



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN,  
PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO  
INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM**

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI.  
Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

**1. Datos del Autor:**

Apellidos y Nombres: **HUAYNATE GAMARRA YUSSELL JUNIOR**

Código de alumno: 102.0802.401

Teléfono: 978444594

Correo electrónico: **huaynat3@gmail.com**

DNI o Extranjería: 48152091

**2. Modalidad de trabajo de investigación:**

Trabajo de investigación

Trabajo académico

Trabajo de suficiencia profesional

Tesis

**3. Título profesional o grado académico:**

Bachiller

Título

Segunda especialidad

Licenciado

Magister

Doctor

**4. Título del trabajo de investigación:**

**“INFLUENCIA DEL COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DEL MACIZO ROCOSO  
EN EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO EN LA RAMPA 1 DE LA LABOR ESPERANZA  
DE LA U.E.A. MARIANNE-AREQUIPA, 2018”**

**Facultad de: Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia**

**6. Escuela, Carrera o Programa: Ingeniería de Minas**

**7. Asesor:**

Apellidos y Nombres: Dr. Ing. **Quiñones Poma Juan Roger**

Teléfono: 943232794

Correo electrónico: **jroquipoma62@gmail.com**

D.N.I: 32642091

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

**Firma:**

D.N.I

48152091

Fecha: 22 / 01 / 20





**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"**



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

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

**TESIS**

**INFLUENCIA DEL COMPORTAMIENTO GEOMECANICO  
DEL MACIZO ROCOSO EN EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO  
EN LA RAMPA 1 DE LA LABOR ESPERANZA DE LA U.E.A.**

**MARIANNE – AREQUIPA, 2018**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO DE MINAS**

**Presentado por:**

**Bach. HUAYNATE GAMARRA, Yussell Junior**

**Asesor:**

**Dr. Ing. QUIÑONES POMA, Juan Roger**

**HUARAZ - PERÚ**

**2018**

## DEDICATORIA

A mis padres Ever y Demetria por su amor, cariño y apoyo incondicional que son el más bello ejemplo de apoyo y responsabilidad con sus hijos, ... por quienes trato de ser cada día mejor, como hijo, persona y profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Hallándome en la recta final de este largo y laborioso proceso, es justo expresar mi enorme gratitud para con quienes es debido.

En primer lugar, agradezco a la mina, por la oportunidad que me brindo para realizar en él esta tesis.

Asimismo, quiero agradecer al catedrático que se ha encargado de supervisar esta tesis al Dr. Ing. Juan Roger Quiñones Poma, quien me atendió y guio con gran amabilidad, aconsejándome magníficamente durante todo el proceso de redacción.

A todos los miembros de mi familia y especialmente a mis padres Ever y Demetria.

## RESUMEN

La presente tesis tiene por objetivo determinar la influencia del estudio geomecánico del macizo rocoso en el diseño de sostenimiento de la rampa 1 de la labor esperanza de la U.E.A Marianne. Complementariamente se debe clasificar mediante el RQD, RMR, Longitud de diseño de sostenimiento y espaciamiento de instalación.

La hipótesis de esta tesis explica que el comportamiento geomecánica del macizo rocoso influye favorablemente en la selección del diseño de sostenimiento subterráneo de la mina U.E.A MARIANNE.

La investigación desarrollada es cuantitativo, no experimental, la variable independiente es el estudio geomecánica y la dependiente es el diseño sostenimiento. La unidad de estudio Población o universo en estudio está representada labor esperanza uno de la unidad U.E.A MARIANNE y La muestra poblacional está representada por la rampa número uno de la unidad U.E.A MARIANNE.

Con esta tesis se concluye que el RQD promedio es 95.26%, calificándola como una roca muy buena. La clasificación del RMR se determinó de acuerdo a Bienawski 89, es 70 calificándola como una roca buena. El tipo de sostenimiento a usar es pernos sistemáticos, la longitud del perno es 1.58 y el espacio de instalación es de 2.37.

**Palabras clave:** Estudio geomecánica, Longitud de perno, Diseño de sostenimiento, Pernos sistemáticos.

## ABSTRACT

The objective of this thesis is to determine the influence of the geomechanical study of the rock mass in the design of support of the ramp 1 of the hopeful work of the U.E.A Marianne. In addition, it must be classified using the RQD, RMR, Length of support design and installation spacing.

The hypothesis of this thesis explains that the geomechanical behavior of the rock massif favorably influences the selection of the underground support design of the U.E.A MARIANNE mine.

The research developed is quantitative, not experimental, the independent variable is the geomechanical study and the dependent is the design sustainability. The unit of study Population or universe under study is represented by the hope of one of the U.E.A MARIANNE unit and the population sample is represented by the number one ramp of the U.E.A MARIANNE unit.

This thesis concludes that the average RQD is 95.26%, qualifying it as a very good rock. The RMR classification was determined according to Biegalski 89, it is 70 qualifying it as a good rock. The type of support to use is systematic bolts, the length of the bolt is 1.58 and the installation space is 2.37.

**Keywords:** Geomechanical study, Bolt length, Support design, Systematic bolts.

## INTRODUCCIÓN

El estudio realizado sobre la caracterización del macizo rocoso, corresponde a una investigación tecnológica con la utilización de la metodología científica que inicia con la concepción de la idea; el estudio va referido con la conservación de la caracterización del macizo rocoso dentro de un labor subterráneo en la U.E.A Marianne; explica cómo la toma de datos y la caracterización del macizo rocoso sirve para elegir un tipo de sostenimiento y así disminuir la caída de rocas o derrumbes durante las operaciones unitarias desarrolladas en dicha mina.

Considerando la importancia de la formación científica, tecnológica y humanista como ingeniero de minas, el motivo que conllevó a la elección del tema fue el de conocer cómo las propias condiciones de la minería subterránea influyen en los accidentes de los trabajadores que allí laboran.

La investigación consta de 4 Capítulos básicamente:

En el **Capítulo I**, se considera el entorno físico tales como antecedentes, ubicación, accesibilidad, clima, recursos; en el entorno geológico está



considerando geología local, regional, estructural, económica. En el **Capítulo II**, se plantea la referencia del marco teórico tales como la importancia, beneficios, pautas.

El **Capítulo III**, que consiste en la metodología para realizar la investigación, así como problemas de estudio, delimitación, objetivos, justificación o importancia, identificación de variables, diseños de estudio, población o muestra y las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Finalmente, en el Capítulo **IV**, realizaremos el análisis, discusión e interpretación de los resultados obtenidos,

Los métodos lógicos de investigación utilizados son el **analítico-sintético**, es analítico pues se descompuso el fenómeno de estudio en sus partes, sintético pues de dichas partes nuevamente partimos hacia el todo para generar conocimientos generales, así como las conclusiones.

La técnica de investigación empleada es la **descriptiva** pues en base a la revisión de la literatura se compilo de manera sistemática las diversas fuentes primarias, secundarias y terciarias (presentados en el dossier de la investigación). Por último, los procedimientos empleados para la elaboración del presente trabajo son el digitalizado y manual.

Existe numerosa bibliografía en lo que respecta a geomecánica propiamente, encontradas mayormente en la biblioteca del Perù, si bien es cierto han contribuido al desarrollo de la investigación, pero escasa relación con la minería, es decir, presentan conceptos, definiciones muy generales. También, se pudo encontrar algunas tesis e informes de

prácticas pre-profesionales en dicha Facultad, relacionados al tema, que como dije anteriormente, no existe relación con la minería; es necesario entonces estudios similares al presentado en esta investigación que sirvan como referencia.

Por lo anteriormente dicho, los alcances que presenta el estudio realizado es que servirá como guía o referencia para posteriores investigaciones similares, puesto que he tratado, en lo posible, de contrastar la teoría presentada en la bibliografía con las condiciones reales de la mina.

**El autor.**

## **SUMARIO**

PORTADA.....	I
DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
RESUMEN .....	IV
ABSTRACT.....	V
INTRODUCCIÓN.....	VI
SUMARIO .....	IX

## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

1.1. Entorno físico.....	12
1.1.1. Antecedentes Históricos.....	12
1.1.2. Ubicación.....	13
1.1.3. Accesibilidad.....	13
1.1.4. Clima.....	14

1.1.5. Recursos.....	14
1.2. Entorno Geológico.....	16
1.2.1. Geología Regional.....	15
1.2.2. Geología Local.....	19
1.2.3. Geología estructural.....	20
1.2.4. Geología económica.....	22

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN**

2.1. Marco Teórico.....	25
2.1.1. Antecedentes.....	25
2.1.2. Definición de términos.....	29
2.1.3. Bases teóricas.....	35
2.1.4. Características del macizo rocoso.....	35
2.1.5. RQD (Rock Quality Designation).....	45
2.1.6. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).....	47
2.1.7. Determinación del RMR (Bieniawski 89) .....	49
2.1.8. Parámetros Deformationales de la Roca Intacta.....	52

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

3.1. Problema de estudio.....	54
3.1.1. Descripción de la realidad problemática.....	54
3.1.2. Formulación del problema.....	55
3.2. Delimitación.....	55

3.3. Objetivos.....	55
3.3.1. Objetivo General.....	55
3.3.2. Objetivos Específicos.....	55
3.4. Justificación e importancia.....	56
3.5. Limitaciones.....	56
3.6. Alcances.....	57
3.7. Hipótesis.....	57
3.7.1. Hipótesis General.....	57
3.7.2. Hipótesis Especifico.....	57
3.8. Identificación y clasificación de variables.....	57
3.8.1. Variable Independiente.....	57
3.8.2. Variable Dependiente.....	57
3.9. Diseño del estudio.....	57
3.10. Población y muestra.....	58
3.10.1. Población.....	58
3.10.2. Muestra.....	58
3.11. Técnicas e instrumento de recolección de datos.....	58
3.11.1. Técnicas.....	58
3.11.2. Instrumentos.....	58

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

4.1. Caracterización geomecánica del macizo rocoso .....	59
4.2. Cálculo del RQD.....	59

4.3. Clasificación de la roca según RMR.....	60
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	72
ANEXOS.....	74

## **CAPÍTULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1. Entorno Físico**

##### **1.1.1. Antecedentes Históricos**

REFAS MINERALIEN S.A.C, es una empresa peruana, cuyo objetivo es la exploración, extracción de minerales y producción de minerales auríferos. Inició sus actividades económicas el 01 de mayo de 2009, con una producción de 10 ton/día.

Anteriormente dicha unidad funcionaba como Minera San Francisco explotando de manera artesanal, por razones estrictamente empresariales se cambió de razón social a REFAS MINERALIEN S.A.C para luego operar dicha unidad minera como semi-mecanizada, con equipos de limpieza y acarreo, dos scoops (Scoop ST7, Scoop ST2G N° 3) y equipos de carguío (Camioneta D8S-805 acondicionado como Anfotrack).

Actualmente la producción de mineral es de 600 TM/mes, siendo este mineral tratado en la planta concentradora, que se encuentra en chala a una hora aproximada de la mina obteniendo luego concentrados de oro, los cuales son luego comercializados.

Con la finalidad de mantener en el futuro altos niveles de eficiencia y competitividad, para hacer frente a las crecientes exigencias del mercado, asumimos como parte de nuestra política la protección del medio ambiente y la prevención y control de los riesgos de seguridad y salud ocupacional de nuestro personal.

### 1.1.2. Ubicación

La mina Marianne esta ubicada en el departamento de Arequipa, provincia de Caraveli, distrito de Chaparra, geográficamente se ubica entre las coordenadas UTM 605083 E y 8241536 N, a una altitud de 1050 a 2000 m.s.n.m.

### 1.1.3. Accesibilidad

El acceso a la mina Marianne es recorriendo las siguientes rutas:

RUTA	Km.	TIEMPO	CONDICIONES
Lima-Chala	614	10 hrs.	Asfaltado
Chala-Mina Marianne	54	1 hrs	Afirmada
RUTA	Km.	TIEMPO	CONDICIONES
Arequipa-Chala	398	7 hrs.	Asfaltado
Chala-Mina Marianne	54	1 hrs	Afirmada



#### 1.1.4. Clima

El clima es muy variado, generalmente se debe a la diferencia de cota y a la distancia con relación a la línea de playa, factores que determinan 3 tipos de clima. La faja litoral se caracteriza por tener clima templado y húmedo; durante la mayor parte del año se encuentra nublada y las precipitaciones son ocasionales, dando lugar al crecimiento de pastos naturales.

En la cadena costanera prevalece un clima semicálido muy seco (desértico o árido subtropical), se estima el volumen total de las precipitaciones anuales entre los 80 mm y 150 mm. Algunos años se presentan completamente secos. La temperatura media diurna se sitúa entre 18 y 20 °C, mientras que la temperatura nocturna promedio oscila entre 5 y 8 °C. Las condiciones climáticas constituyen trabas que dificultan el desarrollo agrícola. En la peneplanicie Subandina, el clima es seco y por lo tanto se trata de una zona árida. Las lluvias se presentan por lo general en los meses de enero, febrero y marzo.

#### 1.1.5. Recursos

**A) Fauna:** La cadena costanera se caracteriza por presentar sectores de planicies, colinas y montañas con clima perárido y semicálido, relieve semiaccidentado, vegetación conformada por asociaciones de *tillandsia* y en las planicies altas, vegetación efímera estacional. Dentro de los pisos ecológicos del país, esta zona se encuentra en la Yunga, caracterizada por la producción de aludes de manera frecuente, con periodicidad anual entre los meses de enero y marzo. En la zona se encuentra la siguiente fauna:

Aves: gallinazos (*coragys atratus*) y palomas (*leptotila verreauxi*)

Reptiles: lagartijas (*tropidurus peruviana*).

**B) Flora:** en la zona del valle cerca de la costa, antes de ascender a las partes altas donde se ubican las áreas mineras, se observa la presencia de árboles nativos como los molles y huarangos; frutales como perales, manzanos, higueras y alguna vegetación rala. Sin embargo, a medida que se avanza hacia el este, aguas arriba, la vegetación se reduce a huarangales (*prosopis sp.*) y a una vegetación xerófila.

**C) Los recursos hídricos:** No existe presencia de agua.

**D) Humanos:** Los pobladores de los numerosos caseríos y pueblos pequeños situados a lo largo de la Carretera Panamericana Sur y partes bajas de los valles de la franja aurífera se dedican a la agricultura alternada con la ganadería.

La actividad minera se hace presente en esta zona mayoritariamente mediante mineros artesanales formales, organizados por las ONGs que vienen trabajando con ellos, y mineros artesanales informales no organizados que se dedican a la búsqueda y explotación del oro en concesiones de terceros; además, se tiene la presencia de pequeñas empresas en actual producción.

## 1.2. Entorno Geológico

### 1.2.1. Geología Regional

Hasta el conocimiento actual, Los yacimientos auríferos en la franja sur media de la costa peruana son primarios, es decir, vetas muy delgadas emplazadas en rocas volcánicas o sedimentarias. La composición mineralógica predominante de estas vetas es relativamente simple, consiste esencialmente en cuarzo y pirita aurífera.

**A) Grupo Moquegua.**-En el sur del Perú, desde la zona de Caravelí hasta el Norte de Chile, los depósitos del Grupo Moquegua cubren una amplia extensión que alcanza los pies de la Cordillera Occidental hasta la Cordillera de la Costa y el borde marino; la litología del Grupo está compuesta por rocas sedimentarias continentales intercaladas con rocas volcánicas, esencialmente ignimbritas, dentro de las que se distinguen de la base al techo: La Formación Moquegua Inferior formada por los miembros A y B, de granulometría fina con intercalaciones marinas, también denominadas Formación Sotillo; y la Formación Moquegua Superior, integrada por los miembros B y C, de granulometría gruesa a conglomerática, también denominada Formación Millo (Vargas, 1970; Marocco, 1984; Ropperch et al 2006; Sempere et al., 2009). Las intercalaciones de ignimbritas dentro del Grupo Moquegua han servido para obtener edades radiocronológicas, de tal manera que en las proximidades de Caravelí una ignimbrita

datada dio una edad de  $44.5 \pm 0.4$  Ma ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en 2 biotitas y 1 hornblenda) dichas ignimbritas se encuentran exactamente en el límite de la unidad Moquegua A y Moquegua B. La Unidad Moquegua A tiene un espesor de 250 m en este sector y está compuesta por lodolitas y limolitas arcillosas de color rojizo (Marocco, 1984) por lo que la edad estimada de 50 Ma para la base del Grupo Moquegua es muy razonable (Ropperch et al 2006).

En el sur del Perú, el contacto entre la unidad Moquegua C sobre la Formación Huaylillas puede ser descrita como transicional debido a que las ignimbritas están intercaladas en la parte superior de la Unidad Moquegua C y también delgadas capas de conglomerados localmente están intercalados con las ignimbritas Huaylillas inferiores. La edad más antigua obtenida por el método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en una ignimbrita de un espesor  $>2$  m fue de  $25.52 \pm 0.09$  Ma en Moquegua, y la datación  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  más joven en estas ignimbritas fue de  $16.11 \pm 0.13$  Ma en el sector de Aplao. Las ignimbritas más jóvenes (10–9 Ma) y menos voluminosas son reconocidas en el frente de arco del Sur del Perú y frecuentemente se les asigna a la Formación Huaylillas s.l. (Ropperch et al 2006).

**B) Rocas intrusivas.** - De acuerdo a los estudios realizados por Pitcher W.S., (1985) y Cobbing J., (1979), el Batolito de la Costa ha sido emplazado en forma alargada, paralela al litoral, siguiendo una gran zona de debilidad cortical, y ha sido dividido en cinco segmentos, denominados: Piura, Trujillo, Lima, Arequipa y Toquepala. Cada uno de

ellos; tanto en su estructura como en su composición mineralógica; constituyen un gran complejo, constituido por centenares de plutones individuales.

En el segmento de Arequipa; se ha diferenciado cinco grandes súper unidades que son: Patap, Pampahuasi, Incahuasi, Linga y Tiabaya. En la zona del yacimiento; solamente aflora la súper unidad Linga e Incahuasi, cubiertas por rocas de edad Terciaria y Cuaternarias, intruyen rocas metamórficas del Complejo Basal de la Costa; así como las rocas hipoabisales del Intrusivo Volcánico Bella Unión. Estas rocas del batolito también están intruidas por un grupo más joven de rocas hipoabisales; de naturaleza sub volcánica; en forma de diques y pequeñas apófisis.

### **C) Rocas Plutónicas**

#### **Súper Unidad Linga (K-gd-I)**

Este emplazamiento magmático corresponde a los más antiguos del segmento Arequipa, dentro del área de estudio sus afloramientos están restringidos en la faja más occidental; mejor expuesta en los cuadrángulos de Cháparra y Chala; donde se prolonga al sector sur-occidental al cuadrángulo de Jaquí y también ocupan el límite sur oeste del cuadrángulo de Caravelí.

Sus afloramientos se encuentran alrededor de la súper unidad Incahuasi, la litología de esta unidad es la monzonita; pero tiene variaciones internas de monzogabro, monzodiorita, tonalita, granodiorita, monzogranito y granito. Sus contactos no son claramente

definidos y expuestos; por estar cubiertos por depósitos terciarios; de rocas piroclásticas y cuaternarios; como depósitos aluviales, o por encontrarse en sectores de intensa fracturación.

Los afloramientos más conspicuos de la monzonita Linga; afloran al oeste de la pampa de Sónдор y al sur de la pampa del Toro; limite oeste del cuadrángulo de Pausa y Caravelí; en los cerros altos de Bombón donde está constituido por un núcleo hipoabisal subvolcánico (Intrusivo Volcánico Bella Unión) bordeado por un monzogranito.

### **1.2.2. Geología Local**

**A) Estratigrafía.** - En el área solo afloran algunas unidades litológicas y corresponden al Intrusivo Volcánico Bella Unión de ocurrencia anterior a los intrusivos del Batolito Jurásico – Cretácico, y a rocas intrusivas de composición granodiorítica - tonalítica que se emplazaron durante el Cretácico a Terciario y finalmente como coberturas en ciertas áreas afloran rocas volcánicas de la Formación Sencca.

**B) Rocas Intrusivas.** - En Mina Marianne aflora la superunidad Incahuasi emplazada en el Cretácico Superior - Terciario Inferior y están cubiertos por volcánicos Terciarios.

#### **C) Súper Unidad Incahuasi (Ks-gd/mz-in) (Ks-di-in)**

Esta superunidad se ha emplazado en el Cretáceo Superior, intruyendo al Intrusivo Volcánico Bella Unión y está cubierto con discontinuidad por el Volcánico Sencca. Está conformada por intrusivos granodioríticos, dioríticos y 24 tonalíticos, donde la

granodiorita es la roca principal y se presenta en forma homogénea, estas rocas son de grano medio, con coloraciones o tonalidades claras (leucócratas), donde predominan las plagioclasas sobre la ortosa, cuarzo en menor proporción y los minerales accesorios están conformados por anfíboles y biotita.

Las estructuras mineralizadas reconocidas en la zona de estudio, hospedadas en esta superunidad están formadas principalmente por cuarzo acompañado por óxidos de hierro de potencias considerables, por lo contrario, al Intrusivo Volcánico Bella Unión, no fue un ambiente favorable para la deposición del oro, ya que los valores de Au son muy bajos, como el caso de los resultados de algunos muestreos que se obtuvieron en superficie, en trincheras realizadas a lo largo de un tramo de la ladera Norte de la quebrada Calpa. En la zona mineralizada de Charpas en este intrusivo; se observan trabajos de minería informal con una buena extracción de mineral de buena ley.

### **1.2.3. Geología estructural**

Estructuralmente el área se encuentra en la zona de emplazamiento del Batolito de la Costa, la cual, según Pitcher et al., (1984) siguió una faja de debilidad cortical de dirección noroeste que sigue el patrón estructural andino, producido entre el Jurásico al Terciario inferior. La intrusión batolítica está constituida por una serie de cuerpos plutónicos e hipoabisales; de diferente composición.

### **Fallas Importantes**

A nivel regional fallas de rumbo este - oeste y noroeste, atraviesan toda la franja mesotermal de Au - Cu, considerándose las del primer sistema, las más antiguas, aunque no es fácil precisar el desplazamiento; cuando estas se cruzan. Muchas de estas fallas han sido reactivadas.

Entre las fallas más importantes en la zona de estudio tenemos:

#### **Falla Pan de Azúcar**

Es de dirección E-O en el sector sureste del cuadrángulo de Chaparra, tienen planos de falla verticales y otros planos conjugados sub paralelos. El ancho promedio es de 7 km y una longitud de 30 km.

Esta estructura afecta a las diferentes unidades de la zona como el Intrusivo Volcánico Bella Unión; en el río Atico se le encuentra relleno por conglomerados de la Formación Millo, el movimiento de esta falla ha servido como margen de una cuenca de deposición del material conglomerádico proveniente del noreste, y luego de acumularse dentro de ella, posteriormente fue cubierto por el volcánico Sencca. Estos graben se desarrolló durante la superficie de erosión y relleno del Mioceno superior hasta el Plioceno.

Otras fallas de menor importancia, son post mineralización del yacimiento, estas son de tipo dextral – sinistral, y son las causantes de desplazamientos, estrangulamientos, inflexiones y empobrecimientos de las vetas de la mina Marianne. Esta familia de fallas tiene un rumbo promedio de N30°E a N60°E, con buzamientos de 60° a 70° NW; algunas son relativamente fuertes, forman parte de las quebradas principales, denominadas geomorfológicamente como Valles Transversales.



#### **1.2.4. Geología económica**

La característica principal de las vetas de la Mina Calpa, son brechiación importante y también ramales de enlace con un sistema de fracturas paralelas y parcialmente divergentes, aparentemente relacionadas entre sí. El country rock es propitilizado con clorita, también presenta seritización, carbonatos y pirita incluidos a lo largo de las fisuras de la roca.

##### **A) Estructuras Mineralizadas**

La mineralización de Mina Marianne, son vetas con anchos desde 0.10 m., hasta ensanchamientos mayores de 1.00 m., del tipo rosario, con algunos ramales formando sigmoides. Según sus características mineralógicas, el depósito es un yacimiento epítermal de metales preciosos del tipo filoneano por relleno hidrotermal de fallas y fracturas sub-verticales pre-existentes en un campo de actividad geotérmica intensa profunda.

El tipo de mena es de oro nativo libre en los horizontes oxidados, en la zona de sulfuros el oro está asociado a la pirita. Los minerales de ganga son cuarzo opalino y jasperoide en la parte superior con calcita y algunas brechificaciones, 35 gradando a cuarzo granulado lechoso en los horizontes de sulfuros con calcita, abundante pirita, calcopirita, bornita y calcantita en algunas vetas. Los óxidos hematitas, limonitas, y jarositas, están en los horizontes oxidados.

Vetas como Esperanza y Sin Nombre tienen alteración hidrotermal fuerte y ancha, debido a que están acompañadas por vetillas de cuarzo.

**B) Veta Rosita.-** Esta veta de tipo rosario presenta considerables estrangulamientos, está localizada en la zona de Sur del yacimiento, conforma una zona de oxidación supérgena de 80 m; mantiene un rumbo promedio de N85°W y un buzamiento de 65°NE, con potencia de mineralización promedio de 0.30 metros, contorneada por escaso cuarzo lechoso, con poca pirita fina granulada, pirita masiva, cristalización moderada en piritos, venas de calcita rosada, pirita disseminada y en venillas, venillas de calcopirita y una alteración argílica intermedia. En la zona de oxidación se encuentran limonitas (Hematita, jarosita, goethita, limonita).

**C) Veta Paola. -** Está localizada en la zona Norte del Yacimiento, conforma una oxidación supérgena de 60 m; mantiene un rumbo promedio de S82°E y un buzamiento de 75°NE, con potencia de mineralización promedio de 0.30 metros, conformada por cuarzo lechoso, pirita granulada fina puntos de calcopirita y una alteración argílica intermedia con presencia de caolinita. La zona de oxidación está formada por limonitas (Hematita, Jarosita, goethita, Limonita).

**D) Genesis del yacimiento. -** El oro está contenido en el cuarzo, en la pirita y mayormente en la calcopirita, en forma molecular y posiblemente atómica. Esta es la conclusión de las secciones púldas, que nos indica que, durante la deposición de pirita y otros sulfuros, el oro ha sido absorbido desde las soluciones coloidales en varias proporciones sobre la superficie de los sulfuros, pero no íntegramente dentro del mineral; teniendo en cuenta estas condiciones podríamos

decir que el oro migrado en suspensión coloidal, en solución, depositándose al final del periodo de mineralización, siendo absorbido en parte sobre sulfuros. Uno de los muchos factores que causaría de la coagulación oro - sol, sería el escape de ciertos volátiles tales como el CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>S, siendo probablemente el más importante y principal estabilizador el depósito de la sílice, de manera que cuando el volumen de la sílice es depositado, el oro también sería precipitado.

En consecuencia, no creemos que el oro fue contenido en las emanaciones, separado de un magma residual silicatado, probablemente después de la neutralización de las emanaciones ácidas, el oro recurre como un sol, estabilizado por la presencia de H<sub>2</sub>S Na<sub>2</sub>S y sílice, persistiendo esta forma hasta el final del periodo depósito.

Después de la cristalización de los silicatos, el magma residual ha consistido principalmente de aguas volátiles, con mucha sílice y varios metales densos. La reacción es ácida y la separación es efectuada por un proceso de ebullición, aumentando la presión rápidamente. Los ácidos son prontamente neutralizados o pasan a alcalinos por contacto con las rocas vecinas y ascienden hacia la superficie, quizá impedidos por la presión del gas desde abajo. La reacción con el country rock continúa y se inicia al depósito de mineral. Cuando la solución alcanza el estado de las aguas meteóricas subterráneas, mayor reacción tiene lugar, teniendo las soluciones a mezclarse con tales aguas, originando un depósito característicamente epítermal.

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTACIÓN

#### **2.1. Marco Teórico**

##### **2.1.1. Antecedentes**

Pozo (2014), en su tesis “Análisis Numérico del Mecanismo de Falla en Macizos Rocosos Fracturados Considerando el Efecto Escala” afirma que la evaluación de la estabilidad de taludes en macizos rocosos con estructura en bloques es realizada mediante técnicas empíricas y en menor frecuencia por métodos numéricos, tanto para las etapas de diseño como para su verificación in situ. Un método alternativo de análisis, tal como la simulación numérica, se muestra como una herramienta para lograr este objetivo. Esta

tesis muestra que la aplicación del Método de Elementos Finitos, con la representación explícita de las discontinuidades (denominado J-MEF), es una alternativa al uso del Método de los Elementos Discretos para el análisis del mecanismo de rotura en macizos rocosos con una estructura en bloques. Por otro lado, se comprobó que la utilización de modelos constitutivos, como el modelo elástico perfectamente plástico, permite evaluar el tipo de rotura de los taludes rocosos considerando el factor escala, además de calcular el factor de seguridad (FS) mediante la técnica de reducción de los parámetros (Método SSR). En la tesis, también se compara el factor de seguridad obtenido por métodos convencionales de Equilibrio Límite y por el Método de Elementos Finitos, así como la comparación de resultados obtenidos aplicando el Método J-MEF y el Método de Elementos Discretos. Finalmente, aplicando la metodología de la proyección estereográfica, se diseñan los taludes de un tajo abierto, para posteriormente analizar numéricamente la influencia del efecto escala considerando varias fases de excavación mediante el método J-MEF (Pozo, 2014)

Blas,(2016) En su tesis titulado “la geomecanica en el sostenimiento en la mina ricotona lambrama – 2016” afirma que el presente trabajo de investigación se realiza por motivos de que en la minería artesanal han ocurrido problemas de desprendimiento de rocas, muchas de ella han causado la perdida de muchos trabajadores, se realizara un periodo de tiempo de 6 meses, con el objetivo de determinar el sistema de sostenimiento de acuerdo a la identificación de la resistencia a la compresión simple en la

mina RICOTNA 2016, en la cual se realizara la Determinar la resistencia a la compresión simple del macizo rocoso estudiada.

Proponer un criterio de diseño para la excavación de la labor, Proponer el tipo de sostenimiento que pueda realizarse según el estudio del macizo rocoso. Se estudiará la estructura del macizo rocoso para aplicar la Geomecánica, de acuerdo al análisis obtenido determinaremos el sistema de sostenimiento que se aplicará en la labor. El mecanismo de investigación que se realizara de forma cualitativa y cuantitativa.

Los estudios Geomecánica están referidos a la determinación de las características del macizo rocoso, mediante el análisis litológico estructural del mismo; para posteriormente establecer las características del comportamiento mecánico del macizo rocoso, determinando las propiedades físicas, mecánicas y la resistencia compresiva del macizo rocoso y del mineral. Finalmente se realiza la determinación de los dominios estructurales, para así establecer un factor de seguridad del macizo rocoso frente a la apertura de la labor con un sistema de sostenimiento para un adecuado proceso de minado.

**GEOMECÁNICA APLICADA AL CONTROL DE LAS LABORES MINERAS  
PARA LA MINIMIZACIÓN DE CAÍDA DE ROCAS EN LA MINA  
MADRUGADA COMPAÑÍA MINERA HUINAC SAC-ANCASH-2009**

Luis Alberto Torres Yupanqui, Arnaldo Alejandro Ruiz Castro, José Daga Huaricancha, Jesús Gerardo Vizcarra Arana- Universidad Nacional "Santiago Antunez de Mayolo"

El presente trabajo de investigación descriptivo, analítico y cuasi experimental tiene por objetivo aplicar la geomecánica al Yacimiento Minero Madrugada, toda vez que la UEA (Unidad Económica Administrativa) Admirada Atila aplica métodos subterráneos para la explotación de su yacimiento polimetálico con contenidos de minerales de plomo, plata, zinc y cobre y a la fecha no tiene un conocimiento real de las consideraciones cualitativas y cuantitativas del macizo rocoso en el cual viene aplicando sus operaciones de minado, tan necesario en la actualidad para realizar trabajos que optimicen los resultados técnicos.

De operación y por ende consideraciones económicas que optimicen los resultados. Los estudios geomecánicos están referidos a la determinación de las características del macizo rocoso, mediante el análisis litológico estructural del mismo; para posteriormente establecer las características del comportamiento mecánico del macizo rocoso, determinando las propiedades físicas, mecánicas y la resistencia compresiva del macizo rocoso y del mineral. Finalmente se realizó la determinación de los dominios estructurales, para establecer el factor de seguridad del macizo rocoso frente a la apertura de las labores mineras para un adecuado proceso de minado. Se ha determinado que el macizo rocoso sobre el cual se ejecuta las labores mineras de minado es de una mediana a alta competencia. Geomecánica; Dominios estructurales; Fábrica de roca; Resistencia compresiva.

### 2.1.2. Definición de términos

#### **Afanítica**

Textura de las rocas constituidas por minerales o partículas muy finas, sólo pueden ser discriminadas al microscopio. Esta textura es característica de las rocas volcánicas.

#### **Aglomerado**

Conjunto de fragmentos rocosos, heterogéneos en cuanto a forma y composición, consolidados generalmente por materiales finos (arena, limo, arcilla).

#### **Agregado**

Conjunto de minerales más o menos uniformes, pertenecientes a una o más especies.

#### **Alteración**

Proceso de modificación de los minerales y rocas por acción de los agentes de erosión: agua, viento, hielo, sol, etc. Sinónimo: Intemperismo, meteorización.

#### **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.

#### **Bloque**

Fragmento de roca de dimensiones superiores a 20 cms. de diámetro.

#### **Brújula**

Instrumento que sirve para medir el rumbo y azimut y el buzamiento de las estructuras geológicas.

#### **Buzamiento**

(Dip), término usado para indicar el ángulo de inclinación de las rocas estratificadas o de estructuras geológicas.



**Cizallamiento**

Es el proceso de fracturamiento de las rocas debido a los esfuerzos tectónicos.

**Chimeneas**

Denominados también cuellos volcánicos son intrusiones que han dado origen a los conos volcánicos.

**Compactación**

Disminución del espesor o potencia de la secuencia estratigráfica por el peso y la presión de las rocas suprayacentes.

**Conglomerado**

Roca sedimentaria compuesta de cantos rodados cementados en una matriz fina.

**Contactos litológicos**

Que comúnmente forman, por ejemplo, la caja techo y caja piso de una veta.

**Deformación**

Modificación que sufre una roca o material por acción de una o más esfuerzos.

**Deformación elástica**

Cuando una roca se deforma por acción de un esfuerzo, y al cesar dicho esfuerzo la roca o material deformado recupera su forma original.

**Deformación plástica**

cuando una roca o material se deforma por acción de un esfuerzo y al cesar dicho esfuerzo la roca o material alterado conserva su deformación.

**Desplazamiento**

Es la distancia recorrida por un bloque rocoso a través de un plano de movimiento.

**Detrítico**

Roca formada por fragmentos o detritus provenientes de la erosión de rocas pre-existentes.

**Diaclasas**

También denominadas juntas, son fracturas que no han tenido desplazamiento y las que comúnmente se presentan en la masa rocosa.

**Diques**

Son intrusiones de roca ígnea de forma tabular, que se presentan generalmente empinadas o verticales.

**Esfuerzo**

Fuerza aplicada sobre un área y/o superficie que tiende a cero.

**Espacio**

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

**Estudios Geomecánico**

Temas en ciencias de la tierra relacionados con la caracterización de masas de las rocas y de la mecánica de las rocas, como se aplica a la industria del petróleo o altas profundidades, diseño de túneles, rotura de las rocas, y los útiles de perforación.

**Estratificación**

Disposición paralela o subparalela que toman las capas de las rocas sedimentarias, durante su sedimentación.

**Estrato**

Es la roca formada por la sedimentación de fragmentos o partículas provenientes de la desintegración de las rocas pre-existentes.

**Estructura**

Esta referido a la disposición, arreglo y cohesión de los materiales constituyentes de un determinado cuerpo rocoso.

**Exfoliación**

Propiedad de las rocas de separarse en forma de láminas, cuando se refiere a minerales es sinónimo de clivaje.

**Falla**

Desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro colindante a esta o de ambos bloques, a través de un plano denominado "plano de falla".

**Granulometría**

Tecnología que se encarga de dictar normas correspondientes para determinar las dimensiones y las formas de los fragmentos de los materiales detríticos.

**Gravedad**

Es la fuerza de atracción que ejerce la tierra sobre los cuerpos que se ubican en la superficie terrestre.

**Macizo**

Termino usado en geotecnia para referirse a áreas rocosas cuyo núcleo esta constituido de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.

**Masa rocosa**

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

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

**Muestra**

Pedazo de roca o mineral, de un tamaño y peso adecuado que pueda servir de elemento del cual se pueda obtener toda la información necesaria para realizar un estudio propuesto.

**Orientación**

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

**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.

**Planos de estratificación**

Dividen en capas o estratos a las rocas sedimentarias.

**Planos de foliación o esquistosidad**

Se forman entre las capas de rocas metamórficas dando la apariencia de hojas o láminas.

**Plasticidad**

Propiedad de las rocas de deformarse al recibir un esfuerzo conservando la deformación al cesar el esfuerzo.

**Pliegues**

Son estructuras en las cuales los estratos se presentan curvados., son intrusiones de roca ígnea de forma tabular, que se presentan generalmente empinadas o verticales.

**Porosidad**

Es la relación existente entre el volumen de los intersticios porosos y el volumen total de la roca o suelo. La porosidad se expresa siempre en porcentaje.

**Proyección**

Representación grafica sobre un plano horizontal de las diferentes estructuras geológicas, topográficas o cualquier tipo de estructura, que se ubica encima o debajo de este plano.

**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.

**RMR**

La clasificación RMR (Rock Mass Rating, o evaluación del macizo rocoso), establecida por Bieniawski en 1989, es la base directa o indirecta de numerosas aplicaciones para el empleo de rocas en rellenos y excavación de túneles.

**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.

**Rumbo**

Dirección que sigue la línea de intersección formada entre el plano horizontal y el plano del estrato o estructura geológica, con respecto al norte o al sur.

**RQD**

Se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje) sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo.

**Rugosidad**

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

**Saturación**

Cantidad de agua necesaria para que una roca porosa y permeable tenga todo su volumen de vacíos lleno de agua.

**Suelo**

Cobertura superficial de la corteza terrestre producto de la alteración de los minerales de las rocas pre-existentes. La formación del suelo implica la meteorización química de los minerales primarios dando lugar a nuevos minerales.

**Talud**

Superficie inclinada del terreno que se extiende de la base a la cumbre del mismo.

**Textura**

tamaño, forma y disposición de los minerales componentes de las rocas.

**Venillas**

Son rellenos de las fracturas con otros materiales.

**Zonas de corte**

Son bandas de material que pueden ser de varios metros de espesor, en donde ha ocurrido fallamiento de la roca.

**2.1.3 Bases Teóricas****2.1.4 Características del macizo rocoso**

La cuantificación de las características estructurales y Geomecánica de las rocas circundantes a las estructuras mineralizadas, tienen una justificación técnica y económica para una explotación racional, segura y rentable; su

utilización está orientada para el planeamiento y diseño, selección de equipos, diseño de la perforación, voladura y sostenimiento de labores mineras superficiales y subterráneas.

Para conocer la masa rocosa, hay necesidad de observar en el techo y las paredes de las labores, 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.

#### **2.1.4.1. FUNDAMENTACION**

La cuantificación de las características estructurales y geomecánicas de las rocas circundantes a las estructuras mineralizadas, tienen una justificación técnica y económica para una explotación racional, segura y rentable; su utilización esta orientada para el planeamiento y diseño, selección de equipos, diseño de la perforación, voladura y sostenimiento de labores mineras superficiales y subterráneas.

La implementación de un sistema de información geomecánica en las diferentes actividades mineras; para su aplicación en el diseño de labores mineras, comprenderá realizar los siguientes estudios:

- \* Caracterización del macizo rocoso, a través de:
  - Levantamiento litológico – estructural.
- \* Caracterización del comportamiento mecánico de la masa rocosa y sus Componentes; a través de:
  - ° Ensayos de laboratorio: Determinación de Propiedades Físicas y

Propiedades Mecánicas de la roca y mineral.

° Ensayos In-situ.

Índice de la calidad de la roca: RQD.

- \* Clasificación geomecánica del macizo rocoso.
- \* Zoneamiento de la masa rocosa.

#### **2.1.4.2. LEVANTAMIENTO LITOLÓGICO - ESTRUCTURAL**

Consiste en registrar información Litológica-estructural de la masa rocosa, este trabajo debe ser ejecutado; mediante las observaciones de campo, utilizando normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas - ISRM (Society International For Rock Mechanic's), en las diferentes labores de acceso, desarrollo y preparación para la explotación futura de la operación minera.

La información entre otras, estará constituidos por litología, meteorización, alteraciones, presencia de agua, tipo, forma de superficie de las discontinuidades, espaciado, continuidad y frecuencia de las diaclasas, y la orientación y rumbo de las estructuras y/o discontinuidades.

Esta información debe ser evaluada, cuantificada a través de un tratamiento computarizado; mediante la aplicación de Software: "DIP'S" para determinar el número de familias de discontinuidades "Jn" (Joint Set Number) y "UNWEDGE" para determinar la presencia de cuñas, y/o áreas inestables, se adjuntan los formatos en los anexos para la toma de los datos de campo... Los resultados serán ploteados en cada estación por niveles; en el caso de labores subterráneas y labores superficiales, en planos geológicos estructurales,



debiendo de analizar además de la información estructural las orientaciones preferentes de las discontinuidades, ubicación de las estaciones de muestreo; consecuentemente la elaboración de un plano composito de las características estructurales. Toda la información servirá como base para establecer la clasificación geomecánica de la masa rocosa entorno de la operación minera.

En complemento a la información litológica estructural es necesario realizar estudios petromineralógicos de las rocas y minerales característicos y representativos de la zona.

#### **2.1.4.3. CARACTERÍSTICAS DEL COMPORTAMIENTO MECANICO DE LA MASA ROCOSA Y SUS COMPONENTES**

##### **ENSAYOS DE LABORATORIO**

Comprenderá determinar las propiedades físicas y mecánicas de los diferentes materiales rocosos, entre roca y mineral a partir de un muestreo selectivo y representativo en sectores característicos de la operación minera, incluyendo rocas de la diversidad de formaciones geológicas como, por ejemplo: formaciones Chimú, Santa, Goyllirisquisga, Carhuaz y diferentes tipos de mineral como, por ejemplo: piritoso, Skarn, Chiroje, Marmatita, Vuggy Silica.

Los ensayos deben realizarse en el laboratorio de Mecánica de Rocas, utilizando normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas - ISRM (Society International For Rock Mechanic's), a partir de muestras de roca y /o mineral procedente de la mina técnicamente extraídos y transportados.

Estos deben ser sometidos a los siguientes ensayos:

**Propiedades Físicas:**

Densidad

Porosidad

Aparente,

Peso Especifico Aparente

Absorción en peso.

**Propiedades Mecánicas:**

Ensayo de Compresión Uniaxial.

Ensayo de Carga Puntual.

Ensayo de Corte Directo.

Ensayo para la determinación de Constantes Elásticas.

Ensayo de Compresión Triaxial.

Ensayo de Tracción Indirecta – Brasilero.

Los resultados serán ploteados en un plano composito por niveles en caso de labores subterráneas y labores superficiales. De las características estructurares.

**ENSAYOS IN –SITU**

En la operación minera se debe implementar un sistema de control instrumental para garantizar la estabilidad de las labores mineras subterráneas y superficiales. A través de:

**Convergencia mediante:**

Extensómetros de varillas

Extensómetros de cinta

Extensómetros de hilo

Extensómetros eléctricos

**Subsidencia mediante:**

Inclinómetros

Estación Total (Teodolito y distanciómetro Electrónico)

**Rebote mediante:**

El martillo Schmidt de Dureza

**Nivel y/o caudal del agua mediante:**

Piezómetros

Los resultados serán ploteados en planos. Esta información representa datos adicionales para garantizar la estabilidad de labores subterráneas y superficiales de una operación minera.

#### **2.1.4.4. ÍNDICE DE CALIDAD DE LA ROCA**

La Calidad de la roca se determina mediante el RQD (Rock Quality Designation) por tres métodos descritos en el capítulo anterior:

**Primer método:**

Se basa en la recuperación en porcentaje de piezas enteras mayores a 100 mm. Con relación a longitud total de una perforación diamantina.

**Segundo método:**

Se basa en el número de discontinuidades por metro lineal

**Tercer método:**

Se basa en el número de discontinuidades por metro cúbico.

El valor RQD es representativo para cada tramo, representa además un valor numérico de la calidad de la roca; en este sentido, es necesario utilizar toda la información de las perforaciones diamantinas y los datos de campo referidos al número de discontinuidades.

#### **2.1.4.5. CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO.**

Con los resultados y análisis de la información litológica-estructural, la resistencia compresiva uniaxial de las rocas y/o mineral, se debe elaborar la clasificación geomecánica del macizo rocoso utilizando criterios de Bieniawski (CSIR), Laubscher and Taylor, Barton (NGI), Marinos and Hoek (GSI), en algunos casos Protodyakonov. Con el objetivo de determinar la calidad del macizo rocoso.

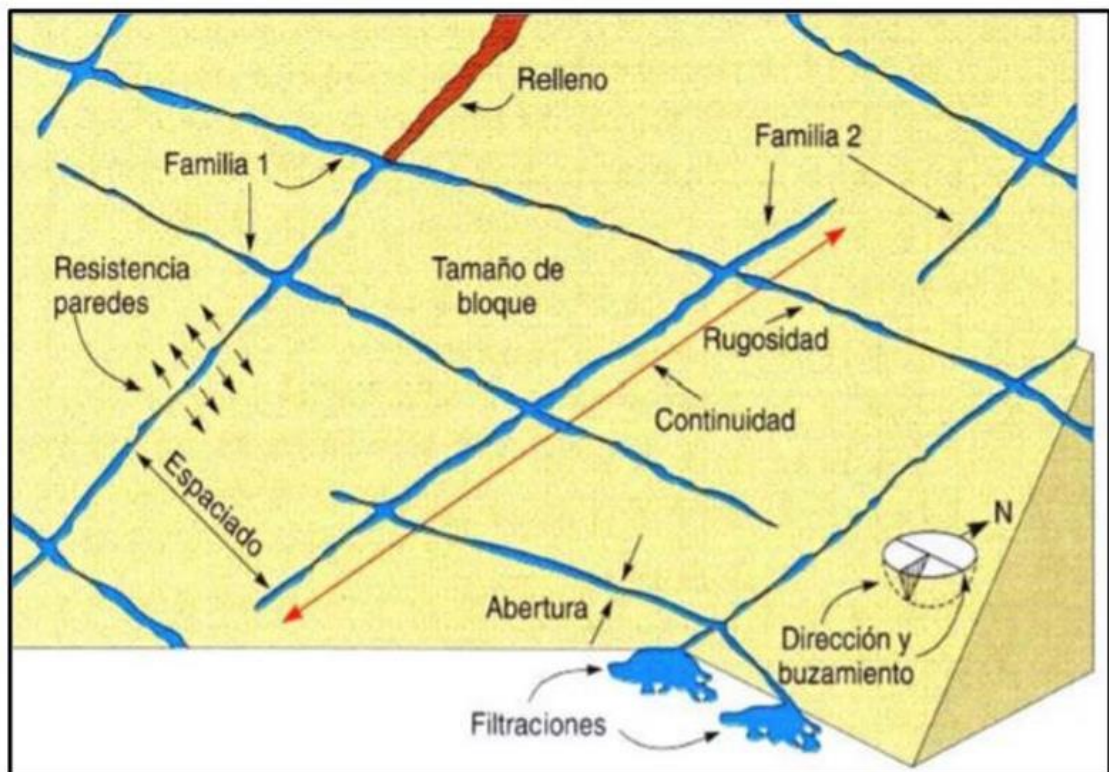
#### **Características de la roca**

La roca se diferencia de la mayoría de otros materiales utilizados en la ingeniería. Esta tiene discontinuidades (fracturas) de diferentes tipos, que hacen que su estructura sea discontinua. Además, debido a los procesos geológicos que la han afectado entre el tiempo de su formación y la condición en la cual la encontramos en la actualidad, presenta heterogeneidades y propiedades variables. Todas estas características requieren ser evaluadas en forma permanente durante el laboreo minero. Primero es necesario distinguir lo que es el “material rocoso” o también denominado “roca intacta”

y lo que es la “masa rocosa” o también denominada “macizo rocoso”. (Gonzales. 2002, p.52).

### Propiedades y parámetros de las discontinuidades

La descripción y medida de las discontinuidades se realiza a cada familia de discontinuidades para cada afloramiento. Usando como parámetros: la orientación, espaciado, continuidad, rugosidad, abertura, relleno y grado de meteorización/alteración, para mayor detalle ver la Figura 1. (Gonzales. 2002, p.53).



**Figura 1:** Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades. Fuente: Gonzales, 2002

### Identificación:

Tipos de Discontinuidades

- Diaclasas o Juntas Superficies de fractura, de desplazamiento inexistente o muy pequeño): J1, J2 ...
- Fallas Superficies de fractura, de desplazamiento relativo entre los bloques: F1, F2 ...
- Planos de estratificación propio de rocas sedimentarias, limitan los estratos: S0...
- Planos de esquistosidad propio de rocas metamórficas deformadas: S1, S2
- Superficies de laminación propia de rocas sedimentarias, se encuentran limitadas por láminas.
- Superficies de contacto límite entre litologías, en rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas.

### **Descripción de las discontinuidades**

- Orientación La orientación está referida a la dirección y buzamiento de las discontinuidades; así como a la obtención de familias de discontinuidades. (Gonzales, 2002, p.58)
- Espaciado: Se refiere a la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia y la medición del mismo se realiza con una cinta métrica colocada de forma perpendicular a los planos a ser medidos, registrándose la distancia entre discontinuidades adyacentes. (Gonzales, 2002, p.59)

En los testigos de perforación diamantina el espaciado se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Espacio Promedio} = \frac{\text{Longitud evaluada}}{\text{Número de discontinuidades}}$$

- Continuidad o Persistencia Longitud o extensión superficial del plano de la discontinuidad. (Gonzales, 2002, p.62)
- Rugosidad: Son las irregularidades observadas a lo largo de las superficies de discontinuidad. La descripción de dicho parámetro se realiza de acuerdo a dos escalas: métrica y milimétrica, según la primera las superficies pueden ser: planas, onduladas o escalonadas y por la segunda pueden ser: pulidas, lisas o rugosas. (Gonzales, 2002, p.63)
- Resistencia de las paredes:
  - ✓ Influye en la resistencia al corte y en la deformabilidad del plano de discontinuidad.
  - ✓ Influida por: la roca matriz, el relleno y la meteorización (menor en las discontinuidades).
  - ✓ Se determina a partir del martillo Schmidt o mediante los índices de campo: R0 – R6. (Gonzales, 2002, p.65)
- Abertura: Representa la distancia medida sobre la perpendicular común entre las paredes de la discontinuidad y su medida se realiza directamente con una regla graduada en milímetros. (Gonzales, 2002, p.66)
- Relleno: Corresponde al material de naturaleza distinta a la roca de las paredes encontrado entre las discontinuidades. (Gonzales, 2002, p.66)
- Filtraciones El agua procede mayoritariamente del flujo en discontinuidades (permeabilidad secundaria), en rocas sedimentarias puede haber también permeabilidad en la matriz rocosa (permeabilidad primaria). (Gonzales, 2002, p.67)

- Grado de alteración: Es el grado de alteración que se muestra en las superficies de las discontinuidades, por lo general es mayor al grado de alteración del macizo. (Gonzales, 2002, p.67)

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

### **Condiciones de la masa rocosa**

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

Si la roca intacta es dura o resistente y las discontinuidades tienen propiedades favorables, la masa rocosa será competente y presentará condiciones favorables cuando se excava. (Gonzales, 2002, p.72)

Si la roca intacta es débil o de baja resistencia y las discontinuidades presentan propiedades desfavorables, la masa rocosa será incompetente y presentará condiciones desfavorables cuando sea excavada.

Habrán situaciones intermedias entre los extremos antes mencionados donde la roca tendrá condiciones regulares cuando se excava. (Gonzales, 2002, p.77)

### **2.1.5. RQD (Rock Quality Designation)**

La fracturación del macizo rocoso está definida por el número, espaciado y condiciones de las discontinuidades, cualquiera que sea su origen y clase. El grado de fracturación se expresa habitualmente por el valor del índice RQD "Rock Quality Design". (Deere, 1967, p.153)

El índice RQD viene dado por la siguiente fórmula:



$$RQD = \frac{\sum \text{Longitud de trozos de testigo} > 10\text{cm}}{\text{Longitud total}} \times 100$$

**Tabla N° 1**

**Clasificación de RQD**

RQD%	Calidad de Roca
<25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Regular
75-90	Buena
90-100	Excelente

**Fuente:** ISMR 1981

**RQD cuando no hay testigo**

Palmstrom (1982) sugirió que, cuando no están disponibles los testigos, pero las trazas de las discontinuidades son visibles en afloramiento superficiales o socavones, estimar con:

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

Donde

$J_v$  = Es la suma de las discontinuidades por unidad de longitud de todas las familias de discontinuidades.

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$$

$\lambda$  = Numeros de discontinuidades por metro lineal

### **2.1.6. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)**

Los siguientes seis parámetros son usados para clasificar una masa rocosa con el sistema RMR.

1. Resistencia compresiva uniaxial del material rocoso.
2. Designación de la calidad de la roca (RQD).
3. Espaciamiento de las discontinuidades.
4. Condiciones de las discontinuidades.
5. Condiciones del agua subterránea.
6. Orientación de las discontinuidades.

En la aplicación de este sistema de clasificación, la masa rocosa es dividida en un número de regiones estructurales y cada región es clasificada en forma separada.

El sistema RMR es presentado en la tabla 2:

**Tabla N° 2 Clasificación RMR Geomecánica de Bieniawski, 1989 Parametros de clasificación.**

PARAMETRO		ESTIMACION Y ESCALA DE VALORES									
1	Resistencia de la roca sana	Carga puntual MPa⇔	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Únicamente Compresión Simple				
		Kg/cm <sup>2</sup> (aprox)⇔	100	40 - 100	20 - 40	10 - 20					
	Compr. Simple MPa⇔	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5-25	1-5	< 1			
		Kg/cm <sup>2</sup> (aprox)⇔	> 2 500	1 000-2 500	500 - 1 000	250 - 500	50-250	10-50	<10		
Valoración			15	12	7	4	2	1	0		
2	RQD %		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25				
	Valoración			20	17	13	8	3			
3	Separación de discontinuidades		> 2 m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m				
	Valoración			20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades (ver guía especial)		Muy rugosas. Discontinuas. Sin separaciones. Borde sano y duro.	Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes duros.	Ligeramente rugosas. Abertura <1mm. Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1 - 5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasa Continua				
	Valoración			30	25	20	10	0			
5	Presencia de agua	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 - 25 L/min	25 - 125 L/min	>125 L/min				
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno $\sigma_w / \sigma_1$	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5				
	Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo					
	Valoración			15	10	7	4	0			
6	Corrección por orientación de las discontinuidades (ver guía especial)										
	Dirección y Buzamiento		Muy favorable	Favorable	Medio o regular	Desfavorable	Muy desfavorable				
	Valoración para	Túneles	0	- 2	- 5	- 10	- 12				
		Cimentación	0	- 2	- 7	- 15	- 25				
Taludes		0	- 5	- 25	- 50	- 60					

Guía especial para valorar el factor 4. Valoración del estado de las discontinuidades.

Parámetro	Valoración				
Longitud de la discontinuidad (Persistencia)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
	6	4	2	1	0
Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
	6	5	3	1	0
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando
		< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
	6	4	2	2	0
Alteración	Inalterado	Ligeramente alterado	Moderadamente alterado	Muy alterado	Descompuesto
	6	5	3	1	0

Guía especial para valorar el factor 6. Dirección (rumbo, inclinación y buzamiento) de las discontinuidades principales respecto a la orientación de la obra.

<i>Inclinación &gt;20°</i>				<i>Inclinación &gt;20°</i>		<i>Inclinación ≤ 20°</i>
Rumbo de las discontinuidades: <i>perpendicular</i> al eje de la obra				Rumbo de las discontinuidades: <i>paralelo</i> al eje de la obra		Rumbo y buzamiento de las discontinuidades: <i>cualquiera</i>
Excavación con el buzamiento		Excavación contra el buzamiento				
Incl. 45° - 90°	Incl. 20° - 45°	Incl. 45° - 90°	Incl. 20° - 45°	Incl. 45° - 90°	Incl. 20° - 45	Inclinación 0°-20°
Muy favorable	Favorable	Media o regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Media o regular	Desfavorable

### 2.1.7. Determinación del RMR (Bieniawski 89)

#### Resistencia a la Compresión Simple (UCS)

#### Determinación de la resistencia a la compresión simple:

##### - En campo

Pruebas: índices indirectos o índices de campo.

Ensayos sencillos: martillo Schmidt, carga puntual.

- **En laboratorio:** ensayos mecánicos: compresión uniaxial.

##### Índices de campo:

Primera aproximación del valor de la resistencia: valoración cualitativa que permite tabular y establecer una estimación cuantitativa del rango de resistencia de suelos cohesivos y rocas, para mayor detalle ver Tabla 1. (Gonzales, 2002, p.92).

**Tabla N° 3***Resistencia de la roca*

Clase	Clasificación de la roca según su resistencia	Resistencia a la Compresión (MPa)	Estimación en Terreno de la Resistencia
R6	Extremadamente Resistente	> 250	Golpes de la picota, sólo causan descostramientos en la roca.
R5	Muy Resistente	100 – 200	Un trozo de roca requiere varios golpes de la picota para fracturarse.
R4	Resistente	50 – 100	Un trozo de roca requiere más de un golpe de la picota para fracturarse.
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe de la picota, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.
R2	Débil	5 – 25	Un golpe con la punta de la picota deja una indentación superficial.
R1	Muy Débil	1 – 5	La roca se disgrega al ser golpeada con la punta de la picota..
R0	Extremadamente Débil	0.25 – 1	La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.

**Fuente:** *Gonzales, 2002*

Ensayo de carga puntual o ensayo PLT (Point Load Test):

Ensayo sencillo de campo o laboratorio, a utilizar sobre fragmentos de roca o testigos, (resultados más fiables para testigos); ensayo no indicado para rocas blandas o anisotrópicas. (Gonzales, 2002, p.96) El ensayo consiste en aplicar una carga puntual a un trozo de roca hasta la rotura, y obtener un índice ( $I_s$ ) mediante la expresión:

$$(I_s = \frac{P}{D^2} \times 100)$$

Dónde:

P = carga de rotura

D = diámetro de la muestra (distancia entre puntas) El índice obtenido ( $I_s$ ) está relacionado con la resistencia a la compresión simple ( $\sigma_c$ ); relación para testigos de 50 mm es:  $\sigma_c = 23 I_s$ , para otros diámetros existen gráficos de corrección.

**Tabla N° 4**

Resistencia de la roca en MPa

CLASE	DESCRIPCIÓN (ISMR)	$I_s$ (MPa)	UCS (MPa)
R0	Extremadamente blanda	*	0.25 – 1
R1	Muy blanda	*	1 – 5
R2	Blanda	*	5 – 25
R3	Moderadamente dura	1 – 2	25 – 50
R4	Dura	2 – 4	50 – 100
R5	Muy dura	4 – 10	100 – 250
R6	Extremadamente dura	> 10	> 250

**Fuente:** ISRM, 1981. Bienawski, 1973

### Grado de Alteración

Es la estimación de las alteraciones que cambian las características de las rocas, modificando así sus propiedades (porosidad ↑, permeabilidad ↑, deformabilidad ↑, resistencia ↓). (Suárez, 1998, p.83).

Tabla N° 5

## Clasificación de la alteración de la roca

GRADO	TÉRMINO	DESCRIPCIÓN	EXTENSIÓN DE LA DECOLORACIÓN	CONDICIÓN DE FRACTURA	CARACTERÍSTICAS DE SUPERFICIE
1	Fresca (Fresh)	No hay signos visibles de material rocoso intemperizado, tal vez leve decoloración en las superficies de discontinuidades mayores	Ninguna	Cerradas y leve descoloridas	Sin cambio
2	Débil ligeramente alterada (Slightly)	Decoloración indica intemperismo de la masa rocosa y de las superficies de discontinuidades. Todo el material rocoso puede estar decolorado por intemperismo y a veces podría ser más débil que cuando fresca.	Ext. <20% del espaciamiento de fracturas, sobre ambos lados de la fractura.	Decoloración, y podría contener relleno fino	Parcial decoloración
3	Moderadamente alterada (Moderately)	Menos del 50% del material de roca está descompuesta y/o desintegrada a un suelo. La roca fresca o descolorida está presente como una estructura continua o en pedazos.	Ext. >20% del espaciamiento de fracturas, sobre ambos lados de la fractura.	Decoloración, y podría contener un amplio relleno	Parcial a completa decoloración, no es friable excepto en rocas pobremente cementadas
4	Altamente alterada (Highly)	Más del 50% del material de roca está descompuesta y/o desintegrada en suelo. La roca fresca o descolorida está presente como una estructura discontinua, o en pedazos.	De lado a lado	Relleno con alteración de minerales	friable y posiblemente llena de agujeros
5	Completamente alterada (Completely)	Casi el 100% del material de roca está descompuesta y/o desintegrada a un suelo. La estructura original de la masa rocosa aún permanece intacta en gran parte.	De lado a lado	Relleno con alteración de minerales	Semejante a un suelo
6	Suelo residual (Residual soil)	Todo el material rocoso está convertido en suelo. La estructura de la masa rocosa y la fábrica están destruidas. Hay un gran cambio en el volumen, pero el suelo no ha sido transportado de manera significativa	De lado a lado	N/A	Semejante a un suelo

Fuente: *Gonzales, 2002*

### 2.1.8. Parámetros Deformacionales de la Roca Intacta

#### El módulo de Young, E:

Se define como la relación lineal elástica entre el esfuerzo aplicado y la deformación producida en la dirección de aplicación del esfuerzo. (Gonzales, 2002, p.103) La constante elástica E está dada por la siguiente fórmula:

$$E = \frac{\sigma}{e}$$

Donde:

$\sigma$  : Esfuerzo aplicado en una dirección.

e: Elongación en dirección del esfuerzo.

### **Coefficiente de Poisson, $\nu$ :**

Define la relación entre la elongación transversal y longitudinal. Ambas constantes se obtienen del ensayo de compresión simple y definen las características de la deformación elástica estática de la roca. (González, 2002, p.105)

La constante elástica  $\nu$  está dada por la siguiente fórmula:

$$\nu = \left( \frac{e_t}{e_l} \right)$$

Donde:

$e_t$  :  $(w - w_0)$  Elongación transversal.

$e_l$ :  $(l - l_0)$  Elongación longitudinal.

Una roca dura con comportamiento frágil presenta mucho mayor módulo de Young y menor coeficiente de Poisson que una roca blanda con comportamiento dúctil.



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. PROBLEMA DE ESTUDIO**

##### **3.1.1. Descripción de la Realidad Problemática**

Mediante el recorrido de la zona, se observó las diferentes condiciones geológicas, geomecánicas y de seguridad en la Rampa 1 de la labor de la U.E.A. MARIANNE, identificándose entre otros los siguientes:

Condiciones geomecánicas de la masa rocosa que demuestra existencia de deformaciones radiales o convergencias pronunciadas, presencia de derrumbes aislados a lo largo de la rampa.

No existe estudios formales y detallados de la calidad y resistencia de la roca circundante a esta rampa.

### 3.1.2. Formulación del Problema

#### 3.1.2.1. Problema Principal

¿Cómo influye el comportamiento geomecánica del macizo rocoso en el diseño de sostenimiento en la rampa 1 de la labor esperanza de la U.E.A. MARIANNE-AREQUIPA, 2018?

#### 3.1.2.2. Problemas Secundarios

✚ ¿Serán adecuados las características geomecánicas del macizo roco para el diseño de sostenimiento?

### 3.3. OBJETIVOS

#### 3.3.1. Objetivo General

➤ Determinar la influencia del comportamiento geomecánico del macizo rocoso en la rampa 1, de la labor esperanza de la U.E.A. MARIANNE-AREQUIPA, 2018.

✚ **COMPRENDER** El comportamiento geomecanico del macizo roco de la rampa 1, de la labor esperanza.

#### 3.3.2. Objetivos Específicos

➤ Determinar la influencia de la calidad del macizo rocoso mediante el cálculo del RMR Bienawski 89, en el diseño sostenimiento subterráneo.

➤ Determinar el tipo de sostenimiento según los parámetros de RMR Bienawski 89.

### 3.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El estudio geomecánica es la base para el diseño de sostenimiento en una explotación minera subterránea, ya que contribuye a la reducción de accidentes y caída de rocas.

En vista de lo expuesto; la presente tesis pretende ser un aporte técnico metodológico en el cual se obtendrá resultados para una adecuada selección de método de sostenimiento según las características geomecánicas del macizo rocoso.

Esta tesis beneficia a la empresa U.E.A MARIANNE, ya que podrá contar con la tesis como base para la realización y selección del diseño de sostenimiento en la rampa 1.

Las personas, estudiantes y empresas que deseen investigar información sobre caracterización geomecánica para el diseño de sostenimiento de minas subterráneas podrán contar con esta tesis.

**3.4.1. Justificación personal.** - El presente trabajo de investigación, servirá para nuestra formación profesional, por ende, para la concretización de los objetivos del curso de **Investigación Científica**.

Mediante el presente trabajo de investigación se podrá sacar nuestra tesis así poder titularnos como futuros ingenieros de minas de tal manera podamos contribuir con el desarrollo de la sociedad en conjunto.

### 3.5. LIMITACIONES

La empresa U.E.A MARIANNE actualmente no cuenta con estudios ingenieriles básicas de la calidad de la roca.

### **3.6. ALCANCES**

Los niveles o alcances de la presente investigación están enfocados de la siguiente manera:

Alcance descriptivo, ya que se pretende describir las características de la masa rocosa.

### **3.7. HIPOTESIS**

#### **3.7.1. Hipotesis general**

El comportamiento geomecánico del macizo rocoso influye favorablemente en el diseño de sostenimiento subterráneo en la rampa 1 de la labor esperanza de la mina U.E.A MARIANNE – Arequipa, 2018.

#### **3.7.2. Hipotesis específico**

La calidad del macizo rocoso mediante el cálculo del RMR Bienawski 89, influye favorablemente en el diseño sostenimiento subterráneo en la rampa 1 de la labor esperanza de la mina U.E.A MARIANNE – Arequipa, 2018.

El tipo de sostenimiento según los parámetros de RMR Bienawski 89 es favorable en la rampa 1 de la labor esperanza de la mina U.E.A MARIANNE – Arequipa, 2018.

### **3.8. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE VARIABLES**

#### **3.8.1. Variable Independiente**

Comportamiento geomecánico.

#### **3.8.2. Variable Dependiente**

Diseño de sostenimiento.

### **3.9. DISEÑO DEL ESTUDIO**

Descriptivo, comparativo y analítico.

- ✚ Recopilación de datos sobre la caracterización geomecánica del macizo rocoso de la rampa 1 de la labor esperanza U.E.A Marianne.
- ✚ El tipo de investigación de acuerdo con el propósito o a las finalidades perseguidas, la investigación es aplicada.
- ✚ La estrategia en el diseño de la investigación seguida en el presente trabajo es del tipo: cuantitativo, no experimental y finalmente, podemos clasificar la investigación de acuerdo a los medios que se han utilizado para obtener los datos. En este caso tendremos, investigación de campo.

### **3.10. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.10.1. Población**

La Población o universo en estudio está representada labor esperanza uno de la unidad U.E.A MARIANNE-Arequipa, 2018.

#### **3.10.2. Muestra**

La muestra poblacional está representada por la rampa numero uno de la unidad U.E.A MARIANNE-Arequipa, 2018.

### **3.11. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.11.1. Técnicas**

Se usarán las técnicas de observaciones de campo.

#### **3.11.2. Instrumentos**

Tablas de clasificación geomecánica RMR (Bienawski 89).

Tablas de clasificación de resistencia de la roca en laboratorio.

Tabla de clasificación de alteración de rocas (Gonzales, 2002).

Brujula

Picota

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso

##### Datos de Campo

Espaciamiento:	32.13 cm
Persistencia:	3.50 m
Apertura:	2mm
Rugosidad:	Medianamente Rugoso
Relleno:	No existe
Intemperización:	Sano (Roca todavía no alterada)
Presencia de Agua:	No existe Agua

**Tabla N° 6**

#### 4.2. Calculo del RQD

$$RQD=100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda+1)$$

Donde:

$$\lambda = \frac{\text{Numero de Juntas}}{\text{Span}}$$

$$\lambda = \frac{12}{3.48} = 3.45$$

$$\text{RQD} = 100e^{-0.1 \cdot 3.45} (0.1 \cdot 3.45 + 1)$$

$$\text{RQD} = 95.26\%$$

#### 4.3. Clasificación de la Roca Según RMR será:

##### Correlacion Entre el Indice RMR y el Indice Q

$$\text{Bieniawski RMR} = 9 \cdot \ln Q + 44$$

$$\text{Abad RMR} = 10,5 \cdot \ln Q + 42$$

$$\text{Rutledge RMR} = 13,5 \cdot \ln Q + 43$$

##### Sostenimiento a Partir del Indice Q

Para estimar el sostenimiento a partir del índice Q, se define los siguientes parámetros:

##### 1. Utilizar la relación para calcular el valor de Q

$$\text{RMR} = 9 \cdot \ln Q + 44$$

$$Q = e^{\left(\frac{\text{RMR} - 44}{9}\right)}$$

$$Q = e^{\left(\frac{70 - 44}{9}\right)}$$

$$Q = 17.97$$

##### 2. Calcular el diámetro equivalente del túnel (De)

Para relacionar el valor de índice Q, la estabilidad y requerimiento de sostenimiento de excavaciones subterráneas, Barton (1974) definió un parámetro adicional al que se le denomina la dimensión equivalente (De) de la excavación. Esta dimensión se obtiene dividiendo el (vano,

diámetro, o la altura) de la pared de la excavación entre una cantidad llamada la relación de sostenimiento ESR.

$$De = \frac{\text{Vano, Diámetro o Altura de la excavación (m)}}{ESR}$$

a) Relación de sostenimiento de excavación (ESR)

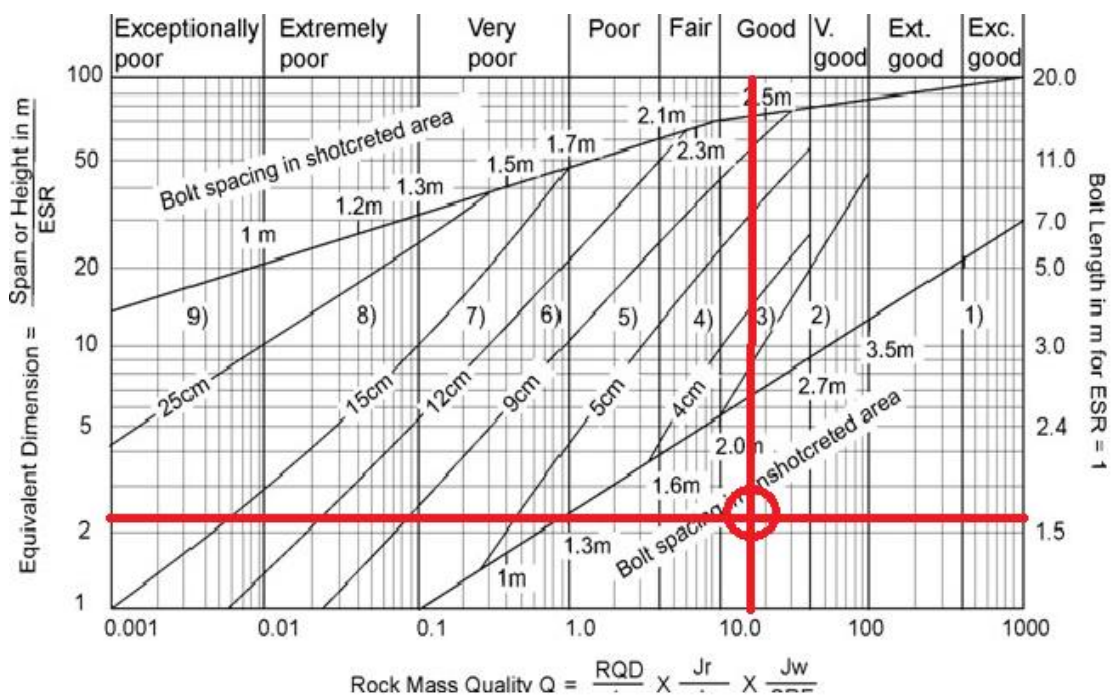
	Categoría de la excavación	ESR
A	Excavación mientras temporales	3-5
B	Aberturas mineras permanentes, túneles de conducción de agua para proyectos hidroeléctricos (incluyendo tuberías forzadas de alta presión), galerías, túneles pilotos, galería de avance.	1.6
C	Cámaras de almacenamiento, plantas de tratamiento de agua, túneles menores para carreteras o vías férreas, cámaras de equilibrio, túneles de acceso.	1.3
D	Estaciones de energía, túneles grandes para carreteras y vías férreas, refugios de defensa civiles, interacciones públicas de portales.	1.0
E	Estaciones de energía nuclear subterráneas, estaciones ferroviarias, instalaciones deportivas y públicas, fábricas.	0.8

**Tabla N° 7**

$$De = \frac{3.5 (m)}{1.6} = 2.187$$

Calculado el valor de Q y el valor de la dimensión equivalente (De) vamos al cuadro.





**Tabla N° 8**

En el eje VERTICAL del cuadro ubicamos el valor de De y trazamos una línea horizontal.

En el eje HORIZONTAL del cuadro ubicamos el valor de Q y trazamos una línea vertical.

Estas dos líneas se intersecan en un punto o zona numerada este número nos indica el tipo de sostenimiento a utilizar.

### **Categorías de reforzamiento**

1. Sin sostenimiento
2. Pernos esporádicos.
3. Pernos sistemáticos.
4. Pernos sistemáticos con shotcrete sin refuerzo, de 40-100 de espesor.
5. Shotcrete reforzado con fibras, 50-90mm y pernos.

6. Shotcrete reforzado con fibras, 90-120mm y pernos.
7. Shotcrete reforzado con fibras, 120-150mm y pernos.
8. Shotcrete reforzado con fibras, >150mm, con arcos de acero (cerchas) reforzados con shotcrete y pernos.
9. Revestimiento de concreto armado.

### Longitud de pernos (L)

Barton (1980) proporciona información adicional acerca de la longitud de los pernos, la longitud "L" de los pernos de roca pueden estimarse a partir del ancho de excavación "B" y la relación de sostenimiento de la excavación ESR.

$$L = \frac{2 + 0.15B}{ESR}$$

$$L = \frac{2 + 0.15 \cdot 3.5}{1.6} = 1.58$$

### Metodos para determinar longitud del perno

Longitud del elemento de sostenimiento respecto al ancho de la abertura

Tamaño de las anclas según clase RMR:

I MUY BUENA 81-100 Anclas ocasionales  $L = 1,4 + (0,18 \times W)$

II BUENA 61-80 Anclas locales  $L = 1,4 + (0,18 \times W)$

III NORMAL 41-60 Anclas sistemáticas  $L = 1,8 + (0,18 \times W)$

IV MALA 21-40 Anclas sistemáticas  $L = 2 + (0,18 \times W)$

V MUY MALA < 20 Marcos y anclaje  $L = 3 + (0,18 \times W)$

### Espaciamiento de los elementos

Longitud / Espaciamiento ( $L/e$ ) = 2.0

Donde:

e = espaciamiento entre anclas (m);

L = longitud de ancla (m);

W= ancho del túnel (m).

Normalmente el espaciamiento de los pernos de sostenimiento instalado sistemáticamente resulta en un mínimo de 1m y un máximo de 1.5m.

El espaciamiento entre elementos de sostenimiento puede cambiar cuando cambia los otros sistemas; ya sea shotcrete, malla de alambres, cinchas metálicas, etc.

$$\frac{L}{e} = 1.5$$

$$E = 1.58 * 1.5 = 2.37m$$

## Discusion

### ➤ **Del Objetivo 1: RQD**

Pozo en el año 2014, expresa que la fracturación del macizo rocoso está definida por el número, espaciado y condiciones de las discontinuidades, cualquiera que sea su origen y clase. El grado de fracturación se expresa habitualmente por el valor del índice RQD (Rock Quality Design). Pozo aplica la siguiente formula, la cual es aplicable a testigos:

$$RQD = \frac{\sum \text{Longitud de trozos de testigo} > 10\text{cm}}{\text{Longitud total}} \times 100$$

En esta tesis se halló el RQD primero determinando el número de discontinuidades, segundo determinando la distancia de la línea base de las discontinuidades. Para la rampa 1 de la labor esperanza la cual es 95.26% clasificándola como una roca excelente. En esta tesis se empleó la siguiente formula.

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

Donde

$J_v$  = Es la suma de las discontinuidades por unidad de longitud de todas las familias de discontinuidades.

➤ **Del Objetivo 2: RMR**

Blas (2016) en su tesis realizó la clasificación del RMR en una labor minera, se diferencia principalmente de esta tesis en la determinación de la resistencia a la compresión simple. En el antecedente la resistencia ha sido determinada mediante la compresión simple, mientras que en esta tesis la resistencia se determinó mediante martillo de Schmit. De acuerdo a nuestros resultados se determina que el martillo de Schmit brinda resultados exactos. Si bien es cierto para la clasificación de Bienawski se usa rangos o intervalos, por lo tanto, la resistencia medida en el laboratorio y medida con la picota, con el martillo de Schmit la no van a variar drásticamente estando los resultados dentro del mismo intervalo. Si se desea resultados exactos se recomienda realizar el ensayo de resistencia los cuales van a ser empleados en la determinación de la cohesión y fricción.

## **CONCLUSIONES**

1. Mediante el estudio geomecánico se determinó la calidad de la roca, para el posterior diseño de sostenimiento, corroborando la influencia directa del estudio geomecánico en el diseño de sostenimiento. La influencia del estudio geomecánico se manifiesta en la determinación de la estabilidad de la labor.
2. Se determinó el RQD para el cuerpo de rampa en la labor esperanza, en el cuerpo de la rampa 1 se obtuvo 95.26%, en la calificándola como una roca muy buena. Por tanto, el RQD influye en la elaboración del diseño de sostenimiento ya que siendo una roca muy buena calidad es necesario estabilizar.

3. La clasificación del RMR se determinó de acuerdo a Bienawski 89, el RQD promedio es 95.26%, el espaciado está en un rango de 10 a 32 centímetros, la persistencia varia de 3 a 10 metros medianamente rugosidad ondulada, sin la presencia de agua. Sumando los puntajes se obtiene un RMR de 70 calificándola como una roca buena. Influye en el diseño de sostenimiento.
  
4. Para el diseño de sostenimiento se determinó en el tipo de sostenimiento, que son mediante pernos sistemáticos y la longitud 1.58 m y ancho de instalación de la misma de 2.37m.

### **RECOMENDACIONES**

1. Debido a la variación de las características de la masa rocosa, el supervisor deberá realizar en forma permanente una evaluación de las condiciones geomecánica, conforme avanzan las labores, tanto en desarrollo como en explotación.
2. En situaciones especiales, el supervisor deberá realizar un mapeo sistemático de las discontinuidades, denominado mapeo geomecánica, utilizando métodos como el
3. “registro lineal”, para lo cual deberá extender la 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 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.



4. Realizar una actualización en estrategias para que utilicen técnicas y métodos que faciliten el proceso enseñanza y aprendizaje, ya que, aunque aplican la exposición en los educandos es necesario que exista cambios constantes en la educación. Se necesita capacitar a los capacitadores para hacer uso de estrategias innovadoras y modernas.
5. Fomentar un cambio de actitud en los trabajadores, a través de la propuesta del programa de capacitación, haciendo que se involucre más con la empresa.
6. Promover el trabajo en equipo en los trabajadores para poder desarrollar un trabajo de calidad y cumpliendo todo los procedimientos.
7. Establecer programas para dar a conocer las dimensiones que integran la autoevaluación del nivel de capacitación a fin de hacerlos conscientes de su importancia para la mejora en el desempeño laboral.
8. Tener un programa periódico de capacitación de manera grupal e individual en las distintas áreas que componen la empresa.
9. Felicitar al personal por haber participado voluntariamente en la investigación y por haberse evaluado muy bien en su capacitación y desempeño.

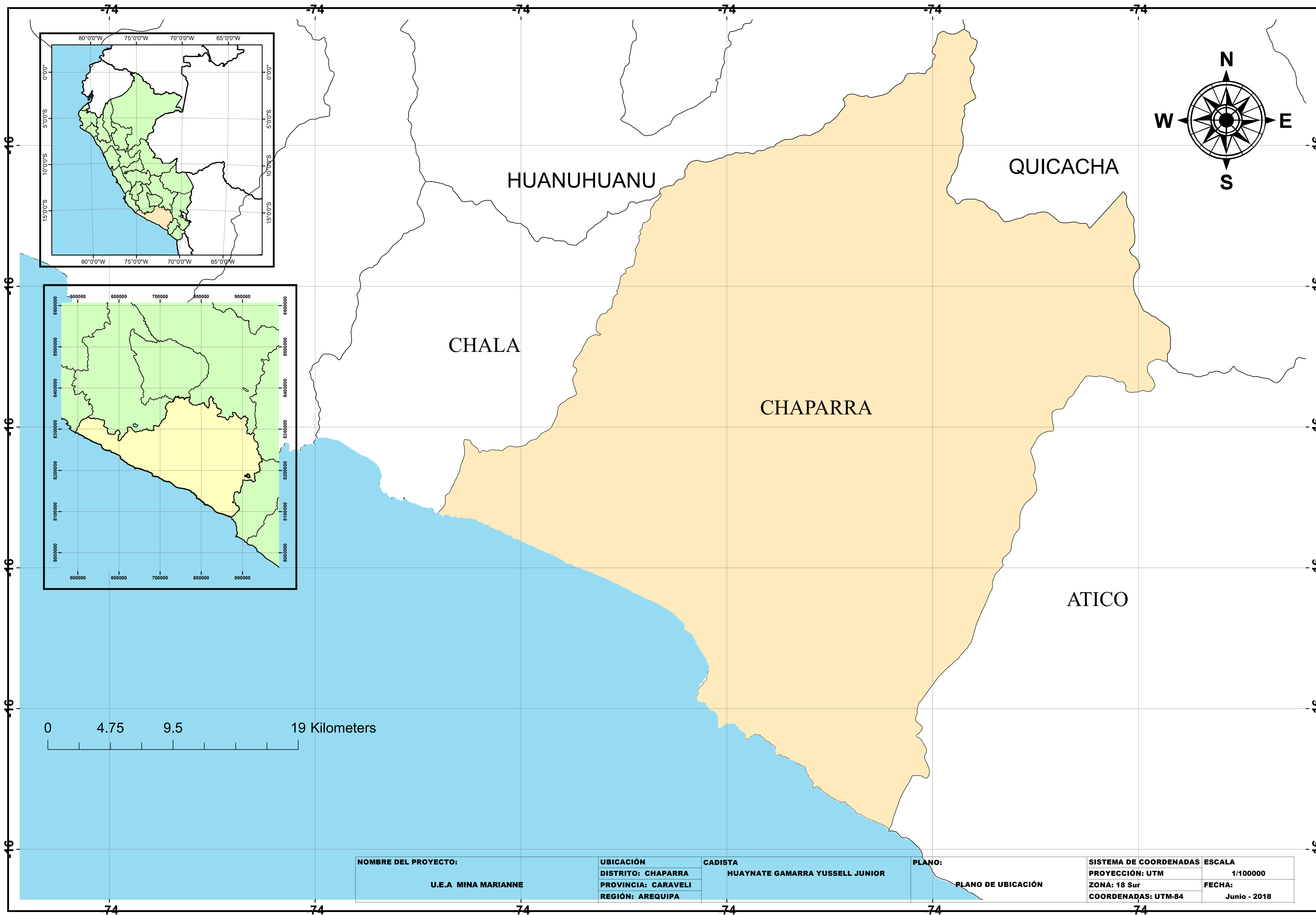
### **BIBLIOGRAFIA**

- BARTON, N.; LIEN, R., y LUNDE, J. (1974): "Engineering Classification of Rock Masses for the design of tunnel supo port O, Rack Meehanies.
- BIENIAWSKI, Z. (1973): "Engineering classification of jointed Rock Masses", Trans. S. Afr. Inst, Civ il Engineers, 15 (12), 335-344.
- BIENIAWSKI, Z. (1976): "Rock Mass Classification in Rock Engineering", in Proceedings of tbe Symposium on Rack Exploration , 97-117

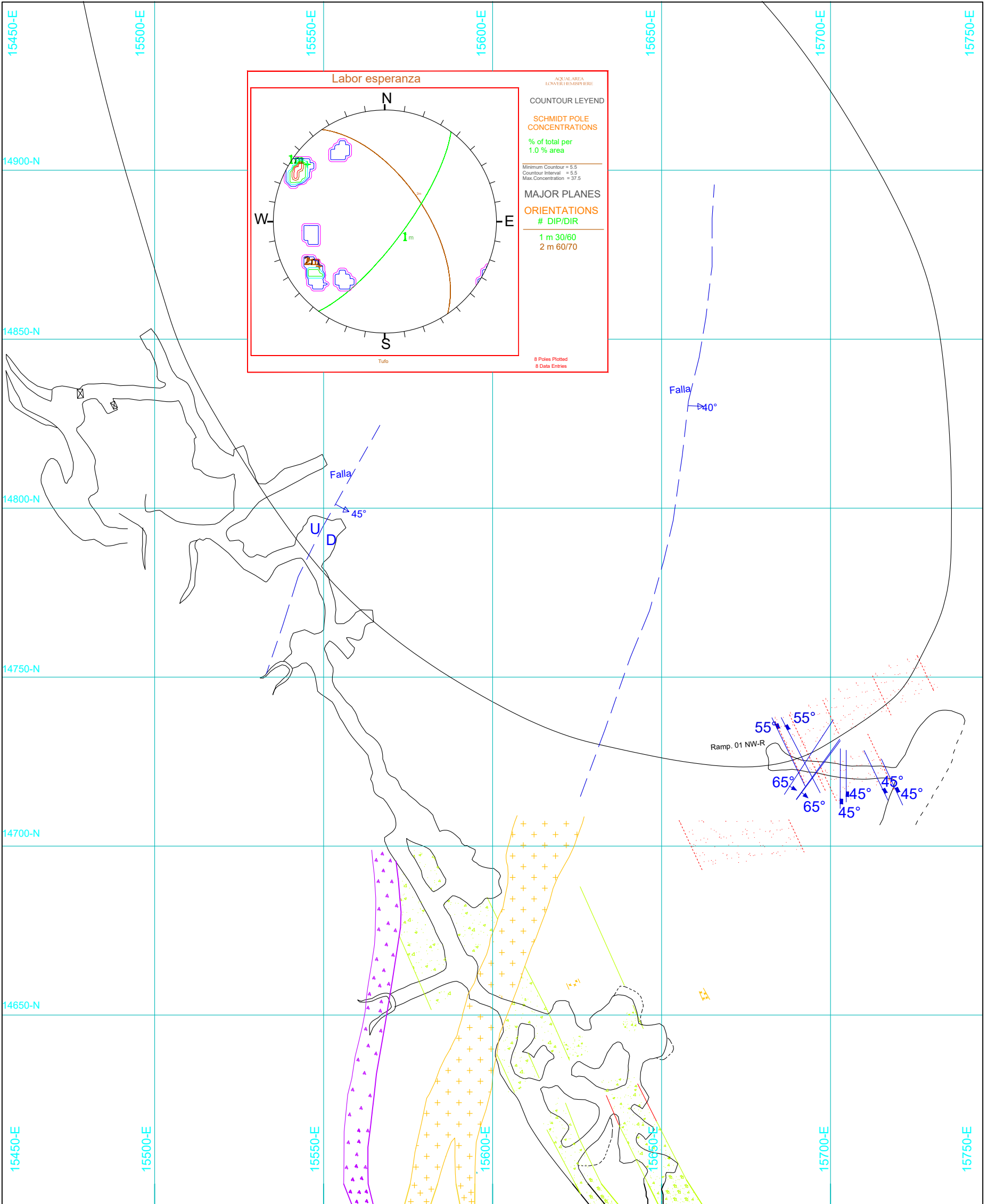
- BIENIAWSKI, Z. (1979): "Tunnel design by Rock Mass Classification". Stare University. U.S. Technical Report, GL-7919, 131 pp.
- BIENIAWSKI, Z. (1984): "Rock Mechanics design in mining and tunnelling", 271 pp. Ed. Balkema. Rotterdam.
- CABRERA, J. (2005). Estudio de Estabilidad de Taludes del tajo Suro Sur y Suro Norte "Mina la Virgen". Puno: Tesis, Universidad Nacional del Altiplano.
- CALLUPE, W. (2012). Estabilidad de Taludes del Plan de Minado Para la Vida de Mina (VDM) 2011. Lima. Perú.
- CORDOVA, D. (2008). Geomecánica en el minado subterráneo caso mina condestable. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Lima: Tesis de Postgrado, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica.
- Fernández, R. (2012). Activos Ambientales de la Minería Española. Tesis profesional. Madrid, España: Universidad de Madrid.
- GONZALEZ DE VALLEJO, L. (1982): "Clasificaciones Geomecánicas aplicadas al estudio de excavaciones subterráneas a partir de datos de superficie", Madrid.
- GONZALES, L (2002) ... ingeniería geológica. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.

- HOEK, E y BROWN, E. (1980 ): "Undergrouod excavations in rock", Institution of Mining and Metallurgy,
- MUÑOZ, Fernández L. (1987): "Incidencia de las condiciones geomecánicas en la estabilidad de excavaciones subterráneas: Desarrollo de las Clasificaciones Geomecánicas a partir de datos de superficie", Tesis de Licenciatura. Universidad Complutense Madrid.
- RODRÍGUEZ, H. (2014). Problema Estructurales y la Estabilidad de los Macizos Rocosos. Lima: El Ingeniero

# **ANEXOS**



<b>NOMBRE DEL PROYECTO:</b> U.E.A MINA MARIANNE	<b>UBICACIÓN</b> DISTRITO: CHAPARRA	<b>CADISTA</b> HUAYNATE GAMARRA YUSSELL JUNIOR	<b>SISTEMA DE COORDENADAS</b>	<b>ESCALA</b> 1/100000
	PROVINCIA: CARAVELI		<b>PROYECCIÓN:</b> UTM	<b>FECHA:</b> Junio - 2018
	REGIÓN: AREQUIPA		<b>COORDENADAS:</b> UTM-84	<b>PLANO DE UBICACIÓN</b>



**LEYENDA**

- Pórfido
- Brecha
- Veta
- Falla
- Dique dolerítico
- Manto mineralizado
- Lava andesítica
- Diaclasa



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**  
Facultad de Ingeniería de Minas  
Geología Y Metalurgia

BACHILLER: YUSSELL JUNIOR HUAYNATE GAMARRA

PLANO:

**U.E.A  
MARIANNE  
PLANO GEOLÓGICO  
ESTRUCTURAL**

SISTEMAS DE COORDENADAS

PROYECCION:  
**UTM**

ZONA:  
**18 SUR**

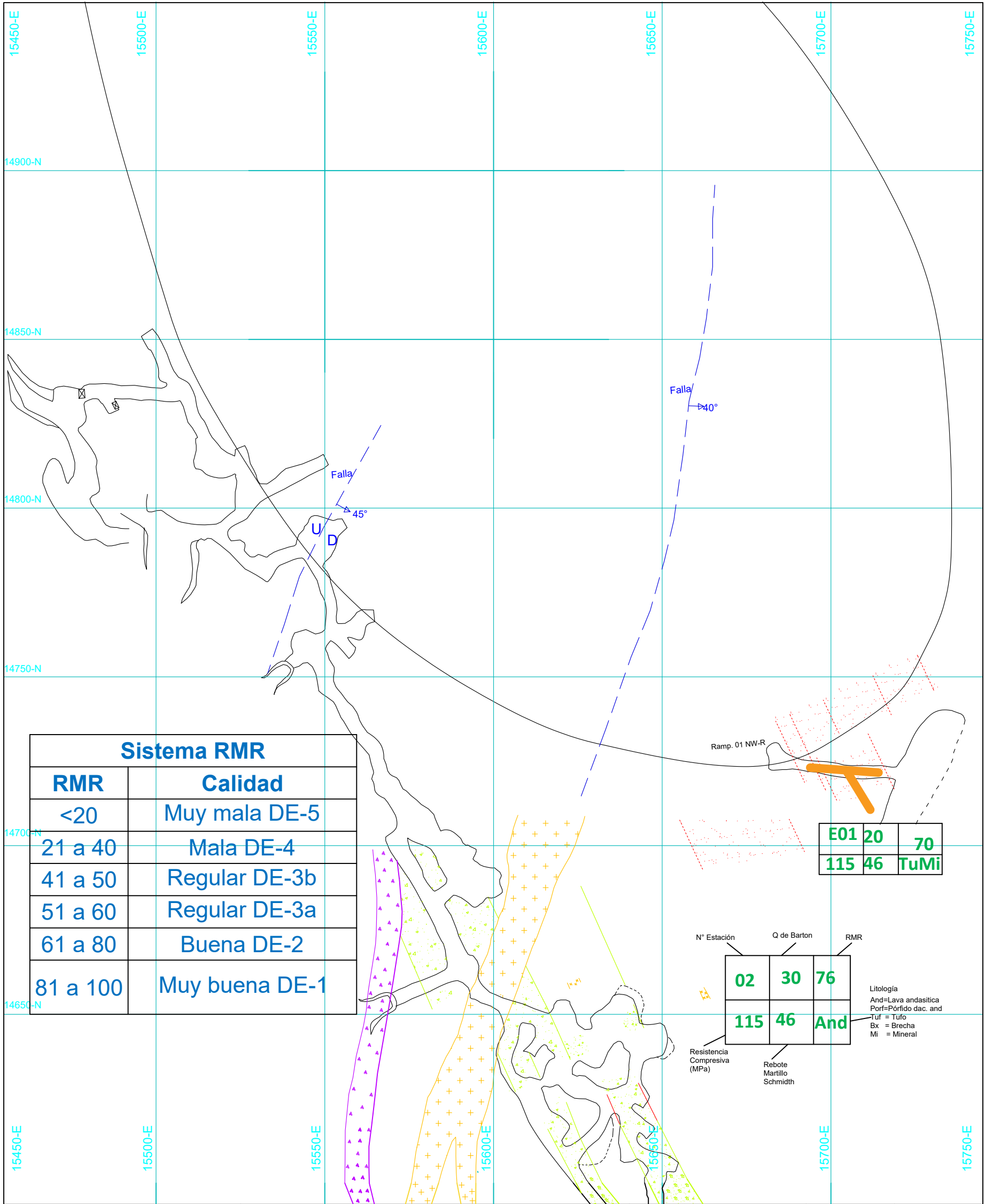
COORDENADAS:  
UTM-84

ESCALA:

**1/2000**

FECHA:

**OCTUBRE:  
12/17**



Sistema RMR	
RMR	Calidad
<20	Muy mala DE-5
21 a 40	Mala DE-4
41 a 50	Regular DE-3b
51 a 60	Regular DE-3a
61 a 80	Buena DE-2
81 a 100	Muy buena DE-1

E01	20	70
115	46	TuMi

N° Estación	Q de Barton	RMR
02	30	76
115	46	And

Litología  
 And=Lava andesítica  
 Porf=Pórfido dac. and  
 Tuf = Tufo  
 Bx = Brecha  
 Mi = Mineral

Resistencia Compresiva (MPa)  
 Rebote Martillo Schmith

**LEYENDA**

- Pórfido
- Lava andesítica
- Veta
- Manto mineralizado
- Brecha
- Dique dolerítico



UNIVERSIDAD NACIONAL  
 SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO  
 Facultad de Ingeniería de Minas  
 Geología Y Metalúrgia

BACHILLER: YUSSELL JUNIOR HUAYNATE GAMARRA

PLANO:

U.E.A  
 MARIANNE  
 PLANO  
 GEOMECÁNICO

SISTEMAS DE  
 COORDENADAS

PROYECCION:  
 UTM

ZONA:  
 18 SUR

COORDENADAS:  
 UTM-84

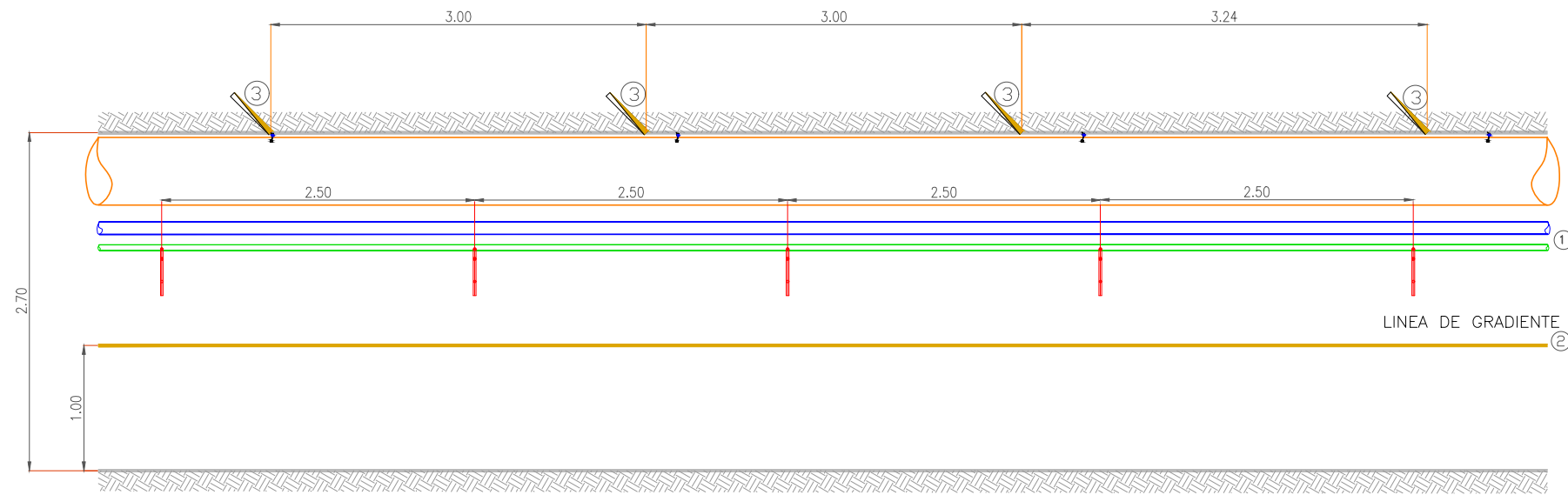
ESCALA:

1/2000

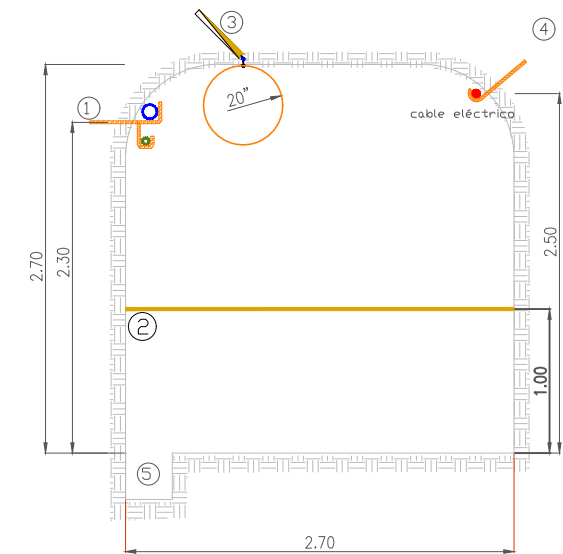
FECHA:

OCTUBRE:  
 01/18





SECCION LONGITUDINAL



SECCION FRONTAL

**ESPECIFICACIONES:**

- Las instalaciones de servicios, estarán a una distancia no mayor a 25 m del frente.
- Las alcayatas para la instalación de las tuberías de aire y agua, deberán estar espaciadas entre sí cada 2.5 m y para el cable eléctrico cada 2 m.
- La instalación del cable eléctrico deberá de estar, independientes y al lado opuesto de las otras instalaciones, con una separación mínima de 1 m.
- Las instalaciones de las tuberías y cables deberán estar sujetos con cintillos de amarre.
- La cuneta deberá seguir a la labor a una distancia no mayor a 15 m del frente. Su ejecución será con perforación y voladura en roca, sección 0.3 x 0.3 m.
- Se construirá refugios según especifica en el D.S.024-2016-EM.

Datos Técnicos	
①	Alcayata para las tuberías de aire de $\phi=4''$ y agua de $\phi=2''$ , unidos por hidrocoplas.
②	Gradiente de la labor a 1 m del piso, debidamente trazado con pintura en ambos hastiales, en todo el trayecto de la labor.
③	Manga de ventilación, herméticas y resistentes al desgarró por laboreo ( $\phi=20''$ u otra medida indicada por el área de Servicios Mina), no debe presentar fisuras donde escape el aire.
④	Alcayata tipo gancho para la instalación del cable eléctrico, espaciados entre si cada 2 m.
⑤	Cuneta de la labor, su estandarización y sección puede variar según la necesidad de drenaje de la labor.

\* La sección de la labor tendrá la forma de una BÓVEDA, se realizará una buena perforación y voladura que resulte el arqueado óptimo de la labor, cumpliendo la sección según el diseño.

PROYECTO : PRODUCTIVIDAD	FECHA_PROY	<b>PLANEAMIENTO &amp; INGENIERIA</b>	ESCALA : S/E
PLANEAMIENTO : R_SAEZ	DD/MM/AA		COD. PLANO MINA-001
MINA : H_MEJIA	DD/MM/AA		UTM: ZONA
ELABORADO : YUSSELL_HUAYNATE	24/06/18		PLANO N° FECHA
REVISADO : NINGUNO	DD/MM/AA		001 Junio 2018
APROBADO : NINGUNO	DD/MM/AA	ESTANDAR_DE_LA_RAMPA SECCION_2.70X2.70M	