2023)

[Literal_a1-organigrama_de_la_institucion.pdf \(enamiiep.gob.ec\)](#)

Tomando el siguiente ejemplo de organización se presenta la empresa minera Bienes Raíces S.A. (BIRA), que cuenta con la siguiente distribución departamental en su compañía:

- Departamento de Geología
- Departamento de Metalurgia
- Departamento de Fundición
- Departamento de Bodega
- Departamento de Mecánica
- Departamento de Seguridad
- Departamento de Salud Ocupacional
- Departamento de Laboratorio
- Departamento de Laboratorio

Para entender de mejor manera la organización de las empresas mineras en el Ecuador, se presenta otro ejemplo a continuación, un organigrama de la Sociedad Minera “Golden Mining” establecido en la Figura Nro. 24, tomado de un estudio de reorganización de esta empresa.

Figura 23*Estructura Organizacional de la Sociedad Minera "Golden Mining"*

Fuente: Rediseño Organizacional para la Sociedad Minera "Golden Mining" (2014)

[TESIS.pdf \(ucuenca.edu.ec\)](#)

3.4. Productos y/o servicios

El presente trabajo está dirigido a la empresa mineras que realizan sus labores mineras de manera subterránea dentro del territorio ecuatoriano, por ende, el producto de estas empresas es la obtención del recurso minerales, entre los cuales son material mineralizado de oro, plata y cobre, posteriormente se comercializa en oro puro y concentrados de mineral.

3.5. Diagnóstico organizacional

Mediante la herramienta de análisis organizacional, podemos elaborar un FODA, tomando en cuenta lo descrito en los anteriores ítems, respecto al diseño y filosofía organizacionales; y los diferentes FODA de las empresas mineras:

Tabla 9

FODA

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> ➤ La ubicación donde se encuentran las empresas mineras, lugar denominados distritos mineros. ➤ Disponibilidad de recursos económico para la compra de tecnología e innovación. ➤ Al pasar los años las empresas mineras toman experiencia para mejorar sus operaciones y giro de negocios. ➤ Apertura a los cambios y toma de oportunidades. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Desarrollo tecnológico ➤ Experiencia de años en el sector minero ➤ La capacidad de incrementar reservas minerales con el aporte de capital para la exploración. ➤ El incremento de la demanda del mineral extraído y concentrados. ➤ El precio de los metales tiene una tendencia a establecerse.
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Alto porcentaje de personal no calificado y solo con experiencia empírica. ➤ Poco énfasis en el cumplimiento de los parámetros legales y normativa minera en aspectos de seguridad y técnico que beneficien un trabajo seguro. ➤ Inadecuado sistema de desarrollo de recursos humanos. ➤ Falta de estructura organizacional, cuentan con departamentos o gerencias que abarcan muchas 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cambio de normativa aplicada al sector minero, no es estable. ➤ Alto riesgo social y político del sector minero. ➤ Incumplimiento de los requerimientos de contratación de personal. ➤ Cambio de los precios de los commodities. ➤ Paralización de las operaciones mineras de minas debido al incumplimiento de normativa y parámetros técnicos.

actividades para su cumplimiento.	
-----------------------------------	--

Fuente: Elaborado por el autor

Mediante el análisis FODA, podemos reflejar que la propuesta para la caracterización geomecánica en labores mineras subterráneas, es una fortaleza que ayudara a las empresas mineras al desarrollo de sus operaciones de manera más eficaz y sencilla, siendo capaces de alcanzar la excelencia operativa que este de acorde a la planificación minera, siendo un aporte estratégico en su giro de negocio y fundamentalmente a la productividad, y garantizando la seguridad de las labores mineras en el tiempo.

De igual manera, esta herramienta brinda conocimiento al personal técnico operativo para el cumplimiento práctico de la normativa técnica, y reflejando una nueva imagen a las empresas mineras y del sector minero frente a la opinión pública.

3.6. Marco Legal

El Sector Minero en la República del Ecuador, se encuentra regido mediante, la Constitución de la República, la Ley de Minería, Reglamentos y sus diferentes Instructivos, los cuales norman y regulan la actividad minera en todas sus fases, y que, para un mejor entendimiento, se detallara las diferentes entidades y normativas importantes respecto a la legislación minera.

3.6.1. Estructura Institucional del Sector Minero Ecuatoriano

La presencia del estado en las actividades mineras es fundamental para el desarrollo del sector minero, ya que estas entidades se encargan de la administración,

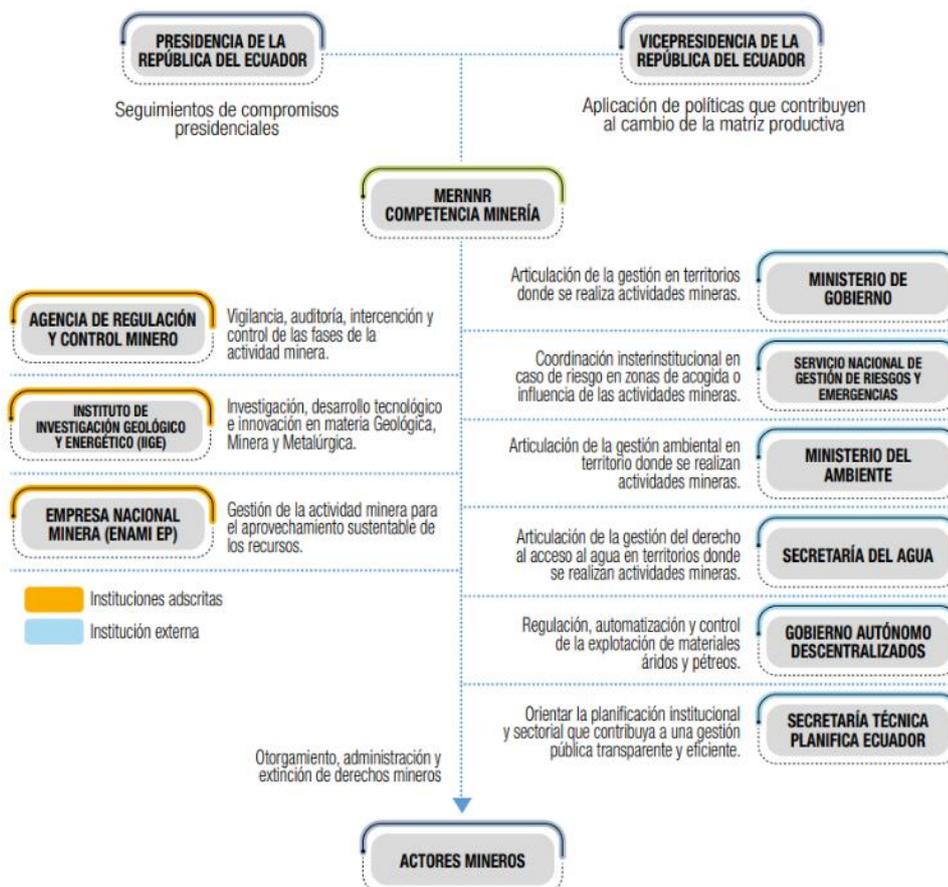
control y regulación en cumplimiento a la legislación vigente, y estas se estructuran de la siguiente manera:

- El Ministerio de Energía y Minas o Ministerio Sectorial;
- La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR);
- El Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE)
- La Empresa Nacional Minera (ENAMI EP)
- Las municipalidades en las competencias que les correspondan.

De igual manera, a estas instituciones se las denomina actores directos, quienes guardan relación con distintas entidades públicas, las cuales, de acuerdo con el ámbito de sus competencias, contribuyen a la ejecución de la Política Pública Minera y al desarrollo del sector minero (Plan Nacional de Desarrollo del Sector Minero 2020-2030, 2020).

Figura 24

Mapa de relacionamiento interinstitucional



Fuente: Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (2020)

3.6.2. Normativa del Sector Minero

A continuación, se presenta un resumen de las normativas que se encuentran vigentes respecto a la legislación minera del Ecuador.

3.6.2.1. Constitución de la República del Ecuador (2008)

Esta normativa se publica en el Registro Oficial Nro. 449 de 20 de octubre de 2008, y se consagra principios ambientales y se fortalecieron una serie de derechos a los pueblos originarios y autóctonos como nuevos valores del Estado. (Foro Intergubernamental sobre Minería, Minerales, Metales y Desarrollo Sostenible (IGF), 2019) y determina:

Artículo 1.- “(...) Los recursos naturales no renovables del territorio del Estado pertenecen a su patrimonio inalienable, irrenunciable e imprescriptible (...)”.

Artículo 261.- *“(...) El Estado central tendrá competencias exclusivas sobre: Los recursos energéticos; minerales, hidrocarburos, hídricos, biodiversidad y recursos forestales (...).”*

Artículo 313.- *“(...) El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. Los sectores estratégicos, de decisión y control exclusivo del Estado, son aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social (...).”*

3.6.2.2. Ley de Minería (2009)

La presente Ley de Minería norma el ejercicio de los derechos soberanos del Estado Ecuatoriano, para administrar, regular, controlar y gestionar el sector estratégico minero, de conformidad con los principios de sostenibilidad, precaución, prevención y eficiencia. Se exceptúan de esta Ley, el petróleo y demás hidrocarburos (Ley de Minería, 2009).

3.6.2.3. Reglamento General a la Ley de Minería

Expedido mediante decreto ejecutivo, el Reglamento general a la Ley de Minería establece la normativa, lineamientos y directrices para la aplicación de la Ley de Minería, incorporando conceptos de consejos consultivos y el registro y catastro minero. Detalla el sistema de subasta y remate minero. (Foro Intergubernamental sobre Minería, Minerales, Metales y Desarrollo Sostenible (IGF), 2019)

3.6.2.4. Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el Ámbito Minero (2020)

El objeto de este Reglamento es precautelar la seguridad y salud en el trabajo de las personas en todas las fases de la actividad minera, como lo señala el Capítulo VII, artículo 27 de la Ley de Minería. Este Reglamento dispone los lineamientos generales en seguridad y salud en el trabajo para los regímenes especiales de minería artesanal, pequeña, mediana y gran minería (ARCERNNR, 2020).

3.6.2.5. Reglamento Ambiental de Actividades Mineras (2016)

Este reglamento expedido por el Ministerio del Ambiente mediante Acuerdo Ministerial No. 37 (última modificación en febrero de 2019), regula en todo el territorio nacional la gestión ambiental en las actividades mineras en sus fases de exploración inicial o avanzada, explotación, beneficio, procesamiento, fundición, refinación, y cierre de minas (Foro Intergubernamental sobre Minería, Minerales, Metales y Desarrollo Sostenible (IGF), 2019).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Propuesta de Mejora

4.1. Diagnóstico

Para presentar un diagnóstico de cuáles son las actividades realizadas, información necesaria, instrumentos para el levantamiento de información en campo y metodología; que normalmente se desarrollan en una operación minera subterránea para la caracterización geomecánica, se ha realizado la revisión bibliográfica que permitió recabar información de estos aspectos, así como observar cual es el flujo de las actividades, y con qué información disponible cuentan las empresas mineras en el Ecuador.

De igual manera, se realizó entrevistas y encuestas a técnicos especializados para este tipo de actividad, obteniendo los resultados que serán presentados a continuación.

4.1.1. Revisión de Diversos Estudios

De las revisiones realizadas dentro de los diferentes estudios bibliográficos en la Tabla No. 10, de las operaciones mineras subterráneas y obras civiles que fueron considerados en el estudio, se presenta la siguiente tabla de observaciones:

Tabla 10*Tabla de observaciones*

Característica	Observación
Método de Clasificación del Macizo Rocoso	<p>Los diferentes estudios, aplican tres métodos de clasificación que dependiendo de la disponibilidad de las empresas y de la información son esto aplicados, sin embargo, podemos observar que, en 11 ocasiones, la calidad del macizo rocoso es obtenida con los métodos RMR y Q de Barton.</p>
Metodología (Actividades)	<p>De igual manera, en los diferentes estudios, los métodos de clasificación se encuentran asociados mediante fórmulas para poder correlacionarlos.</p> <p>La primera observación es que los actores de las investigaciones denominan a los pasos de diferente manera, sin embargo, se sigue una línea casi similar para la obtención de la clasificación del macizo rocoso.</p> <p>Se observa que todos los estudios de clasificación consideran la recopilación de información como un paso importante para el inicio de las actividades, con el objetivo de contar con un conocimiento general de la zona a estudiar.</p> <p>Además, la toma de datos en campo ayuda a ampliar el conocimiento, y es aquí el punto más importante para contar con una visión clara de cómo se encuentra la zona de estudio, siendo este el paso clave para una clasificación del macizo rocoso de manera efectiva (obteniendo datos frente a frente), aquí es donde se toma muestras de roca para la descripción macroscópica y microscópica, y el envío de muestras de roca al laboratorio para los ensayos y a su vez, obtener los parámetros geomecánicas de la roca intacta, todo esto se encuentra dentro del levantamiento de Información en campo.</p> <p>A pesar de que en un solo estudio mencionan como paso metodológico la creación de una base de datos de la información obtenida en campo, en las demás investigaciones cuenta con la información de manera digital, pero es importante entender que no es lo mismo contar con algo digitalizado, a tener la información a la mano y guardada de manera centralizada para que, en el futuro, aporte en el desarrollo de las operaciones mina.</p>

Nivel de Informa

Algunos autores presentan el procesamiento de la información como análisis e interpretación de la información, es decir, como pasos diferentes, y en este mismo paso, otros presentan los resultados y sus recomendaciones, no cuentan con un paso en donde solo presente resultados y sus recomendaciones.

También, no realizan una evaluación de los resultados o una verificación, como para mencionar si la información es suficiente o no, o sea necesario volver al campo a tomar nuevos datos.

El nivel de información que la empresa minera cuenta depende del nivel de detalle del proyecto al igual del tamaño de inversión que se realiza en dicho proyecto.

Es por esta razón que podemos observar que en los estudios de caracterización de obras más grandes cuentan con mayor nivel de información para asegurar las obras subterráneas a largo plazo.

Es importante también observar que en la recopilación de información la geología regional, local y estructural toman un papel importante en el estudio para el conocimiento general del proyecto.

Además, para ubicarnos en subterráneo y saber en qué lugar nos encontramos del proyecto y para ubicar la información obtenida en campo la topografía importante.

En la información en campo que se debe levantar, el índice de calidad de la roca, la toma de datos de las discontinuidades y la toma de muestras de roca, cumplen un rol para la efectividad de la caracterización del macizo rocoso.

De estos datos, y especialmente con la litología o dominios geotécnicos se zonifica las áreas para la caracterización del macizo rocoso.

Con respecto a los ensayos de laboratorio, los parámetros más usados son los parámetros fundamentales de la roca, estos son densidad, peso específico, porosidad, entre otros, y la resistencia a la compresión simple de la roca.

De igual manera, se observa en un solo estudio la aplicación de ensayos de carga puntual, pero estos apoyan a los valores de resistencia a la compresión en el caso de contar con varias muestras.

Utilización de software	<p>Cuando se presentan los resultados de la investigación, se utiliza mapas de zonificación geomecánicas de la calidad de la roca.</p> <p>La utilización de software para el procesamiento, la interpretación y la presentación de resultados también se evidencia en los estudios, para la elaboración estereogramas de las discontinuidades, análisis de deslizamientos caracterización del macizo rocoso y la presentación de resultados.</p>
Instrumentos para el levantamiento de información	<p>En el levantamiento de información, las plantillas toman un papel importante y se puede observar que en todos los estudios utilizan diferentes plantillas con diferentes denominaciones, pero que su objetivo es levanta la información de campo de la manera más didáctica.</p> <p>De la que podemos detallar, plantillas de registro de levantamiento de características de discontinuidades y fichas de mapeo geológico y geotécnico.</p>

Fuente: Elaborado por el autor

4.1.2. Encuestas

La encuesta fue dirigida a profesionales que trabajan en diferentes operaciones mineras, y paralelamente se consultó con funcionarios del ministerio sectorial y la agencia encargada de la regulación y control minero, en un total de 20 encuestados, que se ubican dentro de los diferentes distritos mineros del Ecuador, siendo los siguientes: el Distrito Minero Zamora, el Distrito Minero Camilo Ponce Enríquez, Distrito Minero Zaruma-Portovelo y Distrito Minero Imba-oeste.

La encuesta se la realizó de manera online y esta puede ser visualizada en el siguiente enlace: <https://forms.gle/9Wmr2RJv6kVHT7CXA>

De la encuesta se obtuvo las siguientes respuestas, que se resumen en la tabla a continuación:

Tabla 11*Tabla de preguntas y respuestas de la encuesta*

Nro.	Pregunta	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Normal	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	¿En su empresa mineras, realizan una caracterización geomecánica para las operaciones mineras de la mina continuamente?	3	3	8	4	2
2	¿La empresa minera en la que trabaja cuenta con información previa y/o levantada para que esta apoye a las diferentes actividades que se realizan en sus operaciones?	3	2	7	3	5
3	¿En el levantamiento de la información de las discontinuidades y mapeo geológico-geotécnico en su empresa, cuenta con plantillas para el registro de datos?	3	3	5	3	6
4	¿Piensa que es necesario regresar a levantar información en el caso de que esta no sea suficiente para caracterizar una zona de estudio?	1	2	0	3	14
5	¿Considera que la aplicación de la línea de detalle para el levantamiento de información es confiable o que método aplicaría? En la figura, se muestra la utilización de la línea de detalle para el cálculo del RQD.	1	0	3	4	12
6	De la pregunta anterior, ¿cuál método utilizaría? y ¿Por qué?			Pregunta Abierta		
7	¿Respecto a los ensayos de roca intacta, cree que los ensayos de laboratorio pueden apoyarse con ensayos de campo como el martillo de Schmidt y el ensayo de carga puntual?	0	1	2	2	15
8	¿Existen profesionales especializados o que cuenten con experiencia en su empresa para realizar una caracterización geomecánica en labores mineras subterráneas?	3	5	6	2	4
9	¿Existen instalaciones, personal, equipo, adecuados para realizar una caracterización geomecánica efectiva?	5	6	2	4	3
10	¿Cree que es importante que las empresas mineras consideren aplicable una base de datos para el manejo de la información minera, geológica y geotécnica?	1	0	1	3	15
11	¿Es aplicable la pertinencia de la aplicación de un software para el procesamiento de la información e interpretación de resultados dentro de una empresa minera?	1	0	0	5	14
12	¿Conoce la normativa vigente respecto a la seguridad minera en explotaciones mineras subterráneas?	2	0	5	5	8

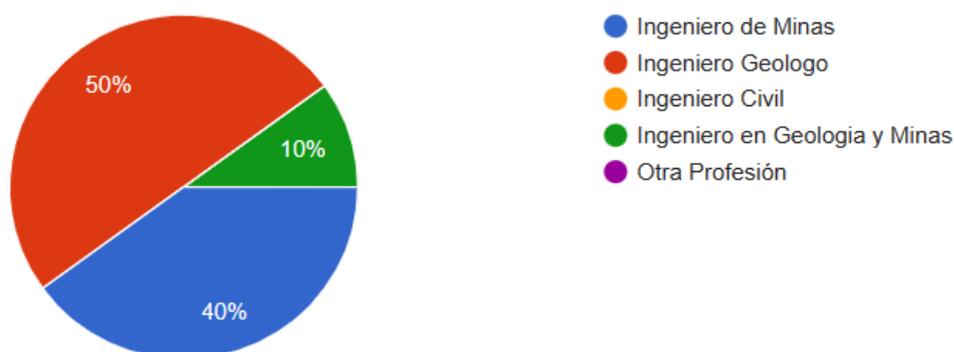
13	¿Las empresas mineras ofrecen actualmente capacitación para desarrollar una caracterización geomecánica efectiva y confiable?	3	1	10	3	3
14	En su experiencia, ¿qué clasificación del macizo rocoso es más efectiva o confiable para labores mineras subterráneas? (Selección múltiple)	14	4	14	8	
15	¿Conoce de los riesgos que pueden surgir de la operación de actividades sin conocer la calidad del macizo rocoso?	No	15%	Si	85%	

Fuente: Elaborado por el autor

De los resultados obtenidos mediante la encuesta, podemos observar que el cincuenta por ciento (50%) de encuestados pertenecen a la profesión de Ingeniería en Geología. El cuarenta por ciento (40%) pertenece a la carrera de Ingeniería de Minas y el diez por ciento (10%) pertenece a la carrera en conjunto de Ingeniería en Geología y Minas.

Figura 25

Pregunta: Profesión en la que se especializa



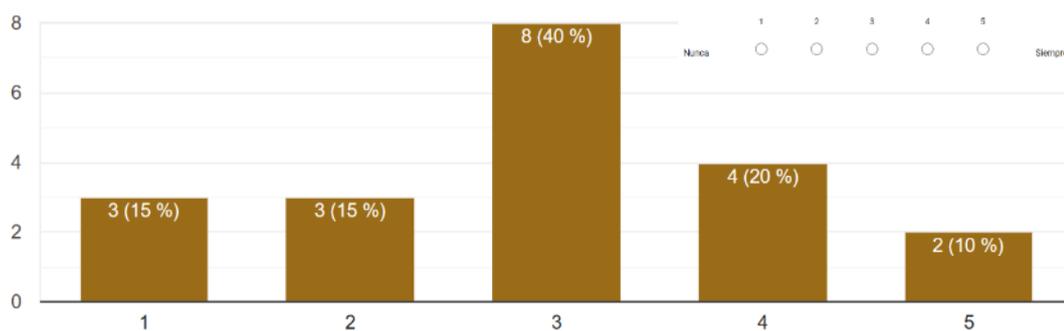
Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 26, podemos observar que de las diferentes instituciones podemos observar que el diez por ciento (10%) realizan una caracterización del macizo rocoso de manera continua, un veinte por ciento (20%) no lo realizan a menudo, el cuarenta

por ciento (40%) medianamente y ambas el quince por ciento (15%), no lo realizan o lo hacen en un largo plazo.

Figura 26

Resultados: Pregunta Nro. 01

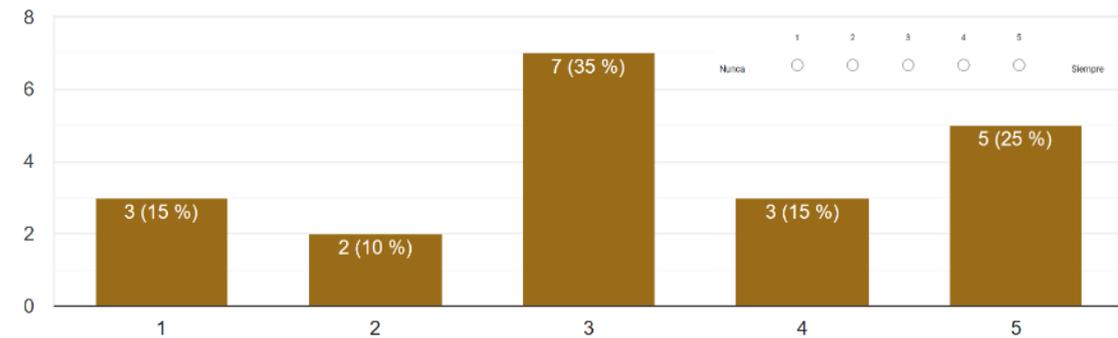


Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura Nro. 27, podemos observar que las empresas mineras cuentan medianamente con información previa para la caracterización geomecánica, y que tan solo un cuarto (25%) cuentan con información previa para la caracterización geomecánica.

Figura 27

Resultados: Pregunta Nro.02

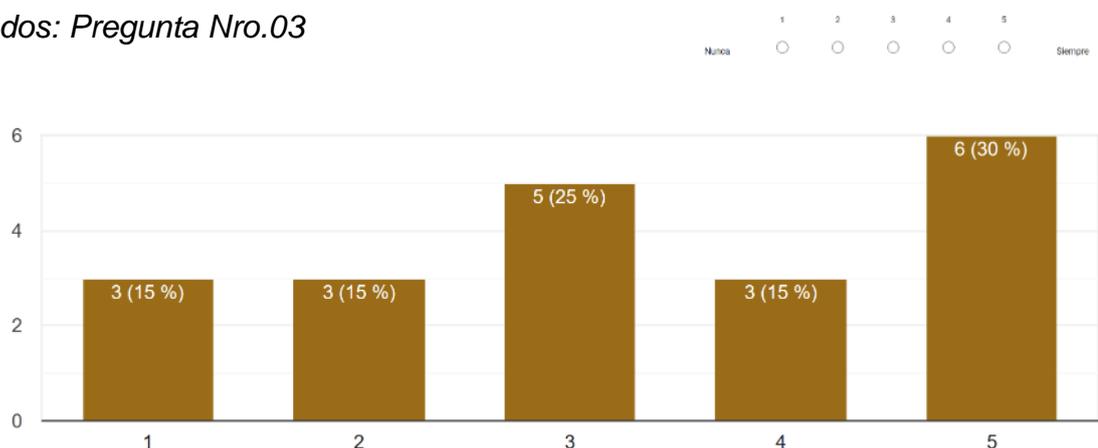


Fuente: Elaborado por el autor

En la figura 28, se puede observar que el treinta por ciento (30%) siempre cuentan con una plantilla para el registro de las discontinuidades y levantamiento de información geológica geotécnica, el quince por ciento (15%) usualmente, el veinte y cinco por ciento (25%) a veces y, el ocasionalmente y nunca ambas con el quince por ciento (15%), podemos evidenciar que es importante que las empresas tengan un instrumento que pueda ser utilizado para el levantamiento de información de campo.

Figura 28

Resultados: Pregunta Nro.03



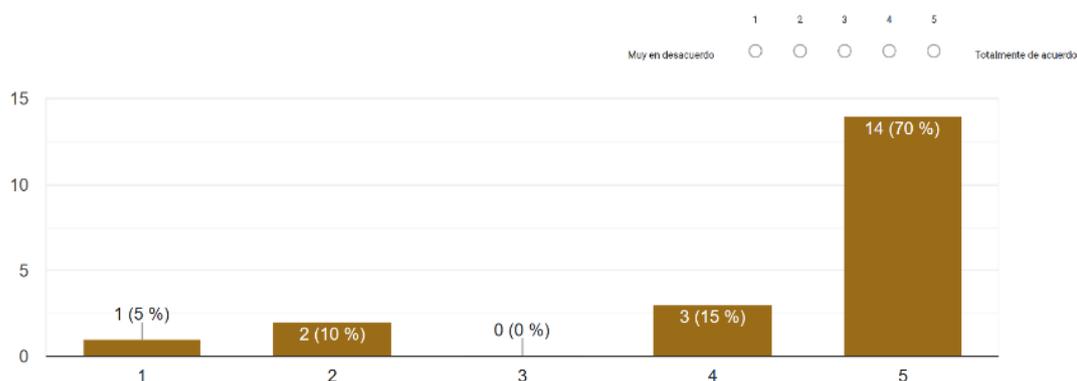
Fuente: Elaborado por el autor

Respecto a la pregunta, si es necesario volver a obtener datos en campo si la información no es considerada suficiente (Figura Nro.29), se observa que el setenta

por ciento (70%) responde que se encuentran de totalmente de acuerdo y que es necesario levantar otros datos que apoyen a esta actividad.

Figura 29

Resultados: Pregunta Nro.04

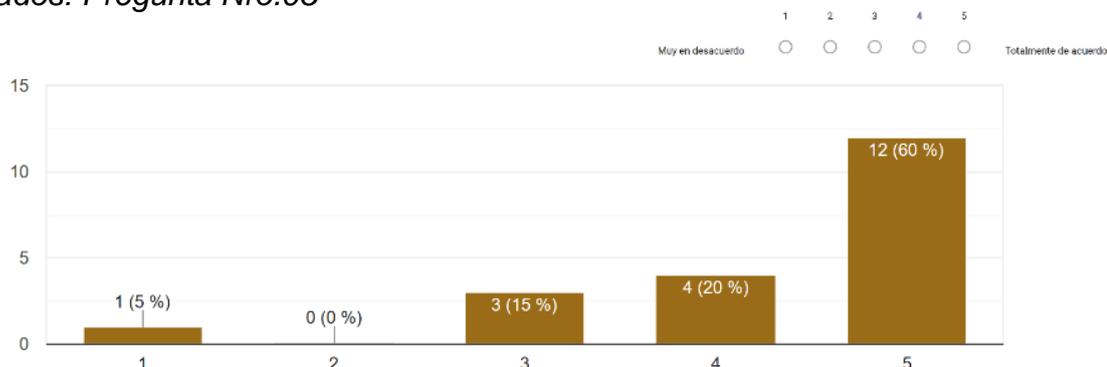


Fuente: Elaborado por el autor

Respecto a la forma del levantamiento de datos en campo mediante la utilización de una línea de detalle (Figura Nro. 30), de los resultados podemos ver que el sesenta por ciento (60%) está totalmente de acuerdo la utilización de este método, sin embargo, en la pregunta abierta (pregunta 06), donde se especifica que método utilizaría, mencionan que realizarían un levantamiento mediante estaciones geomecánicas y aplicarían la medición de las discontinuidades en un metro para la obtención del RQD.

Figura 30

Resultados: Pregunta Nro.05

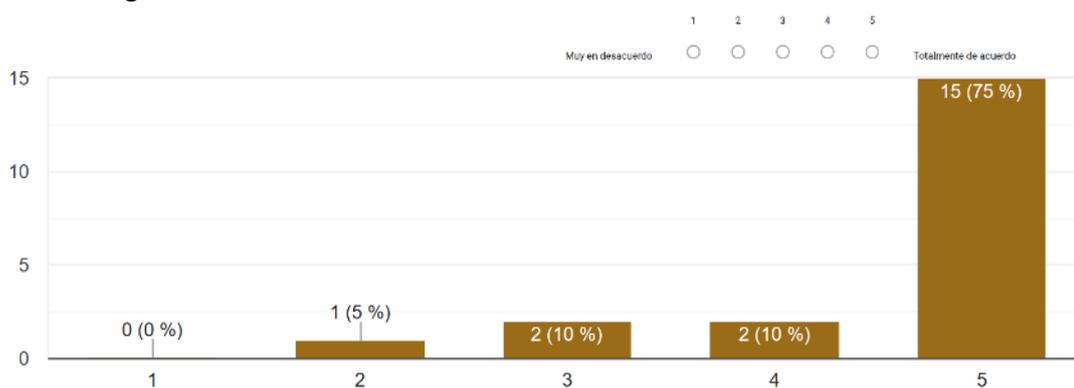


Fuente: Elaborado por el autor

Respecto a sí es posible apoyar a los ensayos de laboratorio con ensayos de campo como el uso del martillo de Schmidt y ensayos de carga puntual (Figura Nro. 31), el setenta y cinco por ciento (75%), responde que se encuentran totalmente de acuerdo, ya que es a mayores datos de campo mejora interpretación.

Figura 31

Resultados: Pregunta Nro.07



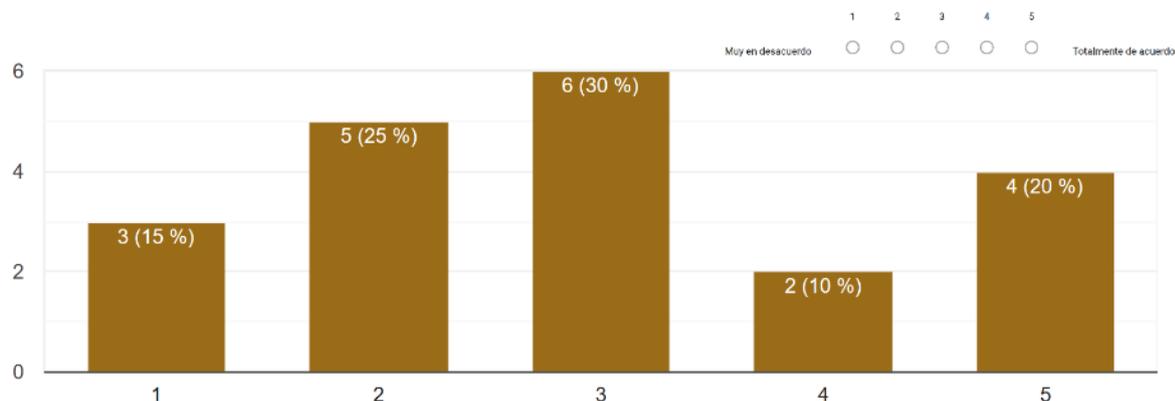
Fuente: Elaborado por el autor

Respecto a si existen profesionales dentro de las empresas mineras que realizan la actividad de caracterizar el macizo rocoso (Figura Nro.32), solo el veinte por ciento (20%) de las empresas cuentan con un profesional con experiencia, y que

las demás cuenta con profesionales que tienen poca o medianamente experiencia y el quince por ciento (15%), no cuentan con profesionales para esta actividad.

Figura 32

Resultados: Pregunta Nro.08

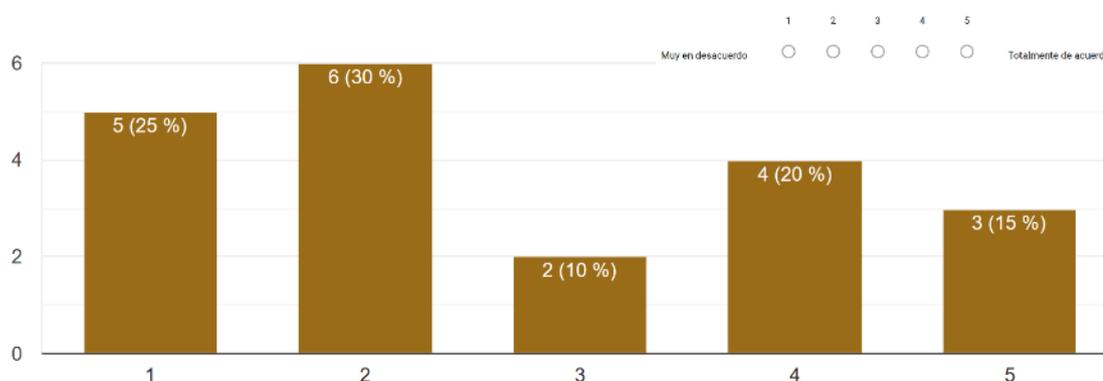


Fuente: Elaborado por el autor

Respecto a si existen instalaciones, personal, equipo, adecuados para realizar una caracterización geomecánica efectiva (Figura Nro. 33), solo el quince por ciento (15%) de empresas cuentan con equipos para levantar información en campo, más del cincuenta por ciento (50%) no cuentan con equipos o no son lo suficientes.

Figura 33

Resultados: Pregunta Nro.09

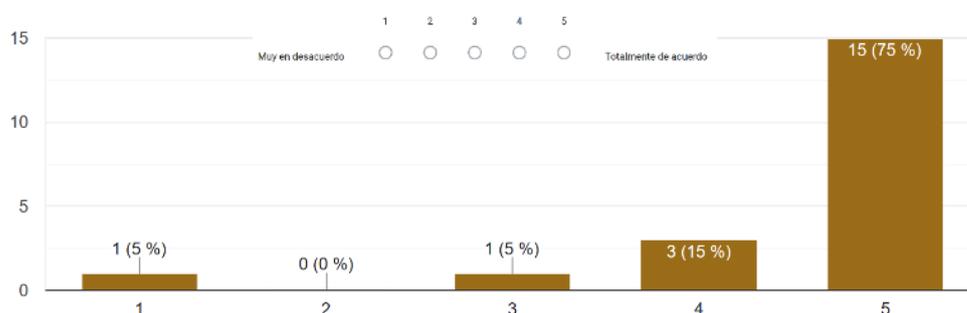


Fuente: Elaborado por el autor

De la encuesta se puede mencionar que el setenta y cinco por ciento (75%) están totalmente de acuerdo que es necesario contar con una base de datos que almacene al información minera, geológica y geotécnica y que esta pueda ser utilizada a futuro (Figura Nro. 34).

Figura 34

Resultados: Pregunta Nro.10

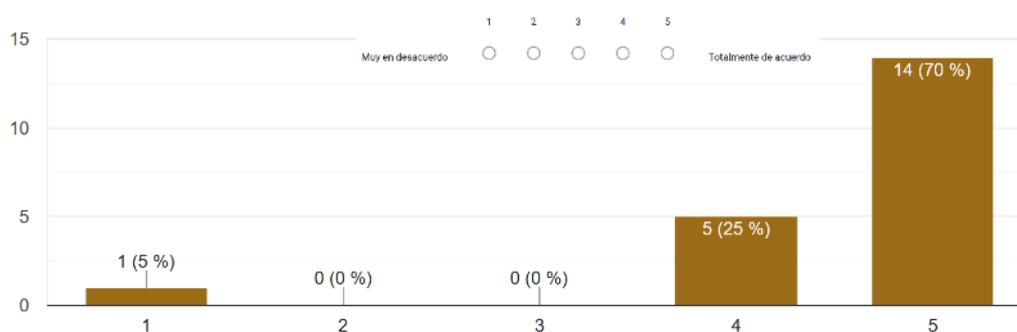


Fuente: Elaborado por el autor

Respecto a la utilización de un software que apoye para el procesamiento (Figura Nro. 35), análisis e interpretación de los datos, el setenta por ciento (70 %) mencionan que se encuentran totalmente de acuerdo y el cinco por ciento (5%) una encuesta responde que no está de acuerdo.

Figura 35

Resultados: Pregunta Nro.11

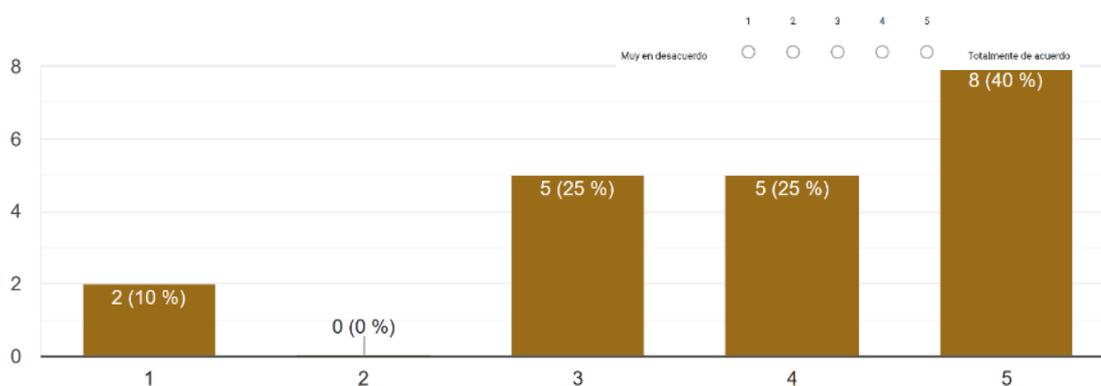


Fuente: Elaborado por el autor

De los encuestados el cuarenta por ciento (40%) conoce totalmente la normativa dirigida a las normas de seguridad minera en labores mineras en subterráneo, el veinte y cinco por ciento (25%) ambas que conoce no en su totalidad y medianamente y el diez por ciento (10%) que no conocen la normativa (Figura Nro.36).

Figura 36

Resultados: Pregunta Nro.12



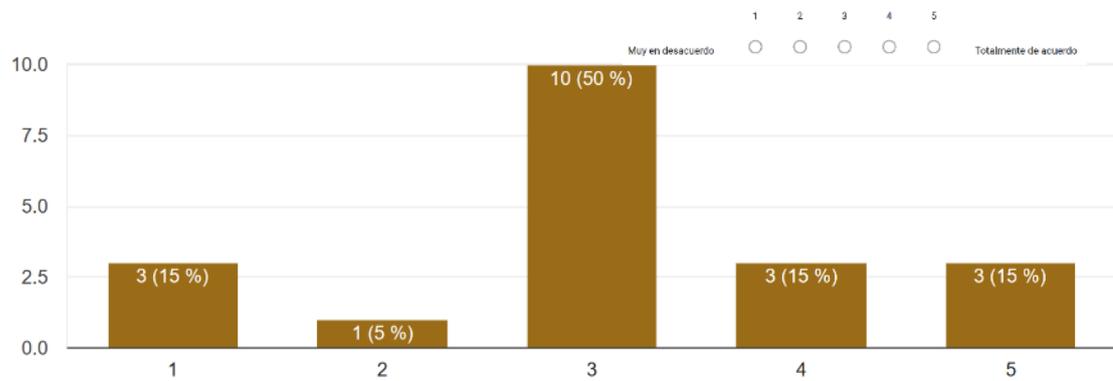
Fuente: Elaborado por el autor

Respecto a las capacitaciones (Figura Nro. 37), las empresas mineras medianamente ofrecen capacitaciones a sus empleados respecto a los temas de caracterización geomecánica en labore mineras subterráneas con un cincuenta por ciento (50%) es decir, las capacitaciones se dan a mediano plazo.

Respecto a la confiabilidad para la clasificación del macizo rocoso, de acuerdo con la experiencia de los encuestados, mencionan que las clasificaciones Rock Mass Rating "RMR" y Rock Quality System (Q de Barton), son las más populares ambas con un setenta por ciento (70 %), les sigue la clasificación Geological Strength Index (GSI) con una cuarenta por ciento (40%) y por último Mining Rock Mass Rating (MRMR) con un veinte por ciento (20%).

Figura 37

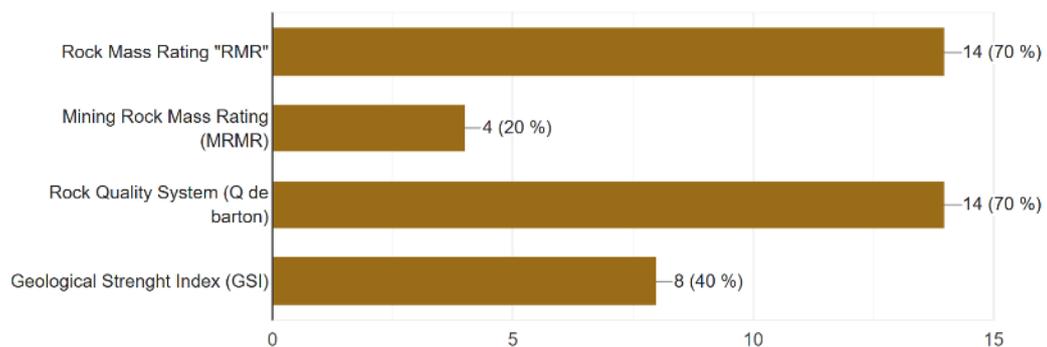
Resultados: Pregunta Nro.13



Fuente: Elaborado por el autor

Figura 38

Resultados: Pregunta Nro.14

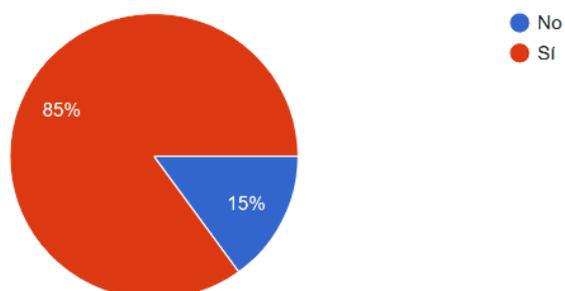


Fuente: Elaborado por el autor

Respecto a la pregunta número 15, los encuestados responde que conocen los riesgos que se producen o se generan al no conocer la calidad del macizo rocoso.

Figura 39

Resultados: Pregunta Nro.15



Fuente: Elaborado por el autor

4.1.3. Entrevistas

Para contar con un criterio ampliado, se realiza entrevistas a profesionales que cuentan con experiencia en ingeniería geotécnica y en ingeniería de minas, estas se pueden visualizar en la siguiente tabla:

Tabla 12

Tabla de entrevistas

Entrevistado	País	Profesión	Comentarios
Eugene Tariro Gota	Zimbabwe	Ingeniero de Minas	Antes de realizar cualquier trabajo en campo, siempre es importante conocer la geología del área de trabajo, debido a que ahí es donde vas a trabajar, al conocer las diferentes discontinuidades y la litología, puedes conocer empíricamente cuál es el ambiente, para la caracterización el RQD tiene un rol fundamental, brindando una característica del tamaño de los bloques que tendrás en campo, otro factor que en las operaciones mineras es necesario controlar, es el agua

			<p>subterránea. La colección de muestras de roca, ya que puedes conocer que minerales contiene y aplicar los ensayos necesarios en el laboratorio con el objetivo de contar con un valor de resistencia a la roca y posterior, la simulación de estos resultados para conocer todos los factores que afectan a la calidad del macizo rocoso.</p>
Daniel Kealeboga	Botswana	Ingeniero Geólogo	<p>La importancia de la caracterización geomecánica es obtener los datos en campo, es decir, reconocer las discontinuidades, fracturas, la calidad de la roca, de igual manera la apertura o espacios entre las fracturas, en las discontinuidades es importante conocer el rumbo y buzamiento, una vez recogida la información en campo debe esta ser almacenada en una base de datos, y para el procesamiento es bueno utilizar un paquete de software que ayuda a manejar la cantidad y la calidad de los datos.</p>
Ulaankhuu Batsaikhan	Mongolia	Estudiante de Doctoral - Rock Engineering	<p>El sistema de clasificación RMR, cuenta con mayor parámetros geomecánicas y es fácil de aplicar, este sistema es más común para la aplicación de túneles, de igual manera, se puede correlacionar con los demás sistemas de clasificación, otro de los parámetros importantes es el RQD, este se lo puede obtener de los sondajes o directamente de la observación en campo.</p>

Fuente: Elaborado por el autor

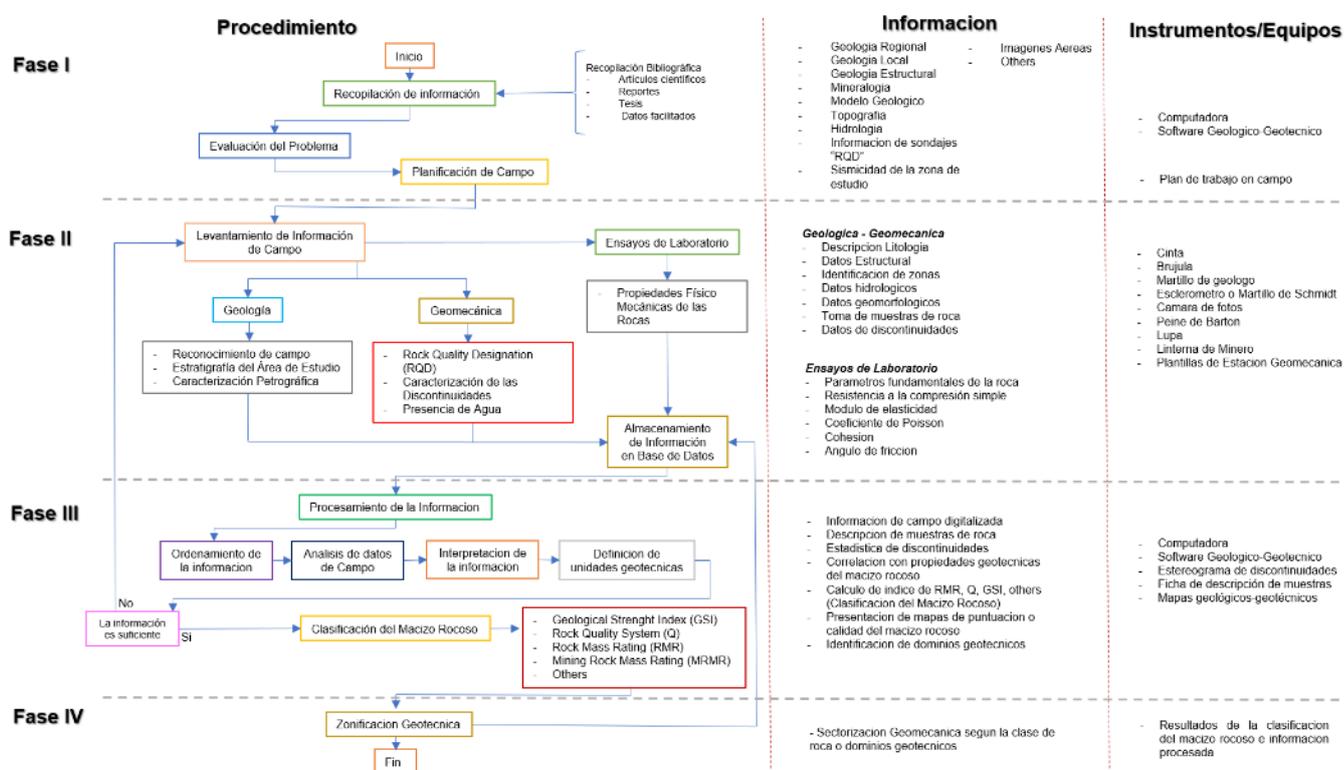
4.2. Diseño de la Mejora

Una vez realizado la revisión, las entrevistas y las encuestas, se obtuvo un diagnóstico de las metodologías que utiliza se aplican, por lo que, en este punto se presentara una propuesta de metodología que define el proceso para realizar una caracterización geomecánica en labores mineras subterráneas, también se presentara las herramientas e información que debe considerarse.

Posteriormente, se describirá cada uno de los pasos de la propuesta, donde se detallará lo insumos necesarios y herramientas que deben ser utilizadas.

Figura 40

Propuesta metodológica para la caracterización del macizo rocoso



Fuente: Elaborado por el autor

4.2.1. Descripción de las Fases Metodológicas

A continuación, se describe las diferentes fases que se plasman como propuesta metodológica, especificando las actividades y consideraciones dentro de estas, para seguir y entender el procedimiento como las acciones que se realizarán con los instrumentos que intervienen y la información manejada y resultante del procesamiento.

4.2.1.1. Fase I.- Recopilación de la Información

En esta fase, es necesario recolectar de manera sistemática información que proviene de diversas fuentes bibliográficas, reportes, tesis de grado y pregrado, para contar con una percepción más completa del objeto de estudio, lo importante de esta actividad es que la información debe tener un carácter veraz y exacto, por lo que, se recomienda revisar la información preexistente de la empresa o estudios realizados por consultoras para la empresa, o prácticamente datos facilitados por la misma.

Entre la información que podría recopilar se encuentra la geología regional, geología local, geología estructural, mineralogía, el modelo geológico, topografía subterránea, hidrología, información de sondajes "RQD" y descripción de los sondajes, sismicidad de la zona de estudio, imágenes aéreas, entre otra.

La información mencionada en el anterior párrafo aun que podría ser necesaria, no es mandatorio contar con toda la información o exactamente esa información, ya que esto dependerá de la disponibilidad de la misma y de la consideración del profesional encargado de la caracterización del macizo rocoso.

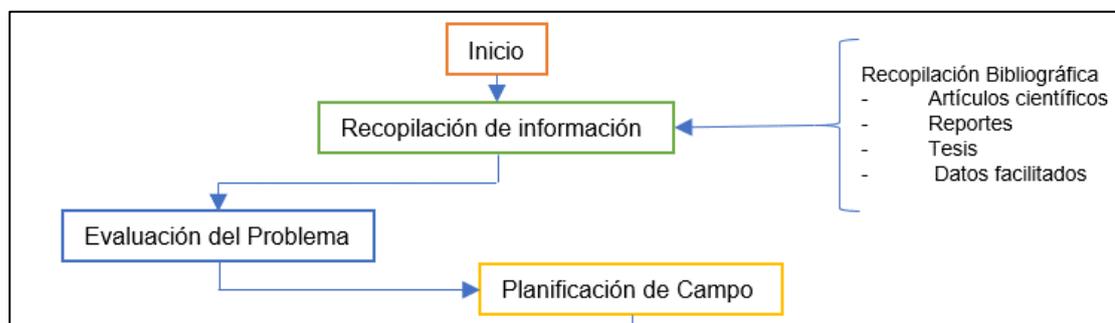
Una vez obtenido los datos que se han considerado necesarios para el estudio, el equipo de trabajo o la persona en realiza esta actividad, debe procesar la información para convertirla en un conocimiento útil que pueda complementar el

estudio que se desea realizar, en este procedimiento a esta parte se la denomina Evaluación del Problema, ya que con la información que contamos a la mano podemos tener una visión de la zona de estudio y este apoyar para establecer un estado inicial.

Posteriormente, realizamos una planificación de campo, que es prácticamente definir las zonas de levantamiento de información, la metodología técnica que se aplicara para la toma de datos, por ejemplo, la línea a detalle o por medio de estaciones geomecánicas, todo esto en dependencia de objetivo del equipo o personal a cargo de levantar la información de campo, aquí se contara con un plan de trabajo y se prepara los equipos a utilizar en campo y las plantillas de registro de discontinuidades o estaciones geomecánicas.

Figura 41

Fase I: Recopilación de información



Fuente: Elaborado por el autor

4.2.1.2. Fase II.- Levantamiento de Información de Campo

Esta fase es una de las más delicadas para el estudio, ya que dependiendo de la calidad de los datos obtenidos en campo se obtendrá los resultados.

El levantamiento de información en campo es la actividad de recolección y medición de datos de variables de manera sistemática y previamente establecida, que

son de interés para el estudio y se usaran para clasificar o caracterizar el macizo rocoso.

Las variables que se levantarán en campo son geológicas y geomecánicas, y aquí se realizara una recolección de muestras de roca que posteriormente se remitirán al laboratorio para sus respectivos ensayos.

En lo que respecta a la geología, se debe realizar un reconocimiento de campo para reconocer litologías, estructuras, mineralización, entre otros parámetros geológicos, ya que debido a este reconocimiento se podrá definir los dominios geomecánicos. El levantamiento geológico es necesario cuando las minas no cuentan con esta información previamente o cuando se desea detallar el mapeo geológico subterráneo.

El levantamiento de información geomecánica, se lo puede realizar mediante la línea de detalle o estaciones geomecánicas, donde se obtendrá el índice de calidad de la roca "RQD", se caracterizará las diferentes discontinuidades y se revisará la presencia de agua en las labores subterráneas.

La toma de muestras para ensayos de laboratorio es importante, debido a que mediante estos ensayos se obtendrán las propiedades físico-mecánicas de las rocas como es densidad, peso específico, resistencia a la compresión, entre otros parámetros geomecánicas.

Los equipos que se deben utilizar para este levantamiento tanto geológico como geomecánico son los siguiente:

- 1) Cinta
- 2) Brújula
- 3) Martillo de geólogo
- 4) Esclerómetro o Martillo de Schmidt
- 5) Cámara de fotos

- 6) Peine de Barton
- 7) Lupa
- 8) Linterna de Minero
- 9) Plantillas de Estación Geomecánica

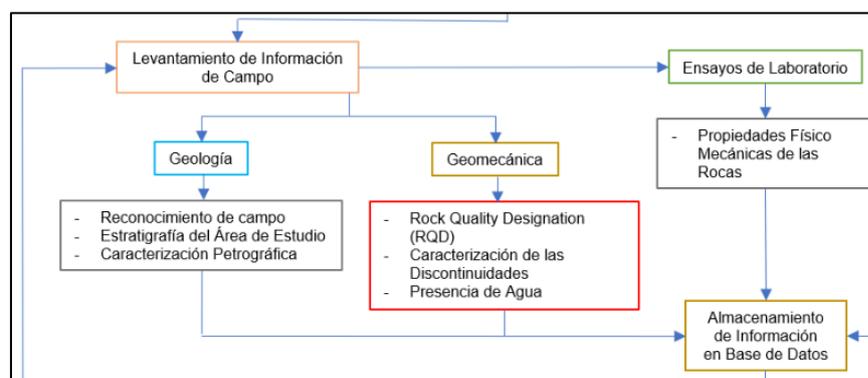
Para garantizar la flexibilidad, disponibilidad y permanencia en el tiempo de la información, es necesario que las empresas cuenten con una base de datos, esta es un conjunto de datos que se encuentran conexas por cierta característica y permite almacenar y administrar la información presentada de manera organizada y estructurada para contar con ella de manera sencilla.

Por esta razón, para que los datos importantes por la empresa sean siempre almacenados, se encuentren disponibles y preserven en el tiempo se debe utilizar la base de datos, una vez levantada la información de campo, esta debe ser digitalizada y remitida a la base de datos de manera cruda, del mismo modo, los resultados o datos procesados.

De esta manera, la información se encontrará disponible para el uso en la siguiente etapa de investigación.

Figura 42

Fase II: Levantamiento de información de campo



Fuente: Elaborado por el autor

4.2.1.3. Fase III.- Procesamiento de la Información

El procesamiento de datos es el proceso de transformar los datos en información significativa y útil. Lo que implica recopilar, organizar, procesar y analizar datos con el objetivo de extraer información útil de ellos.

El objetivo del procesamiento de datos es transformar los datos sin procesar en información útil que se pueda utilizar para tomar decisiones.

Se inicia esta etapa con el ordenamiento de la información, que implica la organización de la información de campo y la información útil de la primera fase para que pueda ser manipulada y posteriormente analizada.

En la manipulación de los datos debemos extraer la información útil de ellos, que aporten a la caracterización geomecánica, aquí es cuando se clasificara la información, se filtrara y se agregara datos si es necesario.

En el análisis de la información, es esta parte se transformará los datos sin procesar para obtener conocimiento y perspectiva se la zona de estudio y que será utilizado posteriormente para la toma de decisiones. Aquí se definirá la litología, mediante la descripción de las muestras tomadas, de manera microscópica y macroscópica, se realizará la estadística de discontinuidades y se correlacionará la información geológica, geotécnica y topográfica para posteriormente realizar la interpretación de estos datos y definir las unidades geotécnicas.

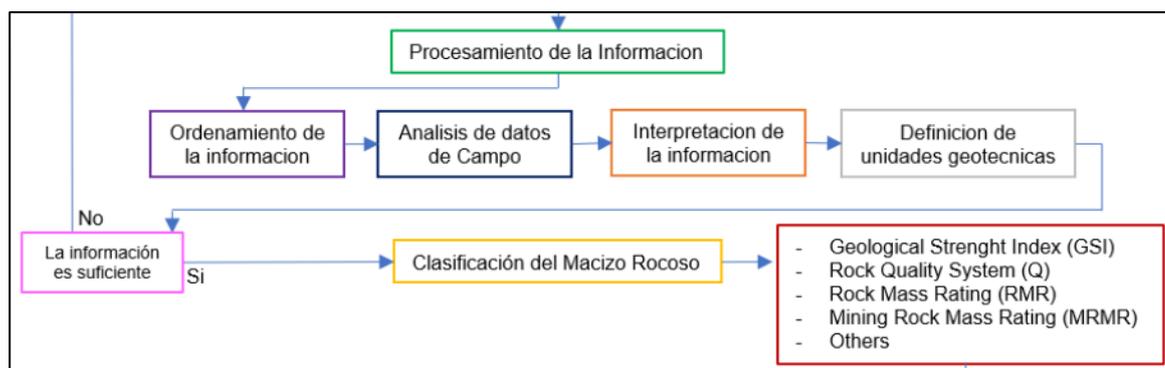
La interpretación de datos es el proceso de examinar datos y sacar conclusiones relevantes utilizando varios métodos analíticos. El análisis de datos ayuda a los investigadores a categorizar, administrar y resumir datos para responder preguntas importantes, como podría ser que tipo de litologías se encuentran en las labores mineras, que estructuras se presentan, que tipo de discontinuidades, el número de familias, revisar si de los ensayos de roca los resultados del laboratorio

están de acorde a la descripción de las muestras de roca, entre otros, y finalmente esto ayudara a definir los dominios geomecánicos, para continuar con el cálculo de los índices de calidad o caracterización geomecánica del macizo rocoso mediante los diferentes métodos, su correlación entre métodos y comparar los resultados. Se puede presentar un mapa de puntuación o calidad del macizo rocoso.

Se debe tener en cuenta que a diferencia de los otros métodos el Geological Strenght Index (GSI), podemos obtenerlo directamente en campo. Aquí se podría obtener una correlación con otros métodos de clasificación para tener una valorización.

Figura 43

Fase III: Procesamiento de la información



Fuente: Elaborado por el autor

4.2.1.4. Fase IV.- Zonificación Geotécnica

En esta fase es necesario elaborar y presentar como resultado final un mapa que sectorice la calidad del macizo rocoso por dominios geotécnicos (mapa de zonificación geológica – geotécnico), prácticamente consiste en presentar zonas relativamente homogéneas donde se ha determinado que cuentan con propiedades físicas y mecánicas similares. Esto permitirá identificar los parámetros calculados y

obtenidos durante todo el proceso de manera visual para evidenciar los problemas, así mismo, permite especificar la zona de estudio para la toma de decisiones en la operación o utilizar para diferentes propósitos.

Figura 44

Fase IV: Zonificación Geotécnica y Final



Fuente: Elaborado por el autor

4.2.2. Capacitación del personal minero y compra de equipos para el levantamiento

4.2.2.1. Capacitación

La capacitación de los trabajadores en minería actualmente es una herramienta muy importante para la industria minera moderna, se debe considerar que la capacitación no solo debe ser respecto a temas técnicos, sino también, en seguridad y salud dentro de las diferentes actividades del ciclo minero, de tal manera que el trabajador se construya con una cultura técnica y de seguridad, a la vez que genera un valor agregado.

La capacitación del personal también permite que las actividades de la mina se vuelvan flexibles y que los trabajadores en conjunto con la mina estén dispuestos a utilizar nuevas tecnologías.

La capacitación también garantiza que las operaciones se lleven con estándares técnicos y prácticos, eficaces, con calidad y seguridad.

De igual manera, dentro de la normativa de seguridad y de las actividades mineras en el Ecuador se encuentra la capacitación, por esta razón, las compañías mineras deben cumplir las capacitaciones e incluirlas dentro de su presupuesto, estableciendo un cronograma por año.

Las compañías tienen actualmente dos tipos de manera de brindar la capacitación, de manera presencia y de manera virtual.

Los temas que podrían impartirse dentro de las compañías en la parte técnica deben ser dirigidos a la geomecánica minera subterránea como, por ejemplo, clasificación del macizo rocoso, reconocimiento de las características en campo de las discontinuidades, geología estructural, reconocimiento de litologías, entre otros. Y en la parte de seguridad, temas respecto a la respuesta a emergencias de áreas específicas, primeros auxilios, prevención de accidentes por desprendimiento de rocas, prevención de accidentes por gaseamiento, el uso de equipo de protección personal – EPP, entre otras.

4.2.2.2. Equipos y plantillas para el registro de datos

La utilización del equipo adecuado para el levantamiento de información es esencial en las diferentes actividades de la mina, esto facilita la obtención de la información y disminuye la deficiencia de obtenerla, por esta razón, es necesario contar con los equipos técnicos y de seguridad.

La cinta es importante para establecer las distancias de toma de datos de las discontinuidades en subterráneo, el uso de la cámara es un registro visual de cómo se encuentra el macizo rocoso en campo a la vez que es un registro histórico, y también la toma de fotos es una muestra de que labores se fue visitando y tomando datos.

El martillo de geólogo es utilizado para obtener o descubrir la roca y mostrar una superficie fresca de una roca para determinar su composición, sus características, su naturaleza, la mineralogía, su historia y el campo hasta se puede mediante tablas estimar la resistencia de la roca. También el martillo puede utilizarse como escala para la toma de fotografías en campo.

La brújula se utiliza principalmente para medir las orientaciones geográficas, también se podría triangular una ubicación, pero para el presente estudio es medir lineaciones estructurales, planos y la geometría de estructuras geológicas o en geomecánica las características en rumbo y buzamiento de las discontinuidades.

El martillo de Schmidt o también es conocido como esclerómetro se utiliza para conocer la resistencia como un ensayo de campo, para determinar de forma cualitativa la resistencia a la compresión uniaxial de rocas. El uso de este equipo es práctico y útil para contar con datos de forma rápida y tener una aproximación de la resistencia de la roca "in situ".

El Peine de Barton se utiliza para conocer la rugosidad de las superficies de las juntas, obteniendo una línea que se compara con una escala de perfiles propuesta por Barton y estos perfiles tienen valorizado el coeficiente de rugosidad de las juntas "JRC".

La lupa ayuda a incrementar la visión de la zona visualizada mediante un zoom, con ella podemos observar los minerales contenidos en el tipo de roca y nos da soporte para la observación y reconocimiento de minerales y rocas.

Las empresas necesitan contar con hojas de registro para diferentes actividades, estas servirán para revisar la información y posterior utilización de los datos, normalmente en el levantamiento de información de para la caracterización

geomecánica, se registra la caracterización de las discontinuidades, las litologías o en general los datos geológicos y geomecánicas.

4.2.3. Presupuesto estimado para llevar a cabo la metodología

A continuación, se presenta un presupuesto estimado que una empresa minera necesita invertir para llevar a cabo esta metodología, este considera los equipos y herramientas necesarias:

Tabla 13

Tabla de Presupuesto referencial

Equipos	Unidades	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Cinta	2	\$ 15.00	\$ 30.00
Brújula	2	\$ 135.00	\$ 270.00
Martillo de geólogo	2	\$ 265.00	\$ 530.00
Esclerómetro o Martillo de Schmidt	1	\$ 500.00	\$ 500.00
Cámara de fotos	1	\$ 1,500.00	\$ 1,500.00
Peine de Barton	2	\$ 18.00	\$ 36.00
Lupa 30 - 60 X	2	\$ 135.00	\$ 270.00
Linterna de Minero	2	\$ 95.00	\$ 190.00
Cascos Mineros	10	\$ 20.00	\$ 200.00
Botas	8	\$ 22.00	\$ 176.00
Ropa	4	\$ 60.00	\$ 240.00
Computadora portátil Acer Predator Helios 16 Laptop	2	\$ 1,600.00	\$ 3,200.00
Licencias de Software Geológico - Geomecánica aprox* por año	2	\$ 25,000.00	\$ 50,000.00
Papel	20	\$ 20.00	\$ 400.00
Lápiz / Esferos	10	\$ 2.50	\$ 25.00
Base de datos para la empresa	1	\$ 120,000.00	\$ 120,000.00
Total			\$ 177,567.00

Fuente: Elaborado por el autor

El presupuesto se dirigió para un grupo de trabajo conformado por dos personas y la compra del equipo para el almacenamiento de la información (Base de Datos).

4.3. Mecanismos de Control

Para el control de las actividades de campo se utilizará las plantillas de registro de datos, número de muestras de roca enviadas para ensayos de laboratorio, fichas de descripción macroscópicas y microscópicas, y mapas geológicos – geotécnicos realizados.

En las Tablas Nro. 14, 15 y 16, se presentará formato guías para los diferentes indicadores.

Tabla 14

Formato para la descripción de rocas macroscópica - microscópica

ESTUDIO PETROGRAFICO MACROSCOPICO Y MICROSCOPICO		
Nro. _____		
CODIGO DE MUESTRA: _____	FECHA: _____	
ABSCISA: _____		
REFERENCIA: _____		
<table border="1" style="width: 100%; margin: 5px auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">ANALISIS MACROSCOPICO</td> </tr> </table>		ANALISIS MACROSCOPICO
ANALISIS MACROSCOPICO		
FOTO		
FOTO		
IDENTIFICACION		
ESTUDIO MICROSCOPICO		
NOMBRE DE LA ROCA		
TIPO DE ROCA		
COLOR		
TEXTURA		
MINERALES SIALICOS		
MINERALES MAFICOS		
DESCRIPCION:		
Nota:		
FOTO LAMINA DELGADA		
FOTO		

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla 15

Formato para la presentación de mapeo geológico - geomecánico

EMPRESA MINERA: _____															
UBICACION:						REALIZADO:									
MAPEO GEOLOGICO - GEOTECNICO						REVISADO:									
ABSCISA:		COTA SUPERIO:		COTA INFERIOR:		FECHA:									
PROPIEDADES GEOMECAICAS				CLASIFICACION GEOMECAICA				ESTRUCTURAS GEOLOGICAS							
Angulo de friccion	Cohecion (Mpa)	Modulo de Young (Gpa)	RCSm (Mpa)	RQD	GSI (Hoek)	Q (Barton)	RMR (Brensiswkh)	ABSCISAO (m)	PARED DERECHA	CLAVE	PARED IZQUIERDA	ABSCISAO (m)	LITOLOGIA	SOBRE CARGA DE ROCA (m)	HIDROGEOLOGIA

Escala Grafica:

ESTEREOGRAMA DE DISCONTINUIDADES

REPRESENTACION DEL LUGAR DE LEVANTAMIENTO "TOPOGRAFIA"

LEYENDA

PARAMETROS DE CLASIFICACION GEOMECAICA

Fuente: Elaborado por el autor

CAPÍTULO V

SUGERENCIAS

5.1. Conclusiones

- Mediante la revisión y comparación de diversas fuentes bibliográfica de los estudios preexistentes (Tabla Nro. 8) realizados en el Ecuador dirigidos a la caracterización geomecánica en labores mineras y obras civiles subterráneas, podemos evidenciar que los diferentes estudios toman en cuenta diversas metodologías y cada etapa esta nombrada de diferente manera.
- Se puede evidencia mediante lo reflejado en los estudios preexistentes (Tabla Nro. 8), que el nivel de información que se cuenta para realizar los estudios se relaciona al nivel de detalle que se requiere en la obra a realizar.
- Según la revisión y comparación que se realiza en la Tabla Nro.7, el método de clasificación más utilizado es el Rock Mass Rating (RMR) y el Rock Quality System (Q de Barton).
- Los instrumentos que se utiliza para el levantamiento de información en la mayoría de los casos (Tabla Nro.8), es mediante el uso de plantillas de registro de características de las discontinuidades.
- En la metodológica que se propone en el presente estudio (Figura Nro. 40), toma en cuenta cuatro (4) fases que cuentan con actividades sistemáticas, estas fases de denominan: Fase I.- Recopilación de la Información, Fase II.- Levantamiento de Información de Campo, Fase III.- Procesamiento de la Información y Fase IV.- Zonificación Geotécnica.
- Se evidencia que por el volumen de información que se va obteniendo al desarrollo de las operaciones en minería y para garantizar la durabilidad de la

información en el tiempo, es necesario que las empresas mineras cuenten con una base de datos donde pueda almacenar su información de manera segura.

- Con el objetivo de controlar el procedimiento se ha establecido tres (3) formatos de plantillas uno dirigidos al registro de las características o descripción de muestras de rocas, el segundo para la caracterización de las discontinuidades del macizo rocoso y la tercera un mapeo geológico – geomecánica que es un plano que refleja toda la información del macizo rocoso de la zona de estudio.

5.2. Recomendaciones

- En la recopilación de información se revise documentos bibliográficos que sean veras y exacta, es decir, que esta sea avalada con fuentes bibliográficas científicas.
- En el caso de que se evidencie en el procesamiento de información la falta de información levantada en el campo, se necesario volver a la zona de estudio para completar esta información.
- Con el objetivo de controlar y contar con una guía para la toma de datos en campo previamente se realice una planificación de campo, donde se cuente con todos los equipos y herramientas necesarias para la toma de datos.
- Con el objetivo de mantener la calidad de los datos y tener un claro conocimiento práctico, las empresas mineras deben desarrollar capacitaciones a sus trabajadores no solo en el ámbito técnico, sino también, en la parte de seguridad y salud ocupacional.
- Una vez levantados los datos en campo, la información cruda debe ser almacenada en una base de datos, al igual que, los resultados de los análisis e interpretaciones, los mapas y toda la información que resulte del

procesamiento.

- Se recomienda que cuando se realice una caracterización del macizo rocoso, se defina previamente las unidades o dominios geotécnicos y a cada uno de estos establecer una calidad del macizo rocoso.
- La información obtenida en campo sea almacenada dentro de una base de datos para su uso en el presente y a futuro, de manera flexible y seguridad.

5.3. Bibliografía

Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables ARCERNNR (2020). *Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el Ámbito Minero*. ARCERNNR.

Alquinga López, D. M. Y Asimbaya Amaguaña, D. X. (2013). *Análisis del Comportamiento Geomecánico del Macizo Rocosos para la Estimación del Sistema de Soporte en la Excavación del Tramo Inferior de las Tuberías de Presión del Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair, entre las Abscisas A0+955 A A1+275 Y B1+030 A B1+350*. Universidad Central del Ecuador.

CABRERA, J. D. y URDIALES, A. N. (2014). *Rediseño Organizacional Para La Sociedad Minera "Golden Mining"*. Universidad del Cuenca.

Carrión Mero, P. Briones Bitar, J. Morante Carballo, F. Stay Coello, D. Blanco-Torrens y R. Berrezueta, E. (2021). *Evaluation of Slope Stability in an Urban Area as a Basis for Territorial Planning: A Case Study*. Appl. Sci. 2021, 11, 5013. <https://doi.org/10.3390/app11115013>

Cisterna Valdebenito, C. A. (2018). *Caracterización Geomecánica en Faenas Subterráneas de Pequeña Minería, Caso de Estudio Mina Los Pequeños, Región de Coquimbo. Chile*.

- Cortés Cortés, M. E. y Iglesias León, M. (2004). *Generalidades sobre Metodología de la Investigación*. Universidad Autónoma del Carmen.
- Cueva Romero, J. Gerardo. y Arana Cabrera, J. A. (2019). “*CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA EN MINERÍA SUBTERRÁNEA*”: una revisión de la literatura científica. Universidad Privada del Norte.
- Delaune, E. y Costa, D. (2021). *Boletín Institucional del Sector Minero*. Ministerio de Energía y Minas.
- Department of industry and resources. (1997). *Geotechnical Considerations in Underground Mines Guideline*. MOSHAB Approved.
- Dirección de Información y Transparencia de las Actividades mineras (2022). *Ayuda de Memoria – Sector Minero: Proyecciones en el sector minero*. Ministerio de Energía y Minas.
- Domínguez, L. (2010). *Propuesta de Implementación de un Sistema de Costos para la Empresa Minera Bira Bienes Raíces S.A. Ubicada en la Ciudad de Zaruma Provincia de El Oro*. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Duque Chávez, K. B. (2018). *Estudio Geomecánico y Propuesta de Fortificación en la mina El Mirador en Camilo Ponce Enríquez, Azuay*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Foro Intergubernamental sobre Minería, Minerales, Metales y Desarrollo Sostenible (IGF) (2019). *Evaluación del Marco de Políticas Mineras del IGF Ecuador*. (IGF)
- Gavilánez, J. y Andrade. (2004). *Introducción a la Ingeniería de Túneles*. Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador (AIME).
- González de Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación.

- Gualacata Túquerres, J. O. (2018). *Caracterización Geomecánica y Propuesta de Técnicas de Sostenimiento para las Principales Galerías de Explotación de la Mina Liga de Oro*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- González Menéndez, J. J. y Paucar Cujilema, P. J. (2019). *Diseño de explotación minera de materiales de construcción en el bloque noreste de la concesión Cerro Grande 1, Durán-Ecuador*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Gutierrez, A. 2002. Dioses, símbolos y alimentación en los Andes: interrelación hombre-fauna en el Ecuador prehispánico. Abya Yala, Quito, 473 pp.
- Herrera, J. (2006). *Métodos de Minería a Cielo Abierto*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Huaman, A. A., Ardiles, V. R., Mendieta, E. H., Arias, A. F., Salas, M. W., Nikaido, H. E. y Curi, A. N. (2017). *Guía de Criterios Geomecánicos para Diseño, Construcción, Supervisión y Cierre de Labores Subterráneas*. Osinergmin.
- Hudson, J. y Harrison, J. (1997). *Engineering Rock Mechanics an Introduction to the Principles*. Pergamon.
- Laboratorio de Innovación y Tecnología Minera (2019). *Introducción a la Minería Subterránea*. Vol I: Características Generales. Universidad Politécnica de Madrid.
- Laboratorio Oficial J. M. Madariaga (2015). *Guía Sobre Control Geotécnico en Minería Subterránea*. Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- Ley de Minería (2009), publicada en el Registro Oficial Suplemento No. 517 de 29 de enero de 2009.
- Muñoz, B. (2013). *Identificación y Evaluación de los Riesgos Mecánicos en La Mina Grande de la Empresa MINANCA. Formulación de un Plan de Prevención*. Universidad De Guayaquil.

- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (2020). *Plan Nacional de Desarrollo del Sector Minero 2020-2030*. MERNNR.
- Molina, Y. (2013). *Catastro de Prácticas Operacionales y de Diseño para la Mediana Minería Subterránea en Chile*. Universidad de Chile.
- MULLO VALLEJO, F. G. (2012). *Empleo de las Clasificaciones Geomecánicas, para la Investigación del Comportamiento Geotécnico de las Excavaciones Subterráneas en la Central La Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair 1500 MW*. Universidad Central del Ecuador.
- Muñoz Reinoso, C.R. (2015). *Evaluación de Reservas y Diseño del Sistema de Explotación del Área Minera Mary Elena Código: 102317*. Universidad Central del Ecuador.
- Octavio, D. (2016). *Metodología de la investigación. Primeros pasos*. Disponible https://www.researchgate.net/publication/301625105_Metodologia_de_la_investigacion_Los_primeros_pasos
- Orellana Mendoz, E. E. (2016). *Influencia de la Calidad del Macizo Rocosos en Accidentes por Caída de Rocas en Minas Subterráneas*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Ramos Armijos, N. J. (2021). *Caracterización geomecánica del macizo rocoso y diseño de las fortificaciones a emplearse en la galería “Veta La 24” y el “Subnivel Principal”, labores de la empresa minera Redgoldmin S.A. ubicadas en el sector Bella Rica, cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay*. Universidad Central del Ecuador.
- Salas Quelal, D. A. (2020). *Importancia de la Minería Industrial en el Desarrollo del Ecuador*. Universidad Internacional del Ecuador.

- Salazar, E. (2020). *Evaluación geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotación por el método de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha - Sociedad Minera Corona S. A.* Universidad Continental.
- Servicio Nacional de Geología y Minas (2018). *Guía Metodológica para Evaluación de la Estabilidad Física de Instalaciones Mineras Remanentes.* Ministerio de Minería del Gobierno de Chile.
- Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía. (2004). *Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea.*
- Sousa, L.R. Miranda, T. Roggenthen, W. y Roggenthen, W. (2013). *Models for Geomechanical Characterization of the Rock Mass Formations at DUSEL Using Data Mining Techniques.* ResearchGate.
- Tapia Pallango, J. P. (2018). *Dimensionamiento de los Pilares de Techo y el Espaciamiento de los Buzones de Descarga de Los Bloques 3N y 2S del Área Minera "El Corazón".* Universidad Central del Ecuador.
- Veintimilla Pillajo, F. E. (2015). *Diseño de Excavación del Túnel de Conducción del Proyecto Hidroeléctrico Topo.* Universidad Central del Ecuador.
- Zavala Serrano, C. J. (2014). *Diseño de Excavación De La Galería Principal de Acceso a la Mina Reina del Cisne, Distrito Minero Portovelo - Zaruma, Cantón Zaruma, Provincia de El Oro.* Universidad Central del Ecuador.
- Yucás Mejía, V. H. (2015). *Análisis Geomecánica del Macizo Rocoso para la Construcción de la Chimenea Glory Hole mediante El Sistema Alimak.* Universidad Central del Ecuador.
- Zhang, L. (2005). *Engineering Properties of Rock: Volume 4.* Elsevier Geo-Engineering Book Series.

Anexo 2

TESIS DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA
Diego Alquina López – Danilo Asimbaya Amaguaña

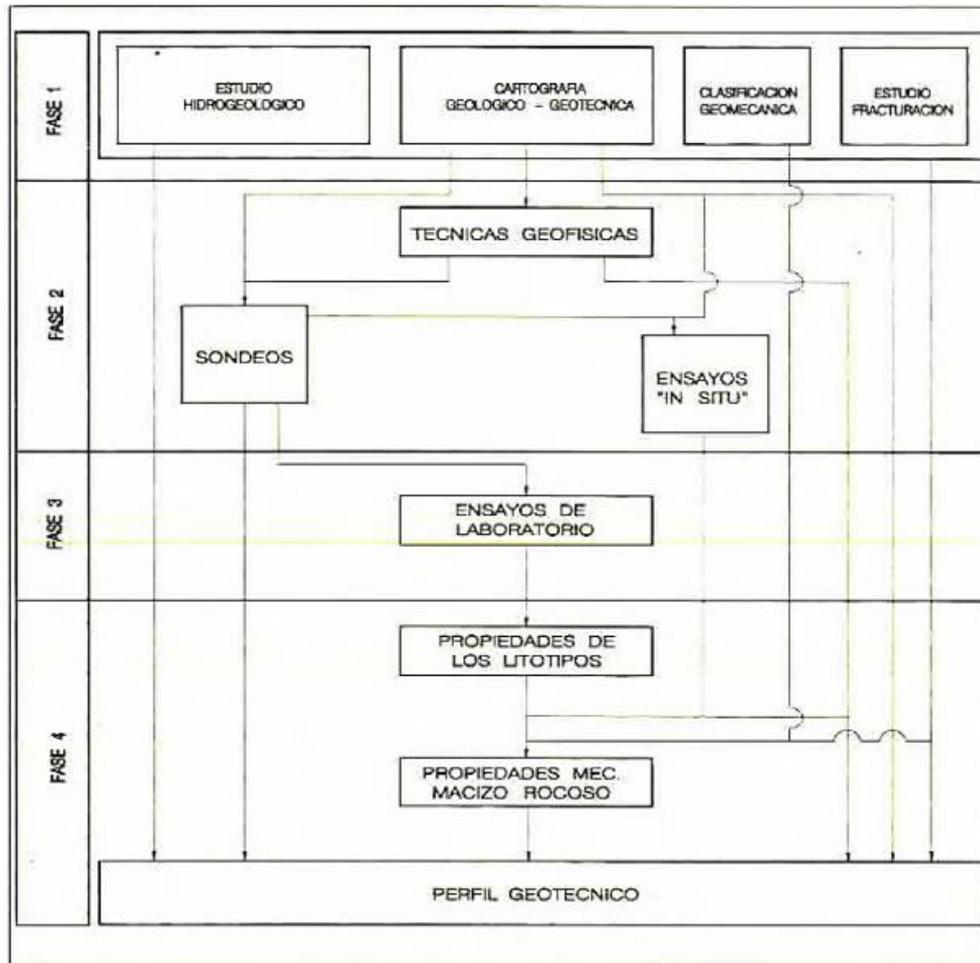
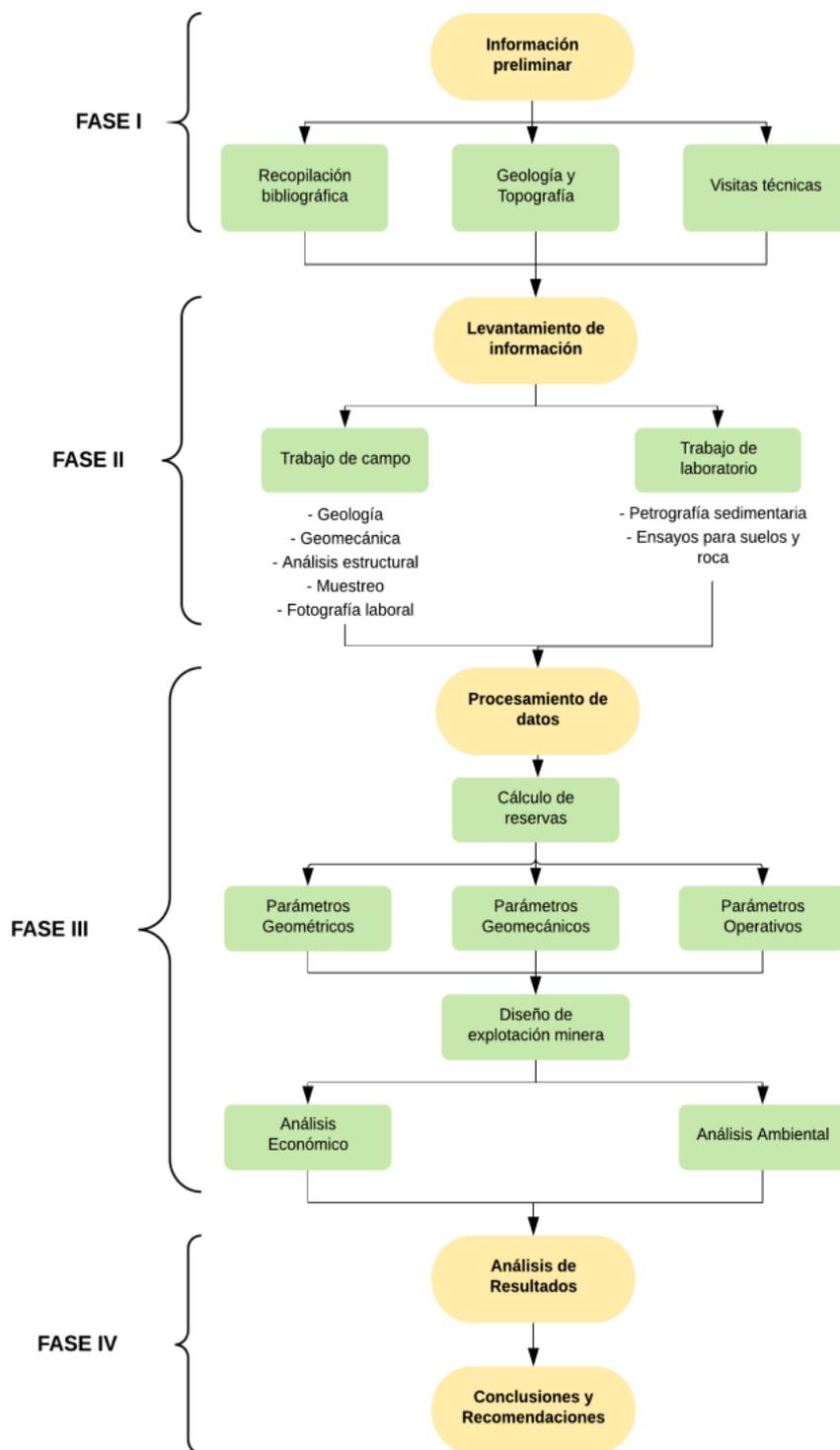


Figura 2.71: Fases de la Investigación Geológico – Geotécnica de una excavación subterránea.

Referencia: López, C. (2000). *Manual de Túneles y Obras Subterráneas* (3ra. Ed.)

Anexo 3

Metodología aplicada para el desarrollo del proyecto – Diseño de explotación minera de materiales de construcción en el bloque noreste de la concesión Cerro Grande 1, Durán-Ecuador.



Fuente: González Menéndez, J. J. y Paucar Cujilema, P. J. (2019).

Anexo 4

Price List- All programs and plans

All listed prices in USD. Perpetual license prices include the first year of Maintenance+. Lease license prices are for a 1-year lease period and include Maintenance+.

	PERSONAL LICENSE		FLEXIBLE LICENSE	
	Lease	Perpetual	Lease	Perpetual
 Slide2	\$2,095	\$4,195	\$3,095	\$6,195
 Slide3	\$5,895	\$11,795	\$8,595	\$17,095
 RS2	\$3,895	\$7,795	\$5,895	\$11,795
 RS3	\$6,895	\$13,795	\$9,095	\$20,995
 EX3	\$3,095	\$6,195	\$4,395	\$8,795
 Settle3	\$1,095	\$2,195	\$1,595	\$2,995
 RocFall2	\$895	\$1,795	\$1,595	\$2,995
 SWedge	\$895	\$1,795	\$1,295	\$2,595
 UnWedge	\$895	\$1,795	\$1,295	\$2,595
 RSPile	\$795	\$1,595	\$1,095	\$2,195
 RSData	\$595	\$1,195	\$795	\$1,595
 Dips	\$495	\$995	\$695	\$1,395
 RocPlane	\$495	\$995	\$695	\$1,395
 RocSupport	\$495	\$995	\$695	\$1,395
 RocTopleft	\$495	\$995	\$695	\$1,395
 CPillar	\$495	\$995	\$695	\$1,395
 RocFall3	\$2,995	\$5,995	\$3,995	\$7,995
 RSLog	\$695	-	-	-

Fuente: Price List | Rocscience Software