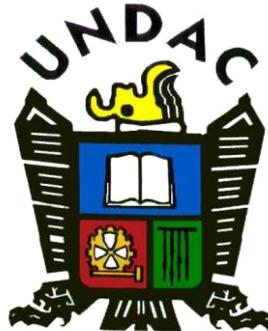


**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**T E S I S**

**Análisis geomecánico para la construcción del proyecto pique principal mediante el sistema Alimak y Raise Boring - Unidad Minera San Andrés – Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. – MARSA – La Libertad – 2021**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Geólogo**

**Autor:**

**Bach. Irwing Wilson BORJA VALDEZ**

**Asesor:**

**Mg. Vidal Victor CALSINA COLQUI**

**Cerro de Pasco – Perú - 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**T E S I S**

**Análisis geomecánico para la construcción del proyecto pique principal mediante el sistema Alimak y Raise Boring - Unidad Minera San Andrés – Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. – MARSA – La Libertad – 2021**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Julio Alejandro MARCELO AMES**  
**PRESIDENTE**

---

**Dr. Reynaldo MEJIA CACERES**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Javier LOPEZ ALVARADO**  
**MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides  
Carrión Facultad de Ingeniería  
Unidad de Investigación

**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 032-2024-UNDAC/UIFI**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**“ANÁLISIS GEOMECÁNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO PIQUE PRINCIPAL MEDIANTE EL SISTEMA ALIMAK Y RAISE BORING – UNIDAD MINERA SAN ANDRÉS – COMPAÑÍA MINERA AURÍFERA RETAMAS S.A. – MARSA – LA LIBERTAD – 2021”**

Apellidos y nombres de los tesisas:

**Bach. BORJA VALDEZ Irwing Wilson**

Apellidos y nombres del Asesor:

**Mg. CALSINA COLQUI Vidal Victor**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería Geológica**

Índice de Similitud

**21%**

**APROBADO**

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 31 de enero del 2024

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
**Luis Villa Requis Carbajal**  
DOCTOR EN CIENCIAS - DIRECTOR

## **DEDICATORIA**

A mis padres por sus enseñanzas, su muestra de valentía y sacrificio para sacar adelante a nuestra familia afrontando la vida con firmeza y esfuerzo, por su inmenso amor y apoyo en mi formación personal y profesional.

A mis hermanos, por ser el motivo de superación en mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC) por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto de investigación y por su constante apoyo a lo largo de mi formación académica.

Agradezco especialmente a mis respetados docentes por su orientación, sabiduría y paciencia durante el desarrollo de esta tesis. Sus conocimientos y comentarios han sido fundamentales para el éxito de este trabajo.

No puedo dejar de mencionar el apoyo incondicional de mis padres, María y Héctor. Su amor, dedicación y sacrificios han sido la fuerza impulsora detrás de mi educación y logros académicos. Gracias por su constante aliento y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

También quiero agradecer a mis queridos hermanos por su comprensión, ánimo y apoyo durante este proceso. Su presencia y palabras de aliento han sido un gran estímulo para alcanzar mis metas.

A todos aquellos que de una forma u otra contribuyeron en este proyecto, gracias por su colaboración y motivación.

## RESUMEN

El Perú es un país minero, que logró ser en el año 2018 el primer productor de oro a nivel Latinoamérica y sexto a nivel mundial, con una producción de más de 150 toneladas de oro. Reconocimiento del cual forma parte la producción de oro del batolito de Pataz, con una participación aproximada del 15%, respecto de la producción total peruana.

Por tal razón, las empresas se ven obligadas a replantear el sistema de extracción y la alternativa diferentes como en el caso de la Unidad Minera San Andrés - MARSÁ en su preposición de emplear un sistema de pique vertical.

El proyecto Pique principal Marsa, está ubicada en la localidad de Llacuabamba, (Las Chilcas), políticamente se encuentra ubicada en el Paraje de Chilcas, distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de La Libertad; a una altitud promedio de 4200 y 2950 m.s.n.m.

Geográficamente emplazada en las vertientes del flanco Oriental de la cuenca hidrográfica del Marañón, en el sector norte de la Cordillera Oriental. La altitud oscila entre 3200 m.s.n.m. a 4260 m.s.n.m.

El batolito de Pataz, que hospeda al depósito El Gigante, es considerado como un gran metalotecto de depósitos de oro orogénico, compuesto por un conjunto de rocas graníticas de 160 km de ancho por 2-8 km de ancho; en donde se ha registrado, durante los últimos 100 años, el desarrollo de más de 16 minas subterráneas distribuidas en los distritos de Pataz, Parcoy y Buldibuyo, con una producción de 6 millones de onzas de oro (180 t) y recursos estimados que ascienden a 40 millones de onzas de oro (1200 t), considerando la totalidad del cinturón (Haeberlin, 2002).

La explotación subterránea se debe a la geometría del depósito, constituido por un sistema de vetas paralelas NO-SE de bajo ángulo de 320 M.a. (Haeberlin, 2002) hospedadas en las rocas graníticas del Batolito de Pataz de 340 M.a. (Haeberlin 2002). Tanto el Batolito como las vetas han sufrido múltiples episodios orogénicos que han

generado desplazamientos en bloque de decenas a pocas centenas de metros, tanto en vertical como en horizontal.

Minera Aurífera Retamas S.A. es una empresa de minería subterránea de capital íntegramente peruano. Las labores de extracción en el yacimiento minero compuesto por rampas y galerías ubicadas a grandes profundidades, incrementan los costos operativos conforme se continúa descendiendo. En algunos casos, se hace difícil continuar con estas excavaciones. Por tales razones, la decisión de profundizar la mina utilizando una infraestructura como pique, esta excavación en una primera alternativa primero progresa con preparación de las cámaras Skip, cámaras pique y cámaras jaula, posterior se realiza un piloto con Raise Borer de diámetro 1.5 m., para los primeros tramos comprendidos entre los Niveles 3220 y 2870 cubriendo 350 m. de profundidad y se culmina con un piloto de Raise Climber de jaula trepadora de sección 2.2 x 2.0 m., para los tramos comprendidos entre los Niveles 2870 y 2470 cubriendo 400 m. de profundidad. Con la finalidad de extraer mineral o desmonte; introducir materiales, maquinarias y el mismo personal.

En la actualidad, existe gran variedad de maquinaria de izaje para el diseño y construcción de piques, facilitando el encontrar soluciones a los problemas de transporte vertical. En tanto Minera Aurífera Retamas S.A. está contemplando la construcción de sección circular con elementos metálicos en sus compartimientos, para el izaje de mineral y desmonte por Skip y transporte de personal, materiales y equipo por jaula; ambos con Winche independiente, con ello se reduce el esfuerzo humano, mejorando la productividad y seguridad con un control preventivo de riesgos. El diámetro útil del pique principal Marsa será de 4.2 m., tendrá un revestimiento de concreto ciclópeo de 30 cm de espesor por condiciones del terreno; con lo que se estima un diámetro de excavación de 4.80 m.

Palabras Claves: Análisis Geomecánico, Sistema Alimak y Raise Boring

## ABSTRACT

Peru is a mining country, which in 2018 managed to be the first gold producer in Latin America and sixth worldwide, with a production of more than 150 tons of gold. Recognition of which the gold production of the Pataz batholith is part, with an approximate participation of 15%, with respect to the total Peruvian production.

For this reason, companies are forced to rethink the extraction system and the different alternatives, as in the case of the San Andrés Mining Unit - MARSA in its preposition to use a vertical pit system.

The main Pique Marsa project is located in the town of Llacuabamba, (Las Chilcas), politically it is located in the Paraje de Chilcas, district of Parcoy, province of Pataz, department of La Libertad; at an average altitude of 4200 and 2950 m.a.s.l.

Geographically located on the slopes of the Eastern flank of the Marañón hydrographic basin, in the northern sector of the Eastern Cordillera. The altitude ranges between 3200 m.a.s.l. at 4260 m.a.s.l.

The Pataz batholith, which hosts the El Gigante deposit, is considered a large metalotect of orogenic gold deposits, composed of a set of granitic rocks 160 km wide by 2-8 km wide; where, during the last 100 years, the development of more than 16 underground mines distributed in the districts of Pataz, Parcoy and Buldibuyo has been recorded, with a production of 6 million ounces of gold (180 t) and estimated resources that amount to 40 million ounces of gold (1200 t), considering the entire belt (Haeberlin, 2002).

The underground exploitation is due to the geometry of the deposit, consisting of a system of parallel NW-SE low-angle veins of 320 M.a. (Haeberlin, 2002) hosted in the granitic rocks of the Pataz Batholith of 340 M.a. (Haeberlin 2002). Both the Batholith and the veins have suffered multiple orogenic episodes that have generated block displacements of tens to a few hundred meters, both vertically and horizontally.

Minera Aurifera Retamas S.A. is an underground mining company with entirely Peruvian capital. The extraction work in the mining deposit made up of ramps and

galleries located at great depths increases operating costs as the descent continues. In some cases, it becomes difficult to continue these excavations. For these reasons, the decision to deepen the mine using an infrastructure such as a shaft, this excavation in a first alternative first progresses with preparation of the Skip chambers, shaft chambers and cage chambers, later a pilot is carried out with a Raise Borer with a diameter of 1.5 m. , for the first sections between Levels 3220 and 2870, covering 350 m. deep and culminates with a Raise Climber pilot with a climbing cage of 2.2 x 2.0 m section, for the sections between Levels 2870 and 2470 covering 400 m. deep. With the purpose of extracting mineral or clearing; introduce materials, machinery and the same personnel.

Currently, there is a wide variety of lifting machinery for the design and construction of shafts, making it easier to find solutions to vertical transportation problems. While Minera Aurifera Retamas S.A. is contemplating the construction of a circular section with metallic elements in its compartments, for the lifting of ore and dismantling by Skip and transportation of personnel, materials and equipment by cage; both with independent winch, thereby reducing human effort, improving productivity and safety with preventive risk control. The useful diameter of the main Marsa shaft will be 4.2 m., it will have a cyclopean concrete lining 30 cm thick due to ground conditions; with which an excavation diameter of 4.80 m is estimated.

Keywords: Geomechanical Analysis, Alimak System and Raise Boring

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación enfoca la necesidad de plantear un estudio para la construcción del Proyecto Pique MARSA, se ubica en las instalaciones de la empresa Minera Aurífera Retamas S.A., distrito de Parcoy; Llacuabamba. Esto no sólo permitirá aumentar las reservas minerales al interceptar vetas auríferas a profundidad, garantizando la continuidad de la explotación minera a largo plazo, sino también excavar la labor minera para extraer el mineral.

El mineral que actualmente se extrae de los frentes de explotación y labores de desarrollo se transporta a superficie por medio de la Rampa Principal Patrick actualmente se encuentra en condiciones de inestabilidad, debido al deterioro de los sistemas de fortificación.

Este trabajo está relacionado a la Geomecánica, para determinar el análisis geomecánico mediante los métodos de excavación del sistema Alimak y Raise Boring en la construcción del Proyecto Pique Principal MARSA en la Unidad Minera San Andrés, cumplirá los siguientes objetivos. Como en la Producción: La de extraer el mineral y desmonte de los Niveles que se formarán debajo del Nivel 3220 hasta el Nivel 2620 a mediano plazo, y desde el Nivel 2620 hacia abajo, para la profundización de la mina como complemento (trasbordo) de la extracción por rampa del material de exploraciones, desarrollo y producción de mineral.

El sistema de izaje de personal podrá transportar a 54 personas por viaje y en tres turnos de trabajo en una jaula con 3 niveles, movilizará a 800 personas por guardia, que incluye a personal de operación y servicios generales, además del traslado de materiales como explosivos, madera, etc. y equipo minero tales como palas mecánicas, carros mineros, locomotoras etc., y tendrá una disponibilidad de 17.5 horas por día de izaje de mineral y/o desmonte. El mineral/desmonte será transportado en un Skip de 8.211 toneladas de capacidad, a 10.00 metros por segundo, mientras que el personal será transportado a una velocidad de 7.00 metros por segundo.

La ventilación tiene por finalidad establecer en el interior de la labor subterránea una corriente de aire procedente del exterior o de zonas donde exista una gran circulación del mismo, Pique Marsa constituirá un ducto de 4.2 m. de diámetro para ingreso de aire limpio, en la parte superior se comunica una Rampa de ventilación a superficie con 650 m. a sección de 4.5m. x 4.0 m., ello permitirá mantener una atmósfera con una composición, temperatura y grado de humedad compatible con las normas de seguridad, salud y trabajo, además de disminuir la contaminación causada por el transporte con flota de volquetes.

## INDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
INDICE	

## CAPITULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema .....	1
1.2. Delimitación de la investigación .....	2
1.3. Formulación del problema.....	2
1.3.1. Problema general .....	2
1.3.2. Problemas Específicos .....	2
1.4. Formulación de Objetivos .....	3
1.4.1. Objetivo general .....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Justificación del problema.....	3
1.6. Limitaciones de la investigación.....	3

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio .....	5
2.2. Bases teóricas – científicas.....	8
2.3. Definición de términos básicos .....	9
2.4. Formulación de hipótesis .....	11
2.4.1. Hipótesis general.....	11
2.4.2. Hipótesis específicas.....	11

2.5. Identificación de variables.....	12
2.6. Definición operacional de variables e indicadores.....	12

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGIA Y TECNICAS DE LA INVESTIGACION**

3.1. Tipo de Investigación .....	13
3.2. Nivel de investigación .....	14
3.3. Métodos de investigación .....	14
3.4. Diseño de la investigación .....	15
3.5. Población y muestra .....	15
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	15
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	17
3.8. Tratamiento estadístico.....	17
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica.....	18

### **CAPITULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Descripción del trabajo de campo.....	19
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	48
4.3. Prueba de hipótesis .....	106
4.4. Discusión de resultados.....	107

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 01 Eje de Pique .....	8
Cuadro N° 02 Definición de variables.....	12
Cuadro N° 03 Coordenadas geográficas.....	21
Cuadro N° 04 Coordenada UTM WGS84.....	21
Cuadro N° 05 Acceso por Vía Terrestre .....	22
Cuadro N° 06 Acceso por Vía Aérea.....	22
Cuadro N° 07 Secuencia Paragenetica del Depósito El Gigante. ....	42
Cuadro N° 08 Cinemática de Fallas .....	44
Cuadro N° 09 Cuadro resumen de las principales medidas de la termometría de inclusiones fluidas de las vetas Valeria, Esperanza y Cabana 2. Deposito El Gigante... ..	47
Cuadro N° 10 Litología del Sector (3219.25 – 3039.25). ....	49
Cuadro N° 11 Litología del Sector (3019.25- 2859.59). ....	49
Cuadro N° 12 Litología del Sector (2859.59 - 2679.59). ....	50
Cuadro N° 13 Litología del Sector (2679.59- 2470.36). ....	51
Cuadro N° 14 Principales sistemas de discontinuidades estructurales.....	57
Cuadro N° 15 Datos de muestra .....	58
Cuadro N° 16 Características de compresión triaxial .....	64
Cuadro N° 17 Ángulo de fricción .....	65
Cuadro N° 18 Criterio para la clasificación geomecánica. ....	67
Cuadro N° 19 Clasificación geomecánica. ....	67
Cuadro N° 20 Ensayos en campo. ....	69
Cuadro N° 21 Ensayos de campo, discontinuidades.....	70
Cuadro N° 22 Propiedades de resistencia en la masa rocosa.....	70
Cuadro N° 23 Orientación de esfuerzos principales. ....	71
Cuadro N° 24 Magnitud de esfuerzos principales.....	72

Cuadro N° 25 Factores de seguridad mínimos.....	73
Cuadro N° 26 Parámetros críticos.....	74
Cuadro N° 27 Valor de “Q” para los diversos tipos de roca. ....	74
Cuadro N° 28 Estabilidad del diámetro de la Chimenea.....	75
Cuadro N° 29 Factor de seguridad del perno helicoidal insertada en lechada de cemento.....	98
Cuadro N° 30 Longitud y volumen de mortero (lechada de cemento). ....	98
Cuadro N° 31 Factor de seguridad del shotcrete.....	98

## INDICE DE IMAGENES

Imagen N°01 Columna Lito-Estratigráfica área de Pataz. ....	30
Imagen N°02 Columna estratigráfica. deposito El Gigante.....	35
Imagen N°03.....El Gigante. Sección geológica A-A' de rumbo ONO, mostrando la geometría y disposición de las vetas del depósito El Gigante. Escala horizontal y vertical en verdadera magnitud. ....	39
Imagen N°04. Cartografía del nivel 2950, mostrando las principales fallas del depósito El Gigante.....	40
Imagen N°05 Metalotecto de Pataz en el cinturón orogénico Devónico - Carbonífero de Au. ....	45
Imagen N°06.. Veta Cabana 3 compuesta por cuarzo y sulfuros masivos afectados por cataclasis (zona limitada por líneas rojas); b) Roca caja alterada sericita-calcita-albita con diseminación de sulfuros, principalmente pirita (zona adyacente a la veta limitada por líneas verdes). ....	46
Imagen N°07 Diagrama estereográfico de sistemas de fallas principales. ....	53
Imagen N°08 Fallas Entorno a la evaluación.....	53
Imagen N°09 DR Fallas Entorno a la evaluación. ....	54
Imagen N°10 Diagrama estereográfico de sistemas de diaclasas principales. ....	55
Imagen N°11 DE – Diaclasa _ Entorno a la evaluación.....	56
Imagen N°12 RE – Diaclasa _ Entorno a la evaluación.....	56
Imagen N°13 Ensayo de Compresión Simple. ....	58
Imagen N°14 Características de sondajes departamento de Ingeniería Sección Ingeniería de Minas .....	59
Imagen N°15 Características de propiedades elásticas departamento de Ingeniería Sección Ingeniería de Minas.....	59
Imagen N°16 Ensayo de Compresión Elástica 46.10 .....	60
Imagen N°17 Ensayo de Compresión Elástica 395.70 .....	61

Imagen N°18 Ensayo de Compresión Elástica 22.70 .....	62
Imagen N°1 Ensayo de Compresión Elástica 657.50 .....	63
Imagen N°20 Ensayo de Compresión Elástica DDH-09-001 M13 – M17 – M13.....	64
Imagen N°21 Ensayo de Corte Directo DDH-09-001 M7 103.1 .....	66
Imagen N°22 Arreglo estructural, nivel 3200 al nivel 2950 entorno al sector en evaluación.....	78
Imagen N°23 Arreglo estructural, nivel 2950 al nivel 2870 entorno al sector en evaluación.....	79
Imagen N°24 Análisis de Estabilidad Estructuralmente Controlada, Nivel Superior....	79
Imagen N°25 Análisis de Estabilidad Estructuralmente Controlada, nivel Inferior. ....	80
Imagen N°26 Configuraciones de los diámetros. ....	83
Imagen N°27 Configuración de la orientación de esfuerzos para el RS2. ....	83
Imagen N°28 Fase 1, Análisis de estabilidad sin sostenimiento sección A-A'. ....	84
Imagen N°29 Fase 1, Análisis de estabilidad sin sostenimiento sección B -B'. ....	84
Imagen N°30 Fase 1, análisis de estabilidad sin sostenimiento sección C-C'. ....	85
Imagen N°31 Fase 1, análisis de estabilidad sin sostenimiento sección D-D'. ....	85
Imagen N°32..... Fase 1, análisis de estabilidad sin sostenimiento sección E-E'. .....	86
Imagen N°33 Fase 1, análisis de estabilidad sin sostenimiento sección F-F' .....	86
Imagen N°34 Fase 1, análisis de estabilidad sin sostenimiento sección G-G' .....	87
Imagen N°35 Fase 1, análisis de estabilidad sin sostenimiento sección H-H' .....	87
Imagen N°36 Fase 2, análisis de estabilidad con sostenimiento sección A-A'.....	89
Imagen N°37 Fase 2, análisis de estabilidad con sostenimiento sección B-B'.....	90
Imagen N°38 Fase 2, análisis de estabilidad con sostenimiento sección C-C'. ....	91
Imagen N°39 Fase 2, análisis de estabilidad con sostenimiento sección D-D'. ....	92
Imagen N°40 Fase 1, análisis de estabilidad sin sostenimiento en sección longitudinal. .....	93

Imagen N°41 Fase 2, análisis de estabilidad sin sostenimiento en sección transversal .....	94
Imagen N°42 Fase 3, análisis de estabilidad con sostenimiento en sección longitudinal.....	94
Imagen N°43 Fase 2, análisis de estabilidad con sostenimiento. ....	95
Imagen N°44 Fase 2, análisis de estabilidad con sostenimiento. ....	96
Imagen N°45 Fase 2, análisis de estabilidad con sostenimiento. ....	97
Imagen N°46 Tiempo de auto-soporte .....	99

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico N°01	Ensayo de Compresión Elástica DDH-09-001 M4 .....	60
Gráfico N°02	Ensayo de Compresión Elástica DDH-09-001 M18 .....	61
Gráfico N°03	Ensayo de Compresión Elástica DDH-3276 M24 .....	62
Gráfico N°04	Ensayo de Compresión Elástica DDH-001 M28 .....	63
Gráfico N°05	Gráfico N° 05: Ensayo de Corte Directo Muestra DDH-09-001 M-7 ....	65
Gráfico N°06	Análisis de Roca Corte Directo .....	65
Gráfico N°07	Gráfico de estabilidad.....	75

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

Dado a la comodidad para la explotación, las labores mineras extraen la riqueza mineral, (Vílchez Córdova, 2015), lo más cercano a la superficie, Pero en el transcurso de los años, para el ser humano era imprescindible de disponer esta riqueza en mayores cantidades por consiguiente se plantea el requerimiento inmediato de perforar el subterráneo ininterrumpidamente e ir en busca de enormes yacimientos de mineral que son localizados en zonas más profundas. Para la extracción de los minerales de socavones subterráneos (Fuentes Flores, 2018). necesariamente se realizará la construcción de un pique, en zonas del yacimiento sin encampane, por lo que sufrirá variación en la extensión y el volumen del mineral extraído, como es el caso de la Minera Aurífera Retamas S.A. – MARSA, que tiene la finalidad de utilizar un esquema de pique vertical que faculta el ingreso a los lugares de yacimientos con gran profundidad, de esta manera brinda rentabilidad y rapidez, sacando el mineral por izaje empleando Skip, como también el transporte del personal por medio de jaulas.

La extracción del mineral en, Minera Aurífera Retamas S.A. – MARSA (Pazos Gabe, 2013), se realiza por movimiento en forma horizontal (locomotora,

scoop, volquetes), en forma vertical (izaje), por inclinados, rampas, empleando equipos mecanizados, explosivos (dinamita y emulsiones), elementos de sostenimiento como los pernos de anclaje, mallas electrosoldadas, lanzado de shotcrete, cimbras, madera, etc. Producto de estos trabajos originan gases tóxicos, partículas de polvo. La presencia del CO<sub>2</sub>, producto del escape de motores diésel de los equipos pesados y de transporte (camionetas, volquetes, etc.) (Álvarez Huanca, 2014). Con el aumento de calor alcanzando a los, 35 °C, perjudicando las labores de las actividades y por la insuficiente ventilación se origina un acolchonamiento de gases.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

Unidad Minera San Andrés – Marsa, se ubica geográficamente en el anexo de Llacuabamba, distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de La Libertad.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema general**

¿De qué manera el análisis geomecánico del macizo rocoso influye en la construcción del Proyecto Pique Principal mediante el Sistema Alimak o Raise Boring - Unidad Minera San Andrés - Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. – MARSA – La Libertad - 2021?

### **1.3.2. Problemas Específicos**

- a) ¿El análisis de los parámetros físicos del macizo rocoso permiten la construcción del Proyecto Pique Principal mediante el sistema Alimak o Raise Boring - Unidad Minera San Andrés - Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. – MARSA?
- b) ¿El análisis de los factores geomecánicos del macizo rocoso determinan la construcción del Proyecto Pique Principal mediante el sistema Alimak o el Raise Boring, - Unidad Minera San Andrés - Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. – MARSA?

## **1.4. Formulación de Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar el análisis geomecánico del macizo rocoso para construir el Pique Principal, mediante el sistema Alimak o Raise Boring – Unidad Minera San Andrés – Compañía Minera Retamas. S.A.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

Describir los parámetros físicos del macizo rocoso para precisar la construcción del Pique Principal, mediante el sistema Alimak o Raise Boring – Unidad Minera San Andrés – Compañía Minera Retamas. S.A.

Analizar los factores geomecánicos del macizo rocoso para determinar la construcción del pique principal mediante el sistema Alimak o Raise Boring.

## **1.5. Justificación del problema**

La evolución nacional cuenta con un alto porcentaje en el mecanismo de la explotación subterránea de la riqueza mineral, por lo tanto, es fundamental impulsar una explotación a mayor magnitud empleando equipos y vehículos con gran capacidad para el traslado de mineral, esto significara el incremento de la productividad cotidiana por lo que también se contara mejorar la seguridad en el personal de servicio de las distintas labores.

## **1.6. Limitaciones de la investigación**

El estudio desarrollado proporciona importantes beneficios en investigaciones mineras, brindando un sustento en la etapa inicial del Proyecto Pique Principal MARSA, con lo cual se puede establecer un ambiente favorable al incremento de utilidades bajo parámetros geomecánicos mediante el sistema Alimak y Raise Boring.

Es importante analizar el método de construcción del Pique Principal MARSA mediante el sistema Alimak y Raise Boring, en la valoración de los trabajos mineros, tales como el plazo de ejecución, eficacia adecuada en su

construcción, costos, mantenimiento y avances. de la misma forma vigilando la seguridad del personal. Y la amplitud de la forma de investigación está ceñido a la empresa minera MARSА en lo que radica la productividad, como también expandir la información de la geomecánica Investigativa.

Las limitaciones para nuestra investigación fueron la carencia en la no posibilidad de muestra de data de la Empresa; siendo Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. – MARSА muy reservada con las informaciones y resultados de operaciones, este estudio tuvo ciertas restricciones en cuanto a recopilación de información, en caso de existir ciertas limitaciones, ellas fueron superadas con nuestra experiencia, conocimiento y asesoramiento de excelentes profesionales en minería subterránea.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

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

Choquehuayta Sánchez, S. C. (2014). "INGENIERÍA BÁSICA DEL PROYECTO DE TRASLADO DE PERSONAL Y MATERIALES A TRAVES DEL PIQUE JIMENA PARA EL DESARROLLO DE LA PRODUCCION DE LAS LABORES EN CÍA. MINERA PODEROSA".

El Pique Jimena de la Compañía Minera Poderosa está ubicada en el departamento de Trujillo, por lo que hoy, en la actualidad se llevan a cabo trabajos mineros de la Unidad de Producción Papagayo, con la creación de un pique vertical para el traslado de materiales y servicio personal, con el propósito de favorecer el desplazamiento del personal, entre todos sus niveles inferiores de la mina. Las actividades mineras se llevan a cabo con referente al macizo rocoso con propiedades geoestructurales que implican en sus parámetros geomecánicas con modificaciones considerables y su resultado a la concentración de esfuerzos, que después de las excavaciones propenden a producir redistribución de esfuerzos con las muestras de liberación de energía, tanto que, van a partir de rugidos hasta estallidos con proyección de fragmentos de roca, a modo de relajamientos de la masa rocosa.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Vílchez Ramos, C. D. L. M. (2014). “Esquema del sistema de explotación corte y relleno ascendente en la veta Esperanza. (bolsonada 1) Compañía Minera Aurífera Retamas SA”. menciona que: En otras temporadas los recursos y la productividad procedían de la modalidad esperanza que es un mecanismo con dirección NNW – SSE e inclinación NE, asimismo están localizadas 14 estructuras con igual dirección e inclinación al piso de Esperanza. En el transcurso de estos años con la ejecución de profundización se localizaron con valores de oro, muy alto al índice de ley de las reservas vigentes y que forman parte a este mecanismo de estructuras paralelas las vetas Cabana 2, Cabana 3 y Daniela. Por otro lado, asimismo la veta Valeria se localizó con una estructura tensional con altos valores de oro, El rendimiento que se está logrando son muy prometedores y por lo mismo esto posibilita que preservando el esquema de exploraciones, los recursos aumenten significativamente. Hoy en la actualidad estas reservas logran conseguir una productividad de 10 años. En cuanto a la capacidad de reservas la perspectiva de mineralización económica es altísimo.

Girón Castillo, G. M. (2015). “Implementación del sistema Alimak en la Unidad Minera Final del Arco Iris”. Explica que el campo minero es amplio y a lo largo de los años se ha esmerado en sorprendernos con su desarrollo y con los métodos de explotación que se realizan en ello ya que de ellos dependen la producción y el bajo costo para que sean rentables ya sean convencionales y/o mecanizado en minería subterránea, el objetivo principal de la presente tesis es demostrar las operaciones y costos de la aplicación de Jaula Trepadora Alimak.

La implementación de este equipo en la unidad minera FINARIS tiene la finalidad de cumplir con todos los esquemas de producción y a la vez demostrar que hoy en día la minería mecanizada avanza cada día más dejando todos los esquemas vistos en el pasado y generando mayor producción y

reducción de horas hombre con la finalidad de tener mayores labores, generando más trabajo y mayor producción.

El reto de esta minera es abastecer su planta y trabajar a diario con el mismo tonelaje sin tener que apilar minerales provenientes de otras zonas ajenas a la concesión. Mediante el presente estudio se plantea el método de chimeneas Alimak para tener mayor producción y abastecer nuestra planta CIP (Planta de cianuración)

### **2.1.3. Antecedentes internacionales**

Sambachi Chacón, O. D. (2016). DISEÑO DE EXCAVACIÓN DEL PIQUE EN LA MINA FRENTE ADRIANO ÁREA MINERA “EL GUAYABO (CÓDIGO 225)” OPERADO POR LA COMPAÑÍA PLANBEORO SA UBICADO EN LA PROVINCIA DE EL ORO CANTÓN SANTA ROSA (BACHELOR'S THESIS, QUITO: UCE.).

Como antecedente internacional consideramos al Frente Adriano ubicada en el distrito de oro Cerro Pelado, localizada en la población del Guayabo, en el vecino país de Ecuador, para la construcción del pique minero, generalmente se utilizó el método convencional de minado. En situaciones especiales, es cuando las propiedades minero-técnicas, hidrogeológica y minero-geológicas de la zona en construcción desempeñan una función desfavorable en el minado del pique, por lo que en las excavaciones se aplicaron sistemas calificados.

La compañía minera Frente Adriano cuenta con una entrada al yacimiento, es por donde se ingresa al bloque mineralizado a través de una galería importante de transporte de 900 m de longitud, explotando el nivel superior a la cota 890 m.s.n.m. Por esta razón, es necesario explotar el nivel inferior al nivel 0.

## 2.2. Bases teóricas – científicas

### 2.2.1. Registro geomecánico de sondaje diamantino de Mina.

Esta evaluación ha sido realizada en el almacén 1 de Logueo Geológico - Geotécnico, ubicada en Gigante – MARSA, con el propósito de calificar la masa rocosa mediante una serie numérica cuantitativa (RMR) y que pueda la masa rocosa discretizar en “Dominios Geomecánicos”. Dicho registro geotécnico fue efectuado a un taladro de 728 metros lineales, (ver cuadro N°01).

**Cuadro N° 01** Eje de Pique

Eje del Pique	
Taladro No. 03	DDH 09-001
Labor	Xc 10194-NW
Nivel	3220
Longitud	728.00 mts.
Inclinación	90°

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros de “observación y medición” definidos en el logueo geomecánico fueron “obtenidos y registrados” en formatos estandarizados diseñados por la empresa minera MARSA siendo la finalidad de este análisis adecuarse a los procesos planteados por la “Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas” (I.S.R.M.). donde los factores indicados en los expedientes geomecánicos, se puede mencionar, clase de estructura, clase de roca, grado de fracturamiento, orientación de discontinuidades estructurales, espaciado, apertura, persistencia, tipo de relleno, rugosidad, espesor del relleno, condición de agua subterránea y grado de meteorización”.

### 2.2.2. Mapeo geomecánico complementario.

Esta evaluación ha sido realizada en zonas estratégicas y puntuales cercanas al eje del proyecto Pique Principal en el nivel superior, así como en nivel inferior, con el propósito de definir la masa rocosa que faculte discretizar la

masa rocosa en “Dominios Geomecánicos” mediante una tasa numérica cuantitativo.

Dicha cartografía geomecánica se ejecutó con el procedimiento “Celdas”, llevándose a cabo en su totalidad 9 Celdas determinadas tales como “EG-M-01...09”. Los resultados de estas evaluaciones se muestran en el Anexo 1 (Registro de investigaciones de campo).

### **2.3. Definición de términos básicos**

**Piques Mineros** Son trabajos verticales que tienen por objetivo de trasladar subiendo o bajando al personal como también el mineral, equipos y materiales, sirviendo de esta manera el transporte, a través de la mina subterránea y la superficie exterior.

Usualmente la edificación se elabora de arriba para abajo, por sistemas de bancos por lo mismo se perfora y dispara la mitad de la extensión del fondo del pique y este trabajo se desarrolla de manera paralela hasta su conclusión. para conseguir una pared lisa o superficie plana, dichas paredes del pique se disparan con **SMOTH BLASTING (voladura controlada)**.

**Jaula alimak** Es un tipo de jaula con plataforma de trabajo que se resbala a través de las guías sujetadas a la pared de la chimenea. Asimismo, cuenta con un ascensor de servicio, un equipo de señales, un circuito de aire y agua y una bomba, que se instalaron en el “nido” de la plataforma, por lo que esto retorna a la hora de llevar a cabo una tronadura. Se procede la perforación en barrenos paralelos, a través de empujadores y maquinas chicas (Jack Leg, Stoper) obteniendo de hasta 3 m de avance. Para llevar a cabo la fijación del carril a la roca se realiza con pernos de anclaje, y también las tuberías de aire y de agua indispensables para la perforación, riego y ventilación. Y por protección se encuentran lado interno del carril guía.

**Chute.** Construcción en **la roca** con forma tubular e inclinada, de 1,5 mts. de diámetro. Se utiliza para comunicar dos labores y derrapar mineral desde el punto alto.

**Poleas.** Maquinaria utilizada para trasladar o alzar materiales con grandes pesos y para esto consta con una rueda suspendida, que realiza rotaciones en torno de un eje, con un conducto o garganta en su orilla por lo cual se deja pasar una cadena o cuerda que rota en torno de un eje central, por donde el cable pasa en cuales extremos se ubican la tambora (potencia) o Winche y en la otra el Skip (resistencia) o jaula.

**Castillo O Torre.** - Es una estructura vertical en la punta del armazón del pique, aquí se ubica la polea que guía el desplazamiento del cable. Donde se eleva por arriba del collar del pique. donde Internamente ascienden los baldes a partir del nivel del bolsillo del pique (pocket) al límite de la ventana de descarga del mineral, como también de estación en estación las celdas o jaulas en caso de traslado de materiales o a la hora de ingreso y salida de personal de servicio.

**Montaje.** - La estructura del montaje consta en colocar piezas que con anterioridad son elaboradas en el taller de la zona de obra, por la que estas serán fijadas en su ubicación apropiada para construir la estructura prevista según al plano de montaje.

**Chimenea** Una chimenea es un trabajo vertical de dos túneles excavada de forma creciente. Sus labores podrían ser: Transporte de material; Ventilación; Evacuación de emergencia o Acceso de servicios.

**Jaula (SKIP)** Son cabinas metálicas de un piso o dos, que se emplean para el traslado de materiales o para subir o bajar al personal y traslado de los vehículos mineros y de ser así, en el piso de la jaula se realizan fijaciones de rieles para el ingreso del vehículo minero. para poder reptarse por las guías del pique se hacen fijaciones de canaletas en las paredes contiguas.

**Winche de izaje** El mecanismo de izaje por vía de los Piques de una mina, es un parecido a los ascensores que se usa en las edificaciones, Este sistema se utiliza para alzar, bajar, mover o arrojar la carga; el Winche de izaje también puede servir para ascender y descender al personal interno de la mina; exigiendo cumplir con las normas de seguridad al mínimo. En resumen, En Perú, se hace uso del Winche como maquinaria fundamental, en las notables mineras.

**Perforación** El objetivo de la perforación es de volar ciertas cantidades de rocas o minerales, pudiendo ser un frente o tajeo o en un stope. La perforación se realiza para volar o arrancar la más alta cantidad de minerales o rocas colocando el explosivo en zonas adecuadas (el taladro en este aspecto).

**Voladura** Es uno de los primordiales medios de explotación de minerales en las actividades de la minería subterránea y a tajo abierto. La razón fundamental de dicha maniobra de voladura es la dispersión de la roca y para ello es necesario explosivos en grandes cantidades.

**Ventilación** Posterior a la voladura, se debe ventilar el área de trabajo, esto se realiza inyectando aire comprimido y agua.

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

El análisis geomecánico del macizo rocoso influye en la construcción del Proyecto Pique Principal mediante el Sistema Alimak o Raise Boring - Unidad Minera San Andrés - Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. – MARSA – La Libertad – 2021.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- a) Los análisis de los parámetros físicos del macizo rocoso permiten la construcción del Proyecto Pique Principal mediante el sistema Alimak o Raise Boring - Unidad Minera San Andrés - Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. – MARSA

b) El análisis de los factores geomecánicos del macizo rocoso determinan la construcción del Proyecto Pique Principal mediante el sistema Alimak o el Raise Boring, - Unidad Minera San Andrés - Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. – MARSA

## 2.5. Identificación de variables

### 2.5.1. Variable Independiente

El análisis geomecánico del macizo rocoso.

### 2.5.2. Variable Dependiente

Construcción del Proyecto Pique Principal mediante el Sistema Alimak o Raise Boring

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

**Cuadro N° 02** Definición de variables

<b>VARIABLES</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>INDICADOR</b>
<b>Independiente:</b> El análisis geomecánico del macizo rocoso	Conjunto de parámetros y factores que determinan la calidad del macizo rocoso.	Tipo de macizo rocoso
<b>Dependiente:</b> Construcción del Proyecto Pique Principal mediante el Sistema Alimak o Raise Boring	Tipos de construcción vertical de una labor minera.	Tipo de macizo rocoso

Fuente: Elaboración propia.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA Y TECNICAS DE LA INVESTIGACION**

En el presente estudio de investigación realizado en la empresa minera MARSA, se empleará el método científico, teniendo como objetivo determinar el análisis geomecánico con los procesos de excavación del sistema Alimak y Raise Boring. Para el Proyecto Principal del Pique MARSA, la construcción se ejecuta basándose y recurriendo a la toma de datos precisando con exactitud su compatibilidad con el muestreo de datos de taladros diamantinos en los ejes del proyecto.

#### **3.1. Tipo de Investigación**

En función al objetivo y la forma de conocimiento es descriptiva, ya que se requiere una investigación con metodologías científicas donde se involucra en este aspecto la observación y descripción de la conducta de un tipo determinado, una situación propia (donde es definida la variable independiente sistema de Alimak y Raise Boring), que no es pluralizado plenamente a la realidad de otros, asimismo se aplica dependiendo a la hipótesis demostrada, por ser un procedimiento coherente donde los controles y medidas de la variable independiente puedan manejarse y poder alcanzar a investigar su incidencia respecto a la variable dependiente y se permita demostrar la viabilidad del mencionado proyecto. a través de la toma de datos.

### **3.2. Nivel de investigación**

La presente investigación es descriptiva por que se describe al largo de todo el estudio parámetros geomecánicos en ambos casos, según el sistema RAISE BORING y ALIMAK.

### **3.3. Métodos de investigación**

Según las características de la investigación es un método analítico-sintético.

#### **3.3.1. Método general**

Básicamente se aplicará el sistema científico, por lo que dicha investigación son secuencias metódicas con recursos utilizados para analizar la magnitud del conocimiento propio. Por lo tanto, se puede desarrollar el método científico como base elemental con una estructura consistente por normas y fundamentos enlazados con racionalidad.

La investigación científica, está siendo aplicado En la presente tesis de investigación con el fin de exponer y confirmar las teorías planteadas a lo largo de todo el método siendo cuidadoso de usar cada concepto y los datos que podamos luego relacionar con lo ya estudiado para poder tener toda la información relacionada.

#### **3.3.2. Método Específico**

Principalmente las investigaciones tecnológicas o científicas investigan, analizan y definen cada hipótesis si son apropiadas o no a la verdad a través de experimentos y monitoreo, etc.

Se desarrolló una investigación aplicada a un nivel exploratorio que entiende la utilización de una serie de manejos, métodos y operadores de monitoreo, de tal modo que brindan datos equivocadamente respecto a la situación del tema de investigación.

### **3.4. Diseño de la investigación**

La elaboración de la presente tesis la investigación, se realizó mediante un análisis de información, lo cual consiste en analizar y relacionar datos recolectados previamente por otros investigadores e información propiamente otorgado por la empresa minera Marsa, para poder establecer una relación correlacional significativa

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población de estudio**

La población es el área de los macizos rocosos de la minería MARSA de Minera Aurífera Retamas S.A.

#### **3.5.2. Muestra de estudio**

Para la siguiente tesis con el propósito de obtener información, está conformada, por los macizos rocoso de la zona donde se realizará los métodos de excavación sistema Alimak o Raise Boring.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

A través de los conocimientos y herramientas de datos recopilados, para el análisis geomecánico en la construcción del Proyecto Pique Principal Marsa Unidad Minera San Andrés – Marsa mediante el sistema Alimak y Raise Boring, se consideró:

- a. Información topográfica de la chimenea, (plano de nivel 3220 al nivel 2740).
- b. Información geológica-estructural (plano de nivel 3220 al nivel 2740).
- c. Información geomecánica (plano de nivel 3220 al nivel 2740).
- d. Corte en sección del Pique Principal Marsa (B – B’).
- e. Información de registro geológico de sondajes DDH 09-001.
- f. Información de registro geomecánico de sondaje DDH 09-001.
- g. Información de registro fotográfico de sondajes DDH 09-001
- h. Diseño de la ingeniería de detalle Proyecto Pique Principal
- i. Planos topográficos vigentes y levantados en el lugar del proyecto

- j. Mapeo geológico vigentes y levantados en el lugar del proyecto
- k. Planos Geomecánicos de la zona del proyecto.
- l. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. 0024-2016-EM.
- m. Recopilación de datos bibliográficos
- n. Levantamiento topográfico en avance del Sistema Alimak y Raise Boring.
- o. Reportes Técnicos de Labores conexas al Proyecto Pique Principal Marsa.
- p. Fichas de Observación
- q. Datos de Estadísticos del área de estudio
- r. Mapeo geomecánico y Tablas geomecánicas.
- s. Mapeos geomecánicos y geológicos del Sistema Alimak y Raise
- t. Boring.
- u. Datos de campo (in situ)
- v. Zonificación geológica y geomecánica del área de influencia

### **3.6.1. Procedimientos de recolección de datos**

- a. Revisión de los establecidos reglamentos y Estándares de Seguridad.
- b. Reconocimiento de la zona del proyecto.
- c. Análisis de informes geológicos y geomecánicas de la investigación.
- d. Monitoreo de los datos de gráficos geomecánicas, geológicos del macizo rocoso, tipificación del Macizo Rocosos del área del proyecto.
- e. Definición de resistencia del macizo rocoso.
- f. definición de los elementos de seguridad y estudiar las áreas de la evolución del proyecto.
- g. definición de la forma de sostenimiento en el pique.
- h. Llevar a cabo los pedidos de los materiales.
- i. Disposición de equipo, accesorios y maquinas con el número de pedidos para la realización del proyecto.

- j. Preparación del personal a intervenir en la evolución del proyecto.
- k. Llevar a cabo mapeos geomecánicas para la inspección del macizo rocoso.
- l. El informe de análisis geomecánicas.
- m. El reporte geomecánicas.
- n. Las valoraciones geomecánicas identificadas.

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

- a. La recopilación de los informes será tipificada y estudiada a través de diversos softwares que facultará con el programa Excel la creación de gráficos y tablas.
- b. Para el procedimiento de los informes estructurales, se usará el método de proyección equiareal a través del software “Phase2” y “Unwedge”, que facultará precisar la cantidad de familias interrumpidas existentes en el macizo rocoso.
- c. Para el estudio técnico respecto a la edificación del pique base Marsa, se usará el programa AutoCAD, que permite visualizar y graficar las fases diferentes.
- d. Software Training datamine\_Studio\_5D\_Planner\_v14.26.83.0:
- e. Diseño Subterráneo.
- f. DATAMINE Studio RM 1.4

### **3.8. Tratamiento estadístico**

Los datos más importantes de geomecánica en la construcción del Proyecto Pique Principal Marsa Unidad Minera San Andrés, conseguidas de la investigación y toma de datos, estas son transformadas de manera referente a través de los sistemas de construcción de chimeneas para precisar su viabilidad y adaptación a un sistema definido.

### **3.9. Orientación ética filosófica y epistémica**

La investigación se compromete a no realizar ninguna actividad que provoque un impacto negativo en la zona.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

Las vetas auríferas de la región de Pataz se explotaron probablemente desde la época incaica, así como cuenta la leyenda. De esa zona llevaron el oro para el rescate de Atahualpa, también se sabe que durante la época Colonial y la República, en tanto la historia de Minera Aurífera Retamas S.A. es un ejemplo de cómo el esfuerzo decidido de un empresario peruano puede ser la llave para alcanzar el éxito en el desarrollo de un yacimiento minero. En la tercera década del presente siglo la Northen Perú Mining, realizo exploraciones en las vetas de esperanza, posteriormente fueron explotadas por la empresa Corporación Minera Parcoy y más tarde se explotó en forma artesanal por los pobladores de la zona hasta el inicio de la explotación por la compañía actual.

El historiador Antonio Raimondi quien hace expresa mención del Cerro "El Gigante" y de la labor "Huacrachuco" de donde el sabio señala se extrae abundante oro (1860). Posteriormente la mina es trabajada alrededor del año 1905 por la familia Tarnawiecki que al parecer la abandonó ante los continuos derrumbes que se producían y al bajo precio del oro, el 15 de abril de 1981 se constituyó Minera Aurífera Retamas S.A.

A fines de 1981 Minera Aurífera Retamas S.A., se encargó el estudio geológico de la zona "Gigante-Huacrachuco" a Buenaventura Ingenieros S.A. (BISA) comenzándose los primeros trabajos de exploración y habilitación de labores antiguas ya realizadas por mineros artesanos. Con la creación del Departamento de Geología e Ingeniería de la empresa a finales de 1982 se procede a realizar el primer estimado de reservas del yacimiento totalizando 23 280 tms, con una ley de 10.7 gramos de oro por tonelada métrica.

Minera Aurífera Retamas S.A, continuó con su política de re inversión y aprovechando las ventajas de la ley 22178 (Ley de Promoción Aurífera), La primera Planta de Flotación de 50 tms/día que fue inaugurada el 14 de julio de 1983, posteriormente se prosiguió con el crecimiento alcanzando la planta una capacidad de tratamiento de 250 tms/día en 1989. El 18 de noviembre de 1992 se puso en operación la Planta de Cianuración con el sistema Merrill Crowe automatizado, primero en su género en Sudamérica.

El crecimiento de esta empresa se produjo durante la época más difícil de nuestra historia por la presencia del terrorismo, el Fenómeno del Niño y de crisis económica que habían creado un clima de desconfianza y zozobra en el país, pero gracias a la fe inquebrantable de su Presidente Ejecutivo el Dr. Andrés Marsano Porras, fue un hombre muy trabajador, visionario, tenaz, incansable, un creador de los que nunca se rinden hasta alcanzar sus objetivos, un gran empresario y apasionado amante del Perú, donde forjó una de las empresas mineras más importantes del país con una mentalidad comprometida con el desarrollo y progreso de su país.

#### **4.1.1. Ubicación.**

De acuerdo con la actual vigente división administrativa del área en que se encuentra ubicado el yacimiento aurífero, Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. (MARSA), se halla situado en el anexo de Llacuabamba, distrito de Parcoy, provincia de Pataz y departamento de La Libertad; emplazada en las

vertientes del flanco Oriental de la Cuenca hidrográfica del Marañón, en el sector Norte de la Cordillera Central, (ver Plano N° 01).

**Cuadro N° 03** Coordenadas geográficas.

<b>COORDENADAS UTM WGS84</b>	
Norte	9'110,983N
Este	230,284E

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), con referencia a la Rampa Principal Patrick, según el sistema de coordenadas geográficas Word Geodetic System 1984 (WGS 84), son las siguientes, (ver cuadro N°03):

**Cuadro N° 04** Coordenada UTM WGS84.

Fuente: Elaboración propia.

<b>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</b>	
Latitud Sur	08°02'
Longitud Oeste	77°20'
Altitud Promedio de la Mina	3950 m.s.n.m.

Las altitudes oscilan en un promedio sobre el nivel de mar para la zona de interés (Excavación subterránea mediante los métodos de Raise Boring y Raise Climber – Proyecto Principal Pique Marsa) varían entre los 3,200.00 m.s.n.m. y 4,260.00 m.s.n.m.

#### **4.1.2. Acceso.**

Desde la ciudad de Trujillo se llega mediante una carretera afirmada de aproximadamente 600 km. Es también accesible por vía aérea desde Lima o Trujillo hasta un pequeño aeródromo en Pías desde donde se llega al campamento minero en un trayecto de 70 km.

Se puede realizar por carretera de la siguiente forma, (ver cuadro N°05):

**Cuadro N° 05** Acceso por Vía Terrestre.

Lima-Trujillo	562 km.	Asfaltada
Trujillo-Huamachuco	180 km.	Asfaltada
Huamachuco-Retamas	368 km.	Trocha Carrozable
Retamas-Mina	16 km.	Trocha Carrozable

Fuente: Elaboración propia.

La zona también es accesible por servicio aéreo, realizados por la Empresa Privada Aérea ATSA, siendo estas avionetas privadas a servicio de traslado de personal a las Empresas Mineras: Poderosa, Horizonte y Marsa, siendo esta última de interés.

Por vía aérea, partiendo del Aeropuerto Jorge Chávez, (ver cuadro N°06):

**Cuadro N° 06** Acceso por Vía Aérea.

Lima-Pías	Aprox. 1:10'	Vuelo Chárter
Trujillo-Pías	Aprox. 35'	Vuelo Chárter

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.3. Clima y vegetación.**

Es predominantemente típico de la sierra, con dos épocas muy marcadas, el clima en la región es el característico del tipo Puna o Jalca; en los meses Noviembre- Abril con lluvias y nevadas constantes, cambiando de Mayo- Octubre con heladas y frío durante las noches y en el día el sol, donde la temperatura oscila de 5° -20° centígrados en el día y en las noches de 3 - 10° centígrados, estas dos estaciones son bien marcadas en la zona la mina se encuentra a una cota de 3900 m.s.n.m. con una vegetación típico de la zona que es el ichu y el Quenual y otros arbustos pequeños, los habitantes del lugar son eminentemente dedicada a la minería aurífera.

#### **4.1.4. Fisiografía.**

Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. (MARSA), se encuentra ubicada en la región Sierra, zona Alto andina, y forma “Colina y Montaña”. La fisiografía regional se manifiesta por presencia de pendientes leves a abruptas y profundas quebradas, modeladas por la actividad glacial pasada, originando valles glaciales y fluviales, estos últimos están asociadas a tiempos pasados (pleistoceno) y presente siendo las rocas predominantes de origen volcánico. Sobresalen las cadenas de montañas de laderas empinadas que llegan a elevaciones que fluctúan entre 4 000 - 4800 m.s.n.m., como los cerros Negro, Alto Blanco, Alto Chúcaro, Mush-Mush, Alto de Paccha, Vizcachas, Gigante y Santa Mónica, los cerros de mayor altitud se encuentran cubiertos por depósitos coluviales, con laderas de pendiente empinada (>60%), que constituye el entorno de la U.E.A.

#### **4.1.5. Topografía.**

La topografía Minera Aurífera Retamas S.A. es accidentada, marcada por las quebradas Molinetes, Mano de Dios, Pomachay, San Vicente, Los Loros, Huinchus, etc.; la erosión glacial y pluvial ha formado valles y circos glaciares; el drenaje es dendrítico. Por la zona se tienen elevaciones hasta de 4,260 m (Cerro-Yurirca), con desniveles en cotas de hasta 400 m.

En tanto la topografía de la zona de interés es bien accidentada por la presencia de fuertes pendientes de 50° – 60° aproximadamente donde el terreno ha sufrido agentes modeladores, al mismo tiempo el drenaje está controlada principalmente por la litología y la tectónica. El tectonismo y la erosión fluvial han formado profundos valles que alternan con picos elevados originando desniveles que en la altitud varían entre los 1800 m.s.n.m. a 4200 m.s.n.m., (ver Plano N° 02).

#### **4.1.6. Morfología.**

La zona de estudio es parte de La Cordillera Oriental, tenemos el Río Parcoy que es un afluente que alimenta al Río Marañón. Consiste de cadenas paralelas separadas por estrechos valles longitudinales. Los valles principales que cortan esta cordillera, son los de Tayabamba, Huaylillas y Huacrachuco; la elevación de estos es bastante variable, pero las cumbres de los cerros generalmente se encuentran entre 3,500 y 4,300 m.s.n.m.

#### **4.1.7. Geomorfología.**

La zona de estudio pertenece a la Unidad Geomorfológica Superficie Puna. La Superficie Puna en La Cordillera Oriental es muy difícil reconocer debido a la fuerte erosión que ha sufrido. Sus cumbres son relativamente anchas, y el hecho de que mayormente quedan entre 4200 y 4400 m. de altitud.

#### **4.1.8. Recursos Hídricos.**

Gran parte de la provincia de Pataz, cuenta con la suficiente cantidad de agua, para satisfacer los requerimientos agrícolas y domésticos de las poblaciones aledañas. Considerando que ciertos tributarios del río Marañón, como los ríos Carrizal, Parcoy y Tayabamba, registran un caudal casi constante durante el año, parte de ese caudal se utiliza en la actividad minera.

Respecto a la fuerza motriz, se indica que no existe suficiente energía eléctrica en la provincia, pero si existe recursos hídricos para generarla las plantas de tratamiento y los pueblos de la zona, incluyendo al campamento minero.

Por caídas naturales que se muestran en su recorrido, se instaló una pequeña central hidroeléctrica de Tayabamba, propiedad de Hidrandina Sur, que actualmente abastece a MARSA, logrando un ahorro de 30,000 \$/mes, estando en evaluación por las constantes fallas.

Actualmente la fuerza motriz es a base de compresoras suministradas con petróleo, con un consumo promedio de 80,000 galones / mes.

#### **4.1.9. Geología del yacimiento**

##### **4.1.9.1. Geología Regional**

El Yacimiento aurífero “El Gigante”, perteneciente al distrito aurífero de Parcoy-Gigante –Buldibuyo, se encuentra emplazada dentro del Intrusivo conocido como “Batolito de Pataz”, la geología regional de éste cuerpo intrusivo es el más importante de la región, está denominada por tres franjas regionalmente, (ver imagen N°01): siendo las siguientes:

- a. El contacto occidental del Batolito es una falla cenozoica orientada o rumbo de N10-80 E esta falla es paralela a las vetas occidentales.
- b. El basamento Precámbrico del Complejo Marañón al E.
- c. El Batolito Carbonífero de Pataz y los estratos deformados del Pérmico a Cenozoico al W.

Este batolito es de forma alargada de NW a SE y se extiende aproximadamente en una longitud de 70 km. por 2.50 km. de ancho promedio, desde Vijus – La Poderosa por el Norte hasta Buldibuyo por el Sur; limitado por el E-NE con el Complejo del Marañón y Volcánicos Lavasén y por el W-SW con las rocas sedimentarias del grupo Mitú y calizas del grupo Pucará, (ver Plano N° 03).

##### **4.1.9.1.1. Rocas Metamórficas**

El complejo de Marañón (Neoproterozoico), este complejo metamórfico que infrayace a secuencias Mesozoicas en él se han dividido en tres horizontes emplazado en:

Cuerpos ultra básicos y básicos, el superior constituido por filitas de color verde oliva de textura fina, brillante con esquistosidad, afloran en Llacuabamba al NE, con una potencia de 250 m.

El horizonte medio constituidas por andesitas solidificadas, conocida también como metas volcánicos, afloran en el flanco Este del río Parcoy con potencia de 250m.

La base del Complejo, constituida por esquistos de color gris verdosas con una laminación fina y asociadas a vetillas de cuarzo, afloran en Soledad y el cementerio de Llacuabamba.

#### **4.1.9.1.2. Rocas Sedimentarias**

##### **4.1.9.1.2.1. Grupo Ambo (Paleozoico Superior):**

Su composición litológica está conformada de una secuencia de areniscas de color gris verdoso, duros y compactos en matriz areno arcilloso. Sobreyacen en discordancia al Complejo Marañón, asimismo está cortado por rocas graníticas. Se puede decir que está constituida por un conglomerado basal que reposa en el Complejo Marañón y una alternancia d areniscas y lutitas grises.

##### **4.1.9.1.2.2. Grupo Mitú:**

Grupo Mitú a una serie detrítica roja violácea definida en el Perú Central. Esta secuencia detrítica roja está constituida por conglomerados, areniscas lutitas limolitas, cuarcitas rojas intercaladas con niveles finos de lodositas de coloración rojiza, de intercalación centimétrica (10-30 cm. de espesor). Los conglomerados están formados por rodados más o menos redondeados de esquistos, mica esquistos, cuarcitas, granitos y algunas veces pequeños

fragmentos carbonatados, el cementante está constituido por areniscas finas cuarcificadas.

El Grupo Mitú es la región de estudio, sobre yace discordantemente sobre rocas metamórficas del complejo de Marañón en infrayace a las facies carbonatadas Grupo Pucará como se observa en las inmediaciones de la mina Huancamina.

#### **4.1.9.1.2.3. Grupo Pucará (Triásico- Jurásico):**

Compuesta esencialmente por calizas y areniscas en parte bituminosas que muchas veces contienen abundante chert, asimismo intercalan calizas dolomíticas en estratos que varían en espesor de delgados a gruesos, está sometido al relleno de calcita en sus fracturas.

Esta secuencia sobreyace al Grupo Mitú en discordancia angular y así mismo al Complejo Marañón. Se le atribuye una edad Triásico superior a Jurásico inferior por posición estratigráfica, ya que, en las localidades de Pampas, Llaclle, Qda. Chasqui suprayacen al Grupo Mitú.

#### **4.1.9.1.2.4. Grupo Goyllarisquizga. – Cretáceo:**

Está compuesto por secuencias silicoclásticas de areniscas blancas de grano medio a grueso. Algo conglomerádicas con intercalaciones

delgadas de limo arcillitas, se caracteriza por la presencia de estratificación sesgada.

La extensión de este afloramiento dentro de la región de estudio es pequeña. En esta parte de la región de estudio este Grupo tienen un grosor menor que hacia el W, no se diferencian sus cuatro Formaciones (Chimú, Santa, Carhuaz y Farraz), se le describe como un grupo indiviso a la escala 1: 100,000.

Sobreyace a secuencias metamórficas (Complejo Marañón), los Grupos Ambo, Mitú y Pucará. Se le atribuye una edad del Cretáceo inferior.

#### **4.1.9.1.3. Rocas Intrusivas:**

##### **4.1.9.1.3.1. Batolito de Pataz (Paleozoico superior):**

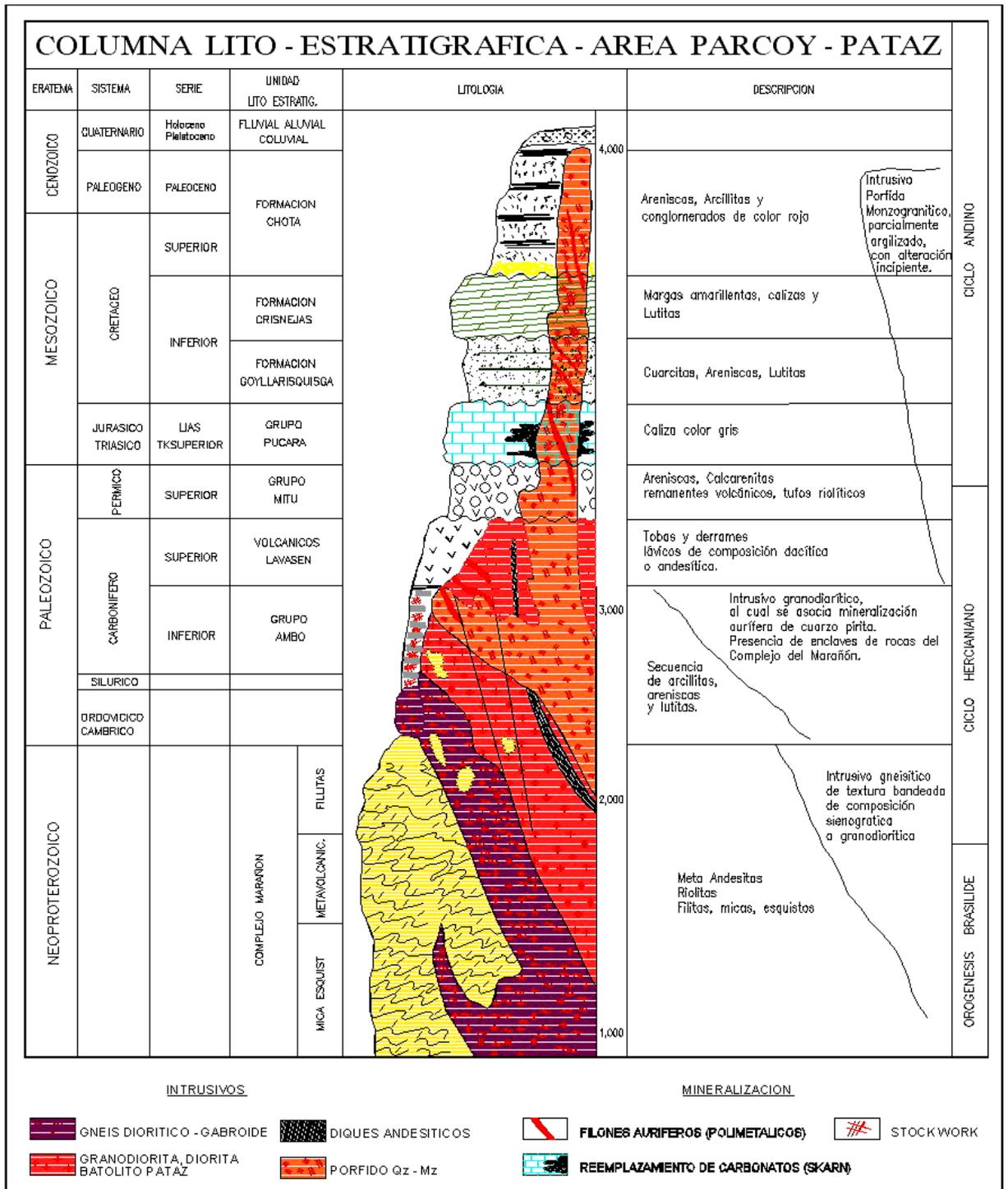
El intrusito de Pataz se extiende como una franja longitudinal de rumbo N 60°W, S60°E alineada a lo largo del flanco oriental del valle del Marañón, este batolito aflora a lo largo de 160 km y promedio de 2.5 Km. de ancho en Parcoy Llacuabamba.

El contacto NE con el Complejo del Marañón se caracteriza por una franja de enclaves de ancho variable, constituidos por fragmentos alargado de filitas-pizarras, metavolcánicos y microdiorita; mientras que el contacto SW está marcado por la falla

Huinchus. Los contactos internos entre las diferentes facies de rocas intrusitas son gradacionales; algunas facies del intrusito poseen diques aplíticos que se presentan como xenolitos alargados. Al Batolito de Pataz se le asigna una Edad Paleozoica (Carbonífero).

La composición del Batolito de Pataz es calcoalcalina, constituido principalmente por Granodiorita de grano grueso, Cuarzo Monzonita, Granito, Tonalita, Diorita; las rocas presentan texturas granulares (de grano medio). El porcentaje área a nivel de todo el batolito es granodiorita y cuarzo monzonita 55 %, tonalita 22%, diorita 13%. Granito 9%.

Imagen N°01 Columna Lito-Estratigráfica área de Pataz.



Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.9.2. Geología local**

En toda la región, no se han visto otras rocas más antiguas que las denominadas metamórficas, muy bien representadas por las filitas proterozoicas presentes en el fondo del valle del río Marañón. Las deformaciones plásticas que han sufrido las filitas denotan cuatro eventos tectónicos y éstos son:

Metamorfismo producido durante la transición precámbrica.

Paleozoico donde las rocas volcánicas se encuentran solo en la parte superior, fracturadas pizarras ordovicianas con graptolites.

El Paleozoico Medio Superior y el Triásico Inferior están representados por sedimentos con movimientos (grupo Ambo) De carbonífero y el grupo Mitú del Pérmico Superior y el Triásico Inferior después de la deposición de los carbonatos marinos (grupo Pucará).

##### **4.1.9.2.1. Intrusivas**

El batolito de Pataz del carbonífero (edad de la intrusión: 329 M.a. y enfriamiento: 329 – 328 M.a. (Hearberlin – Moritz 2002), tiene aprox. 160 km de largo (N30°W), un ancho de 2.5 a 5 km. El intrusivo está constituido por 2 facies plutónicas: 1ra. facie, microdiorita-diorita; la 2da. facie, granodiorita-granito, la primera facie son las rocas más favorables para la deposición y emplazamiento de las soluciones mineralizantes en ellas emplazan el mayor número y las principales de estructuras mineralizantes, en la actualidad se hallan en exploración y explotación; la segunda facie, son poco favorables para la formación de estructuras mineralizadas, encontrándose vetas delgadas, ramaleadas (Stockwork) y discontinuas.

#### **4.1.9.2.2. Rocas Metamórficas**

En la zona Este del distrito minero se encuentran las rocas metamórficas del Complejo Marañón en contacto con el sistema de fallas Los Loros y se extienden en promedio 1.5 km hacia el Este, hasta su contacto con la Formación Vijus en discontinuidad angular.

No hay registro de la Formación Contaya en la zona de estudio, sin embargo, se hará una breve descripción en base al registro de esta unidad litológica por la zona de Pataz, la cual sobreyace a la Formación Vijus.

#### **4.1.9.2.3. Formación Vijus**

El contacto de la Formación Vijus con las unidades litológicas que la sobreyacen y subyacen no es muy clara. La litoestratigrafía de la Formación Vijus corresponde a la unidad de “metavulcanita” de Schreiber (1989), caracterizada por presentar en su base una alternancia entre areniscas purpuras, conglomerados y lutitas negras de estratificación delgada y no presenta fósiles. Gradualmente se depositan ignimbritas masivas gris-pardas de composición riolítica a dacítica. Los flujos piroclásticos son cubiertos por lavas andesíticas a basálticas verdosas. Estas lavas descritas inicialmente como meta-andesitas por Wilson y Reyes (1964), son el producto de volcanismo submarino evidenciado por la presencia de estructuras en almohadilla (Schreiber, 1989) y presentan una firma geoquímica compatible con la dorsal oceánica. Presenta un espesor promedio de 1200 m y es de edad Ovetiense a Tremadócense (Haeberlin, 2002).

#### **4.1.9.2.4. Rocas Sedimentarias**

Dentro del distrito minero se observa que los sistemas regionales de fallas Huinchus – La Paccha y Los Loros limitan entre ellas a las rocas intrusivas del batolito de Pataz. Al Norte de esta zona afloran las rocas sedimentarias del Grupo Ambo, las cuales por tectonismo y erosión se ubican sobre las rocas intrusivas del batolito de Pataz, a modo de techo colgante. No hay evidencia de la Formación Copacabana cerca del depósito El Gigante, sin embargo, al SO de Pataz sobreyace al Grupo Ambo.

##### **4.1.9.2.4.1. Grupo Ambo**

Moladas post-tectónicas compuestas por litofacies de arcosas y lutitas con intercalaciones de conglomerados color gris verdoso que afloran a modo de costra, cubriendo un área de 900x400 m<sup>2</sup>, encima de las rocas intrusivas del batolito de Pataz. Este afloramiento se ubica al extremo Norte del depósito y llega a tener algunas decenas de metros de potencia. Según Wilson y Reyes (1964), en la región de Pataz, esta unidad se depositó en un ambiente de transición marino continental, llega a tener espesores de 500 m en promedio, presenta pequeños cuerpos basálticos inyectados como capas o diques de afinidad al MORB, es de edad Carbonífero Inferior (Tournaisiense – Viseense) y normalmente se ubican encima del Complejo Marañón en discordancia angular marcada, mientras

que encima del Grupo Ambo se encuentra, en discordancia la Formación Copacabana.

#### **4.1.9.2.5. Depósitos Cuaternarios**

Los depósitos Cenozoicos, constituidos por suelos residuales, coluviales, fluvio-glaciares y aluviales, se extienden cubriendo gran parte del área con espesores que varían de 1 a 50 m, formando un relieve abrupto con vegetación de Puna.

Las diferentes Unidades Lito estratigráficas, están diferenciadas mediante la sección geológica del Pique Principal MARSA en el corte (AA´) y la Línea N-13600, (ver Plano N° 04) y (ver Plano N° 05).

#### **4.1.10. Litoestratigrafía del Depósito El Gigante**

La litoestratigrafía del distrito minero, está conformada por tres grandes cinturones de rocas genéticamente distintos, orientados en dirección andina y en contacto tectónico, (ver Imagen N°02); que de Este a Oeste son: i) Rocas del Ediacarico al Ordovícico, de dominio metamórfico, ii) Rocas del Carbonífero, de dominio ígneo intrusivo y iii) Rocas del Pérmico al Cretácico, de dominio sedimentario.

## Imagen N°02 Columna estratigráfica. deposito El Gigante.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DISTRITAL - DEPÓSITO EL GIGANTE							
Eón	Era	Sistema	Unidad Litoestratigráfica	Espesor (m)	Representación Gráfica	Litología	
Fanerozoico	Mesozoico	Cretácico	Formación Crisnejas	200		Calizas micríticas con ocasional intercalación con areniscas y lutitas. * <i>Stacks cuarzomazonzónicas.</i>	
		Jurásico	Grupo Goyllarisquiza	200		Areniscas de granulometría variada y estratificación cruzada.	
		Triásico	Grupo Pucará	300		Areniscas calcáreas conglomeráticas.	
		Pérmico	Grupo Mitu	400		Areniscas y conglomerados ferruginosos.	
	Paleozoico	Carbonífero		Formación Copacabana	50		Calizas grises con algunas capas de calcarenita bioclástica y lutitas oscuras.
				Grupo Ambo	300		* <i>Granitoides del Batolito de Pataz.</i> Arcosas y lutitas con intercalaciones de conglomerados.
		Devónico		Hiato	0		Etapas de no deposición de sedimentos ni de magmatismo.
		Ordovícico		Formación Contaya	200		Cuarzitas masivas, areniscas oscuras y pizarras grises.
				Formación Vijus	1200		Conglomerados, areniscas y lutitas en la base. Ignimbritas rilticas y dacíticas en la parte intermedia. Y lavas andesíticas y basálticas en el tope.
		Cámbrico					
Proterozoico	Neoproterozoico	Ediacárico	Complejo Marañón	1500		Filitas de cuarzo y micas en bandas paralelas orientadas por blastesis, de textura lepidoblástica - filítica - milonítica.	

Fuente: Elaboración propia.

### 4.1.11. Tectónica

En tal sentido, se verá en el presente capítulo todo lo relacionado con fallas pre y postmineralización que estuvieron activas sísmicamente, las cuales, después de un análisis profundo se podrán correlacionar con el período orogénico reconocido a escala regional al cual correspondan y así establecer un modelo genético a través del tiempo, que pueda servir de base en futuras exploraciones a lo largo del Batolito de Pataz.

### 4.1.12. Descripción General del Conjunto de Vetas y Fallas

El distrito de Pataz comprende un terreno de pilares y fosas tectónicas superpuestos a un ambiente de arco Paleozoico de facies de esquistos verdes (Witt et al., 2013). El basamento Paleozoico Temprano denominado Complejo Marañón, el batolito de Pataz y las unidades vulcano-sedimentarias de la cordillera Oriental Andina están expuestas en un pilar tectónico central de

tendencia NNO. El batolito, principalmente granodiorítico, estuvo emplazado como un manto más o menos concordante con las unidades de la cordillera Oriental Andina, que buzcan moderadamente al Este (Witt et al., 2016).

El contexto estructural del distrito minero El Gigante, el cual incluye a las vetas mineralizadas, está confinado al batolito de Pataz. Esto hace suponer que hubo un comportamiento mecánico diferenciado entre el batolito de Pataz y las unidades geológicas adyacentes que, durante la actividad tectónica a lo largo de dos grandes sistemas de fallas NO-SE (Huinchus – La Paccha y Los Loros), motivo la deformación frágil en el interior del batolito y, al exterior, la acomodación de la deformación fue de una manera diferente a la formación de estructuración frágil.

Es dentro de este contexto que se cartografiaron a detalle las principales fallas y vetas del depósito El Gigante, desde superficie a más de 4200 metros de cota hasta el nivel 2220, cuya nomenclatura se refiere a la cota aproximada.

En cuanto a las relaciones espaciales entre las diversas familias de estructuras frágiles reconocidas en el cartografiado al interior del batolito de Pataz, se ha definido la siguiente cronología relativa en orden de antigüedad:

- a. El sistema de fallas de orientación NO-SE y marcado buzamiento NE de alto ángulo denominado Huinchus – La Paccha (sistema de fallas Marañón), genera el contacto tectónico entre las rocas intrusivas del batolito de Pataz del Carbonífero Inferior, en sobre-posición, con las areniscas ferruginosas del Grupo Mitú de edad Pérmico - Triásico.
- b. El sistema de fallas de rumbo NNO-SSE y buzamiento aparente al SO, denominado Los Loros se cree que tienen mucha relación genética y coetaneidad con el sistema Huinchus – La Paccha y pone en contacto tectónico a las rocas intrusivas del batolito de Pataz del Carbonífero Inferior con las rocas metapelíticas del Complejo Marañón de edad Ediacarico-Cámbrico.

- c. El sistema de vetas, restringido entre los sistemas Huinchus – La Paccha y Los Loros, está dispuesto en echelon y tiene por lo general rumbo NO-SE con buzamiento de bajo ángulo hacia el NE. Estas fracturas, que posteriormente conformaron las vetas, fueron sincrónicas con la reactivación de los sistemas de fallas Huinchus – La Paccha y Los Loros; y están dispuestas como fracturas de tensión.
- d. Las fallas del sistema Las Chilcas de rumbo NNO y buzamiento al OSO, se encuentran próximas y al Oeste del sistema Los Loros. Presentan desplazamientos que pueden llegar a superar la centena de metros. Se piensa que son estructuras heredadas del sistema de fallas Los Loros. Este sistema es posterior al sistema de fallas Cabana.
- e. Y finalmente las fallas del sistema Far West de rumbo NNO y buzamiento al OSO, se encuentran próximas y al Oeste del sistema Las Chilcas. No presentan desplazamientos considerables y se cree que también fueron estructuras heredadas del sistema de fallas Los Loros. Este sistema es posterior al sistema de fallas Las Chilcas y se piensa que corresponden a la última reactivación que generó el tectonismo pre-Andino.
- f. El sistema de fallas Cabana de rumbo ENE y buzamiento de alto ángulo al NNO, se cree que fue heredado de un sistema trasandino más antiguo, producto del tectonismo pre-Andino. Jugo un papel importante en la geometría de los depósitos minerales a lo largo del batolito de Pataz y sirvió de alimentador de fluidos hidrotermales junto con los sistemas de fallas Huinchus – La Paccha y Los Loros (Witt et al., 2009).
- g. Las fallas del sistema La Española de rumbo variable, que inicia al oeste con rumbo ONO y termina al este con rumbo NNO y buzamiento al SO, están restringidas entre los sistemas de fallas Huinchus – La Paccha y Far West.

#### **4.1.13. Análisis Geométrico**

El análisis geométrico de las vetas y de los principales sistemas de fallas permitirá definir la disposición actual de dichas estructuras, teniendo en cuenta la relación de corte entre ellas y con ello su cronología relativa.

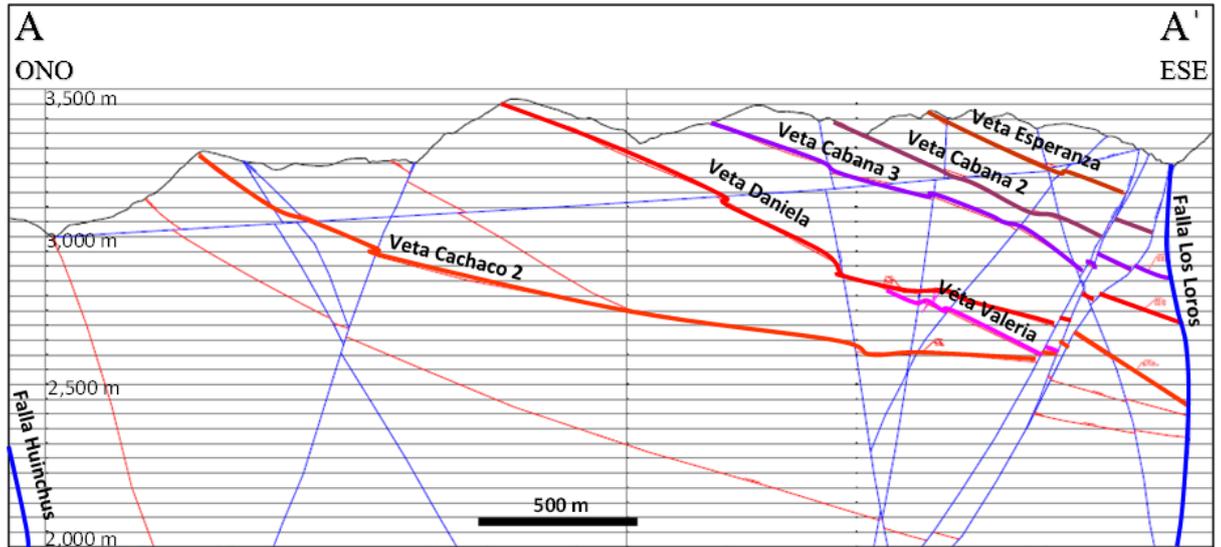
#### **4.1.14. Estudio Geométrico de las Vetas Mineralizadas**

La cordillera Oriental del norte del Perú hospeda a un cinturón de depósitos de vetas de oro, cerca del margen del Batolito de Pataz de composición granodiorítica. Las vetas de oro fueron emplazadas predominantemente en estructuras de segundo y tercer orden de rumbo NNO – SSE en los granitoides y subordinadamente en vetas concordantes a los estratos en las filitas del Complejo Marañón (Haeberlin, 2002).

Todas las vetas mineralizadas están situadas al Este del lineamiento mayor de rumbo NNO – SSE, el cual aparentemente actuó como un canal principal para los fluidos hidrotermales (Haeberlin, 2002). Sin embargo, el control de la abundancia de sulfuros es incierta, pero algunas evidencias indican que puede estar controlada por fallas de rumbo ENE – OSO del sistema Cabana. Estas estructuras son importantes en la localización de mineralización de oro a escala distrital (Witt et al., 2013) y las intersecciones de las fallas con las vetas de cuarzo carbonatos- sulfuros también parecen controlar los clavos mineralizados de alta ley a escala local (Sánchez, 2006).

Las principales vetas en actual exploración y explotación, dentro del depósito El Gigante, son: Esperanza, Valeria, Cabana 2, Shakira, Daniela, Cabana 3 y Cachaco 2 (figura 2.9). Todas las vetas, excepto Valeria, tienen rumbo constante NO – SE, siendo la veta Esperanza la estructura más representativa del depósito El Gigante, (ver Imagen N°03).

**Imagen N°03** El Gigante. Sección geológica A-A' de rumbo ONO, mostrando la geometría y disposición de las vetas del depósito El Gigante. Escala horizontal y vertical en verdadera magnitud.



verdadera magnitud.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.15. Estudio Geométrico de las Fallas

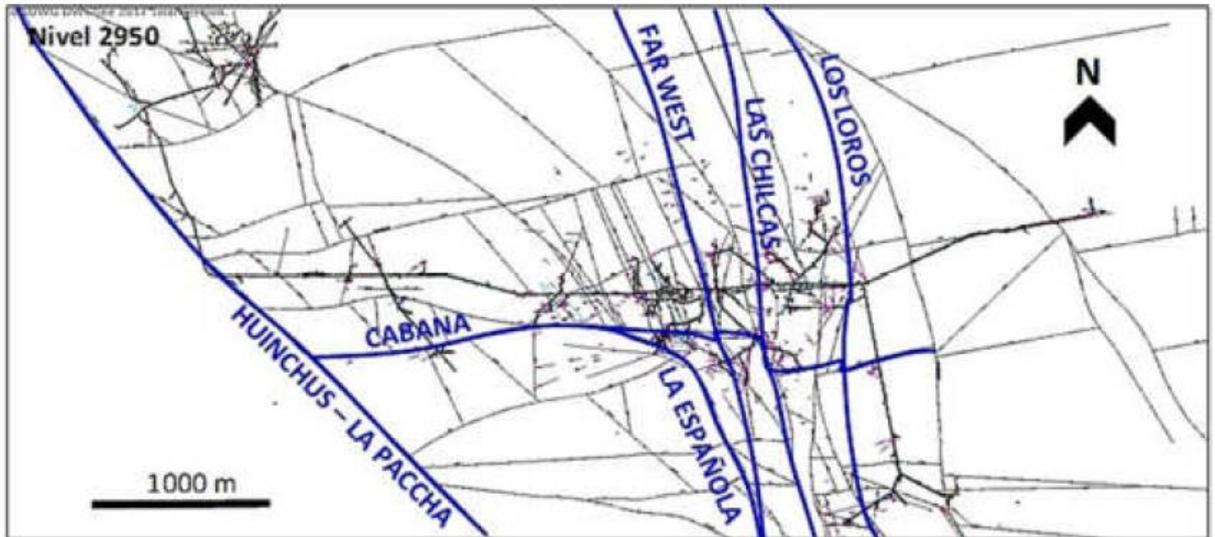
La geometría de la disposición de los sistemas de fallas del distrito minero El Gigante obedece a la naturaleza frágil del batolito de Pataz y al control estructural que ejercieron los sistemas de fallas noroeste Huinchus – La Paccha y Los Loros, limitando la zona de cizalla en cuyo interior se formaron los casi todos los sistemas de fallas y vetas.

De acuerdo con el cartografiado geológico del depósito minero, hospedado en el batolito de Pataz y según lo mencionado al inicio del presente capítulo, se ha identificado la siguiente cronología relativa en la ocurrencia de sistemas de fallas, (ver Imagen N°04).

- a. Sistemas de fallas NNO - SSE Huinchus – La Paccha y Los Loros.
- b. Sistema de fallas E – O Cabana.
- c. Sistema de fallas NNO - SSE Las Chilcas. Heredada del sistema de fallas Los Loros.

- d. Sistemas de fallas NNO - SSE Far West. Heredadas de sistema de fallas Los Loros.
- e. Sistema de fallas NO – SE La Española.

**Imagen N°04** Cartografía del nivel 2950, mostrando las principales fallas del depósito El Gigante



Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.16. Análisis Cinemático.**

El análisis cinemático de las vetas y de los principales sistemas de fallas permitirá definir el movimiento de dichas estructuras, mediante el registro de tectoglifos y estructuras de cizalla.

Teniendo en cuenta que se encontraran mejor conservados los últimos registros, relacionados al último evento tectónico que afecte a las vetas o a determinado sistema de fallas, sin embargo, en algunos casos se ha podido identificar registros anteriores.

#### **4.1.17. Estudio Cinemático de las Vetas Mineralizadas**

El contexto regional indica que las vetas de oro se emplazaron en estructuras de segundo y tercer orden de rumbo NNO – SSE en los granitoides del Batolito de Pataz y subordinadamente en vetas concordantes a la

estratificación en el Complejo Marañón, bajo una cizalla oblicua en un evento compresional aproximadamente E – O (Haeberlin, 2002).

Dentro del depósito El Gigante, dichas vetas presentan rumbos constantes, un arreglo en echelon y tienen bajo ángulo de buzamiento.

Al observar el interior de las vetas mineralizadas en fractura fresca, dentro de una labor minera, se puede apreciar que están compuestas principalmente por cuarzo masivo lechoso con textura de crecimiento primario, denominada “peine”, originada a partir de un fluido hidrotermal saturado con cuarzo, en condiciones poco fluctuantes o de cambios lentos en un espacio abierto durante el crecimiento del cristal de cuarzo, el cual, por selección geométrica, entra en competencia por el espacio entre otros cristales adyacentes, que da lugar al crecimiento de solo aquellos cristales donde la dirección de la tasa máxima de crecimiento es perpendicular a la superficie de crecimiento (Guoyi, 1995).

La evidencia de los diferentes eventos de inyección de fluidos hidrotermales se aprecia a escala microscópica, reconociendo por lo menos cuatro eventos de cuarzo, antecedidos y precedidos por eventos cataclásticos, que en orden cronológico son:

- a. Cuarzo masivo brechificado (H1),
- b. Cuarzo en microvenillas con alto contenido de sulfuros (H2),
- c. Cuarzo en microvenillas con trazas de sulfuros, presenta desplazamiento (H3, H4 y H5); y
- d. Cuarzo acompañado con calcita (H6), se presentan rellenando cavidades en zonas de debilidad a lo largo de bandas de sulfuros masivos y también se encuentran en microvenillas finas, (ver cuadro N°05), Donde “C” es el evento cataclásticos y “H” es el evento hidrotermal definido por la precipitación de una o varias especies minerales.

**Cuadro N° 07** Secuencia Paragenetica del Depósito El Gigante.

Evento Mineral		H1		H2		H3		H4		H5		H6	
Especie Mineral	Cataclasis	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
	Fórmula												
Pirita	$Fe_3S$												
Arsenopirita	$FeAsS$												
Esfalerita	$ZnS$												
Galena	$PbS$												
Calcopirita	$CuFeS_2$												
Tennantita	$(Cu,Fe)_{12}As_4S_{13}$												
Oro - Electrum	$Au - (Au,Ag)$												
Cuarzo	$SiO_2$												
Calcita	$CaCO_3$												
Sericita	$KAl_2(OH)_2(AlSi_3O_{10})$												
Cloritas	$(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2(Mg,Fe)_3(OH)_6$												

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.18. Estudio Cinemático de las Fallas.

Como se mencionó anteriormente, la cinemática registrada en las fallas mediante el registro de tectoglifos y estructuras de cizalla, puede estar representando al último evento tectónico que afectó a dichas fallas, sin embargo, en algunos casos se ha podido identificar registros anteriores.

En la mayoría de sistemas de fallas se ha podido identificar el desplazamiento resultante de los distintos eventos tectónicos que las afectaron, gracias al desarrollo de la exploración con labores mineras subterráneas, sin embargo, también ha sido posible registrar la presencia de tectoglifos que identifican a cada evento tectónico por separado.

Adicionalmente, ha sido posible el cálculo del desplazamiento real de las principales fallas de los distintos sistemas de fallas mediante el cálculo trigonométrico que se encuentra en función de la longitud del desplazamiento

horizontal, del azimut de la tendencia de la estría de falla, y del ángulo de inmersión de la estría de falla; éste último obtenido en función del ángulo de inclinación de la estría de falla y el ángulo de buzamiento de la falla. Sistemas de fallas Huinchus – La Paccha y Los Loros Los sistemas de fallas Huinchus – La Paccha y Los Loros presentan una evidente relación genética y coetaneidad, por lo tanto, el estudio cinemático de estos dos sistemas se realizará en conjunto, (ver cuadro N°06).

El registro más contundente sobre el desplazamiento que generan los sistemas de fallas Huinchus – La Paccha y Los Loros, se evidencia en el cartografiado distrital de superficie, el cual destaca:

- a. El contacto tectónico que genera la falla Huinchus – La Paccha entre las areniscas Permo – Triásicas del grupo Mitú y los granitoides Carboníferos del Batolito de Pataz, indicando un contundente movimiento inverso, corroborado por la presencia de estrías de falla.
- b. El contacto tectónico que genera la falla Los Loros entre los granitoides Carboníferos del Batolito de Pataz y las filitas Ediacáricas del Complejo Maraón, cuyo sentido de movimiento y dirección fueron confirmadas por la presencia de cristalización al abrigo de cuarzo.

**Cuadro N° 08** Cinemática de Fallas

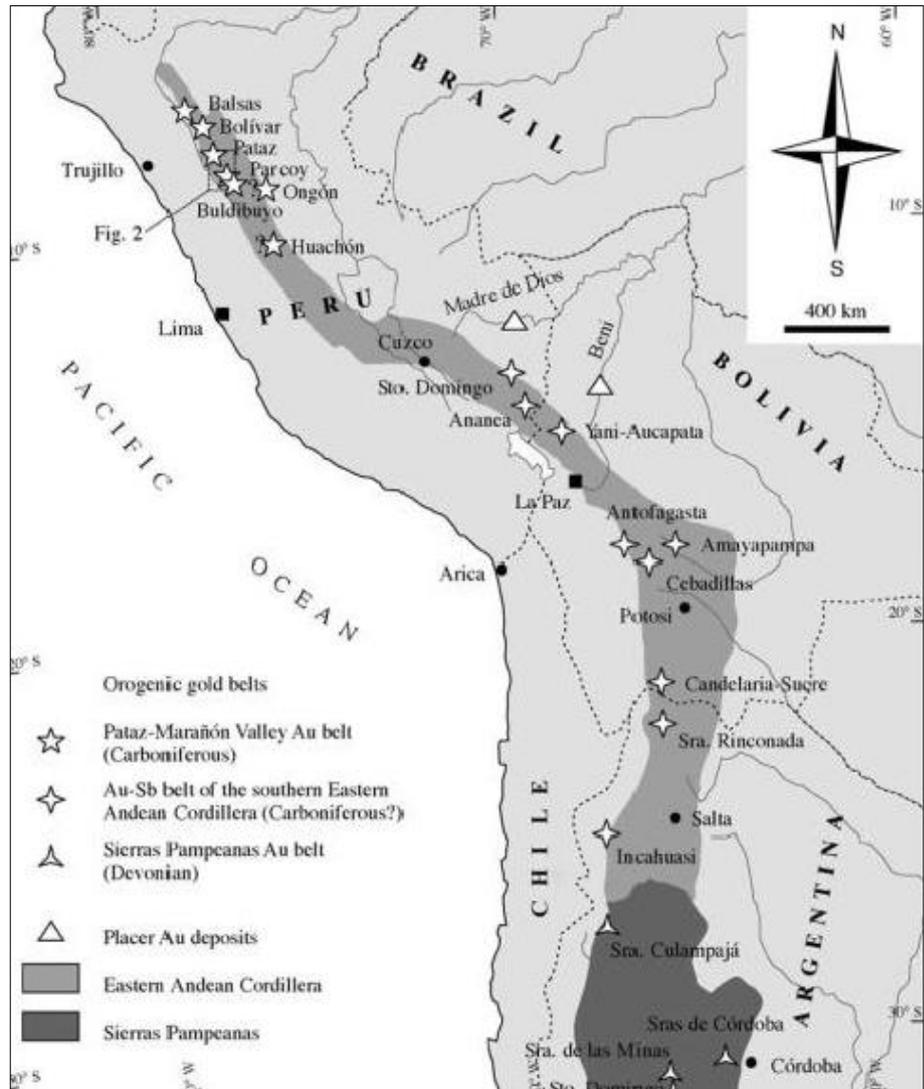
Falla	Cinemática Original	Cinemática de Reactivación <sup>(1)</sup>	Az.	Buz.	Pitch	Trend	Plunge	Desplazamiento (m) <sup>(2)</sup>
Huinchus - La Paccha	n/a	Inversa	330	75	60	70	50	3800
Los Loros	n/a	Normal <sup>(3)</sup>	175	85	65	260	60	2300
Cabana	Normal	Sinextral	250	70	30	320	25	280
Las Chilcas <sup>(4)</sup>	n/a	Dextral	170	70	25	235	30	260
Far West <sup>(4)</sup>	n/a	Sinextral	185	75	20	240	20	55
La Española	Sinextral	Inversa	130	60	60	265	40	80
<sup>(1)</sup> referida a la reactivación cuyo desplazamiento es considerablemente superior a posibles reactivaciones anteriores o posteriores.								
<sup>(2)</sup> desplazamiento real en metros, sobre la estría de falla. Referido al desplazamiento generado por la reactivación de la falla.								
<sup>(3)</sup> cinemática aparente debido al buzamiento local al SO, sin embargo, por tratarse de fallas sub-verticales es muy probable que el buzamiento general sea hacia el NE, como el del sistema de fallas Huinchus - La Paccha y su cinemática sea inversa.								
<sup>(4)</sup> sistemas de fallas producto de la reactivación del sistema de fallas Los Loros.								

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.19. Metalogenética

El depósito El Gigante, hospedado íntegramente en las rocas intrusivas del batolito de Pataz del cinturón (ii), está constituido por un sistema de vetas sub-paralelas en echelon de bajo ángulo, de 2 m de potencia promedio, rellenas de cuarzo masivo lechoso, sulfuros como pirita, arsenopirita, esfalerita, galena, calcopirita • } cobres grises y oro-electrum de hasta 50 µm como inclusiones o relleno de microfisuras, con una ley promedio de 10 g/t Au. La geometría de la zona mineralizada en las vetas es tabular, con un azimut promedio de 20°, puede llegar a tener hasta 2 km de largo por 1 km de ancho como en la veta Esperanza, pero en promedio tiene 1 km de largo por 500 m de ancho, (ver Imagen N°05).

**Imagen N°05** Metalotecto de Pataz en el cinturón orogénico Devónico - Carbonífero de Au.



Fuente: Elaboración propia.

**4.1.20. Mineralogía.**

La mineralización rellena espacios abiertos o vetas, (ver Imagen N°06), sella grietas o cementa brechas; también se observan mineralización diseminada con características de reemplazamiento relacionadas a la alteración (principalmente sericita, calcita y albita). Una característica común de mucha de la mineralización es la intensa y repetida cataclasis, sugiriendo sucesivos eventos de deformación frágil, flujo hidrotermal y precipitación de mineralización.

**Imagen N°06** Veta Cabana 3 compuesta por cuarzo y sulfuros masivos afectados por cataclasis (zona limitada por líneas rojas); b) Roca caja alterada sericita-calcita-albita con diseminación de sulfuros, principalmente pirita (zona adyacente a la veta limitada por líneas verdes).



Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.21. Petrografía y geotermometría de inclusiones fluidas**

El proyecto de Inclusiones Fluidas del depósito El Gigante se enfoca en el estudio de las principales vetas como: Esperanza, Valeria, Cabana 2, Shakira, Cabana 3 y Cachaco 2, de las cuales se tomaron muestras espacialmente representativas, en diferentes niveles de la mina El Gigante, desde el nivel 3815 hasta el nivel 2620 (niveles representados por su cota).

Establecer las condiciones de formación de las vetas, como temperatura y profundidad de formación.

- a. Determinar el grado de exhumación del depósito El Gigante.
- b. Tipificar el depósito basado en los resultados de Th y salinidad.
- c. Construir una sección idealizada con curvas de isotermas para asociarlas al contenido de oro de las vetas y proyectar posibles zonas prospectivas dentro del depósito El Gigante.

El estudio de la termometría de inclusiones fluidas del depósito El Gigante permitió el cálculo de la salinidad (% en peso de NaCl equivalente) y temperatura de homogenización (°C), las cuales se colocaron en el diagrama de Wilkinson (2001) con la finalidad de discriminar y tipificar el depósito en el que se originaron las inclusiones fluidas. La ubicación de las muestras del depósito El Gigante se ubican en el campo de depósitos de oro orogénico (lode gold), (ver cuadro N°07).

**Cuadro N° 09** Cuadro resumen de las principales medidas de la termometría de inclusiones fluidas de las vetas Valeria, Esperanza y Cabana 2. Deposito El Gigante.

VETA	MUESTRA	CLAF.	MIN	TIPO	Øμ	FILL	-tf (°C)	Th (°C)	NaCl (wt%)	ρ(g/cm <sup>3</sup> )	P (bar)
VALERIA	746663	P Lw	CZ	BIF	6,0	0,9	3,3	130,5	5,4	1,2	1,9
VALERIA	725510	P Lw	CZ	BIF	4,0	0,7	10,5	251,0	14,5	1,1	28,0
VALERIA	747034	P Lw	CZ	BIF	6,0	0,8	6,4	330,8	9,7	1,1	85,6
ESPERANZA	748249	P-Lw	CZ	BIF	2,5	0,9	2,0	129,7	3,4	1,2	1,9
ESPERANZA	655416	P Lw	CZ	BIF	4,0	0,7	2,5	229,3	4,2	1,1	19,5
ESPERANZA	748423	P Lw	CZ	BIF	6,0	0,9	10,1	334,7	14,0	1,1	89,6
CABANA 2	747838	P Lw	CZ	BIF	3,0	0,9	4,0	112,4	6,4	1,2	1,0
CABANA 2	748366	P Lw	CZ	BIF	4,0	0,7	2,3	245,9	3,9	1,1	25,8
CABANA 2	748647	P Lw	CZ	BIF	4,0	0,9	6,4	328,0	9,7	1,1	82,8

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.22. Sistema hidrotermal

Entender la naturaleza del fluido hidrotermal que dio origen a la mineralización del depósito El Gigante radica en entender también la naturaleza de la alteración hidrotermal de la roca caja que dicho fluido produce en ella.

La roca caja de las vetas mineralizadas son las rocas ígneas intrusivas del batolito de Patáz, la cual en contacto con los fluidos hidrotermales que dieron origen a las vetas mineralizadas produjo un halo de alteración de dimensiones centimétricas a métricas contigua a las vetas, cuya paragénesis de minerales de alteración, determinada por estudios de microscopía y difracción de rayos X, está conformada principalmente por:

- a. Sericita, producto de la alteración de los feldespatos y da lugar a la sericitización

- b. Calcita, mineral característico de fluidos hidrotermales ricos en CO<sub>2</sub> de depósitos de oro orogénico, que origina calcitización.
- c. Albita, a partir de la alteración de feldespatos por adición de sodio, provocando albitización.
- d. Epidota, por la alteración de feldespatos, que en algunos casos es producto de la saussuritización, pero es muy escaso.
- e. Cloritas producto de la alteración de minerales ferromagnesianos, característico de la cloritización. Este puede llegar a decenas de metros.

#### **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.**

##### **4.2.1. Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso.**

###### **Litología y alteraciones.**

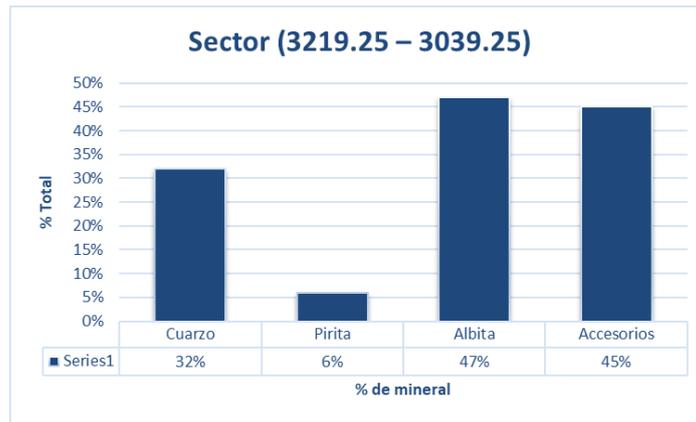
En base a investigaciones geomecánicas (Registro geomecánico de sondajes diamantinos, ensayo de mecánica de rocas en campo) realizadas al macizo rocoso del eje del proyecto Pique Principal y a su entorno físico de labores conexas al proyecto, se ha sectorizado en 4 zonas que analizado en sección longitudinal al eje de la excavación expone las siguientes litologías;

###### **Sector (3219.25 – 3039.25)**

Microdiorita, roca plutónica intrusiva color gris oscuro con tonalidades algo verdosas textura fanerítica o granuda el tamaño de grano es menor a 1mm (grano fino), se observa débil silicificación y moderada cloritización con dis de Py en trazas, (ver Cuadro N° 10).

Presenta. - Qz: 32%, P: 6%, A: 47%, Accesorios: 15%.

**Cuadro N° 10** Litología del Sector (3219.25 – 3039.25).



Fuente: Elaboración propia.

**Sector (3019.25- 2859.59)**

Pórfido tonalítico, roca intrusiva de textura fanerítica sus cristales se presentan de forma euhedral y granular el color varia en tonalidades gris, se observa moderada cloritización y sericitización con tamos moderadamente fracturados.

Presenta. - Qz: 15%, P: 34%, A: 1%, Accesorios: 50%.

✚ En 3019.25 y 2920.70 presenta fallas, con relleno de roca triturada y gouge (zona de falla de 3.5m y espesor de 0.90m respectivamente), (ver Cuadro N°11).

**Cuadro N° 11** Litología del Sector (3019.25- 2859.59).



Fuente: Elaboración propia.

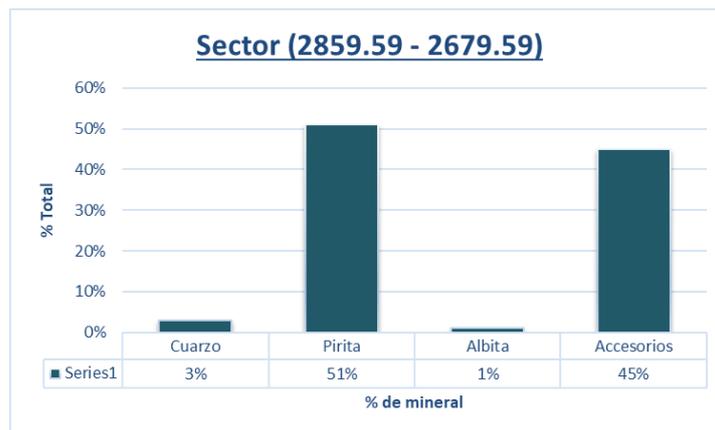
### Sector (2859.59 - 2679.59)

Microdiorita, roca plutónica intrusiva color gris oscuro con tonalidades algo verdosas textura fanerítica o granuda el tamaño de grano es menor a 1mm (grano fino), se observa débil silicificación y moderada cloritización con diss de Py en trazas.

Presenta. - Qz: 3%, P: 51%, A: 1%, Accesorios: 45%.

En 2679.59 presenta una Falla, con relleno de roca triturada y gouge (zona de falla de 1.36m), (ver Cuadro N° 12).

**Cuadro N° 12** Litología del Sector (2859.59 - 2679.59).



Fuente: Elaboración propia.

### Sector (2679.59- 2470.36)

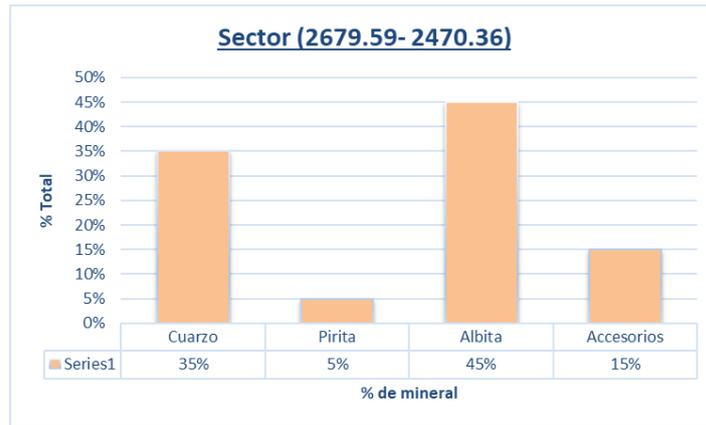
Pórfido granito, roca plutónica intrusiva de textura fanerítica o granuda, cristales holocristalinos de grano grueso moderadamente silicificada se observa FdK secundario y diss de Py en trazas, (ver Cuadro N° 13).

Presenta. - Qz: 35%, P: 5%, A: 45%, Accesorios: 15%.

En el tramo 2620.41 – 2541.16 se observa una roca ígnea intrusiva gris verduzco de textura afanítica (Dique Sub Volcánico).

En el tramo 22510.11 - 2470.71 se observa roca triturada, producto del tránsito de maquinarias y personal.

**Cuadro N° 13** Litología del Sector (2679.59- 2470.36).



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.2. Análisis estereográfico de datos estructurales.

Para establecer las características de la distribución de discontinuidades tanto mayores como menores, el procesamiento de los datos orientacionales se realizó mediante técnicas de proyección estereográfica, utilizando la versión avanzada del programa de computo “Dips 7.0, versión 7.011 de Rocscience Inc. 2017” elaborado por M.S. Diederichs y E. Hoek (1995) siendo este el Grupo de Ingeniería de Rocas del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Toronto (Canadá). Se ha preferido utilizar esta versión por las facilidades de salidas gráficas que presenta. Los detalles de los resultados de las características de distribución de los sistemas de discontinuidades estructurales se muestran en los planos estructurales proporcionados por MARSAs. Los análisis que en seguida se efectúan están referidos a las estructuras en general (estructuras mayores y estructuras menores), en los que se incluye a los diferentes tipos de discontinuidades registradas en toda el área evaluada: diaclasas, fallas, fallas de contacto, fallas de vetas, vetillas, etc. Los resultados del procesamiento se representan en los diagramas estereográficos de densidad de polos, contornos, círculos máximos y diagrama de roseta.

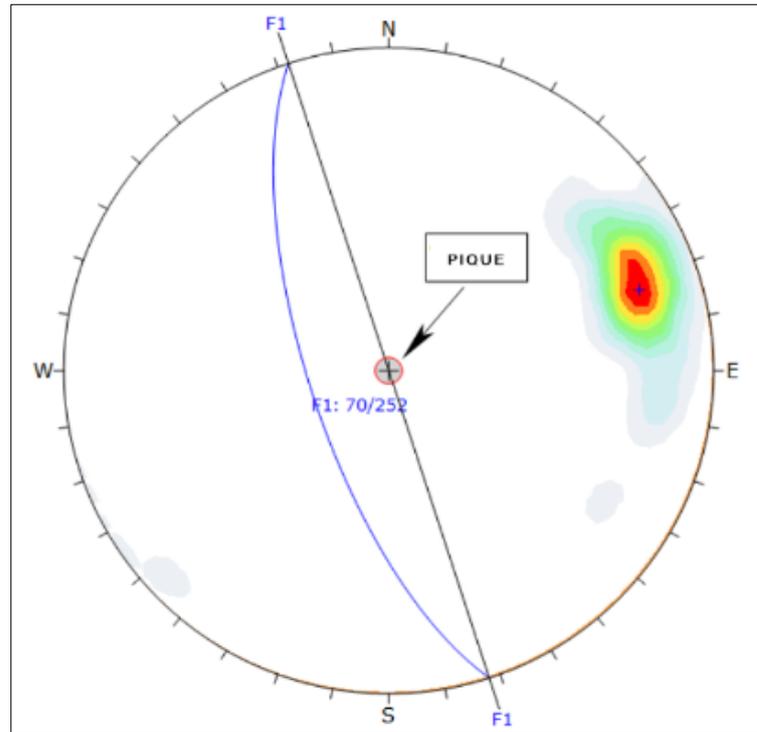
#### 4.2.3. Fallas

Tipificadas como discontinuidades estructurales de mayor orden e importancia desde el punto de vista de estabilidad estructuralmente controlada a nivel de esta evaluación, debido a que la sola presencia de estas fallas implica un cambio en las características geomecánicas de la roca antes y después de la misma, su influencia en el deterioro significativo del comportamiento de las masa rocosa debido a que incrementa el grado de fracturamiento y disminuye los parámetros de resistencia (cohesión-fricción). En la zona de interés, se ha identificado dos sistemas de fallamiento predominantes asociados a la tectónica del lugar “Sistema NW-NS y Sistema NW-SE”. Las características geomecánicas de estos sistemas de fallas en el área de interés y su entorno físico presentan los siguientes rasgos:

- Sistema NW-NS. - Este sistema es gravitacional de rumbo N30°W a NS con alto buzamiento al W, de cinemática inversa dextral (Sistemas Chilcas, Las Chilcas, Los Loros, Sistema Los Loros).
- Sistema NW-SE. - Este sistema posee rumbo NW-SE con medio a bajo buzamiento al NE, donde estas están relacionadas a eventos compresivos con cinemática inversa. Los cuales corresponden a estructuras principales al oeste del sector en evaluación.

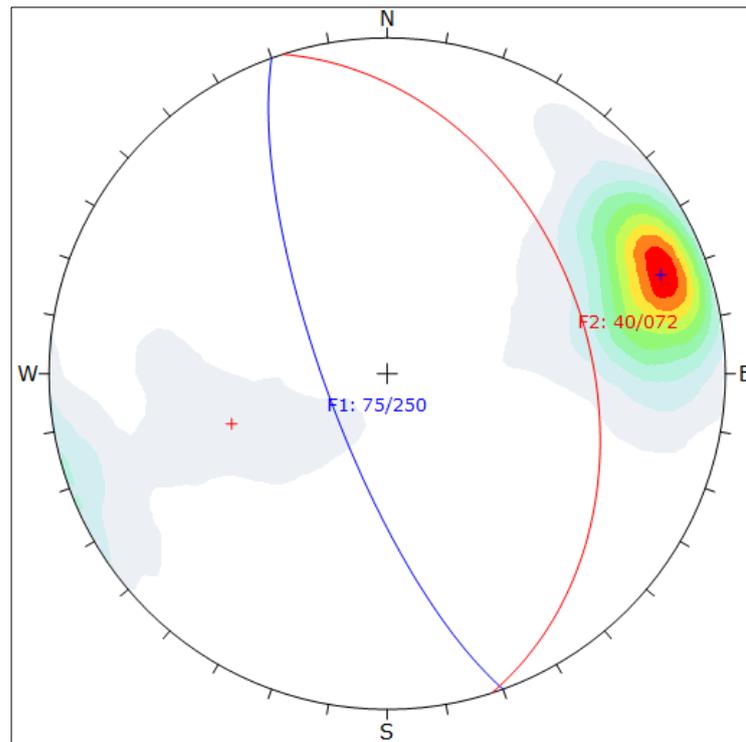
La influencia de estas fallas afectan significativamente al deterioro del comportamiento físico-mecánico de las rocas adyacentes a través del incremento de su permeabilidad, disminución de los parámetros de resistencia al esfuerzo de corte, incremento del grado de fracturamiento, dependiendo de la magnitud de las mismas, la influencia de las fallas varía desde unos centímetros hasta unas decenas de metros, se aprecian “alteradas, muy alteradas a descompuestas” con presencia de agua en las paredes de las discontinuidades a modo “mojado, goteo y ocasionalmente con presencia de flujos moderados”.

**Imagen N°07 Diagrama estereográfico de sistemas de fallas principales.**



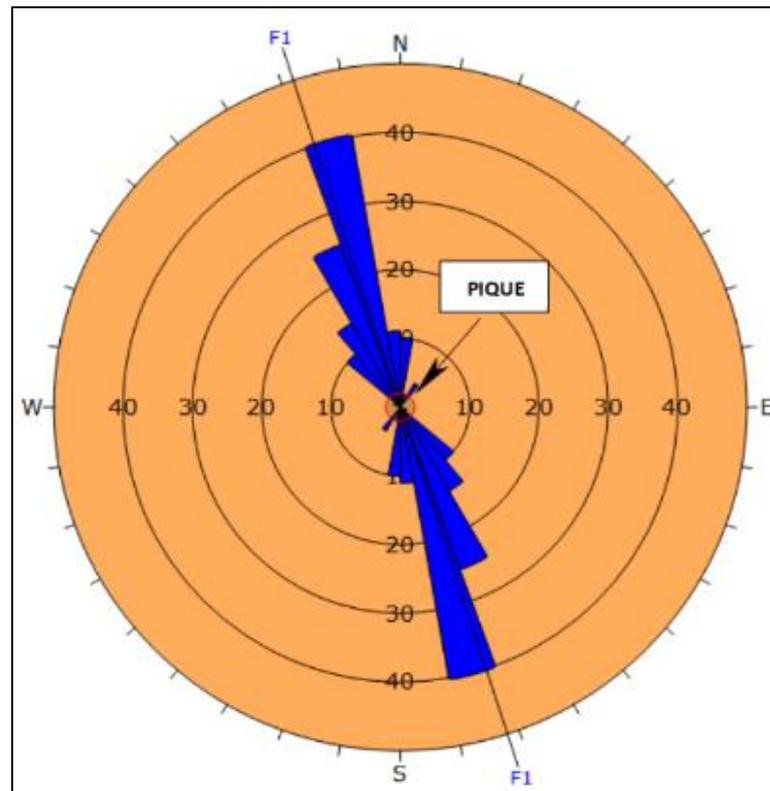
Fuente: Elaboración propia.

**Imagen N°08 Fallas \_ Entorno a la evaluación**



Fuente: Elaboración propia.

### Imagen N°09 DR – Fallas \_ Entorno a la evaluación.



Fuente: Elaboración propia.

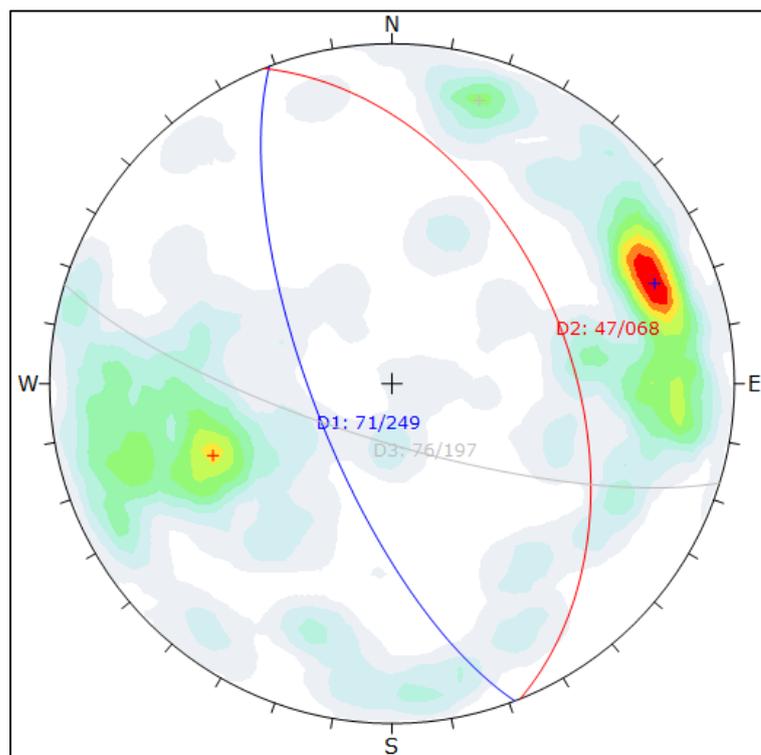
#### 4.2.4. Diaclasas:

Tipificadas como discontinuidades estructurales menores constituyen una de las componentes importantes desde el punto de vista de la estabilidad estructuralmente controlada en macizos rocosos fracturados como es el caso de interés y representan un factor determinante de la calidad de rocas pues está asociada a dos criterios el “tamaño de bloques” (define el grado de fracturamiento) y la “resistencia al esfuerzo de corte en la paredes de discontinuidades” (parámetros de cohesión-fricción) ya que en macizos rocosos fracturados este factor toma mayor relevancia inclusive que la misma resistencia a compresión de la roca.

Las características geomecánicas de las discontinuidades estructurales en los distintos dominios evaluados en el eje del proyecto Pique Principal Marsa presentan espaciamientos muy variables entre 6-20 centímetros y menores a 6

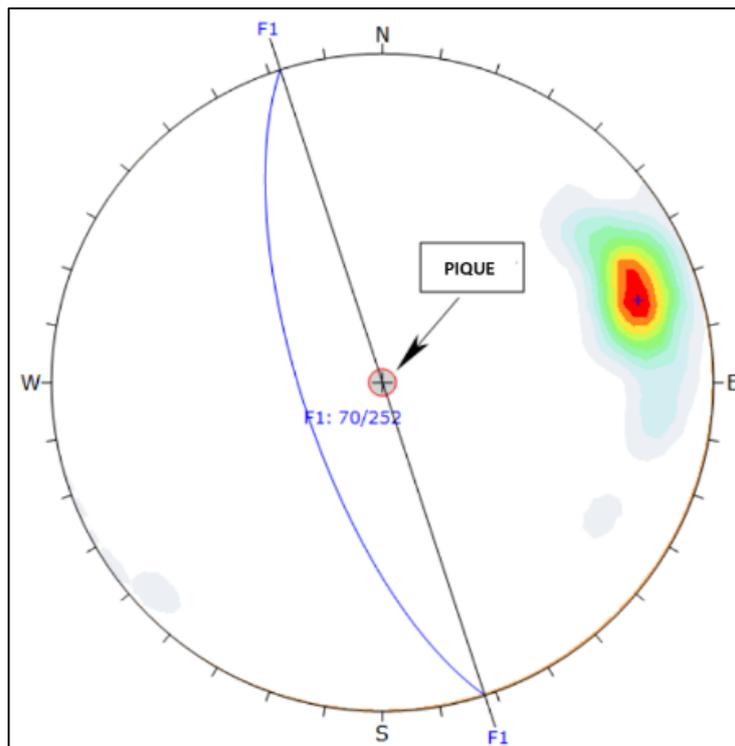
centímetros; la persistencia se estima entre 3-10 metros, el grado de apertura que se presenta en los testigos de perforación diamantina varían desde angosta (0.1-1.0 mm) a abierta (1-5 mm); en zonas de falla la rugosidad en la paredes de estas discontinuidades varía desde “rugosas, ligeramente rugosas y lisas”; y en cuanto al relleno de discontinuidades se presentan por lo general rellenos del tipo carbonatos, óxidos y sulfuros, (ver Imagen N°35).

**Imagen N°10 Diagrama estereográfico de sistemas de diaclasas principales.**



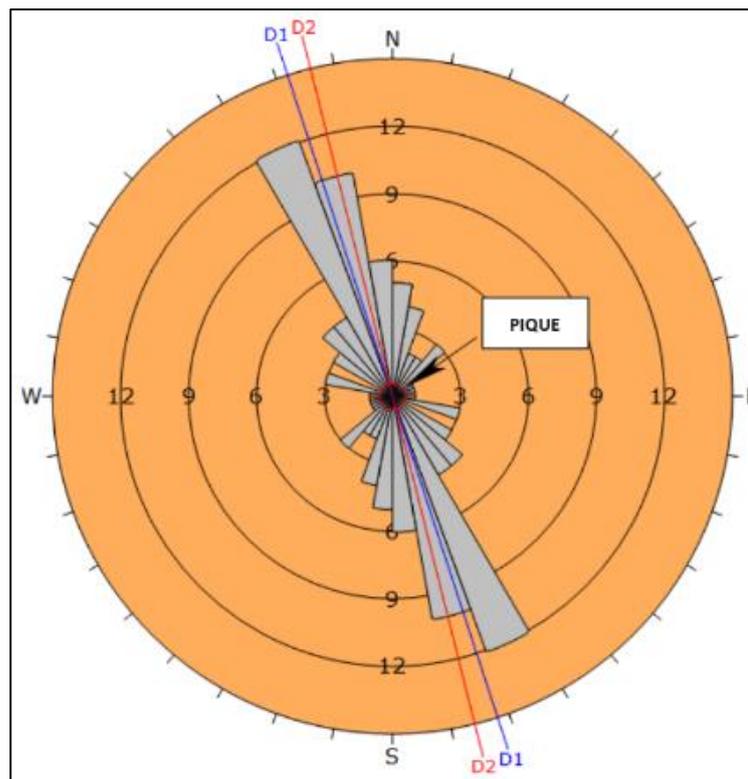
Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°11 DE – Diaclasa \_ Entorno a la evaluación



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°12 RE – Diaclasa \_ Entorno a la evaluación



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 14 Principales sistemas de discontinuidades estructurales.**

TIPO DE ESTRUCTURA	SISTEMA DE DISCONTINUIDAD ESTRUCTURAL		
	F1	F2	F3
FALLAS	75/250	40/072	-
	D1	D2	D3
DIACLASAS	71/249	47/068	76/197

**Nota: \*El sistema de discontinuidad estructural se describe a través de la notación: "Buzamiento / D. Buzamiento".**

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del proceso de datos estructurales, mostrados en las Imágenes 32 al 37 y cuadro N°14 (compósito del Nivel 3220 al Nivel 2470), constituyen la información válida para utilizar el criterio de Hipótesis de Fallas Conjugadas” y demostrar la conservación de la “dirección de esfuerzos principales, Se aprecia que las variaciones a nivel de datos globales son mínimas respecto al análisis por nivel.

#### **4.2.5. Aspectos Geológicos**

La zona aurífera de Parcoy, Gigante y Buldibuyo (MINA MARSÁ) está ligada a una faja de rocas intrusivas conocida como “Batolito de Pataz”, que cortan a los esquistos, filitas, pizarras y rocas metavolcánicas del Complejo Marañón.

El Batolito de Pataz se extiende 50 Km entre Vijus al norte y Buldibuyo al sur (como una franja longitudinal de rumbo N60°W), con un ancho promedio de 2.5 Km, limitado por el E-NE con el Complejo Marañón y Volcánicos Lavasén, y por el W-SW con las rocas sedimentarias mesozoicas de la Formación Crisnejas. Al NW del batolito, afloran pequeños intrusivos de pórfido diorita-andesita, que intruyen a las rocas paleozoicas, pertenecientes posiblemente al Cretáceo Superior.

El relleno de las estructuras mineralizadas está constituido por cuarzo lechoso, pirita, arsenopirita, marmatita-esfalerita, calcopirita, galena, pirrotita y oro en estado nativo y libre.

#### 4.2.6. Estimación parámetros de resistencia

##### a. Resistencia de roca intacta y discontinuidades

Para estimar la resistencia de roca, en campo se usó picota de geólogo y en laboratorio se realizó ensayos de Mecánica de Rocas (Ensayos de Compresión Simple, Ensayos de Propiedades Físicas, Ensayos de Propiedades Elásticas, Ensayos de Compresión Triaxial, Ensayos de Corte Directo, Pontifica Universidad Católica del Perú

##### b. Ensayos de Compresión Simple

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D2938-95

**Cuadro N° 15 Datos de muestra**

Muestra	Profundidad	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga (kg)	Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la Compresión Simple (MPa)
DDH-09-001 M-16	270.5	6.08	11.95	31100.00	1070.48	104.75
DDH-09-001 M-22	534.45	4.5	8.34	900.00	56.59	5.5

Fuente: Elaboración propia.

**Imagen N°13 Ensayo de Compresión Simple.**



Fuente: Elaboración propia.

##### c. Ensayos de Propiedades Físicas

Los ensayos se realizaron según los métodos sugeridos por la ISRM (1979) \*.

**Imagen N°14** Características de sondajes departamento de Ingeniería

**Sección Ingeniería de Minas**

Muestra	Profundidad	Sondaje	Peso saturado (gr)	Peso suspendido (gr)	Peso seco (gr)	Volumen (cm3)	Densidad Seca (gr/cm3)	Densidad Saturada (gr/cm3)	Porosidad Aparente (%)	Absorción (%)
DDH-09-001 M-5	72.3	A	197.06	122.83	195.64	74.23	2.636	2.655	1.913	0.726
		B	167.2	104.46	166.3	62.74	2.651	2.665	1.434	0.541
		C	153.34	95.82	152.6	57.52	2.653	2.666	1.287	0.485
		D	164.94	102.76	163.65	62.18	2.632	2.653	2.075	0.788
		E	176.75	109.85	175.13	66.9	2.618	2.642	2.422	0.925
						Promedio	2.638	2.656	1.826	0.693
DDH-09-001 M-9	113.8	A	210.61	133.74	207.82	76.87	2.704	2.74	3.63	1.343
		B	198.55	126.28	196.18	72.27	2.715	2.747	3.279	1.208
		C	157.66	100.75	156.42	56.91	2.749	2.77	2.179	0.793
		D	132.73	84.33	131.26	48.4	2.712	2.742	3.037	1.12
		E	158.94	101.57	157.91	57.37	2.752	2.77	1.795	0.652
						Promedio	2.726	2.754	2.784	1.023
DDH-09-001 M-26	643.5	A	111.59	69.47	111.16	42.12	2.639	2.649	1.021	0.387
		B	104.28	64.89	103.83	39.39	2.636	2.647	1.142	0.433
		C	131.41	81.89	130.81	49.52	2.642	2.654	1.212	0.459
		D	125.96	78.22	125.5	47.74	2.629	2.638	0.964	0.367
		E	106.13	65.99	105.66	40.14	2.632	2.644	1.171	0.445
						Promedio	2.636	2.647	1.102	0.418
DDH-09-001 M-27	11.5	A	213.91	133.5	213.57	80.41	2.656	2.66	0.423	0.159
		B	183.56	114.56	183.17	69	2.655	2.66	0.565	0.213
		C	188.86	117.95	188.44	70.91	2.657	2.663	0.592	0.223
		D	198.08	123.57	197.63	74.51	2.652	2.658	0.604	0.228
		E	203.42	126.95	203.03	76.47	2.655	2.66	0.51	0.192
						Promedio	2.655	2.66	0.539	0.203

Fuente: Elaboración propia.

**d. Ensayos de Propiedades Elásticas**

Los ensayos se realizaron según los métodos sugeridos por la ISRM (1979) \*.

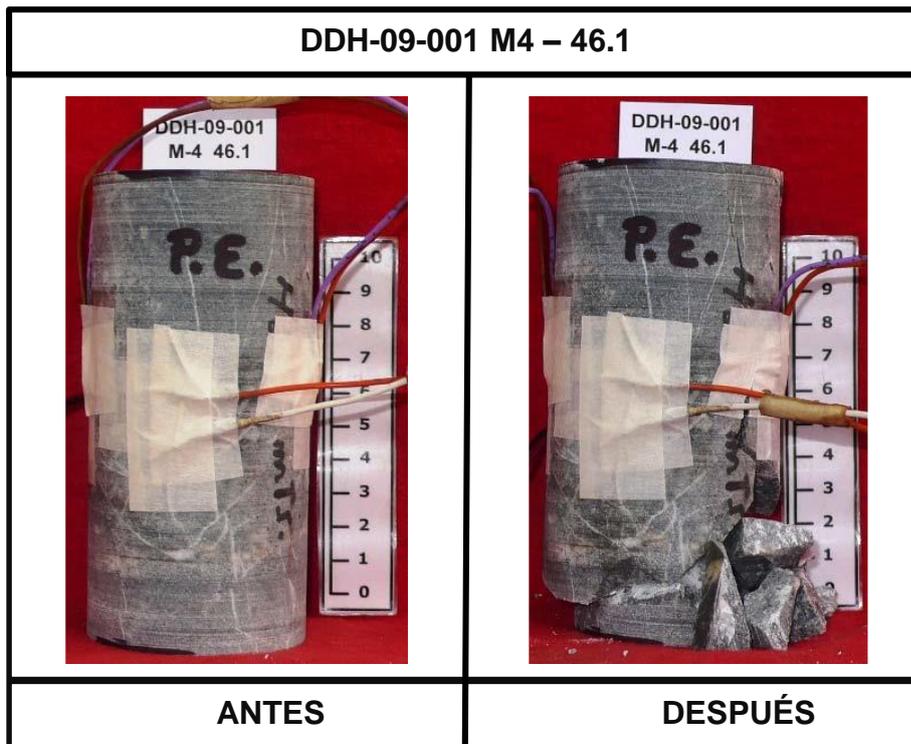
**Imagen N°15** Características de propiedades elásticas departamento

**De Ingeniería Sección Ingeniería de Minas**

Muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Coefficiente de Poisson (v)	Resistencia última Ru (Kg/cm2)	Resistencia última Ru (MPa)
DDH-09-001 M - 4	100.22	0.11	515.63	50.57
DDH-09-001 M - 10	86.33	0.15	940.45	92.23
DDH-09-001 M - 15	88.84	0.23	1510.52	148.13
DDH-09-001 M - 18	85.71	0.4	453.75	44.5
DDH-09-001 M - 20	68.7	0.13	527.01	51.68
DDH-3276 M - 24	81.43	0.11	1389.58	136.27
DDH-09-001 M - 28	77.97	0.09	645.33	63.28

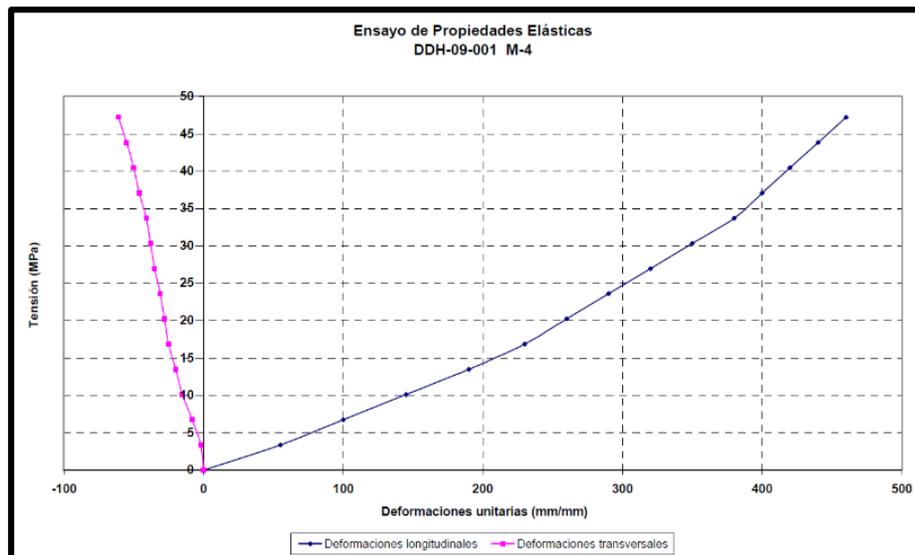
Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°16 Ensayo de Compresión Elástica 46.10



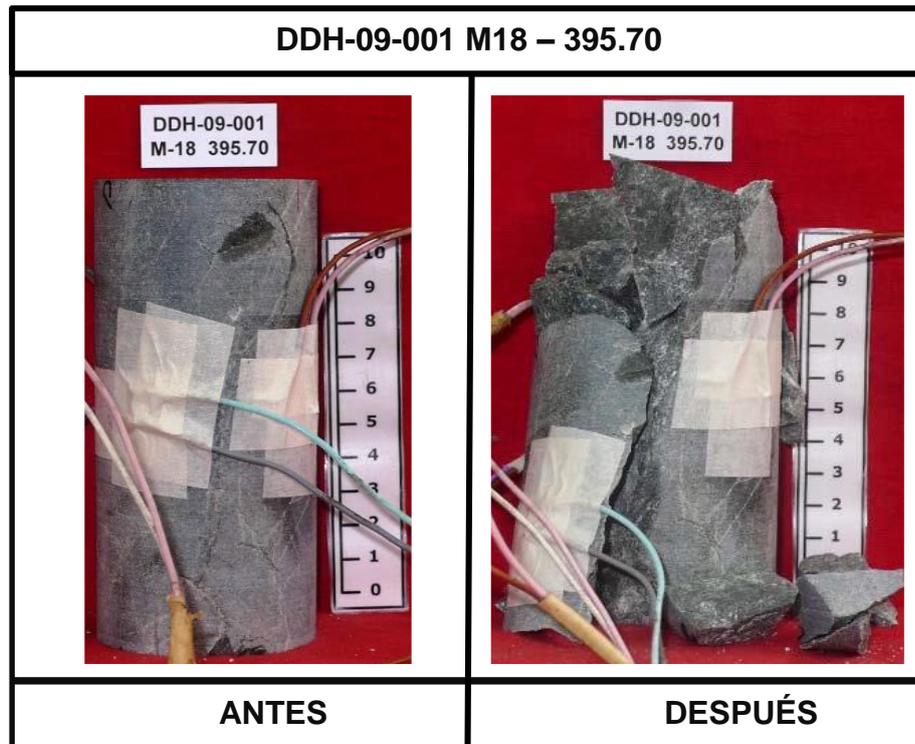
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°01 Ensayo de Compresión Elástica DDH-09-001 M4



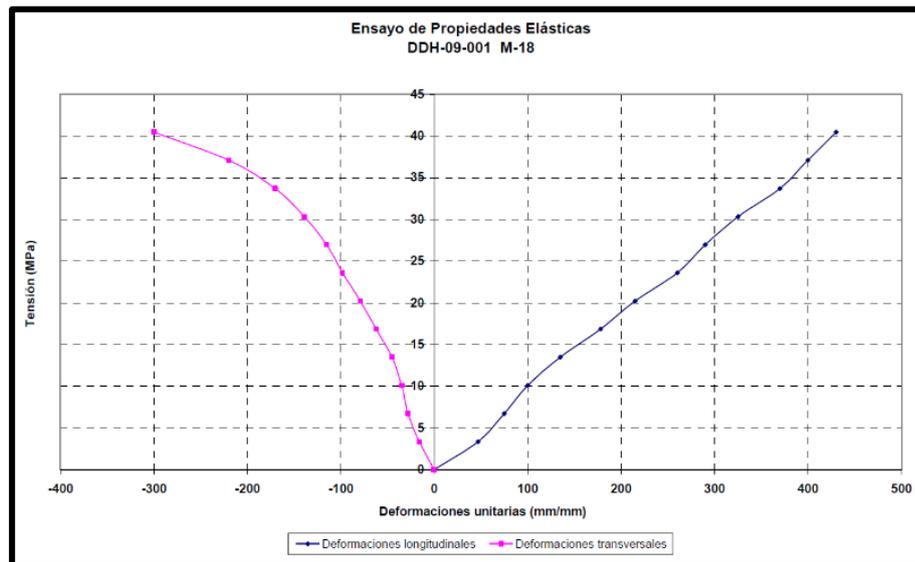
Fuente: Elaboración propia.

**Imagen N°17 Ensayo de Compresión Elástica 395.70**



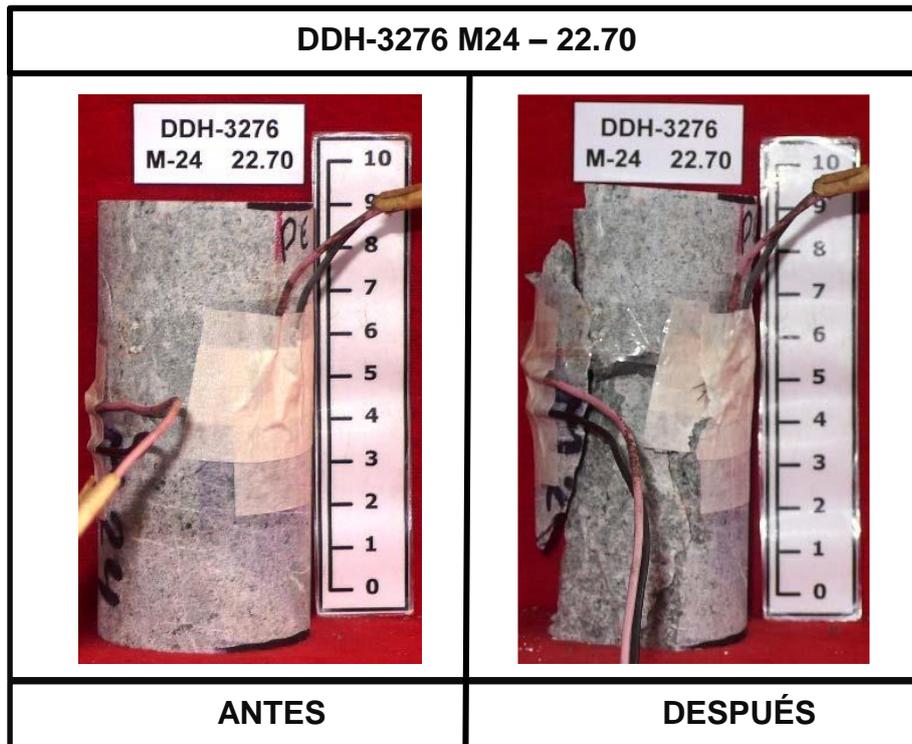
Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N°02 Ensayo de Compresión Elástica DDH-09-001 M18**



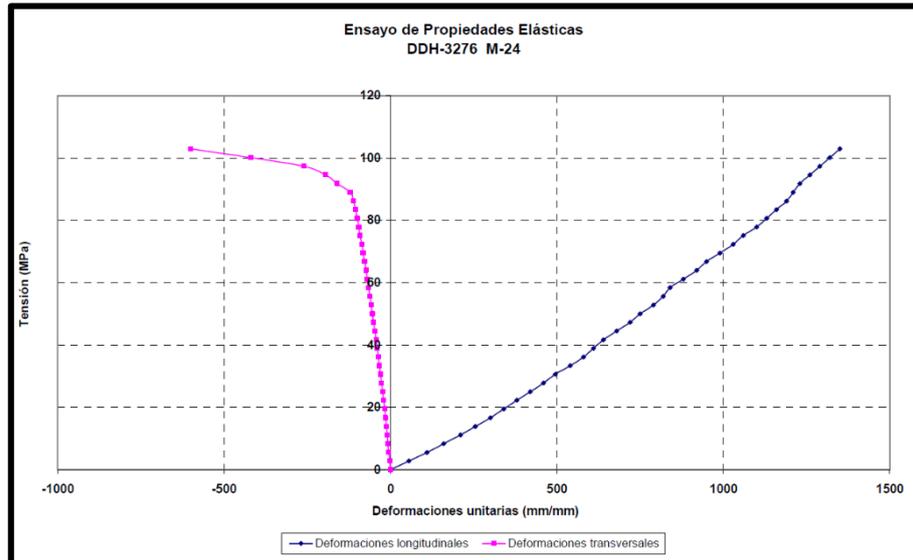
Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°18 Ensayo de Compresión Elástica 22.70



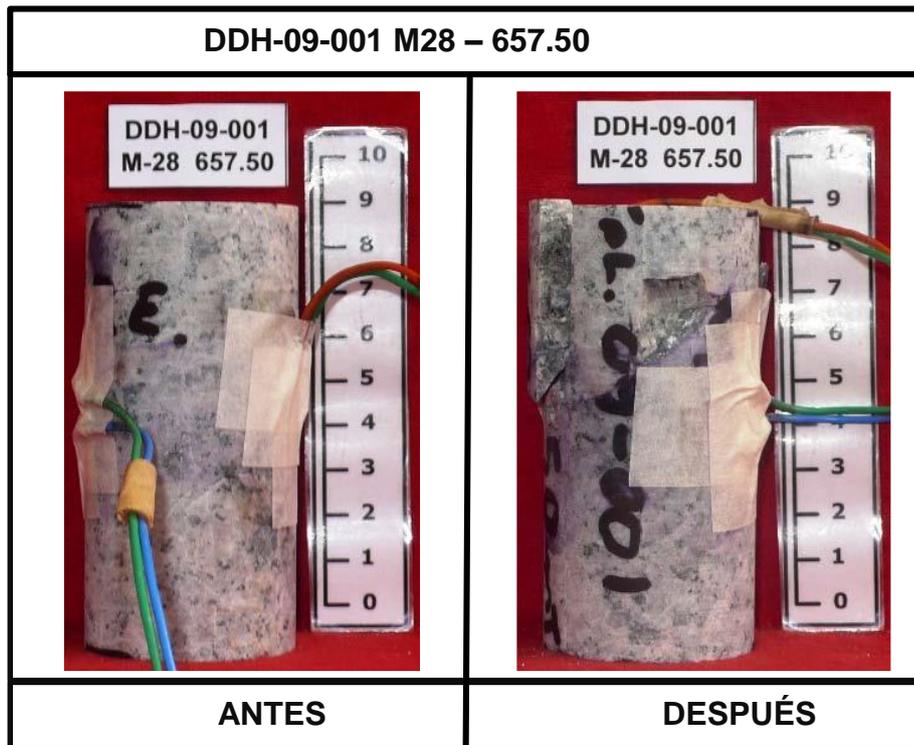
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°03 Ensayo de Compresión Elástica DDH-3276 M24



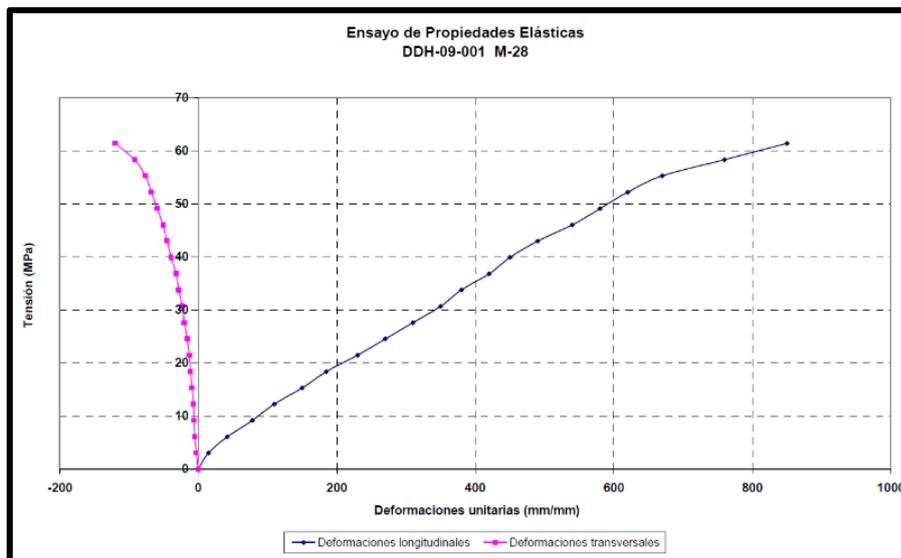
Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°19 Ensayo de Compresión Elástica 657.50



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N°04 Ensayo de Compresión Elástica DDH-001 M28



Fuente: Elaboración propia.

**e. Ensayos de Compresión Triaxial**

Se han ensayado 3 muestras de roca. Estos ensayos se realizaron según la norma ASTM 2664-95.

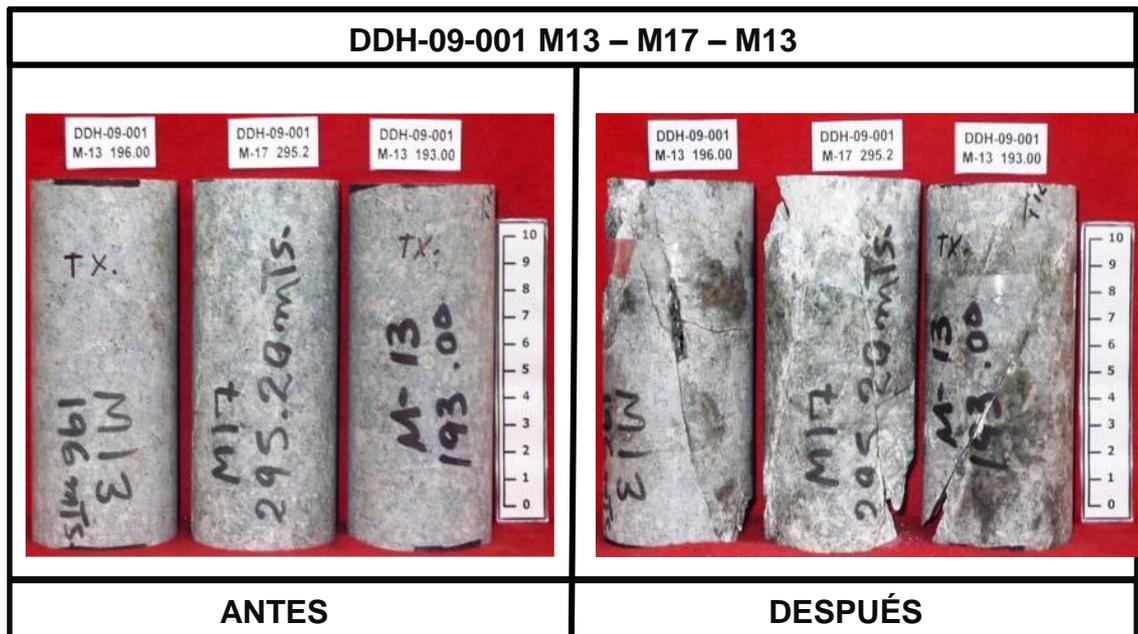
**Cuadro N° 16 Características de compresión triaxial**

Sondaje	Profundidad (m)	Muestra	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga (kg)	$\sigma_{1max}$ (MPa)	$\sigma_3$ (MPa)
DDH-09-001 M-13	196	A	6.092	12.628	27400	92.19	2
DDH-09-001 M-13	193	B	6.094	12.53	44000	147.94	4
DDH-09-001 M-17	295.2	C	6.112	12.656	66000	220.6	6

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Se presentan los valores de la resistencia máxima en régimen de compresión triaxial ( $\sigma_{1max}$ ) a la condición de presión de confinamiento aplicada a cada cuerpo de prueba. Los valores de ángulo de fricción interno ( $\phi$ ) y cohesión (c), así como el valor de  $m_i$  y  $\sigma_{ci}$  del macizo rocoso, dependen del criterio de falla utilizado, por lo cual, no se presentan en el presente informe.

**Imagen N°20 Ensayo de Compresión Elástica DDH-09-001 M13 – M17 – M13**



Fuente: Elaboración propia.

A solicitud del cliente se presentan los valores de:  $\phi=69.98^\circ$  y  $c=2.22$  MPa que son los valores encontrados por el criterio de Mohr-Coulomb como referenciales.

**f. Ensayos de Corte Directo**

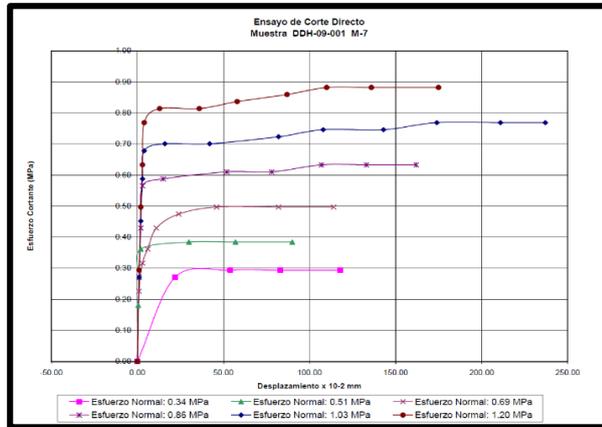
Los ensayos se realizaron sobre discontinuidad simulada con caras paralelas a la dirección de corte, según norma ASTM D 5607-95\*.

**Cuadro N° 17 Ángulo de fricción**

Muestra	Angulo de Fricción Residual (°)	Cohesión (MPa)
DDH-09-001 M-7	35.17	0.031

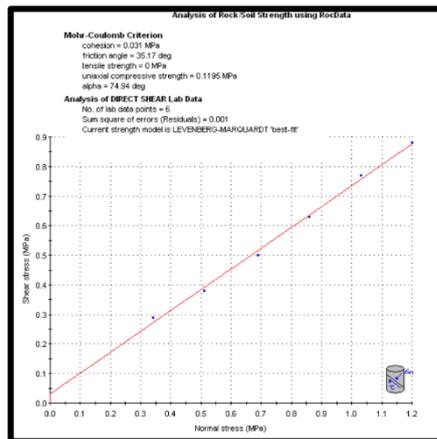
Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N°05 Gráfico N° 05: Ensayo de Corte Directo Muestra DDH-09-001 M-7**



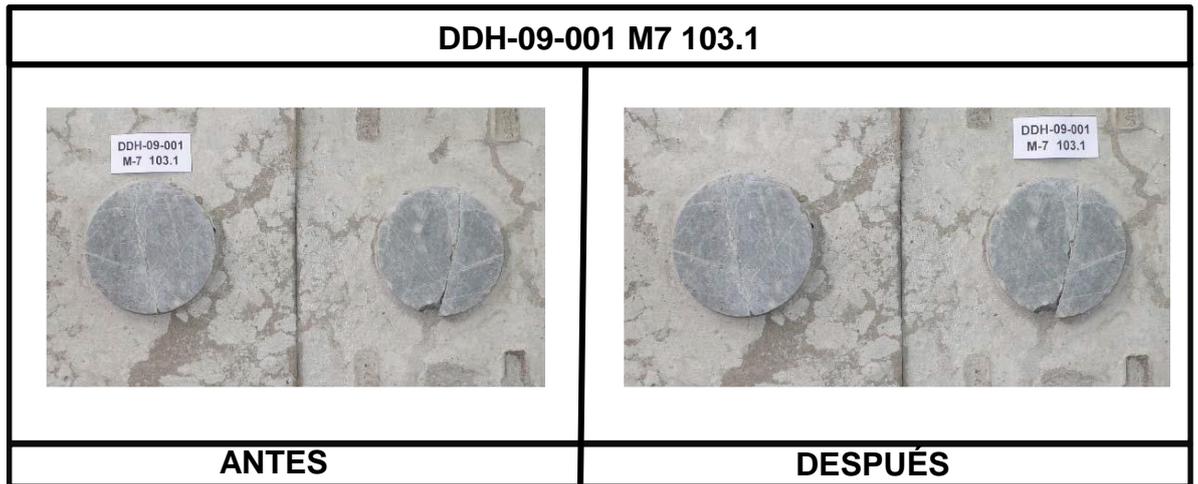
Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N°06 Análisis de Roca Corte Directo**



Fuente: Elaboración propia.

**Imagen N°21 Ensayo de Corte Directo DDH-09-001 M7 103.1**



Fuente: Elaboración propia.

**4.2.7. Clasificación de masa rocosa**

El proceso de clasificación geomecánica de la masa rocosa para el propósito de evaluación ha sido realizada en base a información proporcionada por el cliente (MARSA – Área de Geomecánica), empleando el sistema de “Clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski, modificado por la Romana, 2000”, los valores de resistencia a la compresión uniaxial de la roca fueron estimados usando “el martillo de rebote y la picota de geólogo”, los valores de índice de calidad de roca “R.Q.D.” fueron determinados mediante el registro volumétrico de diaclasas utilizando la relación propuesta por “Palmstrom”. Con la finalidad de discretizar la masa rocosa en rangos más ajustados de calidad de roca, evitando errores de sobre-estimación y sub-estimación” en algunos sectores. Los rangos de valoración RMR de Bieniawski, modificado por Romana 2000, (ver cuadro N°18).

**Cuadro N° 18 Criterio para la clasificación geomecánica.**

TIPO DE ROCA	RANGO "RMR"	CLASIFICACIÓN "RMR"
II	71 - 80	BUENA A
	61 - 70	BUENA B
III	51 - 60	REGULAR A
	41 - 50	REGULAR B
IV	31 - 40	MALA A
	21 - 30	MALA B
V	< 21	MUY MALA

Fuente: Elaboración propia.

La clasificación geomecánica de la masa rocosa para los propósitos de este informe ha sido realizada sobre la base de información técnica proporcionada por (MARSA) e información complementaria recopilada por la empresa consultora (GLSA). Los resultados del proceso de clasificación geomecánica en este informe se expresan en términos de "RMR" y se realiza en cada dominio.

En el cuadro N°19 se presenta el resumen de la "Clasificación geomecánica" de masa rocosa a nivel de "DOMINIOS GEOMECAÑICOS" presentes en cada litología.

**Cuadro N° 19 Clasificación geomecánica.**

CALIDAD DE MASA ROCOSA				
LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DE LA CONDICIÓN LITO-ESTRUCTURAL DE LA MASA ROCOSA	RMR*	GSI	CLASIFICACIÓN
Pórfido granito	Pórfido granito, roca plutónica intrusiva de textura fanerítica o granuda, cristales holocristalinos de grano grueso moderadamente silicificada se observa FdK secundario y diss de Py en trazas.	45	40	REGULAR "B"
		35	30	MALA "A"
		15	10	MUY MALA "A"
Microdiorita	Roca plutónica intrusiva color gris oscuro con tonalidades algo verdosas textura fanerítica o granuda el tamaño de grano es menor a 1mm (grano fino), se observa débil silicificación y moderada cloritización con diss de Py en trazas.	55	50	REGULAR "A"
		45	40	REGULAR "B"
		35	30	MALA "A"
Pórfico tonalítico	Pórfico tonalítico, roca intrusiva de textura fanerítica sus cristales se presentan de forma euhedral y granular el color varía en tonalidades gris, se observa moderada cloritización y sericitización con tamos moderadamente fracturados.	35	30	MALA "A"
		25	20	MALA "B"
NOTA 1: La descripción litológica resumida corresponde a Sección Longitudinal al eje del Proyecto Chimenea el cual se describe en el acápite 4.4.1.				
NOTA 2: Valoración RMR89 de Bieniawski, modificada por Romana 2000, Adaptaciones GLSA de la Evaluación				

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.2.8. Zonificación geomecánica.**

La aplicación racional de los diferentes métodos de cálculo en “Mecánica de Rocas”, requiere fundamentalmente que la masa rocosa en estudio se encuentre sectorizada (dividida) en áreas con características similares (dominios geomecánicos o zonas geomecánicas) debido a que el análisis de resultados será válido sólo dentro de masas rocosas con similares características.

En este contexto “la litología, el grado de alteración, el arreglo estructural, propiedades resistentes a nivel de roca intacta-discontinuidades estructurales y masa rocosa” serán criterios de interés para definir los “Dominios geomecánicos” presentes en la masa rocosa (Anexo 1).

Según resultados del proceso, análisis e interpretación de información técnica proporcionada por MARSA, en el área de interés se ha caracterizado la masa rocosa con un índice numérico cuantitativo en “DOMINIOS GEOMECAÑICOS”.

El proceso de zonificación geomecánica de la masa rocosa implica plasmar los resultados obtenidos de la valoración RMR89 (Anexo 1 y tabla 3) sobre “planos de planta y sección”. La interpretación y correlación de estos dominios conceptuados usando criterios de interpolación e información de datos estructurales permite elaborar el “modelo geomecánico conceptual” de masa rocosa. Resultados del proceso de zonificación geomecánica se muestran en el Anexo 3.

Es importante precisar que una de las características recurrentes e importantes observadas en los niveles evaluados es la CALIDAD DE MASA ROCOSA, está asociado a “controles estructurales, alteraciones, influencia del agua de infiltración, grados de meteorización y ubicación espacial”.

#### 4.2.9. Propiedades de resistencia.

##### Roca intacta

Para estimar la resistencia de la roca, se realizaron una serie de ensayos en campo (resistencia a compresión simple usando el martillo de rebote y la picota de geólogo), ensayos de mecánica de rocas en laboratorio (propiedades físicas, compresión simple, compresión Triaxial).

Los resultados de los ensayos de “campo y laboratorio” para los propósitos de la evaluación, (ver Cuadro N° 20 N°21

**Cuadro N° 20** Ensayos en campo.

LITOLOGÍA	DOMINIO GEO MECÁNICO	RESISTENCIA COMPRESIÓN (Mpa)		COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE JUNTAS	
		$\sigma_c$ (Picota Mpa)*	$\sigma_c$ (Martillo de Schidt, Mpa)	PERFIL	(JRC)*
Pórfido granito	III B	100 - 140	120	Rugosa	14
	IV A	75 - 100	88		Ondulada
	V A	< 25	15		12
Microdiorita	III A	140 - 170	140	Rugosa	14
	III B	100 - 140	138		Ondulada
	IV A	75 - 100	104		12
Pórfido tonalítico	IV A	75 - 100	76	Rugosa	14
	IV B	25 - 75	39	Ondulada	13

NOTA: Valoraciones realizadas durante el registro geomecánico en MARSÁ.

Fuente: Elaboración propia.

##### Discontinuidades

Los resultados de los ensayos de mecánica de rocas en campo y laboratorio para evaluar las propiedades de resistencia en discontinuidades estructurales se muestran, (ver Cuadro N° 22

**Cuadro N° 21** Ensayos de campo, discontinuidades.

DISCONTINUIDAD ESTRUCTURAL	PROPIEDADES DE RESISTENCIA EN DISCONTINUIDADES		
	Angulo de fricción(°)	Resistencia a Tracción (Mpa)	Cohesión (Mpa)
1	51.79	5.704	14.962
2	36.774	13.91	23.006
3	40.668	7.52	14.617

Notas: Resultados de ensayos de Mecánica de Rocas en Campo (usando el rugómetro, martillo de rebote, penetrómetro de bolsillo, ensayos de tilt test).

Fuente: Elaboración propia.

### Masa rocosa

Para evaluar las propiedades de resistencia en la masa rocosa, se ha realizado el tratamiento estadístico a resultados de cálculos obtenidos aplicando los criterios de “Hoek & Brown: 2002-2006; Serafín & Pereyra: 1983, Karzulovic: 1999, Kalamaras-Bieniawski; Aydan-Ulusay-Kawamoto, Sen-Sadagh”, ensayos de mecánicas de rocas en campo y laboratorio según procedimientos sugeridos por “ISRM” y normas “ASTM”

En el cuadro N°22 se muestra el resumen de propiedades de resistencia en la masa para fines de la evaluación.

**Cuadro N° 22 Propiedades de resistencia en la masa rocosa.**

DOMINIO	DOMINIOS GEOMECÁNICOS			PROPIEDADES DE RESISTENCIA A NIVEL DE MASA ROCOSA									
	DESCRIPCIÓN	RMR	GSI	Peso específico (MN/m3)	$\sigma_{ci}$ (Mpa)	mi	mb	s	a	E(Gpa) Young	Poisson ( $\mu$ )	Angulo de fricción $\Phi$ (°)	C (Mpa)
1	EJE DE PROYECTO CHIMENEA Y SU ENTORNO	55	50	0.0270	100.02	17.472	1.609	0.001300	0.506	18.54	0.191	51.79	14.962
2		45	40	0.0260	93.73	6.592	0.379	0.00030	0.511	20.37	0.225	36.774	23.006
3		35	30	0.0260	66.37	8.717	0.311	0.0001	0.522	15.46	0.110	40.668	14.617
4		25	20	0.0250	39	3	0.066	0.0000233	0.544	3.00	0.300	30	-
5		15	10	0.0210	15	1	0.014	0.00000614	0.585	1.00	0.330	20	-

Fuente: Elaboración propia.

### Dirección de esfuerzos:

Para estimar la orientación de esfuerzos, se parte de las mediciones in-situ por el método OverCoring (MARSA 2011). Este método determina el tensor

tridimensional de esfuerzos en base a mediciones de desplazamientos y propiedades elásticas de la roca.

Se usa el criterio de fallas conjugadas, para demostrar que el sector en evaluación mantiene la misma orientación de esfuerzos que los determinados en la medición de esfuerzos por el método de OverCoring, (ver Cuadro N° 23).

**Cuadro N° 23 Orientación de esfuerzos principales.**

ORIENTACIÓN DE ESFUERZOS PRINCIPALES		
ID	Dirección (Azimut)	Inclinación
$\sigma_1$	215	15
$\sigma_2$	125	2
$\sigma_3$	27	75
Nota: Estimación realizada mediante "OverCoring"		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N°23, se muestran los resultados de estimación conceptual de la orientación de los esfuerzos principales asociados al proyecto, en base al método OverCoring GLSA 2011 y la demostración en base al criterio de fallas conjugadas.

**Magnitud de esfuerzos**

Para estimar la magnitud de esfuerzos se ha tomado como base la medición de esfuerzos in-situ por el método OverCoring, con la cual se ha estimado la constante de transmisión de esfuerzos (K) y orientación del tensor de esfuerzos, valida únicamente para fines de la evaluación, (ver Cuadro N° 24).

**Cuadro N° 24 Magnitud de esfuerzos principales.**

MAGNITUD DE ESFUERZOS PRINCIPALES						
TRAMO		COTA (m)	MASA ROCOSA REPRESENTATIVA	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$
2572.71	2583.89	2578.30	REGULAR A	18.10	14.40	10.70
2583.89	2600.11	2592.00	REGULAR B	18.00	14.30	10.50
2600.11	2639.71	2619.91	MALA A	17.90	14.00	10.10
2639.71	2664.74	2652.23	MALA B	17.70	13.70	9.70
2664.74	2688.86	2676.80	MALA A	17.60	13.50	9.40
2688.86	2697.21	2693.04	MALA B	17.50	13.30	9.20
2697.21	2713.78	2705.50	MALA A	17.40	13.20	9.00
2713.78	2716.36	2715.07	REGULAR B	17.30	13.10	8.90
2716.36	2758.23	2737.30	MALA A	17.20	12.90	8.60
2758.23	2772.11	2765.17	REGULAR B	17.10	12.70	8.30
2772.11	2772.71	2772.41	MUY MALA	17.00	12.60	8.20

Nota: Para estimar la magnitud de esfuerzos principales, se considera que en toda su extensión la masa rocosa estará sometida a condiciones de esfuerzo deformación

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.10. Análisis de Estabilidad del Proyecto Pique

##### Factores de Seguridad Mínimos

Los factores de seguridad mínimos adoptados para el análisis de estabilidad de la evaluación, se han establecido en función del método empleado.

Los métodos de análisis de estabilidad a realizar en el estudio son:

- Métodos de Equilibrio Límite (M.E.L.)
- Métodos de Elementos Finitos (M.E.F.)

Estos métodos “M.E.L. y M.E.F.”, constituyen los “análisis de estabilidad estructuralmente controlada mediante el software Unwedge” y “análisis de estabilidad debido a esfuerzos, mediante modelamiento numérico bidimensional y tridimensional usando el software RS2 y RS3” respectivamente.

Los límites mínimos del factor de seguridad en función del método de análisis para fines de la evaluación se indican en el cuadro N°25.

### Cuadro N° 25 Factores de seguridad mínimos.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	CRITERIO DE ESTABILIDAD
ESTRUCTURALMENTE CONTROLADA (MEL)	F.S. > 1.5
DEBIDO A ESFUERZOS (MEF)	F.S. > 1.1
Nota: Estos valores del factor de seguridad han sido considerados por GLSA, para fines de éste informe según el tipo de análisis realizado y el margen de seguridad que garantice la estabilidad, considerando los imponderables.	

Fuente: Elaboración propia.

Los valores mostrados en la tabla 9, son valores mínimos referenciales del “Factor de Seguridad” obtenidos en los análisis de estabilidad considerados en la práctica ingenieril y con aceptación en el medio local.

#### **Análisis de Estabilidad por Criterios Empíricos**

La técnica por “criterios empíricos de estabilidad”, está basada en el análisis de muestras históricas de minas subterráneas, su aplicación como herramienta de diseño es importante dado que considera “los principales factores de influencia en el diseño de chimeneas” como son: “Información sobre la estructura rocosa, resistencia de la masa rocosa, los esfuerzos alrededor de la excavación y el tamaño de las excavaciones” para determinar si la Chimenea será estable “sin sostenimiento, estable con sostenimiento o inestable aún con la aplicación del sostenimiento”.

#### **Parámetros Críticos para la Evaluación de la Calidad de Roca.**

Para determinar los parámetros críticos de la roca nos basaremos en la mención de la clasificación del macizo rocoso usando el sistema de “Clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski, Modificado por Romana, 2000” y los tramos (m) respecto al tipo de roca obtenidos en el logueo geomecánico.

Para determinar los parámetros críticos pasaremos la “Clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski, Modificado por Romana, 2000” a la “clasificación geomecánica Q de Barton” de acuerdo a la experiencia de GLSA usaremos la fórmula propuesta por Barton, en el año 1995 (criterio que más se aproxima a los visualizados en el campo).

Los valores obtenidos para “Q” en los tramos del eje del proyecto chimenea nos indican que nos encontramos en la clase de Raise “Muy mala” a la cual corresponde los parámetros críticos de  $RQD/J_n = 2 - 4$  y  $J_r/J_a = 0.25 - 0.5$  como se observa en el cuadro N° 26.

**Cuadro N° 26 Parámetros críticos.**

Parámetros críticos	Clases de Raise Bore				
	Muy mala	Mala	Regular	Buena	Muy buena
RQD/J <sub>n</sub>	2 - 4	4 - 8	8 - 15	15 - 25	25 - 50
J <sub>r</sub> /J <sub>a</sub>	0.25 - 0.5	0.5 - 0.75	0.72 - 2	2 - 3	3 - 4

Fuente: Elaboración propia.

Para la evaluación se usará el valor promedio del “índice Q” tratándose de un proyecto chimenea de 750m de un solo diámetro, en el cuadro N° 27, se muestra los valores del “índice Q” para cada tramo del eje del proyecto chimenea y el valor promedio a usar para la presente evaluación.

**Cuadro N° 27 Valor de “Q” para los diversos tipos de roca.**

RMR	Q	TRAMO
15	0.096971968	0.60
49	0.935506985	8.74
49	0.935506985	5.14
39	0.480305301	11.07
38	0.449328964	6.67
38	0.449328964	7.88
38	0.449328964	4.71
33	0.321958272	11.54
49	0.935506985	2.58
36	0.393240721	16.57
30	0.263597138	8.35
38	0.449328964	24.12
27	0.215815083	25.03
40	0.513417119	39.60
48	0.875173319	16.22
56	1.491824698	11.18
<b>Q promedio = 0.55</b>		

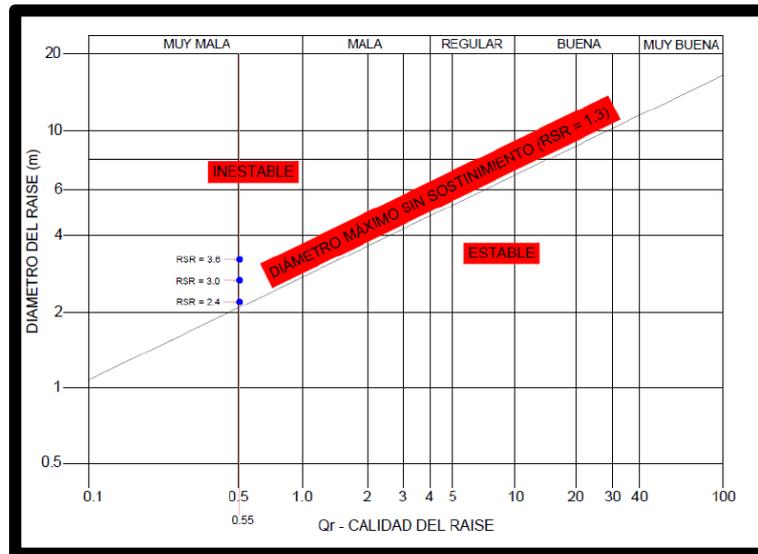
Fuente: Elaboración propia.

### Ratios de Estabilidad.

Para determinar el RSR estable o inestable nos basaremos en primera instancia del “índice Q” que en este caso es 0.55, usaremos también los posibles diámetros de la chimenea para fines de la evaluación (2.4m, 3.0m y 3.6m). El

procedimiento de la aplicación de este método está basado en la determinación del RSR a partir del “índice Q” en el gráfico de estabilidad, (ver Gráfico N°07).

**Gráfico N°07 Gráfico de estabilidad.**



Fuente: Elaboración propia.

El cuadro N°28 nos muestra los resultados del gráfico 07 (Gráfico de estabilidad).

Mientras el RSR sea más distante al valor de 2.20, la inestabilidad ira en aumento por lo que se requerirá mayor sostenimiento.

**Cuadro N° 28 Estabilidad del diámetro de la Chimenea**

RSR	Q	DIAMETRO DE CHIMENEA (m)	SIN SOSTENIMIENTO	
			ESTABLE	INESTABLE
2.40	0.55	2.4		X
3.00	0.55	3		X
3.60	0.55	3.6		X

Fuente: Elaboración propia.

**Análisis de Estabilidad Estructuralmente Controlada.**

Las excavaciones realizadas en masas rocosas diclasadas, comúnmente presentan inestabilidades mediante desprendimiento de cuñas y losas desde el techo y/o paredes sean por gravedad o deslizamiento. La frecuencia de estos desprendimientos rocosos estará en función a las propiedades resistentes que exponen las discontinuidades estructurales, la

masa rocosa, el grado de fracturamiento, la dimensión de excavación (diámetro de chimenea) y la orientación del eje de excavación respecto a la orientación de los sistemas de discontinuidades estructurales.

Las cuñas, losas, bloques, se forman por la intersección de rasgos estructurales (estratificaciones, fallas, foliaciones, plegamientos, diaclasas) en la masa rocosa definiendo múltiples geometrías entrelazadas con restricción de movimiento, al realizar las excavaciones crean caras libres en las cuñas expuestas a la superficie de la excavación. Una o más cuñas pueden caer o deslizar hacia el vacío creado por la excavación dependiendo de factores ya mencionados líneas arriba, determinar si es estable o inestable dicha cuña es realizar el ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ESTRUCTURALMENTE CONTROLADA, por MEL, donde:

$$(F.S. = \frac{\Sigma \text{FUERZAS QUE RESISTEN}}{\Sigma \text{FUERZAS QUE INESTABILIZAN}})$$

#### **Método de cálculo.**

El análisis de estabilidad estructuralmente controlada, se realiza por métodos de equilibrio límite, considerando la forma tridimensional de las cuñas se requiere de un conjunto de cálculos complejos de realizar manualmente, por lo mismo que se emplea como herramienta de apoyo el programa de cómputo “Unwedge 4.0, versión 4.022 de Rocscience Inc. 2017, algoritmo desarrollado exclusivamente para “análisis de estabilidad de cuñas en excavaciones subterráneas”.

El procedimiento de cálculo consiste en:

- a. Importar la geometría de excavación.
- b. Configurar las unidades para ingreso y salida de datos
- c. Definir el factor de seguridad de diseño esperado (>1.5).

- d. Ingresar la orientación de los sistemas de discontinuidades dominantes.
- e. Plotear la orientación de la excavación.
- f. Definir el criterio de rotura para cada sistema de discontinuidad estructural y asignar sus propiedades resistentes.
- g. Ejecutar el programa para cálculo de estabilidad.
- h. Si en el visualizador salen que las cuñas son estables, el problema de cálculo está resuelto, en el caso de identificarse cuñas inestables o potencialmente inestables se procede a iterar el cálculo mediante la incorporación de elementos de sostenimiento hasta lograr factores de seguridad superiores el criterio de diseño (F.S. >1.5).

#### **Consideraciones previas.**

Forman parte de los considerandos previos del análisis de estabilidad estructuralmente controlada de excavaciones subterráneas con fines de la evaluación.

- a. Las propiedades de resistencia al esfuerzo de corte en discontinuidades estructurales dependiendo del criterio de rotura que se adopte en el análisis (Mohr-Coulomb, Barton-Bandis) serán los mostrados en la tabla 5.
- b. El arreglo estructural que presenta la masa rocosa.
- c. Las condiciones de los esfuerzos principales.
- d. Dirección del eje de excavación está en función al sector evaluado (Chimenea).

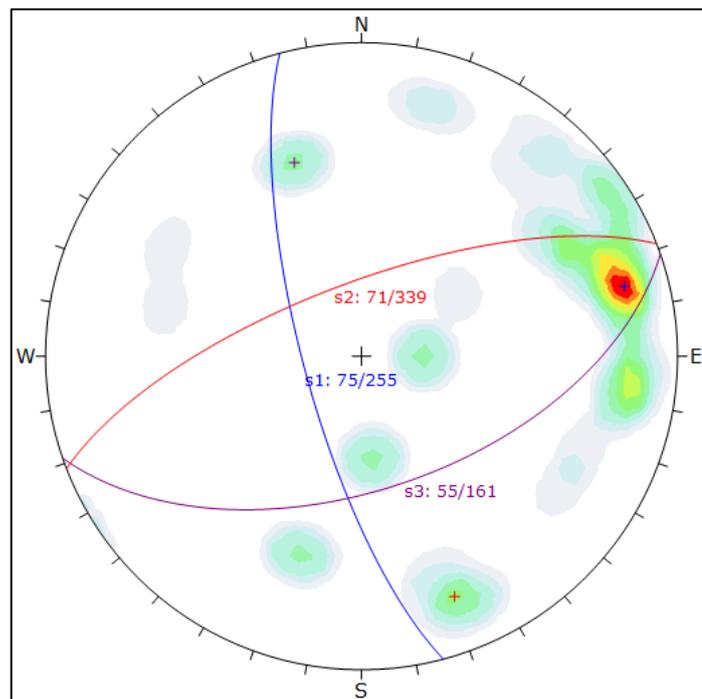
En base a las consideraciones expuestas en los párrafos anteriores, se procede a realizar el análisis de la estabilidad estructuralmente controlada, considerando el arreglo estructural, las propiedades resistentes de las discontinuidades, el tipo de roca y la dirección de excavaciones.

#### **Resultados**

Se observa el arreglo estructural que caracteriza a las masas rocosas del sector de evaluación, ya sea a en el nivel superior como en el nivel inferior,

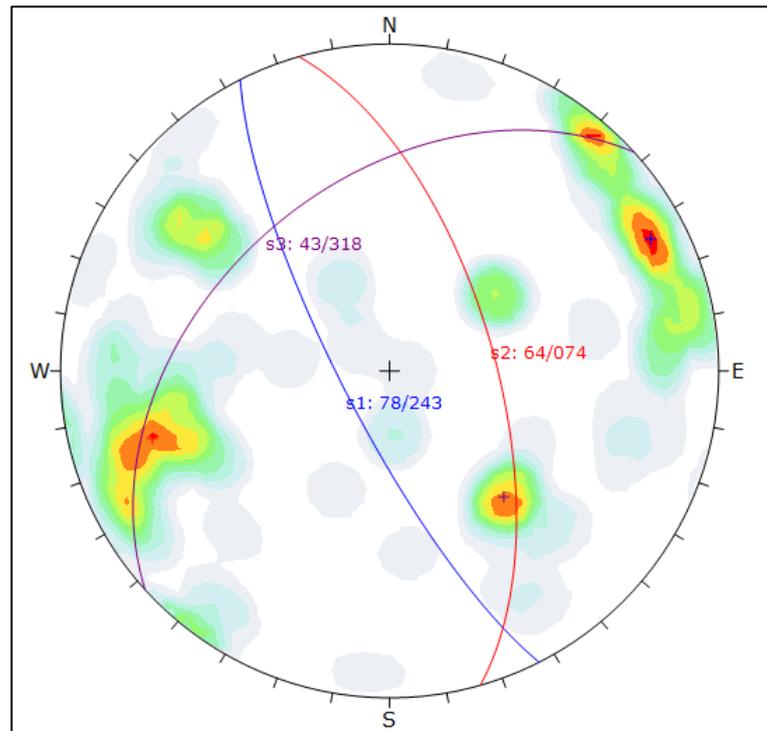
los resultados presentados pueden ser validos hasta una extensión de  $\pm 20m$  tanto en la parte superior como en la parte inferior. No se pueden hacer análisis de estabilidad estructuralmente controlada en otros tramos debido a la falta de información (no se tiene labores que intersectan ni labores cercanas al eje de la chimenea en tramos intermedios). La estabilidad de estas cuñas analizadas mediante métodos de equilibrio límite usando software Unwedge se muestra en las imágenes 45 y 46, en los cuales se aprecian el factor de seguridad para el tramo en evaluación.

**Imagen N°22** Arreglo estructural, nivel 3200 al nivel 2950 entorno al sector en evaluación.



Fuente: Elaboración propia.

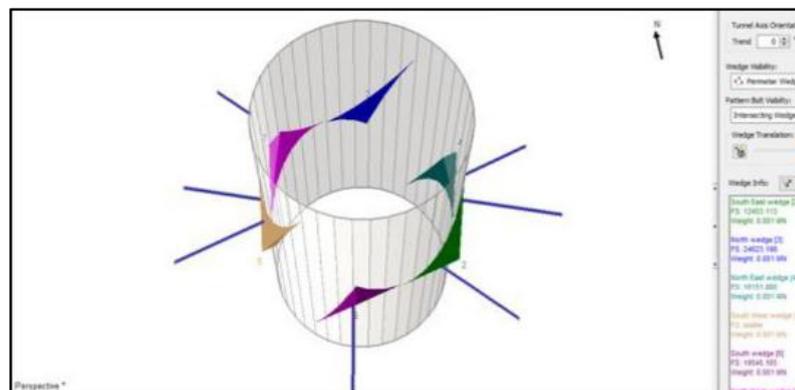
**Imagen N°23 Arreglo estructural, nivel 2950 al nivel 2870 entorno al sector en evaluación.**



Fuente: Elaboración propia.

- Excavación circular de diámetro 1.8m, calidad de roca: Regular III-A (RMR = 55), tramo: 3220.56 – 3075.89. La presencia del mismo tipo de cuñas se puede extender hasta  $\pm 20m$  desde el nivel inferior ( $\uparrow$ ). En los resultados de análisis de estabilidad estructuralmente controlada se observa que el factor de seguridad es mayor a 1.5 (estable).

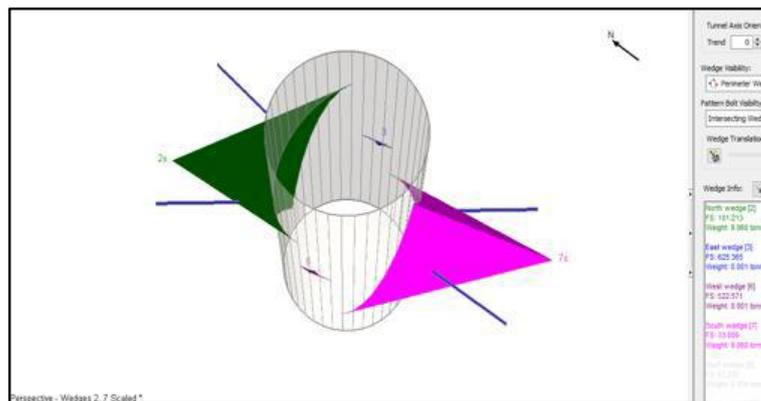
**Imagen N°24 Análisis de Estabilidad Estructuralmente Controlada, Nivel Superior.**



Fuente: Elaboración propia.

- Excavación circular de diámetro 1.5m, calidad de roca: Regular III-B (RMR = 45), tramo: 3075.23 – 2870.11. La presencia del mismo tipo de cuñas se puede extender hasta +- 20m desde el nivel superior (↓). En los resultados de análisis de estabilidad estructuralmente controlada se observa que el factor de seguridad es mayor a 1.5 (estable).

**Imagen N°25** Análisis de Estabilidad Estructuralmente Controlada, nivel Inferior.



Fuente: Elaboración propia.

### **Análisis de Estabilidad Debido a Esfuerzos.**

El análisis de estabilidad mediante “Modelamiento Numérico”, se realiza empleando el “Software RS2 9.0 Modeler, versión 9.025 de Rocscience Inc. 2017” y “Software RS3 2.0, versión 2.025 de Rocscience Inc. 2017” con la finalidad de evaluar la estabilidad de las geometrías de diseño obtenidas mediante aproximaciones empíricas.

### **Método de cálculo**

El método de elementos finitos para fines de la evaluación consiste en simular esfuerzos-deformaciones, mediante discretización (división) de la masa rocosa en pequeñas unidades finitas (dominios) con el cual se intenta resolver los problemas físicos mediante modelamiento numérico (simulación).

El método de elementos finitos adecuadamente empleada constituye una herramienta muy útil en la solución de problemas de esfuerzos y deformaciones.

La metodología para realizar el análisis de estabilidad debido a esfuerzos consiste en:

- a. Realizar secciones transversales al eje del proyecto chimenea (vista en planta) con atributos geomecánicos en 2D en un alcance (External Boundary: considere la infraestructura actual), con información sobre límites de dominios geomecánicos (Materials), diseño de la infraestructura minera (Excavations: Ejecutada y proyectada).
- b. Asignar propiedades de resistencia a los dominios geomecánicos.
- c. Configurar la magnitud y orientación del tensor de esfuerzos previos a la ejecución de la chimenea.
- d. Calcular la distribución de esfuerzos y deformaciones, establecer un secuenciamiento seguro que garantice la estabilidad de excavaciones a corto, mediano y largo plazo, según los criterios establecidos.

#### **Consideraciones previas.**

Para el análisis de estabilidad debido a esfuerzos se han considerado las secciones geomecánicas (A-A', B-B', C-C', D-D') representativas del modelo geomecánico conceptual (Anexo 3, planos de zonificación geomecánica). En estas secciones se analizarán las condiciones actuales del macizo rocoso. Las propiedades de los materiales que conforman el modelo geomecánico en las secciones de análisis son los valores mostrados en la tabla 6 (INPUT-GEOMECÁNICO) para el análisis de estabilidad debido a esfuerzos en la evaluación.

Adicionalmente a la información del modelo geomecánico en secciones (A-A', B-B', C-C', D-D') es importante conceptualizar el estado tensional (magnitud y dirección de los esfuerzos principales).

Restricciones del análisis:

- a. Para realizar el análisis de estabilidad mediante "modelamiento numérico" en la evaluación se considera que la "chimenea" presenta una gran longitud

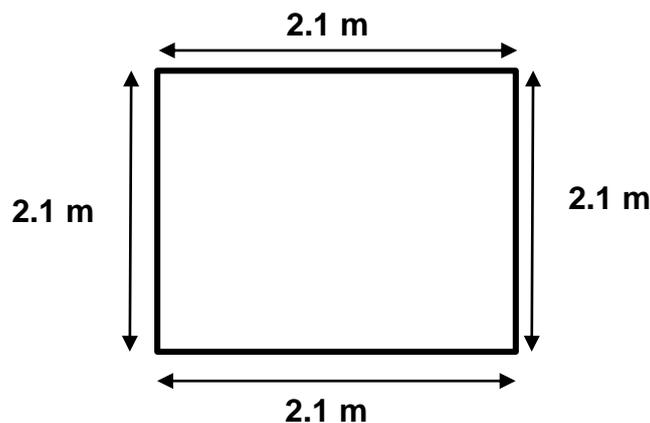
de modo tal que el análisis de los esfuerzos mediante el algoritmo bidimensional RS 2.0 sea factible (restricción: análisis bidimensional).

- b. Las secciones (A-A', B-B', C-C', D-D') representan las características geomecánicas promedias y en cuanto a magnitud son más desfavorables debido a la profundidad.
- c. El modelamiento numérico, en las distintas zonas se realizará sobre secciones de diseño "transversal al eje del proyecto chimenea (vista en planta)".

#### **Configuración de la geometría de excavación rectangular.**

Con el objetivo de analizar el comportamiento del macizo rocoso y relacionar el factor de seguridad resultante se configuran las siguientes alternativas para la geometría de excavación.

Sistema Alimak - Geometría rectangular de 2.1m x 2.1m.

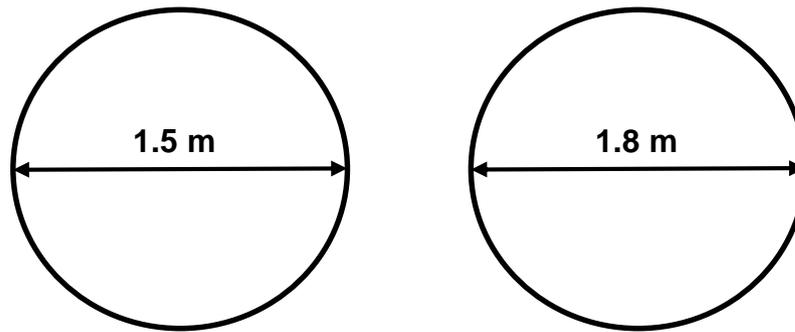


#### **Configuración del diámetro de excavación circular.**

Con el objetivo de analizar el comportamiento del macizo rocoso y relacionar el factor de seguridad resultante se configuran las siguientes alternativas para el diámetro de excavación circular.

- a. Raise Boring - Geometría circular de diámetro 1.5 m.
- b. Raise Boring - Geometría circular de diámetro 1.8 m.

**Imagen N°26** Configuraciones de los diámetros.

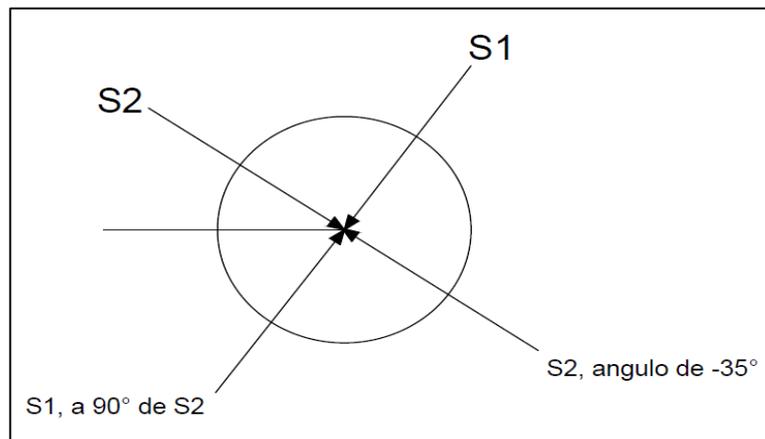


Fuente: Elaboración propia.

**Configuración de orientación de la orientación de esfuerzos para el RS2.**

La configuración de la orientación de esfuerzos a usarse en el RS2 se muestra en la imagen 27.

**Imagen N°27** Configuración de la orientación de esfuerzos para el RS2.



Fuente: Elaboración propia.

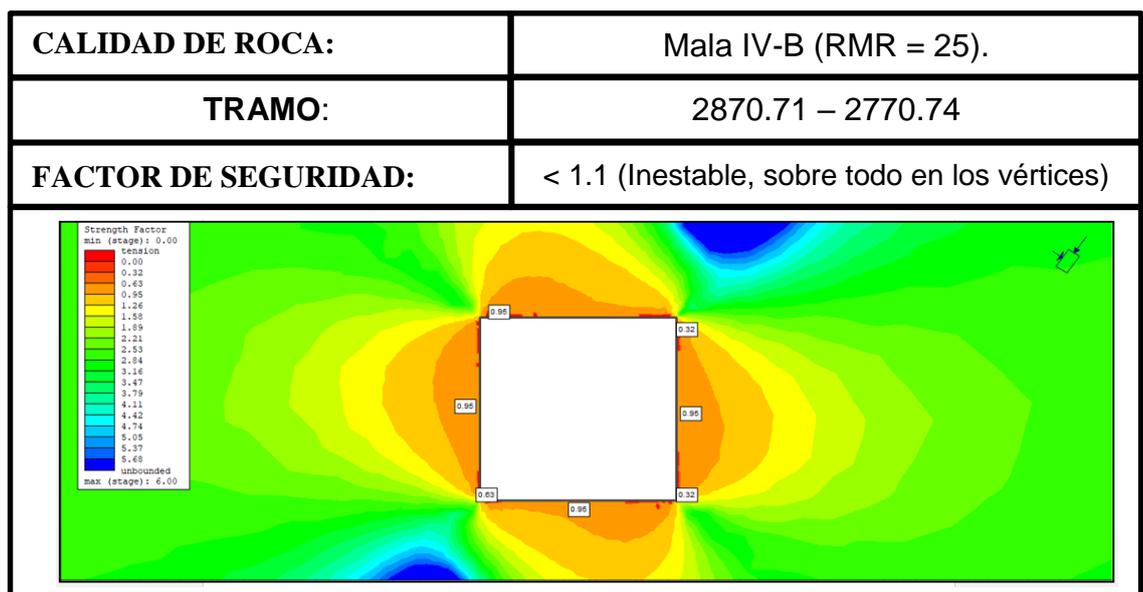
**Resultados.**

Se realiza el análisis de estabilidad de acuerdo a las configuraciones vistas en el acápite 5.6.3., mediante "Modelamiento Numérico", las salidas muestran "vistas gráficas", en las cuales se aprecia la distribución del factor de seguridad (F.S. = resistencia/esfuerzo inducido) para las distintas etapas de explotación simuladas mediante aplicación de métodos numéricos.

**Resultados en 2D - Geometría de excavación cuadrada (2.1m x 2.1m) Raise Boring.**

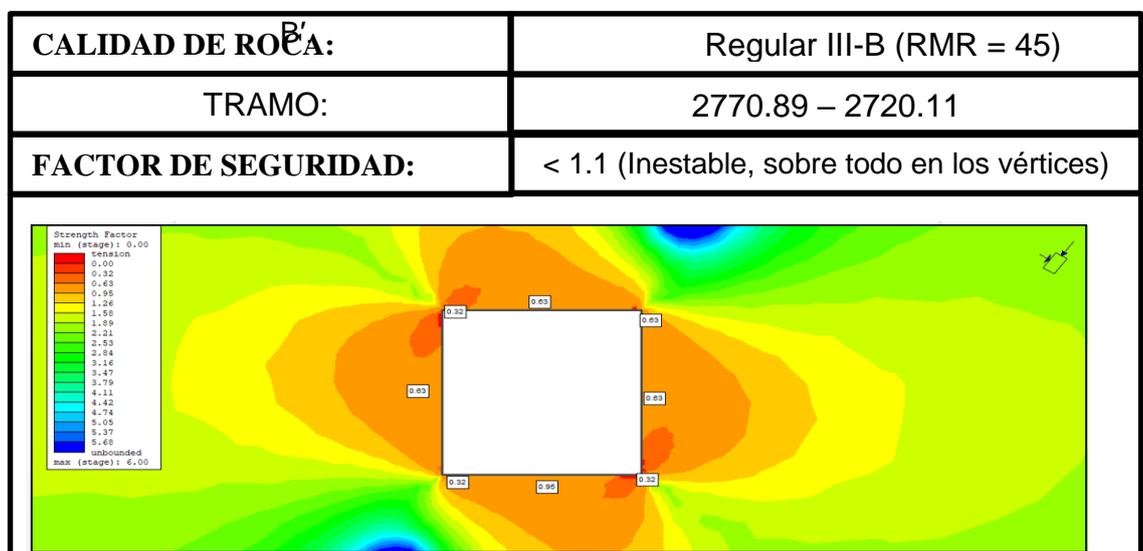
Las figuras 17-20 muestran los resultados de excavaciones cuadradas de 3m x 3m en las diversas calidades de roca presentadas en el tramo del proyecto chimenea de acuerdo a la Alternativa 1 – Configuración de la geometría de excavación.

**Imagen N°28** Fase 1, Análisis de estabilidad sin sostenimiento sección A-A'.



Fuente: Elaboración propia.

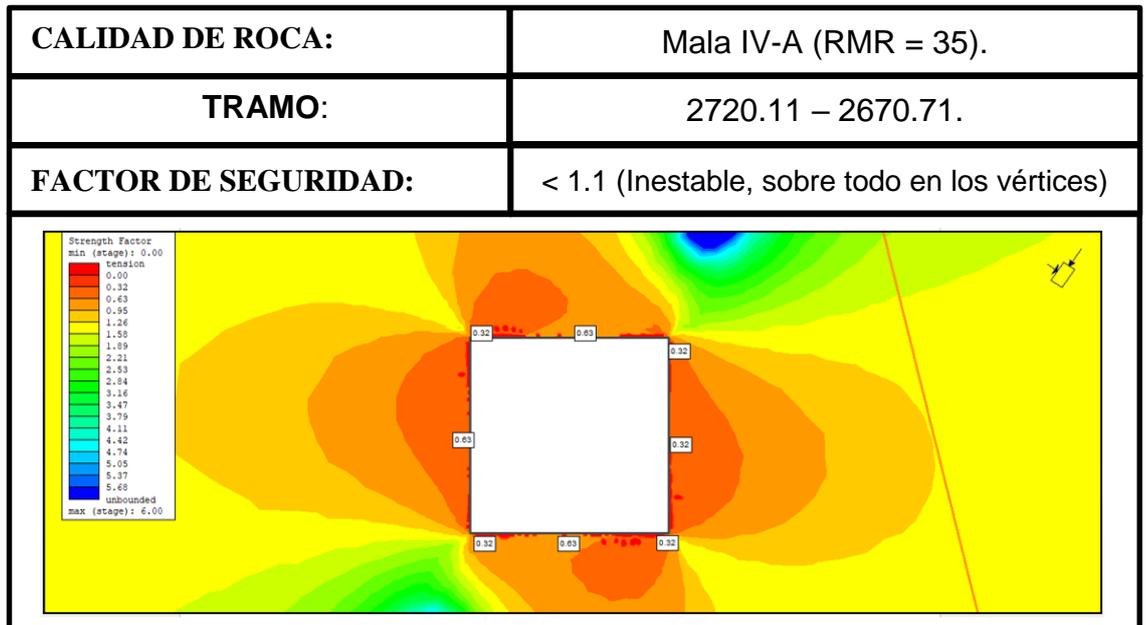
**Imagen N°29** Fase 1, Análisis de estabilidad sin sostenimiento sección B-B'.



Fuente: Elaboración propia.

**Imagen N°30** Fase 1, análisis de estabilidad sin sostenimiento sección C-

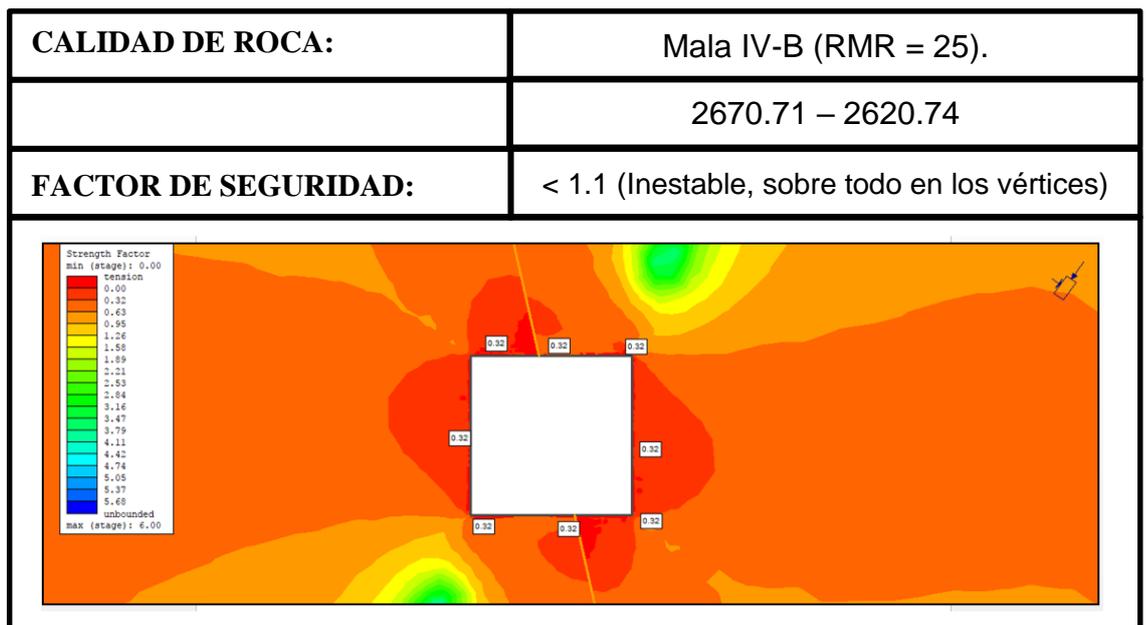
C'.



Fuente: Elaboración propia.

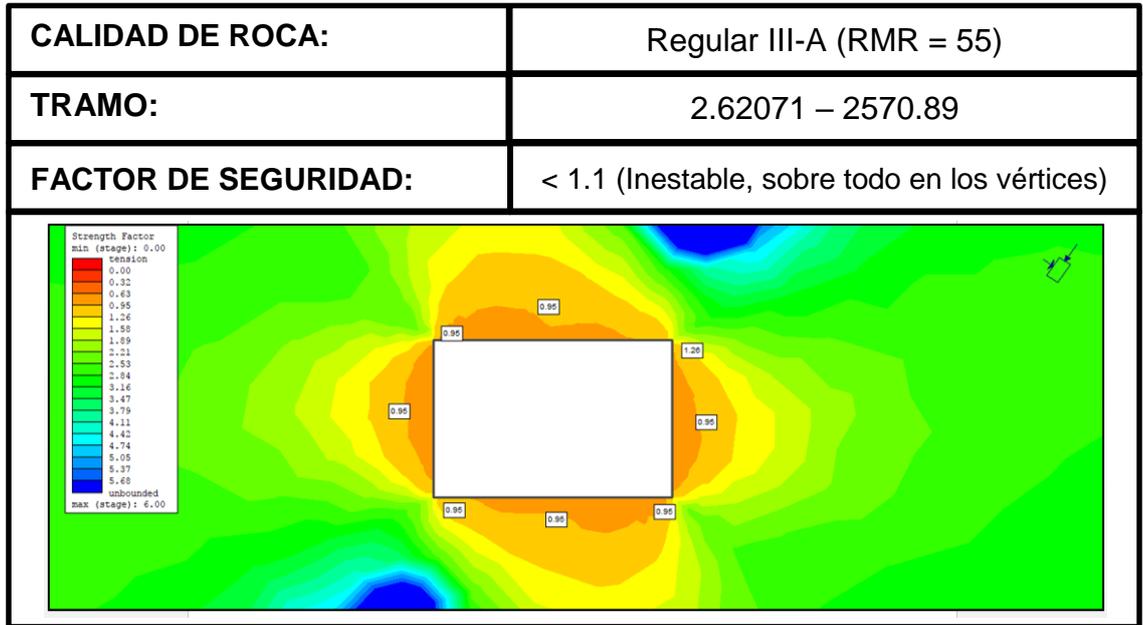
**Imagen N°31** Fase 1, análisis de estabilidad sin sostenimiento sección D-

D'.



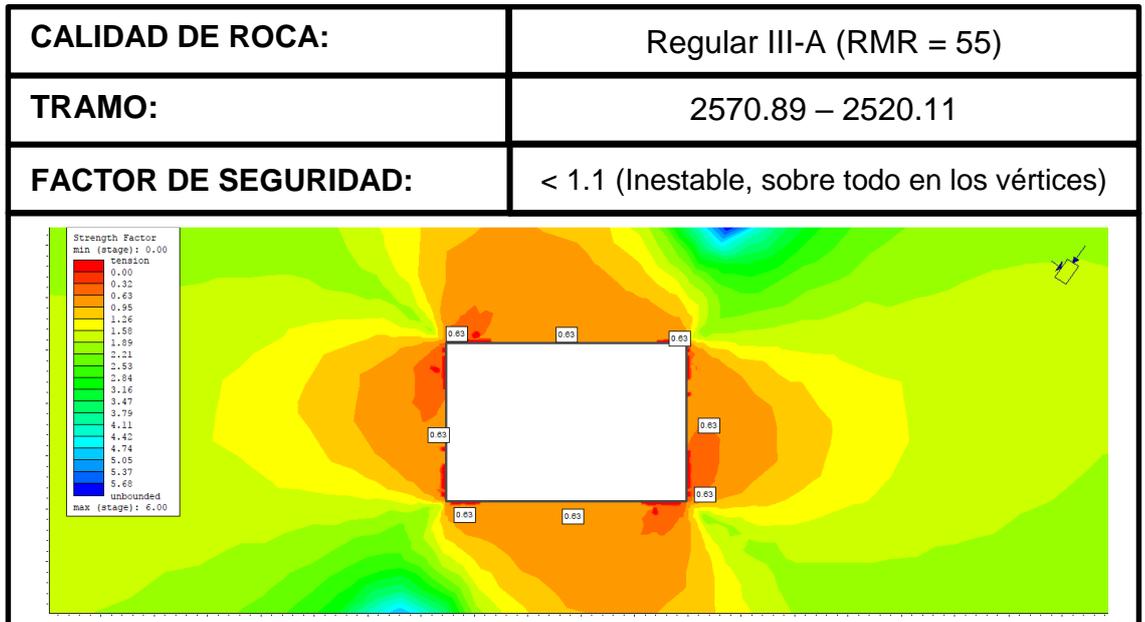
Fuente: Elaboración propia.

**Imagen N°32** Fase 1, análisis de estabilidad sin sostenimiento sección E-E'.



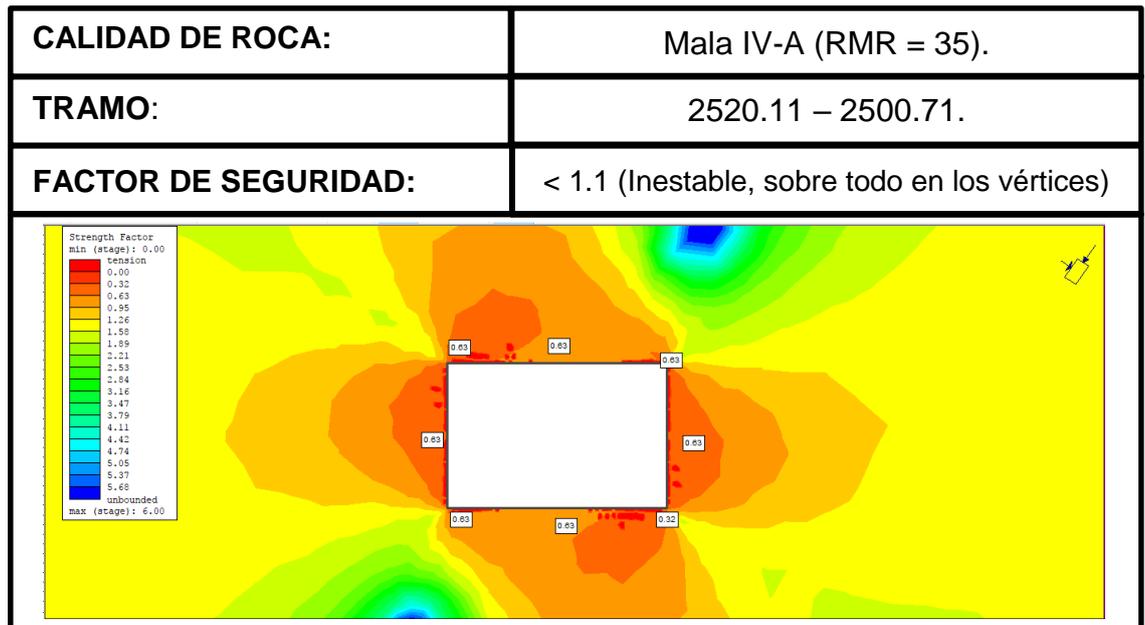
Fuente: Elaboración propia.

**Imagen N°33** Fase 1, análisis de estabilidad sin sostenimiento sección F-F'.



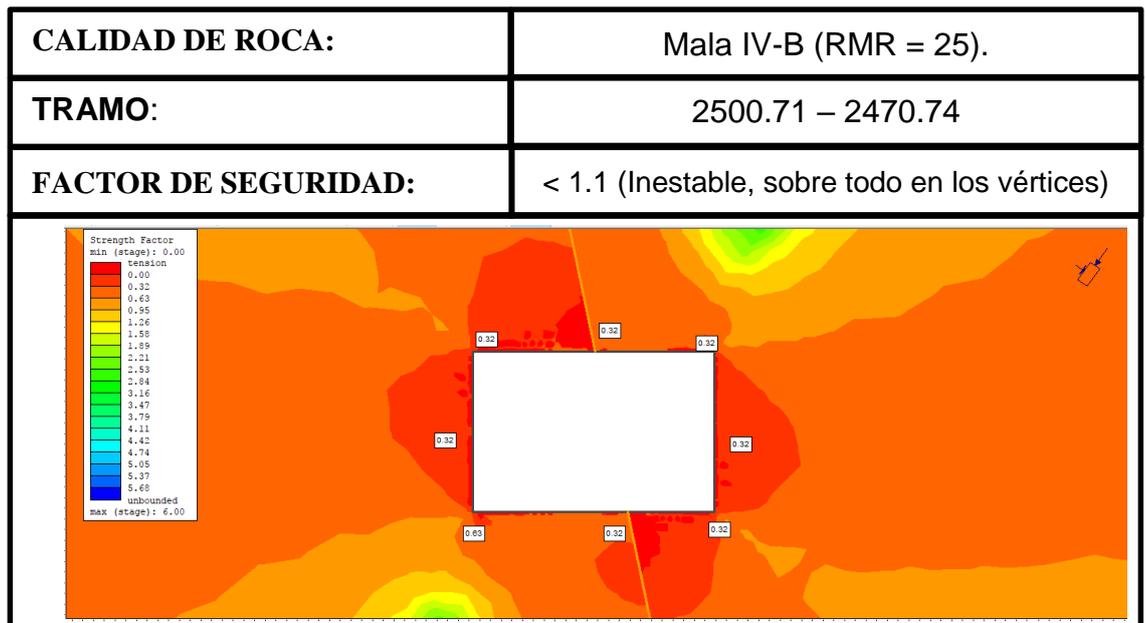
Fuente: Elaboración propia.

**Imagen N°34** Fase 1, análisis de estabilidad sin sostenimiento sección G-G'



Fuente: Elaboración propia.

**Imagen N°35** Fase 1, análisis de estabilidad sin sostenimiento sección H-H'



Fuente: Elaboración propia.

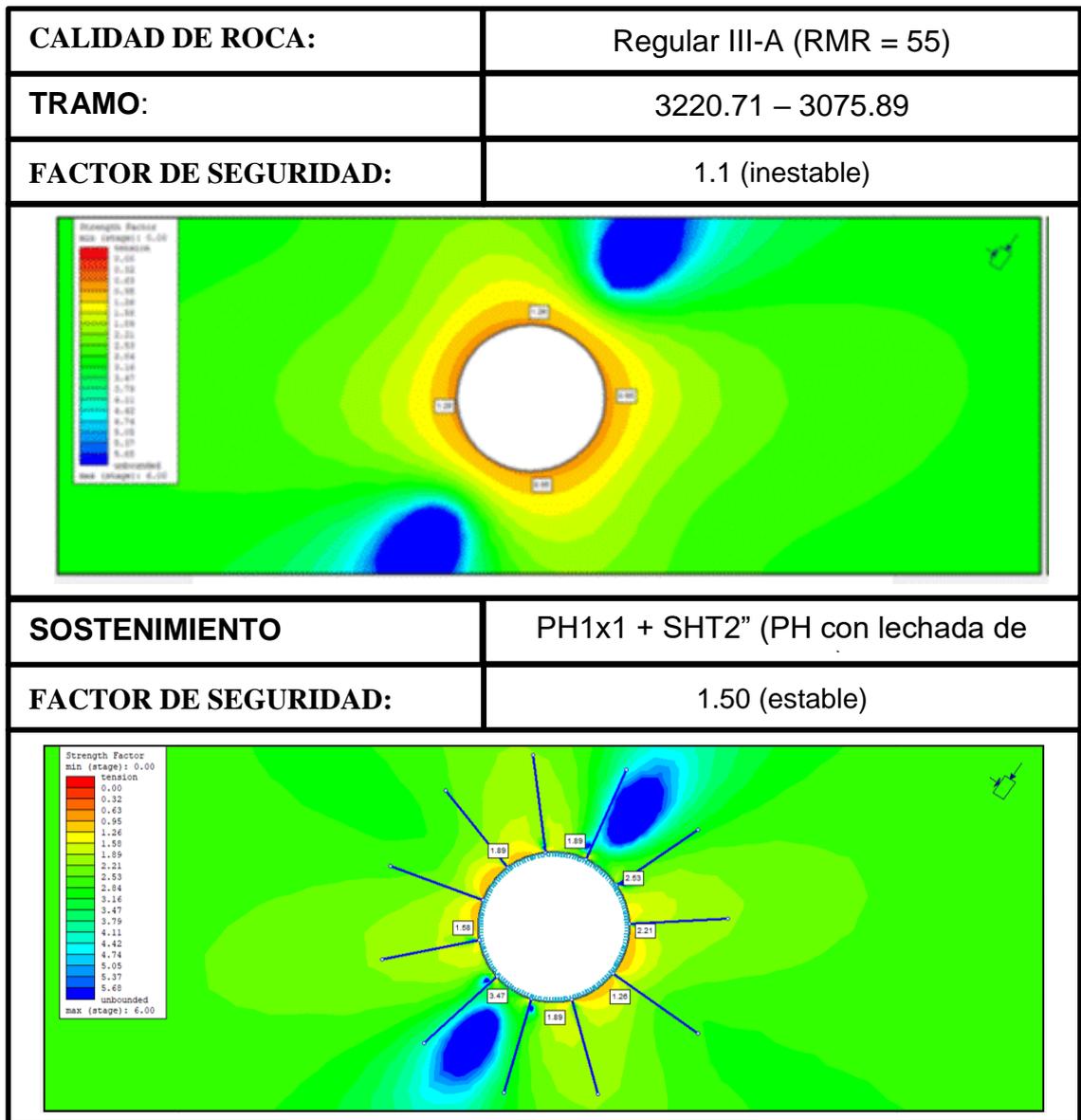
## **Resultados en 2D - Geometría de excavación circular Ø 1.80 mts.**

Las figuras 36 - 39 muestran los resultados de excavaciones circulares de diámetro 1.8 mts. en las diversas calidades de roca presentadas en el tramo del proyecto chimenea de acuerdo a la Configuración de diámetro de excavación circular y Configuración del sostenimiento para una excavación circular de diámetro 1.8 mts.

En los siguientes resultados se usará la siguiente abreviatura.

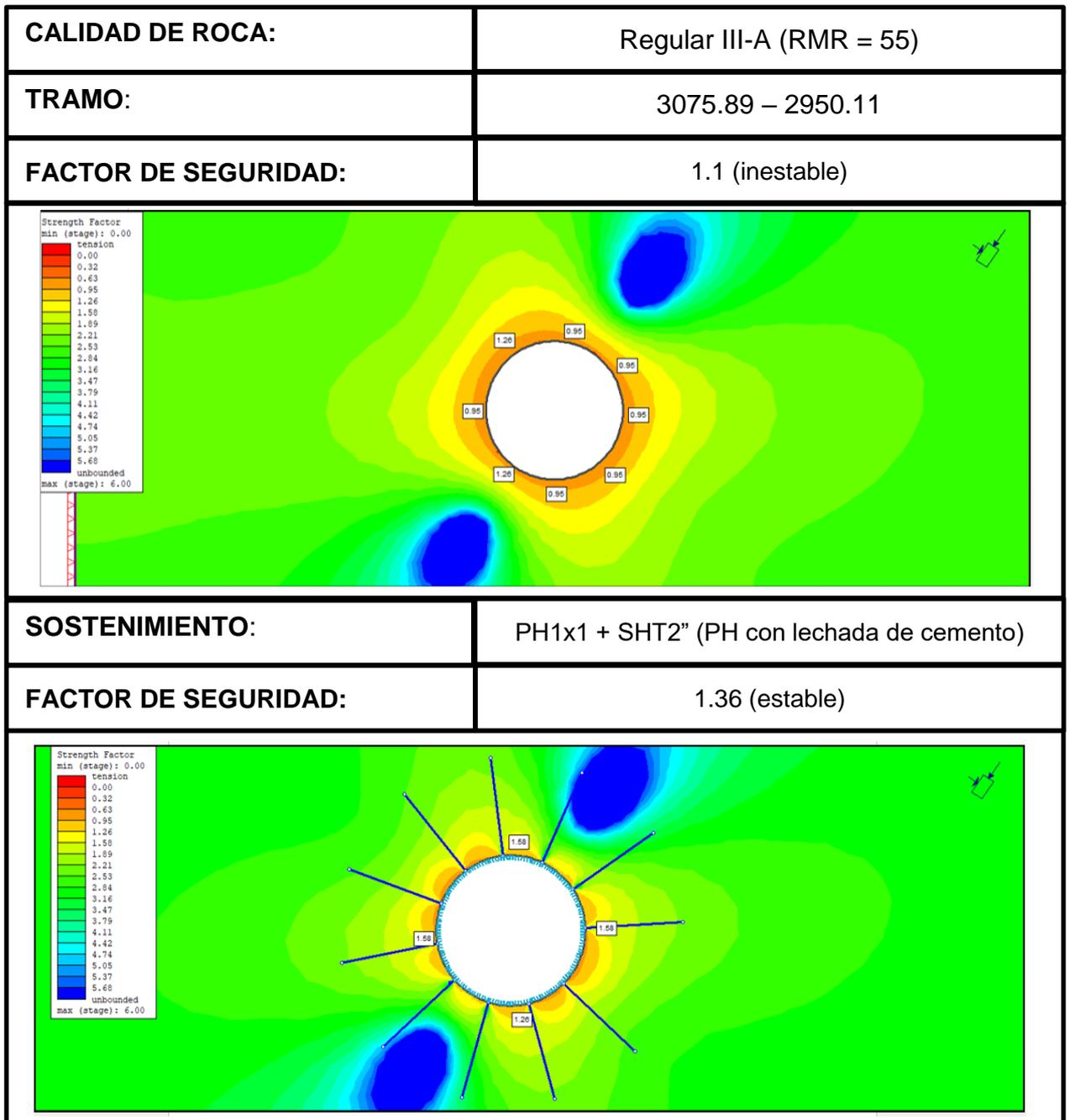
-  PH1x1: Pernos helicoidales espaciados a un metro.
-  SHTn": Shotcrete de "n" pulgadas de espesor, n=2,3 y 4
-  PH: Perno helicoidal.

**Imagen N°36** Fase 2, análisis de estabilidad con sostenimiento sección A-A'.



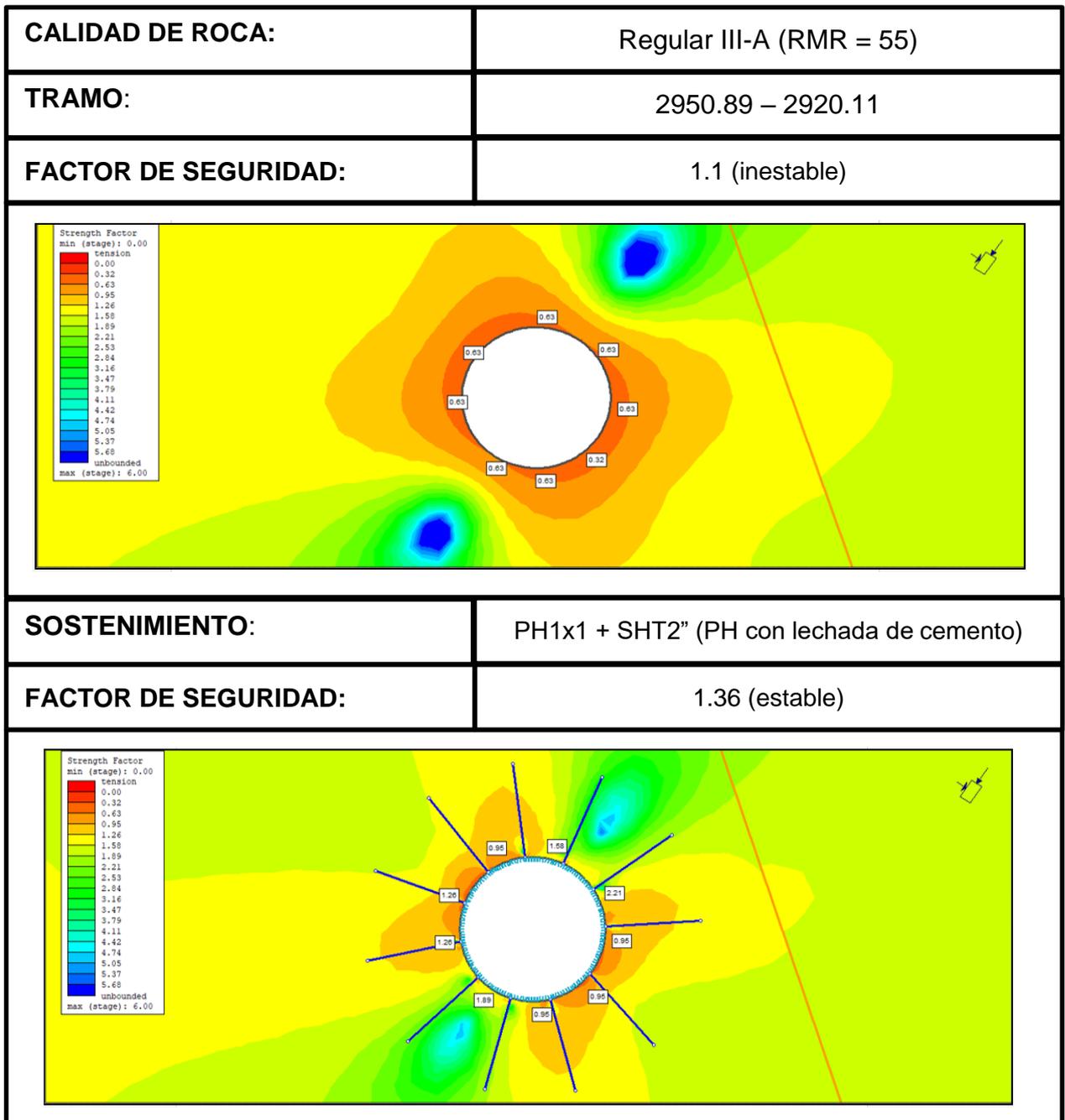
Fuente: Elaboración propia.

**Imagen N°37** Fase 2, análisis de estabilidad con sostenimiento sección B-B'.



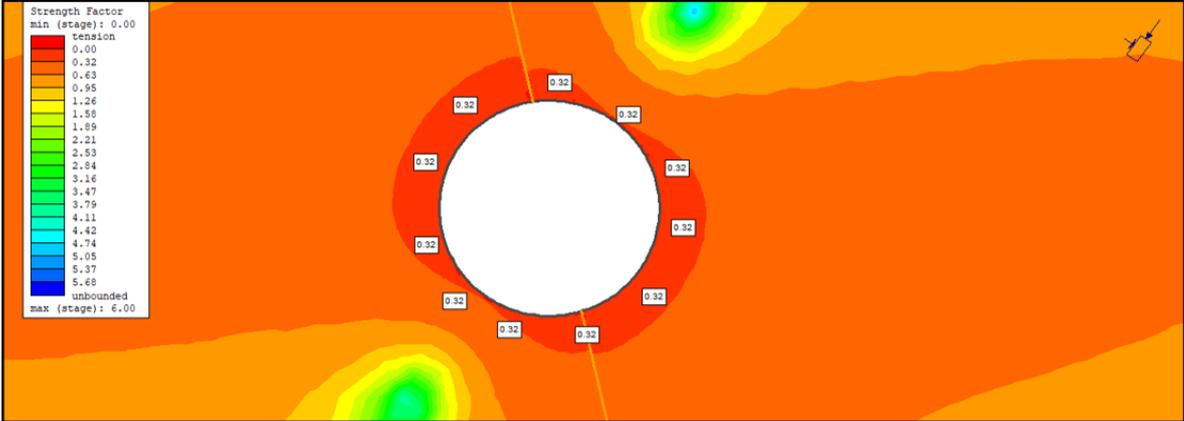
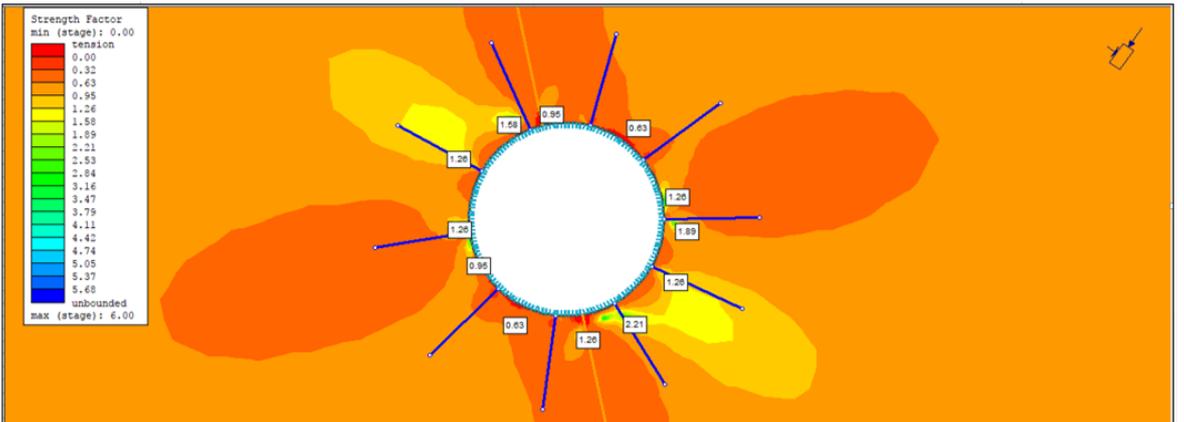
Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°38 Fase 2, análisis de estabilidad con sostenimiento sección C-C'.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen N°39 Fase 2, análisis de estabilidad con sostenimiento sección D-D'.

<b>CALIDAD DE ROCA:</b>	Mala IV-B (RMR = 25).
<b>TRAMO:</b>	2920.71 – 2870.74.
<b>FACTOR DE SEGURIDAD:</b>	1.1 (inestable)
	
<b>SOSTENIMIENTO:</b>	PH1x1 + SHT2" (PH con lechada de cemento)
<b>FACTOR DE SEGURIDAD:</b>	1.26 (estable)
	

Fuente: Elaboración propia.

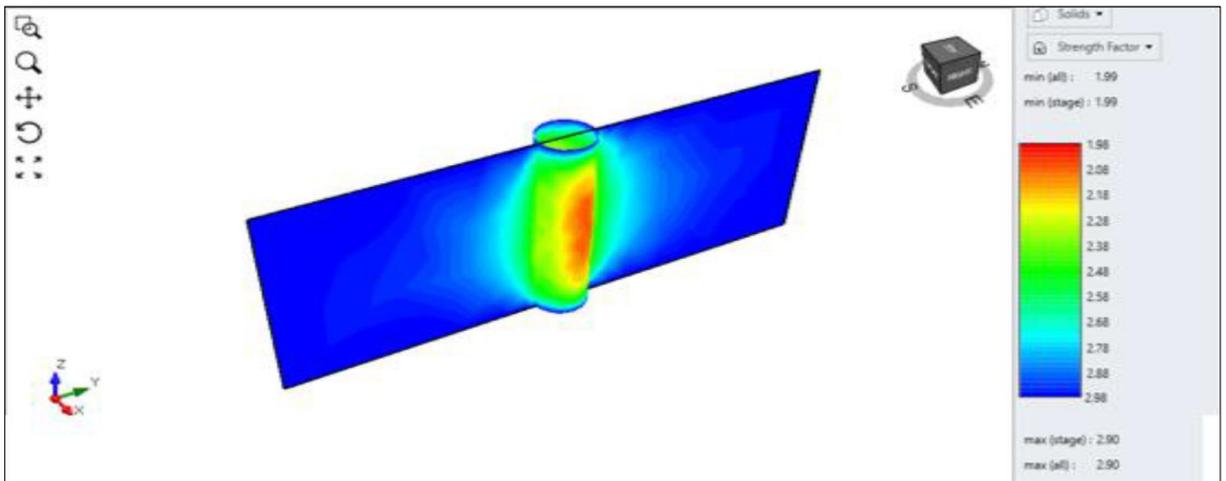
### Resultados en 3D- Geometría de excavación circular (D = 1.5 mts).

Análisis de estabilidad en tres dimensiones de excavación circular de diámetro 1.5.00m (sin sostenimiento/con sostenimiento), calidad de roca: Regular III-A (RMR = 55), tramo: 2950.71 – 2920.89.

En los resultados de la simulación numérica 3D sin sostenimiento para una sección longitudinal y una sección transversal se observa que el factor de seguridad resulta inestable.

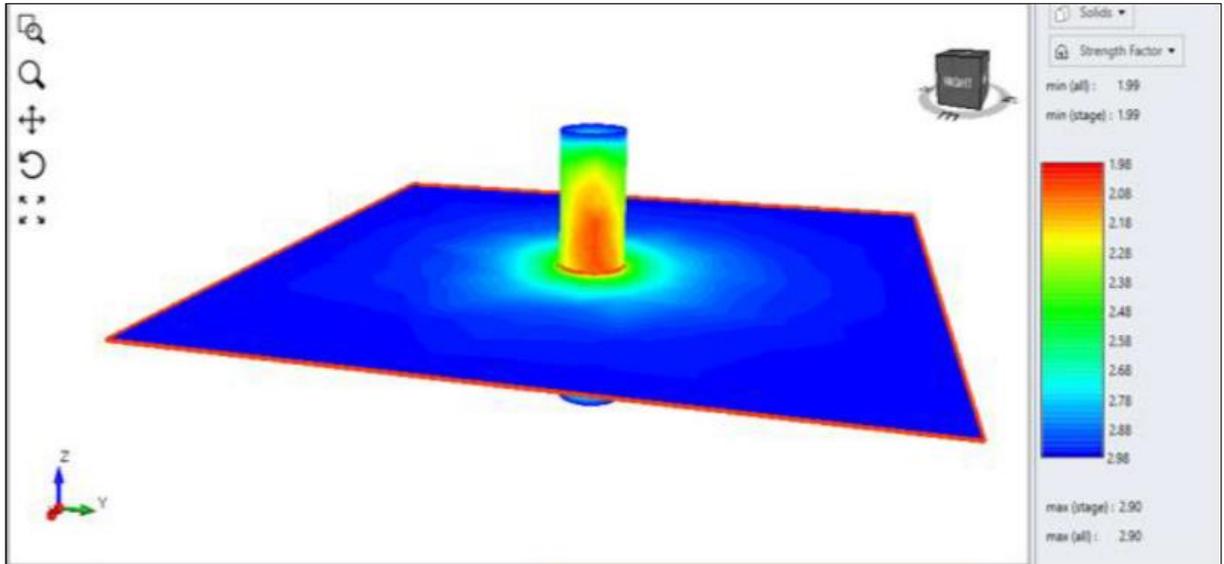
En los resultados de la simulación numérica 3D con sostenimiento (pernos helicoidales instaladas en lechada de cemento espaciados a 1m y shotcrete de espesor 2 pulgadas) se observa que el factor de seguridad es mayor a 1.5 (estable).

**Imagen N°40** Fase 1, análisis de estabilidad sin sostenimiento en sección longitudinal.



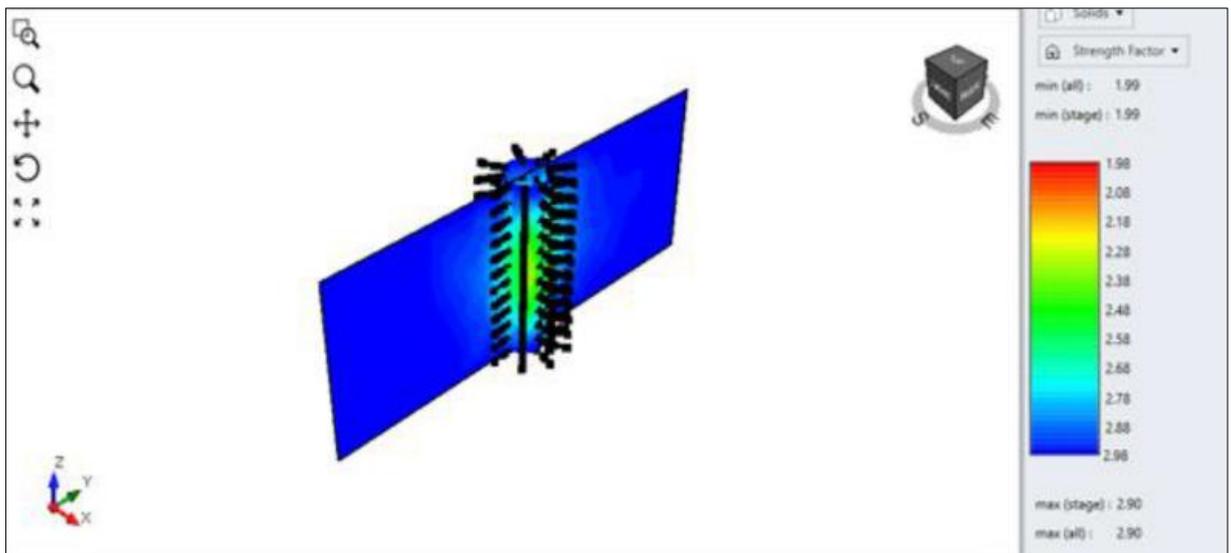
Fuente: Elaboración propia.

**Imagen N°41 Fase 2, análisis de estabilidad sin sostenimiento en sección transversal**



Fuente: Elaboración propia.

**Imagen N°42 Fase 3, análisis de estabilidad con sostenimiento en sección longitudinal.**

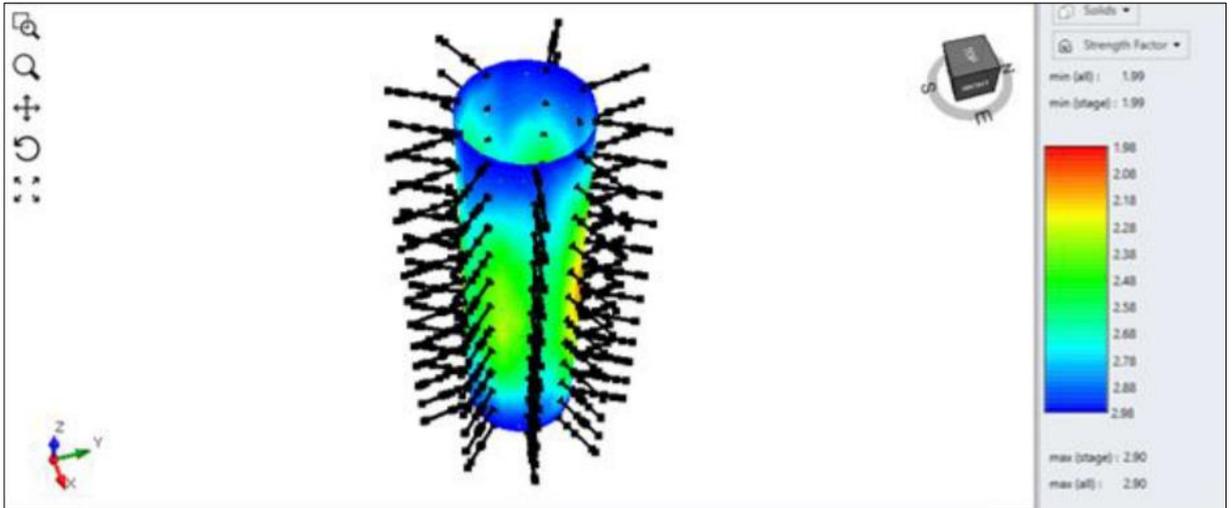


Fuente: Elaboración propia.

Análisis de estabilidad en tres dimensiones de excavación circular de diámetro 1.500m (sin sostenimiento/con sostenimiento), calidad de roca: Regular III-B (RMR = 45), tramo: 2920.89 – 2900.11.

En los resultados de la simulación numérica 3D con sostenimiento (pernos helicoidales instaladas en lechada de cemento espaciados a 1m y shotcrete de espesor 2 pulgadas) se observa que el factor de seguridad es mayor a 1.5 (estable).

**Imagen N°43 Fase 2, análisis de estabilidad con sostenimiento.**

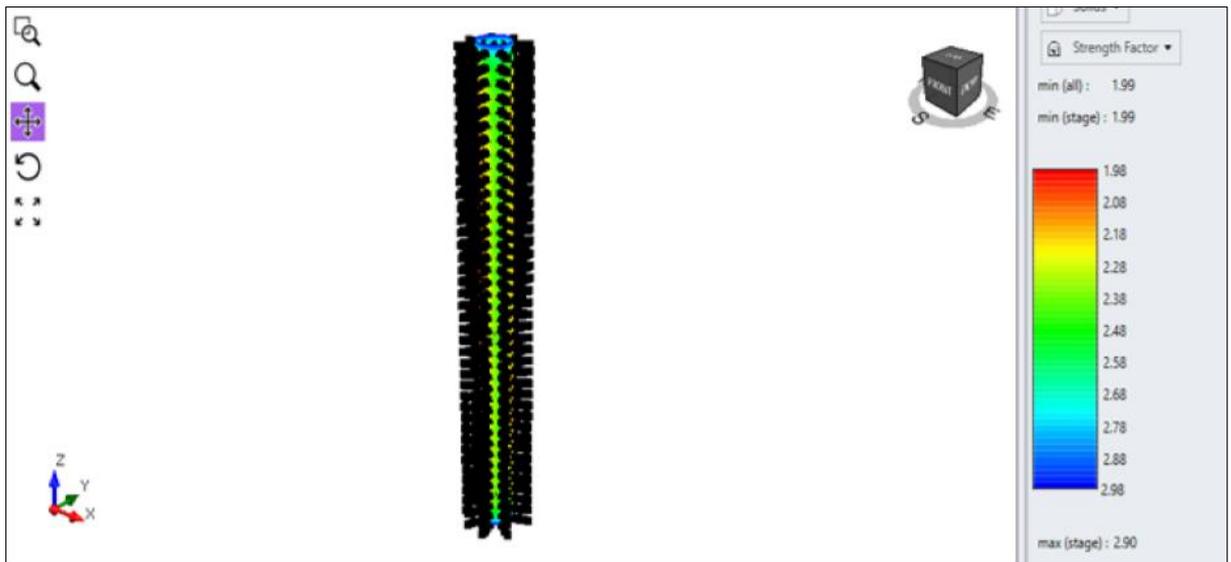


Fuente: Elaboración propia.

Análisis de estabilidad en tres dimensiones de excavación circular de diámetro 1.50m (sin sostenimiento/con sostenimiento), calidad de roca: Mala IV-A (RMR = 35), tramo: 2900.11-2890.71.

En los resultados de la simulación numérica 3D con sostenimiento (pernos helicoidales instaladas en lechada de cemento espaciados a 1m y shotcrete de espesor 3 pulgadas) se observa que el factor de seguridad es mayor a 1.5 (estable).

**Imagen N°44 Fase 2, análisis de estabilidad con sostenimiento.**

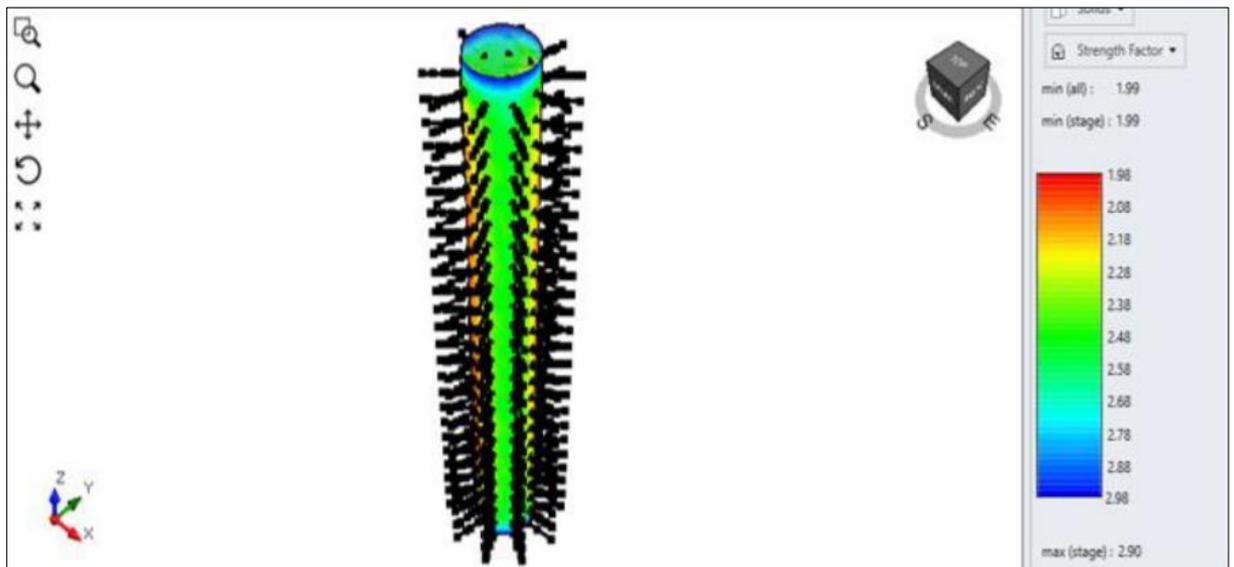


Fuente: Elaboración propia.

Análisis de estabilidad en tres dimensiones de excavación circular de diámetro 3.00m (sin sostenimiento/con sostenimiento), calidad de roca: Mala IV-B (RMR = 25), tramo: 2890.71-2870.74.

En los resultados de la simulación numérica 3D con sostenimiento (pernos helicoidales instaladas en lechada de cemento espaciados a 1m y shotcrete de espesor 4 pulgadas) se observa que el factor de seguridad es mayor a 1.5 (estable).

### Imagen N°45 Fase 2, análisis de estabilidad con sostenimiento.



Fuente: Elaboración propia.

#### Evaluación del Sostenimiento.

Factor de Seguridad para el Sostenimiento (pernos helicoidales y shotcrete).

Con la finalidad de relacionar los inputs (diámetro de perno, longitud de perno, espaciado entre pernos, propiedades del shotcrete, entre otros) que son usados para determinar el factor de seguridad ya sea en el análisis de estabilidad mediante modelamiento numérico y en el análisis de estabilidad del sostenimiento por criterios empíricos, realizamos el análisis en base a criterios empíricos, para los elementos de sostenimientos a usar como son: perno helicoidal con lechada de cemento y shotcrete, para la evaluación nos situamos en el caso más desfavorable, calidad de roca IV-B (RMR = 25). Los inputs en ambos casos son muy similares como se muestra en los cuadros 29 y 30.

Factor de seguridad del perno helicoidal insertada en lechada de cemento.

**Cuadro N° 29 Factor de seguridad del perno helicoidal insertada en lechada de cemento.**

RMR	25			
Ancho de labor	3	m		
ESR	1.6			
Lp	228.13	cm		
Rtraccion	6330	kg/cm2		
diametro perno	2.2	cm	0.022 m	
Adherencia t	15.26137	kg/cm2	1.4966291	Mpa
area del perno S	3.801336			
U circunferencia pe	6.91152	cm		
P= Capacidad de ap	24062.457	kg.	24.062457	ton
factor de carga	0.25			
h altura de carga	2		2.25	Con RMR 25
Densidad de roca	2.7			
espac long	1.25			
espac trans	1.25			
Presion de R°	6.075	ton		
T=Capacidad de car	8.4375	Ton	8437.5	kg
<b>F.S.</b>	<b>2.85</b>			

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 30 Longitud y volumen de mortero (lechada de cemento).**

<b>Chimenea 44- MARSA</b>				
RMR	25			
Densidad	2.7			
B ancho de tunel	3			
Presion de R°	6.075	ton		
Rc. del shotcrete	210	kg/cm2 = 2100	ton/m2	
Presion de Soporte	14.22			
<b>F.S.</b>	<b>2.34</b>			

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 31 Factor de seguridad del shotcrete.**

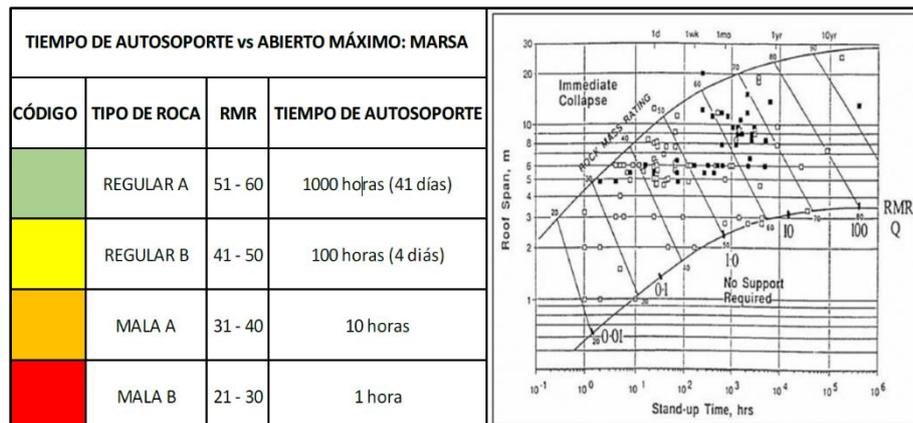
diametro perforacion	22	mm	+ -10-26mm.
Long. mortero Lb	2.44	m	
Diametro de taladro	3.6		
Volumen de morter	1745.83	cm3	= 1.8 litros/tal.

Fuente: Elaboración propia.

## Tiempo de Autosoporte.

Para el propósito de evaluación resulta fundamental definir “El Tiempo de Auto-soporte vs Abierto Máximo” el cual se fundamenta como una referencia en el Ábaco de Bieniawski (Imagen 68) para obtener el “Tiempo de Auto-soporte” en los rangos de “Calidad RMR89 de Bieniawski, modificada por Romana 2000” que expone la masa rocosa del sector en evaluación.

**Imagen N°46** Tiempo de auto-soporte.



Fuente: Elaboración propia.

## Condiciones Técnicas para la Aplicación del Sostenimiento

De acuerdo con las evaluaciones del diseño de sostenimiento en el proyecto chimenea, los soportes a utilizarse son los siguientes:

- Concreto lanzado (shotcrete).
- Pernos helicoidales cementados.
- a. Concreto lanzado (Shotcrete).**

El concreto lanzado se colocará en la geometría de la chimenea y del diseño de las cámaras, de acuerdo al tipo de roca.

Las normas listadas en su versión más reciente (ACI-214: Práctica recomendada para evaluar ensayos a la compresión en probetas de concreto, ACI-506R-90: Guía del Shotcrete, ACI-506.1R: Estado del Arte en shotcrete reforzado con fibras de acero, ACI-506.2R: Especificaciones para materiales, proporción de mezcla y aplicación del shotcrete. ACI506.3R:

Guía para la certificación de los operarios del shotcrete, ASTM-A820: Especificaciones para las fibras de acero, ASTM-C1116: Especificaciones para el Concreto reforzado con fibra de acero).

El shotcrete se aplicará por vía húmeda para reducir el rebote y los problemas de polvo, siguiendo las directrices establecidas en las normas ASTM C1116-89, ACI 506.2-77, ACI 506.1R-84 y ACI 506-85.

Se aplicará el shotcrete en una o más capas hasta alcanzar el espesor final especificado. El shotcrete en general, tendrá siempre microsílca ya sea en los que tienen fibras de acero y/o sin fibra de acero.

### **Materiales**

El shotcrete estará compuesto de cemento, agregados, agua, fibras de acero y microsílca. No se hará uso de acelerantes de fragua.

Cemento. - El cemento debe cumplir las normas especificadas.

Agua. - El agua debe cumplir las normas especificadas.

Microsílca. - Para mejorar la resistencia del shotcrete se tiene que prever el uso de microsílca, la que será suministrada en forma dosificada, cumpliendo con los siguientes requerimientos:

Fineza: El área superficial no será menor que 18,000 m<sup>2</sup>/kg

Tamaño de partículas: 0.2 micrones en promedio

Que pasa por la malla 325: Mayor que 99%

Contenido de SiO<sub>2</sub>: No menor que 92-94%

Contenido de C: No mayor que el 5%

Contenido total de Álcalis: No mayor que 1.5%

Una vez combinada con el cemento, el contenido total de álcalis no será mayor que 0.6%.

La adición de microsílca se efectúa en porcentaje del peso del cemento, en el rango de 10 a 15 por ciento. Su inclusión, por lo general, elimina la necesidad de usar acelerantes para lograr alta resistencia a edades tempranas

(1 a 3 días), reduce las pérdidas por rebote y permite aplicar espesores de shotcrete en capas más gruesas en una sola pasada o aplicación.

Fibras de acero. - Las fibras de acero cumplirán con la Norma ASTM 820 tipo I u otras aceptables por el supervisor, con una resistencia última de 1240 Mpa.

La dosificación de las fibras en peso no será inferior a 40 Kg/m<sup>3</sup>.

### **Diseño del Shotcrete.**

El shotcrete tendrá una resistencia a la compresión correspondiente a lo indicado en la Norma ASTM C39, de 6 Mpa a las 8 horas, 21 Mpa a los 7 días y de 35 MPa a los 28 días.

En general, los componentes correspondientes a la mezcla para el shotcrete estarán comprendidos en las siguientes proporciones:

- ✚ Contenido de cemento (kg/m<sup>3</sup>): 350 – 400
- ✚ Microsílica (kg/m<sup>3</sup>): 30 - 50
- ✚ Fibra de acero (kg/m<sup>3</sup>): 40 - 50
- ✚ Proporción agregado/cemento: 3 - 5
- ✚ Relación agua/cemento: 0.35 -0.45

El fraguado del shotcrete debe cumplir con los siguientes límites:

- ✚ Tiempo de fragua inicial: < 3 min
- ✚ Tiempo de fragua final: > 12 min

### **Aplicación del Shotcrete.**

De acuerdo a las características geomecánicas del macizo rocoso (tipo de roca), se aplicará el espesor mínimo de concreto lanzado.

El espesor de la capa de diseño se tiene que controlar mediante clavos indicadores sujetos a la superficie de la roca o por otras medidas aprobadas por MARSA.

### **Ensayos de control de calidad.**

Para fines de los ensayos de control de calidad del shotcrete, se debe considerar satisfactorio si cada resultado de los ensayos alcanza por lo menos

el 75% de la resistencia especificada y si por lo menos los resultados de tres núcleos de un panel ensayado exceden al 0.85 F'c.

Para el caso de muestras cúbicas, el promedio de tres de ellas tomadas de un panel, será igual o mayor que el F'c. Especificado (35 Mpa).

**b. Pernos de anclaje.**

Los pernos de anclaje se colocarán en la geometría de la chimenea, de acuerdo al tipo de roca.

La norma particular a observar en cuanto a pernos de anclaje es la ASTM A 615-90.

Los pernos de anclaje para los propósitos de estas consideraciones técnicas, se definen de acuerdo al tipo, diámetro, orientación y longitud de los taladros.

Los métodos de perforación, limpieza, etc., serán tales que aseguren la correcta instalación.

La orientación de los pernos dependerá de las condiciones geológicas – geotécnicas del macizo rocoso, en lo concerniente a buzamiento y alteración de las discontinuidades.

Los pernos de anclaje serán PERNOS HELICOIDALES, de 22 mm de diámetro de una longitud de 1.5m estos espaciados a 1m, con una carga mínima de trabajo garantizada de 20 Tn. Los pernos serán totalmente embebidos en lechada de cemento y no se pretensarán después de su instalación.

El anclaje entra en tracción al empezar a producirse la deformación de la masa de roca.

**Materiales**

Los fabricantes deben detallar las características del material (perno helicoidal).

Las placas de apoyo, las arandelas hemisféricas y las tuercas de los pernos de anclaje serán suministradas de acuerdo con los requisitos que recomiende el fabricante para cada tipo de perno.

El cemento de la lechada inyectada, debe cumplir con las especificaciones de las normas, relación w/c 0.30 – 0.35.

### **Ensayo de los pernos.**

Los ensayos deben demostrar y verificar:

La capacidad del equipo necesario para la instalación de los pernos, totalmente rellenos hasta una longitud máxima de 5 metros.

La capacidad de instalar pernos de anclaje totalmente rellenos con mortero de cemento.

Las características carga-deformación típicas de los sistemas de pernos.

### **Instalación de los pernos.**

- ✚ Los taladros para los pernos se perforarán teniendo en cuenta el diámetro y la longitud de los mismos según la ubicación e inclinación mostrada en los planos y según la clasificación del tipo de roca, en concordancia con las instrucciones del fabricante.
- ✚ La ubicación de los pernos se marcará en la superficie del concreto lanzado previamente aplicado en la roca del proyecto chimenea.
- ✚ El método de instalación deberá concordar con las instrucciones del fabricante relativas al uso de los pernos y de sus partes componentes.
- ✚ La efectividad del procedimiento de instalación deberá verificarse realizando ensayos en por lo menos un perno por cada 50 instalados.

### **Instrumentación Geomecánica.**

Situación Actual.

Según observaciones de campo, es necesario implementar un plan de instrumentación básica con el solo objeto de validar el dinamismo existente en las rocas continuas al sector en evaluación. Esta instrumentación básicamente

consistiría en la evaluación de “convergencias” que ocurren en el entorno de la excavación.

### **Convergencia.**

La convergencia se define como la tendencia de una excavación a cerrarse por efecto de desplazamientos y/o deformaciones que ocurren en la masa rocosa en el entorno de las excavaciones.

La excavación de un macizo rocoso provoca inevitablemente un desequilibrio en su estado tenso-deformacional, el cual tiende inmediatamente a recuperar su estado inicial generando desplazamientos convergentes que deben ser investigados sistemáticamente con una frecuencia que permita establecer tendencias.

### **Objetivos del monitoreo.**

Establecer en el entorno de la Chimenea RC-44P la medición de convergencias como método de evaluación y análisis del comportamiento de la excavación subterránea (chimenea), que nos permita predecir la deformación como efectividad de las medidas de control adoptadas.

Determinar los factores que inducen el fenómeno (agua subterránea, métodos de excavación, presencia de masas rocosas propensas a un comportamiento elastoplástico).

### **Equipo.**

El monitoreo de convergencias normalmente se realiza con el “Extensómetro de cinta digital” el cual es diseñado para medir pequeños cambios de distancia entre “dos, tres y cuatro puntos de monitoreo” instalados en “paredes de acceso o hastiales de la chimenea”.

### **Medición y observación.**

Para el proceso de lectura y medición de convergencias en las estaciones se debe considerar personal capacitado en el manejo y

mantenimiento del extensómetro, anclajes en buen estado, las estaciones deben ser señalizadas y protegidas.

Procedimientos para toma de datos:

- a. Coordinar con los responsables del área de Mina, los trabajos a realizar.
- b. En la estación de convergencia, verificar las condiciones del punto y su operatividad, (mediante un Check List).
- c. Restringir el tránsito de equipos y personal en la zona de influencia del monitoreo, mediante señalización y/o vigías de hombre trabajando.
- d. Instalar el extensómetro en los puntos y realizar las lecturas respectivas.
- e. Desinstalar el extensómetro y comunicar al encargado de operaciones el término de lecturas para que procedan habilitar el tránsito en la zona de monitoreo.
- f. En gabinete realizar el proceso, análisis e interpretación de datos obtenidos en las lecturas de estaciones.
- g. Establecer la frecuencia del monitoreo (diario, semanal, quincenal, mensual, etc.) es responsabilidad del departamento de geomecánica y generalmente está en función a la evolución de la orientación y amplitud de las deformaciones.
- h. El análisis e interpretación debe ser realizado estrictamente por un especialista en instrumentación geomecánica.
- i. Construcción de cuadros de convergencia en función al modelamiento y deformaciones máximas. - Esta etapa es fundamental para el análisis de resultados y recomendaciones pues es la base sobre la cual toda medición es interpretada. Estos cuadros son construidos en base a los diferentes estudios realizados del comportamiento del macizo rocoso y deformaciones permisibles. Una de las herramientas para este fin es la aplicación de modelamientos numéricos o simulaciones geomecánicas que permitan predecir la estabilidad y desplazamientos máximos esperados para esa

estabilidad, así como la aplicación empírica de las curvas de convergencia en una excavación. Es un trabajo cuyo resultado es fundamental para emitir recomendaciones previas de estabilidad, sistemas de soporte y/o condiciones de la estructura.

#### **El Extensómetro Tipo Bred.**

El desplazamiento de techos y paredes es un fenómeno que puede ser monitorizado, y para ello se emplean extensómetros tipo BRED (Broke Rock Electric Device). Estos sensores instalados en perforaciones a profundidad suficiente (fuera de las zonas distendidas de las rocas) disponen de anclajes fijos a diferentes profundidades, cada anclaje lleva una barra o cable de referencia que le permite reconocer el desplazamiento entre anclajes mediante un simple sistema de comparación (constituye cada uno circuito eléctrico cerrado). Todo el conjunto de circuitos es inyectado con lechada de cemento conformando una sola unidad, de modo tal que la aparición de una o más grietas/fracturas en dicha unidad corta el circuito/los circuitos cuya identificación y diagnóstico es mediante una señalización de alarma sonora/luminosa.

#### **4.3. Prueba de hipótesis**

Damos por aceptado la hipótesis de que:

Determinando el análisis geomecánico mediante el sistema Alimak y Raise Boring se podrá detectar su influencia en la construcción del proyecto Pique Principal MARSA.

Debido a que sin determinar el análisis geomecánico en los métodos de excavación del sistema Alimak y Raise Boring, NO SE PODRÍA EJECUTAR LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO PIQUE PRINCIPAL MARSA.

Así mismo, se acepta las hipótesis específicas dando como:

Es posible realizar el mapeo y logueo geomecánico en los taladros DDH 09-001 en el eje del Pique.

Se logró realizar el análisis geomecánico de los métodos de excavación del sistema Alimak y Raise Boring.

Se comenzó a extraer mineral y desmonte de los Niveles Inferiores a través del Pique Principal MARSA.

Sé seleccionó el más adecuado método para ser aplicado en la construcción del proyecto Pique Principal MARSA, mediante el estudio comparativo de construcción de chimeneas convencional y el mecanizado con plataforma trepadora Alimak y Raise Boring.

Es factible determinar la clasificación geomecánica de los dominios litológicos de la zona de profundización.

Es factible determinar los factores que controlan la estabilidad de la excavación.

Se logró clasificar el diseño de sostenimiento en la columna del Pique Principal, está determinado por la caracterización geomecánica del macizo rocoso y caracterización geológica.

#### **4.4. Discusión de resultados**

La evaluación de la presente tesis se direcciona a evaluar las condiciones geomecánicas durante la excavación del sistema Alimak y Raise Boring, a ello realizar recomendaciones de sostenimiento e instrumentación geotécnica en el eje del Pique y de labores conexas.

Para ello ha sido necesario realizar investigaciones geomecánicas de campo (registro geomecánico de labores subterráneas en áreas puntuales del sector a evaluar, registro geomecánico de sondaje diamantino eje de Pique, evaluar los factores que influirán en la inestabilidad de la excavación), investigaciones de laboratorio (ensayo de mecánica de rocas) y en gabinete elaborar el informe.

La evaluación ha sido desarrollada en dos etapas bajo las siguientes consideraciones:

- a. Primera etapa orientada a realizar trabajos de campo y recopilación de información técnica proporcionada por MARSA, para fines de la evaluación, siendo el alcance de esta etapa la conclusión de los trabajos programados en campo.
- b. Segunda etapa orientada íntegramente a investigaciones en laboratorios y al desarrollo de trabajos en gabinete (proceso, análisis, interpretación de información registrada durante investigaciones geomecánicas de campo y laboratorio e información histórica de MARSA), el alcance de esta segunda etapa es la entrega del informe final de la evaluación.

Como parte de las investigaciones geomecánicas realizadas, se ha caracterizado, clasificado y zonificado a la masa rocosa de la zona evaluada y se ha determinado sus propiedades de resistencia; asimismo, se ha evaluado las condiciones del agua subterránea y de los esfuerzos.

Del análisis geomecánico realizado a los métodos de excavación sistema Alimak y Raise Boring, se determinó que las rocas circundantes al Proyecto Pique Principal MARSA, se hallan intensamente fracturadas debido a los múltiples eventos tectónicos según la dirección de los esfuerzos, dando como resultado rocas de tipos III (Regular A y B), IV (Mala A y B) y V (Muy Mala).

La determinación de los Índices Geomecánicos, trajo como resultado el determinar el macizo rocoso y el tipo de Sostenimiento a aplicar, a fin de ejecutar correspondientemente el Pique Principal MARSA.

Se logró determinar el análisis geomecánico a los métodos de excavación sistema Alimak y Raise Boring en la construcción del Proyecto Pique Principal MARSA, en la unidad minera San Andrés, de la Empresa Minera Aurífera Retamas Sociedad Anónima.

## CONCLUSIONES

1. La zona donde se realizó el proyecto Principal Pique Marsa se encuentra ubicada en la Minera Aurífera Retamas S.A. – Marsa, cuya geología está constituida por más de una facie plutónica; una facie de granito – granodiorita y la otra facie de tonalita – diorita. mostrándose la primera como la más favorable para emplazamiento y desarrollo de estructuras mineralizadas.
2. El método de construcción de chimeneas mecanizado con plataforma trepadora Alimak es el más adecuado para su aplicación en Minera Aurífera Retamas S.A. – Marsa. El sistema mecanizado Alimak puede construir chimeneas de gran longitud en un tiempo relativamente corto; siendo su costo de avance por metro casi el mismo respecto al sistema convencional, pero utiliza menos de la mitad del tiempo en su ejecución, por lo que resulta más rentable que el convencional.
3. El eje del Proyecto Pique Principal MARSA y su entorno presentan diferentes calidades de roca, según la escala de valoración RMR89 de Bieniawski modificada por Romana 2000, con adaptaciones realizadas por Marsa para fines de la evaluación, tipifican calidades Roca Tipo III (45.1%) y Roca Tipo IV (54.2%).
4. Los resultados de proceso de zonificación geomecánica se muestran en el Anexo 3 (Planos de zonificación geomecánica).
5. Las características geomecánicas que presenta cada “dominio geomecánico” conceptuado en el eje del proyecto Pique y su entorno físico se resumen en el cuadro N°19. Esta información constituye la base del INPUT-GEMECÁNICO para los análisis de estabilidad.
6. El dimensionamiento del proyecto chimenea realizado mediante aproximaciones empíricas muestra inestabilidad sin el sostenimiento para los diámetros en evaluación cuadro N°25.
7. Los resultados del análisis de estabilidad estructuralmente controlada – M.E.L., indica la presencia de cuñas en menor proporción en el nivel 3320 y en mayor

proporción en el nivel 2520, en ambos casos permaneciendo estables con un factor de seguridad mayor a 1.5.

8. El análisis de estabilidad debido a esfuerzos – M.E.F., donde se ha simulada la excavación de diversas geometrías sea cuadrado, rectángulo y circular (diversos diámetros). La geometría cuadrada y rectangular presenta mayor inestabilidad sobre todo en los vértices, siendo la de mayor estabilidad la de geometría circular. Para las diversas calidades de roca evaluadas entre ellas la más crítica roca tipo IV-B con RMR 25, se logró la estabilidad a través de un sostenimiento adecuado con un F.S. > 1.1 sea en el modelamiento en dos dimensiones (2D) y en el modelamiento en tres dimensiones (3D).
9. Luego de la ejecución del proyecto chimenea en necesario implementar un plan de instrumentación adecuada que permita advertir procesos de inestabilización que ocurren en la masa rocosa asociados a la chimenea, motivo por el cual se realiza un diagnóstico básico de las necesidades de instrumentación geomecánica.

## RECOMENDACIONES

1. Revisión, seguimiento, control de estándares y procedimientos para la aplicación de los distintos elementos de sostenimiento, tratándose de una labor permanente.
2. Realizar el sostenimiento con pernos helicoidales de 1.5m con lechada de cemento instaladas a espacios de 1.0 m (horizontal y vertical).
3. Respecto al desarrollo del sostenimiento para una excavación de 1.8 metros de diámetro, se debe realizar en base al tiempo de auto-soporte detallada en la imagen 68, así evitar desprendimientos de roca y/o colapsos.
4. Por las características de la calidad del macizo rocoso del área de influencia del Proyecto Pique Marsa el método y secuencia constructiva de la excavación del proyecto que opte Marsa, será de vital importancia para el control de la estabilidad.
5. Para “medir, monitorear y controlar” los problemas de inestabilidad se recomienda implementar el PLAN DE INSTRUMENTACIÓN GEOMECÁNICA. Este plan contempla el establecimiento de una red de estaciones de convergencia.
6. En toda excavación subterránea realizada en masas rocosas fracturadas existen bloques potencialmente inestables y considerando el método de excavación, la inestabilidad asociada al control estructural se muestra a modo de desplazamientos excesivos y pérdida de propiedades de resistencia en bloques de roca (cuñas) cuya geometría está definida por la intersección de estructuras (diaclasas – fallas) con el eje de excavaciones. Las estabilizaciones de estos bloques de roca deben ser controladas mediante aplicación del sostenimiento en el menor tiempo posible.
7. La excavación del tipo de sección cuadrada y rectangular no son recomendables ya que estas muestran mayor inestabilidad que los de sección circular.
8. Es importante señalar que mientras el diámetro de la chimenea sea más distante (mayor) a 1.50m la estabilidad será más complicada en mantener para el tramo en evaluación.
9. El tiempo durante el cual va ser utilizada el Proyecto Pique MARSa, condiciona notablemente las exigencias que debe cumplir el sostenimiento. En general el paso

del tiempo supone siempre una cierta degradación de las propiedades mecánicas de las rocas debido esencialmente a efectos ambientales.

10. Para lograr condiciones de estabilidad satisfactorias, las consideraciones técnicas para la aplicación del sostenimiento alcanzado en esta evaluación deben complementarse con estándares de especificaciones técnicas más detallados.
11. Las perforaciones de drenaje siempre se realizarán en zonas donde existe mucha humedad y/o goteras de agua.
12. En una excavación está confirmado que mientras menor sea la sobreexcavación y menor sea el daño superficial de la roca por el proceso de la construcción de la chimenea que opte MARSA, más estable y seguro será la excavación.
13. Si se efectúan excavaciones aledañas al proyecto chimenea, será necesario realizar evaluaciones de las vibraciones producidas por las voladuras de las excavaciones circundantes al proyecto con el objeto de determinar la ley de atenuación de la vibración generada por estas voladuras y así preservar la estabilidad de la chimenea. Todo lo anterior es si la construcción de la chimenea es con voladura.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alimak. Equipos y métodos para minería y obras subterráneas. Estocolmo 2005
- Acosta; Quispe, J; Rivera, R; Valencia, M; Chirif, H; Huanacuni, D ;Rodríguez ,I .(Año 2010).Mapa Metalogenetico del Oro en el Peru. Página 23-24.
- MINESADCO S.A. Perfil del Proyecto de rehabilitación y profundización del Pique de Fierro – Zona Ciruelo Unificado. 2011
- Lafarge Glory Hole Arrangement - Ecuador: Quinde Project Final Report, Stantec Consulting Ltd. 1760 Regent Street, Sudbury, Ontario P3E 3Z8. Canada.
- Ing. Basilio Ponce Pio (10 septiembre 2015). Pique Principal MARSA- Master Shaft. Página 139-141.
- Haerberli, Y.; Morits, R.; Fontboté, L.: (Año 2009) Late Paleozoic Orogenic Gold Deposits in the Central Andes. Página 12.
- Milton Camino Ramos. (Año 2010). Ocurrencia de cuerpos mineralizados en yacimientos vetiforme del batolito de patas. Página 13-16
- Bieniawski. (1998). Indice de RMR. Indice de RMR, 13-16.
- H.Mendieta E., F.Arias Arias, W.Salas Marroquin, E. Nikaido Hokoma, N. Curi Ayala. (mayo 2017). Guía de criterios geomecanicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas, OSINERGMIN. Página 58-68.
- Gaither de la Sota; Juan Manzanedo; Miguel Chávez. (enero 2010). Evaluación Geomecanica de Proyecto Pique. Página 31-32.
- Córdova Rojas David. Lima Perú (Año 2001). “Curso de Mecánica de Rocas en Minería y Obras Civiles”. UNI. Página 58-68.
- Hernández Sampieri, R.; Fernandez Collado, C; Baptista Lucio, P. (Año 2006), Metodología de la Investigación ((4a. ed.). Mexico: McGraw-Hill. Página 31-32-39-73-81-88.
- Hoek, E. and Brown, E.T. (Año 1980). “Excavaciones subterráneas en roca” Mc Graw-Hill. Raise Boer y Raise Climber. Página 34.

- Hoek, E. and Diederichs, M.S. (Año 2006) "Empirical estimation of rock mass modulus" Int. J. of Rock Mech. and Min. Página 89-90.
- Laubscher, D. H., (Año 1990). "A Geomechanics Classification System for the Rating of Rock Mass in Mine Design". Journal of the South African Institute of Mining Metallurgy, Vol 90, No 10. Página 82-84.
- Laubscher, D.H., 1981 "Selection of mass underground mining methods in design and operation of caving and sublevel stoping mines" Stewart, D.R. (ed) N.Y. Soc. Min. Engrs. Am. Soc. Min. Metall. Petrolm. Engrs. 34-35.
- Ramirez, de la Cuadra, Lajo Huerta y Grijalva. (Año 2012). "Mecánica de Rocas aplicado a la minería metálica subterránea". Instituto Geológico y Minero de España. Página 43-49.
- Raulin, G. &. (2013). Graziano & Raulin Research Methods (8th edition). Obtenido de Example of Correlational Research: [graziano-raulin.com](http://graziano-raulin.com). Página 55-56.

## **ANEXOS**

### **RESUMEN DE LA EVALUACIÓN GEOMECANICA**

CUADRO RESUMEN DE LA EVALUACIÓN GEOMECÁNICA Y TIPOS DE SOSTENIMIENTO CONSIDERADO

NIVEL	RESULTADOS DEL LOGEO	RMR GENERAL	INDICE GSI	SOSTENIMIENTO		INSTRUMENTACIÓN Ubicación referencial
				PRIMARIO	SEGUNDARIO	
NIVEL 3220 CHILCAS		REGULAR	M31	MF/R-B	CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2' - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	Estacionamiento de obra, Trazo a Digital
NIVEL 3175 CHILCAS BAJO		MALA	M32	MF/R	CONCRETO LANZADO 2' CON FIBRA METÁLICA + PALLA LACTOSOLUBLE + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	Estacionamiento de obra, Trazo a Digital
NIVEL 3125 CHILCAS BAJO		REGULAR	M34	MF/R-B	CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2' - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	
		MALA	M35	IF/R	CONCRETO LANZADO 2' CON FIBRA METÁLICA + PALLA LACTOSOLUBLE + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"
NIVEL 3075 CHILCAS BAJO		REGULAR	M37	MF/R-B	CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2' - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"
		MALA	M36	MF/R	CONCRETO LANZADO 2' CON FIBRA METÁLICA + PALLA LACTOSOLUBLE + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"
NIVEL 2950 CHILCAS BAJO		REGULAR	M39	MF/R	CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2' - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"
		MALA	M38	MF/R	CONCRETO LANZADO 2' CON FIBRA METÁLICA + PALLA LACTOSOLUBLE + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"
NIVEL 2920 BATOLITO I		REGULAR	M37	F/R-B	CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2' - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"
		MALA	M38	MF/P	CONCRETO LANZADO 2' CON FIBRA METÁLICA + PALLA LACTOSOLUBLE + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"
NIVEL 2870 BATOLITO I		REGULAR	M37	F/R	CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2' - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"
		MALA	M38	MF/P	CONCRETO LANZADO 2' CON FIBRA METÁLICA + PALLA LACTOSOLUBLE + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"
NIVEL 2820 BATOLITO I		REGULAR	M36	MF/R	CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2' - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"
		MALA	M37	MF/R-P	CONCRETO LANZADO 2' CON FIBRA METÁLICA + PALLA LACTOSOLUBLE + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"
NIVEL 2770 BATOLITO I		REGULAR	M37	F/R	CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2' - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"
		MALA	M38	IF/R-P	CONCRETO LANZADO 2' CON FIBRA METÁLICA + PALLA LACTOSOLUBLE + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"
NIVEL 2720 BATOLITO II		REGULAR	M30	MF/R-P	CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2' - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"
		MUY MALA	M12	IF/P	CONCRETO LANZADO DE 2' DE ESPESOR	ARREDO DE CABLES DE 26 x 70 con 28 ESPESOR Y/O BARRAS METÁLICAS CON VIGAS DE CONCRETO LANZADO DE 2' - 3"
NIVEL 2670 BATOLITO II		REGULAR	M32	F/R-B	CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2' - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	Estacionamiento de obra, Trazo a Digital
		MALA	M33	MF/R-P	CONCRETO LANZADO 2' CON FIBRA METÁLICA + PALLA LACTOSOLUBLE + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"
NIVEL 2620 BATOLITO II	REGULAR	M34	MF/R	CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2' - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	Estacionamiento de obra, Trazo a Digital, Cables de carga, Perno tracción	
	MUY MALA	M12	IF/P	CONCRETO LANZADO DE 2' DE ESPESOR	ARREDO DE CABLES DE 26 x 70 con 28 ESPESOR Y/O BARRAS METÁLICAS CON VIGAS DE CONCRETO LANZADO DE 2' - 3"	
NIVEL 2500 BATOLITO II	REGULAR	M36	LF/R-B	CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2' - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	Estacionamiento de obra, Trazo a Digital, Trazo Buzón	
	MALA	M35	MF/R	CONCRETO LANZADO 2' CON FIBRA METÁLICA + PALLA LACTOSOLUBLE + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"	
		REGULAR	M37	F/R-B	CONCRETO LANZADO CON FIBRAS METÁLICAS, 2' - 3" + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	
		MALA	M38	MF/R	CONCRETO LANZADO 2' CON FIBRA METÁLICA + PALLA LACTOSOLUBLE + PERNO SISTEMÁTICO CON ANCLAJES DE CEMENTO, 1.5 x 1.5 m	SEGUNDA CAPA DE CONCRETO LANZADO, 2' - 3"
		MUY MALA	M12	IF/P	CONCRETO LANZADO DE 2' DE ESPESOR	ARREDO DE CABLES DE 26 x 70 con 28 ESPESOR Y/O BARRAS METÁLICAS CON VIGAS DE CONCRETO LANZADO DE 2' - 3"

CONTROL DE CALIDAD DE LOS SISTEMAS DE SOPORTE (PERNOS, CONCRETO LANZADO, ETC)

TIPO	RMR <sub>min</sub>	RMR <sub>max</sub>
BUENA	24 - 40%	60%
REGULAR	17 - 24%	40%
MUY REGULAR	10 - 17%	24%
REGULAR	4 - 10%	17%
REGULAR	0 - 4%	10%

**ANEXO 2**  
**TABLA GEOMECÁNICA**

## CAPACIDAD DE LOS ELEMENTOS DE SOSTENIMIENTO

Elemento de sostenimiento	Tipo de sostenimiento	Capacidad	Unid	Consideraciones
Barra Helicoidal (Perno de roca)	Activo	≥ 2	ton/pie	
Perno Split Set (Perno de fricción)	Activo	≥ 1	ton/pie	Diámetro de perforación de 36 mm ø8 mm
Cimbras Viga 4H13"4x4"x1/4"	Pasivo	10.5	ton/m <sup>2</sup>	Sección 2.40 m x 2.70 m
Cimbras Omega Ω - N21	Pasivo	12	ton/m <sup>2</sup>	Sección 2.40 m x 2.70 m
Cimbras Omega Ω - N21	Pasivo	7	ton/m <sup>2</sup>	Sección 3.00 m x 3.00 m
Cimbras Omega Ω-N29	Pasivo	14	ton/m <sup>2</sup>	Sección 3.00 m x 3.00 m
Cuadros de madera	Pasivo	≥10	ton/m <sup>2</sup>	Sección 2.40 m x 2.70 m
Arco Noruego	Activo/Pasivo	5.8	ton/m <sup>2</sup>	Altura máxima 3 veces el ancho de la base
Anillado de Madera	Pasivo	22	ton/m <sup>2</sup>	Resistencia promedio 110 Kg/cm <sup>2</sup>
Puntal de Ø 8 puig x 1.50 m	Pasivo	30.5	ton	Resistencia promedio 110 Kg/cm <sup>2</sup>
Puntal de Ø 6 puig x 1.50 m	Pasivo	16.5	ton	Cuando la altura es mayor a 2 m
Puntal de Ø 8 puig x 2.50 m	Pasivo	56	ton	Resistencia a 28 días
Shotcrete	Pasivo	≥ 280	kg/cm <sup>2</sup>	En cuatro puntos de apoyo
Malla electro-soldada	Pasivo	1000- 1300	kg	

### FACTORES INFLUYENTES



#### MODO DE APLICACION

**Franja superior:**  
Sostenimiento sin factores influyentes

**Franja inferior:**  
Sostenimiento con factores influyentes.

**TABLA DE REFERENCIA PARA PUENTES ESTABLES EN LABORES TEMPORALES (F.S. ≥ 1.3)**

TIPO ROCA	RMR	SECCIONES		PUENTE
		Lab. Sup.	Lab. Inf.	
IV-A	31-40	≤ 2.4 x 2.7	≤ 1.5 x 1.8	5.0
		≤ 2.4 x 2.7	≤ 2.4 x 2.7	7.5
IIIB	41-50	3.0 x 3.0	3.0 x 3.0	11.0
		≤ 2.4 x 2.7	≤ 2.4 x 2.7	3.0
IIIA	51-60	3.0 x 3.0	3.0 x 3.0	5.0
		≤ 2.4 x 2.7	≤ 2.4 x 2.7	3.0
IIB	61-70	3.0 x 3.0	3.0 x 3.0	4.0
		≤ 2.4 x 2.7	≤ 2.4 x 2.7	3.0

**Ver.: 3**



**MINERA AURIFERA RETAMAS S.A.  
UNIDAD SAN ANDRES**

## CARTILLA GEOMECANICA

**CARACTERIZACION SEGUN GSI PARA DETERMINAR EL TIPO DE SOSTENIMIENTO DE LABORES**



### OBLIGACIONES / RECOMENDACIONES

- 1.- No se puede ingresar al trabajo sin portar la Cartilla Geomecánica.
- 2.- Este documento es personal e intrasferible.
- 3.- Portar la Cartilla Geomecánica, es auditable y fiscalizado por Supervisores de MARS A y Externos.
- 4.- En caso de pérdida o deterioro debe inmediatamente comunicar a su Supervisor y al Dpto. de Geomecánica de su Unidad.

**ANEXO 3**

**TABLA GEOMECÁNICA PARA CLASIFICACIÓN DEL MACIZO**

**ROCOSO**

## RECOMENDACIÓN DE SOSTENIMIENTO POR TIPO DE ROCA Y TIPO DE LABOR

RMR	CALIDAD	TIPO	LABORES DE AVANCE	LABORES DE EXPLOTACION
71 - 80	BUENA "A"	II-A	Sin sostenimiento	Sin sostenimiento
61 - 70	BUENA "B"	II-B	Sostenimiento puntual	Tajo convencional: Puntales en línea de 18 cm a 23 cm de diámetro con Jack pot de Ø 183 mm puntualmente. Tajo mecanizado: Perno de fricción de 1.5 m puntualmente
51 - 60	REGULAR "A"	III-A	<b>En labores menores o iguales a 3.5 m x 3.5 m:</b> Pernos de roca y/o fricción de 1.5 m de largo, espaciados de 1.2 m a 1.5 m. En intersecciones usar Pernos de 2.1 m. En Subnivel o Chimenea sin sostenimiento. <b>En labores mayores o iguales a 4.0 m x 4.0 m:</b> Colocar pernos de roca sistemáticos de 2.4 m de largo, espaciados de 1.2 m a 1.5 m (Ocasionalmente malla electro-soldada). En intersecciones usar Pernos de 3.0 m.	Tajo convencional: Puntales en línea de 18 cm a 23 cm de diámetro con Jack pot de Ø 183 mm espaciados a 1.5 m x 1.5 m. Tajo mecanizado: Perno de fricción de 1.5 m espaciados de 1.0 m a 1.2 m.
41 - 50	REGULAR "B"	III-B	<b>En labores menores o iguales a 3.5 m x 3.5 m:</b> Pernos de roca y/o fricción de 1.5 m de largo, espaciados de 1.0 m a 1.2 m; más malla electro-soldada en corona (ocasionalmente malla electro-soldada hasta la gradiente). En intersecciones usar Pernos de 2.1 m. <b>En Subnivel o Chimenea, Split set de 1.2 m y/o Puntal en línea de 18 cm a 23 cm de diámetro con Jack pot de Ø 183 mm espaciados a 1.50 m.</b> <b>En labores mayores o iguales a 4.0 m x 4.0 m:</b> Perno de roca de 2.4 m de largo espaciados de 1.2 m a 1.5 m con malla electro-soldada. Reforzar con shotcrete de espesor mayor o igual a 5.00 cm (según evaluación geomecánica). En intersecciones usar Pernos de 3.0 m.	Tajo convencional: Puntales en línea de 18 cm a 23 cm de diámetro con Jack pot de Ø 183 mm espaciados de 1.2 a 1.4 m tanto en el eje vertical como horizontal. Tajo mecanizado: Colocar perno de fricción de 1.5 m, espaciados a 1.0 m a 1.2 m; más malla electro-soldada en corona.
31 - 40	MALA "A"	IV-A	<b>En labores menores o iguales a 3.5 m x 3.5 m:</b> Perno de roca y/o fricción de 1.5 m de largo, espaciados de 1.2 m a 1.5 m más malla electro-soldada. Reforzar con shotcrete de 5.00 cm de espesor (según evaluación geomecánica). En intersecciones usar Pernos de 2.1 m. <b>En Subniveles, Chimeneas o Galerías,</b> cuadros de madera de 18 cm a 23 cm de diámetro, espaciados de 1.40 m a 1.50 m, con enrejado (según evaluación geomecánica), encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. En las labores que forman la intersección espaciar de 1.0 m a 1.2 m. <b>En labores mayores o iguales a 4.0 m x 4.0 m:</b> Colocar perno de roca de 2.40 m de largo espaciados de 1.2 m a 1.5 m con malla electro-soldada reforzado con shotcrete de espesor mayor o igual a 5.00 cm, previamente lanzar una capa de shotcrete de 2.5 cm de espesor con 20 Kg de fibra/m3. En intersecciones usar Pernos de 3.0 m.	Tajo convencional: Cuadros de madera de 18 cm a 23 cm de diámetro espaciados de 1.4 a 1.6 m encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previa instalación de guardacabeza. Tajo mecanizado: Colocar pernos de fricción de 1.5 m, espaciados de 1.0 m a 1.2 m más malla electro-soldada, opcionalmente shotcrete de 5.00 cm de espesor.
21 - 30	MALA "B"	IV-B	<b>En labores menores o iguales a 3.5 m x 3.5 m:</b> Cimbras metálicas espaciadas de 1.1 m a 1.5 m con planchas acanaladas y/o tablas de 7.5 cm de espesor (en corona) y tablas de 7.5 cm en hastiales espaciadas a 20 cm, topear y encribar. En las labores que forman la intersección espaciar de 0.8 m a 1.0 m. <b>En Subniveles, Chimeneas o Galerías,</b> cuadros de madera de 18 cm a 23 cm de diámetro, espaciados de 1.0 m a 1.2 m con enrejado (según evaluación geomecánica), encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. En las labores que forman la intersección espaciar de 0.6 m a 0.8 m. <b>En labores mayores o iguales a 4.0 m x 4.0 m:</b> Cimbras metálicas espaciadas de 1.1 m a 1.3 m con planchas acanaladas topeadas con bolsas de detritus o encribado. En intersecciones espaciar de 0.8 m a 1.0 m.	Tajo convencional: Colocar cuadros de madera de 18 cm a 23 cm de diámetro, espaciados de 1.0 m a 1.2 m encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previa instalación de guardacabeza. Tajo mecanizado: Cuadros de madera de 18 cm a 23 cm de diámetro, espaciados de 1.4 m a 1.6 m con enrejado (según evaluación geomecánica), encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante.
0 - 20	MUY MALA "A"	V	<b>En labores menores o iguales a 3.5 m x 3.5 m:</b> Cimbras metálicas espaciadas de 0.8 m a 1.0 m con planchas acanaladas y/o tablas de 7.5 cm de espesor (en corona) y tablas de 7.5 cm en hastiales espaciadas a 20 cm. Topear y encribar. Previamente una capa de shotcrete de 2.5 cm de espesor con 20 kg de fibra/m3 o marchavantes con guardacabeza. En las labores que forman la intersección espaciar de 0.5 m a 0.7 m. <b>En Subniveles o Chimeneas,</b> cuadros de madera de 18 cm a 23 cm de diámetro, espaciados de 0.8 m a 1.0 m con enrejado (según evaluación geomecánica), encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previamente una capa de shotcrete de 2.5 cm de espesor con 20 kg de fibra/m3 y/o marchavantes. En las labores que forman la intersección espaciar de 0.5 m a 0.7 m. <b>En labores mayores o iguales a 4.0 m x 4.0 m:</b> Cimbras metálicas espaciadas de 0.8 m a 1.0 m con planchas acanaladas topeadas con bolsas de detritus o encribado. Previamente una capa de shotcrete de 2.5 cm de espesor con 20 kg de fibra/m3 y/o marchavantes con guardacabeza. En las labores que forman la intersección espaciar de 0.5 m a 0.7 m.	Tajo convencional: Colocar cuadros de madera de 18 cm a 23 cm de diámetro, espaciado de 0.8 a 1.0 m encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previa instalación de guardacabeza. Tajo mecanizado: Cuadros de madera de 18 cm a 23 cm de diámetro, espaciado de 1.0 m a 1.2 m con enrejado (según evaluación geomecánica), encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previamente colocar marchavantes.

## TABLA GEOMECANICA PARA CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOZO

<b>MARSA</b> <small>MINISTERIO DE MINAS Y PETROLIO S.A.</small> <b>TABLA GEOMECANICA SEGUN GSI</b> Los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso son referencialmente la combinación entre la estructura y la condición superficial y/o resistencia de éstos. Para estimar la clasificación del GSI, primero se tiene que determinarse el número de fracturas por metro cuadrado en la superficie de las estructuras contadas (Resistencia) Con esta información se hace la intersección en esta tabla por ejemplo si se cuenta 21 fracturas/metro cuadrado y la condición de estas estructuras deja una huella superficial y no existe filtración de agua, entonces esta intersección clasificará al macizo rocoso como Intensa Fracturada / Regular (IFR) y el valor del RMR = 40 - 50 (color amarillo).	<b>ESTRUCTURA</b> LEVEMENTE FRACTURADA (LF) (2 - 6 Fract./metro cuadrado). Tres a menos familias de discontinuidades muy espaciadas entre sí.	MOD. FRACTURADA (F) (7 - 12 Fract./ metro cuadrado). Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos, formados por tres familias de discontinuidades ortogonales.	MUY FRACTURADA (MF) (13 - 20 Fract./metro cuadrado) Disturbada, formada por 4 o más familias de discontinuidades.	INT. FRACTURADA (IF) (más de 20 Fract./metro cuadrado) Plegamiento y/o fallamiento con muchas discontinuidades interseccionadas formando bloques angulosos e irregulares.
SE ROMPE CON 3 O MÁS GOLPES DE PICOTA O SE ASTILLA CON LA BARRETLLA (MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) (MB))	SE ROMPE CON 1 - 2 GOLPES DE PICOTA O SE FRACTURA CON LA BARRETLLA BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (B)	HUELLA SUPERFICIAL CON PICOTA / BARRETLLA REGULAR (MODERADAMENTE RESISTENTE, MODERADAMENTE ALTERADA) (R)	HUELLA MAS DE 5mm CON PICOTA / BARRETLLA MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) (M)	SE DISREGA CON LA PICOTA / BARRETLLA MUY MALA (EXTREMADAMENTE ALTERADA) (MM)

TRABADA: Cuando existen fracturas que forman cuñas que se auto-sostienen entre sí.  
 ZONA A: No considerar la franja amarilla.  
 ZONA B: No considerar la franja naranja.

**ANEXO 4**  
**INDICACIÓN GEOMECÁNICA**

		INDICACIÓN GEOMECÁNICA				Version: 5
					N° Correlativo:	
CARTILLA DE RECOMENDACIÓN GEOMECÁNICA						
FECHA:		HORA:		LABOR:		NIVEL:
SECCIÓN:				GUARDIA:		
CONTRATA:				SUPERVISOR DE MINA:		
FECHA:	SECCIÓN DE LABOR		CLASE	INDICACIÓN/OBSERVACIONES:		
	ANCHO	ALTO				
DIAGRAMA DE SOSTENIMIENTO						
ESTANDAR DE SOSTENIMIENTO						
TIPO	MACIZO ROCOSO	CLASE	COLOR	LABORES DE AVANCE	LABORES DE EXPLOTACIÓN	INTERSECCION DE LABORES
II	BUENA - A	II-A		Sin sostenimiento	Sin sostenimiento	Horizontal con horizontal: Sostenimiento puntual con Pernos de roca de 15 m de largo, y/o pernos de fricción de 15 m de largo. Horizontal con inclinado: Sostenimiento puntual con Pernos de roca de 15 m de largo, y/o pernos de fricción de 15 m de largo.
	BUENA - B	II-B		Sostenimiento puntual	Tajo convencional: Puntales en línea de 8 cm a 23 cm de diámetro con Jack pot de 83 mm puntualmente. Tajo mecanizado: Perno de fricción de 15 m puntualmente	Horizontal con horizontal: Sostenimiento intercalado con Pernos de roca de 15 m de largo, y/o pernos de fricción de 15 m de largo. Horizontal con inclinado: Sostenimiento intercalado con Pernos de roca de 15 m de largo, y/o pernos de fricción de 15 m de largo.
III	REGULAR - A	III-A		En labores menores o iguales a 3.5 m x 3.5 m: Pernos de roca sistemáticos de 15 m de largo, y/o pernos de fricción de 15 m de largo, espaciados de 12 m a 15 m. En Subniveles Chimenea sin sostenimiento. En labores mayores o iguales a 4.0 m x 4.0 m: Colocar pernos de roca sistemáticos de 2.4 m de largo, espaciados de 12 m a 15 m (Ocasionalmente malla electro-soldada de 10 cm x 10 cm).	Tajo convencional: Puntales en línea de 8 cm a 23 cm de diámetro con Jack pot de 83 mm espaciados a 15 m x 15 m. Tajo mecanizado: Perno de fricción de 15 m espaciados de 10 m a 12 m.	Horizontal con horizontal: Intercalar con Pernos de roca de 2.4 m de largo, y/o pernos de fricción de 15 m de largo. Horizontal con inclinado: Intercalar con Pernos de roca de 15 m de largo, y/o pernos de fricción de 15 m de largo.
	REGULAR - B	III-B		En labores menores o iguales a 3.5 m x 3.5 m: Pernos de roca de 15 m de largo, y/o pernos de fricción de 15 m de largo, espaciados de 10 m a 12 m, más malla electro-soldada de 10 cm x 10 cm hasta la gradiente). En Subniveles Chimenea Split set de 12 m y/o Puntal en línea de 8 cm a 23 cm de diámetro con Jack pot de 83 mm espaciados a 150 m. En labores mayores o iguales a 4.0 m x 4.0 m: Perno helicoidal de 2.4 m de largo espaciados de 12 m a 15 m con malla electro-soldada de 10 cm x 10 cm reforzado con shotcrete mayor o igual a 6.25 cm de espesor.	Tajo convencional: Puntales en línea de 8 cm a 23 cm de diámetro con Jack pot de 83 mm espaciados a 12 m x 12 m. Tajo mecanizado: Colocar perno de fricción de 15 m, espaciados a 10 m a 12 m, más malla electro-soldada 10 cm x 10 cm en corona.	Horizontal con horizontal: Intercalar Pernos de roca de 2.4 m de largo, y/o pernos de fricción de 2.1 m de largo. Horizontal con inclinado: Sostenimiento puntual con Pernos de roca de 2.4 m de largo, y/o pernos de fricción de 2.1 m de largo.
IV	MALA - A	IV-A		En labores menores o iguales a 3.5 m x 3.5 m: Perno de roca de 15 m de largo, y/o pernos de fricción de 15 m de largo espaciados de 10 m a 12 m; más malla electro-soldada 10 cm x 10 cm (ocasionalmente shotcrete de 5.00 cm de espesor). En Subniveles Chimeneas o Galerías: cuadros de madera de 8 cm a 23 cm de diámetro, espaciados de 120 m a 150 m con enrejado hasta la altura del tirante, encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. En labores mayores o iguales a 4.0 m x 4.0 m: Colocar perno de roca de 2.4 m de largo espaciados de 10 m a 12 m con malla electro-soldada de 10 cm x 10 cm reforzado con shotcrete mayor o igual a 6.25 cm de espesor.	Tajo convencional: Cuadros de madera de 8 cm a 23 cm de diámetro espaciados a 15 m encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Tajo mecanizado: Colocar pernos de fricción de 15 m, espaciados de 10 m a 12 m más malla electro-soldada de 10 cm x 10 cm, opcionalmente shotcrete de 5.00 cm de espesor.	Horizontal con horizontal: Intercalar con Pernos de roca de 2.4 m de largo, y/o pernos de fricción de 2.1 m de largo, ocasionalmente shotcrete de 5.0 cm de espesor. Horizontal con inclinado: Sostenimiento con cuadros de madera de 8 cm a 23 cm de diámetro, espaciados de 12 m a 15 m con enrejado hasta la altura del tirante, encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante.
	MALA - B	IV-B		En labores menores o iguales a 3.5 m x 3.5 m: Cimbras metálicas espaciadas de 11 m a 13 m con planchas acanaladas de 3.0 mm y/o tablas de 7.5 cm topeados con bolsas de detritus o encribado. En Subniveles Chimeneas o Galerías: cuadros de madera de 8 cm a 23 cm de diámetro, espaciados de 10 m a 12 m con enrejado hasta la altura del tirante, encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. En labores mayores o iguales a 4.0 m x 4.0 m: Cimbras metálicas espaciadas de 11 m a 13 m con planchas acanaladas de 3.0 mm topeados con bolsas de detritus o encribado.	Tajo convencional: Colocar cuadros de madera de 8 cm a 23 cm de diámetro, espaciados a 12 m encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Tajo mecanizado: Perno de roca de 15 m de largo, y/o Pernos de fricción de 15 m, espaciados de 10 m a 12 m más malla electro-soldada de 10 cm x 10 cm reforzado con shotcrete de 5.0 cm de espesor o cuadros de madera de 8 cm a 23 cm de diámetro, espaciados de 10 m a 12 m con enrejado hasta la altura del tirante, encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante.	Horizontal con horizontal: Continuar con el tipo de sostenimiento instalado. Horizontal con inclinado: Continuar con el tipo de sostenimiento instalado.
V	MUY - MALA	V		En labores menores o iguales a 3.5 m x 3.5 m: Cimbras metálicas espaciadas de 0.8 m a 10 m con planchas acanaladas de 3.0 mm y/o tablas de 7.5 cm topeados con bolsas de detritus o encribado. En Subniveles o Chimeneas: cuadros de madera de 8 cm a 23 cm de diámetro, espaciados de 0.8 m a 10 m con enrejado hasta la altura del tirante, encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previamente una capa de shotcrete de 5.0 cm de espesor con 20 kg de fibra/m3 y/o marchavantes. En labores mayores o iguales a 4.0 m x 4.0 m: Cimbras metálicas espaciadas de 0.8 m a 10 m con planchas acanaladas de 3.0 mm topeados con bolsas de detritus o encribado. Previamente una capa de shotcrete de 5.0 cm de espesor con 20 kg de fibra/m3 y/o marchavantes con guardacabeza.	Tajo convencional: Colocar cuadros de madera de 8 cm a 23 cm de diámetro, espaciado de 0.8 a 10 m encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Tajo mecanizado: Cuadros de madera de 8 cm a 23 cm de diámetro, espaciado de 0.8 m a 10 m con enrejado hasta la altura del tirante, encribado a la corona y topes desde el hastial a la unión del poste, sombrero y tirante. Previamente colocar marchavantes.	Horizontal con horizontal: Continuar con el tipo de sostenimiento instalado. Horizontal con inclinado: Continuar con el tipo de sostenimiento instalado.

## **ANEXOS 5**

### **REGISTRO GEOMECÁNICO DE SONDAJE DIAMANTINO**



**ANEXO 6**

**REGISTRO GEOMECÁNICO DE EXCAVACIONES**

**SUBTERRANEAS**



### VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

VERSION 3

Apellido y Nombre:		Fecha:		Año: 2017		Correlativo:	
Sección:		Cod. De Labor:		Litología: Granito			
Registro N°:		Dimensión de la Labor:		Diámetro 4.8			
Veta:		Labor: Ch		Buzamiento Veta:			
Nivel: 2520		Armut Labor: 90°		4. CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES			
Refer. Topog:		Persistencia		Relleno		Alteración	
1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)		Rugosidad		Apertura		6. AJUSTE POR ORIENTACIÓN	
2. ROD		1. Muy rugosa		1. Muy rugosa		0 - 10	
3. ESPACIAMIENTO (m)		2. Ligeramente rugosa		2. Muy rugosa		10 - 20	
4. 25-50 Mpa		3. Abierta 1.0 - 5.0 mm		3. Relleno duro <5mm		20 - 30	
5. 50-75%		4. Muy abierta > 5.0 mm		4. Relleno blando <5mm		30 - 40	
6. 75-90%		5. Angosta 0.1 - 1.0 mm		5. No meteorizada		40 - 50	
7. 90-100%		6. Muy angosta < 0.1 mm		6. Ligeramente meteorizada		50 - 60	
8. 100-250 Mpa		7. Cerrada 0		7. No meteorizada		60 - 70	
9. 250 Mpa		8. > 20 m		8. Meteorizada		70 - 80	
10. 100-200 Mpa		9. 10-20 m		9. Alternante		80 - 90	
11. 25-50 Mpa		10. 3-10 m		10. Moderadamente meteorizada		90 - 100	
12. 25 Mpa		11. 1-3 m		11. Ligeramente meteorizada		100 - 110	
13. 25 Mpa		12. 1-3 m		12. Relleno duro <5mm		110 - 120	
14. 25 Mpa		13. 1-3 m		13. Relleno blando <5mm		120 - 130	
15. 25 Mpa		14. 1-3 m		14. Ninguna		130 - 140	
16. 25 Mpa		15. 1-3 m		15. Complemento seco		140 - 150	
17. 25 Mpa		16. 1-3 m		16. Descompuesta		150 - 160	
18. 25 Mpa		17. 1-3 m		17. Fujo		160 - 170	
19. 25 Mpa		18. 1-3 m		18. Cielo		170 - 180	
20. 25 Mpa		19. 1-3 m		19. Humedo		180 - 190	
21. 25 Mpa		20. 1-3 m		20. Mojado		190 - 200	
22. 25 Mpa		21. 1-3 m		21. Ligeramente meteorizada		200 - 210	
23. 25 Mpa		22. 1-3 m		22. Moderadamente meteorizada		210 - 220	
24. 25 Mpa		23. 1-3 m		23. Ligeramente meteorizada		220 - 230	
25. 25 Mpa		24. 1-3 m		24. No meteorizada		230 - 240	
26. 25 Mpa		25. 1-3 m		25. Meteorizada		240 - 250	
27. 25 Mpa		26. 1-3 m		26. Alternante		250 - 260	
28. 25 Mpa		27. 1-3 m		27. Moderadamente meteorizada		260 - 270	
29. 25 Mpa		28. 1-3 m		28. Ligeramente meteorizada		270 - 280	
30. 25 Mpa		29. 1-3 m		29. No meteorizada		280 - 290	
31. 25 Mpa		30. 1-3 m		30. Meteorizada		290 - 300	
32. 25 Mpa		31. 1-3 m		31. Alternante		300 - 310	
33. 25 Mpa		32. 1-3 m		32. Moderadamente meteorizada		310 - 320	
34. 25 Mpa		33. 1-3 m		33. Ligeramente meteorizada		320 - 330	
35. 25 Mpa		34. 1-3 m		34. No meteorizada		330 - 340	
36. 25 Mpa		35. 1-3 m		35. Meteorizada		340 - 350	
37. 25 Mpa		36. 1-3 m		36. Alternante		350 - 360	
38. 25 Mpa		37. 1-3 m		37. Moderadamente meteorizada		360 - 370	
39. 25 Mpa		38. 1-3 m		38. Ligeramente meteorizada		370 - 380	
40. 25 Mpa		39. 1-3 m		39. No meteorizada		380 - 390	
41. 25 Mpa		40. 1-3 m		40. Meteorizada		390 - 400	
42. 25 Mpa		41. 1-3 m		41. Alternante		400 - 410	
43. 25 Mpa		42. 1-3 m		42. Moderadamente meteorizada		410 - 420	
44. 25 Mpa		43. 1-3 m		43. Ligeramente meteorizada		420 - 430	
45. 25 Mpa		44. 1-3 m		44. No meteorizada		430 - 440	
46. 25 Mpa		45. 1-3 m		45. Meteorizada		440 - 450	
47. 25 Mpa		46. 1-3 m		46. Alternante		450 - 460	
48. 25 Mpa		47. 1-3 m		47. Moderadamente meteorizada		460 - 470	
49. 25 Mpa		48. 1-3 m		48. Ligeramente meteorizada		470 - 480	
50. 25 Mpa		49. 1-3 m		49. No meteorizada		480 - 490	
51. 25 Mpa		50. 1-3 m		50. Meteorizada		490 - 500	
52. 25 Mpa		51. 1-3 m		51. Alternante		500 - 510	
53. 25 Mpa		52. 1-3 m		52. Moderadamente meteorizada		510 - 520	
54. 25 Mpa		53. 1-3 m		53. Ligeramente meteorizada		520 - 530	
55. 25 Mpa		54. 1-3 m		54. No meteorizada		530 - 540	
56. 25 Mpa		55. 1-3 m		55. Meteorizada		540 - 550	
57. 25 Mpa		56. 1-3 m		56. Alternante		550 - 560	
58. 25 Mpa		57. 1-3 m		57. Moderadamente meteorizada		560 - 570	
59. 25 Mpa		58. 1-3 m		58. Ligeramente meteorizada		570 - 580	
60. 25 Mpa		59. 1-3 m		59. No meteorizada		580 - 590	
61. 25 Mpa		60. 1-3 m		60. Meteorizada		590 - 600	
62. 25 Mpa		61. 1-3 m		61. Alternante		600 - 610	
63. 25 Mpa		62. 1-3 m		62. Moderadamente meteorizada		610 - 620	
64. 25 Mpa		63. 1-3 m		63. Ligeramente meteorizada		620 - 630	
65. 25 Mpa		64. 1-3 m		64. No meteorizada		630 - 640	
66. 25 Mpa		65. 1-3 m		65. Meteorizada		640 - 650	
67. 25 Mpa		66. 1-3 m		66. Alternante		650 - 660	
68. 25 Mpa		67. 1-3 m		67. Moderadamente meteorizada		660 - 670	
69. 25 Mpa		68. 1-3 m		68. Ligeramente meteorizada		670 - 680	
70. 25 Mpa		69. 1-3 m		69. No meteorizada		680 - 690	
71. 25 Mpa		70. 1-3 m		70. Meteorizada		690 - 700	
72. 25 Mpa		71. 1-3 m		71. Alternante		700 - 710	
73. 25 Mpa		72. 1-3 m		72. Moderadamente meteorizada		710 - 720	
74. 25 Mpa		73. 1-3 m		73. Ligeramente meteorizada		720 - 730	
75. 25 Mpa		74. 1-3 m		74. No meteorizada		730 - 740	
76. 25 Mpa		75. 1-3 m		75. Meteorizada		740 - 750	
77. 25 Mpa		76. 1-3 m		76. Alternante		750 - 760	
78. 25 Mpa		77. 1-3 m		77. Moderadamente meteorizada		760 - 770	
79. 25 Mpa		78. 1-3 m		78. Ligeramente meteorizada		770 - 780	
80. 25 Mpa		79. 1-3 m		79. No meteorizada		780 - 790	
81. 25 Mpa		80. 1-3 m		80. Meteorizada		790 - 800	
82. 25 Mpa		81. 1-3 m		81. Alternante		800 - 810	
83. 25 Mpa		82. 1-3 m		82. Moderadamente meteorizada		810 - 820	
84. 25 Mpa		83. 1-3 m		83. Ligeramente meteorizada		820 - 830	
85. 25 Mpa		84. 1-3 m		84. No meteorizada		830 - 840	
86. 25 Mpa		85. 1-3 m		85. Meteorizada		840 - 850	
87. 25 Mpa		86. 1-3 m		86. Alternante		850 - 860	
88. 25 Mpa		87. 1-3 m		87. Moderadamente meteorizada		860 - 870	
89. 25 Mpa		88. 1-3 m		88. Ligeramente meteorizada		870 - 880	
90. 25 Mpa		89. 1-3 m		89. No meteorizada		880 - 890	
91. 25 Mpa		90. 1-3 m		90. Meteorizada		890 - 900	
92. 25 Mpa		91. 1-3 m		91. Alternante		900 - 910	
93. 25 Mpa		92. 1-3 m		92. Moderadamente meteorizada		910 - 920	
94. 25 Mpa		93. 1-3 m		93. Ligeramente meteorizada		920 - 930	
95. 25 Mpa		94. 1-3 m		94. No meteorizada		930 - 940	
96. 25 Mpa		95. 1-3 m		95. Meteorizada		940 - 950	
97. 25 Mpa		96. 1-3 m		96. Alternante		950 - 960	
98. 25 Mpa		97. 1-3 m		97. Moderadamente meteorizada		960 - 970	
99. 25 Mpa		98. 1-3 m		98. Ligeramente meteorizada		970 - 980	
100. 25 Mpa		99. 1-3 m		99. No meteorizada		980 - 990	
101. 25 Mpa		100. 1-3 m		100. Meteorizada		990 - 1000	
102. 25 Mpa		101. 1-3 m		101. Alternante		1000 - 1010	
103. 25 Mpa		102. 1-3 m		102. Moderadamente meteorizada		1010 - 1020	
104. 25 Mpa		103. 1-3 m		103. Ligeramente meteorizada		1020 - 1030	
105. 25 Mpa		104. 1-3 m		104. No meteorizada		1030 - 1040	
106. 25 Mpa		105. 1-3 m		105. Meteorizada		1040 - 1050	
107. 25 Mpa		106. 1-3 m		106. Alternante		1050 - 1060	
108. 25 Mpa		107. 1-3 m		107. Moderadamente meteorizada		1060 - 1070	
109. 25 Mpa		108. 1-3 m		108. Ligeramente meteorizada		1070 - 1080	
110. 25 Mpa		109. 1-3 m		109. No meteorizada		1080 - 1090	
111. 25 Mpa		110. 1-3 m		110. Meteorizada		1090 - 1100	
112. 25 Mpa		111. 1-3 m		111. Alternante		1100 - 1110	
113. 25 Mpa		112. 1-3 m		112. Moderadamente meteorizada		1110 - 1120	
114. 25 Mpa		113. 1-3 m		113. Ligeramente meteorizada		1120 - 1130	
115. 25 Mpa		114. 1-3 m		114. No meteorizada		1130 - 1140	
116. 25 Mpa		115. 1-3 m		115. Meteorizada		1140 - 1150	
117. 25 Mpa		116. 1-3 m		116. Alternante		1150 - 1160	
118. 25 Mpa		117. 1-3 m		117. Moderadamente meteorizada		1160 - 1170	
119. 25 Mpa		118. 1-3 m		118. Ligeramente meteorizada		1170 - 1180	
120. 25 Mpa		119. 1-3 m		119. No meteorizada		1180 - 1190	
121. 25 Mpa		120. 1-3 m		120. Meteorizada		1190 - 1200	
122. 25 Mpa		121. 1-3 m		121. Alternante		1200 - 1210	
123. 25 Mpa		122. 1-3 m		122. Moderadamente meteorizada		1210 - 1220	
124. 25 Mpa		123. 1-3 m		123. Ligeramente meteorizada		1220 - 1230	
125. 25 Mpa		124. 1-3 m		124. No meteorizada		1230 - 1240	
126. 25 Mpa		125. 1-3 m		125. Meteorizada		1240 - 1250	
127. 25 Mpa		126. 1-3 m		126. Alternante		1250 - 1260	
128. 25 Mpa		127. 1-3 m		127. Moderadamente meteorizada		1260 - 1270	
129. 25 Mpa		128. 1-3 m		128. Ligeramente meteorizada		1270 - 1280	
130. 25 Mpa		129. 1-3 m		129. No meteorizada		1280 - 1290	
131. 25 Mpa		130. 1-3 m		130. Meteorizada		1290 - 1300	
132. 25 Mpa		131. 1-3 m		131. Alternante		1300 - 1310	
133. 25 Mpa		132. 1-3 m		132. Moderadamente meteorizada		1310 - 1320	
134. 25 Mpa		133. 1-3 m		133. Ligeramente meteorizada		1320 - 1330	
135. 25 Mpa		134. 1-3 m		134. No meteorizada		1330 - 1340	
136. 25 Mpa		135. 1-3 m		135. Meteorizada		1340 - 1350	
137. 25 Mpa		136. 1-3 m		136. Alternante		1350 - 1360	
138. 25 Mpa		137. 1-3 m		137. Moderadamente meteorizada		1360 - 1370	
139. 25 Mpa		138. 1-3 m		138. Ligeramente meteorizada		1370 - 1380	
140. 25 Mpa		139. 1-3 m		139. No meteorizada		1380 - 1390	
141. 25 Mpa		140. 1-3 m		140. Meteorizada		1390 - 1400	
142. 25 Mpa		141. 1-3 m		141. Alternante		1400 - 1410	
143. 25 Mpa		142. 1-3 m		142. Moderadamente meteorizada		1410 - 1420	
144. 25 Mpa		143. 1-3 m		143. Ligeramente meteorizada		1420 - 1430	
145. 25 Mpa		144. 1-3 m		144. No meteorizada		1430 - 1440	
146. 25 Mpa		145. 1-3 m		145. Meteorizada		1440 - 1450	
147. 25 Mpa		146. 1-3 m		146. Alternante		1450 - 1460	
148. 25 Mpa		147. 1-3 m		147. Moderadamente meteorizada		1460 - 1470	
149. 25 Mpa		148. 1-3 m		148. Ligeramente meteorizada		1470 - 1480	
150. 25 Mpa		149. 1-3 m		149. No meteorizada		1480 - 1490	
151. 25 Mpa		150. 1-3 m		150. Meteorizada		1490 - 1500	
152. 25 Mpa		151. 1-3 m		151. Alternante		1500 - 1510	
153. 25 Mpa		152. 1-3 m		152. Moderadamente meteorizada		1510 - 1520	
154. 25 Mpa		153. 1-3 m		153. Ligeramente meteorizada		1520 - 1530	
155. 25 Mpa		154. 1-3 m		154. No meteorizada		1530 - 1540	
156. 25 Mpa		155. 1-3 m		155. Meteorizada		1540 - 1550	
157. 25 Mpa		156. 1-3 m		156. Alternante		1550 - 1560	
158. 25 Mpa		157. 1-3 m		157. Moderadamente meteorizada		1560 - 1570	