



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO Y SU INFLUENCIA EN EL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN EL NIVEL 05 DE LA MINA SUBTERRANEA PAREDONES, SAN PABLO, CAJAMARCA, 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Jhonny Alex Arana Cabrera

Bach. Jimmy Gerardo Cueva Romero

Asesor:

Ing. Shonel Miguel Cáceres Pérez

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

Dedicado esta tesis a mi esposa Elizabeth, a mis hijos Matías y Fabián por ser mi inspiración en esta trayectoria académica ayudándome a crecer con valores y principios morales que servirán para mi desarrollo personal, profesional y laboral a mis padres por las enseñanzas y la educación dada para ser una persona de bien.

Jhonny Arana.

Dedicado a mis amados hijos Daniel, Andy, Mateo y Sofia quienes son fuente de esperanza, fuerza moral y parte activa en todos los sentidos de mi vida, gracias por entender, comprender, pero sobre todo por su amor y enseñarme a nunca desmayar.

Jimmy Cueva.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por habernos dado una familia, amigos y compañeros que, a lo largo de nuestra realización como profesionales en esta apasionante carrera de ingeniería de minas, siempre nos han dado ese aliento y apoyo para poder seguir adelante y nunca decaer.

Agradecemos también a nuestros maestros en especial consideración al Ing. Shonel Cáceres Pérez, quien ha sido abierto a responder nuestras dudas académicas sacrificando su tiempo logrando que nos enamoremos de nuestras carreras.

Jhonny Arana y Jimmy Cueva.

Tabla de contenidos

	Pág.
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	10
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema	14
1.3. Objetivos	15
1.4. Hipótesis.....	15
CAPITULO II. METODOLOGÍA	16
2.1. Tipo de investigación	16
2.2. Población	16
2.3. Muestra	16
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	17
2.5. Procedimiento.....	18
CAPÍTULO III. RESULTADOS	20
3.1. Aspectos generales	20
3.2. Identificación de zonas críticas	32
3.3. Propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta con ensayos de laboratorio	36
3.4. Nivel de influencia de la presencia de agua en la roca para definir el tipo de sostenimiento.....	42
3.5. RMR y Q de Barton	48
3.1. Tipo de sostenimiento	65
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	73
4.1. Discusión.....	73
4.2. Conclusiones	74

	Pág.
REFERENCIAS	76
ANEXOS	80
Anexo N° 1: Fotografías	80
Anexo N° 2: Operacionalización de variables	83
Anexo N° 3: Análisis de laboratorio de rocas.....	84
Anexo N° 4: Análisis triaxial de laboratorio	86
Anexo N° 5: Instrumentos de investigación	88

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Procedimiento para elaborar el documento de tesis.	19
Tabla 2 Procedimiento para analizar los datos.	19
Tabla 3 Ubicación de la mina Paredones.	20
Tabla 4 Coordenadas de la concesión Paredones.	22
Tabla 5 Coordenadas de la concesión Paredones.	22
Tabla 6 Accesibilidad a la mina Paredones.	22
Tabla 7 Coordenadas WGS84 de la estación geomecánica.	36
Tabla 8 Resistencia de la muestra 1.	38
Tabla 9 Resistencia de la muestra 2.	39
Tabla 10 Resistencia de la muestra 3.	40
Tabla 11 Resistencia de la zona 1.	40
Tabla 12 Coordenadas de los puntos de infiltración.	43
Tabla 13 Datos de infiltración.	45
Tabla 14 Presencia de agua.	48
Tabla 15 Determinación del RQD.	50
Tabla 16 Espaciado entre discontinuidades.	51
Tabla 17 Descripción del espaciado.	52
Tabla 18 Persistencia de las discontinuidades.	53
Tabla 19 Descripción de persistencia.	54
Tabla 20 Apertura de fracturas.	55
Tabla 21 Abertura de las discontinuidades.	55
Tabla 22 Clasificación de la rugosidad.	56
Tabla 23 Relleno de las discontinuidades.	56
Tabla 24 Meteorización de las discontinuidades.	57
Tabla 25 Cálculo del RMR para el macizo rocoso.	57
Tabla 26 Clasificación RMR para el macizo rocoso.	58
Tabla 27 Excavación de acuerdo al RMR.	70
Tabla 28 Costos de shocreteo.	71
Tabla 29 Costos de bulonado sistemático.	71
Tabla 30 Operacionalización de variables.	83

	Pág.
Tabla 31 Resistencia de la muestra.	88
Tabla 32 Presencia de agua.	88
Tabla 33 Determinación del RQD.	88
Tabla 34 Espaciado entre discontinuidades.	88
Tabla 35 Descripción del espaciado.	88
Tabla 36 Persistencia de las discontinuidades.	89
Tabla 37 Descripción de persistencia.	89
Tabla 38 Apertura de fracturas.	89
Tabla 39 Abertura de las discontinuidades.	89
Tabla 40 Clasificación de la rugosidad.	90
Tabla 41 Relleno de las discontinuidades.	90
Tabla 42 Meteorización de las discontinuidades.	90
Tabla 43 Cálculo del RMR para el macizo rocoso.	91
Tabla 44 Clasificación RMR para el macizo rocoso.	91
Tabla 45 Número de familias de diaclasas (Jn).	92
Tabla 46 Rugosidad de las superficies de las discontinuidades (Jr).	92
Tabla 47 Factor reductor del esfuerzo (SRF).	93
Tabla 48 Costos de shocreteado.	93
Tabla 49 Factor reductor del esfuerzo (SRF).	93
Tabla 50 Alteración de las diaclasas (Ja).	94
Tabla 51 Coeficiente reductor. Presencia del Agua (Jw).	94
Tabla 52 Clasificación de Q de Barton.	95
Tabla 53 Excavación de acuerdo al RMR.	95
Tabla 54 Costos de bulonado sistemático.	96
Tabla 55 Ficha de toma de datos de campo.	97

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación de la mina Paredones.	21
Figura 2. Terrenos con pendiente suave.	24
Figura 3. Terrenos con pendiente fuerte.	25
Figura 4. Minerales asociados a cobre.	29
Figura 5. Estructuras bandeadas piritizadas.	31
Figura 6. Toma de rumbo y buzamiento en estructuras.	32
Figura 7. Ubicación de zonas críticas.	33
Figura 8. Plano de vista en planta de las zonas críticas.	34
Figura 9. Presencia de material suelto en falla geológica (zona crítica 1).	35
Figura 10. Presencia de material suelto en falla geológica (zona crítica 2).	35
Figura 11. Presencia de material suelto en falla geológica (zona crítica 3).	36
Figura 12. Inicio de la estación geomecánica.	37
Figura 13. Recolección de las muestras para el análisis de compresión uniaxial.	37
Figura 14. Muestra 1 de resistencia a la compresión uniaxial.	38
Figura 15. Muestra 2 de resistencia a la compresión uniaxial.	39
Figura 16. Muestra 3 de resistencia a la compresión uniaxial.	39
Figura 17. Muestra 4 de resistencia a la compresión uniaxial.	40
Figura 18. Esfuerzo versus deformación, en tres escenarios a 0.5 kg/cm ² , 1.0kg/cm ² y 1.5 kg/cm ²	41
Figura 19. Puntos de infiltración.	42
Figura 20. Agujeros para los puntos de infiltración.	43
Figura 21. Saturación en el punto 1.	44
Figura 22. Saturación en el punto 1.	44
Figura 23. Infiltración en la zona de estudio.	45
Figura 24. Presencia de lluvias.	46
Figura 25. Roca sin presencia de agua.	47
Figura 26. Evidencia de la presencia de humedad en la labor.	47
Figura 27. Vista panorámica de la mina Paredones.	48
Figura 28. Distancia de conteo de discontinuidades.	49
Figura 29. Conteo de discontinuidades.	49

	Pág.
Figura 30. Toma de medidas de persistencia.....	54
Figura 31. Familias de fracturas.	60
Figura 32. Concentración de polos de las discontinuidades.....	60
Figura 33. Familia de discontinuidades.....	61
Figura 34. Discontinuidades rugosas.....	62
Figura 35. Recubrimiento de las discontinuidades con minerales arcillosos.....	63
Figura 36. Entrada a la veta.....	66
Figura 37. Sostenimiento con madera actual (deteriorada) en el nivel 05.	67
Figura 38. Tipo de sostenimiento en mina Paredones nivel 05.....	68
Figura 39. Bulonado deteriorado para cambiar.	69
Figura 40. Ancho de la labor.	71
Figura 41. Toma de persistencia.....	80
Figura 42. Medición de persistencia de la discontinuidad.....	80
Figura 43. Identificación de discontinuidades.....	81
Figura 44. Toma de rumbo y buzamiento.	81
Figura 45. Medición de tramo de conteo de discontinuidades.....	82

RESUMEN

Esta investigación tuvo por objetivo determinar de qué manera la caracterización geomecánica del macizo rocoso contribuye en la definición del tipo de sostenimiento para el nivel 05 de la mina subterránea Paredones, San Pablo, Cajamarca. La población fue 01 galería de la mina subterránea y la muestra son 05 muestras extraídas de 03 estaciones geomecánicas de la galería nivel 05 – Murciélago. La investigación fue descriptiva, explicativa y cuantitativa; los instrumentos utilizados fueron la ficha de clasificación geomecánica y la ficha de toma de datos de campo. La mineralización se representa en vetas de menas las que consisten de un relleno de cuarzo, piritas y rocas encajonantes piritizada, y disseminaciones calcopirita constituyendo la mena de rendimientos económicos. La caracterización geomecánica del macizo rocoso basado en el RMR de Bieniawski-1989 en promedio de las tres estaciones, es de $RMR = 56$, siendo una roca de calidad Regular, con una resistencia entre 1 y 2 MPa, con $RQD=78\%$, el espaciado promedio es de 29.7 cm, la persistencia está entre 3 y 10 metros, la abertura entre 1 y 5 mm, las discontinuidades son ligeramente rugosas, con relleno de cuarzo mayor a 5 mm moderadamente alteradas, finalmente las discontinuidades se encontraron húmedas. Según la Q de Barton la roca es mala, por lo cual necesita sostenimiento. El tipo de sostenimiento según Merrit 1972, es el de Bulonado Sistemático de 3-4 m con separaciones de 1.5-2 m en clave y hastiales con mallazo en clave. La excavación será con avance de 1.5 a 3 metros.

Palabras claves: caracterización geomecánica, macizo rocoso, sostenimiento, minería subterránea.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En las minas subterráneas se presentan deformaciones, niveles de presiones, tensiones, aberturas, cuñas inestables, sin embargo, en su mayoría las mantienen autosoportadas, sin considerar mejorar el sostenimiento, es allí donde interviene la caracterización geomecánica que determina la calidad de la roca y la asocia con el sostenimiento (Valeriano, 2015).

La caracterización geomecánica facilita en forma significativa y hace más confiable el pronóstico sobre el comportamiento del macizo rocoso, lo que disminuye la probabilidad de que se produzcan afectaciones de diferentes índoles que puedan atentar contra la economía, la seguridad de los trabajadores y el avance de las obras que se encuentran en ellas (Cartaya, 2006).

En una mina del distrito Yaruyascan en el año 2013, en la región Cerro de Pasco, al perforista y a cuatro trabajadores, se les ordenó efectuar orden y limpieza en el acceso al Nv. 1570, quienes ingresaron al frente con una lampa, para limpiar el área donde se perforaría el segundo taladro, en el momento en que se retiraban se desprendió un banco de dimensiones 0.45 m x 0.45 m x 0.3 m del techo de la labor, golpeando al perforista en el lado izquierdo de la cabeza y perdió la vida, la causa principal del accidente fue un inadecuado sostenimiento de roca (Aguilar, 2013).

En febrero del 2013, en la mina Orcopampa, el perforista ingresó al tajeo 445 N, Rampa 2, una zona de avance sin sostenimiento, ubicándose sobre la carga del disparo anterior; cuando el ayudante se aproximó para alcanzar el segundo redondo, vio que caía un banco de relleno en pasta sobre el perforista quien lo esquivó parcialmente,

luego cae otro banco que atrapo al perforista, y seguidamente cayó un tercer banco que lo cubrió totalmente, causándole la muerte (Campos, 2016).

La mina subterránea Paredones es un yacimiento minero polimetálico abandonado, perteneciente a la concesión de la empresa FRESNILLO SAC, de acuerdo al Catastro Minero N° 010071617, en estado de trámite (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico [INGEMMET], 2019), ubicado entre los distritos de Chilete y San Bernardino, provincia de San Pablo en el departamento de Cajamarca, teniendo al túnel del nivel 05 como uno de los accesos principales a la zona de extracción mineral de la veta principal (galería Murciélagos), el cual se encuentra en condiciones muy peligrosas al presentar rocas colgadas e inestables y fragmentadas, uso y re uso de sostenimientos antiguos e inadecuados tanto pasivo (cuadros de madera) como activo (Bulonados y shocrete), los que no deberían ser considerados como base de la caracterización geomecánica para los sostenimientos si se pretende reactivar la explotación del yacimiento minero.

Crespo, (2014). En su Tesis: “Elección del sistema de explotación del bloque R-Norte de la veta Santa Ana del distrito minero Zaruma - Portovelo”. Dimensionó las labores subterráneas a los frentes y extracción del mineral requerido. De acuerdo al análisis geomecánico se determinan valoraciones técnicas, operativas, económicas y ambientales, se determinó como resultado final que los sistemas más convenientes a utilizar son cámaras y pilares combinado con Corte y relleno.

Saavedra, (2016). En su Tesis: “Diseño óptimo de experimentos para estimar el campo de esfuerzos en el macizo rocoso en torno al frente de avance de una cavidad minera”, aplicó el modelo de Superposición de Campos Básicos para evaluar la geomecánica, a fin de lograr una comprensión que permita obtener un diseño de la red de estaciones

de medición de manera “óptima”. La elección de los Campos Básicos podría integrar la no homogeneidad del macizo rocoso, u otros que no se ha considerado en esta memoria y que mantienen la linealidad del problema.

Bustamante, (2014). En su Tesis: “Geomecánica aplicada en la prevención de pérdidas por caída de rocas: Mina Huanzalá-Cía. Minera Santa Luisa S.A.”. Analizó el estudio geomecánico y de un sostenimiento adecuado de labores mineras, tales como: Pernos de anclaje, cable bolting, shotcrete por vía seca - vía húmeda y la malla metálica, con ello realizó el planeamiento estratégico.

Barreto y Sáenz, (2018). En su Tesis: “Diseño geomecánico de la labor subterránea pozos ricos aplicando el método gráfico de estabilidad de Mathews, Hualgayoc – Perú 2018”. Mediante la geomecánica determinó el Q’ de Barton de la labor. La densidad promedio de la unidad litológica y del cuerpo mineral muestra un valor de 26.2KN/m³. Definió una moderada calidad del macizo rocoso a través del mapeo geomecánico en arco rebatido, a través de la visualización directa y toma de datos con el peine de Barton y el martillo Schmidt.

Cruzado, (2017). En su Tesis: “Evaluación geomecánica del túnel de la central hidroeléctrica potrero - San Marcos - Cajamarca”. Evaluó la parte geomecánica a través de la matriz geomecánica donde se pudo obtener datos del macizo rocoso y determinar su clasificación geomecánica en cada estación, clasificándola como una roca tipo II (buena calidad) y roca tipo III (regular calidad), para lo cual se debe reforzar con pernos cementados de 2.10m colocados puntualmente (roca tipo II) y pernos cementados de 2.10m con espaciado 1.80 x 1.80m (roca tipo III).

Cipriano y Marín, (2018). En su Tesis: “Propuesta de sostenimiento en base a la caracterización geomecánica de la galería NV. 9, unidad Minera Colquirrumi,

Cajamarca, 2018”. En su estudio geomecánico determinó la resistencia a la compresión de la roca con el uso del martillo Schmidt en campo, el ángulo de fricción de la roca, la densidad de la roca y aplicó las clasificaciones de Bieniawski, Barton y Hoek, para obtener los dominios geotécnicos utilizando programas computacionales de Rocscience como son, el software Dips y Unwedge.

Por ello en la presente investigación nos hemos propuesto medir la caracterización geomecánica del macizo rocoso para la definición del tipo de sostenimiento en el nivel N° 05 de la mina subterránea Paredones, que permita trabajar en condiciones seguras, estamos seguros que con los resultados de nuestro estudio será de mucho beneficio para la empresa que en algún momento retome actividades de explotación. Asimismo, la aplicación y resultados de la misma podría ser base para otros estudios en proyectos mineros nuevos que se puedan dar en la zona que abarque la comunidad de San Bernardino ya que de acuerdo a su geología podría contar más vetas de alto potencial a explotar, de igual forma la aplicación de los resultados servirán como una herramienta base para la gestión de la seguridad en minería subterránea, para prevenir accidentes de trabajo, considerado que de acuerdo con el reporte de estadística de accidentes mortales en el sector minero en el Fax Coyuntural de Accidentes Mortales - Año 2018, indica que el 14% de este tipo accidentes están asociados a Derrumbes; finalmente consideramos que nuestra tesis servirá como material de consulta (Caída de masas de tierra, de rocas, de nieve) (MEM, 2018).

1.2. Formulación del problema

¿La caracterización geomecánica del macizo rocoso influye en el tipo de sostenimiento en el nivel 05 de la mina subterránea Paredones – San Pablo, Cajamarca, en el año 2019?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el tipo de sostenimiento para el nivel 05 de la mina subterránea Paredones, San Pablo, Cajamarca, en el año 2019.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar las zonas críticas del macizo rocoso en el nivel 05 de la unidad minera Paredones - San Pablo, Cajamarca, en el año 2019.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta, a través de un ensayo uniaxial y triaxial, en la unidad minera Paredones - San Pablo, Cajamarca, en el año 2019.
- Estimar el grado de filtración (húmedo, goteando y fluyendo), y su relación con los impactos negativos en el macizo rocoso.
- Calcular el RMR y Q de Barton del macizo rocoso, para conocer la calidad de la roca en el nivel 05 de la mina subterránea Paredones, en el año 2019.
- Proponer en base a los resultados de la caracterización geomecánica del macizo rocoso, el tipo de sostenimiento que se utilizaría en el nivel 05 de la mina subterránea Paredones, San Pablo, Cajamarca, en el año 2019.

1.4. Hipótesis

La caracterización geomecánica del macizo rocoso influye significativamente para la elección del tipo de sostenimiento de la mina subterránea Paredones, San Pablo, Cajamarca, en el año 2019.

CAPITULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según su propósito: La investigación fue descriptiva relacional, ya que se relacionó las condiciones del macizo rocoso así mismo su comportamiento influenciado por los fenómenos geológicos y se define los tipos de sostenimiento a aplicarse de acuerdo con las clasificaciones geomecánicas (Oblitas, 2018).

Según su profundidad: La investigación fue explicativa, porque se dio estudio a las relaciones de influencia entre las dos variables, es decir de la caracterización geomecánica y tipo de sostenimiento (Oblitas, 2018).

Según la naturaleza de sus datos: La investigación fue cuantitativa, ya que se utilizó métodos cuánticos para determinar la caracterización geomecánica (Oblitas, 2018).

Según la manipulación de sus variables: La investigación fue experimental, ya que se manipuló las variables, se tomaron datos tal y como se presenta en la realidad (Oblitas, 2018).

2.2. Población

01 galería de la mina subterránea Paredones (Nivel 05 – Murciélagos), ubicada en el distrito de San Bernardino, provincia de San Pablo, departamento de Cajamarca, en el año 2019.

2.3. Muestra

03 estaciones geomecánicas de la galería nivel 05 – Murciélagos de la mina subterránea Paredones, ubicada entre los distritos de Chilete y de San Bernardino, provincia de San Pablo, departamento de Cajamarca, en el año 2019.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Se efectúa la recolección de información bibliográfica acerca de caracterización geomecánica, mapas geológicos, cartografía y datos históricos, referente a la ubicación y tipo de yacimientos de la mina Paredones – San Pablo, Cajamarca, como parte del trabajo de gabinete, el cual servirá como base para el análisis y discusión de los resultados producto de la observación directa, muestreo y análisis de los ensayos geomecánicos de laboratorio.

2.4.1. Técnicas

Observación directa:

Por medio de la observación in situ, se tomará nota de la evidencia de los datos solicitados por las herramientas de registros, como son la conformación, alteraciones y estado actual del macizo rocoso, asimismo la presencia de filtraciones de agua, erosiones y tipos de sostenimientos encontrados en el socavón con la finalidad de identificar las características físicas y los aspectos generales de la galería nivel 05 - Murciélagos, de la mina subterránea Paredones – San Pablo, Cajamarca.

Muestreo:

A lo largo del socavón de la galería nivel 05 - Murciélagos, de la mina subterránea Paredones – San Pablo, Cajamarca, tomando en consideración las diferentes características de los estratos, alteraciones, fallas y zonas de contacto entre deformaciones rocosas, se obtuvo 04 fragmentos de roca inalterada representativa de 10 cm x 10 cm, de 03 estaciones geomecánicas a fin de efectuarse ensayos de carga puntual para clasificar a las rocas por su resistencia, en el laboratorio en la Universidad Privada del Norte – Cajamarca.

Caracterización geomecánica:

Con los datos de los ensayos se podrá determinar la calidad del macizo rocoso mediante fórmulas y tablas de clasificación del RMR de Bienawski 1989.

Ensayo de compresión uniaxial:

Este ensayo permite determinar en el laboratorio la resistencia máxima a compresión simple de la roca sin confinamiento σ_c , la cual la vamos a utilizar en la caracterización geomecánica y se realizó en el laboratorio de rocas de la Universidad Privada del Norte.

Ensayo de compresión triaxial:

Con este ensayo se determinó el ángulo de fricción y la cohesión de la roca, la cual vamos a utilizar para establecer la resistencia al corte y se realizó en el laboratorio de mecánica de suelos, rocas, concreto y pavimentos del Dr. Wilfredo Fernández Muñoz, con RUC. 10266305856.

2.4.2. Instrumentos

Fueron todas las fichas de toma de datos para la determinación de la calidad de roca (ver anexo 5).

2.5. Procedimiento

– Para la revisión documental:

- Preparación del instrumento: se analizaron las distintas clasificaciones geomecánicas, luego, se ordenó de acuerdo a las más utilizadas como lo es la clasificación RMR de Bienawski 89.
- Secuencia de la revisión: estudiar los datos obtenidos en campo, interpretar los datos mediante las fichas de clasificación.

– **Para la realización del documento de tesis:**

Se siguieron las etapas fundamentales para la elaboración del documento de tesis mediante la tabla 3.

Tabla 1
Procedimiento para elaborar el documento de tesis.

Pasos	Detalle
Trabajo de gabinete	Se analizó los datos obtenidos en campo, información bibliográfica y se determinó la caracterización geomecánica.
Trabajo de campo	Se realizó visitas a la mina Paredones, donde se tomaron los datos, además se observó el proceso de minado.
Trabajo de gabinete	Se analizó y decidió el tipo de sostenimiento de acuerdo a la calidad de roca.

– **Para análisis de datos:**

Se siguieron las etapas fundamentales para el análisis de datos se presentan en la tabla 4.

Tabla 2
Procedimiento para analizar los datos.

Fases	Detalle
Estadística descriptiva	Se describieron la distribución de frecuencia de las discontinuidades.
Pruebas estadísticas	Se utilizaron coeficientes de correlación comparado con la caracterización RMR.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Aspectos generales

3.1.1. Ubicación

En forma general se tiene:

Tabla 3:

Ubicación de la mina Paredones.

DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
San Bernardino	San Pablo	Cajamarca

Las labores se encuentran a 34 Km. al oeste de la ciudad de Cajamarca y a 4 Km. al NW de la ciudad de Chilete.



Figura 1: Ubicación de la mina Paredones.

Las coordenadas de la concesión minera se muestran en la tabla 5.

Tabla 4
Coordenadas de la concesión Paredones.

Vértice	Norte	Este
1	9 206 000	740 000
2	9 205 000	740 000
3	9 205 000	741 000
4	9 203 000	741 000
5	9 203 000	738 000
6	9 205 000	738 000
7	9 205 000	739 000
8	9 206 000	739 000

Dentro de esta concesión se encuentra la veta Murciélagos, siendo explotada en el nivel 05 en el cual se basó esta investigación, la bocamina de este nivel tiene las siguientes coordenadas.

Tabla 5
Coordenadas de la concesión Paredones.

Punto	Norte	Este
Bocamina Nivel 05	9 205 000	741 000

La orientación del nivel 05 es de S65°E, y tiene un avance 1 000 metros, de los cuales 400 ya tienen sostenimiento y los 600 metros restantes no tienen sostenimiento, siendo un peligro latente para los trabajadores de la mina.

3.1.2. Accesibilidad

Para llegar al proyecto minero “Paredones” Se realiza mediante vehículo a través de una vía asfaltada Cajamarca – Chilate, luego por una carretera asfaltada hasta Paredones.

Tabla 6
Accesibilidad a la mina Paredones.

TRAMO	TIPO DE CARRETERA	CONDICIONES	DIST. EN KM.	TIEMPO EN HRS.	COSTO EN NUEVOS SOLES
Cajamarca Chilate	Asfaltada	Regular	40	2.5	4.00
Chilate Mina Paredones	Asfaltada	Buena	4.00	0.25	1.00

3.1.3. Climatología

El clima es cálido ($25\sim 32^{\circ}\text{C}$) durante todo el año, con una humedad relativa promedio es de 65% . En el sector comprendido entre 500 y 1 500 msnm, las precipitaciones varían entre 140 y 430 mm de promedio multianual. La información proveniente de las estaciones Chilete (200,5 mm) y Magdalena (339,4 mm) que registran precipitaciones más altas que las anteriores.

3.1.4. Geología

a. Fisiografía

Mina Paredones se encuentra ubicado en la región inter montañosa de la zona del norte de la cordillera de los andes, la topografía regional se caracteriza por la presencia de montañas de cimas elevadas y accidentadas, ondulantes colinas y valles inter montañosas con pendientes entre suaves y pronunciadas, así como quebradas.

– Terrenos Inclutados con Suave Pendiente (TISP)

Son terrenos con pendientes de 1 a 5° casi sin accidentes topográficos de consideración, se encuentran principalmente a la zona oeste de la mina Paredones.



Figura 2: Terrenos con pendiente suave.
Fuente: Elaboración propia, (2019).

– **Terrenos con Pendiente Moderada (TPM)**

Son terrenos con pendientes de 5 a 15° , presentando ocasionalmente accidentes topográficos, se encuentran en las cercanías de la carretera a San Pablo.

– **Terrenos con Pendiente Fuerte (TPF)**

Son terrenos con pendientes de 15 a 25° presentes en su mayoría en las zonas altas de la mina Paredones.



Figura 3: Terrenos con pendiente fuerte.
Fuente: Elaboración propia, (2018).

b. Geología regional

Corredor Estructural San Pablo – Porculla en el Norte del Perú

Este corredor presenta una orientación promedio de $N30^{\circ}O$, aproximadamente tiene 20 km de ancho por 120 km de largo y estaría conformado por un sistema de falla de compleja morfología aún no estudiada totalmente.

A lo largo de este corredor se puede observar fallas que han tenido diferente comportamiento cinemático, es decir que en algunos sectores puede tener movimientos de compresión y en otros de distensión, provocando de esta manera zonas de debilitamiento cortical que facilitan el desarrollo de sistemas volcánicos emergentes relacionados con fases de mineralización hidrotermal; estas estructuras probablemente profundas han controlado el emplazamiento de pequeños cuerpos subvolcánicos y un intenso flujo

hidrotermal relacionado al magmatismo Calipuy, en cuyo eje se formaron los edificios volcánicos principales.

Otro rasgo estructural también observado en los yacimientos ubicados en este corredor es la presencia de estructuras menores de orientación NE – SO, con importantes contenidos metálicos, estos rasgos probablemente están relacionados a las fallas transformantes que corroboran el carácter segmento de los Andes y permiten proponer la existencia de bloques estructurales cuyos límites son las fallas transformantes de dirección anti-andina.

A lo largo del corredor estructural San Pablo Porculla se emplazan una serie de yacimientos epitermales del tipo baja sulfuración, como Mina Paredones (Zn, Pb, Ag) la cual es un yacimiento de antecedentes históricos de producción (Castillo 1978); durante los últimos 15 años se han reconocidos varios yacimientos con características de un epitermal de tipo baja sulfuración, entre los cuales se puede mencionar a Los Pircos (Au – Ag), Lucero – Achiramayo (Ag, Au), Corrales (Au, Ag), Diablo Rojo (Au), Cushuro (Ag, Au), Huyquisongo (Au, etc. (Valdivia 1992). La mineralización se encuentra principalmente en vetas con relleno de cuarzo, calcita y baritina, con contenidos de pirita, oro nativo, electrum, argentita, galena, calcopirita y escalerita, alojadas en rocas volcánicas del Terciario y sedimentarias del Cretáceo.

En la mina Paredones

En la Mina Paredones se encuentra emplazada sobre roca volcánica, pertenecientes al Cenozoico del Paleógeno – Neógeno del Grupo Calipuy (Volcánico Chilete) siendo el producto del vulcanismo post-tectónico de la

región cordillerana representando un magmatismo efusivo que siguió al emplazamiento definido del batolito de la costa. Posiblemente correspondiente a cuellos o chimeneas volcánicas que alimentaron los niveles superiores del Grupo Calipuy, caracterizado por potentes y extensa secuencia de rocas volcánicas del Eoceno al Oligoceno, incluyendo algunos campos volcánicos, flujos piroclásticos, cenizas y domos andesíticos porfiríticos de composición riolítica a andesítica de color gris verdoso y probablemente son en su mayoría de la edad Miocénica.

Las rocas volcánicas están mayormente expuestas de Norte a Sur. Constituyendo una discordancia angular por la variedad de depósitos Cuaternarios del Holoceno: Coluviales, Aluviales y Fluvio-aluviales. Localizándose los Coluviales en las zonas elevadas, los Aluviales en las faldas de los cerros, laderas de valle y finalmente Fluvio- aluviales en los lechos de los ríos.

Volcánico Chilete

Es predominantemente piroclástico que aflora en el pueblo de Chilete, litológicamente conformado por intercalaciones de derrames andesíticos, tobas blanquecinas, areniscas tobáceas y aglomerados lenticulares y materiales volcánicos retrabajados mayormente andesíticos bien pseudo-estratificados que oscilan sus buzamientos entre 25° – 30°. Definiendo claramente sus facies volcánicas que van desde verdes violáceos en las instalaciones de la Mina Paredones y hasta gris claros en el poblado de San Antonio, al mismo tiempo en campo se evidenció estructuras de emplazamiento (sills y diques) dacíticos de color gris blanquecino.

Depósitos Coluviales

Se encuentran ubicados en las laderas y flancos de los taludes de las trochas carrozables que brindan acceso a la Mina Paredones del Nivel 5, caracterizándose por contener en su estructura: bloques angulosos de roca Andesítica con diámetros: 0,30 a 0,10 m. y gravas angulosas, distribuidos de forma caótica, sin selección ni estratificación aparente en su composición. Habiéndose formado por alteración, desintegración insitu y acción de la gravedad sobre el macizo rocoso expuesto. Constituyendo conos de escombros en la trocha carrozable Mina Paredones – centro poblado de San Antonio en 320 m. de longitud y para acceder al Nivel 5 la roca del talud es de mala calidad desintegrándose casi en su totalidad formando conos de escombros 250 m. de afectación de trocha.

Depósitos Aluviales

Predominantemente se encuentran ubicados en las faldas de los cerros y laderas de los valles de la Mina Paredones, constituidos por materiales muy finos y pequeños fragmentos angulosos con mucho contenido de limos y arcillas, generados por las pulverización de mena para obtener el mineral preciado, luego siendo depositados como relaves mineros sobre todo en las faldas de la quebrada California (depósito de relaves) y también en las entradas de las labores mineras; por su gran extensión este tipo de depósito Cuaternario generado por procesos metalúrgicos es de gran afectación ambiental en la área de estudio. En su mayor parte los depósitos presentan fuertes oxidaciones, notándose por las coloraciones rojizas anaranjadas

hasta amarillentas. Exhibiéndose suelos muy anisótropos con propiedades relacionadas por su granulometría.

Depósitos Fluvio-Aluviales

Este depósito se encuentra en el cauce del río San Pablo al NW del Nivel 5 a 175,00 m. de distancia, constituidos por materiales redondeados por el cauce del río y energía del agua que va puliendo y desgastando la roca por el transporte fluvial, en algunos casos conformando terrazas por sus grandes bloques de rocas acumulados en los márgenes del río y otros en el cauce, teniendo una secuencia de clasificación de estructura deposicional gradada por su esferoides de las rocas transportadas y depositada.



Figura 4: Minerales asociados a cobre.
Fuente: Elaboración propia, (2019).

c. Geología local

En la zona se presentan soluciones hidrotermales mineralizantes producidas durante la etapa de las intrusiones y depositadas en fracturas tensionales pre-existentes, formaron las vetas de menas las que consisten de un relleno de cuarzo, piritas y rocas encajonantes piritizada, y cantidades variables y en menor proporción de esfalerita, galena y disseminaciones calcopirita constituyendo la mena de rendimientos económicos.

Las vetas son de estructura bandeada generalmente, aunque en algunos tramos el bandeamiento se hace débil y pasan a constituir vetillas irregulares de alto contenido de mineral hipógena intercaladas con fragmentos rocosos piritizados mostrando evidencias de brechamiento. Esto podría indicar fallamientos a lo largo de la estructura con deposición nuevos minerales.

En el área en general no se observan mayores estructuras a no ser sino simples y moderados plegamientos en el sedimentario prepaleógeno neógeno y pequeñas fallas locales que no han producido mayores cambios, por lo que solamente se tienen ligeras inflexiones o cambios moderados en los rumbos y buzamientos de los estratos.

Subterráneamente, en la mina se han mapeado fallas normales post-minerales que buzán hacia el NW y que han causado suaves desplazamientos de las vetas en sentido de la falla. Ellas se formaron probablemente después del período de plegamiento de los Andes.



Figura 5: Estructuras bandeadas piritizadas.

Fuente: Elaboración propia, (2019).

El rumbo de las estructuras es variable, pues las hay de rumbos NW - SE y ENE; los buzamientos son por encima de los 60°.

Las principales vetas son:

Murciélagos, West Pacasmayo, Esperanza 1 y 2 y Norte.



Figura 6: Toma de rumbo y buzamiento en estructuras.

Fuente: Elaboración propia, (2019).

3.2. Identificación de zonas críticas

Las zonas críticas son las que han sido afectadas por las fallas geológicas, en el nivel 05 de la veta Murciélagu, en ella se encontraron tres zonas críticas a partir de los 400 metros de avance, ya que las zonas anteriores a esta ya poseen sostenimiento.

La zona resistente se encuentra representada por rocas andesitas, mientras que las zonas críticas poseen un material disgregado con propiedades parecidas al suelo (ver figura 7).

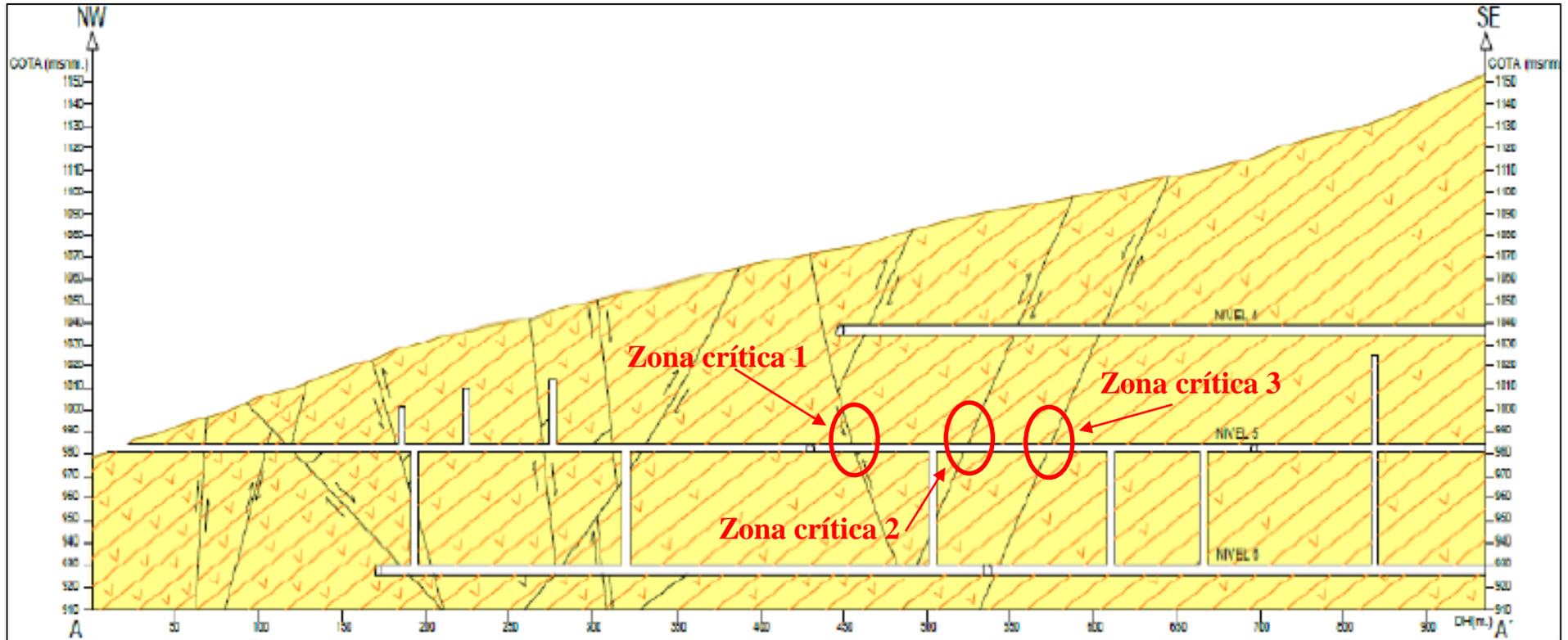


Figura 7. Ubicación de zonas críticas.

La vista en planta de estas zonas críticas se muestra en la figura 8.

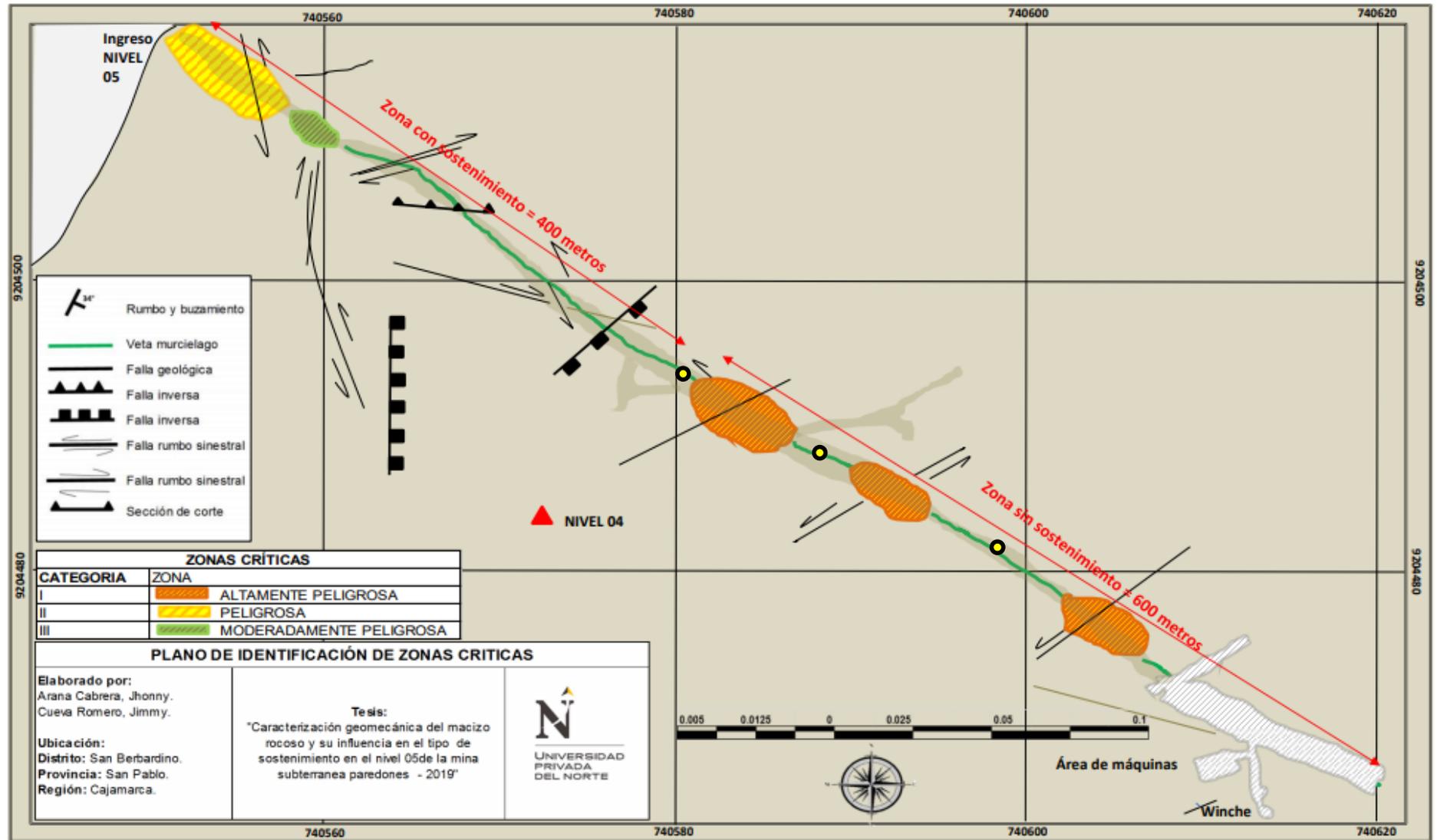


Figura 8. Plano de vista en planta de las zonas críticas.

En estas zonas críticas se han identificado deslizamientos de material, por falta de sostenimiento, tal como se evidencia en las figuras 9, 10 y 11.



Figura 9. Presencia de material suelto en falla geológica (zona crítica 1).

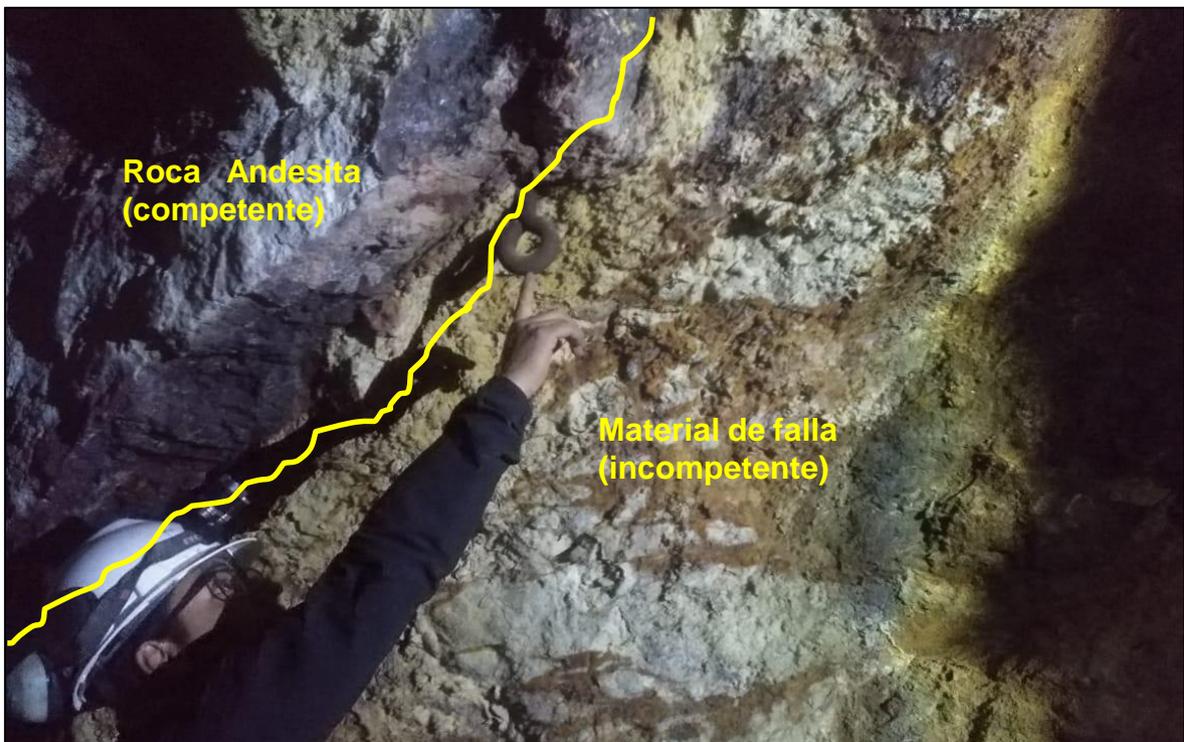


Figura 10. Presencia de material suelto en falla geológica (zona crítica 2).



Figura 11. Presencia de material suelto en falla geológica (zona crítica 3).

3.3. Propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta con ensayos de laboratorio

3.3.1. Con ensayos uniaxiales:

Para la evaluación de la resistencia se tomó solo una estación geomecánica dentro de la mina Paredones, específicamente en el nivel 05. Esta estación tiene las siguientes coordenadas:

Tabla 7
Coordenadas WGS84 de la estación geomecánica.

Coordenadas de la estación Geomecánica		
Este	Norte	Cota
740695	9204397	1247



Figura 12: Inicio de la estación geomecánica.



Figura 13: recolección de las muestras para el análisis de compresión uniaxial.

Se tomaron muestras en cuatro zonas dentro de la mina subterránea, y se llevó al laboratorio de rocas de la Universidad Privada del Norte, para realizar el ensayo de carga puntual:



Figura 14. Muestra 1 de resistencia a la compresión uniaxial.

La muestra 1, dio como resultado 0.34 MPa o 3.47 KN, por lo tanto, se la clasificó entre 1-2 MPa con un valor de 4.

Tabla 8
Resistencia de la muestra 1.

		MUESTRA 1			
Resistencia de la Roca Intacta	Ensayo Carga Puntual Digital	<10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa
	Valor		15	12	7



Figura 15. Muestra 2 de resistencia a la compresión uniaxial.

La muestra 2, dio como resultado en laboratorio 1.37 MPa o 13.69 KN, por lo tanto, se la clasificó entre 1-2 MPa con un valor de 4.

Tabla 9

Resistencia de la muestra 2.

		MUESTRA 2			
Resistencia de la Roca Intacta	Ensayo Carga Puntual Digital	<10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa
	Valor		15	12	7



Figura 16. Muestra 3 de resistencia a la compresión uniaxial.

La muestra 3, dio como resultado en laboratorio 1.10 MPa o 11.02 KN, por lo tanto, se la clasificó entre 1-2 MPa con un valor de 4.

Tabla 10
Resistencia de la muestra 3.

MUESTRA 3					
Resistencia de la Roca Intacta	Ensayo Carga	<10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa
	Puntual Digital				
Valor		15	12	7	4



Figura 17. Muestra 4 de resistencia a la compresión uniaxial.

La muestra 4, dio como resultado en laboratorio 1.20 MPa o 12.08 KN, por lo tanto, se la clasificó entre 1-2 MPa con un valor de 4.

Tabla 11
Resistencia de la zona 1.

MUESTRA 4					
Resistencia de la Roca Intacta	Ensayo Carga	<10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa
	Puntual Digital				
Valor		15	12	7	4

Como promedio de las cuatro muestras se evidencia que todas se encuentran entre 1-2 MPa, por lo tanto, el valor global es de 4, perteneciente a una roca con resistencia moderada.

3.3.2. Con ensayos triaxiales:

Con este ensayo se obtuvo la siguiente figura:

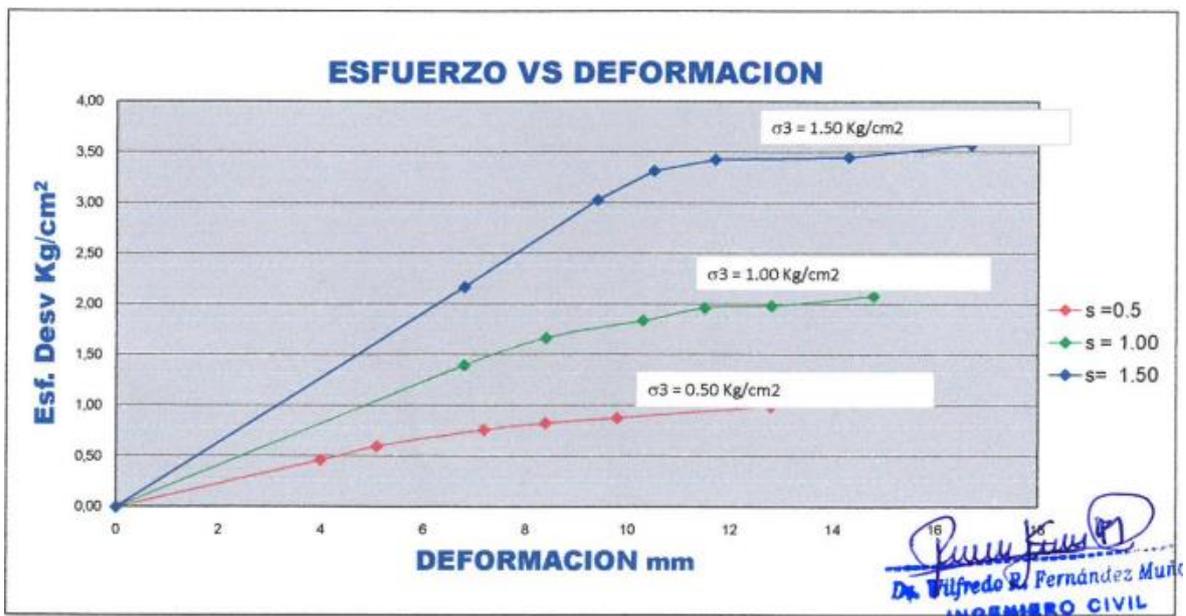


Figura 18. Esfuerzo versus deformación, en tres escenarios a 0.5 kg/cm², 1.0kg/cm² y 1.5 kg/cm².

Además, se determinó el ángulo de cohesión y fricción.

$$\phi = 37.43$$

$$C = 0.00$$

Estos resultados indican que la roca tiene una resistencia moderada, por ello su ángulo de fricción es de 37.43° y su cohesión es 0 ya que no se presentan minerales argílicos dentro de la muestra de andesita tomada.

3.4. Nivel de influencia de la presencia de agua en la roca para definir el tipo de sostenimiento

Para determinar la presencia de agua se realizaron el análisis de infiltración y el análisis de precipitaciones de lluvia.

3.4.1. Prueba de infiltración

a. Número y localización de las pruebas

En la mina Paredones se realizaron tres pruebas de infiltración, para evaluar el efecto del agua de lluvia en las labores subterráneas; los puntos se encuentran encima del desarrollo de labores; tal como se muestra a continuación:



Figura 19. Puntos de infiltración.

En la figura 19, los puntos de infiltración están separados cada 30 metros, encima de las labores subterráneas, que tienen las siguientes coordenadas mostradas en la tabla 13.

Tabla 12
Coordenadas de los puntos de infiltración.

Punto	Este	Norte
Punto de infiltración 1	740559	9204786
Punto de infiltración 2	740527	9204721
Punto de infiltración 3	740486	9204686

b. Tipo de agujero

Se realizó un agujero de prueba de 12 centímetros de diámetro, con una profundidad adicional mínima de 15 centímetros. Esa perforación se realizó con una picota, en los tres puntos.



Figura 20. Agujeros para los puntos de infiltración.

c. Saturación y expansión del suelo

En el agujero realizado se colocó una probeta con un litro de agua para analizar su saturación. La saturación del suelo es muy importante porque los

sistemas de infiltración deben funcionar correctamente en las épocas de lluvia. Con esta etapa se pretende simular ese hecho.



Figura 21. Saturación en el punto 1.



Figura 22. Saturación en el punto 1.

d. Datos

La diferencia de lecturas, al inicio y al final del último período de 60 minutos, es la que se utiliza para definir la tasa de infiltración (T), la cual se expresó en minutos/centímetro. El promedio de todas las lecturas realizadas se muestra en la tabla 14.

Tabla 13
Datos de infiltración.

Punto	Hora inicial	Hora final	Diferencia (cm)
1	10:30	11:30	2
2	12:00	13:00	4
3	13:30	14:30	3.5
Promedio			3.16

Tasa de infiltración (T):

$$T = 60/3.16 \text{ (60 minutos entre lecturas y 3.16 cm)}$$

$$T = 18.98 \text{ min/cm}$$



Figura 23. Infiltración en la zona de estudio.

Los suelos de la mina Paredones presentan baja infiltración, por lo tanto, la presencia las lluvias no son determinantes para la presencia de agua en los socavones; además las lluvias no son muy constantes tal como se muestra en la figura 24.

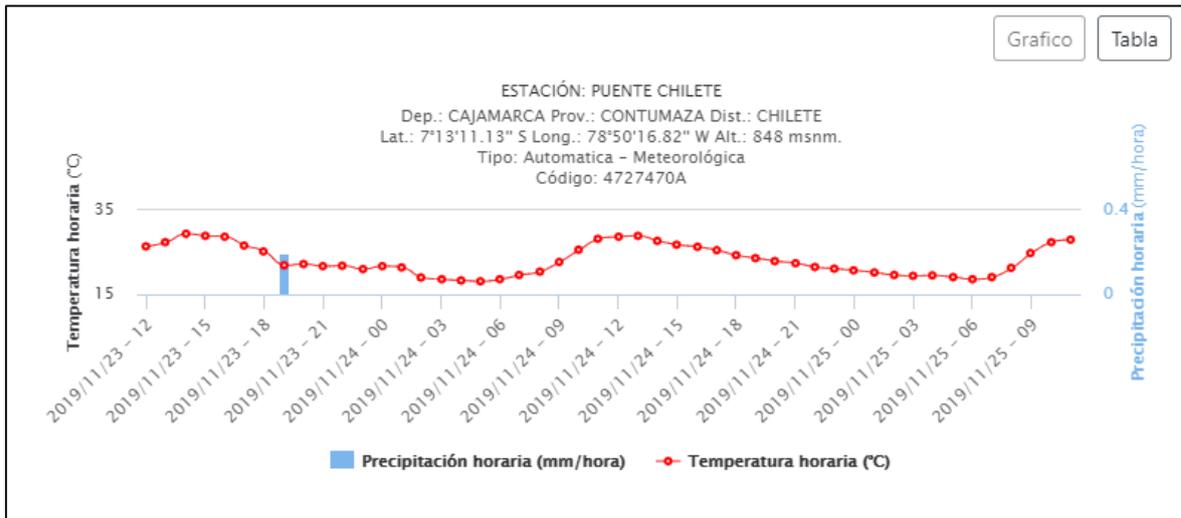


Figura 24. Presencia de lluvias.
 Fuente:: SENAMHI, (2019).

Algunas discontinuidades en su mayoría se encontraron húmedas y el resto se encontraron secas.



Figura 25. Roca sin presencia de agua.



Figura 26. Evidencia de la presencia de humedad en la labor.

Tabla 14

Presencia de agua.

DESCRIPCIÓN	RANGO
Completamente Seco	15
Semi Húmedo	10
Húmedo	7
Mojado	4
Flujo de Agua	0

Fuente: Gonzáles, 2002.



Figura 27. Vista panorámica de la mina Paredones.

3.5. RMR y Q de Barton

3.5.1. Clasificación según el RMR

a. Nivel de influencia RQD para definir el tipo de sostenimiento

Se pudo realizar el cálculo del RQD mediante la contabilización del número de discontinuidades en un tramo de 10 metros.



Figura 28. Distancia de conteo de discontinuidades.

Distancia medida = 10 m

Número de discontinuidades = 21



Figura 29. Conteo de discontinuidades.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{\text{distancia (m)}}$$

$$\lambda = \frac{21}{10} = 2.1$$

$$RQD = 100e^{(-0.1 \cdot 2.1)(0.1 \cdot 2.1 + 1)}$$

$$RQD = 100e^{(-0.1 \cdot 2.1)(0.1 \cdot 2.1 + 1)}$$

$$RQD = 100e^{(-0.21)(1.21)}$$

$$RQD = 100e^{(-0.2541)}$$

$$RQD = 100 * 0.7756$$

$$RQD = 77.56\%$$

El resultado del RQD se clasificó mediante la ficha de RMR.

Tabla 15
Determinación del RQD.

RQD (%)	Calidad de la Roca
100 – 90	Muy Buena
90 – 75	Buena
75 – 50	Regular
50 – 25	Mala
0 – 25	Muy Mala

Estación 1 y 3 = 17

Estación 2 = 13

Fuente: Gonzáles, 2002.

b. Espaciado entre las discontinuidades

Las discontinuidades fueron medidas en un tramo de 10 metros, sin embargo, no todas se encontraron de forma paralelas sino también perpendiculares, las discontinuidades se encontraban espaciadas de la siguiente manera:

Tabla 16
Espaciado entre discontinuidades estación 2.

Fractura	Espaciado	Espaciamiento (cm)
1-2	E1	21.40
2-3	E2	11.0
3-4	E3	14.5
4-5	E4	39.0
5-6	E5	25.8
6-7	E6	48.4
7-8	E7	19.2
8-9	E8	46.5
9-10	E9	48.8
10-11	E10	12.0
11-12	E11	26.0
12-13	E12	34.0
13-14	E13	56.0
14-15	E14	42.0
15-16	E15	31.0
16-17	E16	24.0
17-18	E17	18.0
18-19	E18	22.0
19-20	E19	36.0
20-21	E20	44.0
21-22	E21	18.0
22-23	E22	11.2
23-24	E23	37.4
24-25	E24	9.0
25-26	E25	23.5
Promedio		28.75

El promedio del espaciado es 29.7 cm.

Tabla 17
Espaciado entre discontinuidades estación 3.

Fractura	Espaciado	Espaciamiento (cm)
1-2	E1	7.5
2-3	E2	36.2
3-4	E3	19.0
4-5	E4	49.0
5-6	E5	57.0
6-7	E6	62.0
7-8	E7	11.0
8-9	E8	21.0
9-10	E9	32.0
10-11	E10	17.0
11-12	E11	29.0
12-13	E12	43.0
13-14	E13	36.0
14-15	E14	42.0
15-16	E15	38.0
16-17	E16	15.0
17-18	E17	11.0
Promedio		30.92

Tabla 18
Descripción del espaciado.

Descripción	Espaciado	
	Mm	Cm
Extremadamente cerrado	< 20	< 2cm
Muy cerrado	20 – 60	2cm – 6cm
Cerrado	60 – 200	6cm – 20cm
Moderado	200 – 600	20cm – 60cm
Espaciado	600 – 2000	60cm - 2m
Muy espaciado	2000 – 6000	2m - 6m
Extremadamente espaciado	> 600	> 6m

Estación 1, 2 y 3 = 10

Fuente: Gonzáles, 2002.

c. Condición de las discontinuidades

Las condiciones de las discontinuidades se resumen de la siguiente manera:

- **Longitud de las discontinuidades**

Tabla 19
Persistencia de las discontinuidades.

Fractura	Persistencia (m)
1	0.70
2	0.53
3	0.71
4	1.20
5	1.28
6	2.48
7	1.20
8	1.15
9	0.36
10	2.31
11	1.15
12	3.00
13	1.30
14	2.20
15	1.72
16	0.57
17	0.77
18	0.54
19	1.51
20	0.45
21	0.79
Promedio	1.234



Figura 30. Toma de medidas de persistencia.

De acuerdo a estos resultados, se clasificó la persistencia en la siguiente tabla.

Tabla 20
Descripción de persistencia.

Descripción de Persistencia	
Persistencia	Longitud (m)
Muy Baja Persistencia	< 1
Baja Persistencia	1 – 3
Persistencia Media	3 – 10
Alta Persistencia	10 – 20
Muy Alta Persistencia	> 20

Estación 1, 2 y 3 = 4

Fuente: Gonzáles, 2002.

- **Abertura: 1-5 mm**

Tabla 21
Apertura de fracturas.

Fractura	Apertura (mm)
1	2.0
2	2.0
3	0.0
4	0.0
5	0.0
6	0.0
7	0.0
8	0.0
9	1.0
10	4.0
11	0.0
12	4.0
13	2.0
14	2.0
15	1.0
16	1.0
17	0.0
18	0.0
19	0.0
20	0.0
21	0.0
Promedio	0.90 mm

Con estos resultados se clasificó la abertura, según la tabla siguiente:

Tabla 22
Abertura de las discontinuidades.

Descripción de la Abertura	
Descripción	Abertura
Muy Cerrada	Ninguna
Cerrada	< 0.1 mm
Parcialmente Abierta	0.1 – 1.0 mm
Abierta	1 – 5 mm
Muy Abierta	> 5 mm

Estación 1, 2 y 3 = 4

Fuente: Gonzáles, 2002.

- **Rugosidad: Ligeramente rugosas.**

En las discontinuidades se evidencian que en su mayoría se clasifican según la tabla siguiente en ligeramente rugosa:

Tabla 23

Clasificación de la rugosidad.

Rugosidad	Puntaje
Muy Rugosa	6
Rugosa	5
Ligeramente Rugosa	3
Ondulada	1
Suave	0

Estación 1, 2 y 3 = 3

Fuente: Gonzáles, 2002.

- **Relleno: Relleno Duro <5mm**

Tabla 24

Relleno de las discontinuidades.

Grado	Descripción	Estimación en Terreno de la Resistencia
S1	Arcilla muy blanda	Penetra fácilmente varias pulgadas con el puño.
S2	Arcilla blanda	Penetra fácilmente varias pulgadas con el dedo.
S3	Arcilla semidura	Penetra fácilmente varias pulgadas con el dedo, usando esfuerzo moderado.
S4	Arcilla dura	Deja fácilmente hendidura fácilmente hendidura por la acción del dedo pulgar, pero penetra solamente con gran usando esfuerzo moderado.
S5	Arcilla muy dura	Mallada fácilmente por la uña del pulgar.
S6	Arcilla extremadamente dura	Mallada con dificultad por la uña del pulgar.
R0	Extremadamente Débil	Mallada por la uña del pulgar.

Estación 1, 2 y 3 = 4

Fuente: Gonzáles, 2002.

- **Alteración: Moderadamente alteradas**

Tabla 25
Meteorización de las discontinuidades.

Término	Descripción
Fresco	No hay señales visibles de meteorización. Si acaso una tenue decoloración en superficies de discontinuidades más desarrolladas.
Levemente meteorizado	Decoloración indica meteorización de la roca intacta y superficies de discontinuidad. La roca puede estar algo más débil externamente que en condición fresca.
Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo. La roca puede estar fresca o descompuesta y/o desintegrada a suelo.
Altamente meteorizado	Más de mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrado. La estructura del macizo
Completamente meteorizado	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado. La estructura del macizo original está prácticamente intacta.
Suelo residual	Todo el material rocoso está descompuesta o desintegrada a suelo. La estructura del macizo original y su textura ha sido destruida. Hay un gran cambio de volumen, pero el suelo no ha sido transportado.

Fuente: Gonzáles, 2002.

Ahora a partir de los datos anteriores se calcula el RMR según las valoraciones de Bieniawski 1989 dadas en la siguiente tabla.

Los resultados del RMR se describen en la siguiente tabla:

Tabla 26
Cálculo del RMR para el macizo rocoso.

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	5		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Longitud de la discontinuidad		<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
	Puntuación		6	4	2	1	0		
	Abertura		Nada	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5mm	>5mm		
	Puntuación		6	5	4	1	0		
	Rugosidad		Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
	Puntuación		6	5	3	1	0		

	Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
Puntuación	6	4	2	2	0	
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta	
Puntuación	6	5	3	1	0	
5	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min
	Relación de agua / Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
	Puntuación	15	10	7	4	0

Fuente: Bienawski, (1989)

La clasificación final del macizo rocoso según el RMR será de “Regular” con una puntuación de 56:

Tabla 27
Clasificación RMR para el macizo rocoso.

RMR	Descripción
0 – 20	Muy pobre
21 – 40	Pobre
41 – 60	Regular
61 – 80	Bueno
81 – 100	Muy bueno

3.5.2. Q de Barton

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

Como se analiza, la Clasificación de Barton et al, se basa en 6 parámetros:

R.Q.D: Índice de calidad de la roca = 78

Jn: Número de familias de diaclasas.

Descripción	Jn
Roca masiva	0.5-1

Una familia de diaclasas.	2
Una familia de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	3
Dos familias de diaclasas.	4
Dos familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales	6
Tres Familias.	9
Tres familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	12
Cuatro o más familias de Diaclasas, roca muy fracturada.	15
Roca triturada terrosa.	20
En boquillas, se utiliza 2 Jun y en Túneles 3 Jun	



Figura 31. Familias de fracturas.

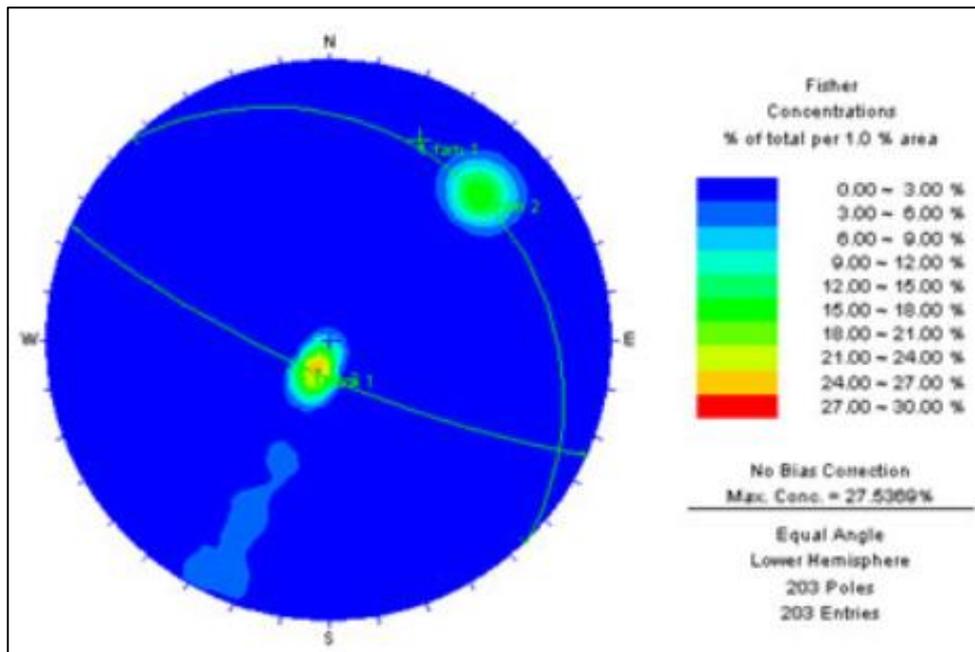


Figura 32. Concentración de polos de las discontinuidades.

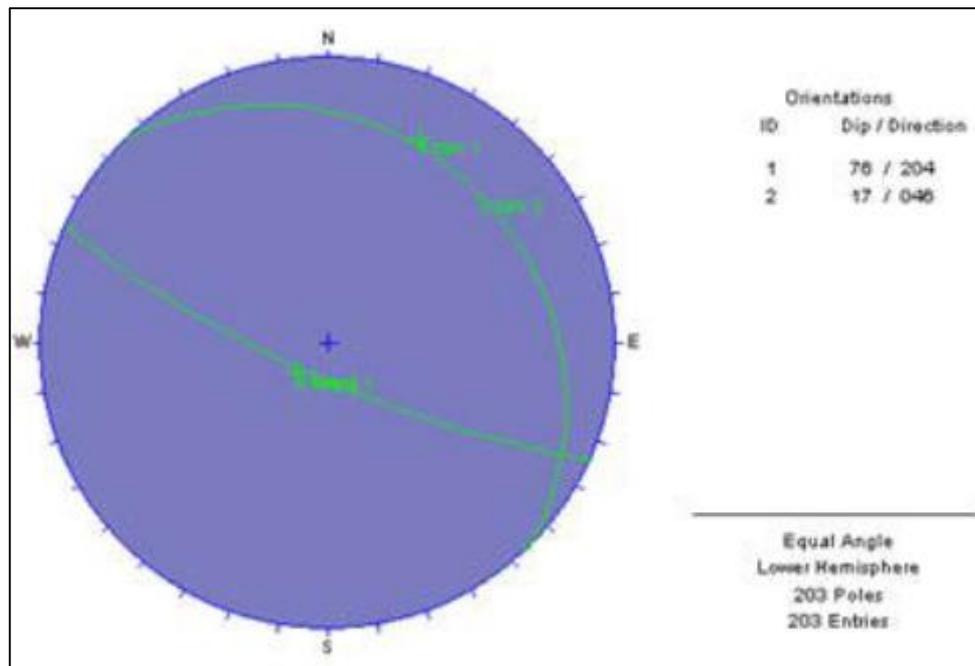


Figura 33. Familia de discontinuidades.

Jr: Rugosidad de las superficies de las discontinuidades.

™ Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con poco desplazamiento lateral de menos de 10 cm.	Jn
③ Juntas discontinuas.	4
③ Juntas Rugosa o irregular ondulada.	3
③ Suave ondulada.	2
③ Espejo de falla, ondulada, f Rugosa o irregular, plana.	1.5
③ Suave plana.	1
③ Espejo de Falla, plano.	0.5
™ No existe contacto entre las 2 caras de las diaclasas cuando ambas se desplazan lateralmente.	Jn
③ Zona de contenido de minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de las Diaclasas.	1
③ Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las 2 caras de las diaclasas.	1

Nota: si el espaciado de la familia de las diaclasas es mayor de 3 m hay que aumentar el Jn en una unidad.

Para diaclasas con espejos de falla provisto de lineaciones, si están orientadas favorablemente, se puede usar Jr=0.5



Figura 34. Discontinuidades rugosas.

Ja: Alteración de las diaclasas.

Descripción	Ja	Ø°
Contacto entre las 2 caras de las Diaclasas.		
Junta sellada, dura, sin reblandecimiento impermeable como por ejemplo cuarzo en paredes sanas.	0.75	25-30
Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25-30
Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no blandos partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	2	25-30
Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fricción arcillosa no reblandecible.	3	20-25
Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción como caolinita, clorita, talco yeso, grafito y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 o 2 mm.	4	8-16
Contactos entre 2 caras de la Diaclasa con < de 10 cm desplazamiento lateral.		
	4	25-30

Partículas de Arena, roca desintegrada libre de arcilla.	6	16-24
Fuertemente sobreconsolidados rellenos de minerales arcillosos no blandos. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de esp.	8	12-16
Sobreconsolidación media a baja, blandos, rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de < de 5 mm de espesor.	8-12	6-12
Rellenos de arcilla expansiva, de espesor continuo de 5 mm. El valor Ja dependerá del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva.		



Figura 35. Recubrimiento de las discontinuidades con minerales arcillosos.

Jw: Coeficiente reductor. Presencia del Agua.

Presencia de agua	Jw	Presión del agua Kg/cm ²
- Excavaciones secas o de influencia poco importante.	1	<1
- Fluencia o presión medias. Ocasional lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.66	1-2.5
- Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.33*	2.5-10
- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas, decayendo con el tiempo.	0.1-0.2*	>10
- Fluencia o presión de aguas excepcionalmente altas y continuas, sin disminución.	0.05-.01*	>10

Los valores presentados con el Signo * son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar Jw

SRF: Factor reductor del esfuerzo.

1.-Zona débil que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques.

- A. Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor.
 B. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m.).
 C. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. (Profundidad de excavación > 50 m.).
 D. **Varias zonas de fractura en roca competente libre de arcilla, roca suelta alrededor. (Cualquier profundidad). =7.5**
 E. Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (Profundidad de excavación < 50 m.)
 F. Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla. (Profundidad > 50 m).
 G. Diaclasas abiertas sueltas, muy fracturadas. Cualquier profundidad.

$$Q = \frac{78}{4} \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{7.5}$$

$$Q = \frac{234}{120}$$

$$Q = \frac{234}{120}$$

$$Q = 1.95$$

La clasificación de la Q de Barton se encuentra en la tabla siguiente:

TIPO DE ROCA	VALOR DE Q
Excepcionalmente mala.	10-3 – 10-2
Extremadamente mala.	10-2 – 10-1
Muy mala.	10 ⁻¹ – 1
Mala	1 – 4
Media.	4 – 10
Buena.	10 – 40
Muy buena.	40 – 100
Extremadamente Buena.	100 – 400
Excepcionalmente Buena.	400 - 1000

Según la Q de Barton la roca es mala, por lo cual necesita sostenimiento.

3.1. Tipo de sostenimiento

En base a los resultados del mapeo geológico de superficie de la franja involucrada por el alineamiento de la mineralización en el nivel 05, complementado con la información geomecánica, se ha elaborado un Modelo Geológico - Geotécnico que se espera encontrar durante la explotación del nivel 05. En la elaboración de este modelo se ha aplicado las clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos. En base a estas clasificaciones se ha estimado los tipos de calidad del macizo rocoso que atravesará la labor. Los tipos de sostenimiento que se establecieron fueron bajo los resultados ya antes mencionados.



Figura 36: Entrada a la veta.

La labor del nivel 05 tiene su portal de entrada en la cota 1248.6, ubicada en el Km 7+625, los resultados de evaluación geomecánica indican una roca de calidad Regular, soportando una cobertura de roca en un espesor de 0.98 m y una presión sobre el techo de la labor correspondiente a 2.24 Tn/m².

Actualmente esta labor tiene sostenimiento de madera deteriorado, por ello para mejorar la seguridad es necesario aplicar otro tipo de sostenimiento.



Figura 37: Sostenimiento con madera actual (deteriorada) en el nivel 05.

A partir de la definición del RMR propuesto por Merrit (1972), se propone una clasificación de la calidad de la roca en 5 categorías. La definición de RMR y la propuesta de Merrit (1972) para decidir el tipo de sostenimiento.

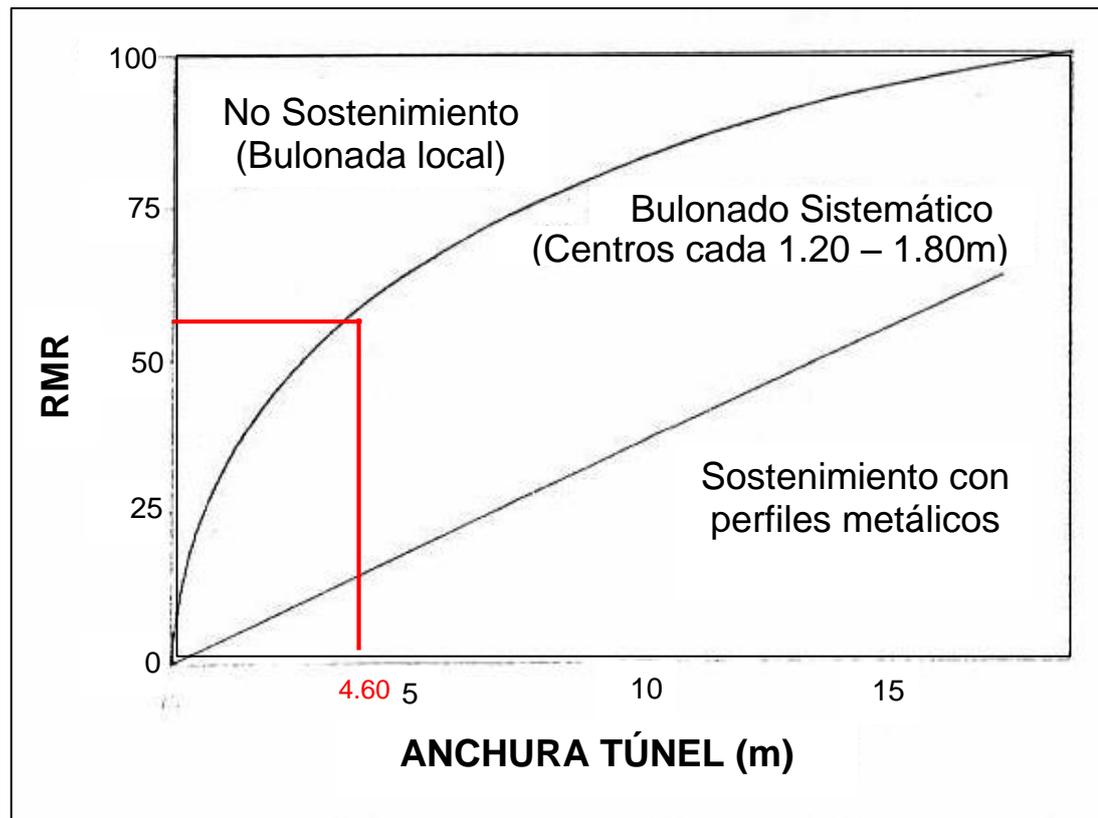


Figura 38: Tipo de sostenimiento en mina Paredones nivel 05.

De acuerdo a la figura 33, el sostenimiento en mina Paredones nivel 05 tiene que ser un Bulonado Sistemático cada 1.20 a 1.80 m.

El bulonado o anclaje es una técnica de sostenimiento que, en esencia, consiste en introducir en el interior de las rocas una barra de material resistente (habitualmente acero) que aporta una resistencia a tracción confinándolas al propio macizo rocoso.

Es decir, permite aprovechar las características resistentes propias de las rocas facilitando así su sostenimiento.

Los bulones proporcionan una fuerza contraria al movimiento de la masa deslizante.

Al incrementar las tensiones en la superficie de rotura potencial, aumentan la resistencia al deslizamiento en dicha superficie.



Figura 39: Bulonado deteriorado para cambiar.
Fuente: Merrit, (1972).

En el nivel 05 existen partes con bulonado, pero está deteriorado y no representa mayor seguridad, por ello se sugiere rehacer el bulonado con las indicaciones dadas anteriormente.

Sin embargo, las zonas críticas compuestas por suelo necesitan un sostenimiento mediante socreteo ya que no se puede aplicar bulonado sistemático.

El tipo de excavación de acuerdo al RMR es:

El RMR es 56 de calidad regular.

Tabla 28

Excavación de acuerdo al RMR.

Clase RMR	Excavación	Sostenimiento		
		Bulonado	Gunita	Cerchas
I 100-81	Sección completa. Avances de 3 m.	Innecesario, salvo algún bolón ocasional	No.	No.
II 80-61	Sección completa. Avances de 1-1.5 m	Bulonado local en clave, con longitudes de 2-3 m y separación de 2-2.5 m. eventualmente con mallazo.	5 cm en clave para impermeabilización	No.
III 60-41	Avances y destroza. Avances de 1.5 a 3 m. Completar sostenimiento a 20 m del frente.	Bulonado sistemático de 3-4 m con separaciones de 1.5-2 m en clave y hastiales con mallazo en clave.	5 a 10 cm en clave y 3 cm en hastiales	No.
IV 40-21	Avance y destroza. Avance de 1 a 1.5 m. Sostenimiento inmediato del frente. Completar sostenimiento a menos de 10 m del frente.	Bulonado Sistemático de 4-5 m con separaciones de 1-1.5 m en clave y hastiales con mallazo.	10 a 15 cm en clave y 10 cm en hastiales. Aplicación según avanza la excavación.	Cerchas ligeras espaciadas 1.5 m cuando se requieran.
V <20	Fases múltiples. Avances de 0.5-1 m. Gunitar inmediatamente al frente despues de cada avance.	Bulonado sistemático de 5-6 m con separaciones de 1-1.5 en clave y hastiales con mallazo. Bulonado en solera.	15-20 cm en clave. 15 cm en hastiales y 5 cm en el frente. Aplicación inmediata después de cada avance.	cerchas pesadas separadas 0.75 m con blindaje de chapas y cerradas en soltera

Túneles de sección en herradura, máxima tensión vertical 250 kp/cm

Fuente: Bienawski, 1989.

La excavación será con avance de 1.5 a 3 metros con un bulonado sistemático.

Sin embargo para suelos se aplicará shocreteo.

Los costos de estos sostenimientos según los resportes de la empresa

CYPE ingenieros SA:

Tabla 29
Costos de shocreteo.

Shocreteo	Metros para shocreteo	Precio por metro cuadrado	Precio por zona
Zona crítica 1	3.25		414.115
Zona crítica 2	5.18	127.42	660.036
Zona crítica 3	6.02		767.068
Total	14.45 metros		1841.22 dólares

Sin embargo, la zona donde es roca se aplicará bulonado sistemático, con los costos siguientes:

Tabla 30
Costos de bulonado sistemático.

Tramo de estudio	Metros para bulonado	Precio por metro cuadrado	Precio Total
400 – 1000 metros	585.55	\$ 10.95	\$ 3 663.87

Considerando que el ancho de la labor es de 2.50 metros y su bulonado será cada 3.5 metros de espaciamiento y a 1.2 metros de centro. Por lo tanto, en los 585.55 metros se aplicará bulonado doble cada 3.5 metros. En total se colocará 337 pernos hydrabolt con un costo unitario de 10.95 dólares.



Figura 40. Ancho de la labor.

Los costos totales para sostenimiento activo en el nivel 05 desde el
avance 400 hasta los 1000 metros asciende a 5 505.09 dólares

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Toroverero (2018), en su tesis de maestría de geotecnia en el nivel 05, se determinó que las labores mineras son susceptibles a cambios tensionales, desplazamientos de las geoestructuras (fallas, diaclasas), afectando la estabilidad de las labores subterráneas; para tal comportamiento sería la elección del mejor sistema de sostenimiento produciendo el equilibrio de tensiones tanto del macizo rocoso y el sistema de soporte instalado, en términos de seguridad y costo. Sin embargo este autor a diferencia de esta tesis no propuso el tipo de sostenimiento que es shocreteo para las zonas críticas y bulonado para las zonas de afloramiento rocoso andesítico.

Córdova (2014), en su Tesis: “Geomecánica en el Minado Subterráneo Caso Mina Condestable”. Busca alternativas de solución a los problemas geomecánicos encontrados en esta mina. Córdova utilizó el criterio de Bieniawski (1989), la lava andesítica es de calidad Buena (RMR 51 a 68 - promedio 63), el pórfido dacítico-andesítico es de calidad Regular a Buena (RMR 49 a 67 - promedio 58), los tufos son de calidad Regular a Buena (RMR 39 a 63 - promedio 55), y las brechas son de calidad Regular (RMR 34 a 64 - promedio 49). Por tanto, en promedio se determinó que la roca es de calidad regular a buena. Concluye que el tiempo es un factor importante que influye en el comportamiento de la masa rocosa circundante a las excavaciones. Actualmente la cavidad Intermedio Central presenta el grado de estabilidad, si bien es cierto que no ha colapsado, sin embargo, en esta cavidad y posiblemente en otras cavidades grandes se están produciendo inestabilidades locales importantes; conforme pase el tiempo, la intemperización natural de la masa rocosa,

el efecto de las vibraciones producidas por las voladuras y el efecto del agua, podrían acentuar progresivamente estas inestabilidades locales llegando a constituirse en un problema significativo si es que no se adoptaran las medidas que se recomiendan.

En esta tesis, igualmente se caracteriza el macizo rocoso el cual es Regular con un puntaje de 50, según Bienwiski 89, al contrario del antecedente de Córdova en esta tesis se plantea un tipo de sostenimiento adecuado que el de Bulones sistemático. A diferencia del antecedente que solo se identifica la calidad del macizo y se recomienda ampliar más estudios para posteriormente recomendar el tipo de sostenimiento.

4.2. Conclusiones

- En el nivel 05 de la labor subterránea Murciélagos se identificaron tres zonas críticas afectadas por la presencia de material triturado comportándose como suelo.
- Mediante el ensayo uniaxial se determinó que las cuatro muestras se encuentran entre 1-2 MPa, por lo tanto, el valor global es de 4. Y con el ensayo triaxial se determinó el ángulo de cohesión 0 y fricción 37.43°.
- La tasa de infiltración (T) es de 18.98 min/cm, por lo cual se determinó que las lluvias no afectan considerablemente la estabilidad dentro de las labores subterráneas.
- La caracterización geomecánica del macizo rocoso basado en el RMR de Bieniawski-1989, es de RMR = 56, siendo una roca de calidad Regular, con una resistencia entre 1 y 2 MPa, con RQD=78%, el espaciado promedio es de 29.7 cm, la persistencia está entre 3 y 10 metros, la abertura entre 1 y 5 mm, las discontinuidades son ligeramente rugosas, con relleno de cuarzo mayor a 5 mm

moderadamente alteradas, finalmente las discontinuidades se encontraron húmedas.

Y la Q de Barton es 1.9 siendo una roca mala.

- El tipo de sostenimiento según Merrit 1972, es el de Bulonado Sistemático de 3-4 m con separaciones de 1.5-2 m en clave y hastiales con mallazo en clave. La excavación será con avance de 1.5 a 3 metros. Pero para las zonas críticas se realizará shocreteo. El sostenimiento asciende a un costo de 5 505.09 dólares.

REFERENCIAS

- Bieniawski. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. (Libro). New York, USA: WILEY-INTERSCIENCE.
- Bustamante, A. (2013). Geomecánica Aplicada en la Prevención de Pérdidas por Caída de Rocas Mina Huanzalá-Cía. Minera Santa Luisa S.A. *Tesis de Maestría*, 133. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/591/1/bustamante_ma.pdf
- Campos, R. (2016). *Resistencia a Compresión Uniaxial del Concreto $F'C=175 \text{ kg/cm}^2$ y $F'C=210 \text{ Kg/cm}^2$ al Reemplazar en 25%, 50%, 75% y 100% Desperdicios del Proceso Minero subterráneo (Pebble)*. Tesis profesional. Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/9929/Campos>.
- Córdova, N. (2014). Geomecánica en el Minado Subterráneo Caso Mina Condestable. *Tesis para Obtener el Grado de Ingeniero de Minas*, 107. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/>
- Crespo, J. (2014). *Elección del Sistema de Explotación del Bloque R-Norte de la veta Santa Ana, Distrito Minero Zaruma-Portovelo*. (Tesis de pregrado). Quito, Ecuador: Escuela Superior Politecnica del Litoral. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/6101>
- Cuadros, G. (2015). *Evaluación geomecánica para el cambio de método de open stopping a corte y relleno ascendente convencional en la veta Atahualpa-Lola de la mina Poderosa*. (Tesis de pregrado). Huancayo, Perú: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Obtenido de <http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream>

- Ferrer, F. (2015). *Planeamiento de Minado de Largo Plazo para Proyecto Minero No Metálico desarrollada acerca del planeamiento de minado para la mina Atocongo*. Lima.
- Hoek, E., & Brown, E. (1980). *Excavaciones subterráneas en roca*. (libro). Londres, Inglaterra: McGraw-Hill.
- Jaeger, J., Cook, N., & Zimmerman, R. (2007). *Fundamentals of Rock Mechanics*. (Libro), 4. California, USA: BlackWell Publishing.
- Oblitas, J. (2018). Guía de investigación. Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte.
- Montoya, E., & Suarez, L. (2018). *Software de aplicación en Python 3 para el cálculo de la estadística de tensores de segundo orden de Jelinek en datos de anisotropía de susceptibilidad magnética*. (artículo científico). Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script>
- Pantaleón, H., & Carbajal, C. (2017). *Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea*. (Tesis de pregrado). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/12
- Poma, J. (2012). *Importancia de la Fragmentación de la Roca en el Proceso Gold Mill*. Tesis Profesional. Cajamarca, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/1696>
- Quispelema, C. (2016). *Diseño De Explotación De La Mina "Bloque IV"*, Ubicada en la Provincia De Pichincha. *Tesis Profesional*. Quito, Ecuador: Universidad Central de Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7145>

- Recio, D. (2014). *Aplicación de la Regresión Logística en la Predicción Empírica de Fenómenos Complejos en Obras Subterráneas: Squeezing y Rotura de Pilares de Carbón*. (Tesis de pregrado). Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de <http://oa.upm.es/33131/>
- Rincón, B. (2016). *Caracterización Geomecánica del Macizo Rocosó del Área del Contrato 01-068-96 "Cooperativa Cooprocáron Sugamuxi" Municipio de Gámeza Boyacá*. (tesis de pregrado). Boyacá, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/16GT-384.pdf>
- Rivera, R. (2015). Análisis de Riesgo y Operabilidad en las Operaciones de Minado Subterráneo. *Tesis de maestría*. Distrito Federal, México: Instituto Politécnico Nacional. Obtenido de <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/20668>.
- Sagaseta, C. (2001). A General Analytical Solution for the Required Anchor Forcé in Rock Slopes with Toppling Failure. *Int. Journal Rock*. California, Estados Unidos: Int. Journal Rock. Recuperado el 16 de Febrero de 2018, de <http://oa.upm.es/722/1/04200507.pdf>
- Toledo, W., & Tovar, R. (2014). Sistema In-Pit Crushing and Conveying (IPCC) Alternativa para optimizar el proceso de extracción en minado subterráneo. *Conferencia para la mina Bisa*. Lima, Perú: Ministerio de Energía y Minas. Obtenido de <http://iimp.org.pe/pptjm/jm20151112-open-pit-para-optimizar-el-proceso-carguio.pdf>
- Valeriano, F. (2015). Caracterización Geotécnica y Modos de Falla Estructural en Labor Subterránea del Cerro Espinal Juliaca. *Tesis Profesional*. Puno, Perú: Universidad

Nacional del Altiplano. Recuperado el 25 de Agosto de 2017, de
<http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2297>

ANEXOS

Anexo N° 1: Fotografías



Figura 41. Toma de persistencia.



Figura 42. Medición de persistencia de la discontinuidad.



Figura 43. Identificación de discontinuidades.



Figura 44. Toma de rumbo y buzamiento.



Figura 45. Medición de tramo de conteo de discontinuidades.

Anexo N° 2: Operacionalización de variables

Tabla 31

Operacionalización de variables.

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR
Caracterización geomecánica del macizo rocoso	Independiente	Conjunto de caracteres de origen estructural (superficies de discontinuidad, fallas, diaclasas, pliegues, etc) que presenta el macizo rocoso, junto con sus características particulares e interrelaciones.	Estructuras en el macizo rocoso	Fallas
				Diaclasas
				Pliegues
				Discontinuidades
				Dominio Estructural
				Roca masiva
				Roca fracturada
				Roca muy fracturada
				Anisotropicos
			RMR	Resistencia de la roca inalterada.
				$RQD = 100e^{(-0.1\lambda)(0.1\lambda+1)}$
				RQD: $\lambda=N^{\circ}$ Disc/dist. (m)
				Espaciamiento entre diaclasas
				El estado de las diaclasas
				Condiciones del agua subterránea.
Q de Barton	$Q = \left(\frac{RQD}{J_n}\right) * \left(\frac{J_r}{J_a}\right) * (J_w/SRF)$			
	Tamaño de los bloques			
	Resistencia de la roca al corte entre bloques.			
	Influencia del estado tensional			
Tipo de sostenimiento de la mina subterránea Paredones	Dependiente	Estabilización de la masa rocosa mediante el control del colapso progresivo o deformación de este.	Auto sostenimiento	Sin soporte (RMR >70%)
			Sostenimiento pasivo	Cuadros de madera (RMR = 50 - 70%)
			Sostenimiento activo	Shotcreteo, pernos con resina, barra helicoidal, pernos de anclaje, etc. (RMR <50%)

Fuente: Elaboración propia, (2019).

Anexo N° 3: Análisis de laboratorio de rocas



ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL
LABORATORIO DE SUELOS DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

Solicitante: Jimmy Cueva Romero – Jhonny Alex Arana Cabrera

Cantidad de muestras: 4

Lugar de origen de la muestra:

Mina Paredones – San Pablo (coordenada de referencia)

Coordenadas de la estación Geomecánica (WGS-84)		
Este	Norte	Cota
740695	9204397	1247

Resultados:

Muestra 01

0.34 MPa

3.47 KN



Muestra 01

0.34 MPa

3.47 KN

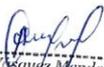


Muestra 03

1.10 MPa

11.02 KN




Oscar Vásquez Mendoza
Coordinador de Laboratorio de Minas
Universidad Privada del Norte
Cajamarca

Muestra 04

1.20 MPa

12.08 KN





Oscar Vásquez Mendoza
Coordinador de Laboratorio de Minas
Universidad Privada del Norte
Cajamarca

Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza

05 de julio del 2019.

Anexo N° 4: Análisis triaxial de laboratorio



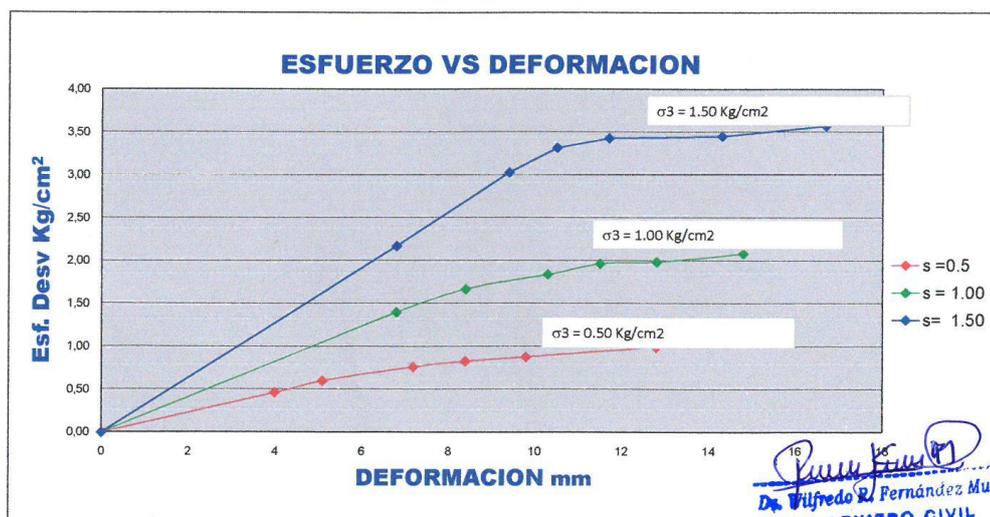
Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos

Estudios Geológicos, Hidrológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos, Impacto Ambiental y Análisis Químicos

Resolución N° 014751-2005/OSD-INDECOPI
Dr. WILFREDO R. FERNÁNDEZ MUÑOZ
Ing. Civil C.I.P. 26682 - Reg. de Consultor N° C2755
RUC. 10266305856

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

TESIS : "CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PARA EL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN EL NIVEL 05 DE LA MINA SUBTERRANEA PAREDONES, 2019"						
UBICACIÓN : NIVEL 05 DE LA MINA PAREDONES - COORDENADAS UTM N.9204397 E740695						
TESISTAS : BACH. JHONNY ALEX ARANA CABRERA			DIAMETRO INICIAL (cm) :		3,85	
: BACH. JIMMY GERARDO CUEVA ROMERO			AREA INICIAL (cm²) :		11,64	
COORDENADAS : COORDENADAS UTM N.9204397 E740695			ALTURA INICIAL (mm) :		81	
FECHA : NOVIEMBRE DEL 2019			VOLUMEN cm³		94,30	
TIEMPO	PRESION DE CAMARA (s3) = 0.50 Kg/cm²		PRESION DE CAMARA (s3) = 1.00 Kg/cm²		PRESION DE CAMARA (s3) = 1.50 Kg/cm²	
TIEMPO (min)	DEFORMACION LEIDA (mm)	ESFUERZO DESVIADOR (Kg/cm²)	DEFORMACION LEIDA (mm)	ESFUERZO DESVIADOR (Kg/cm²)	DEFORMACION LEIDA (mm)	ESFUERZO DESVIADOR (Kg/cm²)
0	0	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000
0,5	4	0,4654	6,80	1,4006	6,80	2,1718
1	5,1	0,6037	8,40	1,6707	9,40	3,0296
1,5	7,2	0,7670	10,30	1,8444	10,50	3,3195
2	8,4	0,8315	11,50	1,9679	11,70	3,4321
2,5	9,8	0,8834	12,80	1,9889	14,30	3,4518
3	12,8	0,9981	14,80	2,0851	16,70	3,5731
Parámetros de Esfuerzos Totales						
Esf. Confinante (s3) (Kg/cm2)	0,5		1		1,5	
Esf. Principal (sd) (Kg/cm2)	1,00		2,09		3,57	
Def. Máx. a la Falla (mm)	12,8		14,8		16,7	



Urb. de los Docentes UNC H-3 Cajamarca, Perú – Tel. 076 341560 RPM. #976 699861
RPC. 976 385815 – Email. wilfredofernandezm@hotmail.com

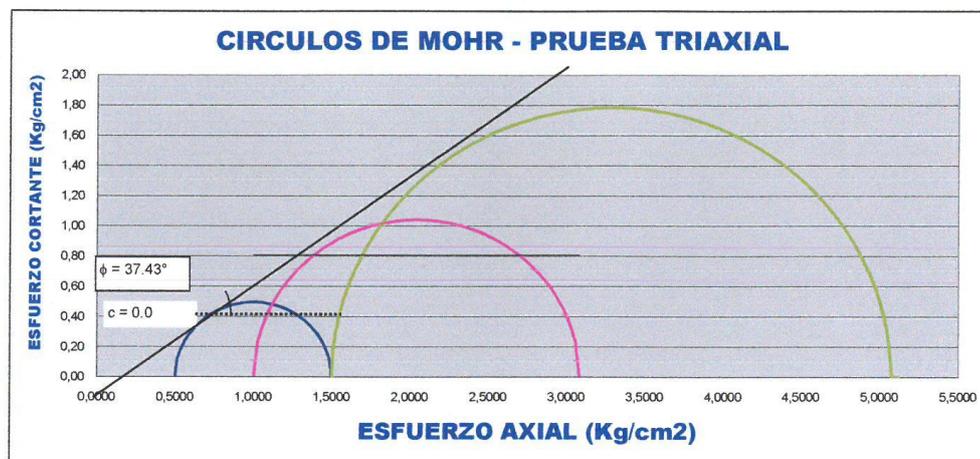


Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos

Estudios Geológicos, Hidrológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos, Impacto Ambiental y Análisis Químicos

Resolución N° 014751-2005/OSD-INDECOPI
Dr. WILFREDO R. FERNÁNDEZ MUÑOZ
Ing. Civil C.I.P. 26682 - Reg. de Consultor N° C2755
RUC. 10266305856

$s_{max}(0.50) =$	0,998084019	$s_1 = s_{max} + 0.50$	$s_1 =$	1,498084019
$s_{max}(1.00) =$	2,085057708	$s_1' = s_{max} + 1.00$	$s_1' =$	3,085057708
$s_{max}(1.50) =$	3,573106004	$s_1'' = s_{max} + 1.50$	$s_1'' =$	5,073106004



$\phi =$	37,43
$C =$	0,00

NOTA: LAS MUESTRAS FUERON ALCANZADAS POR EL INTERESADO


 Dr. Wilfredo R. Fernández Muñoz
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 26682

Anexo N° 5: Instrumentos de investigación

Tabla 32

Resistencia de la muestra.

MUESTRA 1					
Resistencia de la Roca Intacta	Ensayo Carga Puntual Digital	<10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa
Valor		15	12	7	4

Tabla 33

Presencia de agua.

DESCRIPCIÓN	RANGO
Completamente Seco	15
Semi Húmedo	10
Húmedo	7
Mojado	4
Flujo de Agua	0

Fuente: Gonzáles, 2002.

Tabla 34

Determinación del RQD.

RQD (%)	Calidad de la Roca
100 – 90	Muy Buena
90 – 75	Buena
75 – 50	Regular
50 – 25	Mala
0 – 25	Muy Mala

Fuente: Gonzáles, 2002.

Tabla 35

Espaciado entre discontinuidades.

Fractura	Espaciado	Espaciamiento (cm)
Promedio		

Tabla 36

Descripción del espaciado.

Descripción	Espaciado	
	Mm	Cm
Extremadamente cerrado	< 20	< 2cm
Muy cerrado	20 – 60	2cm – 6cm
Cerrado	60 – 200	6cm – 20cm
Moderado	200 – 600	20cm – 60cm
Espaciado	600 – 2000	60cm - 2m

Muy espaciado	2000 – 6000	2m - 6m
Extremadamente espaciado	> 600	> 6m

Fuente: Gonzáles, 2002.

Tabla 37
Persistencia de las discontinuidades.

Fractura	Persistencia (m)
----------	------------------

Promedio

Tabla 38
Descripción de persistencia.

Descripción de Persistencia	
Persistencia	Longitud (m)
Muy Baja Persistencia	< 1
Baja Persistencia	1 – 3
Persistencia Media	3 – 10
Alta Persistencia	10 – 20
Muy Alta Persistencia	> 20

Fuente: Gonzáles, 2002.

Tabla 39
Apertura de fracturas.

Fractura	Apertura (mm)
----------	---------------

Promedio

Tabla 40
Abertura de las discontinuidades.

Descripción de la Abertura	
Descripción	Abertura
Muy Cerrada	Ninguna
Cerrada	< 0.1 mm
Parcialmente Abierta	0.1 – 1.0 mm
Abierta	1 – 5 mm
Muy Abierta	> 5 mm

Fuente: Gonzáles, 2002.

Tabla 41

Clasificación de la rugosidad.

Rugosidad	Puntaje
Muy Rugosa	6
Rugosa	5
Ligeramente Rugosa	3
Ondulada	1
Suave	0

Fuente: Gonzáles, 2002.

Tabla 42

Relleno de las discontinuidades.

Grado	Descripción	Estimación en Terreno de la Resistencia
S1	Arcilla muy blanda	Penetra fácilmente varias pulgadas con el puño.
S2	Arcilla blanda	Penetra fácilmente varias pulgadas con el dedo.
S3	Arcilla semidura	Penetra fácilmente varias pulgadas con el dedo, usando esfuerzo moderado.
S4	Arcilla dura	Deja fácilmente hendidura fácilmente hendidura por la acción del dedo pulgar, pero penetra solamente con gran usando esfuerzo moderado.
S5	Arcilla muy dura	Mallada fácilmente por la uña del pulgar.
S6	Arcilla extremadamente dura	Mallada con dificultad por la uña del pulgar.
R0	Extremadamente Débil	Mallada por la uña del pulgar.

Fuente: Gonzáles, 2002.

Tabla 43

Meteorización de las discontinuidades.

Término	Descripción
Fresco	No hay señales visibles de meteorización. Si acaso una tenue decoloración en superficies de discontinuidades más desarrolladas.
Levemente meteorizado	Decoloración indica meteorización de la roca intacta y superficies de discontinuidad. La roca puede estar algo más débil externamente que en condición fresca.
Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo. La roca puede estar fresca o descompuesta y/o desintegrada a suelo.
Altamente meteorizado	Más de mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrado. La estructura del macizo
Completamente meteorizado	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado. La estructura del macizo original está prácticamente intacta.
Suelo residual	Todo el material rocoso está descompuesta o desintegrada a suelo. La estructura del macizo original y su textura ha sido destruida. Hay un gran cambio de volumen, pero el suelo no ha sido transportado.

Fuente: Gonzáles, 2002.

Tabla 44
Cálculo del RMR para el macizo rocoso.

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	5		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación de agua / Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Fuente: Bienawski, (1989)

Tabla 45
Clasificación RMR para el macizo rocoso.

RMR	Descripción
0 – 20	Muy pobre
21 – 40	Pobre
41 – 60	Regular
61 – 80	Bueno
81 – 100	Muy bueno

Tabla 46

Número de familias de diaclasas (Jn).

Descripción	Jn
Roca masiva	0.5-1
Una familia de diaclasas.	2
Una familia de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	3
Dos familias de diaclasas.	4
Dos familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales	6
Tres Familias.	9
Tres familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	12
Cuatro o más familias de Diaclasas, roca muy fracturada.	15
Roca triturada terrosa.	20
En boquillas, se utiliza 2 Jun y en Túneles 3 Jun	

Tabla 47

Rugosidad de las superficies de las discontinuidades (Jr).

TM Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con poco desplazamiento lateral de menos de 10 cm.	Jn
③ Juntas discontinuas.	4
③ Juntas Rugosa o irregular ondulada.	3
③ Suave ondulada.	2
③ Espejo de falla, ondulada, f Rugosa o irregular, plana.	1.5
③ Suave plana.	1
③ Espejo de Falla, plano.	0.5
TM No existe contacto entre las 2 caras de las diaclasas cuando ambas se desplazan lateralmente.	Jn
③ Zona de contenido de minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de las Diaclasas.	1
③ Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las 2 caras de las diaclasas.	1

Nota: si el espaciado de la familia de las diaclasas es mayor de 3 m hay que aumentar el Jn en una unidad.

Para diaclasas con espejos de falla provisto de lineaciones, si están orientadas favorablemente, se puede usar Jr=0.5

Tabla 48

Factor reductor del esfuerzo (SRF).

1.-Zona débil que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques.

-
- H. Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor.
 - I. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m.).
 - J. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. (Profundidad de excavación > 50 m.).
 - K. Varias zonas de fractura en roca competente libre de arcilla, roca suelta alrededor. (Cualquier profundidad). =7.5
 - L. Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (Profundidad de excavación < 50 m.)
 - M. Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla. (Profundidad > 50 m).
 - N. Diaclasas abiertas sueltas, muy fracturadas. Cualquier profundidad.
-

Tabla 49

Costos de shocreteo.

Shocreteo	Metros para shocreteo	Precio por metro cuadrado	Precio por zona
Total	14.45 metros		1841.22 dólares

Tabla 50

Factor reductor del esfuerzo (SRF).

1.-Zona débil que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques.

-
- O. Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor.
 - P. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m.).
 - Q. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. (Profundidad de excavación > 50 m.).
 - R. Varias zonas de fractura en roca competente libre de arcilla, roca suelta alrededor. (Cualquier profundidad). =7.5
 - S. Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (Profundidad de excavación < 50 m.)
 - T. Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla. (Profundidad > 50 m).
 - U. Diaclasas abiertas sueltas, muy fracturadas. Cualquier profundidad.
-

Tabla 51
Alteración de las diaclasas (Ja).

Descripción	Ja	ϕ°
Contacto entre las 2 caras de las Diaclasas.		
Junta sellada, dura, sin reblandecimiento impermeable como por ejemplo cuarzo en paredes sanas.	0.75	25-30
Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25-30
Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no blandos partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	2	25-30
Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fricción arcillosa no reblandecible.	3	20-25
Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción como caolinita, clorita, talco yeso, grafito y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 o 2 mm.	4	8-16
Contactos entre 2 caras de la Diaclasa con < de 10 cm desplazamiento lateral.		
Partículas de Arena, roca desintegrada libre de arcilla.	4	25-30
Fuertemente sobreconsolidados rellenos de minerales arcillosos no blandos. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de esp.	6	16-24
	8	12-16
Sobreconsolidación media a baja, blandos, rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de < de 5 mm de espesor.		
Rellenos de arcilla expansiva, de espesor continuo de 5 mm. El valor Ja dependerá del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva.	8-12	6-12

Tabla 52
Coefficiente reductor. Presencia del Agua (Jw).

Presencia de agua	Jw	Presión del agua Kg/cm ²
-------------------	----	--

- Excavaciones secas o de influencia poco importante.	1	<1
- Fluencia o presión medias. Ocasional lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.66	1-2.5
- Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.33*	2.5-10
- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas, decayendo con el tiempo.	0.1-0.2*	>10
- Fluencia o presión de aguas excepcionalmente altas y continuas, sin disminución.	0.05-.01*	>10

Los valores presentados con el Signo * son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar J_w

Tabla 53
Clasificación de Q de Barton.

TIPO DE ROCA	VALOR DE Q
Excepcionalmente mala.	10 ⁻³ – 10 ⁻²
Extremadamente mala.	10 ⁻² – 10 ⁻¹
Muy mala.	10 ⁻¹ – 1
Mala.	1 – 4
Media.	4 – 10
Buena.	10 – 40
Muy buena.	40 – 100
Extremadamente Buena.	100 – 400
Excepcionalmente Buena.	400 - 1000

Tabla 54
Excavación de acuerdo al RMR.

Clase RMR	Excavación	Sostenimiento		
		Bulonado	Gunita	Cerchas
I 100-81	Sección completa. Avances de 3 m.	Innecesario, salvo algún bolón ocasional	No.	No.

II 80-61	Sección completa. Avances de 1-1.5 m	Bulonado local en clave, con longitudes de 2-3 m y separación de 2-2.5 m. eventualmente con mallazo.	5 cm en clave para impermeabilización	No.
III 60-41	Avances y destroza. Avances de 1.5 a 3 m. Completar sostenimiento a 20 m del frente.	Bulonado sistemático de 3-4 m con separaciones de 1.5-2 m en clave y hastiales con mallazo en clave.	5 a 10 cm en clave y 3 cm en hastiales	No.
IV 40-21	Avance y destroza. Avance de 1 a 1.5 m. Sostenimiento inmediato del frente. Completar sostenimiento a menos de 10 m del frente.	Bulonado Sistemático de 4-5 m con separaciones de 1-1.5 m en clave y hastiales con mallazo.	10 a 15 cm en clave y 10 cm en hastiales. Aplicación según avanza la excavación.	Cerchas ligeras espaciadas 1.5 m cuando se requieran.
V <20	Fases múltiples. Avances de 0.5-1 m. Gunitar inmediatamente al frente después de cada avance.	Bulonado sistemático de 5-6 m con separaciones de 1-1.5 m en clave y hastiales con mallazo. Bulonado en solera.	15-20 cm en clave. 15 cm en hastiales y 5 cm en el frente. Aplicación inmediata después de cada avance.	cerchas pesadas separadas 0.75 m con blindaje de chapas y cerradas en soltera
Túneles de sección en herradura, máxima tensión vertical 250 kp/cm				

Fuente: Bienawski, 1989.

Tabla 55
Costos de bulonado sistemático.

Tramo de estudio	Metros para bulonado	Precio por metro cuadrado	Precio Total
------------------	----------------------	---------------------------	--------------

Tabla 56

Ficha de toma de datos de campo.

REGISTRO GEOLÓGICOGEOTECNICO		PROYECTO :		UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE																																															
		UBICACIÓN :		(Tabla Modificado por: Reinaldo Rodríguez)																																															
CODIGO	TRAMO :																																																		
RESPONSABLE	HOJA N° :		DE																																																
SISTEMA	EJECUTADO POR:		FECHA:																																																
PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																																																			
DATA GPS				MACIZO ROCOSO				TIPOS	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL (MPa)	RQD Tramo	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSISTENCIA (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERACION METEOR.	AGUA	CALIDAD DE INFORM.																													
ESTE	NORTE	COTA	LITOLÓGICO / FORMAC.	METEORIZACION	GRADO FRACT.	GSI	DIRECCION.				Z / R	DI P	DD					TIPO	DUREZA																																
DIS. Nro.							E=Estratíf.	ND:																																											
							D=Diaclasa															L:																													
							1=Fresco																																	1 = Alto	Bloq-Regul	Fn=F. Norm	1=> 2	1 = < 1	1=Nada	1=Muy Rug	1 = Arcilloso	1 = Ninguna	1=Inalterada	1 = Seco	1=Lec. Real
							2=Lev Met																																	2 = Med	Bloq-Irregul	Fi=F. Inversa	2= 2-0,6	2 = 1-3	2=< 0.1	2=Rugosa	2 = Qz / Silic	2=Duro<5mm	2=Lig. Alt	2 = Humedo	2=Lect Apar
							3 =Mod																																	3 = Bajo	Bloq/Des	Fd=F. Direcc	3= 0,6-0,2	3 = 3-10	3=0,1-1,0	3=Lig. Rug	3 = Calcita	3=Duro>5mm	3=Mod. Alt	3 = Mojado	3=Lec Proy
							4=Alt Met																																		Fract	mf=Microfalla	4=0,2-0,06	4=10-20	4 =1,0-5,0	4=Ond.-lisa	4 = Oxidos	4=Suave<5m m.	4=Muy Alt	4 = Goteo	
5=Compl	Agregar MB, B, M, P, MP	SE=Sobrees.	5= < 0,06	5 = >20	9= > 5	5=Suave	5 = Roca Trit.	5=Suave>5m m.	5=Descomp	5 = Flujo																																									