

UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS:

**“GEOMECÁNICA PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LAS
LABORES MINERAS SUBTERRÁNEAS EN LA CORPORACIÓN
MINERA LIBRA S.A.C. - COMILIBRA - AÑO 2020”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:

Bach. PINEDO CASTROMONTE, Alfredo Zelamir

ASESOR:

Ing. DOMINGUEZ FLORES, Antonio Mariano

HUARAZ - PERÚ

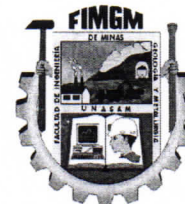
2022



UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,
GEOLOGÍA Y METALURGIA**



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En la ciudad de Huaraz, siendo las quince horas con quince minutos de la tarde (15:15 p.m.) del día Veintiseis de Agosto del Dos mil Veintidos (26/08/22--), se reunieron los miembros del jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 133-2022-FIMGM/D, de fecha 27 de Julio del 2022, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. Ing. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI, como Presidente; Dr. Ing. JUAN ROGER QUIÑONES POMA, como Secretario y el M.Sc. Ing. WALTER NICOLAW ROMERO VEGA, como Vocal;** para la sustentación de la tesis Titulado: **"GEOMECANICA PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LAS LABORES MINERAS SUBTERRÁNEAS EN LA CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. COMILIBRA – AÑO 2020"**, presentado por el Bachiller **ALFREDO ZELAMIR PINEDO CASTROMONTE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", se procedió con el acto de sustentación bajo las siguientes consideraciones, el Presidente del Jurado calificador, invitó a los docentes, alumnos y público en general a participar en este acto; luego invitó al Secretario del Jurado calificador a dar lectura de la Resolución N° 133-2022-FIMGM/D de fecha 27 de Julio del 2022. Acto seguido se invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de veinte minutos (20), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Calificador, finalmente se invitó al público en general a hacer abandono del Auditorium de la FIMGM por un lapso de diez (10) minutos con el propósito de deliberar la nota del sustentante, **ACORDANDO: APROBAR CON EL CALIFICATIVO (*)de: DIECISIETE (17). Aprobado con Distinción.** Siendo las dieciseis horas y diez minutos (16:10 p.m.) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación.

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO DE MINAS** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la UNASAM.

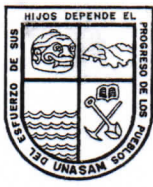
Dr. Ing. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI
Presidente

Dr. Ing. JUAN ROGER QUIÑONES POMA
Secretario

M.Sc. Ing. WALTER NICOLAW ROMERO VEGA
Vocal

Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES
Asesor

(*) De acuerdo con el Artículo 84º Reglamento de Grados y Títulos de la UNASAM, están deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA (19-20)**, **APROBADO CON DISTINCIÓN (17-18)**, **APROBADO (14-16)**, **DESAPROBADO (00-13)**.



UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS,
GEOLOGIA Y METALURGIA**

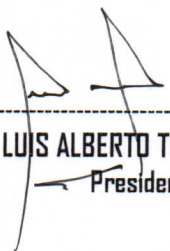


ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

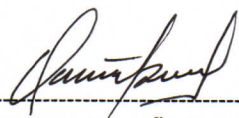
Los Miembros del Jurado, luego de evaluar la tesis titulada: **"GEOMECANICA PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LAS LABORES MINERAS SUBTERRÁNEAS EN LA CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. COMILIBRA – AÑO 2020"**, presentado por el Bachiller ALFREDO ZELAMIR PINEDO CASTROMONTE, y sustentada el día 26 de Agosto del 2022, por Resolución Decanatural N° 133-2022-FIMGM/D, la declaramos CONFORME.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

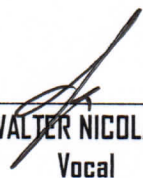
Huaraz, 26 de Agosto del 2022



Dr. Ing. **LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI**
Presidente



Dr. Ing. **JUAN ROGER QUIÑONES POMA**
Secretario



M.Sc. Ing. **WALTER NICOLAW ROMERO VEGA**
Vocal



Ing. **ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES**
Asesor



A:

Dios por la salud, bendiciones y el éxito que me da hasta ahora, a mis padres Zelamir Pinedo Zorrilla y Digna Susana Castromonte Luna, a mi esposa María Elena Valdivia Castillo que me dieron su apoyo incansable, a mis hermanos, a mis hijos que me brindaron su apoyo incondicional en el desarrollo de mi carrera profesional en especial a mi alma mater **UNIVERSIDAD NACIONAL “SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”**.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por sus enseñanzas impartidas durante mi formación profesional.

También el agradecimiento a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia y a mi asesor del presente trabajo de investigación, quien influyo, con sus enseñanzas y consejos, e involucrar en el mundo de la geomecánica.

A los directivos de CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. – COMILIBRA, por brindar las facilidades para llevar a cabo la presente investigación y lograr la elaboración de la tesis y poder sustentarla para obtener el título profesional.

Por último, agradecer a mi familia, por su apoyo incondicional, su comprensión, su cariño para mi formación como Ingeniero de Minas.

ALFREDO PINEDO

RESUMEN

El presente proyecto de tesis de investigación titulada **“GEOMECANICA PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LAS LABORES MINERAS SUBTERRANEAS EN LA CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. - COMILIBRA – AÑO 2020”**. Es realizada en la operación unitaria de sostenimiento del ciclo de minado, concerniente al sistema de minado subterráneo de la mina en investigación.

En la CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. – COMILIBRA, con esto se pretende garantizar la estabilidad de las labores mineras subterráneas, Implementando mejores opciones del uso del sostenimiento, a través de la aplicación de elementos de soporte a través de la madera- cuadros de madera, siendo el objetivo la estabilidad de las labores mineras subterráneas.

Teniendo la Hipótesis que: El empleo de sostenimiento con cuadros de madera permitirá la mejora de la estabilidad para garantizar la seguridad de la labor minera del recurso humano, equipos e infraestructura.

En cuanto el tipo de investigación es: Básica, no experimental, descriptiva y no experimental. La población de estudio está constituida por las labores mineras subterráneas donde se mejorará la estabilidad en base a la aplicación de la geomecánica en la CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. – COMILIBRA.

Palabras claves: Sostenimiento, labores mineras subterráneas.

ABSTRACT

The present research thesis project entitled "**GEOMECHANICA TO IMPROVE THE STABILITY OF UNDERGROUND MINING WORK IN THE CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. - COMILIBRA – YEAR 2020**". It is carried out in the unitary operation of sustaining the mining cycle, concerning the underground mining system of the mine under investigation.

In the CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. – COMILIBRA, this is intended to guarantee the stability of underground mining work, implementing better options for the use of support, through the application of support elements through wood- wooden frames, the objective being the stability of underground mining work.

Having the Hypothesis that: The use of support with wooden frames will allow the improvement of stability to guarantee the safety of the mining work of the human resource, equipment and infrastructure.

As for the type of research is: Basic, non-experimental, descriptive and non-experimental. The study population is constituted by underground mining work where stability will be improved based on the application of geomechanics in the CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. – COMILIBRA.

Keywords: Sustainment, underground mining work.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vii
ÍNDICE	vii
INTRODUCCIÓN	x
CAPITULO I	12
GENERALIDADES	12
1.1. Entorno Físico	12
1.1.1. Ubicación	12
1.1.2. Accesibilidad	12
1.2. Entorno Geológico	13
1.2.1. Geología regional	13
1.2.2. Geología local	16
1.2.4. Geología económica	16
CAPITULO II	18
FUNDAMENTACIÓN	18
2.1. Marco Teórico	18
2.1. Antecedentes de la investigación	18
2.2. Definición de Términos	25
2.3. Fundamentación teórica	28
2.3.1. Clasificación geomecánica del Macizo Rocoso	28
2.3.2. Definición de los Parámetros	31
2.3.3. Caracterización del Macizo Rocoso	36
2.3.4. Clasificación Geomecánica del Bieniawski	37
2.3.5. Sostenimiento de Labores Mineras	39

CAPITULO III	47
METODOLOGÍA.....	47
3.1. El Problema	47
3.1.1. Descripción de la realidad problemática.....	47
3.1.2. Planteamiento y Formulación del Problema	47
3.1.2.1. Formulación del problema General.....	48
3.1.2.2. Formulación de problemas específicos.....	48
3.1.3. Objetivos de la investigación	48
3.1.3.1. Objetivo General.....	48
3.1.3.2. Objetivos Específicos	49
3.1.4. Justificación e importancia	49
3.1.5. Alcances.....	49
3.1.6. Delimitación de la Investigación	50
3.2. Hipótesis	50
3.3. Variables	50
3.4. Diseño de la investigación	51
3.4.1. Tipo de investigación.....	51
3.4.2. Nivel de la investigación.....	51
3.4.3. Método	51
3.4.4. Población y muestra.....	52
3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	53
3.4.6. Forma de tratamiento de los datos	53
CAPITULO IV	55
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	55
4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos.....	55
4.2. Analisis e Interpretacion de la Informacion.....	55
4.2.1. Levantamiento Litologico.....	55
4.2.2. Levantamiento Estructural	56

4.2.3. Caracterizacion del Comportamiento Mecanico de la Masa Rocosa.....	59
4.2.4. Clasificacion Geomecanica del Macizo Rocoso.....	64
4.2.5. Propiedades Fisico-mecanicas del Macizo Rocoso	64
4.3. Discusión de Resultados.	69
4.4. Aportes de la tesista	70
CONCLUSIONES.....	71
RECOMENDACIONES	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXOS	75
ANEXO N° 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA	76

INTRODUCCIÓN

La CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. – COMILIBRA. es una empresa de minería subterránea de capital íntegramente peruano. El yacimiento conocido como "Comilibra", que viene explorando y explotando sostenidamente, La Corporación Minera Libra S.A.C., está ubicada en el distrito de Independencia, provincia de Huaraz, región de Ancash, con acceso desde la ciudad de Lima a través de la Panamericana Norte hasta la ciudad de Pativilca, desviando hasta la ciudad de Huaraz.

La Geología regional está constituida básicamente por la formación Chicama, calipuy y el batolito de la Cordillera Blanca asociado ambos a algunos riesgos estructurales.

El valle del río Santa se ubica en la base de un inmenso graben regional de la Cordillera Negra y de la Cordillera Blanca, ubicada al este y oeste v respectivamente.

La Cordillera Blanca es un gran batolito de granodiorita de edad terciaria superior limitada por sedimentos del cretáceo y por depósito de morrenas glaciares del pleistoceno; localmente la Cordillera Blanca está cubierta por sedimentos más antiguos y por rocas volcánicas de formación Calipuy.

Los principales eventos estructurales han sido la compresión, plegamiento y sobre escurrimiento del casamiento sedimentario seguido por el volcánico Calipuy. La concesión se ubica al lado oriental de la Cordillera Negra, que está conformado por sedimentos del jurásico superior al cretáceo superior.

En la Cordillera Negra el volcánico Calipuy alberga depósitos de minerales de plata, plomo, zinc, cobre y oro controlado estructuralmente. Los depósitos están asociados con un cinturón de alteración de hidrotermal de 70 km. de longitud, que corre al paralelo del valle del río Santa y que muestra una tendencia noreste; así como también depósitos de tufos, derrames

lávicos de andesitas, riolitas, dacitas, brechas, amplia distribución esencialmente hacia el sur.

La misión de la empresa es explorar y explotar los polimetálicos de manera productiva y rentable, con seguridad, con responsabilidad ambiental y social, sustentada en una organización comprometida, eficiente e innovadora, generando oportunidades de desarrollo para sus trabajadores.

El presente proyecto de investigación se desarrolla en 5 capítulos principales que lo detallamos a continuación:

Capítulo I; Generalidades: refiere el entorno físico con la ubicación y acceso, seguido con el entorno geológico con la geología regional, la geología local y la geología económica.

Capítulo II; Fundamentación: trata sobre la fundamentación con el marco teórico, los antecedentes de la investigación, la definición de términos y la fundamentación teórica.

Capítulo III; Metodología: Trata de la identificación del problema, objetivos, justificación, hipótesis, variables y diseño de la investigación.

Capítulo IV; Resultados de la Investigación: trata sobre los resultados de la investigación, con la descripción de la realidad y procesamiento de datos, análisis e interpretación de la información, la discusión de resultados y aportes del tesista.

Se finaliza con las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Entorno Físico

1.1.1. Ubicación

La Corporación Minera Libra S.A.C. comprende las concesiones mineras "Huáscar A y Huáscar B", ubicadas en la provincia de Huaraz.

Los vértices de las concesiones mineras tienen las siguientes coordenadas:

VERTICES	NORTE (m)	ESTE (m)
V1	8'944,000.00	214,000.00
V2	8'944,000.00	215,000.00
V3	8'943,000.00	215,000.00
V4	8'943,000.00	216,000.00
V5	8'942,000.00	216,000.00
V6	8'942,000.00	214,000.00
V7	8'943,000.00	214,000.00
V8	8'943,000.00	214,236.63
V9	8'943,018.12	214,286.63
V10	8'943,487.96	214,115.62
V11	8'943,495.88	214,000.00

1.1.2. Accesibilidad

La Corporación Minera Libra S.A.C., está ubicada en el distrito de Independencia, provincia de Huaraz, región de Ancash, con acceso desde la ciudad de Lima a través de la Panamericana Norte hasta la ciudad de Pativilca, desviando hasta la ciudad de Huaraz, y desde ahí hasta las concesiones mineras Huáscar A y Huáscar B, siendo las rutas principales los siguientes:

RUTA	Km.	TIEMPO	CONDICIONES
Huaraz - Cruce Carretera (Vía Huaraz - Casma)	26	1.0 hrs.	Asfaltado
Cruce - Concesión Minera	0.50	0.05 hrs	Trocha
Casma - Cruce Carretera (Vía Casma - Huaraz)	113	4.0 hrs	Asfaltado
Cruce - Concesión Minera	0.50	0.05 hrs.	Trocha

1.2. Entorno Geológico

1.2.1. Geología regional

La Geología regional está constituida básicamente por la formación Chicama, calipuy y el batolito de la Cordillera Blanca asociado ambos a algunos riesgos estructurales.

El valle del río Santa se ubica en la base de un inmenso graven regional de la Cordillera Negra y de la Cordillera Blanca, ubicada al este y oeste v respectivamente.

La Cordillera Blanca es un gran batolito de granodiorita de edad terciaria superior limitada por sedimentos del cretáceo y por depósito de morrenas glaciares del pleistoceno; localmente la Cordillera Blanca está cubierta por sedimentos más antiguos y por rocas volcánicas de formación Calipuy.

Los principales eventos estructurales han sido la compresión, plegamiento y sobre escurrimiento del casamiento sedimentario seguido por el volcánico Calipuy. La concesión se ubica al lado oriental de la Cordillera Negra, que está conformado por sedimentos del jurásico superior al cretáceo superior.

En la Cordillera Negra el volcánico Calipuy alberga depósitos de minerales de plata, plomo, zinc, cobre y oro controlado estructuralmente. Los depósitos están asociados con un cinturón de alteración de hidrotermal de 70 km. de

longitud, que corre al paralelo del valle del río Santa y que muestra una tendencia noreste; así como también depósitos de tufos, derrames lávicos de andesitas, riolitas, dacitas, brechas, amplia distribución esencialmente hacia el sur.

La mineralización ocurre principalmente en vetas y en yacimientos menores de alteración, confinadas entre estructuras que muestran una tendencia noreste y este - oeste que intersecta estructuras dominantes cuyo rumbo es noreste.

Formación Chicama:

Está constituido por un paquete que aflora 800 - 1500 m. de lutitas gris oscuras, intercaladas con paquetes delgadas de arenisca lutáceas.

Localmente estos sedimentos se encuentran afectados por un metamorfismo regional que los ha transformado en pizarras y cuarcitas. Estas cuarcitas parecen ubicarse en la parte media de la secuencia sedimentaria del Chicama. Las pizarras generalmente son piritosas y contienen módulos ferruginosos. La formación Chicama se encuentra sobre el batolito de la Cordillera Blanca y debajo de las cuarcitas Chimú, asignado a una edad titoniana - jurásica.

Formación Santa - Carhuaz:

La formación Carhuaz consiste de calizas y lutitas calcáreas que subyacen a la formación Chimú e infrayacente a las areniscas y lutitas de la formación Carhuaz. La formación Santa puede presentar dos fases tradicionales pero distintas, una de ellas está representada por lutitas grises oscuras con nódulos calcáreos y algunas capas de caliza arenosa o lítica. Tanto la lutita como la caliza son generalmente ferruginosas y dan

tonos marrones de intemperismo. La formación Carhuaz consistente de areniscas y cuarcitas finas, marrones, en capas delgadas y con abundantes intercalaciones de lutita. En general, las lutitas son negras o grises en la parte inferior de la formación mientras que en la parte superior tienen un color rojo amarillento.

CUADRO N° 01: ESTRATIGRAFIA REGIONAL

ERA	SISTEMA	SERIE	SECTOR OCCIDENTAL	TIPO DE MATERIAL /ROCAS	CARACTERÍSTICAS
C E N O Z O I C O	Cuaternario	Reciente	Depósitos Fluvioaluvionales	Capas de sedimentos inconsolidados, formas lenticulares, Lodos con gravas, arenas y Limos Acumulaciones en las riberas de ríos y lagunas de origen glaciar	Distribución muy Irregular. Abundan en las partes bajas, márgenes de ríos. Frecuentes acumulaciones en zonas de pendientes fuertes y suelos inestables. Sólo existen restos poco identificales e imprecisos en las zonas de cotas altas Potencia Total: 16.0 m-, 25.0 m
			Depósitos Aluvionales		
	Depósitos Fluvio Glaciares				
Z O I C O	Neógeno		Formación Fortaleza	Toba porfirítica formada con flujos de conizas que sobreyace a un suelo grueso aglomerado La Base puede contener capas delgadas con clasificación	Localiza en todo el Valle del río Fortaleza. -Potencia. 750 m. Sobreyace a la Fm. Cochabunta. Discordancia Angular. Por su posición y litología se correlaciona con Fm Huayllay. Edad 584NI a. +0.2M.a.
	Paleógeno		Grupo Calipuy	Formación Calipuy- Supenor: Miembro de tobas soldadas Flujos y Tobas de flujos de cenizas Flujo y Toba de lapilh. Formación Calipuy Inferior Tobas de Flujo de ceniza. Miembros de aglomerados Flujo finamente laminado y toba de lapilh. Conglomerado Basal.	Depósitos de tufos, derramos lávicos de andesitas riolitas, dacitas, brechas. Amplia distribución esencialmente hacia el sur, noroeste y oeste del área Espesor total entre 2,000 m. y los 3,000 m. pero es extremadamente variable Edad radiométrica de 63.6 Ma
ERA	Sistema	Serie	Sector Occidental	Tip de Material /Rocas	Características
M E S O Z O I C O	Cretácico Medio-Superior	Reciente	Corresponde a secuencias calcáreas que tienen amplia distribución en el centro y norte del país. Espesores variables, en el área del Proyecto localiza sólo hacia el este	Estratos de calizas negras a grises, bituminosas, fosilíferas, de areniscas, calizas arenosas, margas de colores blanquecinos, grises y parduscos, calizas dolomíticas y Lutitas calcáreas	Formación Pariahuanoa en capas delgadas a gruesas. También intercalaciones de las capas potencia total :300 m Localizan al Norte del área Las facias varían de Norte a Sur, pasando desde aguas someras a aguas profundas. Hacia el Este se transforman en areniscas (F. Goyllarisquizga).
			Formaciones Santa - Carhuaz	La Formación Santa es de origen marino se distribuye en el norte peruano su máximo espesor ocurre la zona andina de Ancash. La Formación Carhuaz tiene mayormente origen continental y de bordes costeros, o mares muy someros Tiene una mayor distribución que la Formación Santa y una potencia mucho mayor	Calizas. Margas y lutitas negras a grises, Lutitas. lutitas arenosas, areniscas de colores parduscos a rojizos Calizas, capas de yeso
	Cretácico Inferior	Formación Chimú	Esta formación es esencialmente de origen continental, se distribuye en gran extensión en la zona del Callejón de Huaylas.	Capas de cuarcitas, blancas a grises, grano medio a fino	Capas con intercalaciones de capas de carbón antracítico, espesor máximo 600-000 m. Bancos potentes. 0 - 2.0 m. Rumbo promedio N36°E Aflora hacia el Norte y al Sur de Carhuaz.
		Jurásico Superior	Formación Chicama	La secuencia está constituida por sedimentos de origen marino que se distribuye principalmente en las zonas altas de la Cordillera Blanca	Comprende estratos de pizarras, lutitas pizarrosas y areniscas pizarrosas

1.2.2. Geología local

La concesión minera Huáscar “A” y Huáscar “B” es algo singular en el {área, por tratarse de un depósito de Esfalerita y galena, en formación Calipuy, entre las que destacan las formaciones. Chimú, Santa y Carhuaz, estas comprenden una secuencia sedimentaria y plegada, cuyos ejes axiales con orientación NW obedecen al rumbo andino. Cabe destacar que la característica principal de estos pliegues define anticlinales ligeramente abruptos, con sinclinales muy extensos y suaves de buzamiento.

1.2.3. Geología económica

La reserva del yacimiento de formación volcánico de Calipuy; alberga depósitos de minerales de plata, plomo, zinc y cobre. Los depósitos están 1 asociados con un cinturón de alteración. La mineralización ocurre en vetas y yacimientos menores de alteración, confinados entre estructuras dominantes cuyo rumbo es noreste.

Estimación de Reservas

La determinación del volumen de reserva ha sido de acuerdo con la topografía y la geología de la zona de estudio, la concesión minera Huáscar “A” y Huáscar “B”, contiene minerales de polimetálicos zinc, plomo y plata, distribuidos en esfalerita y galena, se hallan en las vetas que han sido formadas por rellenos de fracturas en las rocas volcánicas. Las reservas de mineral se indican en el siguiente cuadro:

MINERAL	TM
Probados	200,.000
Probables	40,000

Producción

La producción diaria será de 40 Tn/d, obteniendo una producción mensual de 1,000 Tn/mes y 30,000 Tn/año debe tenerse en cuenta que la producción diaria puede reducirse o incrementar por motivos climáticos u otros factores, se procede a trabajar en una sola bocamina.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

(Convenio de colaboración entre la secretaría de estado de energía del ministerio de industria, energía y turismo y la Universidad Politécnica de Madrid (laboratorio oficial J.M. Madariaga – LOM - 2015), **GUIA SOBRE CONTROL GEOMECANICO EN MINERIA SUBTERRANEA.**

RESUMEN

El ámbito de aplicación de la presente guía está enfocado básicamente a las labores que se realizan en las explotaciones mineras, presentando, entre otras cosas, la metodología para conocer la calidad del macizo rocoso, los métodos actualmente en vigor para el diseño del sostenimiento, los elementos de sostenimiento normalmente utilizados en minería, la auscultación que debe realizarse para controlar la interacción terreno/sostenimiento y unas recomendaciones para poder realizar una inspección sobre el estado del sostenimiento colocado. En ningún momento se ha pretendido contar todo lo que existe en la literatura especializada sobre un tema tan complejo como la estabilidad de las excavaciones subterráneas en los macizos rocosos. No obstante, si se han seleccionado algunos de los aspectos que hemos considerado de mayor interés para aquellos que se inician en las labores de diseño, inspección y control de obras subterráneas, por lo que los objetivos perseguidos se pueden resumir en:

- ✚ Recordar y actualizar los conceptos y los conocimientos básicos necesarios para poder acometer con ciertas garantías técnicas la realización de un control de sostenimiento de obras mineras subterráneas.
- ✚ Proporcionar criterios orientativos sobre los aspectos geológicos geotécnicos que deben ser tenidos en cuenta para valorar las causas de las posibles inestabilidades en las excavaciones subterráneas.
- ✚ Aportar información sobre las metodologías y las herramientas disponibles para obtener datos del macizo rocoso, de manera rápida y fiable, sin necesidad de realizar costosos ensayos
- ✚ Presentar recomendaciones para colocar adecuadamente los distintos tipos de sostenimientos, teniendo en cuenta la geometría de la excavación y la posición de la estratificación.
- ✚ Proporcionar la información necesaria para interpretar los resultados de la auscultación básica del conjunto terreno- sostenimiento.
- ✚ Proponer fichas de control básico para realizar inspecciones del frente de avance y del sostenimiento en tramos de galerías ya sostenidos.

(Pflucker, O. M., 2019). **SOSTENIMIENTO DE LABORES SUBTERRÁNEAS: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA CIENTÍFICA (TRABAJO DE INVESTIGACIÓN). REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE.**

RESUMEN

Los factores de riesgos presentes en minería subterránea se deben a las características de la roca, el uso de explosivos, la presencia de gases tóxicos, el empleo creciente de máquinas y equipos, la presencia de aguas

subterráneas, etc. La importancia del sostenimiento en minería subterránea se debe a la seguridad que estos proporcionan al personal, maquinaria y equipo. Además, puede ser considerado el método más efectivo para garantizar las dimensiones requeridas para la excavación y satisfacer al mismo tiempo las necesidades de producción en el periodo de explotación. El objetivo de esta investigación fue analizar los estudios teóricos sobre sostenimiento de labores subterráneas, entre los años 2009-2019; para ello se usaron las bases de datos Redalyc, Ebsco y Google Académico. Se consideraron los documentos publicados en los últimos 10 años, en idioma español e inglés, los términos de inclusión fueron sostenimiento, labores subterráneas, factor de seguridad y desprendimiento de rocas. El 90% de los estudios encontrados se realizaron en Perú y el 10% en Ecuador. El sostenimiento constituye una importante contribución a la seguridad en labores subterráneas. Por lo tanto, los encargados de esta importante labor minera tienen una gran responsabilidad y deben estar seguros de un trabajo bien hecho. **palabras claves:** sostenimiento, minería subterránea, factor de seguridad, estabilidad.

(Ministerio de Minas y Energía – Colombia 2015) **SEGURIDAD EN LABORES MINERAS SUBTERRANEAS**

INTRODUCCION

Mediante el Decreto 1335 del 15 de julio de 1987, el Gobierno Nacional a través del Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio del Trabajo y Seguridad Social y el Ministerio de Salud, expidieron el Reglamento de Seguridad en las Labores Subterráneas. Considerando que la ciencia y la tecnología han avanzado en los últimos 20 años en las técnicas de explotación

de labores subterráneas, como en las de control de riesgos en el trabajo, tanto en el ámbito nacional como internacional, al igual, que se han presentado cambios tanto en la institucionalidad nacional como en la minera, en el año 2008, se tomó la decisión de revisar y actualizar el mencionado Reglamento. Como resultado de una eficiente articulación interinstitucional entre el Ministerio del Trabajo, el Ministerio de Salud y Protección Social, la Agencia Nacional de Minería y el Ministerio de Minas y Energía, y después de adelantar los trámites y procedimientos establecidos en las normas vigentes, el 21 de septiembre de 2015 se expidió el Decreto 1886, “Por el cual se establece el Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas”. En dicho Reglamento se encuentran los nuevos aspectos en seguridad minera y seguridad y salud en el trabajo que deben aplicar los titulares de derechos mineros, explotadores y empleadores mineros, en sus labores diarias que adelantan a través de la minería subterránea que desarrollan. Para conocimiento de los empresarios, trabajadores, comunidad minera en general, y partes interesadas.

(Escalante H. 2017) **MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE SOSTENIMIENTO, CON MADERA, MEDIANTE PERNOS SPLIT SET Y MALLA ELECTROSOLDADA EN LABORES DE EXPLOTACIÓN DE LA EMPRESA “MACDESA” - AREQUIPA**

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado Mejoramiento del Sistema de Sostenimiento con Madera mediante la aplicación de pernos Split set y malla electrosoldada en labores de explotación de la Minera Aurífera Cuatro de

Enero S.A. – Arequipa, tiene como objetivo principal, reducir los costos de sostenimiento, con el sistema de cuadros de madera y puntales, en las labores de explotación se ha utilizado un costo total de 20,27 US \$/TM y con el sistema de sostenimiento mecanizado de los pernos split set y malla electrosoldada se utiliza un costo total de 19,04 US \$/TM de mineral, cuya diferencia es de 1,23 US \$/TM de mineral explotado. Para realizar el presente trabajo de investigación se ha considerado las bases teóricas y prácticas, siguiendo una metodología de la investigación. En su etapa inicial se ha analizado las deficiencias del uso de la madera en todos los procesos del sistema de sostenimiento, analizando y evaluando los factores que influyen en los costos de explotación del yacimiento orientado a mejorar y reducir los costos de explotación, y posteriormente en base a pruebas se ha seleccionado un nuevo sistema de sostenimiento de los pernos Split set y malla electrosoldada , según las características geológicas y geomecánicas del macizo rocoso del yacimiento aurífero de Cuatro de Enero MACDESA. La productividad con el sistema de sostenimiento convencional es de 4,51 TM/hombre guardia y con el sistema mecanizado de split set y malla electrosoldada es de 6,35 TM/hombre-guardia haciendo una diferencia de 1,84 TM/hombre-guardia. **Las palabras claves consideradas son:** Sistema de sostenimiento, pernos split set, malla electrosoldada, explotación subterránea, costos de sostenimiento.

(Osinergmin 2017) **GUÍA DE CRITERIOS GEOMECÁNICOS PARA DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, SUPERVISIÓN Y CIERRE DE LABORES SUBTERRÁNEAS**

ALCANCES Y APLICACIÓN

Esta guía de criterios geomecánicos, para el diseño, construcción, operación y cierre de labores mineras subterráneas, ha sido elaborada con la finalidad de ser una herramienta y referente técnico para que los operadores mineros, consultores, supervisores, fiscalizadores, y funcionarios puedan realizar sus respectivas funciones bajo criterios técnicos que permitan el desarrollo de operaciones mineras subterráneas en forma segura. Así el público objetivo de esta guía comprende, entre otros, a los siguientes actores:

- ✚ Operadores mineros (titulares mineros y contratistas), encargados de conducir y ejecutar las operaciones mineras.
- ✚ Empresas consultoras dedicadas al diseño de las labores mineras (método de minado, diseño de labores, metodología de excavación, sostenimiento y cierre de minas).
- ✚ Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM), en su rol de revisar y aprobar los Instrumentos de Gestión Ambiental (IGA).
- ✚ Dirección General de Minería (DGM) en lo referente a la emisión de autorizaciones de actividades mineras de exploración y explotación.
- ✚ Direcciones Regionales de Energía y Minas (DREM), en lo relacionado a supervisión de minería en pequeña escala y programas de formalización.
- ✚ Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE), en su rol de revisar y aprobar Estudios de Impacto Ambiental detallados (EIA-d) correspondientes a actividades mineras.
- ✚ Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin), encargado de supervisar y fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones

legales y técnicas sobre seguridad de la infraestructura, las instalaciones y la gestión de operaciones en las actividades mineras.

La presente guía tiene como base legal y antecedentes los criterios señalados en la siguiente regulación peruana:

- ✚ Reglamento en Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, aprobado mediante Decreto Supremo No 024- 2016-EM.
- ✚ Guía para el Diseño de Taponos para el Cierre de Labores Mineras, DGAAM, año 2007.
- ✚ Guía para la Evaluación de la Estabilidad de los Pilares Corona, DGAAM, año 2007.
- ✚ Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, aprobado por Decreto Supremo No 014-92-EM.

La guía brinda recomendaciones, con un enfoque sistemático y secuencial, basada en las mejores prácticas que son aplicadas en las diversas operaciones y proyectos mineros. Asimismo, en la preparación de esta guía se ha tomado en cuenta guías similares publicadas en países con tradición minera como Australia, Canadá y Sudáfrica, publicaciones internacionales y recomendaciones de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM).

2.2. Definición de Términos

- ✚ **Aberturas mineras permanentes:** Excavaciones que tendrán una larga duración, cercanas a la vida de la mina por ser importantes para el minado. Ejemplo: piques, chimeneas, galerías de nivel.

- ✚ **Acción de Sujeción:** Si la masa rocosa no es capaz de resistir los efectos de los esfuerzos inducidos o si las discontinuidades están desfavorablemente orientadas formando bloques libres y movidos, mediante la acción de sujeción se mantienen en su lugar los bloques rocosos. Los cables son muy efectivos para esta función.
- ✚ **Astillamiento de la roca:** Forma de rotura frágil de la roca por la acción de los altos esfuerzos. Los fragmentos rocosos generados en esta rotura tienen formas aguzadas.
- ✚ **Batolito:** Estructura maciza de roca ígnea plutónica cuyo afloramiento en la superficie terrestre supera los 100 Km de largo y 20 Km de ancho.
- ✚ **Breasting:** Son técnicas de voladura que se realizan con taladros horizontales, que favorecen la estabilidad del techo del tajeo.
- ✚ **Brechas Tufáceas:** Conjunto de fragmentos rocosos heterogéneos, consolidados generalmente por materiales volcánicos finos.
- ✚ **Bolsonada:** Cuerpo o masa de mineral de forma más o menos alargada y de dimensiones pequeñas, muchas veces tiene forma irregular.
- ✚ **Bulbo de resistencia:** Área de influencia de esfuerzos compresivos que se genera cuando actúa correctamente un perno de roca.
- ✚ **Calcificación:** Formación de minerales calcáreos (calcita) por la disolución de otros carbonatos de calcio.
- ✚ **Check list:** Son formatos que debe llenar cada trabajador antes de empezar su labor.
- ✚ **Apilar:** Amontonar. (Gonzales de Vallejo, 2006).

- ✚ **Banco:** Unidad básica de explotación en forma de gran escalón constituido por un plano vertical, o frente, y un plano horizontal, o plataforma de trabajo. (Gonzales de Vallejo, 2006).
 - ✚ **Bancos:** Macizo de Mineral con dos caras descubiertas. (Gonzales de Vallejo, 2006).
 - ✚ **Berma:** Plataforma horizontal de un banco cuando llega a la posición final de la excavación. (Gonzales de Vallejo, 2006).
 - ✚ **Burden:** Distancia del taladro hacia la cara libre. (Gonzales de Vallejo, 2006).
 - ✚ **Botadero:** Lugares especialmente destinados para recibir el material estéril de la mina a rajo abierto y los ripios que se obtienen al desarmar pilas de lixiviación. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- Banco o cara:** Es la parte de cualquier mina donde se efectúa o efectúa trabajos de excavación. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- ✚ **Berma de seguridad:** Es una pila o acumulación de material, capaz de detener a un vehículo. (Gonzales de Vallejo, 2006).
 - Camión de volteo:** Camión provisto de caja Movable para descargar automáticamente. (Gonzales de Vallejo, 2006).
 - ✚ **Cantera:** Explotación a cielo abierto para la explotación de rocas ornamentales y de construcción calizas, mármoles, granitos pizarras, etc. (Gonzales de Vallejo, 2006).
 - ✚ **Carga espaciada:** Carga constituida por explosivo a granel, cartuchos o fracciones de estos, separados por un material inerte o aire, e iniciados de forma instantánea o retardada. (Gonzales de Vallejo, 2006).

- ✚ **Carga de columna:** Explosivo colocado por encima de la carga de fondo que llega hasta el retacado. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- ✚ **Carga operante:** Suma de las cargas de explosivo que se considera que detonan en un intervalo de tiempo inferior a 8ms dentro de una voladura. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- ✚ **Carguío:** Es el traslado de material quebrantado, roto disgregado, desde el frente de voladura hasta la tolva del vehículo. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- ✚ **Cebo:** Carga de explosivo de alta potencia y sensibilidad, en la que se sitúa el iniciador, y que sirve para aumentar el rendimiento de otros explosivos. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- ✚ **Conector:** Accesorios de voladuras empleados para unir los cordones detonantes o hilos de los detonadores eléctricos. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- ✚ **Cordón Detonante:** Cordón con cubierta de plástico y ánima de un explosivo potente y alta velocidad de detonación usada para iniciar las cargas de explosivo y transmitir la detonación. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- ✚ **Cuneta:** Son aquellos que llevan las aguas a las bombas principales de las salas de bombas. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- ✚ **Cuña:** Queso, cecinas o carne que se le coloca al pan del manche, trozo de metal con que parten los palos cuando eran muy duros. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- ✚ **Chancado:** Proceso mediante el cual se disminuye el tamaño de las rocas mineralizadas triturándolas con chancadoras y molinos. (Gonzales de Vallejo, 2006).

- ✚ **Calicata:** Pozo de sondeo en la exploración minera. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- ✚ **Cubicación:** Cuantificación de reservas de un yacimiento. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- ✚ **Capacitación:** Consiste en instruir conocimientos teóricos y prácticos del trabajo a los participantes. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- ✚ **Comité de Seguridad e Higiene Minera:** Está formado por representantes en capacidad no supervisora y supervisora, nombrados para considerar los asuntos de seguridad y salud. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- ✚ **Desacoplamiento:** Separación entre la superficie de una carga de explosivo y la pared del barreno donde se encuentra. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- ✚ **Desbroce:** Remoción de roca estéril. (Gonzales de Vallejo, 2006).

2.3. Fundamentación teórica

2.3.1. Clasificación Geomecánica del Macizo Rocosos

Los sistemas de clasificación de los macizos rocosos tienen por objeto evaluar sus características para determinar de forma cuantitativa su calidad. Su caracterización requiere el conocimiento de los siguientes parámetros:

- ✚ Resistencia y comportamiento de la roca.
- ✚ Familias de discontinuidades existentes.
- ✚ Espaciado de los planos de discontinuidad y fracturación del macizo
- ✚ Caracteres geomecánicos de las discontinuidades – Condiciones del agua en las juntas.

- ✚ Tensiones in situ, naturales o inducidas.
 - ✚ Alteraciones producidas en el macizo rocoso por las excavaciones.
- Los criterios de clasificación tienen que ser claros y consistentes para que no haya ninguna duda a la hora de aplicarlos y las categorías que se establezcan deben ser mutuamente excluyentes. Por otra parte, se gana en objetividad si se obtienen índices mediante dos o más clasificaciones que se puedan correlacionar entre sí.
- ✚ Los sistemas de clasificación de los macizos rocosos tratan de evaluar sus propiedades para determinar de forma cuantitativa la calidad del macizo rocoso con diversos fines.
 - ✚ Caracterización propiamente dicha de los parámetros de resistencia y deformabilidad del macizo rocoso.
 - ✚ La elección del sostenimiento en galerías y túneles. Selección del sistema de excavación y la fragmentabilidad de los macizos frente a voladuras.
 - ✚ Estimación de la estabilidad de taludes o cimentaciones de presas.

Parámetros de la caracterización del macizo rocoso:

- ✚ Resistencia y comportamiento de la roca
- ✚ Familias de discontinuidades y orientaciones.
- ✚ Espaciado de discontinuidades y fracturación del macizo.
- ✚ Rugosidad, continuidad, separación y resistencia de los labios, meteorización y relleno de las juntas.
- ✚ Condiciones del agua subterránea.
- ✚ Alteraciones producidas en el macizo por excavaciones o excavaciones subterráneas próximos.

Objetivos de la caracterización del macizo rocoso:

- ✚ Definir en el macizo distintos dominios estructurales.
- ✚ Establecer criterios para comprender el comportamiento de los macizos.
- ✚ Facilitar la planificación y diseño de las obras.

Utilidades de la caracterización del macizo rocoso:

Primera predicción del comportamiento de un macizo ante una obra.

- ✚ Fases de viabilidad y anteproyecto.
- ✚ Mejora metodológica de los estudios.
- ✚ División de los macizos en grupos de comportamiento similar.
- ✚ Información cuantitativa para modelos analíticos.
- ✚ Lenguaje común entre profesionales.

Limitaciones de la caracterización del macizo rocoso:

- ✚ Uso en última instancia.
- ✚ Extrapolación de datos no representativos.
- ✚ Aplicación a obras poco contrastadas.
- ✚ Alternancia de rocas débiles y consistentes.
- ✚ Materiales expansivos, solubles o muy colapsables.
- ✚ Campos tensionales internos o inducidos, importantes.
- ✚ Zonas singulares.
- ✚ Obras subterráneas con grandes luces.
- ✚ Aplicación subjetiva.

RMR de Bieniawski (Rock Mass Rating) - 1989

- ✚ Resistencia a compresión simple
- ✚ RQD (Rock Quality Designation)

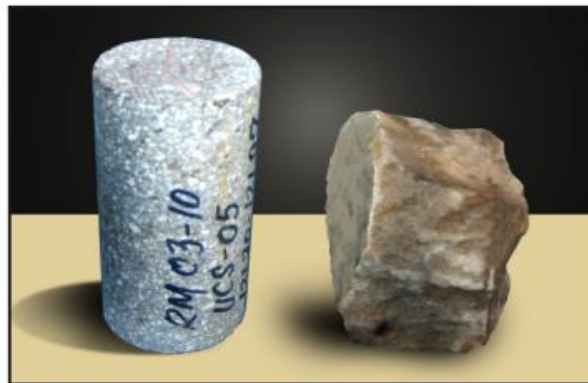
- ✚ Espaciado de las juntas
- ✚ Condición de juntas:
 - ❖ Persistencia
 - ❖ Apertura
 - ❖ Rugosidad
 - ❖ Relleno
 - ❖ Alteración
- ✚ Presencia de agua

2.3.2. Definición de los Parametros

Roca intacta

Es el bloque ubicado entre las discontinuidades y podría ser representada por una muestra de mano o trozo de testigo que se utiliza para ensayos de laboratorio.

Figura N° 01: Muestra de roca Intacta



Macizo Rocos

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

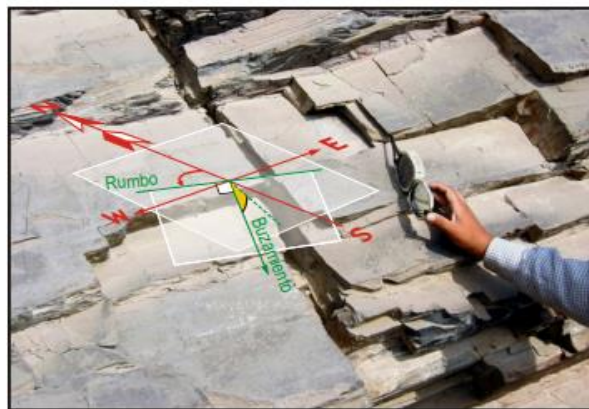
Figura N° 02: Macizo Rocos



Orientación

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

Figura N° 03: Orientación de Discontinuidades



Espaciamiento

Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Éste determina el tamaño de los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grandes.

Figura N° 04: Espaciamiento de una discontinuidad



Persistencia

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

Figura N° 05: Persistencia de una discontinuidad



Rugosidad

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

Figura N° 06: Rugosidad de una discontinuidad



Apertura

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

Figura N° 07: Apertura de una discontinuidad



Relleno

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

Figura N° 08: Relleno de una discontinuidad



La meteorización

+ Se divide en meteorización física, química y biológica:

Meteorización física, como consecuencia de ésta, la apertura de las discontinuidades aumenta o pueden formarse nuevas fracturas por el relajamiento de la roca.

+ **Meteorización química**, origina la decoloración de la roca hasta la descomposición de la misma.

+ **Meteorización biológica**, está regida por la presencia y actividad de los seres vivos.

Figura N° 09: Masa Rocosa meteorizada



2.3.3. Caracterización del Macizo Rocosó

Para conocer la masa rocosa, hay necesidad de observar en el techo y las paredes de las labores mineras, las diferentes propiedades de las discontinuidades, para lo cual se debe primero lavar el techo y las paredes. A partir de estas observaciones se podrán sacar conclusiones sobre las condiciones geomecánicas de la masa rocosa. Debido a la variación de las características de la masa rocosa, el supervisor deberá realizar en forma permanente una evaluación de las condiciones geomecánicas, conforme avanzan las labores.

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

Figura N° 10: Mapeo geomecanico

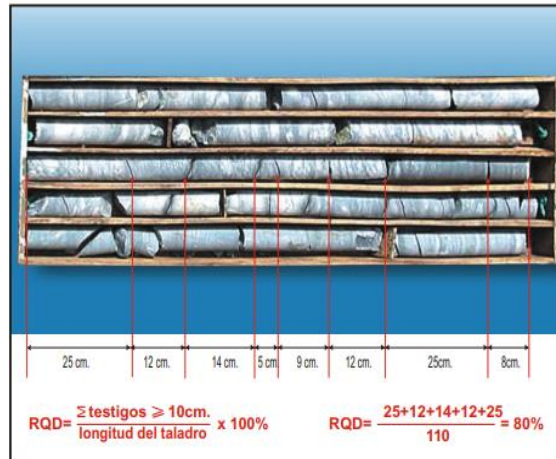


2.3.4. Clasificación Geomecánica de Bieniawski RMR1989

Se presenta en el Cuadro N°02 Este criterio toma en cuenta cinco parámetros:

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

Figura N° 11: Testigos de Perforación Diamantina



3. El espaciamiento de las discontinuidades.

4. La condición de las discontinuidades, referidas en este caso a la persistencia, apertura, rugosidad, relleno y meteorización.

5. La presencia de agua.

Cuadro N°02: Clasificación RMR de Bieniawski (1989)

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES								VALORACIÓN
RESIST. COMP. UNIAxIAL (M Pa)	>250 (15)	X 100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	12		
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	X 50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	13		
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	X 0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	8		
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10mm (2)	X 10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	1	
	APERTURA	Cerrada (6)	X <0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	5	
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	X Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3	
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	X Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	1	
	ALTERACIÓN	Sana (6)	X Lig. Alterada. (5)	Mod.Alterada (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	5	
AGUA SUBTERRÁNEA	X Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	15		
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =									63
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II			
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA				

Para cada parámetro se han establecido rangos de valores y para cada rango una valoración.

2.3.5. Sostenimiento de Labores Mineras

La estabilidad de la roca circundante a una excavación simple como un tajeo, una galería, un crucero, una estación de pique, una rampa, entre otros, depende de los esfuerzos y de las condiciones estructurales de la masa rocosa detrás de los bordes de la abertura. Las inestabilidades locales son controladas por los cambios locales en los esfuerzos, por la presencia de rasgos estructurales y por la cantidad de daño causado a la masa rocosa por la voladura. En esta escala local, el sostenimiento es muy importante porque resuelve el problema de la estructura de la masa rocosa y de los esfuerzos, controlando el movimiento y reduciendo la posibilidad de falla en los bordes de la excavación.

El término “**sostenimiento**” es usado aquí para cubrir los diversos aspectos relacionados con los pernos de roca (de anclaje mecánico, de varillas de fierro corrugado o barras helicoidales ancladas con cemento o con resina, split sets y swellex), cables, malla, cintas de acero (straps), concreto lanzado (shotcrete) simple y con refuerzo de fibras de acero, cimbras de acero, gatas, madera (puntales, paquetes, cuadros y conjuntos de cuadros), relleno y algunas otras técnicas de estabilización de la masa rocosa. Todos estos elementos son utilizados para minimizar las inestabilidades de la roca alrededor de las aberturas mineras.

Sostenimiento con madera

Generalidades

El sostenimiento con madera fue el símbolo del minado subterráneo hasta antes que se hayan desarrollado las nuevas tecnologías de sostenimiento.

Actualmente el sostenimiento con madera tiene menor importancia frente a los avances que ha habido en las técnicas de control de la estabilidad del terreno; sin embargo, tiene gran significancia histórica debido a que fue introducida hace varios siglos. En algunas minas peruanas la madera aún sigue siendo utilizada como elemento de sostenimiento, principalmente en el minado convencional de vetas. Su rol es proteger la excavación contra la caída de rocas, debido a la separación de la roca de los contornos de la misma o a lo largo de planos de debilidad, causados por la intemperización y fracturamiento del terreno debido a la voladura y otros factores.

En la actualidad, la madera se utiliza por su adaptabilidad a todo tipo de terreno, por su versatilidad para soportar todo tipo de esfuerzo y por sus características de deformabilidad, lo cual permite detectar en forma temprana los desplazamientos hacia el interior de la excavación. En emergencias su uso como sostenimiento es muy valioso. Sus inconvenientes son: costo relativamente alto, elevado uso de mano de obra por el tiempo comparativamente largo de su instalación, limitada duración (puede descomponerse) y riesgo de fuego.

Cuando se usa la madera como elemento de sostenimiento es importante tomar en cuenta que:

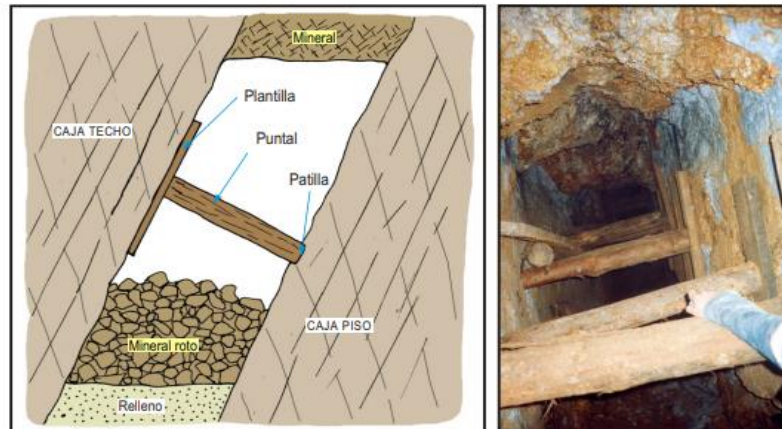
- ✚ La madera seca dura más que la fresca o húmeda.
- ✚ La madera sin corteza dura más que aquella que conserva la corteza.
- ✚ La madera tratada o “curada” con productos químicos con la finalidad de evitar su descomposición, dura más que la no “curada”
- ✚ La madera en una zona bien ventilada dura más que en una zona húmeda y caliente.

Tipos de estructura de madera

Puntales

Es el tipo más común de sostenimiento, donde un simple poste de madera es fijado verticalmente en una abertura para sostener el techo o perpendicularmente al buzamiento de una veta para sostener la caja techo (en buzamientos echados) o ambas, la caja techo y la caja piso (en buzamientos empinados), previniendo así la falla de la roca y el cierre de la excavación. Para el sostenimiento de las falsas cajas en vetas angostas, los puntales son elementos valiosos.

Figura N° 12: Puntales de seguridad para falsas cajas



Los puntales son miembros compresivos con rangos de resistencia de 7 a 10 MPa, contruidos de madera redonda de 5” a 10” de diámetro y longitudes que no deben superar los 3.5 m, para evitar su pandeo y pérdida de resistencia.

La sección circular de un puntal ofrece una mayor capacidad portante que las secciones cuadradas. Cuanto menor sea la longitud de un puntal, éstos ofrecen mayor capacidad portante. Los puntales deben ser empleados con el uso de plantillas y cuñas. La plantilla es usada para distribuir la carga en los extremos del puntal y para ayudar a mantener el extremo del puntal sin romperse cuando el peso es aplicado sobre éste. La cuña es usada para ajustar el poste contra el techo. El espaciamiento de los puntales dependerá de las características de la roca y del tamaño del puntal. En algunos casos se suele combinar el puntal con el uso de la malla metálica, para retener los bloques sueltos ubicados entre los puntales.

Cuadros

Éstos son utilizados para sostener galerías, cruceros y otros trabajos de desarrollo, en condiciones de roca fracturada a intensamente fracturada y/o débil, de calidad mala a muy mala y en condiciones de

altos esfuerzos. Si las labores son conducidas en mineral, el enmaderado debe ser más sustancial para mantener la presión y el movimiento de roca en los contornos de la excavación.

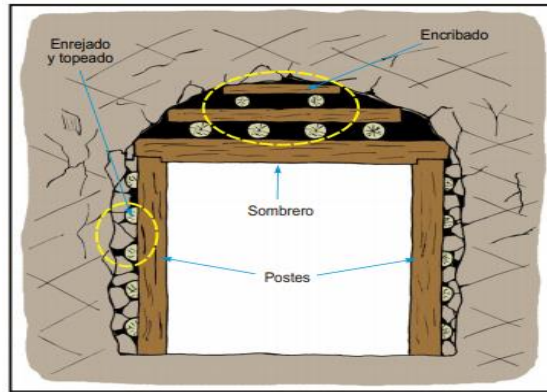
Los principales tipos de cuadros que usualmente se utilizan son: los cuadros rectos, los cuadros trapezoidales o denominados también cuadros cónicos y los cuadros cojos. Todos estos son elementos unidos entre sí por destajes o por elementos exteriores de unión, formando una estructura de sostenimiento.

Cuadros rectos

Son usados cuando la mayor presión procede del techo. Están compuestos por tres piezas, un sombrero y dos postes, asegurados con bloques y cuñas, en donde los postes forman un ángulo de 90° con el sombrero. En ciertos casos los postes van sobre una solera. Estos cuadros están unidos por los tirantes, los cuales determinan el espaciamiento de los mismos, que varía de 2 a 6 pies según la calidad del terreno. Para completar el sostenimiento se adiciona el encribado en el techo, generalmente con madera redonda y el enrejado en los hastiales con madera redonda, semiredonda o entablado.

En labores de avance horizontales o subhorizontales, los postes son instalados verticalmente y en labores con buzamiento (en mineral), los postes son instalados en forma perpendicular al buzamiento, de tal manera que el sombrero quede paralelo a las cajas.

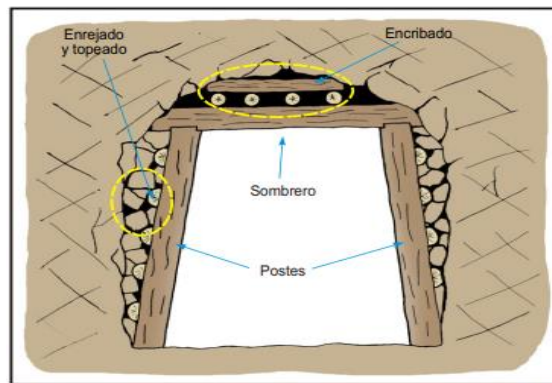
Figura N° 13: Esquema de un cuadro recto



Cuadros cónicos

Son usados cuando la mayor presión procede de los hastiales. La diferencia con los cuadros rectos, solo radica en el hecho de que en los cuadros cónicos se reduce la longitud del sombrero, inclinando los postes, de tal manera de formar ángulos de 78° a 82° respecto al piso, quedando el cuadro de forma trapezoidal.

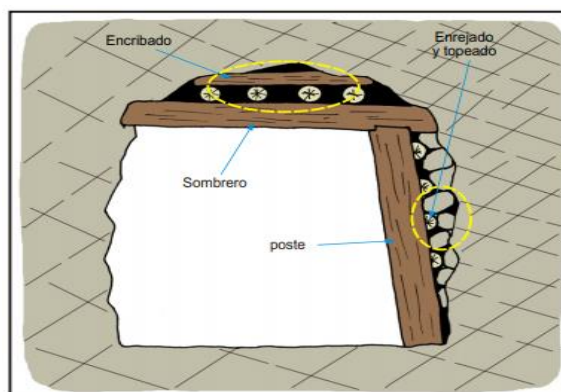
Figura N° 14: Esquema de un cuadro conico



Cuadros cojos

Estos están compuestos por solo un poste y un sombrero. Se utilizan en vetas angostas menores de 3 m de potencia. Su uso permite ganar espacio de trabajo. Pueden ser verticales o inclinados según el buzamiento de la estructura mineralizada. Estos cuadros deben adecuarse a la forma de la excavación para que cada elemento trabaje de acuerdo a las presiones ejercidas por el terreno.

Figura N° 15: Esquema de un cuadro cojo



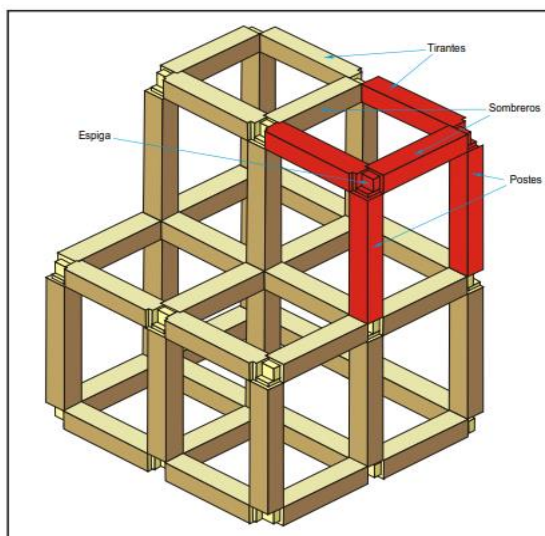
Conjunto de cuadros

Este es un método costoso con baja productividad y solo utilizado en minerales de alta ley para una máxima recuperación, cuando no se pueden utilizar cuadros simples (rectos o cónicos), lo cual ocurre cuando las dimensiones de la estructura mineralizada o de la labor minera superan los 3 m. El método de minado por conjunto de cuadros ha sido generalmente convertido a sistemas de corte y relleno.

Este sistema de sostenimiento está formado por: postes, sombreros y tirantes, sistemáticamente armados, en lo posible alineando los cuadros de madera con la dirección del máximo esfuerzo. El conjunto debe ser bloqueado ajustadamente a las paredes, al frente y al techo, para dar máximo soporte en terrenos malos.

También se usa conjunto de cuadros en los piques, pero su función primaria es dividir al pique en compartimientos y como un medio de fijar las guías, tubos, cables, Entre otros. El bloqueo del conjunto de cuadros proporciona un mínimo de sostenimiento al terreno, el sostenimiento principal de la masa rocosa del pique, de ser requerido, deberá efectuarse con pernos y/o malla y/o shotcrete.

Figura N° 16: Conjunto de cuadros



CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. El Problema

3.1.1. Descripción de la realidad problemática

En la actualidad en la **CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. – COMILIBRA**, Para la ejecución de la fase minera unitaria de sostenimiento, no se considera el diseño adecuado del elemento o sistema de sostenimiento; razón que no se aplica la geomecánica, para que a través del levantamiento litológico- estructural se determine la caracterización del macizo rocoso y a su vez la calidad del mismo, para realizar el modelamiento geomecánica de la operación minera que determina los dominios estructurales. Siendo la finalidad del sostenimiento restablecer el equilibrio del macizo rocoso para garantizar la seguridad de los equipos, maquinarias, recurso humano y la infraestructura de la mina.

3.1.2. Planteamiento y Formulación del Problema¹

Actualmente la fase u operación minera de sostenimiento de las labores mineras subterráneas de la **Corporación Minera Libra S.A.C. – COMILIBRA**, se diseñan los elementos o sistemas de sostenimiento de acuerdo al criterio de los responsables de la supervisión, razón que se debe diseñar el sostenimiento aplicando los parámetros de la geomecánica, con la finalidad de garantizar su estabilidad.

¹ La **formulación del problema** de investigación es la etapa donde se estructura formalmente la idea de investigación. Una buena **formulación del problema** implica necesariamente la delimitación del campo de investigación, establece claramente los límites dentro de los cuales se desarrollará el proyecto.

3.1.2.1. Formulación Interrogativa del Problema

La pregunta de investigación, debe ser formulada de manera precisa, clara y entendible de tal manera que no exista ambigüedad respecto a la respuesta que se pueda plantear.

Como investigador y responsable de la presente investigación y en concordancia con el asesor externo, planteo la siguiente pregunta de investigación:

¿La geomecánica mejorará la estabilidad de las labores mineras subterráneas en la Corporación Minera Libra S.A.C. – COMILIBRA – Año 2020?

3.1.2.2. Formulación de problemas específicos

- ¿La caracterización del macizo rocoso será el adecuado para mejorar la estabilidad de labores mineras subterráneas?
- ¿Los procedimientos de instalación del sistema de sostenimiento mejorara la estabilidad de labores mineras subterráneas?

3.1.3. Objetivos de la investigación

3.1.3.1. Objetivo General

Aplicar la geomecánica para mejorar la estabilidad de las labores mineras subterráneas en la Corporación Minera Libra S.A.C. – COMILIBRA – Año 2020.

3.1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el macizo rocoso para mejorar la estabilidad de las labores mineras subterráneas
- Determinar los procedimientos de instalación del sostenimiento para mejorar la estabilidad de las labores mineras subterráneas.

3.1.4. Justificación e importancia²

La geomecánica a través de los parámetros de campo, laboratorio y gabinete, cuyo objetivo es determinar los dominios estructurales, nos permite diseñar los elementos o sistemas de sostenimiento que requiere cada labor minera subterránea, que garantiza la estabilidad de las labores mineras subterráneas. La Corporación Minera Libra S.A.C. – COMILIBRA, será la beneficiaria puesto que se diseñarán elementos o sistemas de sostenimiento de acuerdo a sus dominios estructurales.

3.1.5. Alcances.

El estudio comprende básicamente la aplicación de la geomecánica para el diseño de los elementos o sistemas de sostenimiento de las labores mineras subterráneas en la Corporación Minera Libra S.A.C. – COMILIBRA, garantizando su estabilidad de las labores mineras subterráneas.

3.1.6. Delimitación de la Investigación

² La **justificación** a la parte de un proyecto de investigación que expone las razones que motivaron a realizar esa investigación. La **justificación** es la sección en la que se explica la importancia y los motivos que llevaron al investigador a realizar el trabajo. Introducción (de un proyecto o investigación)

El espacio de estudio para la elaboración del proyecto de tesis y su respectiva elaboración de la tesis, es en el escenario de la Corporación Minera Libra S.A.C. – COMILIBRA, que comprende las concesiones mineras “Huáscar A y Huáscar B”, ubicada en la provincia de Huaraz, Región de Ancash.

3.2. Hipótesis³

Hipótesis General

La geomecánica mejoraría la estabilidad de las labores mineras subterráneas en la Corporación Minera Libra S.A.C. – COMILIBRA - Año 2020

Hipótesis Específicos

- ✚ La caracterización del macizo rocoso sería el adecuado para mejorar la estabilidad de labores mineras subterráneas.
- ✚ Los procedimientos de instalación del sistema de sostenimiento mejorarían la estabilidad de labores mineras subterráneas.

3.3. Variables

Variable Independiente (x)

Geomecánica.

Variable dependiente (y)

Mejorar la estabilidad de labores mineras subterráneas.

³ La **hipótesis**, es una proposición **que** aún no ha sido corroborada y a partir de la **cual** se puede desarrollar una investigación. Es decir, una **hipótesis** es una afirmación **que** puede o no ser cierta. ... La **hipótesis** puede fundamentarse en la evidencia científica o un conjunto de argumentos **que** cuenten con sustento.

3.4. Diseño de la investigación

3.4.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación según Mario Bunge es aplicado, debido a que trabaja de acuerdo a resultados y conclusiones de investigaciones básicas, utiliza, además, el método de observación y la no experimentación, con el fin de dar solución a los problemas planteados, específicamente de sostenimiento.

3.4.2. Nivel de la investigación

El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio. (Arias,2006).

Según Roberto Marroquín Peña⁴, los niveles de investigación son los siguientes:

Investigación Exploratoria: Es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimiento. Dentro de este nivel podría ubicarse la presente investigación.

Investigación Descriptiva⁵: También conocida como la investigación estadística, se describen los datos y características de la población o fenómeno en estudio. Este nivel de Investigación responde a las preguntas: quién, qué, dónde, cuándo y cómo. A este nivel de investigación descriptiva se enmarca la presente investigación.

1. Investigación Correlacional: Tiene como finalidad establecer el grado de relación o asociación no causal existente entre dos o más variables. Se

⁴ Docentes que ponen su granito de arena con este gran reto, en especial al Dr. **Roberto Marroquín Peña** por su acertada guía en el desarrollo de la presente...

⁵ La investigación descriptiva, es un tipo de investigación que se encarga de describir la población, situación o fenómeno alrededor del cual se centra su estudio. ... Además, obtiene información del fenómeno o situación que se desea estudiar, utilizando técnicas como la observación y la encuesta, entre otras.

caracterizan porque primero se miden las variables y luego, mediante pruebas de hipótesis correlacionales y la aplicación de técnicas estadísticas, se estima la correlación.

2. Investigación Explicativa: Se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación postfacto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos.

En resumen, se puede confirmar que se trata de una investigación del nivel descriptivo, porque acopia las características de la realidad y la describe de acuerdo a la variable de interés de la investigación

3.4.3. Método

El Método empleado es Descriptivo, no experimental que implica conocer las características y rasgos más relevantes del Sistema de sostenimiento mediante cuadros de madera, cuya orientación se centra en responder a la pregunta ¿Cómo es? Una determinada parte de la realidad, que es objeto del presente estudio.

3.4.4. Población y muestra

Población⁶

⁶ La **POBLACIÓN** de una **investigación** está compuesta por todos los elementos (personas, objetos, organismos, historias clínicas) que participan del fenómeno que fue definido y delimitado en el análisis del problema de **investigación**. La **POBLACIÓN** tiene la característica de ser estudiada, medida y cuantificada.

La población está constituida por las labores mineras subterráneas donde se mejorará la estabilidad en base a la aplicación de la geomecánica en la **CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. – COMILIBRA.**

Muestra⁷

Son las labores mineras subterráneas de acceso donde se mejorará la estabilidad para garantizar la seguridad.

3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Técnicas de investigación	Instrumentos	Informantes o fuentes	Ventajas	Desventajas
Análisis documental	Fichas bibliográficas	Libros, internet, tesis, entre otros.	Muy objetiva Puede constituir evidencias	Aplicación limitada a fuentes documentales
Observación del campo	Protocolo, o guías de observación de campo	Toma de datos por parte del investigador	Contacto directo Con la realidad	Aplicación limitada a aspectos fijos o repetitivos

3.4.6. Forma de tratamiento de los datos

El tratamiento de datos del presente proyecto de investigación, se realizarán con los siguientes programas informáticos:

⁷ **Muestra.** Es un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la **investigación**. Hay procedimientos para obtener la cantidad de los componentes de la **muestra** como fórmulas, lógica y otros que se verá más adelante. La **muestra** es una parte representativa de la población.

- **Microsoft Excel:** Para procesar datos de campo, elaboración de tablas (cuadros de resumen de avance, número de taladros, cantidad de dinamitas y los costos totales empleados en la anterior malla de perforación y voladura).
- **Microsoft Word:** Para la redacción de la presente tesis, siguiendo el modelo de redacción para tesis propuesto por la UNASAM.

CAPITULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.- Descripción de la realidad y Procesamiento de Datos

Para realizar el estudio geomecánico de las labores mineras subterráneas de la CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. – COMILIBRA, se ha considerado las labores mineras subterráneas; en lo referido a la estabilidad de las mismas, es necesario tener disponibles datos de entrada relacionados a los diferentes factores que condicionan el comportamiento mecánico de la roca y del macizo rocoso. Estos factores de acuerdo a los estándares del ISRM (Society International For Rocks Mechanic's), como componentes del *Sistema de Información Geomecánica*, son definidos por:

4.1.1. Caracterización del Macizo Rocoso:

- a) Levantamiento litológico – estructural

4.1.2. Características del comportamiento mecánico de la masa rocosa

- a) Ensayos de Laboratorio
- b) Ensayos in –situ

4.1.3. Clasificaciones Geomecánicas

4.1.4. Dominios Estructurales

4.2 Análisis e Interpretación de la Información

4.2.1. Levantamiento Litológico

Esta referido al modelo geológico, caracterizado por el estudio de las discontinuidades “Joint”, como: Persistencia, rugosidad, alteración, relleno, apertura, fracturamiento y espaciamiento, método sugerido por la ISRM – 1980.

En el caso de las labores mineras subterráneas de la Corporación Minera Libra S.A.C, se ha realizado el levantamiento litológico en 02 estaciones, tomándose en cuenta para el presente estudio 01 estación representativa, considerándose además los tipos de roca predominantes en la mina, como: caliza, se visualiza las consideraciones topográficas de la estación en estudio.

Cuadro N° 03: Datos Litologicos de la Estación

EST.	TIPO DE ROCA/M	RQD %	ESPACIAMIENTO mts.	PERSISTENCIA mts.	APERTURA mm.	RUGOSIDAD Identificado	RELLENO mm.	ALTERACION Identificado	AGUA SUBT. Identificado
Est. 01	CALIZA	97.91%	0.6-2 m.	3-10 m Long.	< 0.1-1.00mm	Lig. Rugosa	Limpia	Sana	Seco

Fotografía N° 01: Estación en Estudio



4.2.2. Levantamiento Estructural

Esta referido al análisis estructural de las discontinuidades que se presentan en las labores mineras subterráneas, para el presente estudio se ha considerado valores como: rumbo, azimut, dirección de buzamiento, buzamiento y la

dirección de labor minera, en los Cuadros N° 04 y 05, se presentan las características técnicas de la labor mapeada así como de su estación representativa.

Cuadro N° 04: Datos Topográficos de las Estaciones Geomecánicas

ESTACIÓN	COTA	COORDENADAS		
		ESTE	NORTE	ELEVACIÓN
CALIZA	883 m.s.n.m.	809001.47	8979230.93	883 m.s.n.m.
CALIZA	867 m.s.n.m.	809018.47	8979245.93	867 m.s.n.m.

Cuadro N° 05: Datos de la Dirección de Avance de las Estaciones

ESTACIÓN	TIPO DE ROCA/ MINERAL	DIRECCION DE AVANCE
Est. 01	CALIZA	N 68° W

Cuadro N° 06: Determinación del RQD de la Roca y Mineral

EST.	TIPO DE ROCA/ MINERAL	SPAN	N° DE FRACTURAS	λ	RQD %
Est. 01	CALIZA	15	33	2.2	97.91

Cuadro N° 07: Calidad de la Roca de acuerdo a Deere and Miller

TEORICO		APLICACIÓN PRACTICA
% RQD	CALIDAD DE ROCA	
< 25	Muy Mala	-----
25 – 50	Mala	-----
50 – 75	Regular	-----
75 – 90	Buena	-----
90 – 100	Muy Buena	Caliza

Gráfico N° 01 – A: CALIZA

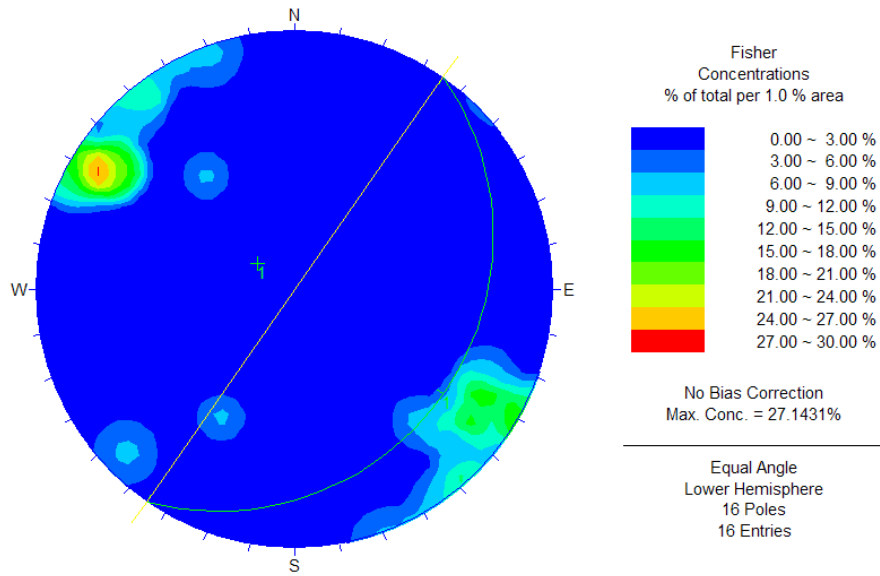
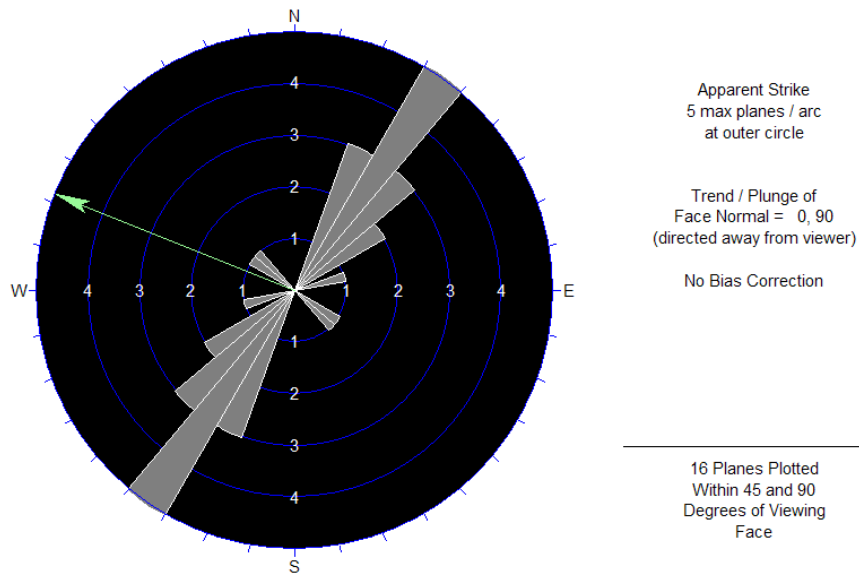


Gráfico N° 01 – B: CALIZA



En la **Figura N° 01-A**, podemos apreciar que mediante el análisis estereográfico de la futura labor minera tiene un rumbo de N 68° W, mientras que la familia representativa se encuentra a favor de la excavación con un buzamiento de 70°.

En la **Figura N° 01-B**, se puede apreciar mediante la roseta que la futura labor minera es estable.

4.2.3. Caracterización del Comportamiento Mecánico de la Masa Rocosa

Ensayos de Laboratorio

a) Propiedades Físicas

Su determinación se basó en el establecimiento del peso seco, peso saturado, y el volumen externo de las muestras rocosas.

Para secar las muestras, se colocaron éstas dentro de un horno ventilado a una temperatura de 105°C; para saturarlas, se sumergieron en agua destilada.

Llevando un registro diario de los pesos con una precisión de 0.01 gr., los pesos seco y saturado se obtuvieron cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas no excedía de 0.1 gr., lo cual fue logrado en aproximadamente 48 horas.

Las relaciones matemáticas que definen las propiedades físicas solicitadas son:

– **Densidad**

$$\gamma = \frac{\text{Peso Seco}}{\text{Volumen}} \quad (\text{gr/cm}^3)$$

– **Peso Especifico Aparente**

$$\text{P.E.a.} = \frac{\text{Peso Seco} \times 9.81}{\text{Volumen}} \quad (\text{KN/m}^3)$$

– **Porosidad Aparente**

$$\text{P.a.} = \frac{\text{Peso Saturado} - \text{Peso Seco}}{\gamma_w \times \text{Volumen}} \times 100 \quad (\%)$$

– **Absorción (en peso)**

$$\text{Abs} = \frac{\text{Peso Saturado} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100 \quad (\%)$$

Siendo:

$$\gamma_w = \text{Densidad del agua} \quad (\text{gr/cm}^3)$$

Cuadro N° 08: Resultados de Laboratorio

MUESTRA ROCOSA		Densidad (gr/cm ³)	P.E.A. KN/m ³	P.A. %	Absorción %
M-5	CALIZA	2.99	29.33	0.83	0.28

Ensayos In-Situ

El ensayo de rebote se realizó en las estaciones donde se realizó el levantamiento litológico estructural, utilizando para dichos ensayos el Martillo Schmidt.

Cuadro N° 09: Tabla de Corrección para el Martillo Schmidt de Dureza

ESCLERÓMETRO TIPO "L"	REBOTE	HACIA ARRIBA		HACIA ABAJO		HORIZONTAL
	R	$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = +90^\circ$	$\alpha = +45^\circ$	$\alpha = 0^\circ$
	10	0	-0.8	0	0	-3.2
	20	0	-0.9	-8.8	-6.9	-3.4
	30	0	-0.8	-7.8	-6.2	-3.1
	40	0	-0.7	-6.6	-5.3	-2.7
	50	0	-0.6	-5.3	-4.3	-2.2
	60	0	-0.4	-4	-3.3	-1.7

Cuadro N° 10: Rebote Promedio según ISRM

LABOR Y/O NIVEL	ESTACIÓN	REBOTE PROMEDIO SEGÚN <i>ISRM</i>				
-----------------	----------	-----------------------------------	--	--	--	--

1.-	ESTACIÓN-01	44	42	42	38	38
-----	-------------	----	----	----	----	----

RESISTENCIA COMPRESIVA
(MPa)

115.63

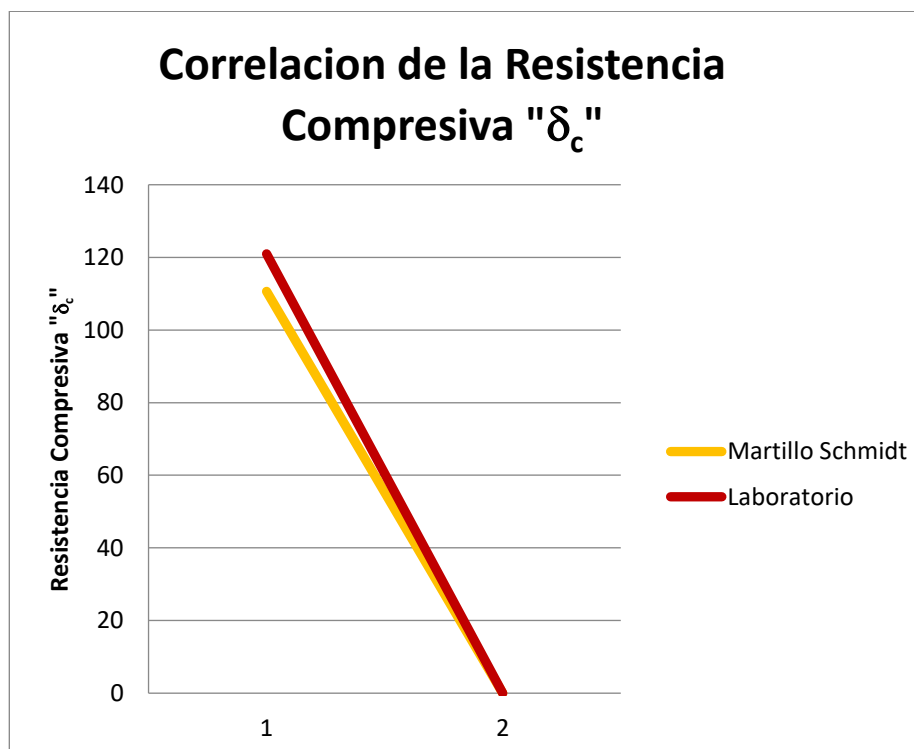
LEYENDA

..... CALIZA

Cuadro N° 11: CORRELACIÓN DE LA RESISTENCIA COMPRESIVA

ESTACIÓN	TIPO DE ROCA/ MINERAL	δ_c MARTILLO	δ_c LABORATORIO
Est. 05	CALIZA	110.63	120.96

Gráfico N° 02: Correlación de la Resistencia Compresiva



La correlación es simétrica en el valor de la resistencia compresiva “ δ_c ”, cuantificados en el campo in-situ y en el laboratorio de mecánica de rocas, razón que dicha correlación se aplicara en la valoración del macizo rocoso.

Cuadro N° 12: Mapeo Geomecanio – Caliza

REPORTE GEOMECÁNICO								
Empresa: CORMILIBRA SAC		Lugar: MINA HUA SCAR		Labor: <i>Ladera</i>		Fecha: 08/04/2020		
		Tipo de Roca y/o Mineral: <i>Caliza</i>		σ_c (Mpa)= 120.96		RQD = 98%		
VALORIZACION DEL MACIZO (R.M.R.) - Clasificación RMR de Bieniawski (1989)								
PARAMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES						VALORACIÓN	
RESIST. COMP. UNIAxIAL	>250=R6 (15)	100-250=R5 (12)	50-100=R4 (7)	25-50=R3 (5)	<25(2)=R2, <5(1)=R1	1	12	
RQD (%) (fracts.)	90-100 (2-6) (20)	75-90 (6-12) (17)	50-75 (12-20) (13)	25-50 (>20 frac) (8)	<25 (Bxdo) (3)	2	20	
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)	3	15	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	2
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1)	>5 mm (0)	4B	4
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	6
	ALTERACIÓN	Sana (6)	Lig.Alterada. (5)	Mod.Alterad (3)	Muy Alterada (2)	Descompuesta (0)	4E	6
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Humeda (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Fuajo (0)	5	15	
VALOR TOTAL RMR								
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
RMR	100-81	80-61	60-41	40-26	25-0		53	
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		I MUY BUENA	
CORRECCIÓN POR ORIENTACIÓN								
Rumbo perpendicular al eje de túnel				Rumbo paralelo al eje de túnel		Echado de 0-20° independiente del rumbo		
Penetración en el sentido del rumbo		Penetración contra el rumbo						
Echado 45°-90°	Echado 20°-45°	Echado 45°-90°	Echado 20°-45°	Echado 45°-90°	Echado 20°-45°	Des favo. -10		
Muy favo. 0	Favo. -2	Regu. -5	Desfavo. -10	Muy des fav. -12	Regu. -5			
SIGNIFICADO DE LAS CLASES DE MACIZO ROCOSO								
TIEMPO DE MANTENIMIENTO	10 AÑOS PARA 5 m.	6 MESES PARA 4 m.	1 SEMANA PARA 3 m.	5 HORAS PARA 1.5 m.	10 MINUTOS PARA 0.5 m.		RMR (Bás.) 53	
COHESIÓN	> 30.66 Mpa	20.44 - 30.66 Mpa	15.33 - 20.44 Mpa	10.22 - 15.33 Mpa	< 10.22 Mpa		Corrección	
ANG. DE FRICCIÓN	> 45°	40° - 45°	30° - 40°	30° - 35°	< 30°		0	
DESCRIPCIÓN:								
<p><i>La dirección de la fractura labor minera esta a favor del buzamiento de la set macizo con un buzamiento de 70°.</i></p> <p><i>Por lo que la condición geomecánica de esta labor es muy buena, y por lo tanto es estable.</i></p>							RMR (Correg.) 53	
SUB - TIPO							IB MUY BUENA	
RECOMENDACIONES								

4.2.4. Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso

Para la determinación de la calidad del macizo rocoso se realizó el mapeo geomecánico, en función a los parámetros anteriormente descritos.

Cuadro N° 13: Calculo del RMR Promedio

ESTACIÓN	TIPO DE ROCA/ MINERAL	RMR Básico	RMR Corregido	RMR Promedio
Est. 01	CALIZA	83	83	83

Cuadro N° 14: Calidad del Macizo Rocoso de Acuerdo al RMR (Bieniawski – 1989)

TIPO DE ROCA/ MINERAL	CLASE	SUB CLASE	CALIDAD
CALIZA	I	I-B	Muy Buena

Cuadro N° 15: Tiempo de Autososte de las Labores Mineras - CORMILIBRA

EST.	TIPO DE ROCA/ MINERAL	RMR SIN SOST.	TIEMPO DE AUTOSOSTENIMIENTO	ESTABILIZACION
Est. 01	CALIZA	83	10 AÑOS	Estabilización en caso los requiera, por el proceso de meteorización de la roca; realizando control preventivo.

4.2.5. Propiedades Físico – Mecánicas del Macizo Rocoso

Para la determinación de las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso de la CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. – COMILIBRA, se deben considerar los siguientes parámetros.

Datos Iniciales

a) Clasificaciones Geomecánicas:

La Clasificación Geomecánica de Bieniawski – RMR (Rock Mass Rating).

La Clasificación Geomecánica de Barton – “Q” (Índice de Calidad Tunelera).

b) Ensayo de Laboratorio:

δ_c : Resistencia Compresiva de la roca Intacta.

c) Calculo De Constantes:

m, s, A y B.

Para determinar las constantes (m, s, A y B), es necesario calcular mediante el cuadro del anexo referido a (relaciones aproximadas entre la calidad del macizo rocoso y las constantes empíricas), aplicando la formula estadística de regresión exponencial.

$$Y = A \cdot e^{BX}$$

$$B = \frac{n \sum(x \ln Y) - \sum x * \sum \ln Y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$A = e^{\left(\frac{\sum \ln Y - B * \sum x}{n}\right)}$$

Es necesario considerar que el cálculo, es para cada uno de las constantes. Basado en la experiencia, práctica y teórica Hoek and Brown, desarrollan por medio de un proceso de aproximaciones la relación empírica entre los esfuerzos principales que intervienen en el fenómeno del debilitamiento de la roca.

$$\delta_1 = \delta_3 + \sqrt{m \delta_c \delta_3 + S \delta_c^2}$$

Donde:

δ_1 = Esfuerzo Principal mayor en el debilitamiento.

δ_3 = Esfuerzo principal menor aplicado a la muestra.

δ_c = Resistencia Compresiva de la roca inalterada.

m y **S** son constantes que dependen de las propiedades de la roca y el grado de su fracturación antes de ser sometida a los esfuerzos δ_1 y δ_3 .

Cuadro N° 16: Parámetros del Macizo Rocoso – Caliza

Clasificación Hoek-Brown

Roca y/o Mineral	Caliza
sigci	120.96 MPa
mi	3.2
RMR	83
Q'	75.94
GSI	78
h	16 m.
γ	29.33 KN/m ³

Criterio de Hoek-Brown

σ_n	0.46928 MPa
m	1.459
s	0.08677
a	0.50071
A	0.32632
B	22.053
$\sigma_{3m\acute{a}x}$	0.286 MPa
E	60.25 GPa

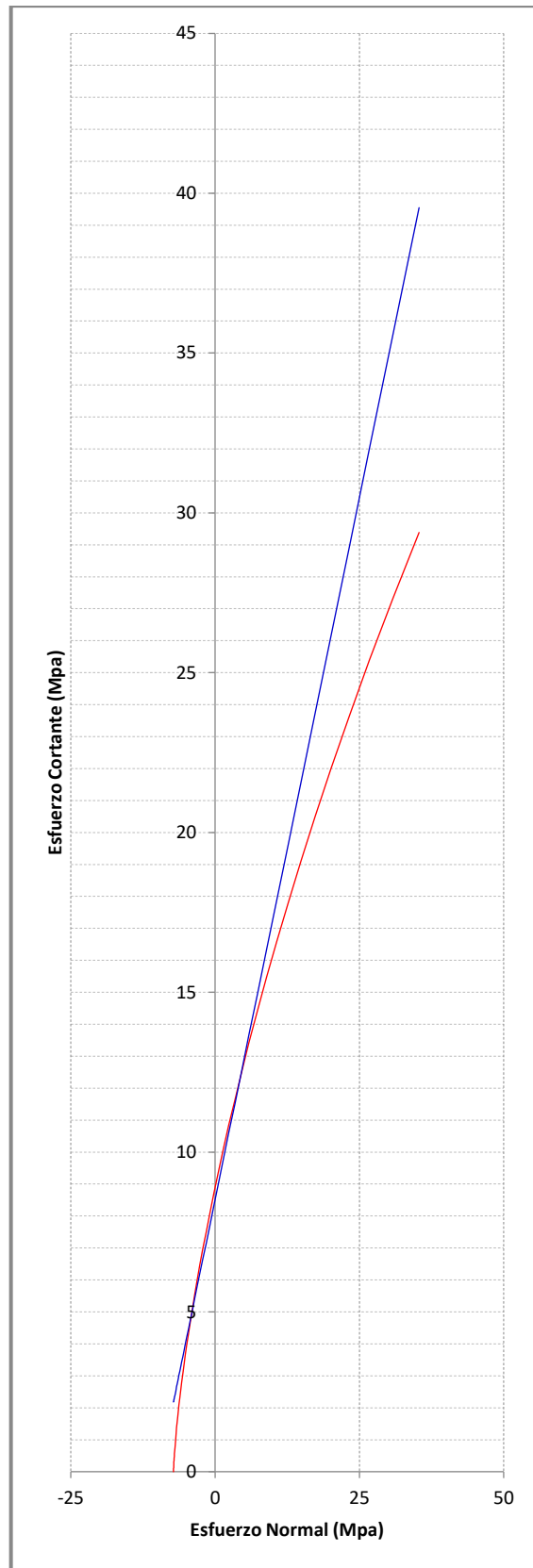
$$\tau = B \times ((1 - \sin \phi) / \tan \phi)$$

$$\sigma_n = B \times (((1 - \sin \phi)^2 / (2 \times \sin^2 \phi)) \times (1 + 2 \times \sin \phi) - A)$$

$$Q' = (RQD \times Jr) / (Jn \times Ja)$$

Resumen de los datos obtenidos

Datos adecuados según Mohr-Coulomb	
Cohesión	8.5048 Kg/cm ²
Angulo de fricción	41.292°
Parámetros del macizo rocoso	
Esfuerzo a la tracción	-6.925 MPa
Esfuerzo compresivo	35.632 MPa
Esfuerzo al corte	7E-26 MPa
Modulo de deformación in situ	60.25 GPa
Densidad	28.333 KN/m ³



Leyenda: — Criterio de Mohr-Coulomb
— Envolvente de Mohr

4.3. **Discusión de Resultados.**

Las consideraciones litológicas de las labores mineras subterráneas de la CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. – COMILIBRA, La concesión minera Huáscar “A” y Huáscar “B” es algo singular en el {área, por tratarse de un depósito de Esfalerita y galena, en formación Calipuy, entre las que destacan las formaciones. Chimú, Santa y Carhuaz, estas comprenden una secuencia sedimentaria y plegada, cuyos ejes axiales con orientación NW obedecen al rumbo andino. Cabe destacar que la característica principal de estos pliegues define anticlinales ligeramente abruptos, con sinclinales muy extensos y suaves de buzamiento, teniendo como roca encajante la caliza..

De acuerdo al análisis de los datos de campo, laboratorio y gabinete, basados en el **ISRM** (Society Internacional For Rock Mechanic’s), se determinó que el **RMR Básico** y el **corregido** para la **Mineral** varía entre 59- 59 (**Tipo IIIA**), en el caso de la **roca encajante** varía entre 83 - 83 (**Tipo I-B**).

De acuerdo al criterio científico de Palmstron la ecuación para el yacimiento CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. – COMILIBRA, lo relacionado al **RMR** y **Q (Bieniawski – Barton)**, es $RMR = 8.988\ln(x)+44.046$, dicho valor se encuentra dentro del rango establecido por esta teoría.

En lo relacionado al tiempo de **autosoporte sin sostenimiento**, para el caso de la **CALIZA** cuyo valor es 83 – 83 es de 10 años.

En lo referente al sostenimiento de acuerdo a los valores determinados por **Bieniawski (RMR)** y **Barton (Q)**, en el caso de la **CALIZA** es necesario el sostenimiento con cuadros de madera cuando se requiera.

En lo relacionado a las propiedades físico - mecánicas del macizo rocoso de la Corporación Minera S. A., se determinó para las tres rocas predominantes:

Caliza

Cohesión	:	5.379 Kg/cm ²
Angulo de fricción	:	61.794°
Esfuerzo a la tracción	:	-2.157 MPa
Esfuerzo compresivo	:	40.221 MPa
Esfuerzo al corte	:	5e-164 MPa
Módulo de deformación in situ:		63.75 GPa
Densidad	:	24.56 KN/m ³

4.4. Aportes de la tesista

Al realizar el trabajo de investigación se obtuvieron los siguientes aportes:

Se obtuvieron buenos resultados durante el estudio geomecanico de las principales labores mineras subterráneas de la CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. – COMILIBRA Rampa Patrick 3, que especialmente ha sido estudiada para realizar el sostenimiento con cuadros de madera en caso lo requiera.

Una vez conocido la calidad del macizo rocoso, es posible saber qué tipo de sostenimiento es lo más adecuado para poder utilizar en este caso los cuadros de madera.

CONCLUSIONES.

- 1 De acuerdo al análisis de los datos de campo, laboratorio y gabinete, basados en el **ISRM** (Society Internacional For Rock Mechanic's), se determinó que el **RMR Básico** y el **corregido** para la **Mineral** varía entre 59- 59 (**Tipo IIIA**), en el caso de la roca **encajante** varía entre **83 - 83 (Tipo I-B)**.
- 2 De acuerdo al criterio científico de Palmstron la ecuación para el yacimiento **CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. – COMILIBRA**, lo relacionado al **RMR y Q (Bieniawski – Barton)**, es **$RMR = 8.988\ln(x)+44.046$** , dicho valor se encuentra dentro del rango establecido por esta teoría.
- 3 En lo relacionado al tiempo de **autosoporte sin sostenimiento**, para el caso de la **CALIZA** cuyo valor es 83 – 83 es de 10 años.
- 4 En lo referente al sostenimiento de acuerdo a los valores determinados por Bieniawski (RMR) y Barton (Q), en el caso de la **CALIZA** es necesario el sostenimiento con cuadros de madera cuando se requiera.

RECOMENDACIONES

1. La capacitación del trabajador debe ser permanente, en vista que ellos serán los directos ejecutores de los estándares establecidos y el grado de involucramiento de parte de los mismos, de manera que se garantice el éxito de la implementación del estudio realizado.
2. Evaluar la posibilidad de utilizar el realizar inspecciones constantes para verificar e identificar los riesgos estructurales.
3. Realizar la evaluación de todos los frentes de trabajo para trabajar con seguridad en relación a la caracterización del macizo rocoso.
4. Para un buen desarrollo de las labores implementar en un futuro un área de geomecánica, para realizar levantamientos litológico – estructural y velar por la estabilidad de las labores mineras subterráneas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✚ **ALBA N., (2017)** “Ciclo de las Rocas _ Geología”, Universidad de Antioquia, UdeA Medellín - Colombia.
- ✚ **ARIAS J., BELTRAN R., (2015)** “Estudio geomecánico de los estratos superiores al manto 20 para el diseño de las labores de explotación de la Mina Vista Hermosa ubicada en el Municipio de Cucuta, Norte de Santander”, Bucaramanga – Santander.
- ✚ **ARIAS S., BENAVIDES G., (2015)** “Determinación de la equivalencia entre el tiempo de exposición de lutitas en cámara climática y en condiciones de radiación solar de Bogotá”, Bogotá.
- ✚ **BETANCUR B., LÓPEZ A., (2019)** “Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso en el nivel veintiuno de la Mina la Maruja (Distrito Minero de Marmato, Caldas) para estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte en la excavación y su correlación con las alteraciones hidrotermales”, Medellín – Colombia.
- ✚ **BONGORNIO F., BELANDRIA N., (2010)** “Clasificaciones geomecánica de los Macizos Rocosos según: Bieniawski Barton Hoek & Brown Romana”, Universidad de los Andes – Venezuela.
- ✚ **CAIZALUISA V., CRIOLLO S., (2015)** “Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el plan de cierre y liquidación de las canteras ubicadas en las parroquias de San Antonio de Pichincha (“Fucusucu III”) y de Píntag (“Esperanza”)", Quito – Ecuador.
- ✚ **CCORAHUA B., (2016)** “La Geomecanica en el Sosténimiento en la Mina Ricotona Lambrama”, Puno – Perú.
- ✚ **CUYUBAMBA J., (2019)** “Zonificación geomecánica para optimizar el diseño de malla de perforación y voladura - Unidad Minera Parcoy - Consorcio Minero Horizonte S.A.”, Huancayo – Perú.

- ✚ **GONZALES DE VALLEJO et al., (2002)** "Ingeniería Geológica". Prentice Hall. Madrid - España.
- ✚ **HERNÁNDEZ L., SANTAMARTA J., (2015)** "Ingeniería geológica en terrenos volcánicos métodos, técnicas y experiencias en las Islas Canarias", Madrid - España.
- ✚ **HOEK E., & BROWN ET., (2003)** "Mecánica de Rocas para minería subterránea", Madrid - España.
- ✚ **HUAMÁN A., (2017)** en su "Guía de Criterios Geomecánicos para Diseño, Construcción, Supervisión y Cierre de Labores", Lima – Perú.
- ✚ **INGEMMET (2020)** "Las rocas y sus nombres", Lima Perú.
- ✚ **ISRM – Society International For Rock Mechanic's Sociedad Internacional de mecánica de Rocas, (2014)**
- ✚ **LIRA R., (2015)**, en su trabajo denominado: "Optimización en Perforación y Voladura de Taladros Largos en la Unidad Minera Iscaycruz", Lima – Perú.
- ✚ **LUNARDI P., (2012)** "Diseño y Construcción de Túneles con el Sistema de Análisis de la Deformación Controlada en Rocas y Suelos", Milán – Italia.
- ✚ **MARTINEZ J., COROMINAS J., SOLER A., POLVORED R. y NAVARRO J. (2015)** "Propuesta de mejora de la Sensibilidad del Ensayo Slake Durability Test para la Caracterización de Taludes Excavados en Rocas Arcillosas", Barcelona – España.

ANEXOS

ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGIA	POBLACION
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Tipo	Población y muestra
¿La geomecánica mejorará la estabilidad de las labores mineras subterráneas en la Corporación Minera Libra S.A.C. – COMILIBRA – Año 2020?	Aplicar la geomecánica para mejorar la estabilidad de las labores mineras subterráneas en la Corporación Minera Libra S.A.C. – COMILIBRA – Año 2020.	La geomecánica mejoraría la estabilidad de las labores mineras subterráneas en la Corporación Minera Libra S.A.C. – COMILIBRA - Año 2020	El tipo de investigación según Mario Bunge es aplicado, debido a que trabaja de acuerdo a resultados y conclusiones de investigaciones básicas, utiliza, además, el método de observación y la no experimentación, con el fin de dar solución a los problemas planteados, específicamente de sostenimiento.	<p>POBLACIÓN</p> <p>La población está constituida por las labores mineras subterráneas donde se mejorará la estabilidad en base a la aplicación de la geomecánica en la CORPORACION MINERA LIBRA S.A.C. – COMILIBRA.</p> <p>MUESTRA</p> <p>Son las labores mineras subterráneas de acceso donde se mejorará la estabilidad para garantizar la seguridad.</p>
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Diseño y alcance de la investigación:	
<ul style="list-style-type: none"> ¿La caracterización del macizo rocoso será el adecuado para mejorar la estabilidad de labores mineras subterráneas? ¿Los procedimientos de instalación del sistema de sostenimiento mejorara la estabilidad de labores mineras subterráneas? 	<ul style="list-style-type: none"> Caracterizar el macizo rocoso para mejorar la estabilidad de las labores mineras subterráneas Determinar los procedimientos de instalación del sistema de sostenimiento para mejorar la estabilidad de las labores mineras subterráneas. 	<ul style="list-style-type: none"> La caracterización del macizo rocoso sería el adecuado para mejorar la estabilidad de labores mineras subterráneas. Los procedimientos de instalación del sistema de sostenimiento mejorarían la estabilidad de labores mineras subterráneas. 	<p>La investigación que se desarrolla es <i>descriptiva – no experimental.</i></p>	