



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS
PARA DETERMINAR EL FACTOR DE SEGURIDAD EN LA
GALERÍA PRINCIPAL DE POMPERIA**

TESIS

PRESENTADA POR:

RICARDO HUISA BUSTÍOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

**INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS
GEOMECÁNICAS PARA DETERMINAR EL
FACTOR DE SEGURIDAD EN LA GALERÍA**

AUTOR

Ricardo Huisa Bustíos

RECUENTO DE PALABRAS

29059 Words

RECUENTO DE CARACTERES

139120 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

156 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.3MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 19, 2024 9:21 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 19, 2024 9:23 AM GMT-5

● **17% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 5% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Lucio Quea Gutiérrez
INGENIERO DE MINAS
CPT2822
DOCENTE UNAP



DIRECCIÓN
PIM - UNAP
Dr. Américo Arizaca Avalos
Director de la Unidad de Investigación
Facultad de Ingeniería de Minas

Resumen



DEDICATORIA

Esta investigación está dedicado a mis invalorables padres, por todo el sacrificio laboral, por su tiempo y dedicación, por ser el ejemplo y apoyo para poder culminar uno de mis grandes sueños mi carrera profesional de Ingeniería de Minas.

A mi querida madre en especial, que nunca perdió la fe en mí y por enseñarme con principios y valores a ser útil en la vida.

A mi hermosa familia que siempre me impulsa a ser grande y me demuestran su apoyo incondicional.

Ricardo Huisa Bustíos.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por su infinito amor, que me permite vivir en este mundo y desarrollar mis conocimientos para el bienestar de mi familia y seguir avanzando.

A la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, por brindarme la oportunidad de crecer académicamente en mi carrera profesional.

A los docentes y compañeros de clase, los cuales me ayudaron en mi formación profesional, compartiendo conocimientos y experiencias desarrolladas en el campo laboral.

Ricardo Huisa Bustíos.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.2.1 Pregunta general.....	19
1.2.2 Preguntas específicas	20
1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	20
1.3.1 Hipótesis general.....	20
1.3.2 Hipótesis específicas	20
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.4.1 Objetivo general	20
1.4.2 Objetivos específicos	20
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	21



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN	22
2.2. MARCO TEÓRICO	27
2.2.1 Roca intacta	27
2.2.2 Macizo rocoso	28
2.2.3 Caracterización del macizo rocoso.....	29
2.2.4 Factor de seguridad	32
2.2.5 Roca intacta.....	33
2.2.5.1. Ensayo de propiedades físicas.....	33
2.2.5.2. Ensayo de compresión simple (UCS).	34
2.2.5.3. Deformación.....	35
2.2.6 Clasificación geomecánica de Bieniaswki RMR	36
2.2.7 Parámetros de clasificación RMR de Bieniawski (1989)	37
2.2.8 Índice de calidad de la roca (RQD).....	44
2.2.9 Sistema de clasificación de Q de Barton.....	44
2.2.10 Interrelación entre el índice Q de Barton y RMR de Bieniawski.....	46

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO.....	48
3.1.1. Ubicación	48
3.1.2. Accesibilidad.....	49
3.2. LITOESTRATIGRAFÍA REGIONAL.....	49
3.2.1. Sistema cretáceo.....	49
3.2.1.1. Formación Ayabacas (Kis-ay)	49



3.2.1.2. Grupo Puno	50
3.2.2. Sistema paleogeno-neogeno-cuaternario.....	50
3.2.2.1. Grupo Tacaza (PN-ta)	50
3.2.2.2. Grupo Barroso – Umayo	50
3.2.2.3. Cuaternario coluvial (Qh-co)	51
3.2.2.4. Cuaternario aluvial (Qh-al)	51
3.3. LITOESTRATIGRAFÍA LOCAL	51
3.3.1. Cenozoico.....	51
3.3.1.1. Grupo Tacaza (pn-ta)	51
3.3.1.2. Depósitos coluviales (Qh-co).....	53
3.3.1.3. Depósitos aluviales (Qh-al).....	53
3.4. GEOLOGIA ESTRUCTURAL	53
3.4.1. Fallamientos	53
3.4.2. Fallamiento pre-mineral	54
3.4.3. Fallamiento post-mineral	54
3.4.4. Diaclasamientos	54
3.4.5. Sistemas estructurales	55
3.5. GEOLOGIA Y YACIMIENTO.....	55
3.5.1. Alteraciones hidrotermales.....	55
3.5.2. Alteracion argilica intermedia.....	55
3.5.3. Alteración propilitica	56
3.5.4. Silicificación	56
3.6. GEOMORFOLOGIA	56
3.6.1. Geomorfología regional	57
3.6.2. Geomorfología local.....	57



3.6.3. Unidades geomorfológicas	58
3.7. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA.....	58
3.7.1. Impactos en el macizo rocoso	59
3.7.2. Planeamiento de excavaciones	59
3.7.3. Gestión de recursos hídricos	60
3.7.4. Calidad del agua	60
3.8. DISEÑO METODOLÓGICO.....	61
3.8.1. Tipo de investigación	61
3.8.2. Enfoque de la investigación	61
3.8.3. Diseño de investigación	61
3.9. POBLACIÓN	62
3.10. MUESTRA.....	62
3.10.1. Tipos de muestreo	62
3.11. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	63
3.12. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	63
3.12.1. Procesamiento de la información por métodos numéricos	67

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA GALERÍA	68
4.1.1. Familias de discontinuidades y orientación de juntas	68
4.1.2. Buzamiento y dirección de buzamiento	71
4.1.3. Valoración geomecánica de la roca intacta	72
4.1.3.1. Densidad y peso específico	72
4.1.3.2. Resistencia de la roca intacta in-situ	72
4.1.3.3. Método empírico con martillo de geólogo o picota	73



4.1.3.4. Resultados de resistencia del martillo Schmidt.....	74
4.1.4. Resultados de los ensayos en el laboratorio	74
4.1.4.1. Resultados de resistencia a la compresión simple UCS.....	74
4.1.4.2. Resultados de resistencia por carga puntual (PLT).....	75
4.1.5. RQD Grado de fracturación del macizo rocoso	76
4.1.6. Estimación del RMR para estación (Progr. 000 + 010 m)	77
4.1.7. Resumen de resultados de caracterización geomecánica RMR ₈₉	80
4.1.8. Correlación entre el RMR y el índice Q de Barton.	81
4.2. EVALUACION DEL FACTOR DE SEGURIDAD.....	82
4.2.1. Ángulo de fricción y cohesión	82
4.2.2. Evaluación del factor de seguridad en la galería principal Pomperia.	83
4.2.3. Análisis cinemático por software Dips	84
4.2.4. Análisis del factor de seguridad por estaciones.	94
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	108
V. CONCLUSIONES.....	109
VI. RECOMENDACIONES	110
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
ANEXOS.....	115

ÁREA: Ingeniería de Minas

TEMA: Mecánica de rocas, geomecánica y geotecnia

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 24 de Julio del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Interpretación de los valores de RMR.	36
Tabla 2 Interpretación de los valores de RQD.....	44
Tabla 3 Clasificación del macizo rocoso en base a los valores “Q”.....	45
Tabla 4 Cuadro de accesibilidad.....	49
Tabla 5 Unidades geomorfológicas	58
Tabla 6 Identificación de planos mayores - galería principal Pompería.....	69
Tabla 7 Resumen de buzamiento y dirección de buzamiento.....	71
Tabla 8 Resumen de densidad y peso específico de la roca	72
Tabla 9 Resistencia de roca in-situ con martillo de geólogo.....	73
Tabla 10 Resumen de resistencias in-situ con martillo Schmidt.....	74
Tabla 11 Resultados de las resistencias a la compresión simple.....	75
Tabla 12 Resultados de resistencia de índice a la carga puntual.....	76
Tabla 13 RQD en cada estación geomecánica.....	77
Tabla 14 Estimación del RMR de Bieniawski estación geomecánica 01.....	80
Tabla 15 Resumen de clasificación RMR de Bieniawski por estaciones.....	81
Tabla 16 Resultados correlación RMR y Q.....	82
Tabla 17 Valores del índice Q de Barton.....	82
Tabla 18 Resumen de cálculos de cohesión y ángulo de fricción.....	83
Tabla 19 Identificación de cuñas – progresiva (000-010)	95
Tabla 20 Identificación de cuñas – progresiva (010-020)	96
Tabla 21 Identificación de cuñas – progresiva (020-030)	98
Tabla 22 Identificación de cuñas – progresiva (030-040)	99
Tabla 23 Identificación de cuñas – progresiva (040-050)	101



Tabla 24 Identificación de cuñas – progresiva (050-060)	102
Tabla 25 Identificación de cuñas – progresiva (060-070)	104
Tabla 26 Identificación de cuñas – progresiva (070-080)	105
Tabla 27 Identificación de cuñas – progresiva (080-084)	107



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Efecto escala, roca intacta.	30
Figura 2 Compresión uniaxial.....	35
Figura 3 Curvas de deformación.....	35
Figura 4 Orientación de discontinuidades.	37
Figura 5 Estereograma de densidad de polos.....	38
Figura 6 Parámetros de discontinuidades en macizo rocoso	39
Figura 7 Valores de JRC normalizados.	40
Figura 8 Apertura de una discontinuidad.....	41
Figura 9 Discontinuidades simples rellenadas.....	42
Figura 10 Presencia del agua en labor subterráneo.....	43
Figura 11 Ubicación de la mina Pomperia.....	48
Figura 12 Columna estratigráfica de las formaciones en la zona de estudio	52
Figura 13 Proyección estereográfica.....	69
Figura 14 Diagrama de rosetas	70
Figura 15 Proyecciones estereográficas progresiva 01	84
Figura 16 Gráfico de roseta progresiva 01.....	85
Figura 17 Proyecciones estereográficas progresiva 02.....	86
Figura 18 Proyecciones estereográficas progresiva 03.....	87
Figura 19 Proyecciones estereográficas progresiva 04.....	88
Figura 20 Proyecciones estereográficas progresiva 05.....	89
Figura 21 Proyecciones estereográficas progresiva 06.....	90
Figura 22 Proyecciones estereográficas progresiva 07.....	91
Figura 23 Proyecciones estereográficas progresiva 08.....	92



Figura 24 Proyecciones estereográficas progresiva 09	93
Figura 25 Análisis de factor de seguridad estación 01	94
Figura 26 Análisis de factor de seguridad estación 02	96
Figura 27 Análisis de factor de seguridad estación 03	97
Figura 28 Análisis de factor de seguridad estación 04	99
Figura 29 Análisis de factor de seguridad estación 05	100
Figura 30 Análisis de factor de seguridad estación 06	102
Figura 31 Análisis de factor de seguridad estación 07	103
Figura 32 Análisis de factor de seguridad estación 08	105
Figura 33 Análisis de factor de seguridad estación 09	106



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Bocamina y toma de muestra de roca en la galería principal Pomperia.	115
ANEXO 2 Resultados de propiedades índice de la roca.	116
ANEXO 3 Resultados de propiedades índice de la roca.	117
ANEXO 4 Fotografía de muestras para propiedades físicas de roca.....	119
ANEXO 5 Resultados de ensayos de compresión simple UCS.....	120
ANEXO 6 Fotografías de muestras UCS - progresión a izquierda	124
ANEXO 7 Resultados de ensayo de carga puntual en roca.	125
ANEXO 8 Fotografía de ensayo de PLT.	126
ANEXO 9 Formato de mapeo geomecánico RMR mapeo lineal.....	127
ANEXO 10 Mapeo geomecánico estación 01	128
ANEXO 11 Mapeo geomecánico estación 02	130
ANEXO 12 Mapeo geomecánico estación 03	132
ANEXO 13 Mapeo geomecánico estación 04	134
ANEXO 14 Mapeo geomecánico estación 05	136
ANEXO 15 Mapeo geomecánico estación 06	138
ANEXO 16 Mapeo geomecánico estación 07	140
ANEXO 17 Mapeo geomecánico estación 08	142
ANEXO 18 Mapeo geomecánico estación 09	144
ANEXO 19 Grafico de roseta progresiva 2.	145
ANEXO 20 Grafico de roseta Progresiva 3.....	145
ANEXO 21 Grafico de roseta. Progresiva 4.....	146
ANEXO 22 Grafico de roseta. Progresiva 5.....	146
ANEXO 23 Grafico de roseta. Progresiva 6.....	147



ANEXO 24 Grafico de roseta. Progresiva 7.....	147
ANEXO 25 Grafico de roseta. Progresiva 8.....	148
ANEXO 26 Grafico de roseta. Progresiva 9.....	148
ANEXO 27 Plano de clasificación geomecánica galería Pomperia	149
ANEXO 28 Mapa geológico mina Pomperia	150
ANEXO 29 Plano estructural mina Pomperia	151
ANEXO 30 Plano geomorfológico mina Pomperia	152
ANEXO 31 Plano litoestratigráfico regional mina Pomperia	153
ANEXO 32 Plano litológico mina Pomperia.....	154
ANEXO 33 Declaración jurada de autenticidad de tesis	155
ANEXO 34 Autorización para el deposito de tesis o trabajo de investigación en el repositorio institucional	156



ACRÓNIMOS

ISRM:	International Society for Rock Mechanics
RQD:	Rock Quality Design
RMR:	Rock Mass Rating
Mpa:	Mega pascal
Tm:	Tonelada métrica
DIP:	Buzamiento
DIP DIR:	Dirección de buzamiento
cm:	Centímetro
m:	Metro
mm:	Milímetro
B:	Ancho de galería
D:	Densidad seca



RESUMEN

La rehabilitación e inestabilidad de la galería principal de Pompería nos permitió realizar la evaluación de la influencia de las características geomecánicas y determinar el factor de seguridad en la galería. La metodología a utilizar en el desarrollo de la investigación fue de carácter descriptivo y diseño no experimental con un enfoque cuantitativo, aplicando sistemas de clasificación geomecánica de Bieniawski y Barton, los cuales nos sirven para evaluar el tipo de roca. Teniendo como resultados RMR comprendidos entre 41 – 60, tipo de roca III de calidad "regular", y un valor Q comprendido entre 4 – 10 de calidad de roca "regular". Se recolectaron muestras de roca dentro de la galería principal de Pompería, las cuales fueron analizadas en el laboratorio de mecánica de rocas. Los valores obtenidos de ensayos UCS fueron de 49.38 MPa, y el peso específico de 23.7 KN/m³. los resultados de las propiedades mecánicas fueron de mucha utilidad para la aplicación en los softwares Dips y Unwedge, los cuales permitieron identificar las zonas de debilidad con la formación de cuñas de roca en el techo y hastiales a lo largo de la galería, con factores de seguridad por debajo de 1.5, interpretándose así que la galería en algunas progresivas es parcialmente inestable.

Palabras clave: Caracterización, Clasificación, Factor de seguridad, Geomecánica, Macizo rocoso.



ABSTRACT

The rehabilitation and instability assessment of the main adit at Pomperia allowed us to evaluate the influence of geomechanical characteristics and determine the safety factor within the adit. The methodology employed in this research was descriptive and non-experimental with a quantitative approach, applying Bieniawski and Barton geomechanical classification systems to assess rock type. Results yielded RMR values ranging from 41 - 60, indicating 'fair' quality rock type III, and Q values ranging from 4 - 10, indicating 'fair' rock quality. Rock specimens were collected from the main adit at Pomperia and analyzed in the rock mechanics laboratory. UCS test results showed a strength of 49.38 MPa, with a specific weight of 23.7 KN/m³. These mechanical property results were crucial for application in software tools like Dips and Unwedge, which identified weak zones forming rock wedges in the roof and sidewalls along the adit, with safety factors below 1.5, this interpretation indicates partial instability in certain sections of the adit.

Keywords: Characterization, Classification, Safety factor, Geomechanics, Rock mass.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La presente investigación está reflejada en la galería principal de Pompería, la cual ha sido explotada en la época colonial por los españoles y posteriormente por la empresa Minero Puno. En la actualidad, viene a ser la concesión minera Ingeniería de Minas UNA Puno, la cual sirve como alternativa educativa de mina escuela.

No obstante, cabe resaltar que, por el paso del tiempo, la meteorización y el abandono que ha presentado a lo largo de los años, se ha generado una inestabilidad en la galería principal, convirtiéndose en un peligro con un alto índice de riesgo por caída de roca, un aspecto fundamental que limita el acceso de manera segura y adecuada a diferentes estudiantes de nuestra casa de estudios para realizar prácticas de campo, entre otras actividades con fines educativos.

En tal sentido, la presente investigación nos permitirá conocer la clasificación geomecánica del macizo rocoso en la galería principal de Pompería, a partir de la clasificación geomecánica propuesta por Bieniawski y Barton, los cuales permitirán determinar las influencias de estas en el factor de seguridad, la cual será estudiada mediante métodos numéricos con el uso de software.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Pregunta general

¿Cuál es la influencia de las características geomecánicas para determinar el factor de seguridad en la galería principal de Pompería?



1.2.2 Preguntas específicas

- ¿Cómo evaluar las características geomecánicas en la galería principal de Pomperia?
- ¿Cómo determinar el factor de seguridad en la galería principal de Pomperia?

1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis general

Conociendo la influencia y las características geomecánicas podremos determinar el factor de seguridad en la galería principal de Pomperia.

1.3.2 Hipótesis específicas

- Evaluando el macizo rocoso podremos conocer la influencia de las características geomecánicas en la galería principal de Pomperia
- Conociendo las características geomecánicas en la galería principal de Pomperia determinaremos el factor de seguridad.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la influencia de las características geomecánicas para determinar el factor de seguridad en la galería principal de Pomperia.

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar las características geomecánicas en la galería principal de Pomperia.
- Determinar el factor de seguridad en la galería principal de Pomperia.



1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación será uno de los tantos estudios que nos permitirá conocer la caracterización geomecánica de la galería y cómo influyen en la determinación del factor de seguridad en la galería principal de Pompería. Además, la identificación precisa de los parámetros geomecánicos permitirá realizar evaluaciones mediante modelos numéricos con el uso de software, identificando zonas de debilidad y posibles formaciones de cuñas, las cuales pueden comprometer la seguridad e integridad del personal que ingrese tanto a la galería principal de Pompería como a la misma galería.

Asimismo, la determinación del factor de seguridad en la galería principal de Pompería proporcionará un margen de seguridad para su completa rehabilitación y permita realizar nuevas investigaciones para mitigar los posibles problemas de inestabilidad que se presenten en la galería.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN

Begazo (2024) menciona que el objetivo principal de su investigación es realizar un análisis geomecánico detallado y un valor de factor de seguridad efectivo para prevenir la caída de rocas en el centro minero Chucchurani en Ayacucho, con el fin de asegurar la seguridad de los trabajadores, optimizar la producción y evitar accidentes que puedan causar daños a los equipos y pérdidas económicas. Dicho estudio se centra en la caracterización geomecánica mediante la clasificación RMR y Q, evaluando los seis parámetros de las condiciones de las discontinuidades mediante un mapeo geomecánico por ventanas, así como también determinar las propiedades físicas y mecánicas de la roca, permitiéndole determinar la estabilidad. Se reveló una variabilidad significativa en la calidad del macizo rocoso, con secciones de calidad regular a mala y una alta densidad de discontinuidades, lo que aumenta el riesgo de formación de cuñas tetraédricas. Obteniendo resultados de RMR 30 y un Q de Barton de 2.34, indicando una roca pobre, por tal motivo el autor propuso implementar un sistema de sostenimiento por cable bolting, lo cual lo convierte en la elección adecuada para una estabilidad efectiva en diferentes condiciones geológicas y geomecánicas. Para analizar los esfuerzos y predecir riesgos, se utilizaron los softwares Dips, Unwedge y Phase, que permitieron identificar las familias de fallas y cuñas potenciales.

Por otro lado Quispe (2023) busco evaluar la influencia del modelo geomecánico en la estabilidad del cuerpo Salvadora en la mina Andaychagua. Para cumplir con este objetivo, el autor implementó un programa de investigaciones geológicas y



geomecánicas. Este programa incluyó mapeo geológico-geomecánico por el método de ventanas para determinar el índice de calidad de roca RMR de Bieniawski en afloramientos, la resistencia de la roca intacta mediante ensayo UCS. Estos procedimientos permitieron evaluar las características de las masas rocosas en el área de interés y establecer un diseño óptimo de sostenimiento que garantice un factor de seguridad adecuado para mantener una estabilidad en el cuerpo Salvadora, el cual fue evaluado en el software Unwedge mediante el análisis de cuñas.

García (2023) se centra en la actualización del estudio geomecánico de una empresa minera, con el fin de mejorar la estabilidad y el sostenimiento en la zona de explotación Hércules de la unidad minera Huancapetí. Se fundamenta en teorías y bases científicas que sustentan las variables del estudio y sus indicadores, analizados detalladamente para fortalecer la tesis. La metodología adoptada fue una investigación aplicada, con un enfoque cuantitativo y un diseño cuasi experimental; del mismo modo, las fases de su investigación se basaron en una recolección de datos geológicos y geomecánicos mediante el mapeo por ventanas, asignación de parámetros por el método de Bieniawski, análisis del factor de seguridad para determinar la estabilidad utilizando métodos gráficos y de equilibrio límite. también resalta el uso de métodos estadísticos y análisis numérico. Los resultados revelaron RMR en tres áreas: Caja techo (RMR: 65-35), estructura mineralizada (RMR: 55-25), y caja piso (RMR: 55-35).

Según Surco (2022) para conocer la estabilidad de la mina Heraldos Negro de compañía minera San Valentín, el propone como objetivo determinar las características geomecánicas a partir de diferentes métodos geomecánicos entre ellos el RMR y GSI, del mismo modo el autor desarrolla una metodología cuantitativa, descriptiva y no experimental, enfocada en la caracterización estructural, mapeo geomecánico, análisis de



diversas propiedades del macizo rocoso como espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, relleno, meteorización y presencia de agua subterránea, peso específico y ensayo de UCS, también propuso un análisis de formación de cuñas potenciales que podrían comprometer la estabilidad de la labor subterránea; las cuales fueron identificadas mediante el software Unwedge y Dips. La caracterización geomecánica obtuvo valores RQD entre 82 y 76, con roca de buena calidad; RMR variando de regular (Clase III-B 60-41) a mala (Clase IV 40-21); GSI entre 40 y 58; y Q Barton de 1.55 a 0.12, señalando roca de mala a muy mala calidad. por otro lado, el análisis cinemático de discontinuidades mostró que las galerías presentan formaciones de cuñas con baja probabilidad de falla, según el criterio de Hoek-Brown, Concluyendo finalmente que el factor de seguridad estara por encima de 1.5.

Por otro lado Mamani (2022) estudia la estabilidad del túnel trasandino de San Bartolomé, con una longitud de 4.745 km, que conectará Lima con La Oroya, poniendo como objetivo caracterizar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso, determinar el sostenimiento más adecuado para dicha obra subterránea. Para ello, se indica que se realizaron perforaciones diamantinas en el eje de cada túnel, así como en las entradas y salidas, permitiendo evaluar los testigos obtenidos a través de las perforaciones diamantinas; la metodología que propone el autor se basa en la recopilación de bibliografías como tesis e investigaciones científicas, investigaciones de campo como levantamientos topográficos y geológicos, mapeos geomecánicos, análisis paramétricos utilizando los criterios geomecánicos de Bieniawski (1989) y el sistema Q de Barton; arrojando resultados con valores de RMR entre 32 y 60, una resistencia a la compresión uniaxial entre 20 y 30 MPa, y un valor promedio de Q de Barton de 1.8, lo cual indica una valoración mala. Concluyendo de esta manera que las calidades de roca en la entrada



como en la salida del túnel son variables, con tramos menos estables, basándose en estos parámetros y en los métodos de evaluación.

Rodríguez (2021) plantea una metodología para la determinación de la influencia de las características geomecánicas en el diseño de sostenimiento en la compañía minera Marsa S.A., el cual se enfoca en los criterios para el diseño geomecánico de las excavaciones subterráneas enfocados en garantizar la estabilidad mediante el factor de seguridad de las labores mineras, caracterización del macizo rocoso incluyendo el análisis de las propiedades físico-mecánicas de la roca intacta, estudio de los aspectos hidrogeológicos incluyendo su impacto en la estabilidad de las excavaciones, parámetros de resistencia y deformación de las discontinuidades del macizo rocoso, evaluación geomecánica identificando zonas de estabilidad y posibles áreas de riesgo, análisis geomecánico por métodos numéricos especialmente por el modelamiento con software para analizar y simular el comportamiento del macizo rocoso bajo diferentes condiciones de carga y esfuerzos. El autor presentó resultados de análisis y modelamientos numéricos para entender el comportamiento de los factores de seguridad (FS) en los contornos de la excavación, tanto antes como después de la aplicación del soporte recomendado. Concluyendo en base a los resultados que existe una influencia significativa de la caracterización geomecánica detallada al ser crucial para diseñar un sistema de sostenimiento, mejorando la seguridad y eficiencia en operaciones mineras; así como también la eficacia de herramientas de modelamiento y análisis geomecánico esenciales para evaluar con precisión la estabilidad y diseños de sostenimiento.

Según Mamani (2019) enfoca su investigación en el diseño y construcción de cámaras subterráneas en la Mina Escuela Carolina, destinadas a fines académicos e investigación. El estudio, se centra en caracterizar la galería Pomperia, con el objetivo de



identificar zonas de mayor estabilidad. El autor empleó la metodología de Bieniawski para la clasificación geomecánica, evaluando los parámetros de la galería mediante cartillas para el mapeo geomecánico. Estos resultados fueron luego interrelacionados con la metodología Q de Barton para obtener un modelamiento estructural del macizo rocoso, permitiendo así comprender el comportamiento y la estabilidad de la galería. Se obtuvieron valores de RMR de Bieniawski de 63 (buena), 55 (regular), 51 (regular) y 50 (regular). El autor concluye que la investigación facilita el diseño de cuatro cavernas subterráneas para aplicaciones específicas como perforación y voladura, mecánica de rocas, rescate minero y maquinaria minera.

Según Pari (2019) para determinar el tipo de sostenimiento en excavaciones subterráneas es importante emplear metodologías basadas en la clasificación geomecánica para conocer el índice de calidad de la roca, clasificaciones a partir de Bieniawski, Barton y Hoek & Brown, y luego proponer diseños de sostenimiento adecuados en base a RMR y Q. El autor reflejó su estudio de muestreo cada 10 metros, analizando 13 estaciones geomecánicas recolectando datos estructurales a partir del mapeo geomecánico por ventanas, comprendidos entre orientación, parámetros de calidad de la masa rocosa entre otros, con un enfoque descriptivo cuantitativo, clasificando el macizo rocoso como tipo III y tipo II. Los valores promedio del RMR (Rock Mass Rating) oscilan entre 56 y 65 con roca regular; índice Q, el cual varía entre 5.45 y 21.37, interpretándose como una calidad del macizo de mala a regular.

Según Valeriano (2019) la mina Maribel de Oro A – Phoquera se enfrenta a problemas frecuentes de caída de rocas debido al comportamiento irregular del macizo rocoso. Por ello, el autor tiene como objetivo principal aplicar una evaluación geomecánica en la mina, empleando métodos de caracterización estructural del macizo



rocoso, incluyendo mapeo subterráneo de parámetros de discontinuidades, los cuales serán expuestos en cuadros y gráficos estadísticos. La metodología incluyó la sistematización y procesamiento de información geotécnica, métodos de análisis y toma de muestras representativas y cálculo del factor de seguridad. obtuvo resultados de RQD, RMR y GSI, determinando que la calidad del macizo rocoso varía de buena a regular y factores de seguridad en promedio de 1.26.

Según Huaynate (2018), en su investigación, propone como objetivo principal determinar cómo el estudio geomecánico del macizo rocoso influye en el diseño del sostenimiento de la rampa 1 en la mina U.E.A Marianne, específicamente en la labor Esperanza y para lograrlo, utiliza la clasificación del macizo rocoso mediante el índice de calidad de roca (RQD) y el índice de clasificación de macizos rocosos (RMR); el autor enfoca su investigación de manera cuantitativa y no experimental obteniendo resultados de RQD promedio del macizo rocoso de 95.26%, clasificándolo como una roca de muy buena calidad, mientras que por otro lado la clasificación del RMR, según Bieniawski (1989), es de 70, lo que también lo califica como una roca buena. Basado en estos datos, el autor concluye que el tipo de sostenimiento más adecuado son los pernos sistemáticos, con una longitud de 1.58 metros y un espaciamiento de instalación de 2.37 metros, del mismo modo demuestra que un estudio geomecánico detallado y preciso es crucial para diseñar sistemas de sostenimiento efectivos en explotaciones mineras subterráneas.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1 Roca intacta

Se le conoce como una matriz rocosa que está ubicada dentro de la discontinuidad y se representa por una muestra de mano que se utiliza para



ensayos de laboratorio. Roca intacta se refiere también a “un elemento (trozo, bloque, probeta) de roca que no presenta discontinuidades observables (Ramírez & Alejano, 2007).

El macizo rocoso libre de discontinuidad de roca intacta que queda entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta comportamiento heterogéneo y anisotrópico ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. (Bieniawski, 1989).

2.2.2 Macizo rocoso

Unidad geológica de afloramiento de todo tipo de rocas que distingue habitualmente la geología, como la roca de basamento para obras de ingeniería; así como túneles; galerías subterráneas, cimentaciones, muchas de estos afloramientos se llegan a investigar y evaluar cortadas, excavaciones subterráneas, piques de exploración y desarrollo de niveles; Mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, resistencia y deformabilidad (Bieniawski, 1989).

Mecánicamente el macizo rocoso es el medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo. Prácticamente pueden considerarse una resistencia a la tracción nula.(Deere, 1967).

a. **Anisotropía.** La presencia de planos de debilidad con una orientación preferencial conlleva propiedades y comportamientos mecánicos que varían según la dirección. Además, la orientación de las fuerzas aplicadas sobre la masa rocosa induce una anisotropía vinculada al estado de tensión de la roca.



- b. **Discontinuidad.** La presencia de discontinuidades (superficie de estratificación, juntas, fallas, diques, etc.) rompe la continuidad de las propiedades mecánicas de los bloques rocosos, confiriendo al macizo un comportamiento geomecánico e hidráulico discontinuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad (Bieniawski, 1989).
- c. **Rocas Ígneas.** Son formaciones de masas sólidas fundidas, que se solidificaron por el enfriamiento del magma que compone los diferentes tipos de mineral y agregado de mineral y se clasifican en dos grupos que son las rocas ígneas intrusivas, y las rocas ígneas extrusivas.
- d. **Rocas Sedimentarias.** Son los resultados de acumulaciones de sedimentos que se consolidaron en rocas duras o semiduras en diferentes capas de estratificación.
- e. **Rocas Metamórficas.** Se formaron por la transformación de rocas sedimentarias e ígneas; en donde los minerales constituyentes han sufrido un ajuste estructural y su recristalización en las condiciones fisicoquímicas impuestas por una determinada profundidad sujeto a una presión y calor, como resultado de la actividad de los fluidos magmáticas químicamente activos (Bieniawski, 1989).

2.2.3 Caracterización del macizo rocoso

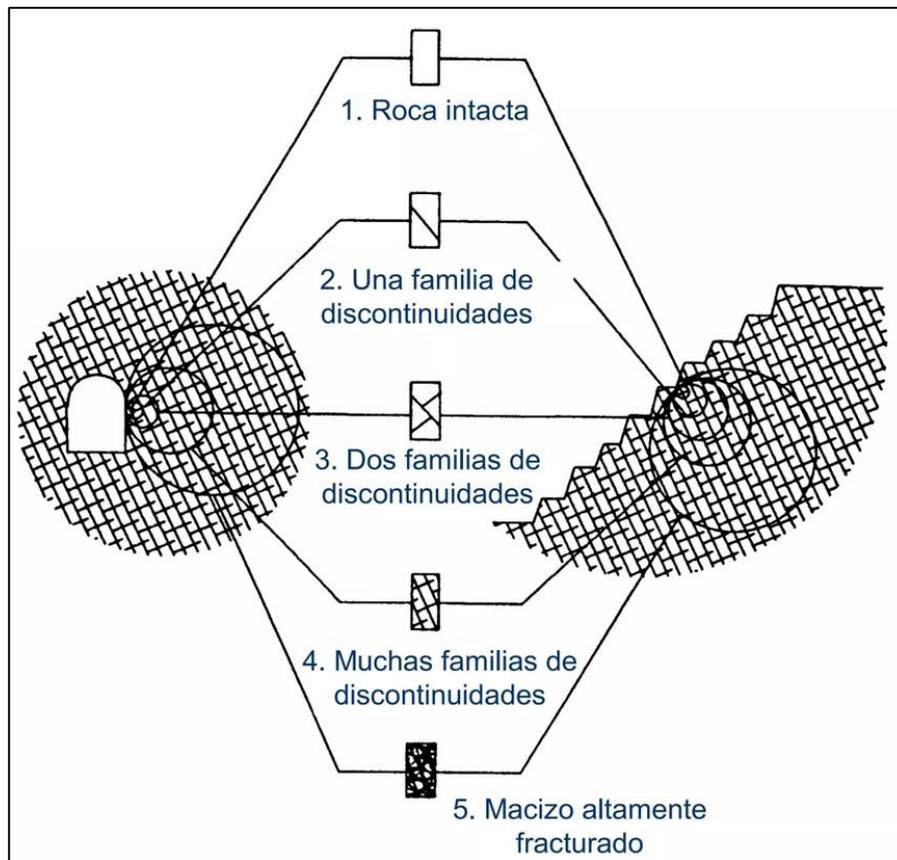
Actualmente las clasificaciones geomecánicas son utilizadas con mayor demanda para poder obtener principales parámetros geomecánicos del macizo rocoso. Estas clasificaciones permiten evaluar las características de manera cuantitativa la calidad de la roca (Ramírez & Alejano, 2007).

Existen diferentes criterios de clasificación geomecánica, entre ellos cabe resaltar a Barton (1988), Laubscher (1977), Bieniawski (1989), Hoek (2000) entre otros.

Las masas rocosas son discontinuos y heterogéneos, siendo el resultado más importante el efecto escala, y las propiedades tenso deformaciones de la masa rocosa fueron de naturaleza anisótropa (Ramírez & Alejano 2007).

Figura 1

Efecto escala, roca intacta.



Fuente: (Hoek & Brown, 1998)

Las propiedades de la masa rocosa no se miden de forma directa, sino que fueron estiman en referencia a las propiedades de la roca intacta y las



características de bloques que componen la masa rocosa, que usualmente son representados en referencia al índice de calidad geomecánica (Hoek, 2000).

- a. **Mecánica de Rocas.** Ciencia encargada de analizar las propiedades y comportamientos mecánicos de la masa rocosa. El desarrollo de la mecánica de rocas se inicia como consecuencia de la utilización del medio geológico para obras de ingeniería superficiales, subterráneas; durante la fase de perforaciones diamantinas en exploraciones de yacimientos de valor económico; para el diseño de medidas de sostenimientos en excavaciones subterráneas; entre otros en el diseño de grandes metros, centrales hidroeléctricas, presas y otros trabajos de ingeniería (Bieniawski, 1989).
- b. **Mapeo geomecánico.** El mapeo es el proceso de obtener datos para un estudio específico, también se define como “La toma o adquisición de información geomecánica para la caracterización de los macizos rocosos (acción comúnmente conocida como 'levantamientos geomecánicos')” (Bordehore *et al*, 2016).

El mapeo geomecánico subterráneo incluye al mapeo por celdas o estaciones, mapeo por línea de detalle y mapeo de arco rebatido. (OSINERGMIN, 2017)

- c. **Clasificación geomecánica.** Esta clasificación geomecánica, surgió para parametrizar la observación y los datos empíricos, de manera integrada, para la evaluación de las medidas de la fortificación de labores. Las mismas son un método de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, y a partir de estas estimar los parámetros geotécnicos de diseño y el tipo de sostenimiento de un túnel (Palmstrom, 1998).

Las clasificaciones geomecánicas constituyen un procedimiento para la caracterización de los macizos rocosos a partir de datos de afloramientos y sondeos, y se aplican principalmente a los túneles, dada la dificultad del estudio de los macizos rocosos en profundidad (Goodman, 1989).

2.2.4 Factor de seguridad

Resultado de la relación entre la fuerza de resistencia y la fuerza impulsora del sistema considerado en su alrededor. El factor de seguridad es el criterio más básico de diseño aceptado en la ingeniería. En geomecánica saltó a la fama a mediados del siglo XX, cuando la ingeniería geotécnica se desarrolló como una disciplina de ingeniería independiente en 1940. (Giraldo, 2018).

Cálculo de FS: El factor de seguridad (FS) es un valor determinante en relación de las fuerzas resistentes (capacidad de soporte) y las fuerzas actuantes (demanda)

$$FS = \frac{C}{D} \quad \text{Eq. (1)}$$

Donde:

FS = Factor de seguridad

C = Capacidad de soporte

D = fuerzas actuantes

Dentro de los resultados se plantean tres posibles escenarios.

Cuando $C > D$, luego $C/D = FS > 1$ el sistema es estable

Cuando $C < D$, luego $C/D = FS < 1$ el sistema es inestable



Cuando $C = D$, luego $C/D = FS = 1$ el sistema está en equilibrio limite.

El valor del factor de seguridad, que es aceptable para un diseño, por lo general se establece a partir de las experiencias, previo a los diseños exitosos.

Un factor de seguridad de 1.3 generalmente se considera adecuado para una apertura temporal de la mina, mientras que un valor de 1.5 a 2.0 puede ser requerido para una excavación permanente como una estación de trituración subterránea. (Palmstrom, 1998).

2.2.5 Roca intacta

El macizo rocoso está compuesto por roca intacta y discontinuidades. Por lo tanto, se pueden definir ciertas propiedades mecánicas de la roca intacta, tales como resistencia a la compresión simple, resistencia a la tracción, resistencia al corte y resistencia a la compresión triaxial. Asimismo, se determinan las propiedades elásticas como el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson, y las propiedades físicas de la roca, como densidad, peso unitario, humedad, porosidad y absorción. La mayoría de estos ensayos están estandarizados por la American For Testing and Materials (ASTM) y también por la ISRM.

A continuación, se resaltan brevemente algunos ensayos por los que se determinaran las propiedades físicas de roca intacta.

2.2.5.1. Ensayo de propiedades físicas

Es la determinación de las propiedades físicas de las rocas, y la densidad. Para esto, se emplea el procedimiento establecido por ASTM e



ISRM. Calle y Verdezoto, (2021), menciona que la densidad es la masa por unidad de volumen

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Eq. (2)}$$

Donde:

ρ = Densidad

m = Masa del material

v = Volumen del material

2.2.5.2. Ensayo de compresión simple (UCS).

El ensayo de UCS, consiste en aplicar cargas axiales a los testigos de roca intacta observar figura 3. Los especímenes son por lo general de forma cilíndrica en relación 1 a 2 donde la altura es el doble del diámetro y: se define por:

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. (3)}$$

Donde:

σ_c = Resistencia a la compresión.

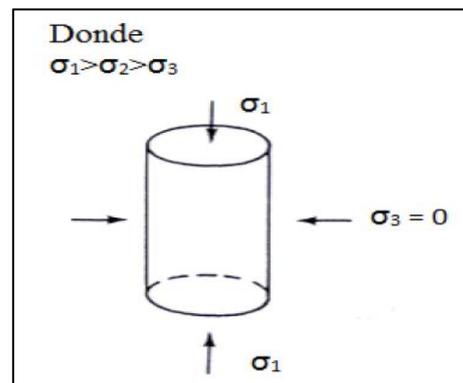
F = Fuerza aplicada

A = Sección inicial de la muestra

Este ensayo compresión simple o uniaxial el más preciso y certero para determinar el resultado de resistencia en testigos de roca intacta.

Figura 2

Compresión uniaxial.



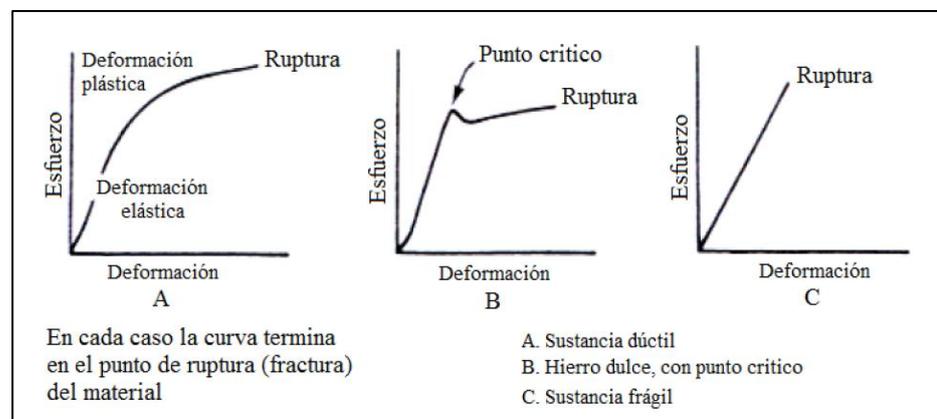
Fuente: (Calle & Verdezoto, 2021)

2.2.5.3. Deformación.

Al someter una muestra de roca con una carga, entonces cambia de forma y de volumen. Durante el período de aplicación del esfuerzo, este y la deformación son inseparables, por lo que se acostumbra a estudiar a la deformación mediante gráficas conocidas como Esfuerzo-Deformación, tal como se observa en la figura 3.(Marinos & Hoek, 2000).

Figura 3

Curvas de deformación.



Fuente:(Marinos & Hoek, 2000).

2.2.6 Clasificación geomecánica de Bieniaswki RMR

Bieniawski (1989) propone el sistema de clasificación Rock Mass Rating el cual se obtiene al sumar las puntuaciones obtenidas de la valoración de los parámetros que oscilan entre 0 y 100, este último indica que, a mayor valoración, mayor calidad de roca.

Los diez parámetros a evaluar son:

- Resistencia a la compresión simple de la roca intacta
- Índice de calidad de la roca (RQD)
- Espaciamiento.
- Persistencia.
- Apertura.
- Rugosidad.
- Relleno.
- Condición.
- Condición de agua.
- Orientación.

Se pueden clasificar en 5 categorías por tipo de roca.

Tabla 1

Interpretación de los valores de RMR.

Descripción	RMR	Clase de la masa rocosa
Rocas muy buenas	81 – 100	I
Rocas buenas	61 - 80	II
Rocas regulares	41 – 60	III
Rocas malas	21 – 40	IV
Rocas muy malas	0 - 20	V

Fuente: (Bieniawski, 1989)

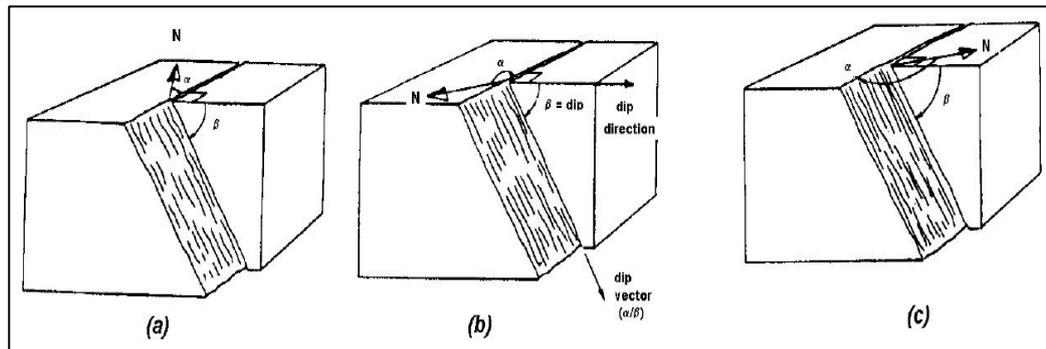
2.2.7 Parámetros de clasificación RMR de Bieniawski (1989)

Los parámetros que más influyen en su comportamiento son:

- a. **Orientación.** Determinan la posición y orientación relativas de las discontinuidades en relación con la orientación media del frente de excavación estas influyen significativamente en la estabilidad del macizo rocoso Para la definición de una familia de discontinuidad, es necesario la medición de un número suficiente de su orientación y llevar en proyecciones estereográficas que permitan determinar estadísticamente las familias existentes. (Palmstrom, 1998)

Figura 4

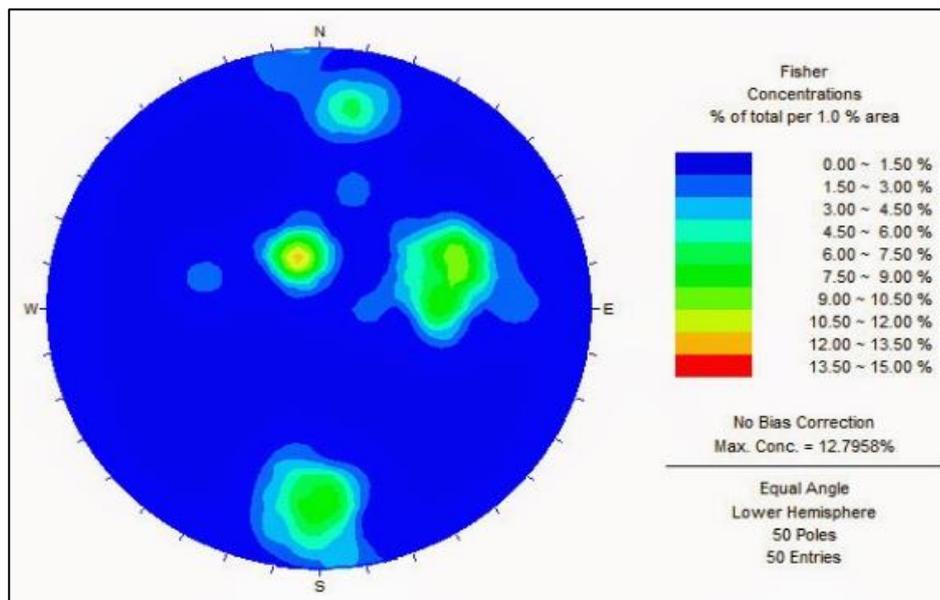
Orientación de discontinuidades.



Fuente: (Palmstrom, 1998)

Figura 5

Estereograma de densidad de polos.



Fuente: (Palmstrom, 1998)

b. Número de familias de discontinuidades. La determinación del número de familias existentes en un macizo se lleva a cabo mediante la representación estereográfica de las orientaciones (ver figura 5) medidas para cada discontinuidad. (Jorda, 2013)

El comportamiento mecánico del macizo rocoso, su modelo de deformación y sus mecanismos de rotura están condicionados por el número de familias de discontinuidades (OSINERGMIN, 2017).

c. Espaciamiento. Se refiere a la distancia que se mide en dirección perpendicular a los planos de discontinuidad de la misma familia.

El espaciado entre los planos de discontinuidad condiciona el tamaño de los bloques del macizo rocoso (Palmstrom, 1998)

Figura 6

Parámetros de discontinuidades en macizo rocoso



Fuente: (Palmstrom, 1998).

d. Continuidad o persistencia. La medida de la continuidad se realiza con una cinta métrica. Cuando el afloramiento permite las observaciones tridimensionales del plano de discontinuidades, entonces se mide la longitud a lo largo de la dirección y buzamiento, figura 6. (Bieniawski, 1989).

Las dimensiones de una discontinuidad se pueden cuantificar observando su longitud en los afloramientos en la dirección del rumbo y en la del buzamiento. Es interesante realizar además un pequeño esquema que refleje gráficamente el tamaño relativo de las familias de discontinuidades (Palmstrom, 1998)

e. Rugosidad. La rugosidad aumenta la resistencia al corte, que decrece al aumentar las aberturas y con el espesor de relleno. Según Hoek y Brown, (1998) indica, el término rugosidad hace referencia tanto a la ondulación de

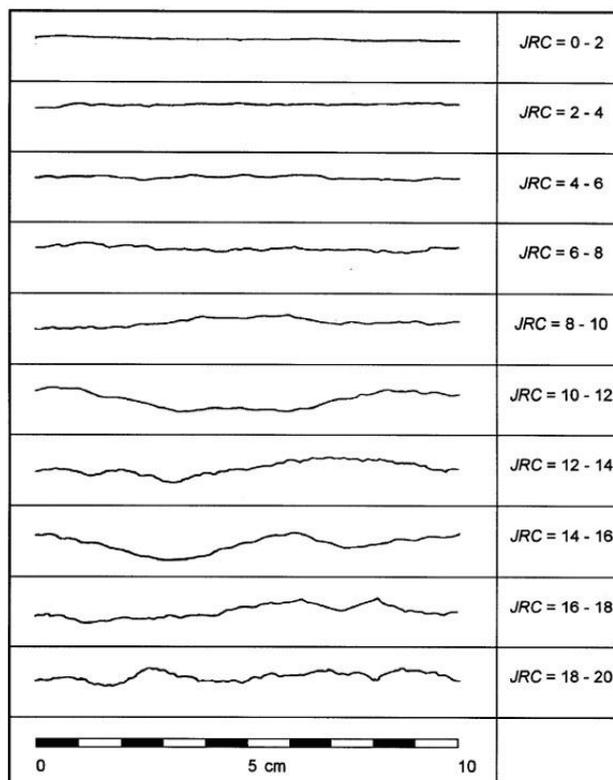
las superficies de la discontinuidad (ondulación) como a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala (aspereza), presentes en la discontinuidad (Hoek, 1997).

El término rugosidad se emplea en sentido amplio para hacer referencia tanto a la ondulación de las superficies de discontinuidad, como a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala de los planos, definidas en ocasiones como de 1° y 2° orden respectivamente. (Marinos & Hoek, 2000).

El valor de JRC se puede estimar visualmente comparando el perfil de la discontinuidad con una serie de perfiles de referencia, como se muestra en la figura 7. Estos perfiles fueron establecidos por Barton y Lien (1974) a partir de ensayos reales de corte directo.

Figura 7

Valores de JRC normalizados.

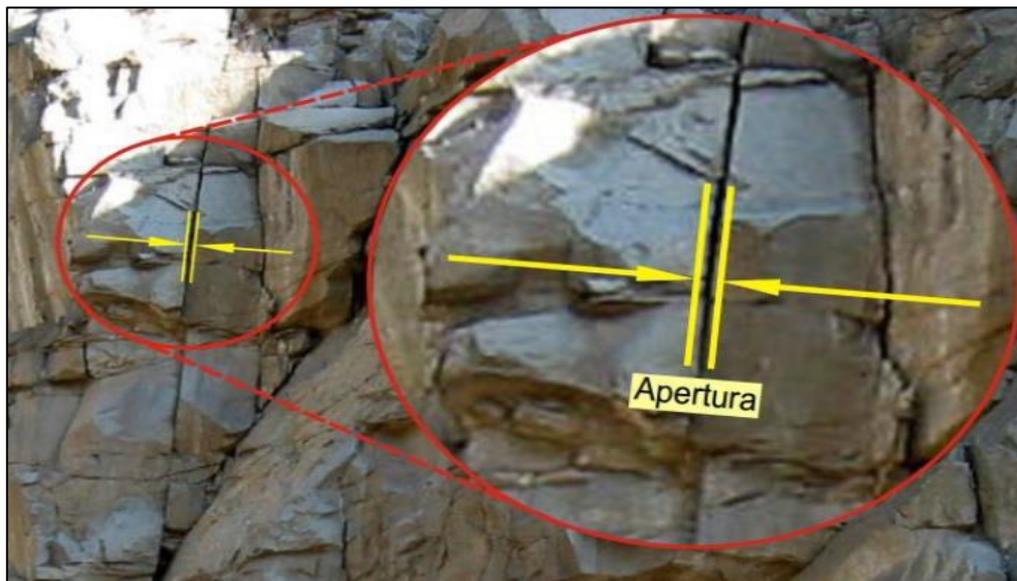


Fuente: (Barton & Lien, 1974)

- f. **Apertura.** Se refiere a las distancias perpendiculares entre las paredes de las discontinuidades cuando no existen relleno. (ver figura 8) Este parámetro puede ser muy variable en diferentes zonas de un mismo macizo rocoso, mientras que en superficie la apertura puede ser alta, ésta se reduce con la profundidad, pudiendo llegar a cerrarse. (Bieniawski, 1989).

Figura 8

Apertura de una discontinuidad.



Fuente: (SNMPE, 2004)

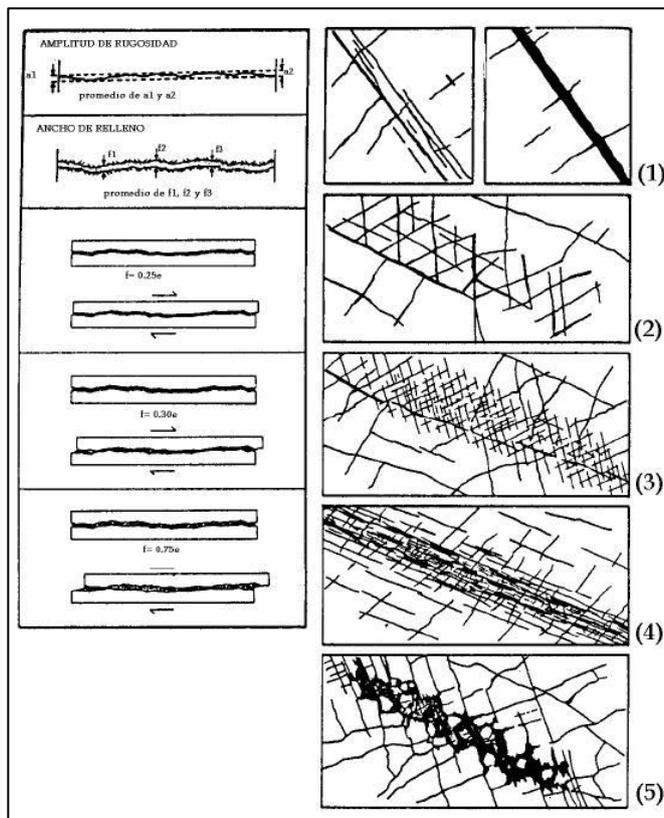
- g. **Relleno.** La presencia de relleno gobierna el comportamiento de la discontinuidad, por lo que deben ser reconocidos y descritos todos los aspectos referentes a sus propiedades y estado. (SNMPE, 2004)
- observar figura 9, en la izquierda está la discontinuidad simple rellena y se indican el número de desplazamiento necesario para que entraben las dos paredes.

En la derecha están las condiciones complejas de rellenos y sellantes:

- (1) zonas de corte;
- (2) diques (sello);
- (3 y 4) roca muy fracturada y cizallada y
- (5) zona de falla.

Figura 9

Discontinuidades simples rellenadas.



Fuente: (SNMPE, 2004)

- h. Agua subterránea.** En la extracción minera subterránea es indudable que cada año se extraen muchos miles de millones de productos minerales y para ello, tienen que extraerse grandes cantidades de agua para obtener estos resultados; agua que de no ser extraída haría imposible el trabajo en la mina. (Bieniawski, 1989)

- i. **Agua en la discontinuidad.** Según Calle & Verdezoto, (2021), indica que la existencia de agua en la masa rocosa proviene del caudal que circula por la discontinuidad, y en algunas rocas permeables las filtraciones son mediante el macizo rocoso, clasificándolas como: impermeable (serían discontinuidades cerradas), secas (abiertas o rellenas sin agua), húmeda (abiertas o rellenas con muestras de humedad), goteo y fluencia, cuando el agua fluye como si se tratara de un manantial como se aprecia en la figura 10.

Figura 10

Presencia del agua en labor subterráneo



Fuente: (SNMPE, 2004).

- j. **Meteorización.** la evaluación se realiza por observación directa del afloramiento y comparación de los índices estandarizados. En ocasiones puede ser necesario fragmentar un trozo de roca para observar la meteorización del macizo rocoso (Jorda, 2013)

2.2.8 Índice de calidad de la roca (RQD)

El índice de calidad de roca, RQD (Deere, 1964), es uno de los sistemas más utilizados para caracterizar la competencia de la masa rocosa. El RQD indica los porcentajes de calificación a la masa rocosa, del 100% que es el más competente y al 0% que es el menos competente. Ver tabla 2

Tabla 2

Interpretación de los valores de RQD.

Descripción RQD	Valor de RQD
Rocas muy pobres	0 – 25
Rocas pobres	25 – 50
Rocas regulares	50 – 75
Rocas buenas	75 – 90
Rocas excelentes	90 - 100

Fuente: (Deere, 1967)

El RQD se considera una estimación preliminar y rápida de las condiciones del macizo rocoso, que debe complementarse con otros sistemas de clasificación del macizo rocoso según sea necesario.

2.2.9 Sistema de clasificación de Q de Barton

En el año 1974, Barton & Lien propusieron al Instituto Geotécnico Noruego (NGI) el sistema Q de la clasificación de la masa rocosa en base a 200 casos de túneles y cavernas. Ellos definieron la calidad macizo rocoso Q a través de la Ecuación 4.

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n}\right) \times \left(\frac{J_r}{J_a}\right) \times \left(\frac{J_w}{SRF}\right) \quad Eq. (4)$$

Donde

- La primera división pertenece a la estimación del tamaño del bloque que conforma la masa rocosa.
- La segunda división pertenece a la estimación de las resistencias al corte entre los bloques.
- El tercer cociente representa lo que Barton & Lien (1974) denominaron esfuerzo activo.

El principal objetivo del sistema Q es caracterizar el macizo rocoso y proporcionar un diseño empírico preliminar del sistema de sostenimiento para túneles y cavernas. Este es considerado el mejor sistema de clasificación para el sostenimiento de túneles. Ver tabla 3

Tabla 3

Clasificación del macizo rocoso en base a los valores “Q”.

Q	Calificación
0.001 – 0.01	Excepcionalmente pobre
0.01 – 01	Extremadamente pobre
0.1 – 1	Muy pobre
1 – 4	Pobre
4 – 10	Regular
10 – 40	Buena
40 – 100	Muy buena
100 – 400	Extremadamente buena
400 – 1000	Excepcionalmente buena

Fuente: (Ochoa et al., 2020)



2.2.10 Interrelación entre el índice Q de Barton y RMR de Bieniawski

La interrelación de los dos índices de clasificación, RMR de Bieniawski (1989) y el Q de Barton (1974), fueron indicados por varios investigadores. Bieniawski (1989) utilizó 111 historiales de casos que incluyeron 62 escandinavos, 28 sudafricanos y 21 otros casos documentados de los Estados Unidos que cubren todo el rango de Q y RMR para proponer la siguiente correlación:

- Interrelación de Bieniawski

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \quad Eq. (5)$$

Según la historia de caso de Nueva Zelanda, Rutledge y Preston (1978) fueron propuestos por una correlación distinta como:

- Interrelaciones de Rutledge y Preston (1978)

$$RMR = 5.9 \ln Q + 43 \quad Eq. (6)$$

Moreno (1980), Cameron-Clarke y Budavari (1981), y Abad et al. (1984) también propusieron diferentes correlaciones entre Q y RMR como se presenta en las Ecuaciones, respectivamente.

- Interrelaciones de Cameron-Clarke (1981)

$$RMR = 5.4 \ln Q + 55.2 \quad Eq. (7)$$

- Interrelación de Budavari (1981)

$$RMR = 5 \ln Q + 60.8 \quad Eq. (8)$$



- Interrelación de Abad et al. (1984)

$$RMR = 10.5 \ln Q + 41.8 \quad Eq. (9)$$

El análisis de la correlación dada en la ecuación (5) hasta la ecuación (9) se basaron en 115 historias de casos, considerando 77 reportados por Bieniawski y 34 recogidos de India, indican que el coeficiente de correlaciones de estos enfoques no es muy confiable. La correlación de Rutledge y Preston (1978) proporcionaron el mayor coeficiente de correlación de 0.81 seguido de Bieniawski (1976), Abad et al. (1984), Moreno (1980), y Cameron-Clarke y Budavari (1981) en orden decreciente.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación

El área de estudio se localiza al suroeste de la ciudad de Puno, entre las cordilleras occidental y oriental. Sus coordenadas UTM son 389920E y 8241655N, con una altitud entre 3980 y 4050 m.s.n.m. Aproximadamente en el kilómetro 7.4 de la ruta Puno – Moquegua. Conocida como la "mina escuela" con un área de aproximadamente 100 hectáreas ver figura 11.

Figura 11

Ubicación de la mina Pomperia.



Nota: Ubicación con imagen referenciada.

3.1.2. Accesibilidad

Tabla 4

Cuadro de accesibilidad.

Accesibilidad	Distancia	Tiempo	Vía
Lima – Juliaca	850 km	105 min	aérea
Juliaca – Puno	45 km	40 min	terrestre
Puno – Pompería	7.4 km	15 min	terrestre

3.2. LITOESTRATIGRAFÍA REGIONAL

3.2.1. Sistema cretáceo

3.2.1.1. Formación Ayabacas (Kis-ay)

El INGEMMET asigna la categoría de Formación a estas rocas, y el nombre fue dado por Cabrera y Petersen en 1936, Originadas en la localidad de Ayabacas, ubicada entre Juliaca y Taraco, estas rocas sedimentarias tienen un origen marino, formadas por la acumulación de sedimentos durante una transgresión marina que ocurrió en el período cretácico medio a superior.

Litológicamente, esta formación está compuesta por calizas grises claras, dolomías, margas y lutitas limolíticas, con fósiles e intercalaciones de chert.

El tectonismo andino afectó esta formación, manifestándose como mega brechas y, en algunos casos, mostrando pliegues, como en el afloramiento al sur de la zona de estudio (mina Pompería).



3.2.1.2. Grupo Puno

Están compuestos por intercalaciones de areniscas, lutitas y conglomerados de diversas tonalidades que son marrón a gris pardusco, y se distinguen porque son blandas y fácil desgaste. En la zona de Jayllihuaya afloran con rumbo E-W y buzamiento moderado. Por la erosión se dio lugar a la depresión con modelado suave en laderas y suelo superficial.

3.2.2. Sistema paleogeno-neogeno-cuaternario

3.2.2.1. Grupo Tacaza (PN-ta)

El término "Volcánico Tacaza" se originó de la mina Tacaza y fue utilizado por primera vez por Yenks en 1946. Posteriormente, en 1976, Maroco y Pino elevaron su categoría a la de grupo. Estas formaciones geológicas fueron afectadas por la orogenia Andina, lo que resultó en afloramientos con fracturas y fallas. Estos defectos estructurales fueron aprovechados por fluidos mineralizantes, originando diversos yacimientos minerales de importancia económica en la actualidad. La Formación Ayabacas es destacada dentro de este grupo, atribuyéndosele una edad que abarca desde el paleógeno hasta el neógeno.

3.2.2.2. Grupo Barroso – Umayo

Mendivil (1965) identificó una cadena de conos volcánicos en la cordillera del Barroso, compuesta por rocas volcánicas y vulcano-clásticas desarrolladas en varios eventos eruptivos. Esta formación incluye flujos de lava de andesitas, andesitas basálticas y traquitas con texturas vesiculares



y porfiríticas, junto con acumulaciones de piroclastos gris claro. Los afloramientos muestran disyunción columnar al final de las coladas de lava y han sido afectados por la Orogenia Andina, formando bloques de lava separados por fallas. Relacionada con el grupo Tacaza, se estima que estas rocas tienen una edad neógeno-cuaternaria.

3.2.2.3. Cuaternario coluvial (Qh-co)

Los sedimentos no consolidados, tanto sub-redondeados como angulosos, provienen de la meteorización y erosión de rocas expuestas en las laderas de los cerros. Estos materiales permanecen localizados cerca de su fuente original y son movidos hacia los valles por la acción de la gravedad y la lluvia, para luego ser transportados por corrientes fluviales locales.

3.2.2.4. Cuaternario aluvial (Qh-al)

Se trata de materiales no consolidados del cuaternario reciente, constituidos por sedimentos transportados y depositados por los ríos.

3.3. LITOESTRATIGRAFÍA LOCAL

3.3.1. Cenozoico

3.3.1.1. Grupo Tacaza (pn-ta)

En la zona de estudio, la mayoría de los afloramientos están compuestos por rocas volcánicas de tipo andesita. Según el mapeo realizado, se identificaron tres tipos de andesitas-traquiandesitas, que se

denominan arbitrariamente andesitas de tipo a, b y c, descritas a continuación:

- **Traquiandesita:** Roca volcánica intermedia con un alto contenido de feldespato potásico. En la zona de estudio, las plagioclasas están alteradas a arcillas y los minerales máficos a óxidos de hierro.
- **Andesita de tipo a:** Roca volcánica con textura equigranular. Esta variedad de andesita se encuentra bien emplazada y probablemente es producto de la primera etapa del derrame lávico del grupo Tacaza.
- **Andesita de tipo b:** Con textura porfírica, las plagioclasas cálcicas son de grano fino y las plagioclasas sódicas están alteradas a arcillas como caolín y sericita.
- **Andesita de tipo c:** Presenta textura porfírica, con clorita resultante de la alteración de biotitas durante la última fase del derrame lávico del volcánico Tacaza.

Figura 12

Columna estratigráfica de las formaciones en la zona de estudio

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	GROSOR	LITOLOGIA	DESCRIPCION	
CENOZOICA	Cuaternario	Holocena	Dep. Aluviales	15		Depositos de grava con matriz areno-limosa	
			Dep. Coluviales	100		Depositos de grava con matriz arenosa, semiconsolidada proveniente de la meteorización de las roca volcánicas de lugar	
	Neógeno	Plioceno	Grupo Barroso	1000		Conformada predominantemente por lavas de composición dacítica a traquiandesítica	
		Miocena media inferior	Grupo Tacaza	3601		Flujos andesíticos, tobas, brechas y areniscas vulcanoclásticas	
	Paleógeno		Oligocena	Grupo Puno	100 3000		Conglomerados, areniscas de grano grueso, limolitas y delgados niveles tobáceos, que se encuentran a una distancia considerable de la zona
			Eocena				
Paleocena							
MESOZOICA	Cretáceo	Superior	Grupo Moho	1200		Calizas y Dolomitas grises, que no estan en la zona de los travers sin embargo se tomo en consideracion para la colimna estratigrafica local.	
Inferior		Fm. Ayavacas					



3.3.1.2. Depósitos coluviales (Qh-co)

Están compuestos por partículas angulosas a subredondeadas, mezcladas con limo arcilloso. Su color varía de pardo amarillento a rojizo debido a la presencia de óxidos. Estos sedimentos se forman por la meteorización y erosión de los afloramientos rocosos, que incluyen estructuras mineralizadas y áreas de alteración.

3.3.1.3. Depósitos aluviales (Qh-al)

Son sedimentos transportados por corrientes de agua y depositados en los valles, compuestos principalmente por gravas con clastos de roca volcánica como andesitas y brechas, además de minerales como jaspe, mezclados con arena limosa y limo arcilloso.

3.4. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

3.4.1. Fallamientos

- o **Falla Laraqueri:** Es una falla regional que mantiene un paralelismo a la vía Puno - Moquegua con una dirección de N10E.
- o **Falla Itapilluni:** Ubicado al oeste de la zona de interés con una dirección NW.
- o **Falla Cancharani:** Es una falla transversal conformada por un sistema definido con una dirección de NE-SW.
- o **Falla Pichanaqui:** Ubicado en el lado sur de la zona de interés con una dirección de NW-SE.



3.4.2. Fallamiento pre-mineral

Las fallas que se formaron antes de la mineralización de estas; a estas fallas dieron lugar; las fallas principales como: Laraqueri y Itapilluni, dando así un sistema Riedel de tipo dextral con una dirección mayoritaria de NE- SW.

3.4.3. Fallamiento post-mineral

Las fallas post-mineralización se formaron después del emplazamiento de los minerales en vetas, las cuales movieron a estas con una dirección NW-SE son fallas dextrales, también fallas sinestrales los cuales dieron y/o completaron el sistema Riedel, notaremos las fallas inferidas, corroboradas, fallas mineralizadas, normales, inversas; los cuales nos darán la interpretación del sistema Riedel.

3.4.4. Diaclasamientos

Los diaclasamientos son estructuras geológicas secundarias que se forman como resultado de intensas deformaciones causadas por procesos endógenos.

Los macizos rocosos han sido sometidos a esfuerzos tectónicos, lo que ha dado lugar al desarrollo de fracturas de tensión y cizalla en el área de estudio. Estas fracturas están controladas por la presencia de fallas regionales o locales.

En la zona también se observaron pequeñas diaclasas que adoptan la forma de fracturas tipo Stockwork. Estas diaclasas se formaron debido a la infiltración de fluidos hidrotermales y fallamiento inducido por fuerzas tensionales. La mineralización posterior se produjo después del diaclasamiento, asociada al emplazamiento del magma, y se manifiesta principalmente en forma de vetillas de baritina (pre-mineral).



3.4.5. Sistemas estructurales

Se tiene 3 principales sistemas de falla principales las cuales también son llamada fallas autóctonas y las fallas secundarias son alóctonos y estos sistemas se muestra el mapa de geológica estructural.

3.5. GEOLOGIA Y YACIMIENTO

Las Minas de Salcedo y Laykakota, incluyendo una parte de la mina Pomperia, han sido explotadas desde la época colonial bajo la administración inicial de los hermanos don José y Gaspar Salcedo, quienes llegaron a Puno en 1660.

3.5.1. Alteraciones hidrotermales

Se han identificado halos de cambios como la alteración argílica, propilítica y silicificación en las rocas circundantes, los cuales fueron causados por la acción de fluidos hidrotermales durante su formación. Estos anillos tienen un espesor de aproximadamente 5 metros.

3.5.2. Alteracion argilica intermedia

Estos halos de alteración que acompañan a las vetas muestran una intensidad reducida debido a la precipitación de minerales en condiciones de pH más alcalino.

La alteración argílica intermedia indica un grado más avanzado de hidrólisis en comparación con la alteración propilítica, ocurriendo a temperaturas de entre 400 y 100°C. Su conjunto mineralógico incluye Caolinita, Illita y montmorillonita, con predominancia de caolinita.



3.5.3. Alteración propilitica

El halo de alteración observable se extiende hasta 2 metros desde la zona de alteración argílica, indicando que rodea esta área. Además, presenta una tonalidad verdosa.

Esta transformación ocurrió a temperaturas que oscilaron entre 400 y 100°C, disminuyendo hacia valores más bajos.

El conjunto mineralógico incluye clorita, epidota, calcita y piritita, aunque esta última no se observa en esta región debido a la oxidación de los minerales en la superficie.

3.5.4. Silicificación

Esta alteración se encuentra en mayor cantidad a lo largo del afloramiento de las rocas en dirección norte-sur. Son fácilmente distinguibles debido a su mayor resistencia a los agentes erosivos como la meteorización y la erosión; también se conocen como "erosión diferencial" y forman farallones. Esto implica un aumento en el contenido de sílice, con el desarrollo de cuarzo secundario y ópalo.

Esta alteración se formó a temperaturas comprendidas entre 600°C y 100°C. El conjunto mineralógico asociado incluye cuarzo, calcedonia y jaspe.

3.6. GEOMORFOLOGIA

La geomorfología es el resultado de la interacción de los agentes exógenos y endógenos sobre la superficie terrestre. A nivel regional y local, esto ha dado lugar a levantamientos, valles escarpados, laderas, colinas y llanuras aluviales con depósitos de materiales clásticos transportados por los ríos. Ver tabla 5



3.6.1. Geomorfología regional

El área de estudio está en la meseta del Lago Titicaca, una región elevada entre las cordilleras Oriental y Occidental. El relieve es montañoso y accidentado, con cadenas que se extienden de NW a SE, típicas del dominio andino. La zona incluye estructuras volcánicas del Cenozoico, alteradas por el tectonismo andino y herciniano.

3.6.2. Geomorfología local

El relieve local se forma por procesos geodinámicos internos como la formación de fallas y su mineralización posterior, junto con la influencia de procesos externos como la meteorización, erosión, transporte y sedimentación. Se observa una erosión laminar superficial con transporte de sedimentos perpendicular al curso de los ríos, seguido por un movimiento hacia el suroeste y depósito en las llanuras aluviales de Cutimbo. Este proceso también ha modelado las laderas de los valles, creando valles en forma de "V" y "U", estos últimos desarrollados durante la última glaciación del Pleistoceno, que incluye materiales cuaternarios.

- a. **Hidrología:** La intensa erosión pluvial y fluvial ha jugado un papel fundamental en la configuración del relieve. La acción erosiva de los ríos ha dado lugar a la formación de valles juveniles (en forma de "V") y valles maduros (en forma de "V" amplia), como resultado de la deposición de sedimentos a lo largo del fondo del valle. En áreas con pendientes casi horizontales, se observan terrazas y llanuras aluviales, mientras que en zonas con alta saturación de los suelos se encuentran los bofedales.

3.6.3. Unidades geomorfológicas

Se identificaron regionalmente cuatro sistemas geomorfológicos: Antrópico, Fluvial-Aluvial, montañoso, los cuales agrupan diversas unidades y subunidades geomorfológicas. Estas unidades se detallan a continuación:

Tabla 5

Unidades geomorfológicas

Sistema	Unidad	Descripción
Antrópico	Viviendas	No hay presencia de habitantes en la zona.
	Red Vial	Vías naturales de construcción natural para el acceso a la mina.
	Ríos	Forman meandros y presentan carcavamiento
	Pasivos ambientales	Bocamina, piques y desmontes
	Llanura aluvial	Presenta características por erosión.
Fluvial – Aluvial	Valle en “V”	Desarrollados durante la desglaciación.
	Bofedales	Forman partes más húmedas y tiene vegetación.
	Laderas	Tienen pendientes suaves.
Glaciar	Valle en “U”	Desarrolladas durante la desglaciación del pleistoceno.
Montañoso	Montañas bajas	Con elevaciones entre 300 a 1000m.
	Escarpas	Geoformas de pendientes vertical.
	Colinas altas	Presentan elevaciones entre 150 a 300m.
	Colina media	Presentan elevaciones entre 80 a 150 m.
	Colinas bajas	Con elevaciones entre 20 a 80m.

3.7. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

La caracterización hidrogeológica es un proceso crucial para comprender las propiedades y el comportamiento del agua subterránea en una región específica. En el



contexto de la mina Pompería, esta caracterización tiene una influencia directa en el macizo rocoso, afectando diversos aspectos geológicos y operacionales.

3.7.1. Impactos en el macizo rocoso

- **Presión hidrostática:** El conocimiento detallado de la distribución y el movimiento del agua subterránea permite prever la presión hidrostática en el macizo rocoso. Una presión no controlada puede debilitar la estructura del terreno, aumentando el riesgo de deslizamientos y colapsos.
- **Fracturación y fisuración:** La presencia de agua subterránea puede influir en la formación y propagación de fracturas en el macizo rocoso. Las fracturas llenas de agua pueden actuar como vías de deslizamiento, comprometiendo la estabilidad del terreno.

3.7.2. Planeamiento de excavaciones:

- **Diseño de túneles y galerías:** La información hidrogeológica es vital para el diseño y la construcción de túneles y galerías. Conocer la ubicación de acuíferos y las zonas de alta permeabilidad ayuda a evitar inundaciones y a planificar medidas de drenaje eficientes.
- **Selección de métodos de excavación:** Dependiendo de la saturación del macizo rocoso, se pueden seleccionar métodos de excavación que minimicen el impacto del agua subterránea y aseguren una operación segura.



3.7.3. Gestión de recursos hídricos:

- **Drenaje y bombeo:** La caracterización hidrogeológica permite diseñar sistemas de drenaje y bombeo efectivos para controlar el nivel freático y evitar la acumulación de agua en las zonas de trabajo.
- **Recarga y conservación de acuíferos:** Identificar áreas de recarga natural y diseñar estrategias para conservar los acuíferos es esencial para la sostenibilidad a largo plazo del recurso hídrico.

3.7.4. Calidad del agua:

- **Control de contaminantes:** El estudio de la calidad hidroquímica del agua subterránea ayuda a identificar posibles fuentes de contaminación y a implementar medidas para proteger la calidad del agua en el macizo rocoso.
- **Uso industrial:** La información sobre la calidad del agua subterránea permite determinar su idoneidad para usos industrial.

La caracterización hidrogeológica de la mina Pompería es fundamental para comprender y gestionar el macizo rocoso de manera efectiva.

Afecta la estabilidad del terreno, la planificación de excavaciones, la gestión de recursos hídricos y la calidad del agua.

Al proporcionar una base sólida de información, se pueden tomar decisiones informadas que mejoren la seguridad, eficiencia y sostenibilidad de las operaciones mineras en la región.



3.8. DISEÑO METODOLÓGICO

3.8.1. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo descriptivo, enfocada en caracterizar un fenómeno para entender su estructura y comportamiento.

3.8.2. Enfoque de la investigación

La investigación fue de un enfoque cuantitativo. Las variables por su naturaleza fueron cuantificables porque se utilizaron los valores numéricos para evaluar la calidad de la masa rocosa, y son discretas porque se usaron los valores enteros.

Según Hernández et al. (2006) su clasificación se toma los estudios de medición de variables independientes, donde su misión es observar y cuantificar la modificación de una o más características en un grupo, sin establecer relaciones entre éstas.

3.8.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue longitudinal y no experimental, con recolección de datos en múltiples momentos y en un entorno de campo.

No se manipularon variables, permitiendo al investigador obtener información sin alterar las condiciones naturales, lo que define su carácter no experimental.

3.9. POBLACIÓN

La población está conformada por todo el macizo rocoso y toda la longitud de la galería. Al respecto Hernández et al. (2006), indica que la población es una agrupación de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones.

3.10. MUESTRA

La muestra fue constituida por la longitud de 84 metros lineales de la galería.

3.10.1. Tipos de muestreo

El muestreo fue de tipo no probabilístico, las muestras se recolectaron según el afloramiento de la roca existente, considerando la caracterización geomecánica para determinar las propiedades requeridas.

El muestreo se realizó cada 10 metros de longitud de la labor lo cual dependió de la característica estructural en cada estación, obteniendo un total de 8 estaciones geomecánicas.

Para determinar el tamaño de muestra se ha utilizado la siguiente fórmula.

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2(N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra

N = Tamaño de la población 84 m.

Z = Parámetros estadísticos que dependen del Nv. de confianza 95% = 1.96



$e = \text{Error de estimación máxima aceptada precisión} = 5\% = 0.05$

$p = \text{Probabilidad de que ocurran los eventos estudiados} = 50\% = 0.50$

$q = (1-p) = \text{Probabilidad que no ocurran los eventos estudiados} = 1-0.05 = 0.95$

$$n = \frac{84 * 1.96^2 * 0.5 * 0.95}{0.05^2(84 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.95} = 75.42 \text{ m}$$

3.11. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se utilizó un formato de mapeo geomecánico detallado, siguiendo las normas de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM), para obtener y registrar información.

Este formato incluye los parámetros del sistema de clasificación RMR, como el tipo y espaciamiento de las discontinuidades, orientación, persistencia, apertura, rugosidad, tipo y espesor del relleno, grado de intemperización y presencia de agua.

Para el registro de los datos, fue necesario utilizar las herramientas siguientes:

- Un flexómetro que se utilizó para medir la longitud de la discontinuidad.
- Brújula tipo Brunton: Utilizado para medir el Dip y Dip Dir
- Cuadernillo de campo y formatos de recolección de mapeo geomecánico
- Laptop: Herramienta donde se procesarán todos los datos obtenidos.

3.12. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Según la presente investigación es por observación, que es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho,



fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos. (Hernández et al., 2006)

Se obtendrán los parámetros geomecánicos del macizo rocoso utilizando el formato de mapeo especificado en el anexo 09. Se considerarán los siguientes aspectos:

- **Orientación de las discontinuidades:** La dirección y el ángulo medidos de las superficies de fractura respecto a un sistema de referencia geodésico local.
- **Espaciado entre discontinuidades:** La distancia promedio medida perpendicularmente entre planos de discontinuidades adyacentes en una roca.
- **Índice de volumétrico de discontinuidades:** La fracción del volumen total de una masa de roca ocupada por discontinuidades, calculada a partir de la suma de las áreas proyectadas de las discontinuidades dividida por el volumen total.
- **Persistencia de discontinuidades:** La longitud trazada de una discontinuidad a lo largo de su trayectoria, independientemente de cambios de dirección o interrupciones menores.
- **Abertura de discontinuidades:** La separación física entre los lados opuestos de una discontinuidad medida perpendicularmente a la superficie de fractura.
- **Relleno en las discontinuidades:** Los materiales o sustancias que llenan los espacios vacíos dentro de una discontinuidad, que pueden afectar su comportamiento mecánico.
- **Rugosidad:** La irregularidad de las superficies de las discontinuidades, que influye en la resistencia al deslizamiento y la interacción entre bloques rocosos.
- **Meteorización de discontinuidades:** Los cambios físicos y químicos que afectan las superficies de las discontinuidades debido a la exposición a condiciones atmosféricas y ambientales.



- **Resistencia:** La capacidad de las superficies de fractura para soportar esfuerzos sin deformaciones significativas o fallas catastróficas bajo cargas aplicadas.
- **Agua en las discontinuidades:** La presencia y distribución de agua dentro de las discontinuidades, que puede afectar la estabilidad de las masas rocosas mediante la presión hidrostática y el efecto de congelamiento-deshielo.

Las actividades llevadas a cabo incluyeron estudios de campo exhaustivos, pruebas de laboratorio meticulosas y análisis detallados, empleando todos los parámetros establecidos en esta investigación.

En el ámbito insitu de campo se desarrollaron las siguientes tareas:

- **Reconocimiento geológico-geomorfológico de la zona:** Evaluación del entorno geológico y morfológico local para entender su influencia en las condiciones del macizo rocoso.
- **Mapeo geomecánico del macizo rocoso por línea de detalle:** valoración de los parámetros geomecánicos del macizo rocoso a lo largo de trayectorias específicas.
- **Toma de muestras de roca** Recolección de muestras representativas para cuantificar las características físicas y mecánicas de la roca.
- **Recopilación de información:** Reunión de documentos y datos suplementarios que puedan enriquecer la comprensión y análisis del estudio en curso.

Se realizaron los siguientes ensayos en el laboratorio de mecánica de rocas:

- Propiedades físico-mecánicas.
- Ensayos UCS



En gabinete de estudio se llevó a cabo:

- **Revisión de la información relevante para la investigación:** Análisis crítico y recopilación de estudios y datos pertinentes relacionados con el tema de investigación.
- **Elaboración de los planes de trabajo, detallando la ejecución del estudio:** Desarrollo de planes operativos que especifican los procedimientos y métodos para llevar a cabo el estudio de manera práctica y efectiva.
- **Procesamiento y análisis de la información obtenida del mapeo geomecánico:** Manipulación y evaluación de los datos recopilados durante el mapeo para extraer conclusiones significativas sobre las características geomecánicas del área estudiada.
- **Aplicación de técnicas estereográficas y estadística convencional:** Utilización de métodos gráficos y análisis estadísticos estándar para interpretar datos geológicos y geotécnicos.
- **Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la roca intacta, discontinuidades y masa rocosa:** Análisis de las características mecánicas y físicas de la roca no alterada, así como de las discontinuidades y la masa rocosa circundante.
- **Clasificación geomecánica de la masa rocosa basada en el mapeo geomecánico:** Categorización de las condiciones geomecánicas del macizo rocoso utilizando la información obtenida del mapeo detallado.
- **Zonificación geomecánica:** División del área de estudio en zonas según las propiedades geomecánicas identificadas, con el fin de entender mejor la variabilidad del comportamiento de la roca.



- **Evaluación de métodos numéricos para determinar el factor de seguridad:**
Análisis de técnicas computacionales para calcular la estabilidad del macizo rocoso, considerando las características obtenidas del estudio.
- **Análisis y discusión de resultados:** Interpretación crítica de los hallazgos del estudio, con un enfoque en sus implicaciones para la ingeniería geotécnica y la planificación de proyectos.

3.12.1. Procesamiento de la información por métodos numéricos

La información se procesó para determinar los planos mayores de cada estación geomecánica mediante el software Dips, Los comportamientos de las cuñas subterráneas para analizar el factor de seguridad en la galería de Pomperia el cual fue analizada en el software Unwedge de Rocscience.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA GALERÍA

Para la evaluación y caracterización del macizo rocoso realizo por estaciones geomecánicas previa limpieza y demarcación de la zona a evaluar, midiendo y anotando datos de los principales parámetros como: la orientaciones de las principales familias de discontinuidades, resistencia a la compresión simple, mediante ensayos de laboratorio, RQD, espaciamiento, persistencia, separación, rugosidad, relleno de las discontinuidades, meteorización y condiciones de humedad; estos datos permitirán estimar los índices de calidad del macizo rocoso, como son el RMR de Bieniawski. (OSINERGMIN, 2017)

El estudio geomecánico se realizó mediante un mapeo por línea de detalle, zonificando la labor en cada estación geomecánica (Jordá Bordehore et al., 2016) se utilizaron los formatos de mapeo en el anexo 11 para recabar la información para lograr los objetivos del presente trabajo de investigación.

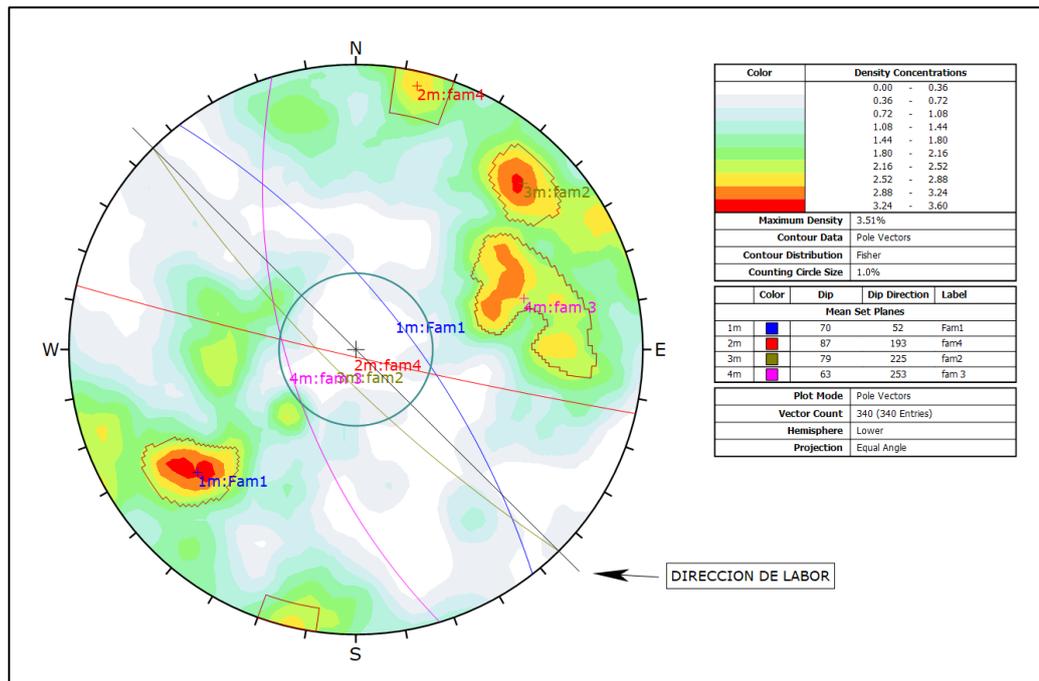
4.1.1. Familias de discontinuidades y orientación de juntas

Se registró la orientación de las discontinuidades usando el buzamiento (DIP) y la dirección de buzamiento (DIP DIR) recolectando 340 datos los cuales son procesados con el software Dips de Rocscience.

La representación estereográfica de los 340 datos se muestra en la figura 13, considerando proyecciones estereográficas para toda la galería. Se identificaron cuatro familias de discontinuidades a lo largo de la galería, clasificadas según su predominancia. ver tabla 6

Figura 13

Proyección estereográfica



Fuente: elaboración propia en el software Dips

Tabla 6

Identificación de planos mayores - galería principal Pompería

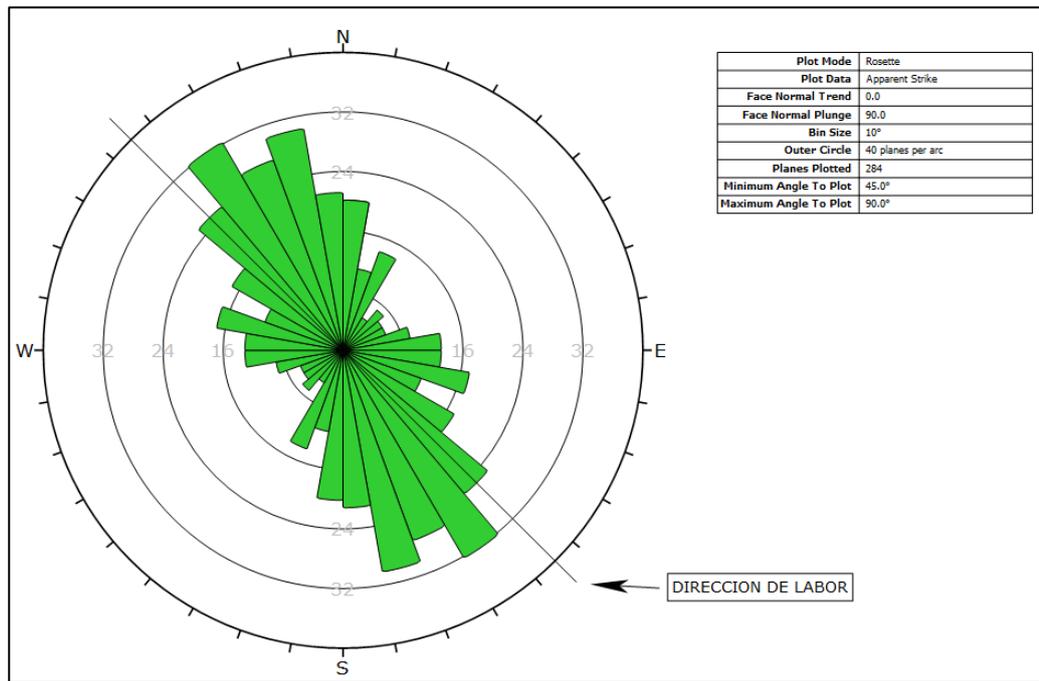
Familia	Dip	Dip Dir
Familia 1	70	52
Familia 2	87	193
Familia 3	79	225
Familia 4	63	253

Nota: Planos mayores

Mediante el estereograma de rosetas en la figura 14, donde se aprecia la que la mayor concentración de familias están en dirección NW y en paralelo a la dirección de la galería Pompería.

Figura 14

Diagrama de rosetas



Fuente: elaborado con el Software Dips.

Del análisis de rosetas en el software Dips también se puede determinar que, las familias de discontinuidades están en paralelo a la labor de avance, lo cual lo convierte en desfavorable.

En tabla 8 se detalla el análisis de orientación y de familias de cada una de las estaciones a estudiar con más detalle, de las cuales se determinaron los planos mayores para ser evaluados en el Software Unwedge para evaluar cuñas y su factor de seguridad para así determinar qué zonas exactamente son estables o inestables.



4.1.2. Buzamiento y dirección de buzamiento

Se tomó el buzamiento de cada una de las discontinuidades con la lectura la brújula tipo Brunton, de las cuales se obtuvieron las principales familias por estación de toda la galería Pomperia, ver tabla 7, donde se detallan el Dip y Dip.

Tabla 7

Resumen de buzamiento y dirección de buzamiento

Estaciones	N°. Familias	Dip	Dip Dir	
Est. 1	3	79	242	
		42	130	
		70	271	
Est. 2	3	40	123	
		51	82	
		49	248	
Est. 3	3	78	157	
		45	97	
		66	30	
Est. 4	3	53	254	
		59	197	
		46	93	
Est. 5	3	Falla	81	192
			85	13
			74	327
Est. 6	4		59	243
			80	277
			79	56
Est. 7	3		62	47
			38	49
			79	232
Est. 8	3		69	52
			81	167
			51	258
Est. 9	3		75	58
			87	222
			81	214
		66	253	
		61	24	

Fuente: Resultados de software Dips

4.1.3. Valoración geomecánica de la roca intacta

4.1.3.1. Densidad y peso específico

Según los resultados obtenidos, se determinó que las diferentes muestras ensayadas en el laboratorio arrojaron resultados no muy diferentes y se encuentran correlacionados entre sí, teniendo como un valor del peso específico aparente aceptable de: 23.77 KN/m³ lo mismo que es decir 0.0234 MN/m³. Del mismo modo también se determinó un valor promedio de densidad: 2.37 G/cm³.

Tabla 8

Resumen de densidad y peso específico de la roca

N°	Estaciones de muestreo	Densidad seca	Porosidad aparente	Peso específico aparente
		(g/cm ³)	(%)	(KN/m ³)
1	Progr. 1 (Boca Mina)	2.39	10.61	23.48
2	Progr. 2 (15 - 20m.)	2.42	1.35	23.78
3	Progr. 3 (25 - 30m.)	2.40	5.32	23.25
4	Progr. 4 (45- 50m.)	2.34	1.50	23.18
5	Progr. 5 (65 - 70m.)	2.38	1.55	23.15
6	Progr. 6 (75 - 80m.)	2.41	2.19	23.32
7	Progr. 7 (80 - 84m.)	2.35	2.20	23.2

Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas de la FIM – UNA Puno

4.1.3.2. Resistencia de la roca intacta in-situ

Se requiere del valor numérico de resistencia de la roca in-situ, para poder procesar y realizar una comparativa con los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio En tal sentido se realizaron pruebas in-

situ, empleando una picota y martillo Schmidt, o esclerómetro los cuales sus resultados se detallan en las siguientes páginas.

4.1.3.3. Método empírico con martillo de geólogo o picota

En la tabla 9, se resume los resultados que se obtuvo en los ensayos realizados in-situ, tomando como zona de muestreo de la labor, siete sectores denominados progresivas y del mismo modo realizando el mismo procedimiento en las caras de la falla principal de la labor.

Se procedió a obtener la resistencia de estas progresivas tanto en caja techo, caja piso, lado derecho y lado izquierdo, para tener un mejor entendimiento de la resistencia de la sección de cada progresiva, de los cuales se obtuvo un valor promedio de la resistencia de cada progresiva a un determinado número de golpes.

Tabla 9

Resistencia de roca in-situ con martillo de geólogo.

Progresivas	Lado Izquierdo (Mpa)	Lado Derecho (Mpa)	Techo (Mpa)	Piso (Mpa)
Progr. 1 (Boca Mina)	50	50	50	70
Progr. 2 (15 - 20m.)	75	50	50	50
Progr. 3 (25 - 30m.)	50	50	50	50
Progr. 4 (45- 50m.)	50	25	30	30
Progr. 5 (65 - 70m.)	50	50	75	50
Progr. 6 (75 - 80m.)	100	120	80	75
Progr. 7 (80 - 84m.)	75	80	50	80

Fuente: Resultados obtenidos in-situ

4.1.3.4. Resultados de resistencia del martillo Schmidt

La tabla 11, presenta las resistencias en Mpa de 7 progresivas según las áreas más críticas de la galería principal de la mina Pomperia, donde se tomaron datos con el martillo Schmidt en las 4 caras de la labor (techo, piso, L. izquierdo y L. derecho), teniendo en cuenta las direcciones de lectura del martillo, según corresponda la dirección perpendicular a la cara de la discontinuidad ver tabla 10.

Tabla 10

Resumen de resistencias in-situ con martillo Schmidt.

Progresivas	Lado izquierdo	Lado derecho	Techo	Piso
Progr. 1 (Boca Mina)	47.8	55.2	44.4	40
Progr. 2 (15 - 20m.)	34.6	39.2	43.6	37.2
Progr. 3 (25 - 30m.)	57	45	43.6	37.2
Progr. 4 (45- 50m.)	32.8	35.4	43.6	37.2
Progr. 5 (65 - 70m.)	20.4	33.8	23.8	56.4
Progr. 6 (75 - 80m.)	84	90.8	56.4	56.4
Progr. 7 (80 - 84m.)	85.8	65	64.4	54

Teniendo estos resultados de resistencia de la galería principal, los procederemos a corroborar conjuntamente con los resultados de resistencia obtenido UCS.

4.1.4. Resultados de los ensayos en el laboratorio

4.1.4.1. Resultados de resistencia a la compresión simple UCS

En la tabla 11 se muestra los diferentes resultados de ensayo UCS realizados en el laboratorio de mecánica de rocas. Estos resultados fueron obtenidos del análisis de muestras obtenidas de 6 progresivas, tanto del

lado izquierdo como el lado derecho de cada progresiva. Estos resultados son utilizados para la clasificación geomecánica tomada por Bieniawski.

Tabla 11

Resultados de las resistencias a la compresión simple.

Progresivas	UCS	UCS corregido
	(Mpa)	(Mpa)
Progr. 1 (Boca Mina - L. Izquierdo)	52.02	49.38
Progr. 1 (Boca Mina - L. Derecho)	62.01	57.93
Progr. 2 (15 - 20m. - L. Izquierdo)	38.50	35.96
Progr. 2 (15 - 20m. - L. Derecho)	57.93	54.76
Progr. 3 (25 - 30m. - L. Izquierdo)	68.03	64.21
Progr. 3 (25 - 30m. - L. Derecho)	78.31	74.03
Progr. 5 (65 - 70m. - L. Izquierdo)	31.57	28.91
Progr. 6 (75 - 80m. - L. Derecho)	96.28	91.44
Progr. 7 (80 - 84m. - L. Izquierdo)	99.89	98.50
Progr. 7 (80 - 84m. - L. Derecho)	120.95	114.69

Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas FIM UNA Puno

Estos resultados se implementaron en la metodología de clasificación geomecánica para la valoración de RMR_{89} .

4.1.4.2. Resultados de resistencia por carga puntual (PLT)

En la tabla 12 se indica los resultados de los ensayos de resistencia a la carga puntual en muestras irregulares ensayadas en el laboratorio de geotecnia y mecánica de rocas, los resultados obtenidos son valorizados como índice de carga puntual y transformados a UCS en Mpa.

Tabla 12

Resultados de resistencia de índice a la carga puntual.

Estaciones para muestreo	Is (50) (Mpa)	UCS (Mpa)
Estación 4 (45 - 50m.)	1.55	37.22
Estación 5 (65 - 70m.)	0.94	24.52

Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas FIM UNA Puno

Estos resultados de igual manera de compararon con los resultados obtenidos de los ensayos insitu como el de resistencia a la compresión realizado con martillo Schmidt, picota de geólogo, posterior a ello se implantaron en el cálculo de RMR para así de esta manera simular las posibles cuñas, y el factor de seguridad en el software Unwedge.

4.1.5. RQD Grado de fracturación del macizo rocoso

Se empleó el método indirecto utilizando la ecuación de Priest y Hudson (1976) debido a la configuración del macizo rocoso en bloques largos y planos. La tabla 13 muestra los variados porcentajes de RQD calculados para cada estación, según el siguiente procedimiento:

Tabla 13

RQD en cada estación geomecánica.

Estación/progresiva	Discont/ml. λ	$RQD = 100 * e^{-0.1\lambda} * (0.1\lambda + 1)$	
			%
Estación. 01 (000 + 010)	10		74
Estación. 02 (010 + 020)	11		70
Estación. 03 (020 + 030)	11		70
Estación. 04 (030 + 040)	10		74
Estación. 05 (040 + 050)	10		74
Estación. 06 (050 + 060)	11		70
Estación. 07 (060 + 070)	12		66
Estación. 08 (070 + 080)	10		74
Estación. 09 (080 + 084)	10		74

Fuente: Recolección de datos in-situ

4.1.6. Estimación del RMR para estación (Progr. 000 + 010 m)

Resistencia de compresión uniaxial (UCS): tenemos que UCS = 49.38

Mpa y su calificación fue de 4.

Calificación UCS = 4

RQD: 78%, su calificación RMR que corresponde a un RQD = 75% -

90% y tuvo una calificación de valor 17.

Calificación = 17

Espaciamiento: presentan espaciado de 300 mm, en la tabla de calificación de RMR, y estuvo en el rango de 200 - 600 mm y su calificación fue el valor de 10

Calificación espaciada = 10



Condición de juntas.

Persistencia. se tiene una persistencia promedio menores a 1m. Por lo cual se le asignaría una valoración de 4.

Apertura. Se evidencia una apertura angosta de 0.1 – 1.0 mm. Por lo cual se asigna un valor de 4.

Rugosidad. Se evidencia una la condición de la roca en ligeramente rugosa, por lo cual se le asignaría una valorización de 3.

Relleno. Se evidencia la presencia de relleno blando menor a 5mm. Con una valoración de 1.

Alteración. Se evidencia una alteración de la roca calificándola de moderadamente meteorizada con un valor de 3

Calificación condición de juntas = $4 + 4 + 3 + 1 + 3$

Calificación condición de juntas = 15

Presencia de agua: Se indica una condición de mojado y su calificación RMR corresponde a la categoría de mojado y su calificación fue un valor de 10.

Calificación de presencia de agua = 10

Cálculo del RMR básico:

$$RMR \text{ Básico} = 4 + 17 + 10 + 15 + 10$$

$$RMR \text{ Básico} = 56$$



Con RMR básico se obtuvo la calidad de la masa rocosa insitu, y no se consideró la dirección de la excavación, que influyó en la orientación de la discontinuidad, pudiendo ser favorable o desfavorable según la dirección de la excavación,

Cálculo RMR corregido: Para ajustar según la orientación, se consideró la familia principal de discontinuidades y la orientación del eje de la labor. Esta familia principal, designada como la familia 1 con un buzamiento de 70° y dirección de 52° , fue verificada en cada estación geomecánica de la labor subterránea. Se evaluaron los diversos rangos de buzamiento, que van de 45° a 90° , observando que esta orientación es independiente del rumbo de la excavación. Por lo tanto, su ajuste se calculó en -5.

$$\text{Efecto de orientación} = -5$$

Así tenemos:

$$\text{RMR corregido} = \text{RMR Básico} + \text{ajuste por orientación}$$

$$\text{RMR corregido} = 56 + (-5)$$

$$\text{RMR corregido} = 51$$

Debido a las voladuras pesadas que generan nuevas fracturas, se decidió incrementar el RMR corregido en 10 puntos. La galería, siendo una labor antigua con un historial desconocido de abandono y reanudación para operaciones, justifica este ajuste adicional.

$$\text{RMR corregido} = 51 + 10 = 61$$

El valor RMR corregido, se encuentra en el rango límite del valor RMR 60 – 41 por 1 punto lo cual por criterio me permito a ajustar lo que haría corresponder una masa rocosa del tipo III y su descripción fue de calidad regular.

La tabla 14 nos muestra un resumen del cálculo del RMR y la puntuación de los parámetros del macizo rocoso por criterio de evaluación en línea de detalle.

Tabla 14

Estimación del RMR de Bieniawski estación geomecánica 01

	Parámetros	Valoración mínima		Valoración máxima	
		Datos	Val.	Datos	Val.
1	Res. Comp. (Mpa) Martillo Geólogo	49.38	Mpa	4	4
2	Fracturas/m. lineal RQD	75%		17	17
3	Espaciado (mm)	200mm		10	15
	Persistencia	1m		4	6
	Apertura	Angosta 0.1 - 1.0mm		4	5
4	Estado de las juntas	Rugosidad	Ligeramente Rugoso	3	5
		Relleno	Relleno Blando <5mm	1	4
		Alteración	Moderadamente Met.	3	3
	Suma			15	23
5	Presencia de agua	Húmedo		10	15
	Total			56	74
	Sumatoria de Parámetros			RMR Básico	56 a 74
				RMR Corregido	51 a 69
				RMR	60

4.1.7. Resumen de resultados de caracterización geomecánica RMR₈₉

Según el mapeo geomecánico por línea de detalle de RMR₈₉ según la clasificación geomecánica de Bieniawski, se obtuvieron los siguientes resultados de todas las estaciones geomecánicas en las cuales se realizó un mapeo detallado;



del mismo modo se detalla en la descripción el tipo de roca a partir de la clase o categoría de roca. En la tabla 15. se detalla cada estación con su valorización RMR y tipo de roca.

Tabla 15

Resumen de clasificación RMR de Bieniawski por estaciones.

N°	Estación/Progr	RMR	Valoración	Tipo de roca	Descripción
1	Est. 01 (000 + 010)	60	41 - 60	III	Roca regular
2	Est. 02 (010 + 020)	56	41 - 60	III	Roca regular
3	Est. 03 (020 + 030)	55	41 - 60	III	Roca regular
4	Est. 04 (030 + 040)	54	41 - 60	III	Roca regular
5	Est. 05 (040 + 050)	54	41 - 40	III	Roca regular
6	Est. 06 (050 + 060)	53	41 - 60	III	Roca regular
7	Est. 07 (060 + 070)	53	41 - 60	III	Roca regular
8	Est. 08 (070 + 080)	54	41 - 60	III	Roca regular
9	Est. 09 (080 + 084)	52	41 - 60	III	Roca regular

4.1.8. Correlación entre el RMR y el índice Q de Barton.

Se llevó a cabo la correlación utilizando las fórmulas de Rutledge y Preston (1978), seleccionadas debido a que mostraron el coeficiente de correlación más alto entre todas las opciones evaluadas.

Los resultados de esta correlación entre RMR y Q se detallan en la tabla 16. Del mismo modo en la tabla 17 se resume el valor de índice Q a considerar en el presente trabajo de investigación.

Tabla 16*Resultados correlación RMR y Q.*

Correlación RMR y Q	Estación Geomecánica								
	Est. 01	Est. 02	Est. 03	Est. 04	Est. 05	Est. 06	Est. 07	Est. 08	Est. 09
Valores RMR	60	56	55	54	54	53	53	54	52
Bieniawski (1976)	5.92	3.79	3.39	3.04	3.04	2.7	2.7	3.04	2.43
Rutledge y Preston (1978)	17.8	9.06	7.64	6.45	6.45	5.4	5.4	6.45	4.6
Moreno (1980)	2.47	1.16	0.96	0.80	0.80	0.6	0.6	0.80	0.55
Cameron-Clarke y Budavari -1981	0.85	0.38	0.31	0.26	0.26	0.2	0.2	0.26	0.17
Abad et al. (1984)	5.66	3.87	3.52	3.20	3.20	2.9	2.9	3.20	2.64

Tabla 17*Valores del índice Q de Barton.*

Estación	“Q”	Calidad de la masa rocosa
01	17.84	buena
02	9.06	regular
03	7.64	regular
04	6.45	regular
05	6.45	regular
06	5.45	regular
07	5.45	regular
08	6.45	regular
09	4.60	regular

4.2. EVALUACION DEL FACTOR DE SEGURIDAD

4.2.1. Ángulo de fricción y cohesión

Estos valores se obtuvieron del Software RocData, el resumen de cohesión y ángulo de fricción obtenidos en los ensayos de laboratorio y modelos numéricos.

Ver tabla 18.

Tabla 18*Resumen de cálculos de cohesión y ángulo de fricción.*

N°	Estación Progresiva	RMR	GSI	Ang. de fricción ϕ (°)	cohesión (Mpa)
1	Est. 01 (000 + 010)	60	55	30.76	2.43
2	Est. 02 (010 + 020)	56	51	28.78	1.62
3	Est. 03 (020 + 030)	55	50	28.29	2.83
4	Est. 04 (030 + 040)	54	49	27.81	2.77
5	Est. 05 (040 + 050)	54	49	27.81	1.6
6	Est. 06 (050 + 060)	53	48	27.32	1.56
7	Est. 07 (060 + 070)	53	48	27.32	1.56
8	Est. 08 (070 + 080)	54	49	27.81	3.94
9	Est. 09 (080 + 084)	52	47	26.84	3.76

Fuente: elaboración propia en el software Rocdata

4.2.2. Evaluación del factor de seguridad en la galería principal Pomperia.

Una vez obtenida la caracterización geomecánica por estaciones en la galería principal de Pomperia, según Barton y Bieniawski, se procede a interactuar con un modelamiento computacional, conjuntamente con los datos obtenidos de los diferentes ensayos de laboratorio realizados.

Primeramente, se determinan los planos mayores obtenidos del software Dips. los cuales fueron ingresados en el software Unwedge, conjuntamente con otros datos como las resistencias a la compresión, rugosidad, densidad de la roca entre otros datos que se obtuvieron a partir de los diferentes ensayos realizados. Según las evaluaciones realizadas en cada estación geomecánica, se procederá a analizar las estaciones con factores de seguridad menores a 1.5 los cuales presentan mayor riesgo de inestabilidad.

4.2.3. Análisis cinemático por software Dips

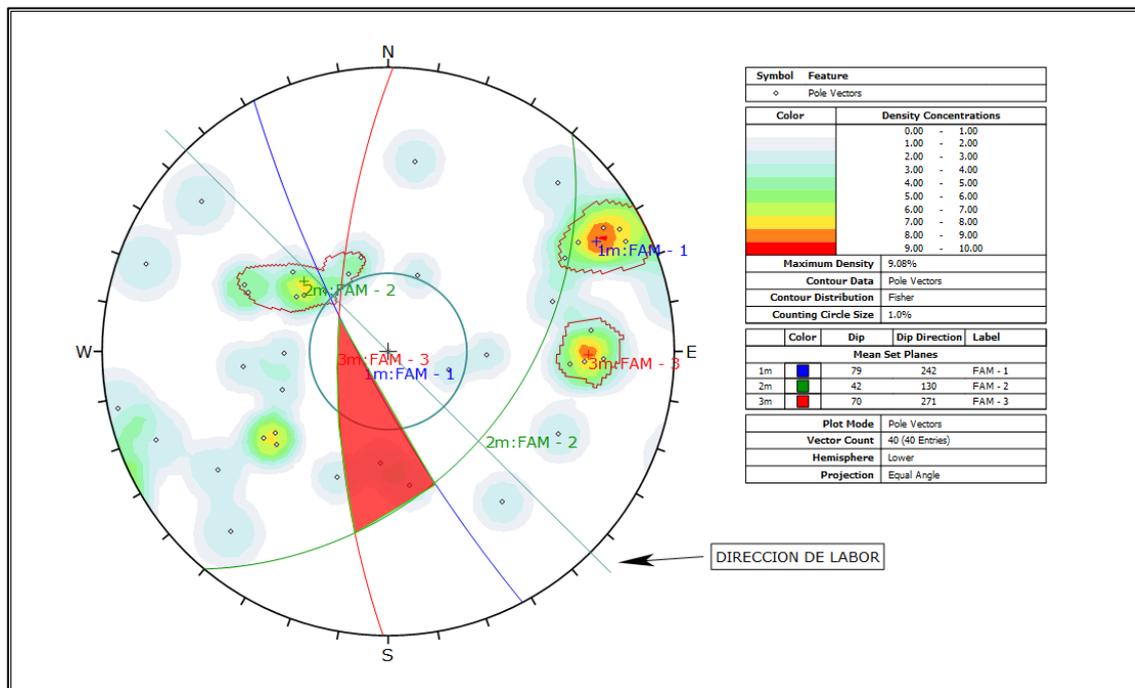
Este software utiliza datos recopilados in situ para generar representaciones visuales precisas de las familias de discontinuidades. Además, facilita la identificación de posibles zonas críticas donde las condiciones geológicas podrían comprometer la estabilidad de la galería principal de Pomperia. Se presenta a continuación los planos mayores presentes en cada estación geomecánica de la galería, como también el análisis cinemático tomando en cuenta para el cono de fricción, los ángulos de fricción en la tabla 18.

- **Progresiva 000 - 010**

Por medio del software Dips podemos determinar los planos mayores para la progresiva 01, figura 15

Figura 15

Proyecciones estereográficas progresiva 01

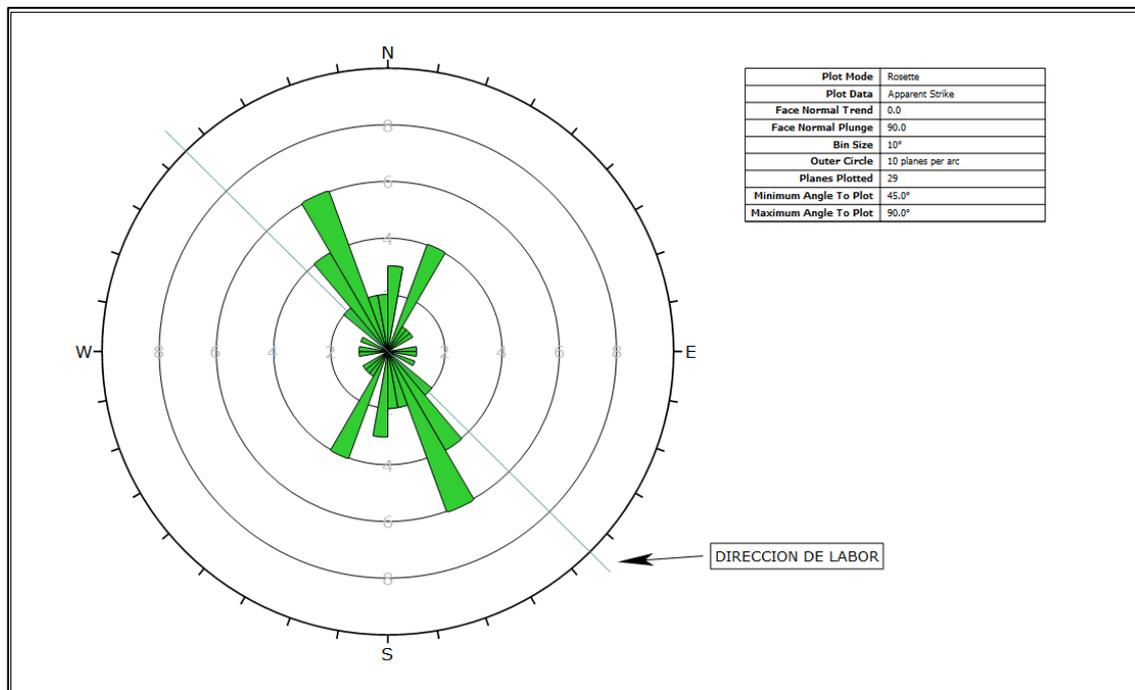


Fuente: elaboración propia en el software Dips

De la figura 15 se identifica una cuña formada por la intersección de los 3 planos, la cual tiene posible tendencia de fallar por sobrepasar el ángulo de fricción según el modelamiento con el Dips. Del mismo modo en la figura 16, se puede apreciar un ligero paralelismo de la dirección de la galería Pomperia respecto a la orientación de las discontinuidades, por lo tanto, se sospecha de un posible fallamiento de cuña.

Figura 16

Gráfico de roseta progresiva 1.



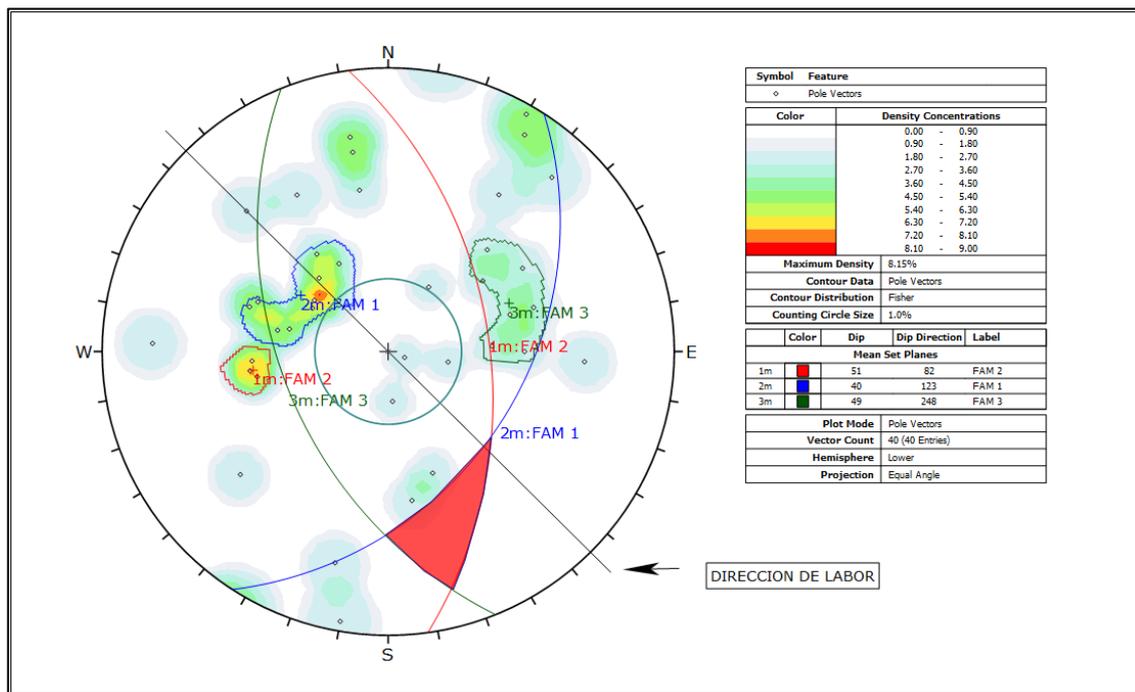
Fuente: elaboración propia en el software Dips

- **Progresiva 010 - 020**

Por medio del software Dips podemos determinar los planos mayores para la progresiva 02. figura 17

Figura 17

Proyecciones estereográficas progresiva 02



Fuente: elaboración propia en el software Dips

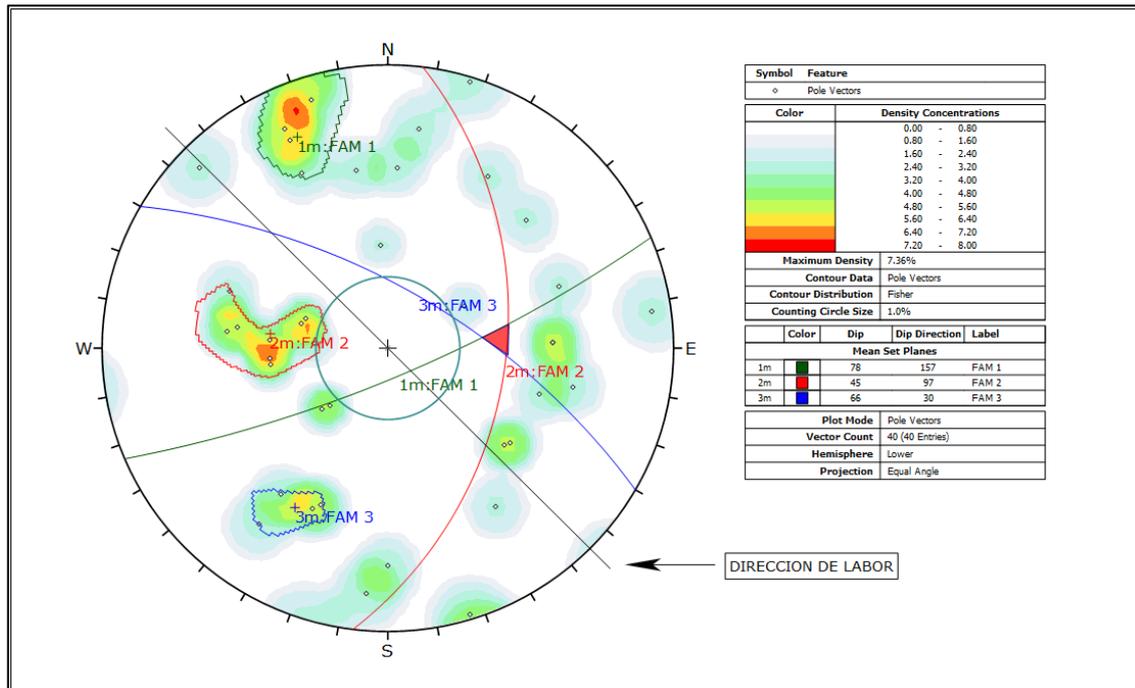
Se identifica una cuña formada por la intersección de los 3 planos, la cual no tiene una posible tendencia de fallar por no estar cerca al ángulo de fricción según el modelamiento con el Dips. Del mismo modo en el anexo 19 se aprecia una perpendicularidad de la dirección de la galería Pomperia respecto a la orientación del plano mayor, por lo tanto, no se sospecha de un posible fallamiento de cuña.

- **Progresiva 020 - 030**

Por medio del software Dips podemos determinar los planos mayores para la progresiva 3. figura 18

Figura 18

Proyecciones estereográficas progresiva 03



Fuente: elaboración propia en el software Dips

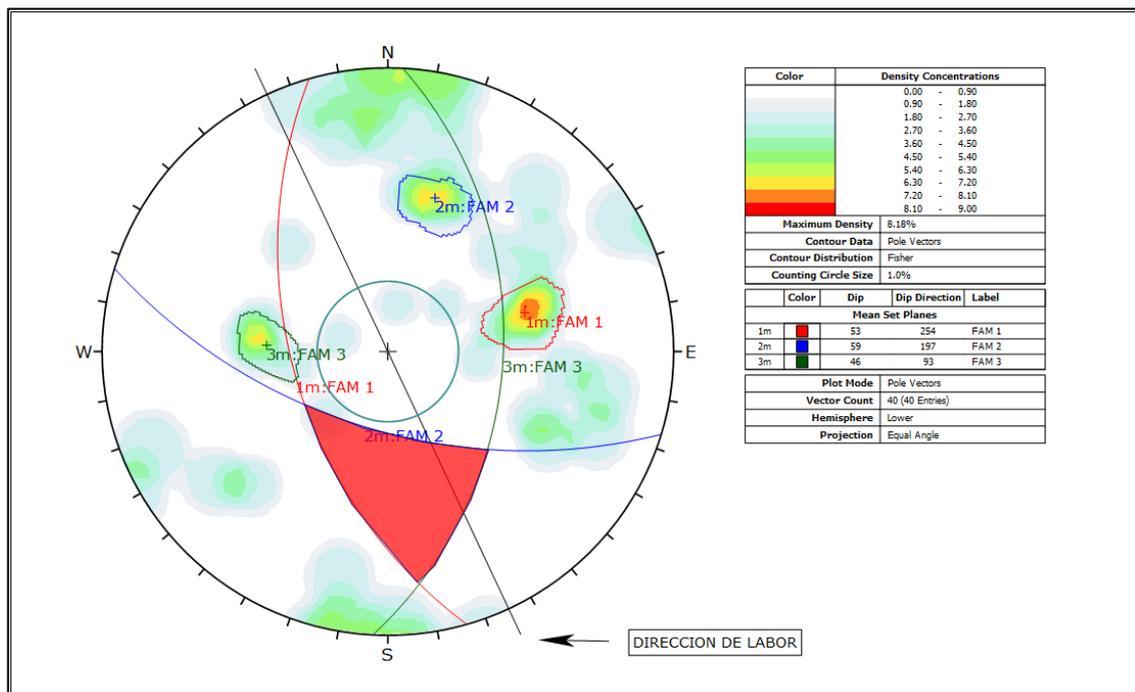
Se identifica una cuña formada por la intersección de los 3 planos, la cual no tiene ninguna posibilidad de fallar, al no estar cerca al cono del ángulo de fricción según el modelamiento con el Dips. Del mismo modo en el anexo 20 se aprecia una ligera perpendicularidad de la dirección de la galería Pomperia respecto a la orientación del plano mayor, por lo tanto, no se sospecha de un posible fallamiento de cuña.

- **Progresiva 030 - 040**

Por medio del software Dips podemos determinar los planos mayores para la progresiva 4. figura 19

Figura 19

Proyecciones estereográficas progresiva 04



Fuente: elaboración propia en el software Dips

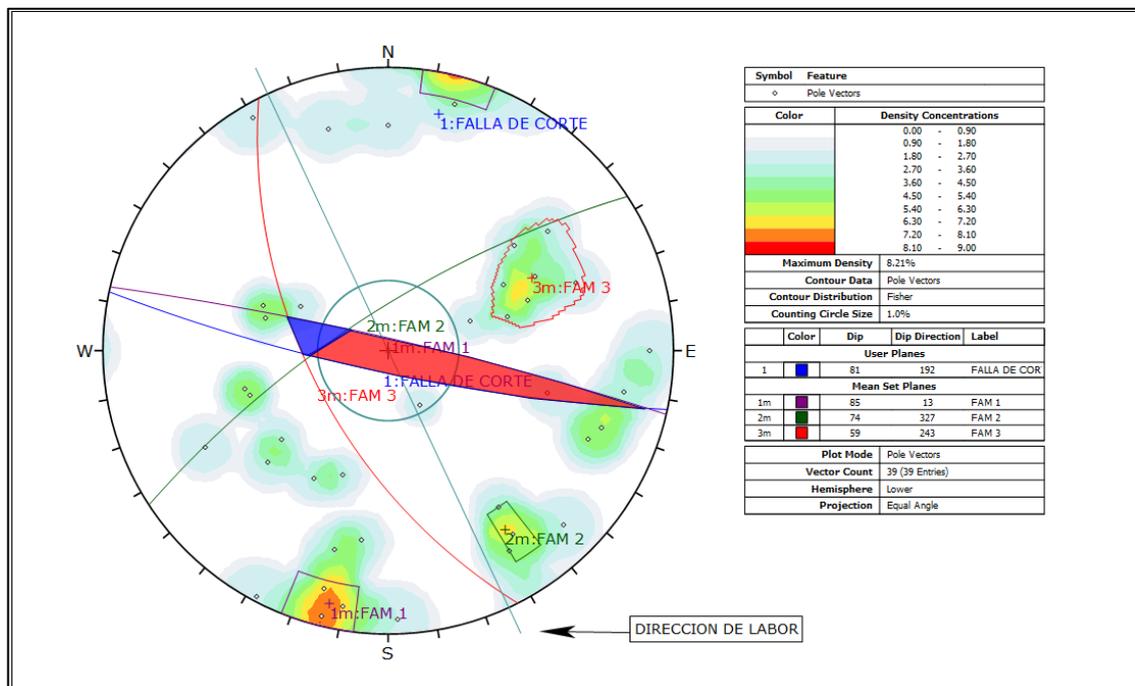
Se identifica una cuña formada por la intersección de los 3 planos, la cual aparentemente no tiene posibilidad de fallar por no sobrepasar el cono del ángulo de fricción, según el modelamiento con el Dips, de todas maneras, se recomienda el análisis en el software Unwedge para determinar el factor de seguridad. Del mismo modo en el anexo 21 Se puede apreciar una ligera perpendicularidad a la dirección de la galería Pomperia con respecto a la orientación de las discontinuidades, por lo tanto, no se sospecharía de un posible fallamiento de cuña.

- **Progresiva 040 - 050**

Por medio del software Dips podemos determinar los planos mayores para la progresiva 5, los cuales se evalúan juntamente con el buzamiento y dirección de buzamiento de la falla presente en la estación 5, tal como se muestra en la fig. 20

Figura 20

Proyecciones estereográficas progresiva 05



Fuente: elaboración propia en el software Dips

Se identifica una cuña formada por la intersección de los 3 planos, y el plano de la falla, la cual tiene tendencia de fallar por sobrepasar el cono del ángulo de fricción según el modelamiento con el Dips. Del mismo modo en el anexo 22 Se puede apreciar un ligero paralelismo de la dirección de la galería con respecto a la orientación de las discontinuidades, se determina posible fallamiento, así como

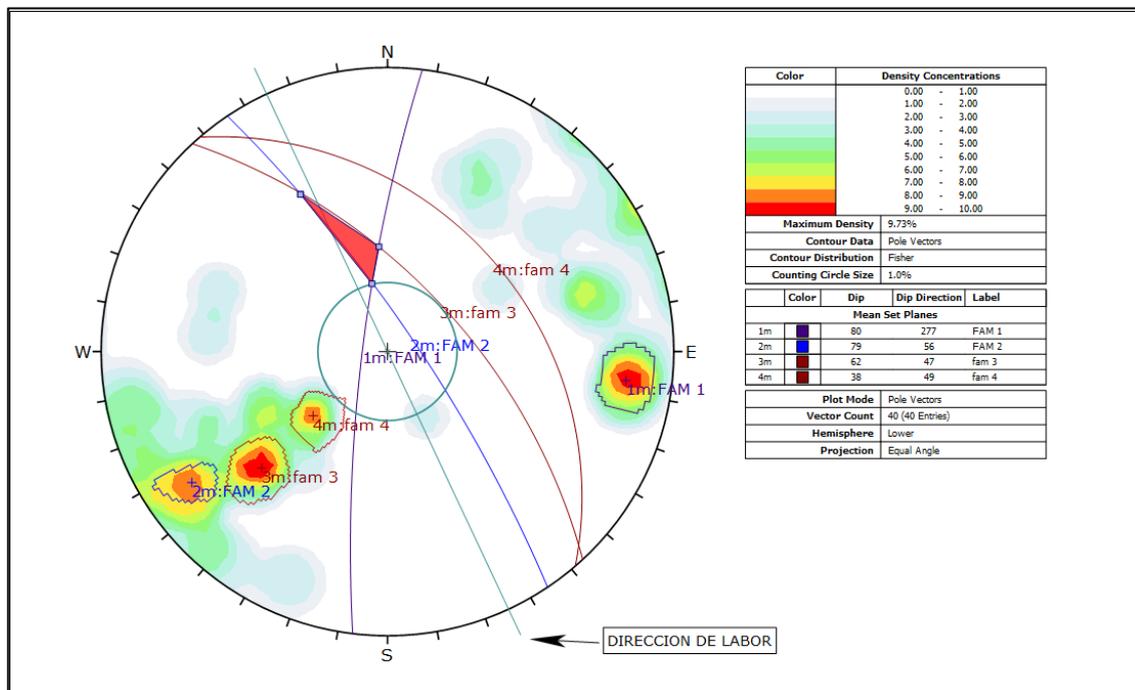
la dirección de la falla también presenta un ligero paralelismo con la orientación de uno de los planos mayores.

- **Progresiva 050 - 060**

Por medio del software Dips podemos determinar los planos mayores para la progresiva 6, tal como se muestra en la figura 21

Figura 21

Proyecciones estereográficas progresiva 06



Fuente: elaboración propia en el software Dips

Se identifica una cuña formada por la intersección de los 4 planos, la cual aparentemente no tiene posibilidad de fallar por no sobrepasar el cono del ángulo de fricción según el modelamiento con el Dips, se recomienda el análisis en el software Unwedge para determinar el factor de seguridad. Del mismo modo en el anexo 23 Se puede apreciar una ligera perpendicularidad a la dirección de la

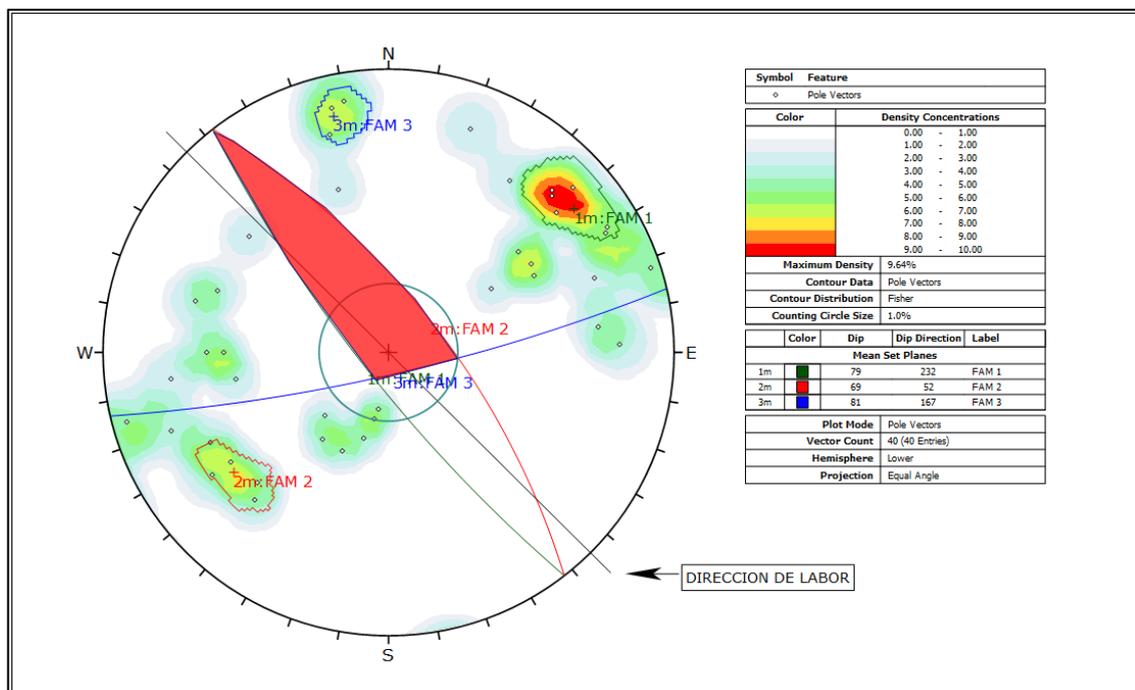
galería Pomperia con respecto a la orientación de las discontinuidades, por lo tanto, no se sospecharía de un posible fallamiento de cuña.

- **Progresiva 060 - 070**

Por medio del software Dips podemos determinar los planos mayores para la progresiva 7 Por medio del software Dips podemos determinar los planos mayores para la progresiva figura 22

Figura 22

Proyecciones estereográficas progresiva 07



Fuente: elaboración propia en el software Dips

Se identifica una cuña formada por la intersección de los 3 planos, la cual no llega a sobrepasar el cono del ángulo de fricción, determinando un posible desprendimiento de cuña según el modelamiento con el Dips. Del mismo modo en el anexo 24 Se puede apreciar un ligero paralelismo de la dirección de la galería

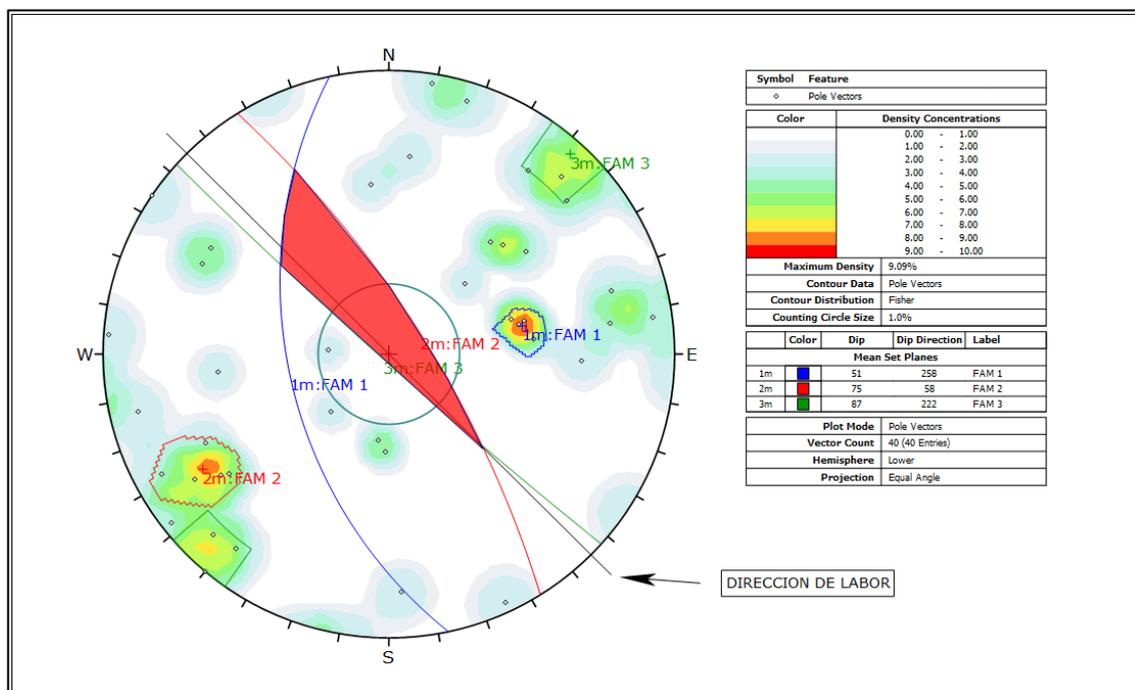
Pomperia con respecto a la orientación de las discontinuidades, por lo tanto, se sospecha de un posible fallamiento de cuña.

- **Progresiva 070 - 080**

Por medio del software Dips podemos determinar los planos mayores para la progresiva en la figura 29.

Figura 23

Proyecciones estereográficas progresiva 8



Fuente: elaboración propia en el software Dips

Se identifica una cuña formada por la intersección de los 3 planos, la cual sobrepasa el cono del ángulo de fricción por lo que tiene tendencia de fallar según el modelamiento con el Dips. Del mismo modo en el anexo 25 Así mismo se puede apreciar un paralelismo completo entre la dirección de la galería Pomperia con

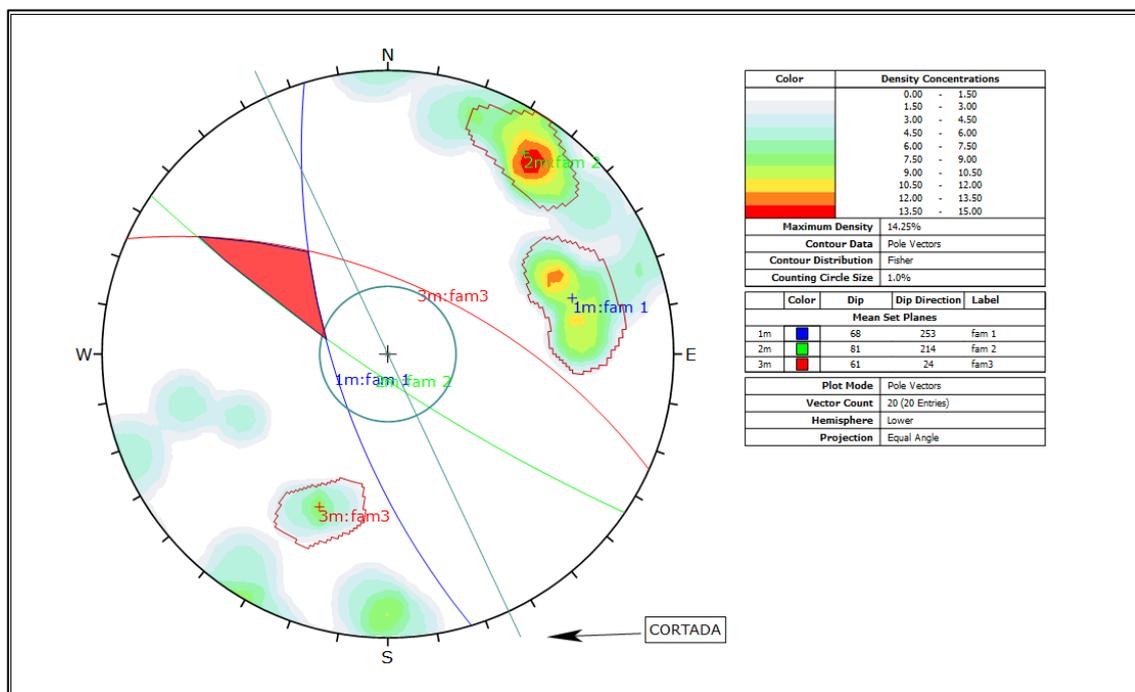
respeto a la orientación de las discontinuidades, por lo tanto, se determina el fallamiento de la cuña.

- **Progresiva 080 - 084**

Por medio del software Dips podemos determinar los planos mayores para la progresiva. figura 24

Figura 24

Proyecciones estereográficas progresiva 09



Fuente: elaboración propia en el software Dips

Se identifica una cuña formada por la intersección de los 3 planos, la cual no llegaría a tener tendencia de fallar por no estar presente ni sobre pasar el cono del ángulo de fricción según el modelamiento con el Dips. Del mismo modo en el anexo 26. Se puede apreciar un paralelismo con respecto a la orientación de las discontinuidades, por lo tanto, se sospecha de un posible fallamiento de cuña.

4.2.4. Análisis del factor de seguridad por estaciones.

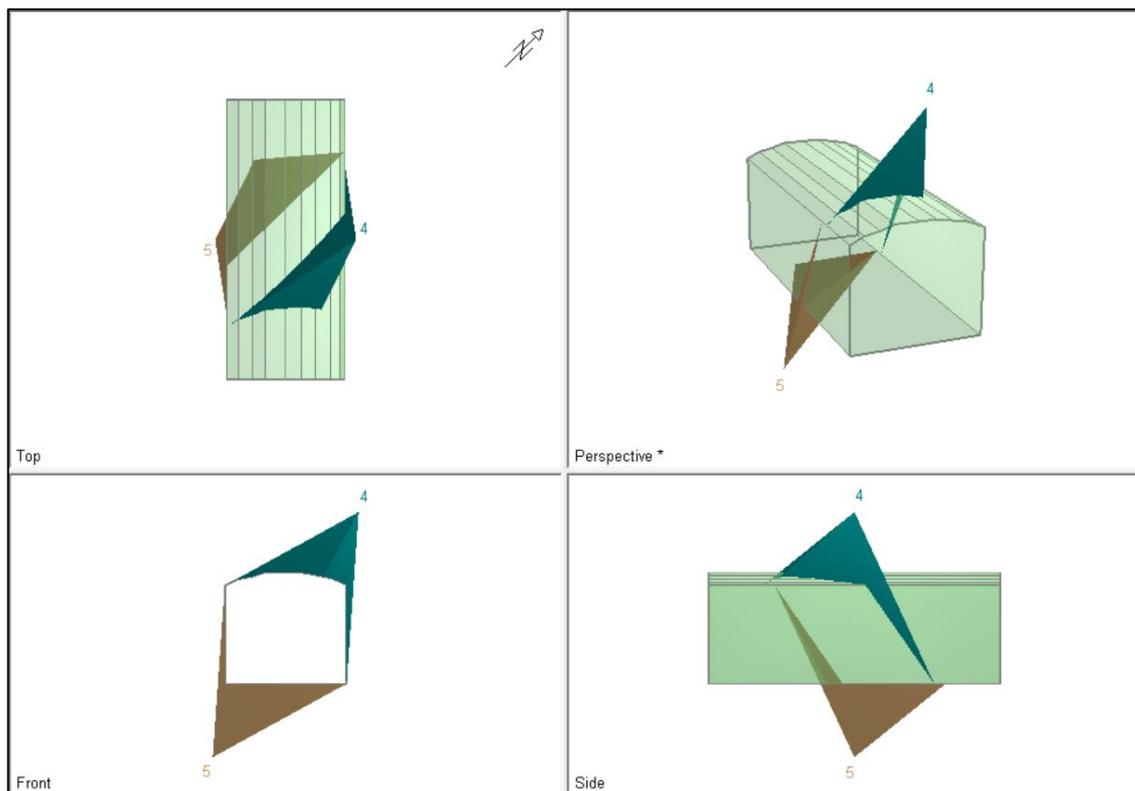
Para la identificación de cuñas se usaron las principales familias de discontinuidades mediante el software Dips (tabla 7), los cuales nos permitieron determinar las posibles formaciones de cuñas en la galería principal de Pomperia.

- **Identificación de Cuñas en la progresiva 000-010**

Se puede identificar 2 cuñas dentro de la progresiva 1, de las cuales 1 es crítica por presentarse en el techo de la galería y la otra esta estable al ubicarse en el piso de la galería y no representar ningún riesgo de desprendimiento. Los factores de seguridad resultantes para estas cuñas se detallan en la tabla 19.

Figura 25

Análisis de factor de seguridad estación 1



Fuente: elaboración propia en el software Unwedge

Tabla 19

Identificación de cuñas – progresiva (000-010)

Descripción	Factor de seguridad	Peso de cuña (ton)	Volumen (m ³)	Condición	Ubicación
Cuña N°4	3.171	2	0.743	Estable	Techo
Cuña N°5	--	3	1.152	Estable	Piso

Nota: Análisis con software Unwedge

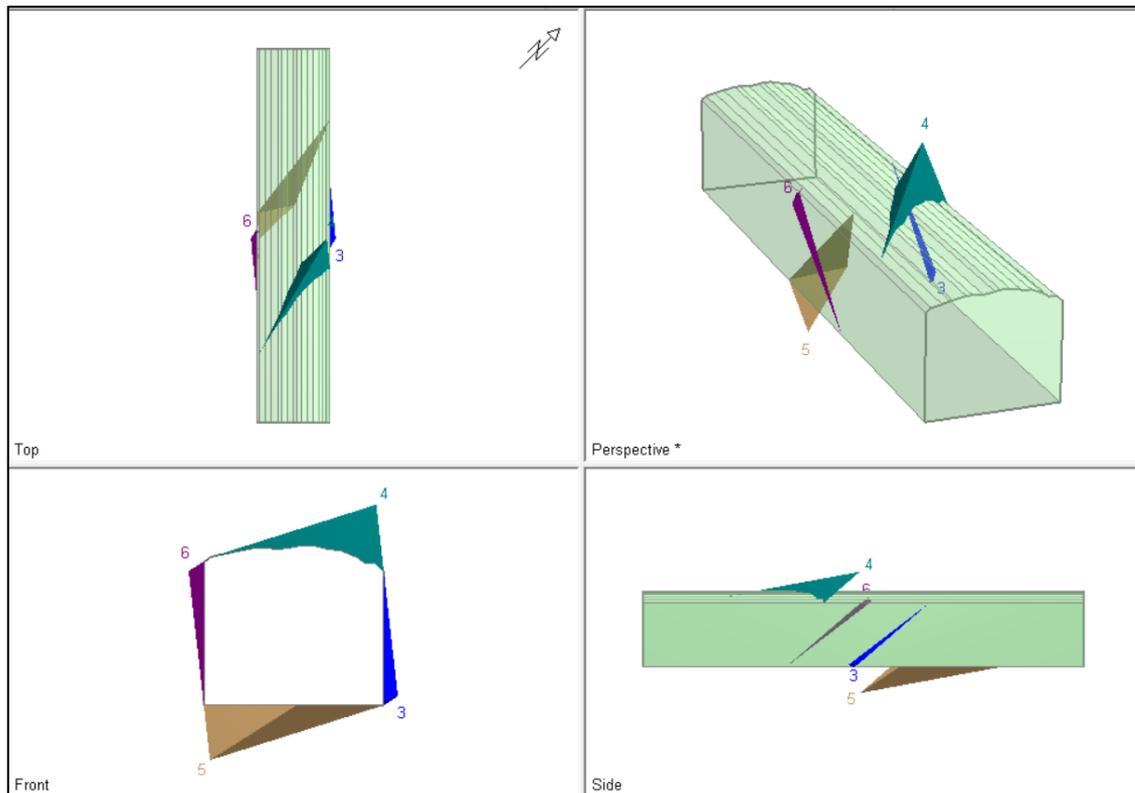
Se puede observar que la cuña N° 4 presenta un factor de seguridad de 3.1 el cual es mayor al requerido de 1.5 para una buena estabilidad de la galería Pomperia, y al mismo tiempo determinar que no representa ningún problema de caída o desprendimiento de esta.

- **Identificación de Cuñas en la progresiva 010-020**

Se puede identificar 4 cuñas dentro de la progresiva 2, de las 2 se identifican en ambos hastiales de la galería y 1 cuña en el techo la cual no representa ningún problema de riesgo grave. Los factores de seguridad resultantes para estas cuñas se detallan en la tabla 20.

Figura 26

Análisis de factor de seguridad estación 2



Fuente: elaboración propia en el software Unwedge

Tabla 20

Identificación de cuñas – progresiva (010-020)

Descripción	Factor de seguridad	Peso de cuña (ton)	Volumen (m ³)	Condición	Ubicación
Cuña N°3	2.9	0	0.016	Estable	H. derech
Cuña N°4	1.47	0.7	0.282	Estable	Techo
Cuña N°5	0.9	1.3	0.021	Estable	Piso
Cuña N°6	0.9	0	0.021	Estable	H. izquier

Nota: Análisis con software Unwedge

Al identificar las cuñas se evaluaron la cuñas N° 3 y N° 6 las cuales presentan un factor de seguridad de 0.9 que significaría un riesgo, pero al observar que no tienen un peso significativo no representarían un riesgo grave, por tal se recomienda ubicarlas dentro de la galería y proceder a realizar el desato de estas,

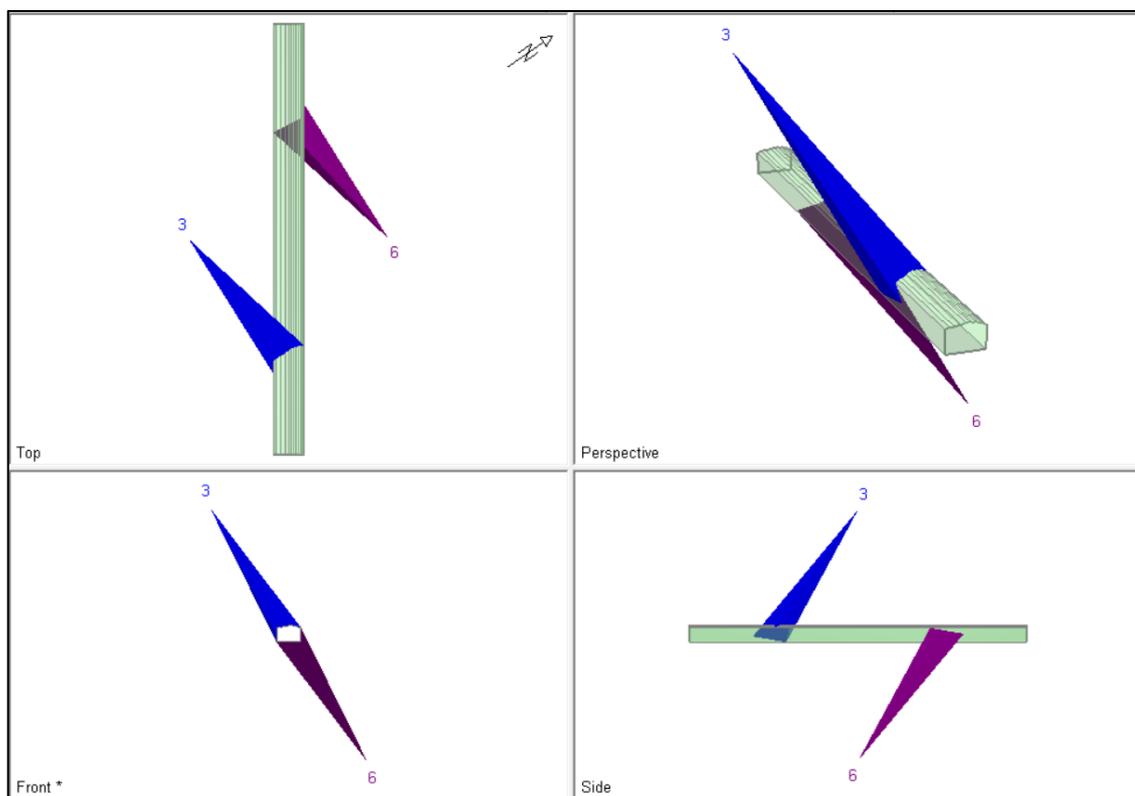
así mismo se observa que la cuña N° 4 que se encuentra en el techo de la galería tiene un peso de casi 1 tonelada, pero al observar su factor de seguridad de 1.47 podemos determinar que en la progresiva 2 no se presenta riesgo de caída o desprendimiento de roca.

- **Identificación de Cuñas en la progresiva 020-030**

Se puede identificar 2 cuñas dentro de la progresiva 3, una de ellas se identifica en el techo de la galería la cual se observa que tuviera posible deslizamiento la cual representaría un riesgo grave. Los factores de seguridad resultantes para estas cuñas se detallan en la tabla 21.

Figura 27

Análisis de factor de seguridad estación 3



Fuente: elaboración propia en el software Unwedge

Tabla 21*Identificación de cuñas – progresiva (020-030)*

Descripción	Factor de seguridad	Peso de cuña (ton)	Volumen (m³)	Condición	Ubicación
Cuña N°3	1.47	101.2	43.979	Estable	Techo
Cuña N°6	---	103.7	45.097	Estable	Piso

Nota: Análisis con software Unwedge

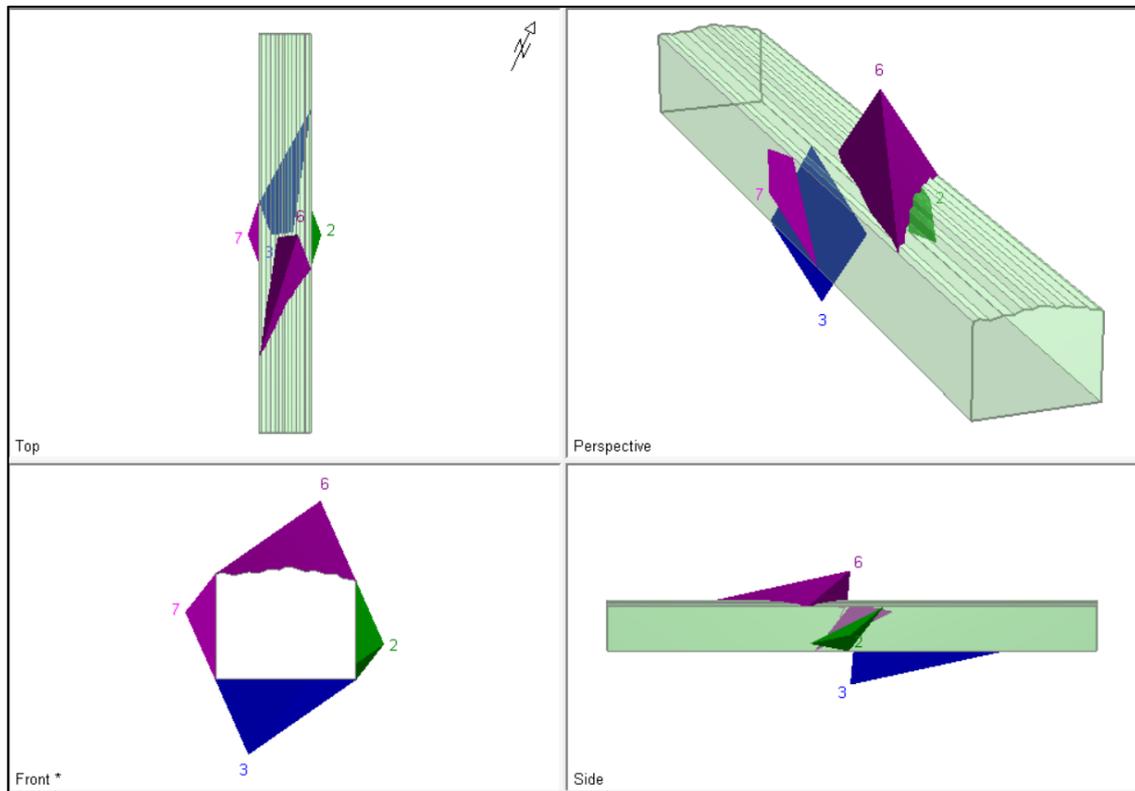
Al evaluarse la cuña N° 3 con un factor de seguridad de 1.47 podemos determinar que la cuña no representa ningún problema de inestabilidad al estar cerca al valor requerido de factor de seguridad de 1.5 para galerías estables, por lo tanto, la progresiva 3 no se evidencia riesgo de caída o desprendimiento de roca, ya que la cuña N° 6 se encuentra en el piso de la galería.

- **Identificación de Cuñas en la progresiva 030-040**

Dentro de la progresiva 4 se pudo identificar la presencia de 4 cuñas, siendo 3 de estas cuñas de preocupación para la estabilidad de la galería Pomperia, se identificaron 1 cuña en cada hastial y 1 en el techo las cuales representarían un riesgo grave. Los factores de seguridad resultantes para estas cuñas se detallan en la tabla 22

Figura 28

Análisis de factor de seguridad estación 4



Fuente: elaboración propia en el software Unwedge

Tabla 22

Identificación de cuñas – progresiva (030-040)

Descripción	Factor de seguridad	Peso de cuña (ton)	Volumen (m ³)	Condición	Ubicación
Cuña N°2	0.84	1	0.419	Estable	H. derech
Cuña N°3	---	9.3	4.0	Estable	Piso
Cuña N°6	0.54	7.6	3.262	Inestable	Techo
Cuña N°7	0.94	1.2	0.515	Inestable	H. izquier

Nota: Análisis con software Unwedge

Se pudo identificar las cuñas N° 2 y 7 las cuales tienen factores de seguridad de 0.84 y 0.94 respectivamente con pesos promedio de 1 tonelada las cuales representan un peligro dentro de la galería, así mismo la cuña N° 6 con un

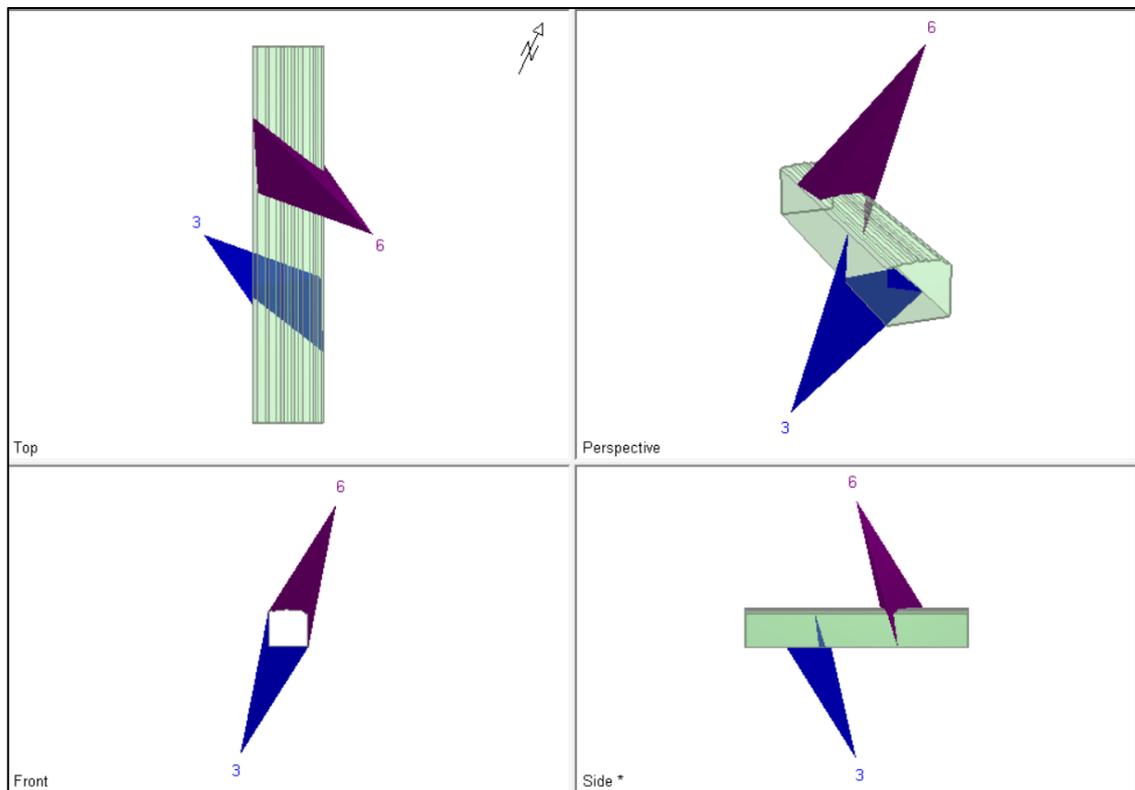
factor de seguridad de 0.54 es la que representa mayor peligro por encontrarse muy por debajo del valor de 1.5 y al estar con un peso estimado de 7.5 toneladas, lo cual lo convierte en un riesgo elevado; así mismo la cuña N°3 por encontrarse ubicado en el piso de la galería, no representa ningún riesgo.

- **Identificación de Cuñas en la progresiva 040-050**

Se evidencia 1 cuña en el techo de la galería siendo esta preocupación para la estabilidad de la galería Pomperia, y 1 cuña alojada en el piso la cual no genera ningún riesgo de inestabilidad. Los factores de seguridad resultantes para estas cuñas se detallan en la tabla 23.

Figura 29

Análisis de factor de seguridad estación 5



Fuente: elaboración propia en el software Unwedge

Tabla 23*Identificación de cuñas – progresiva (040-050)*

Descripción	Factor de seguridad	Peso de cuña (ton)	Volumen (m ³)	Condición	Ubicación
Cuña N°3	---	20.1	7.6	Estable	Piso
Cuña N°6	0.59	19.2	7.2	inestable	Techo

Nota: Análisis con software Unwedge

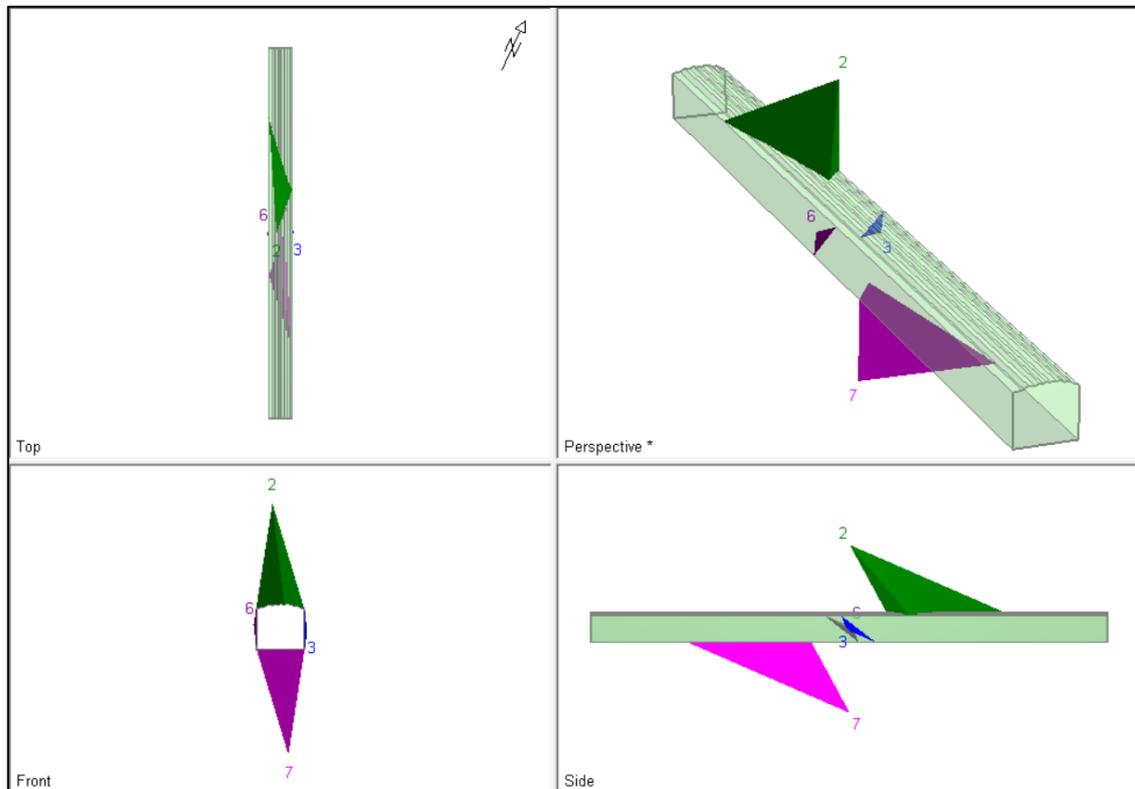
se puede evidenciar la cuña N° 6 del techo con un factor de seguridad de 0.59, la cual es de mayor riesgo por encontrarse muy por debajo del valor de 1.5 y al estar con un peso estimado de 19 toneladas, lo cual lo convierte en un riesgo elevado; así mismo la cuña N°3 por encontrarse ubicado en el piso de la galería, no representa ningún riesgo.

- **Identificación de Cuñas en la progresiva 050-060**

Se evidencia 1 cuña en el techo de la galería siendo esta la de mayor interés para determinar la estabilidad de la labor. Los factores de seguridad resultantes para estas cuñas se detallan en la tabla 24.

Figura 30

Análisis de factor de seguridad estación 6



Fuente: elaboración propia en el software Unwedge

Tabla 24

Identificación de cuñas – progresiva (050-060)

Descripción	Factor de seguridad	Peso de cuña (ton)	Volumen (m ³)	Condición	Ubicación
Cuña N°2	1.3	23.9	9.020	Inestable	Techo
Cuña N°3	13.3	0.1	0.029	Estable	H. derec
Cuña N°6	0.2	0.1	0.033	Inestable	H. izquier
Cuña N°7	---	26.8	10.11	Estable	Piso

Nota: Análisis con software Unwedge

De la evaluación se determinó que la cuña N° 2 al ser la más representativa por su peso de 23 toneladas tiene un factor de seguridad de 1.3 lo cual indicaría que está por debajo de 1.5 que sería lo más recomendado, por esto es necesario que se identifique la cuña para aplicar un tipo de sostenimiento que pueda

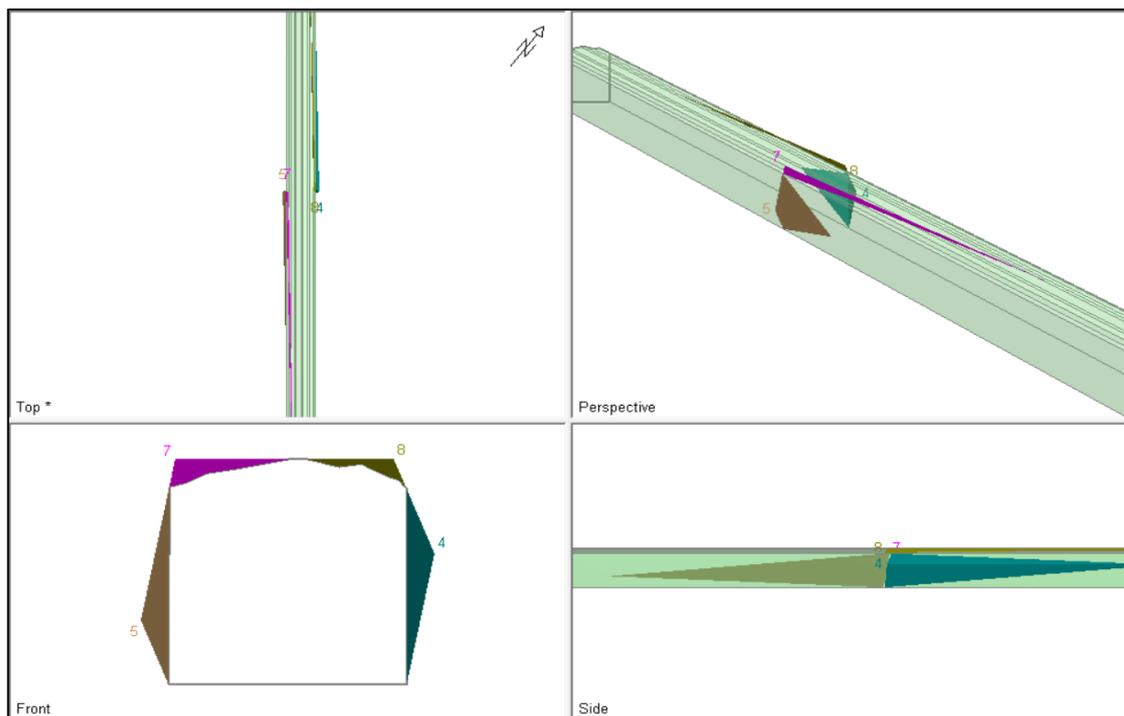
incrementar el valor del factor de seguridad, así mismo las cuñas N° 3 y 6 no representan riesgo alguno.

- **Identificación de Cuñas en la progresiva 060-070**

Se evidencia 4 cuñas en la progresiva 7, en ambos hastiales como en techo de la galería, para ello se determinaron los factores de seguridad resultantes para estas cuñas que se detalla en la tabla 25.

Figura 31

Análisis de factor de seguridad estación 7



Fuente: elaboración propia en el software Unwedge

Tabla 25*Identificación de cuñas – progresiva (060-070)*

Descripción	Factor de seguridad	Peso de cuña (ton)	Volumen (m³)	Condición	Ubicación
Cuña N°4	0.23	2.9	1.26	Inestable	H derecho
Cuña N°5	0.8	3	1.27	Inestable	H izquierdo
Cuña N°7	0.13	0.8	0.33	Inestable	T izquierdo
Cuña N°8	---	0.3	0.14	Inestable	T derecho

Nota: Análisis con software Unwedge

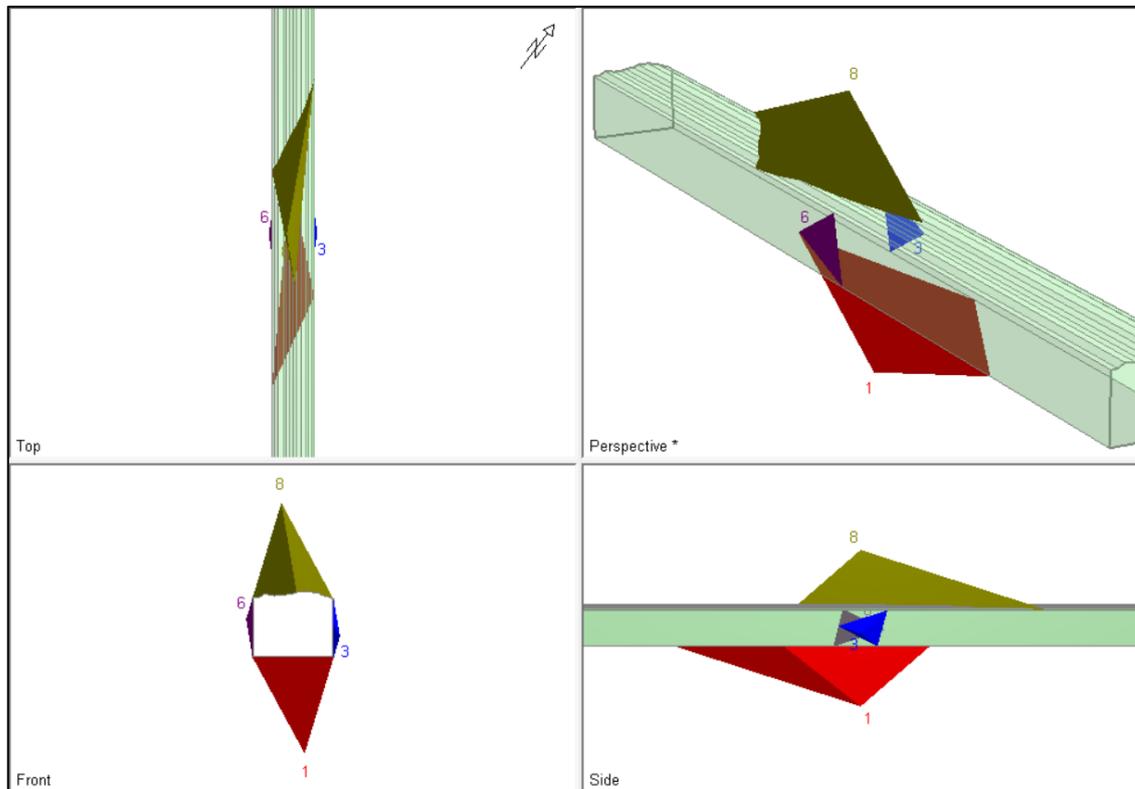
De la evaluación se determinó que las cuñas evidenciadas con factores de seguridad muy por debajo de 1.5 y pesos que no superan 1 tonelada en promedio y la forma en la que se evidencia, se recomendaría realizar la ubicación y desatado de estas, para mayo seguridad de la galería.

- **Identificación de Cuñas en la progresiva 070-080**

Dentro de la progresiva 8 se pudo identificar la presencia de 4 cuñas, de las cuales 3 son de mayor importancia por presentar factores de seguridad muy por debajo de 1.5; Los factores de seguridad resultantes para estas cuñas se detalla en la tabla 26

Figura 32

Análisis de factor de seguridad estación 8



Fuente: elaboración propia en el software Unwedge

Tabla 26

Identificación de cuñas – progresiva (070-080)

Descripción	Factor de seguridad	Peso de cuña (ton)	Volumen (m ³)	Condición	Ubicación
Cuña N°1	---	29.8	12.6	Estable	Piso
Cuña N°3	0.79	0.3	0.12	Inestable	H derecho
Cuña N°6	0.29	0.3	0.14	Inestable	T izquierdo
Cuña N°8	0.0	24.8	10.54	Inestable	Techo

Nota: Análisis con software Unwedge

De la evaluación se determinó que la cuña N° 8 al ser la más representativa por su peso de 29 toneladas y tener un factor de seguridad de 0, sería la de mayores intereses, determinando que la estación N° 8 es la que presenta mayor riesgo de

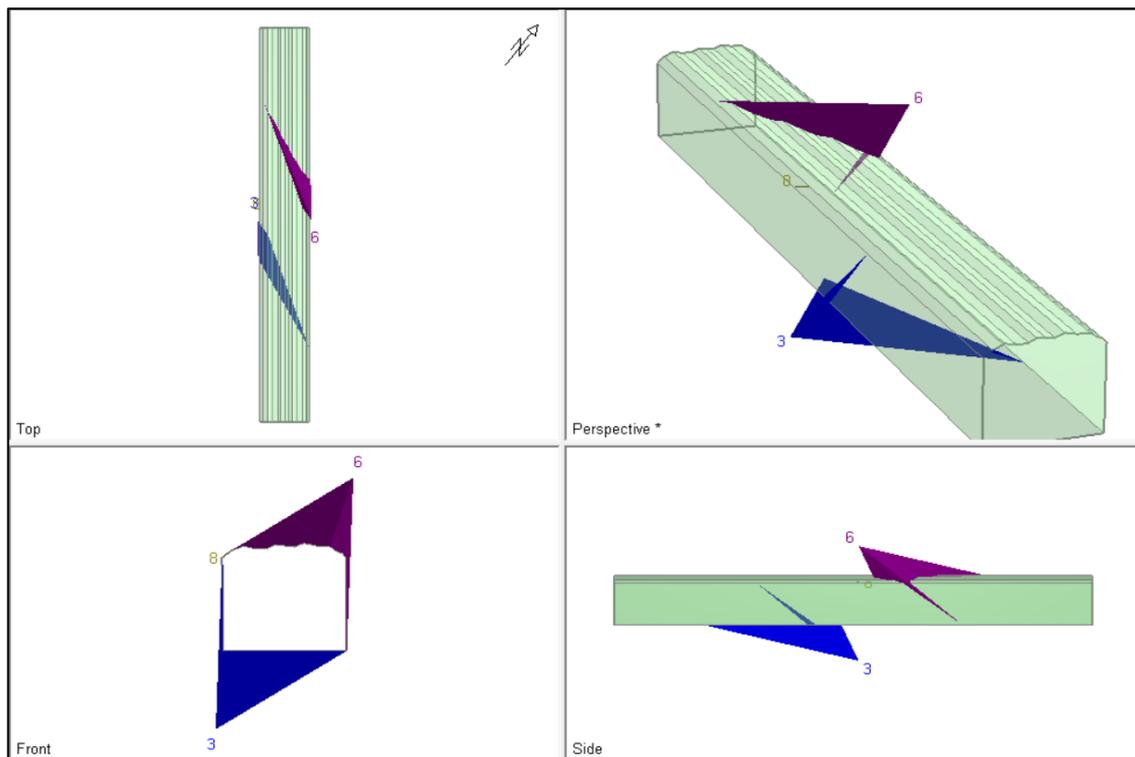
caída o desprendimiento de cuña de roca, para lo cual lo más recomendado sería restringir el acceso hasta la progresiva 070-080, se recomienda ubicar las cuñas dentro de la galería para evaluar su posible desatado según la dimensión visible.

- **Identificación de Cuñas en la progresiva 080-084**

Dentro de la progresiva 8 se pudo identificar la presencia de 4 cuñas, de las cuales 3 son de mayor importancia por presentar factores de seguridad muy por debajo de 1.5; Los factores de seguridad resultantes para estas cuñas se detalla en la tabla 27

Figura 33

Análisis de factor de seguridad estación 9



Fuente: elaboración propia en el software Unwedge



Tabla 27

Identificación de cuñas – progresiva (080-084)

Descripción	Factor de seguridad	Peso de cuña (ton)	Volumen (m³)	Condición	Ubicación
Cuña N°3	---	3	1.3	Estable	Piso
Cuña N°6	1.151	2	0.88	Inestable	T derecho

Nota: Análisis con software Unwedge

Se identifico la cuña N° 6, que presenta un factor de seguridad de 1.15 lo que indica que estamos ante la presencia de un desprendimiento de cuña de roca, para lo cual lo más recomendado seria restringir el acceso hasta la progresiva 080-084.

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Esta investigación presenta una metodología integral centrada en una investigación descriptiva con enfoque cuantitativo, no experimental recolectando datos en distintos momentos sin manipulación de variables para estudios geomecánicos del macizo rocoso, coincidiendo con la metodología utilizada por Mamani (2019) empleando el mapeo geomecánico por línea de detalle y siguiendo normas de la ISRM. Por otro lado, los parámetros de RMR de Bieniawski nos permitió determinar una roca de tipo III, roca regular con un RMR entre 40 – 61, siendo este resultado similar con Mamani (2019). Cabe resaltar que nuestra investigación toma más énfasis al realizar análisis cinemático mediante las técnicas estereográficas, análisis estadísticos y el uso de software especializado como Dips y Unwedge de Rocscience para identificación de cuñas y el factor de seguridad de la galería.

en comparación con otros autores compartimos similitudes y diferencias con otras metodologías de estudios geomecánicos en minería subterránea. Begazo (2024) y Quispe (2023) utilizan los sistemas de clasificación RMR de Bieniawski y Q de Barton para caracterizar el macizo rocoso, combinando mapeos geomecánicos, ensayos de campo y laboratorio diseñar sistemas de sostenimiento efectivos. Por otro lado, Surco (2022) y Mamani (2022) se enfocan en identificar riesgos mediante métodos geomecánicos y software de modelamiento para prever formaciones de cuñas y calcular factores de seguridad. así mismo, Pari (2019) y Valeriano (2019) utilizan clasificaciones como RMR y Q para recomendar sostenimientos basados en la calidad del macizo rocoso, mientras que Huaynate (2018) enfatiza la importancia del RQD y RMR para determinar sostenimientos adecuados en rampas mineras.



V. CONCLUSIONES

- La caracterización geomecánica de la galería Pomperia se determinó a partir de la clasificación geomecánica Bieniawski, con un RMR comprendido entre 41 – 60, con una roca de tipo III y calidad de roca regular; del mismo modo, mediante la correlación del índice de Q de Barton con valores comprendidos entre 4 – 10, indicándonos de igual manera que contamos con rocas de calidad regular.
- Se determinó el factor de seguridad en la galería principal Pomperia, obteniendo valores por debajo de 1.5 identificando en las progresivas 030-040, progresiva 040-050 y progresiva 070-080 cuñas de roca con factores de seguridad iguales a 0.54, 0.59 y 0.0, respectivamente, siendo zonas con mayor inestabilidad en la galería principal de Pomperia.
- Finalmente se concluye que las características geomecánicas influyen de manera íntegra en la determinación del factor de seguridad, clasificando al macizo rocoso de tipo III – roca regular, y determinando que existen 3 zonas con mayor índice de inestabilidad en la galería de Pomperia



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda profundizar los estudios basados en la evaluación geomecánica y modelos numéricos, para seleccionar los tipos adecuados de sistemas de sostenimiento basados en diseños considerando la capacidad de carga y la durabilidad bajo las condiciones específicas de la mina.
- Se recomienda realizar el estudio para el desarrollo nuevas tecnologías de sostenimiento que puedan mejorar la seguridad de la galería principal de Pomperia.
- Se recomienda realizar un estudio de la zona plástica de la galería principal de Pomperia mediante el Software Phase y otros softwares de evaluación en sus tres dimensiones.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barton. (1988). *Rock Mass Classification and Tunnel Reinforcement Selection Using Q-System*. American Society for Testing and Materials.
- Barton, N., & Lien, R. (1974). *Engineering Classification of Rock Masses for the design of Tunnel Support*. Rock Mechanics.
- Begazo, M. (2024). *Caracterización y evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación de cables bolting en pequeña minería subterránea* [Tesis de Pre grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
<https://hdl.handle.net/20.500.12773/18055>
- Bieniawski, Z. t. (1989). *Engineering Rock Mass Classification* (Patent 1–250). In *Engineering Rock Mass Classification* . <https://doi.org/10.1016/C2010-0-64994-7>
- Calle, P., & Verdezoto, E. (2021). *Caracterización de la roca mediante propiedades físicas y su relación con la resistencia a la compresión simple*. Journal of Development, 5081–5093.
- Deere, D. U. (1967). *Design of surface and near-surface construction in rock, in fairhurst, ed., Failure and breakage of rock*. Proc. New York, American Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum Engineering, 8, 237–302.
- Garcia, R. (2023). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso para el diseño de sostenimiento y estabilidad en la zona de explotación Hércules, Unidad Minera Huancapeti* [Tesis de Pre grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6302>
- Giraldo E. (2018). *Capacidad de anclaje de los Split sets en función de su longitud efectiva de anclaje*. Rev. Del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM, 21(Issn-I:1561-0888).
- Goodman, R. (1989). *Introduction to rock mechanics* (John Wiley & Sons (Segunda Ed), Ed.).



- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación* (S. D. C. V. McGRAWHILLINTERAMERICMA EDITORES, Ed.; Vol. 4).
- Hoek, E. (2000). *Practical Rock Engineering* (RocScience, Ed.).
- Hoek, E.; B. E. (1997). *Practical estimates of rock mass strength*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34–1165.
- Hoek, E., & Brown, T. (1998). *Practical Estimates of Rock Mass Strength* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences . Practical Estimates of Rock Mass Strength International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences , 34, 1165–1186.
- Huaynate, Y. (2018). *Influencia del comportamiento Geomecánico del macizo rocoso en el diseño de sostenimiento en la rampa 1 de la labor Esperanza de U.E.A. Marianne - Arequipa* [Tesis de Pre grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].
<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4262>
- Jorda, L. (2013). *Clasificaciones Geomecánicas y Diseño Empírico de Sostenimiento* (Elite).
- Mamani, A. (2019). *Diseño de la construcción subterránea de la mina escuela Carolina con fines académicos y de investigación* [Tesis de Pre grado, Universidad Nacional del Altiplano de Puno].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/11459>
- Mamani, M. (2022). *Evaluación geotécnica según los métodos RMR y Q de Barton en la construcción del túnel trasandino en el distrito de San Bartolomé - Lima* [Tesis de Pre grado, Universidad Nacional del Altiplano de Puno].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18389>
- Marinos P, & Hoek E. (2000). *GSI a geologically friendly tool for rock mass strength estimation*. Proceedings of the GeoEng2000 at the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne, 14221446. <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n4-010>



- Ochoa, A., Cartaya, M., & Blanco, J. (2020). *Clasificación geomecánica óptima para evaluar el macizo rocoso en el frente de arranque del Tramo IV del túnel Levisa Mayarí*. *Minería y Geología*, 50–64.
- OSINERGMIN. (2017). *Guía de Criterios Geomecánicos Para Diseño, Construcción, Supervisión y Cierre de Labores Subterráneas*. INVERSIONES IAKOB S.A.C.
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf
- Palmstrom, A. (1998). *Characterizing Rock Masses by the RMR for Use in Practical Rock Engineering, Tunnelling and Underground Space Technology*. ScienceDirect.
- Pari, Y. (2019). *Caracterización de los macizos rocosos para el diseño de sostenimiento en excavaciones subterráneas*.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/15675>
- Quispe, S. (2023). *Modelo geomecánico para garantizar la estabilidad del minado subterráneo del cuerpo Salvadora, Mina Andaychagua* [Tesis de Pre grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6164>
- Ramirez O., & Alejano M. (2007). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*.
- Rodríguez, J. (2021). *Caracterización del macizo rocoso para proponer un diseño de sostenimiento en la Compañía Minera Marsa S.A.* [Tesis de Pre grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/4683>
- Rutledge, J., & Preston, R. (1978). *Experience with engineering classifications of rock*. En *International Tunnelling Symposium*, A3.1-A3.7.
- SNMPE. (2004). *Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea*.



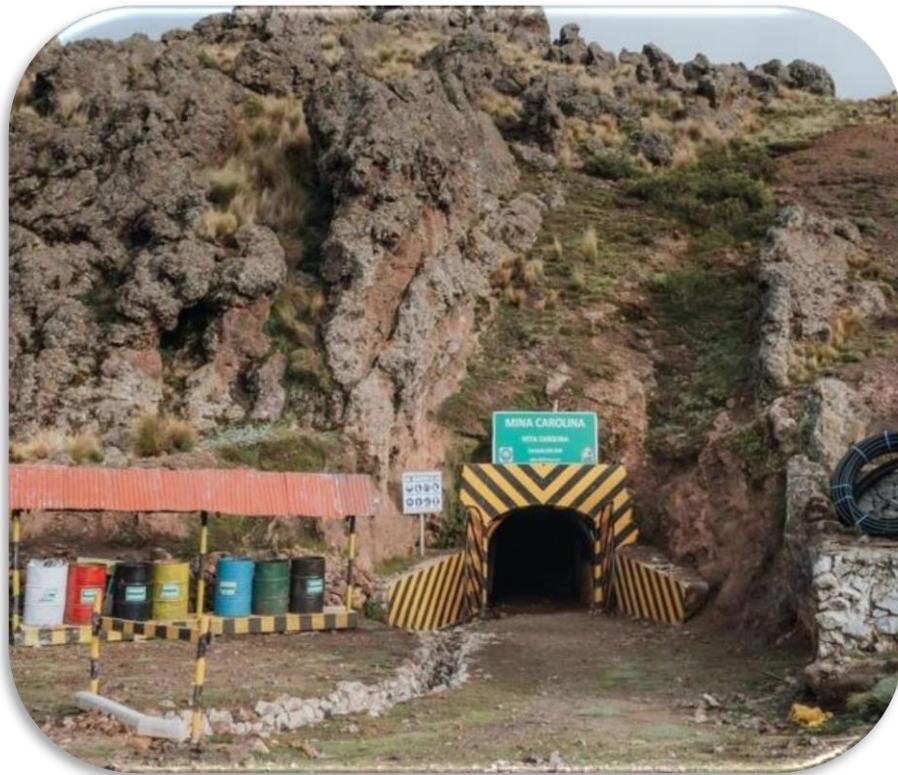
Surco, A. (2022). *Análisis geomecánico para la estabilidad del minado subterráneo en la mina Heraldos Negros de la Compañía Minera San Valentín S.A. Acobambilla - Huancavelica* [Tesis de Pre grado, Universidad Nacional Del Altiplano de Puno].

<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19337>

Valeriano, W. (2019). *Evaluación Geomecánica aplicada al minado subterráneo para la minimización de caída de rocas en la mina Maribel de Oro A - Phoquera* [Tesis de Pre grado, Universidad Nacional del Altiplano de Puno]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/15677>

ANEXOS

ANEXO 1: Bocamina y toma de muestra de roca en la galería principal Pomperia.



ANEXO 2: Resultados de propiedades índice de la roca.

PROGRESIVA 1 - HASTIAL IZQUIERDO Y DERECHO (BOCAMINA)

Tara	Peso húmedo	Peso seco	Peso seco + parafina	Peso parafina	Peso sumergido	Densidad parafina	Volumen parafina	Volumen muestra	Densidad seca	Porosidad aparente	Peso específico aparente
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(g/cm ³)	(%)	(KN/m ³)
Prg1 D-Iz-A	458.86	451.2	469.92	18.72	259.88	0.88	21.27	188.77	2.39	14.46	23.44
Prg1 D-Iz-B	338.68	333.7	349.52	15.75	192.91	0.88	17.90	138.71	2.41	6.81	23.60
Numero de resultados									2	2	2
Valor máximo, MAX									2.41	14.46	23.60
Valor mínimo, MIN									2.39	6.81	23.44
Mediana, MED									2.40	10.64	23.52
Valor promedio, MEAN									2.40	10.64	23.52
Desviación estándar, SDEV									0.01	5.41	0.11

PROGRESIVA 2 - (15 - 20m) HASTIAL IZQUIERDO

Tara	Peso húmedo	Peso seco	Peso seco + parafina	Peso parafina	Peso sumergido	Densidad parafina	Volumen parafina	Volumen muestra	Densidad seca	Porosidad aparente	Peso específico aparente
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(g/cm ³)	(%)	(KN/m ³)
Prg2 Iz - A	182.22	179.7	190.00	10.26	101.78	0.88	11.66	76.56	2.35	1.90	23.02
Prg2 Iz - B	139.01	137.5	144.82	7.25	81.59	0.88	8.24	54.99	2.50	0.79	24.53
Numero de resultados									2	2	2
Valor máximo, MAX									2.50	1.90	24.53
Valor mínimo, MIN									2.35	0.79	23.02
Mediana, MED									2.42	1.35	23.78
Valor promedio, MEAN									2.42	1.35	23.78
Desviación estándar, SDEV									0.11	0.78	1.07

PROGRESIVA 2 - (15 - 20m) HASTIAL DERECHA

Tara	Peso húmedo	Peso seco	Peso seco + parafina	Peso parafina	Peso sumergido	Densidad parafina	Volumen parafina	Volumen muestra	Densidad seca	Porosidad aparente	Peso específico aparente
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(g/cm ³)	(%)	(KN/m ³)
Prg2 Drc - A	366.30	363.7	374.84	11.10	206.77	0.88	12.61	155.46	2.34	3.98	22.94
Prg2 Drc - B	479.89	476.5	490.29	13.75	276.54	0.88	15.63	198.13	2.41	6.64	23.59
Numero de resultados									2	2	2
Valor máximo, MAX									2.41	6.64	23.59
Valor mínimo, MIN									2.34	3.98	22.94
Mediana, MED									2.37	5.31	23.27
Valor promedio, MEAN									2.37	5.31	23.27
Desviación estándar, SDEV									0.05	1.88	0.45

PROGRESIVA 3 - (25 - 30) HASTIAL IZQUIERDO - DERECHO

Tara	Peso húmedo	Peso seco	Peso seco + parafina	Peso parafina	Peso sumergido	Densidad parafina	Volumen parafina	Volumen muestra	Densidad seca	Porosidad aparente	Peso específico aparente
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(g/cm ³)	(%)	(KN/m ³)
Prg3 Iz- A	366.30	363.	374.84	11.10	206.77	0.88	12.61	155.46	2.34	3.98	22.94
Prg3 Iz- B	479.89	476.	490.29	13.75	276.54	0.88	15.63	198.13	2.41	6.64	23.59
Numero de resultados									2	2	2
Valor máximo, MAX									2.41	6.64	23.59
Valor mínimo, MIN									2.34	3.98	22.94
Mediana, MED									2.37	5.31	23.27
Desviación estándar, SDEV									0.05	1.88	0.45

ANEXO 3: Resultados de propiedades índice de la roca.

PROGRESIVA 4 - (45 - 50) HASTIAL IZQUIERDO - DERECHO

Tara	Peso húmedo	Peso seco	Peso seco + parafina	Peso parafina	Peso sumergido	Densidad parafina	Volumen parafina	Volumen muestra	Densidad seca	Porosidad aparente	Peso específico aparente
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(g/cm ³)	(%)	(KN/m ³)
Prg4 - Iz-D - A	216.01	214.69	225.93	11.24	122.79	0.88	12.77	90.37	2.38	1.19	23.30
Prg4 - Iz-D - B	278.95	277.36	291.09	13.73	157.75	0.88	15.60	117.74	2.36	1.87	23.10
Numero de resultados									2	2	2
Valor máximo, MAX									2.38	1.87	23.30
Valor mínimo, MIN									2.36	1.19	23.10
Mediana, MED									2.37	1.53	23.20
Valor promedio, MEAN									2.37	1.53	23.20
Desviación estándar, SDEV									0.01	0.48	0.14

PROGRESIVA 5 - (65 - 70) HASTIAL IZQUIERDO - DERECHO

Tara	Peso húmedo	Peso seco	Peso seco + parafina	Peso parafina	Peso sumergido	Densidad parafina	Volumen parafina	Volumen muestra	Densidad seca	Porosidad aparente	Peso específico aparente
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(g/cm ³)	(%)	(KN/m ³)
Prg5 - Iz-D - A	278.95	277.36	291.09	13.73	157.75	0.88	15.60	117.74	2.36	1.87	23.10
Prg5 - Iz-D - B	216.01	214.69	225.93	11.24	122.79	0.88	12.77	90.37	2.38	1.19	23.30
Numero de resultados									2	2	2
Valor máximo, MAX									2.38	1.87	23.30
Valor mínimo, MIN									2.36	1.19	23.10
Mediana, MED									2.37	1.53	23.20
Valor promedio, MEAN									2.37	1.53	23.20
Desviación estándar, SDEV									0.01	0.48	0.14



PROGRESIVA 6 - (75 - 80) HASTIAL IZQUIERDO - DERECHO

Tara	Peso húmedo	Peso seco	Peso seco + parafina	Peso parafina	Peso sumergido	Densidad parafina	Volumen parafina	Volumen muestra	Densidad seca	Porosidad aparente	Peso específico aparente
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(g/cm ³)	(%)	(KN/m ³)
Prg6- Iz-D - A	442.22	440.29	458.64	18.35	254.67	0.88	20.85	183.12	2.40	3.53	23.58
Prg6- Iz-D - B	198.97	197.96	207.41	9.45	113.71	0.88	10.74	82.96	2.39	0.84	23.40
Numero de resultados									2	2	2
Valor máximo, MAX									2.40	3.53	23.58
Valor mínimo, MIN									2.39	0.84	23.40
Mediana, MED									2.40	2.19	23.49
Valor promedio, MEAN									2.40	2.19	23.49
Desviación estándar, SDEV									0.01	1.91	0.13

PROGRESIVA 7 - (80 - 84) HASTIAL IZQUIERDO - DERECHO

Tara	Peso húmedo	Peso seco	Peso seco + parafina	Peso parafina	Peso sumergido	Densidad parafina	Volumen parafina	Volumen muestra	Densidad seca	Porosidad aparente	Peso específico aparente
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(g/cm ³)	(%)	(KN/m ³)
Prg7- Iz-D - A	441.22	439.29	455.65	16.36	252.57	0.88	18.59	184.49	2.38	3.56	23.35
Prg7- Iz-D - B	197.97	196.96	206.42	9.46	111.71	0.88	10.75	83.96	2.35	0.85	23.00
Numero de resultados									2	2	2
Valor máximo, MAX									2.38	3.56	23.35
Valor mínimo, MIN									2.35	0.85	23.00
Mediana, MED									2.36	2.20	23.18
Valor promedio, MEAN									2.36	2.20	23.18
Desviación estándar, SDEV									0.02	1.92	0.24

ANEXO 4: Fotografía de muestras para propiedades físicas de roca.



ANEXO 5: Resultados de ensayos de compresión simple UCS.

PROGRESIVA 1 - BOCA MINA HASTIAL IZQUIERDO

ID	Diámetro	Altura	Área	Relación	Peso	Carga	Factor de corrección		UCS	UCS corregido	UCS corregido	Tipo de Rotura
	(cm)	(cm)	(cm ²)	L/D	(Kg.)	(Kg-f)	Relación D/L (PROTODYAKONOV)	Por diámetro (Hoek & Brown, 1980)	(MPa)	(MPa)	(Kg-f/cm ²)	
Prg 1 - A Iz	3.82	7.79	11.4	2.04		7380.	1.00	0.95	63.15	59.98	611.61	Disc.
Prg 1 - B Iz	3.82	7.78	11.4	2.04		7630.	1.00	0.95	65.29	62.00	632.27	matriz
Prg 1 - C Iz	3.82	7.70	11.4	2.02		5830.	1.00	0.95	49.89	47.32	482.50	matriz
Prg 1 - D Iz	3.82	7.62	11.4	1.99		3480.	1.00	0.95	29.78	28.21	287.63	Disc.
Numero de resultados									4	4	4	
Valor máximo, MAX									65.29	62.00	632.27	
Valor mínimo, MIN									29.78	28.21	287.63	
Mediana, MED									56.52	53.65	547.06	
Valor promedio, MEAN									52.02	49.38	503.50	
Desviación estándar, SDEV									16.32	15.54	158.44	
Coeficiente de variación, CV									-1.12	-1.12	-1.12	

PROGRESIVA 1 - BOCA MINA HASTIAL DERECHO

ID	Diámetro	Altura	Área	Relación	Peso	Carga	Factor de corrección		UCS	UCS corregido	UCS corregido	Tipo de Rotura
	(cm)	(cm)	(cm ²)	L/D	(Kg.)	(Kg-f)	Relación D/L (PROTODYAKONOV)	Por diámetro (Hoek & Brown, 1980)	(MPa)	(MPa)	(Kg-f/cm ²)	
Prg 1 - A-D	3.82	7.80	11.4	2.04		7010.	1.00	0.95	59.98	56.98	581.08	Disc.
Prg 1 - B-D	3.82	6.86	11.4	1.80		9350.	0.99	0.95	80.00	74.75	762.23	matriz
Prg 1 - C-D	3.82	5.89	11.4	1.54		5380.	0.96	0.95	46.03	42.06	428.89	Disc.
Numero de resultados									3	3	3	
Valor máximo, MAX									80.00	74.75	762.23	
Valor mínimo, MIN									46.03	42.06	428.89	
Mediana, MED									59.98	56.98	581.08	
Valor promedio, MEAN									62.01	57.93	590.73	
Desviación estándar, SDEV									17.08	16.37	166.88	
Coeficiente de variación, CV									0.53	0.26	0.26	

PROGRESIVA 2 - (15 - 20) METROS DE LA BOCAMINA HASTIAL IZQUIERDO

ID	Diámetro	Altura	Área	Relación	Peso	Carga	Factor de corrección		UCS	UCS corregido	UCS corregido	Tipo de Rotura
	(cm)	(cm)	(cm ²)	L/D	(Kg.)	(Kg-f)	Relación D/L (PROTODYAKONOV)	Por diámetro (Hoek & Brown, 1980)	(MPa)	(MPa)	(Kg-f/cm ²)	
Prg 2 -A-Iz	3.82	7.70	11.4	2.02		4530.	1.00	0.95	38.76	36.77	374.91	matriz
Prg 2 -B-Iz	3.82	7.10	11.4	1.86		4350.	0.99	0.95	37.22	34.94	356.27	matriz
Prg 2 -C-Iz	3.82	6.44	11.4	1.69		5460.	0.98	0.95	46.72	43.26	441.16	matriz
Prg 2 -D-Iz	3.82	6.24	11.4	1.63		3660.	0.97	0.95	31.32	28.87	294.35	matriz
Numero de resultados									4	4	4	
Valor máximo, MAX									46.72	43.26	441.16	
Valor mínimo, MIN									31.32	28.87	294.35	
Mediana, MED									37.99	35.85	365.59	
Valor promedio, MEAN									38.50	35.96	366.67	
Desviación estándar, SDEV									6.35	5.93	60.43	
Coeficiente de variación, CV									0.47	0.10	0.10	



PROGRESIVA 2 - (15 - 20) METROS DE LA BOCAMINA HASTIAL DERECHO

ID	Diámetro	Altura	Área	Relación	Peso	Carga	Factor de corrección		UCS	UCS corregido	UCS corregido	Tipo de Rotura
	(cm)	(cm)	(cm ²)	L/D	(Kg.)	(Kg-f)	Relación D/L (PROTODYAKONOV)	Por diámetro (Hoek & Brown, 1980)	(MPa)	(MPa)	(Kg-f/cm ²)	
Prg 2 - A D	3.82	7.05	11.4	1.85		6070.	0.99	0.95	51.94	48.71	496.67	matriz
Prg 2 - B D	3.82	7.65	11.4	2.00		7070.	1.00	0.95	60.50	57.33	584.65	matriz
Prg 2 - C D	3.82	7.75	11.4	2.03		7170.	1.00	0.95	61.35	58.24	593.87	matriz
Numero de resultados									3	3	3	
Valor máximo, MAX									61.35	58.24	593.87	
Valor mínimo, MIN									51.94	48.71	496.67	
Mediana, MED									60.50	57.33	584.65	
Valor promedio, MEAN									57.93	54.76	558.40	
Desviación estándar, SDEV									5.20	5.26	53.65	
Coeficiente de variación, CV									-1.68	-1.67	-1.67	

PROGRESIVA 3 - (25 - 30) METROS DE LA BOCAMINA HASTIAL IZQUIERDO

ID	Diámetro	Altura	Área	Relación	Peso	Carga	Factor de corrección		UCS	UCS corregido	UCS corregido	Tipo de Rotura
	(cm)	(cm)	(cm ²)	L/D	(Kg.)	(Kg-f)	Relación D/L (PROTODYAKONOV)	Por diámetro (Hoek & Brown, 1980)	(MPa)	(MPa)	(Kg-f/cm ²)	
Prg 3 - A - Iz	3.82	7.68	11.4	2.01		8610.0	1.00	0.95	73.67	69.86	712.34	M + DISC
Prg 3 - B - Iz	3.82	7.65	11.4	2.00		5650.0	1.00	0.95	48.35	45.82	467.22	matriz
Prg 3 - C - Iz	3.82	7.86	11.4	2.06		9330.0	1.00	0.95	79.83	75.91	774.12	matriz
Prg 3 - D - Iz	3.82	6.59	11.4	1.73		8210.0	0.98	0.95	70.25	65.27	665.55	matriz
Numero de resultados									4	4	4	
Valor máximo, MAX									79.83	75.91	774.12	
Valor mínimo, MIN									48.35	45.82	467.22	
Mediana, MED									71.96	67.56	688.95	
Valor promedio, MEAN									68.03	64.21	654.81	
Desviación estándar, SDEV									13.71	13.02	132.73	
Coeficiente de variación, CV									-1.50	-1.34	-1.34	

PROGRESIVA 3 - (25 - 30) METROS DE LA BOCAMINA HASTIAL DERECHO

ID	Diámetro	Altura	Área	Relación	Peso	Carga	Factor de corrección		UCS	UCS corregido	UCS corregido	Tipo de Rotura
	(cm)	(cm)	(cm ²)	L/D	(Kg.)	(Kg-f)	Relación D/L (PROTODYAKONOV)	Por diámetro (Hoek & Brown, 1980)	(MPa)	(MPa)	(Kg-f/cm ²)	
Prg 3 - A - D	3.82	7.80	11.4	2.04		6380.0	1.00	0.95	54.59	51.86	528.86	matriz
Prg 3 - B - D	3.82	7.72	11.4	2.02		13400.	1.00	0.95	114.66	108.79	1109.35	matriz
Prg 3 - C - D	3.82	7.71	11.4	2.02		7650.0	1.00	0.95	65.46	62.10	633.22	matriz
Prg 3 - D - D	3.82	6.85	11.4	1.79		9180.0	0.99	0.95	78.55	73.38	748.22	matriz
Prg 3 - E - D	3.82	7.70	11.4	2.02		10350.	1.00	0.95	88.56	84.00	856.58	matriz
Prg 3 - F - D	3.82	7.79	11.4	2.04		10050.	1.00	0.95	85.99	81.68	832.94	matriz
Numero de resultados									6	4	4	
Valor máximo, MAX									114.66	108.79	1109.35	
Valor mínimo, MIN									54.59	51.86	528.86	
Mediana, MED									72.00	67.74	690.72	
Valor promedio, MEAN									78.31	74.03	754.91	
Desviación estándar, SDEV									26.13	24.78	252.71	
Coeficiente de variación, CV									1.21	1.29	1.29	



PROGRESIVA 5 - (65 - 70) METROS DE LA BOCAMINA HASTIAL IZQUIERDO

ID	Diámetro	Altura	Área	Relación	Peso	Carga	Factor de corrección		UCS	UCS corregido	UCS corregido	Tipo de Rotura
	(cm)	(cm)	(cm ²)	L/D	(Kg.)	(Kg-f)	Relación D/L (PROTODYAKONO V)	Por diámetro (Hoek & Brown, 1980)	(MPa)	(MPa)	(Kg-f/cm ²)	
Prg 5 - A - Iz	3.82	5.73	11.4	1.50		2450.0	0.96	0.95	20.96	19.07	194.46	Disc.
Prg 5 - B - I	3.82	6.09	11.4	1.59		4930.0	0.97	0.95	42.18	38.74	395.05	matriz
Numero de resultados									2	2	2	
Valor máximo, MAX									42.18	38.74	395.05	
Valor mínimo, MIN									20.96	19.07	194.46	
Mediana, MED									31.57	28.91	294.75	
Valor promedio, MEAN									31.57	28.91	294.75	
Desviación estándar, SDEV									15.01	13.91	141.83	
Coeficiente de variación, CV									#iDIV/0!	#iDIV/0!	#iDIV/0!	

PROGRESIVA 6 - (75 - 80) METROS DE LA BOCAMINA HASTIAL DERECHO

ID	Diámetro	Altura	Área	Relación	Peso	Carga	Factor de corrección		UCS	UCS corregido	UCS corregido	Tipo de Rotura
	(cm)	(cm)	(cm ²)	L/D	(Kg.)	(Kg-f)	Relación D/L (PROTODYAKONO V)	Por diámetro (Hoek & Brown, 1980)	(MPa)	(MPa)	(Kg-f/cm ²)	
Prg 6 - A D	3.82	7.73	11.4	2.02		9750.	1.00	0.95	83.43	79.17	807.31	matriz
Prg 6 - B D	3.82	7.89	11.4	2.07		15390.	1.00	0.95	131.69	125.28	1277.51	matriz
Prg 6 - C D	3.82	7.66	11.4	2.01		7030.	1.00	0.95	60.15	57.02	581.43	matriz
Prg 6 - D D	3.82	7.74	11.4	2.03		12840.	1.00	0.95	109.87	104.28	1063.33	matriz
Prg 6 - E D	3.82	7.70	11.4	2.02		12860.	1.00	0.95	110.04	104.37	1064.31	disc
Numero de resultados									5	4	4	
Valor máximo, MAX									131.69	125.28	1277.51	
Valor mínimo, MIN									60.15	57.02	581.43	
Mediana, MED									96.65	91.72	935.32	
Valor promedio, MEAN									96.28	91.44	932.40	
Desviación estándar, SDEV									31.14	29.69	302.80	
Coeficiente de variación, CV									-0.05	-0.04	-0.04	

PROGRESIVA 7 - (80 - 84) METROS DE LA BOCAMINA HASTIAL IZQUIERDO

ID	Diámetro	Altura	Área	Relación	Peso	Carga	Factor de corrección		UCS	UCS corregido	UCS corregido	Tipo de Rotura
	(cm)	(cm)	(cm ²)	L/D	(Kg.)	(Kg-f)	Relación D/L (PROTODYAKONOV)	Por diámetro (Hoek & Brown, 1980)	(MPa)	(MPa)	(Kg-f/cm ²)	
Prg 7 - A - Iz	5.5	10.92	23.7	1.99		28860.	1.00	1.02	119.1	121.31	1236.98	matriz
Prg 7 - B - Iz	5.5	8.89	23.7	1.62		17350.	0.97	1.02	71.62	70.89	722.88	matriz
Prg 7 - C - Iz	3.82	7.69	11.4	2.01		12730.	1.00	0.95	108.9	103.30	1053.38	matriz
Numero de resultados									3	3	3	
Valor máximo, MAX									119.1	121.31	1236.98	
Valor mínimo, MIN									71.62	70.89	722.88	
Mediana, MED									108.9	103.30	1053.38	
Valor promedio, MEAN									99.89	98.50	1004.41	
Desviación estándar, SDEV									25.01	25.55	260.52	
Coeficiente de variación, CV									-1.41	-0.82	-0.82	



PROGRESIVA 7 - (80 - 84) METROS DE LA BOCAMINA HASTIAL DERECHO

ID	Diámetro	Altura	Área	Relación	Peso	Carga	Factor de corrección		UCS	UCS corregido	UCS corregido	Tipo de Rotura
	(cm)	(cm)	(cm ²)	L/D	(Kg.)	(Kg-f)	Relación D/L (PROTODYAKONOV)	Por diámetro (Hoek & Brown, 1980)	(MPa)	(MPa)	(Kg-f/cm ²)	
Prg 7 - A Dr	3.82	7.70	11.4	2.02		10060	1.00	0.95	86.08	81.65	832.57	matriz
Prg 7 - B Dr	3.82	7.62	11.4	1.99		15700	1.00	0.95	134.3	127.26	1297.66	matriz
Prg 7 - C Dr	3.82	7.72	11.4	2.02		15850	1.00	0.95	135.6	128.68	1312.18	matriz
Prg 7 - D Dr	3.82	7.70	11.4	2.02		14930	1.00	0.95	127.7	121.17	1235.62	matriz
Numero de resultados									4	4	4	
Valor máximo, MAX									135.6	128.68	1312.18	
Valor mínimo, MIN									86.08	81.65	832.57	
Mediana, MED									131.0	124.21	1266.64	
Valor promedio, MEAN									120.9	114.69	1169.51	
Desviación estándar, SDEV									23.50	22.27	227.06	
Coeficiente de variación, CV									-1.88	-1.88	-1.88	

ANEXO 6: Fotografías de muestras UCS - progresión a izquierda



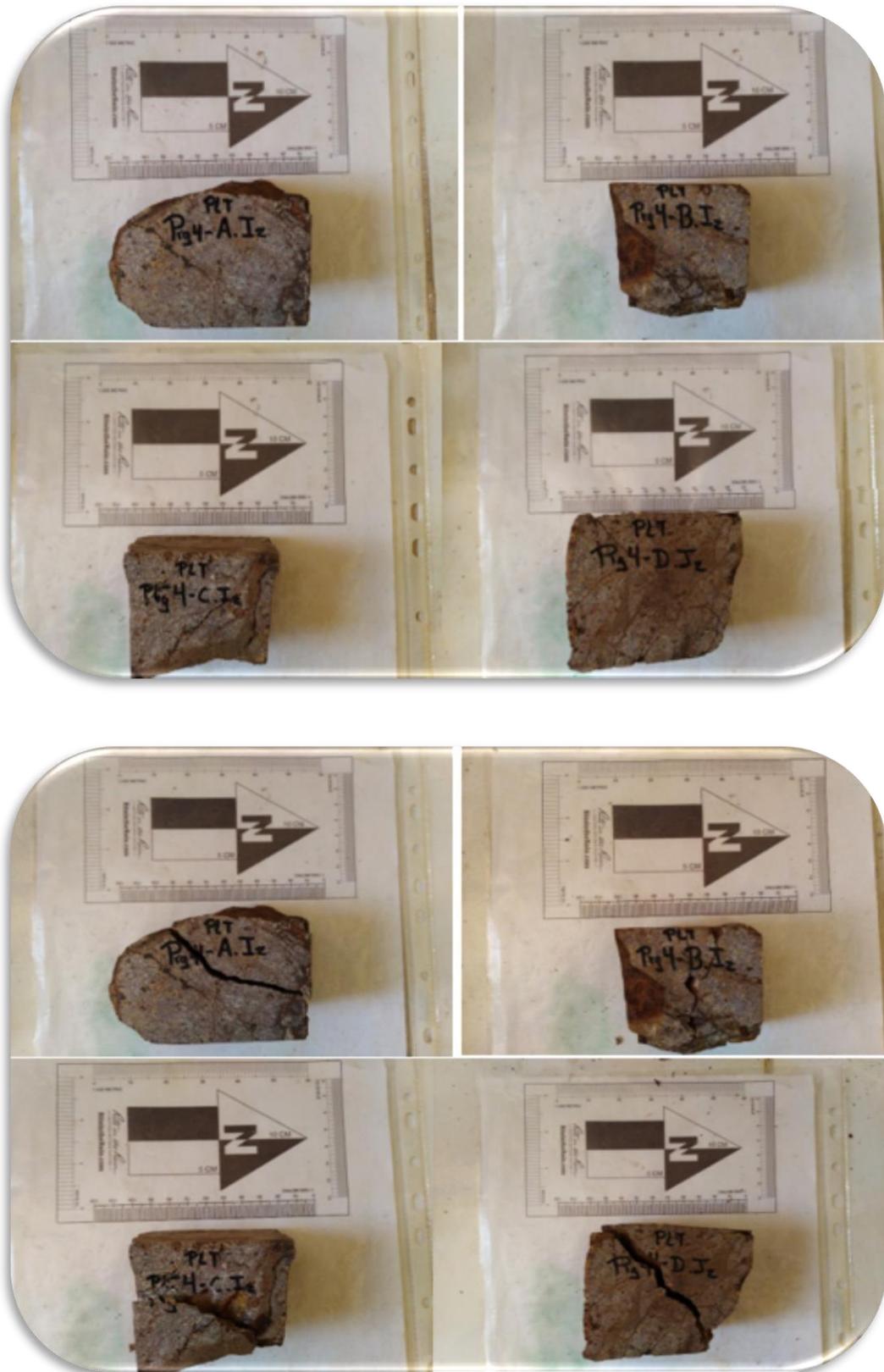


ANEXO 7: Resultados de ensayo de carga puntual en roca.

PROGRESIVA 4 - (45 - 50)										
NIVEL		4790			MUESTRA					
ID	W (mm)	D (mm)	De (mm)	Carga Aplicada (N)	Tipo de prueba	F	Is(50)	UCS	Tipo de Rotura	
A	55.00	45.80	3207.29	70.00	Irregular	6.50467686	0.14	3.41	matriz	
B	53.00	41.80	2820.73	79.00	Irregular	6.13940834	0.17	4.13	matriz	
C	65.00	38.90	3219.39	117.00	Irregular	6.51570454	0.24	5.68	matriz	
D	64.00	51.00	4155.85	70.00	Irregular	7.30904472	0.12	2.95	matriz	
E	48.00	50.00	3055.77	46.00	Irregular	6.36455597	0.10	2.30	matriz	
F	73.00	47.00	4368.48	20.00	Irregular	7.47502027	0.03	0.82	matriz	
G	57.00	45.00	3265.86	8.50	Irregular	6.55786342	0.02	0.41	matriz	
H	65.00	32.00	2648.34	73.00	Irregular	5.96762538	0.16	3.95	matriz	
Numero de resultados								8	8	
Valor máximo, MAX								0.24	5.68	
Valor mínimo, MIN								0.02	0.41	
Mediana, MED								0.13	3.18	
Valor promedio, MEAN								0.12	2.96	
Desviación estándar, SDEV								0.07	1.75	
Coeficiente de variación, CV								-0.13	-0.13	

PROGRESIVA 5 - (65 - 70)										
NIVEL		4790			MUESTRA					
ID	W (mm)	D (mm)	De (mm)	Carga Aplicada (N)	Tipo de prueba	F	Is(50)	UCS	Tipo de Rotura	
A	72.00	45.00	4125.30	48.00	Irregular	7.28481129	0.08	2.03	matriz	
B	48.00	50.50	3086.33	31.00	Irregular	6.39311812	0.06	1.54	matriz	
C	40.10	56.90	2905.14	39.00	Irregular	6.22140593	0.08	2.00	matriz	
D	65.00	49.00	4055.27	54.00	Irregular	7.22890135	0.10	2.31	matriz	
E	60.00	57.00	4354.48	36.00	Irregular	7.46422632	0.06	1.48	matriz	
F	65.00	33.50	2772.48	49.00	Irregular	6.09192047	0.11	2.58	matriz	
G	54.00	49.80	3424.00	28.00	Irregular	6.69889927	0.05	1.31	matriz	
H	75.00	38.00	3628.73	22.00	Irregular	6.87627502	0.04	1.00	matriz	
Numero de resultados								8	8	
Valor máximo, MAX								0.11	2.58	
Valor mínimo, MIN								0.04	1.00	
Mediana, MED								0.07	1.77	
Valor promedio, MEAN								0.07	1.78	
Desviación estándar, SDEV								0.02	0.54	
Coeficiente de variación, CV								0.07	0.07	

ANEXO 8: Fotografía de ensayo de PLT.





ANEXO 9: Formato de mapeo geomecánico RMR mapeo lineal

MAPEO GEOMECANICO RMR										Nivel:		Labor:			
MAPEO LINEAL										Fecha:					
REGISTRO N°:										Litología:		Hecho por:			
OBSERVACIONES:															
N°	D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	TIPO DE DISC.	DIP DIR	DIP	Resistencia a la compresion	RQD	Espaciamento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subteranea	Orientacion discontinuidades	RMR
								Persistencia	Apertura	Regosidad	Relleao	Alteracion			
					15 12 7 4 2	20 17 13 8 3	20 15 10 8 7	6 4 2 1 0	6 5 3 1 0	6 4 2 1 0	6 5 3 1 0	15 10 7 4 1	0 2 -5 -10 -12		
					1->>250mpa 2-> 100-250mpa 3-> 50-100mpa 4-> 25-50mpa 5-><25mpa	1-> 90-100% 2-> 75-90% 3-> 50-75% 4-> 25-50% 5->< 25%	1->>2m 2-> 0.5-2m 3-> 200-600mm 4-> 60-300mm 5-><60mm	1-><1m 2-> 1-3m 3-> 3-10m 4-> 10-20m 5->>20m	1-> Cerrado 2-> Muy Angosta <0.1mm 3-> Angosta 0.1-1mm 4-> Abierta 1.0-5.0mm 5-> Muy Abierta >5.0mm	1-> Muy rugoso 2-> Rugoso 3-> Aparentemente rugoso 4-> Lisa 5-> Muy Lisa	1-> Ninguna 2-> Relleado <3mm 3-> Relleado >3mm 4-> Relleado blanco <5mm 5-> Relleado blanco >5mm	1-> No mineralizada 2-> Ligera mente 3-> Moderadamente 4-> Abundante mineralizada 5-> Descompuestas	1-> Completamente seco 2-> Humedo 3-> Hogado 4-> Gotoso 5-> Filoso	1-> Muy Favorable 2-> Favorable 3-> Regular 4-> Desfavorable 5-> Muy desfavorable	
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															

CLASIFICACION DE MACIZO ROCOSO		# FRACT/M	RQD %
RMR	DESCRIPCION		
91 - 100	MUY BUENA A	2	98
81 - 90	MUY BUENA B	3	96
71 - 80	BUENA A	4	94
61 - 70	BUENA B	5	91
51 - 60	REGULAR A	6	88
41 - 50	REGULAR B	7	84
31 - 40	MALA A	8	81
21 - 30	MALA B	9	77
0 - 20	MUY MALA A	10	74
		11	70
		12	65
		13	63
		14	59
		15	56
		16	53
		17	49
		18	46
		19	43
		20	41
		21	38
		22	35
		23	33
		24	31
		25	29
		26	27
		27	25
		28	23
		29	21
		30	20

ANEXO 10: Mapeo geomecánico estación 01

FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 01										
PROGRESIVA: 000 + 010 m										
N°	TIPO DE DISC. D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterranea
					Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	
					20 15 10 8 5	6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 5 3 1 0	6 4 2 1 0	
1	J	264	71	15	4	5	5	4	3	15
2	J	240	82	15	4	5	5	4	3	15
3	J	253	62	10	6	5	3	4	3	10
4	J	225	80	10	6	5	3	4	3	10
5	J	273	69	10	6	5	5	4	3	10
6	J	242	85	10	6	5	5	4	3	10
7	J	201	32	15	4	5	3	4	3	10
8	J	89	40	10	4	5	3	4	3	10
9	J	240	75	10	4	5	3	4	3	10
10	J	245	85	10	4	5	3	4	3	10
11	J	272	38	15	6	5	3	4	3	10
12	J	84	54	10	4	5	3	4	3	10
13	J	70	43	10	4	5	3	4	3	10
14	J	55	72	15	4	5	3	4	3	10
15	J	41	80	15	4	5	5	4	3	10
16	J	242	70	10	4	5	5	4	3	10
17	J	287	25	10	4	4	3	1	3	10
18	J	22	51	10	6	4	3	1	3	10
19	J	50	54	10	4	4	3	1	3	10
20	J	54	52	10	4	4	3	1	3	10



FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 01										
PROGRESIVA: 000 + 010 m										
N°	TIPO DE DISC. D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterranea
					Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	
					20 15 10 8 5	6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 4 2 1 0	6 5 3 1 0	
				1.- >2m 2.- 0.6-2m 3.- 200-600mm 4.- 60-200mm 5.- <60mm	1.- <1m 2.- 1-3m 3.- 3-10m 4.- 10-20m 5.- >20m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta <0.1mm 3.- Angosta 0.1-1.0mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0mm 5.- Muy Abierta >5.0mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugoso 4.- Lisa 5.- Muy Lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blando <5mm 5.- Relleno blando >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Humedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.- Flujo
21	J	55	56	15	4	5	5	4	3	10
22	J	274	65	15	4	5	5	4	3	10
23	J	296	67	10	6	5	3	4	3	10
24	J	129	80	10	6	5	3	4	3	10
25	J	121	41	10	6	5	5	4	3	10
26	J	351	51	10	6	5	5	4	3	10
27	J	323	67	15	4	5	3	4	3	10
28	J	4	43	10	4	5	3	4	3	10
29	J	124	39	10	4	5	3	4	3	10
30	J	115	58	10	4	5	3	4	3	10
31	J	113	56	15	6	5	3	4	3	10
32	J	110	84	10	4	5	3	4	3	10
33	J	272	74	10	4	5	3	4	3	10
34	J	164	38	15	4	5	3	4	3	10
35	J	153	34	15	4	5	5	4	3	10
36	J	188	68	10	4	5	5	4	3	10
37	J	130	47	10	4	4	3	1	3	10
38	J	134	34	10	6	4	3	1	3	10
39	J	78	88	10	4	4	3	1	3	10
40	J	69	82	10	4	4	3	1	3	10

ANEXO 11: Mapeo geomecánico estación 02

FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 02											
PROGRESIVA: 010 + 020 m											
N°	TIPO DE DISC. D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterranea	
					Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	Agua Subterranea	
										6	5
				1.- >2m 2.- 0.6-2m 3.- 200-600mm 4.- 60-200mm 5.- <60mm	1.- <1m 2.- 1-3m 3.- 3-10m 4.- 10-20m 5.- >20m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta <0.1mm 3.- Angosta 0.1-1.0mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0mm 5.- Muy Abierta >5.0mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugoso 4.- Lisa 5.- Muy Lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blando <5mm 5.- Relleno blando >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Humedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.- Flujo	
1	J	144	46	10	4	5	5	1	5	10	
2	J	151	39	10	4	5	5	1	3	10	
3	J	111	52	15	4	5	5	1	3	10	
4	J	137	39	15	4	6	3	6	3	10	
5	J	273	69	10	4	5	3	1	5	10	
6	J	10	88	8	4	5	5	1	5	10	
7	J	92	79	10	2	5	5	1	5	10	
8	J	135	70	10	2	5	5	1	5	10	
9	J	290	7	10	2	5	3	1	5	10	
10	J	14	75	10	4	5	5	1	3	10	
11	J	50	68	10	4	4	5	1	3	10	
12	J	280	24	10	6	5	5	1	3	10	
13	J	170	60	10	4	4	5	1	5	10	
14	J	150	65	10	4	5	3	1	5	10	
15	J	267	40	10	4	5	5	1	5	10	
16	J	270	51	10	4	5	5	1	5	10	
17	J	238	58	10	4	5	3	1	5	10	
18	J	355	20	10	4	5	3	1	5	10	
19	J	125	35	10	4	5	3	1	5	10	
20	J	120	34	10	4	5	3	1	5	10	



FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 02																					
PROGRESIVA: 010 + 020 m																					
N°	D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	TIPO DE DISC.	DIP DIR	DIP	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterranea										
						Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion											
											6	5	4	3	2	1	0	15	10	7	4
20	15	10	8	5	6	4	2	1	0	6	5	4	3	1	0	6	5	3	1	0	
1.- >2m	1.- <1m	1.- Cerrada 0	1.- Muy rugoso	1.- Ninguna	1.- No meteorizada	1.- Completamente seco															
2.- 0.6-2m	2.- 1-3m	2.- Muy Angosta <0.1mm	2.- Rugoso	2.- Relleno duro <5mm	2.- Ligeramente	2.- Humedo															
3.- 200-600mm	3.- 3-10m	3.- Angosta 0.1-1.0mm	3.- Ligeramente rugoso	3.- Relleno duro >5mm	3.- Moderadamente	3.- Mojado															
4.- 60-200mm	4.- 10-20m	4.- Abierta 1.0 - 5.0mm	4.- Lisa	4.- Relleno blando <5mm	4.- Altamente meteorizada	4.- Goteo															
5.- <60mm	5.- >20m	5.- Muy Abierta >5.0mm	5.- Muy Lisa	5.- Relleno blando >5mm	5.- Descompuesta	5.- Flujo															
21	J	136	28	10	6	5	5	4	3	7											
22	J	82	52	10	4	5	5	4	3	7											
23	J	79	50	10	4	5	5	4	3	7											
24	J	103	39	15	4	5	5	4	3	7											
25	J	86	51	15	6	5	5	4	3	7											
26	J	253	48	8	4	5	5	4	3	7											
27	J	223	80	8	6	5	5	4	3	7											
28	J	101	43	8	4	5	5	4	3	7											
29	J	108	54	10	4	5	3	4	1	7											
30	J	170	75	10	4	4	5	1	5	7											
31	J	253	56	10	6	5	5	4	5	7											
32	J	170	71	10	4	5	5	4	5	7											
33	J	340	49	8	6	5	5	4	5	7											
34	J	212	30	10	4	4	5	1	5	7											
35	J	233	45	10	4	4	3	1	5	7											
36	J	224	53	10	4	4	5	1	5	7											
37	J	351	56	10	4	4	5	1	1	7											
38	J	215	68	10	4	5	5	4	5	7											
39	J	212	84	8	6	4	3	1	1	7											
40	J	210	88	8	6	4	3	1	1	7											

ANEXO 12: Mapeo geomecánico estación 03

FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 03											
PROGRESIVA: 020 + 030 m											
N°	TIPO DE DISC.	DIP DIR	DIP	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea	
					Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion		
					6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 5 3 1 0	6 4 2 1 0	6 5 3 1 0	15 10 7 4 0	
				1.- >2m 2.- 0.6-2m 3.- 200-600mm 4.- 60-200mm 5.- <60mm	1.- <1m 2.- 1-3m 3.- 3-10m 4.- 10-20m 5.- >20m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta <0.1mm 3.- Angosta 0.1-1.0mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0mm 5.- Muy Abierta >5.0mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugoso 4.- Lisa 5.- Muy Lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blando <5mm 5.- Relleno blando >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Humedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.- Flujo	
1	J	188	76	15	4	6	3	6	3	7	
2	J	197	89	10	4	6	5	6	1	7	
3	J	268	60	10	6	6	5	6	3	7	
4	J	0	75	10	6	5	3	1	3	7	
5	J	106	35	10	4	5	5	1	3	7	
6	J	227	67	10	4	5	5	1	3	7	
7	J	5	82	10	6	6	3	6	3	7	
8	J	310	56	10	2	5	5	1	3	7	
9	J	36	65	10	4	5	3	1	3	7	
10	J	82	45	10	4	5	5	1	3	7	
11	J	110	34	15	4	6	3	6	3	7	
12	J	170	65	15	4	5	5	1	3	7	
13	J	282	67	15	4	4	5	1	3	7	
14	J	250	65	15	4	5	3	1	3	7	
15	J	268	60	10	4	5	3	1	1	7	
16	J	210	70	10	6	5	3	1	3	7	
17	J	45	32	10	2	5	5	1	3	7	
18	J	47	35	10	4	5	5	1	1	7	
19	J	98	56	15	4	5	3	1	3	7	
20	J	96	59	15	4	5	3	1	3	7	

FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 03																																		
PROGRESIVA: 020 + 030 m																																		
N°	TIPO DE DISC. D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES							Agua Subterranea																							
				Espaciamiento entre Discontinuidad	Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion																									
										20		15	10	8	5	6	4	2	1	0	6	5	3	1	0	15	10	7	4	0				
1.- >2m	2.- 0.6-2m	3.- 200-600mm	4.- 60-200mm	5.- <60mm	1.- <1m	2.- 1-3m	3.- 3-10m	4.- 10-20m	5.- >20m	1.- Cerrada 0	2.- Muy Angosta <0.1mm	3.- Angosta 0.1-1.0mm	4.- Abierta 1.0 - 5.0mm	5.- Muy Abierta >5.0mm	1.- Muy rugoso	2.- Rugoso	3.- Ligeramente rugoso	4.- Lisa	5.- Muy Lisa	1.- Ninguna	2.- Relleno duro <5mm	3.- Relleno duro >5mm	4.- Relleno blando <5mm	5.- Relleno blando >5mm	1.- No meteorizada	2.- Ligeramente	3.- Moderadamente	4.- Altamente meteorizada	5.- Descompuesta	1.- Completamente seco	2.- Humedo	3.- Mojado	4.- Gotero	5.- Flujo
21	J	155	81	10	6	5	5	4	3	7																								
22	J	326	68	10	6	5	3	4	1	7																								
23	J	82	94	10	6	5	5	4	3	7																								
24	J	134	85	10	4	5	5	4	3	7																								
25	J	94	29	10	4	4	3	1	3	7																								
26	J	176	40	15	4	4	3	1	3	7																								
27	J	85	45	10	4	4	5	1	1	7																								
28	J	94	45	8	4	5	5	4	3	7																								
29	J	110	61	10	4	5	3	4	3	7																								
30	J	287	58	10	4	5	5	4	3	7																								
31	J	241	34	10	4	5	5	4	3	7																								
32	J	343	89	10	4	5	3	4	1	7																								
33	J	36	75	8	4	5	3	4	1	7																								
34	J	308	57	10	4	5	5	4	3	7																								
35	J	183	65	10	4	5	3	4	3	7																								
36	J	154	69	10	6	5	3	4	3	7																								
37	J	155	78	10	4	5	5	4	3	7																								
38	J	163	85	10	4	5	5	4	3	7																								
39	J	23	62	8	4	5	3	4	3	7																								
40	J	25	64	10	4	5	5	4	3	7																								

ANEXO 13: Mapeo geomecánico estación 04

FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 04																							
PROGRESIVA: 030 + 040 m																							
N°	TIPO DE DISC. D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamento entre discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterranea													
					Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	Agua Subterranea													
										6	5	4	3	2	1	0							
20	15	10	8	5	6	5	4	3	2	1	0	6	5	4	3	2	1	0	15	10	7	4	0
1	J	68	83	8	4	5	5	4	3	7													
2	J	255	42	10	4	5	5	4	1	7													
3	J	246	58	8	4	5	3	4	3	7													
4	J	82	36	8	4	5	3	4	1	7													
5	J	358	88	8	4	5	5	4	3	7													
6	J	241	87	10	6	5	5	4	3	7													
7	J	53	74	10	6	5	5	4	3	7													
8	J	45	67	10	6	5	3	4	3	7													
9	J	275	35	10	4	5	5	4	3	7													
10	J	222	75	10	2	4	3	1	3	7													
11	J	107	20	10	4	5	5	4	3	7													
12	J	255	55	10	4	5	3	4	3	7													
13	J	227	54	10	6	5	5	4	3	7													
14	J	254	58	10	6	5	5	4	3	7													
15	J	194	60	10	6	5	5	4	1	7													
16	J	180	75	10	4	5	3	4	3	7													
17	J	260	50	10	4	5	3	4	3	7													
18	J	9	90	10	4	5	5	4	1	7													
19	J	292	76	10	4	5	5	4	3	7													
20	J	280	75	10	4	5	5	4	3	7													



FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 04										
PROGRESIVA: 030 + 040 m										
N°	TIPO DE DISC. D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterranea
					Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	
					20 15 10 8 5	6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 5 3 1 0	6 4 2 1 0	
				1.- >2m 2.- 0.6-2m 3.- 200-600mm 4.- 60-200mm 5.- <60mm	1.- <1m 2.- 1-3m 3.- 3-10m 4.- 10-20m 5.- >20m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta <0.1mm 3.- Angosta 0.1-1.0mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0mm 5.- Muy Abierta >5.0mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugoso 4.- Lisa 5.- Muy Lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blanco <5mm 5.- Relleno blanco >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Humedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.- Flujo
21	J	176	85	10	4	5	5	4	1	7
22	J	168	76	10	4	5	5	4	3	7
23	J	103	48	10	4	5	5	4	1	7
24	J	276	64	10	4	5	5	4	1	7
25	J	44	35	10	4	4	5	1	1	7
26	J	12	77	10	4	4	5	1	3	7
27	J	161	86	10	4	5	3	4	1	7
28	J	137	54	10	6	5	3	4	1	7
29	J	190	19	8	6	6	3	6	3	7
30	J	230	29	8	6	5	5	4	3	7
31	J	193	87	8	4	6	5	6	3	7
32	J	235	67	10	4	6	5	6	3	7
33	J	294	59	8	4	5	5	4	3	7
34	J	207	62	8	4	5	5	4	3	7
35	J	199	57	10	4	5	5	4	3	7
36	J	187	58	8	4	5	5	4	3	7
37	J	300	65	8	4	5	5	4	3	7
38	J	196	74	8	4	5	5	4	1	7
39	J	90	48	8	6	5	5	4	3	7
40	J	96	52	8	4	5	5	4	3	7

ANEXO 14: Mapeo geomecánico estación 05

FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 05										
PROGRESIVA: 040 + 050 m										
N°	D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterranea
					Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	
				1.- >2m 2.- 0.6-2m 3.- 200-600mm 4.- 60-200mm 5.- <60mm	1.- <1m 2.- 1-3m 3.- 3-10m 4.- 10-20m 5.- >20m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta <0.1mm 3.- Angosta 0.1-1.0mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0mm 5.- Muy Abierta >5.0mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugoso 4.- Lisa 5.- Muy Lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blando <5mm 5.- Relleno blando >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Humedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.- Flujo
1	J	250	70	10	6	5	3	4	3	7
2	J	180	77	10	4	5	3	4	1	7
3	J	75	55	10	4	5	3	4	3	7
4	J	8	68	10	4	5	5	4	1	7
5	J	243	60	10	6	5	3	4	1	7
6	J	254	47	10	4	5	3	4	1	7
7	J	72	54	10	6	6	3	6	1	7
8	J	240	50	10	4	6	3	6	1	7
9	J	280	80	10	6	6	3	6	1	7
10	J	50	52	10	6	6	3	6	3	7
11	J	30	55	10	6	5	3	4	3	7
12	J	285	60	8	4	5	3	4	3	7
13	J	250	34	8	4	5	3	4	3	7
14	J	233	70	8	4	5	3	4	3	7
15	J	110	50	10	4	5	3	4	3	7
16	J	15	72	10	4	5	3	4	3	7
17	J	150	87	10	4	6	5	6	3	7
18	J	20	50	10	6	5	3	4	3	7
19	J	329	79	10	4	4	3	1	1	7
20	J	326	76	10	4	5	3	4	1	7

FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 05											
PROGRESIVA: 040 + 050 m											
N°	TIPO DE DISC.	D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterranea
						Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	
						20 15 10 8 5	6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 5 4 2 1 0	6 5 3 1 0	
21	J	294	75	10	4	5	5	4	1	7	
22	J	358	87	10	4	6	5	6	1	7	
23	J	47	60	10	4	5	3	4	1	7	
24	J	195	84	10	6	5	3	4	1	7	
25	J	28	89	10	6	4	3	1	1	7	
26	J	325	68	10	6	5	3	4	3	7	
27	J	290	77	15	6	6	5	6	3	7	
28	J	10	85	15	4	5	3	4	3	7	
29	J	15	82	15	6	5	3	4	1	7	
30	J	250	55	10	4	5	5	4	3	7	
31	J	330	25	10	4	5	5	4	1	7	
32	F	192	81	10	0	1	6	1	3	7	
33	J	105	48	15	6	5	5	4	3	7	
34	J	117	38	15	2	4	5	1	3	7	
35	J	62	72	15	2	5	3	4	1	7	
36	J	165	78	15	2	5	5	4	3	7	
37	J	230	60	10	4	4	5	1	3	7	
38	J	14	88	10	6	4	5	1	3	7	
39	J	315	82	10	4	4	5	1	3	7	
40	J	270	85	10	4	4	3	1	3	7	



ANEXO 15: Mapeo geomecánico estación 06

FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 06											
PROGRESIVA: 050 + 060 m											
N°	TIPO DE DISC. D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterranea	
					Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion		
					20 15 10 8 5	6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 5 3 1 0	6 4 2 1 0	6 5 3 1 0	15 10 7 4 0
				1.- >2m 2.- 0.6-2m 3.- 200-600mm 4.- 60-200mm 5.- <60mm	1.- <1m 2.- 1-3m 3.- 3-10m 4.- 10-20m 5.- >20m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta <0.1mm 3.- Angosta 0.1-1.0mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0mm 5.- Muy Abierta >5.0mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugoso 4.- Lisa 5.- Muy Lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blando <5mm 5.- Relleno blando >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Humedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.- Flujo	
1	J	215	62	10	4	6	5	6	1	7	
2	J	232	70	10	2	6	5	6	1	7	
3	J	275	80	10	4	5	5	4	3	7	
4	J	23	82	10	4	5	3	4	3	7	
5	J	280	80	10	4	5	5	4	1	7	
6	J	240	48	10	6	5	5	4	3	7	
7	J	44	65	8	4	5	3	4	1	7	
8	J	272	82	8	4	5	3	4	3	7	
9	J	55	52	8	6	4	3	1	1	7	
10	J	237	85	8	6	4	5	1	3	7	
11	J	110	64	8	6	5	5	4	1	7	
12	J	48	60	10	4	4	5	1	1	7	
13	J	280	80	10	4	5	5	4	1	7	
14	J	55	80	10	4	5	3	4	3	7	
15	J	53	80	10	4	5	5	4	1	7	
16	J	80	85	10	4	5	5	4	1	7	
17	J	65	89	10	4	5	5	4	1	7	
18	J	35	52	10	4	5	5	4	1	7	
19	J	258	73	10	4	5	3	4	1	7	
20	J	254	75	10	4	5	3	4	1	7	



FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 06											
PROGRESIVA: 050 + 060 m											
N°	TIPO DE DISC. D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterranea	
					Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	Agua Subterranea	
										20	15
				1.- >2m 2.- 0.6-2m 3.- 200-600mm 4.- 60-200mm 5.- <60mm	1.- <1m 2.- 1-3m 3.- 3-10m 4.- 10-20m 5.- >20m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta <0.1mm 3.- Angosta 0.1-1.0mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0mm 5.- Muy Abierta >5.0mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugoso 4.- Lisa 5.- Muy Lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blando <5mm 5.- Relleno blando >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Hurnedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.- Flujo	
21	J	70	72	10	6	5	5	1	3	7	
22	J	57	35	15	6	1	5	0	3	7	
23	J	203	67	15	6	5	3	1	3	7	
24	J	250	67	10	4	5	3	1	3	7	
25	J	69	50	15	4	5	5	4	3	7	
26	J	50	35	15	4	5	5	4	3	7	
27	J	65	50	10	6	1	3	0	3	7	
28	J	45	87	15	4	5	5	4	3	7	
29	J	38	86	10	6	5	5	4	3	7	
30	J	330	30	10	4	1	3	0	3	7	
31	J	54	74	10	4	5	3	1	3	7	
32	J	64	65	10	4	5	3	1	3	7	
33	J	50	60	8	4	5	3	1	3	7	
34	J	48	65	8	4	1	5	1	3	7	
35	J	75	85	8	4	5	5	4	3	7	
36	J	60	84	10	4	1	5	1	3	7	
37	J	210	75	10	2	5	5	4	3	7	
38	J	95	64	10	2	6	5	6	3	7	
39	J	44	40	8	2	5	5	4	3	7	
40	J	46	42	8	2	5	5	4	3	7	

ANEXO 16: Mapeo geomecánico estación 07

FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 07											
PROGRESIVA: 060 + 070 m											
N°	D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	TIPO DE DISC.	DIP DIR	DIP	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterranea	
					Espaciamiento entre Discontinuidad	Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	
					20 15 10 8 5	6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 5 3 1 0	6 4 2 1 0	6 5 3 1 0	15 10 7 4 0
1	J	83	75	15	4	6	5	6	3	7	
2	J	80	57	15	4	5	5	1	3	7	
3	J	45	35	10	6	5	3	1	3	7	
4	J	110	65	15	4	5	3	1	3	7	
5	J	240	83	10	4	5	3	1	3	7	
6	J	225	78	15	1	5	3	4	3	7	
7	J	55	74	15	4	5	5	4	3	7	
8	J	45	66	10	4	5	5	4	3	7	
9	J	42	70	10	2	5	3	4	3	7	
10	J	105	70	10	4	5	6	4	3	7	
11	J	130	65	10	4	5	6	4	3	7	
12	J	90	65	10	4	5	5	1	3	7	
13	J	55	68	10	4	6	3	6	3	7	
14	J	63	70	10	4	6	5	6	3	7	
15	J	263	73	10	4	6	5	6	3	7	
16	J	75	87	10	4	5	5	1	3	7	
17	J	226	77	10	4	5	3	1	3	7	
18	J	230	75	10	4	5	6	1	3	7	
19	J	12	27	15	4	5	6	1	3	7	
20	J	10	23	15	4	5	6	1	3	7	

FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 07										
PROGRESIVA: 060 + 070 m										
N°	TIPO DE DISC. D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterranea
					Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	
					20 15 10 8 5	6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 5 3 1 0	6 4 2 1 0	
				1.- >2m 2.- 0.6-2m 3.- 200-600mm 4.- 60-200mm 5.- <60mm	1.- <1m 2.- 1-3m 3.- 3-10m 4.- 10-20m 5.- >20m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta <0.1mm 3.- Angosta 0.1-1.0mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0mm 5.- Muy Abierta >5.0mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugoso 4.- Lisa 5.- Muy Lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blanco <5mm 5.- Relleno blanco >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Humedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.- Flujo
21	J	163	62	10	4	5	5	1	3	7
22	J	252	88	10	4	5	3	1	3	7
23	J	232	60	10	4	5	3	1	3	7
24	J	165	77	10	4	5	5	1	3	7
25	J	200	80	10	4	5	5	1	3	7
26	J	250	75	10	2	4	5	4	3	7
27	J	268	78	10	2	4	3	4	3	7
28	J	37	42	10	4	5	3	1	3	7
29	J	170	84	15	4	5	3	1	3	7
30	J	167	83	10	4	5	5	1	3	7
31	J	16	35	15	4	5	6	1	3	7
32	J	70	78	10	2	4	5	4	3	7
33	J	215	73	10	4	5	5	1	3	7
34	J	228	82	15	4	5	5	1	3	7
35	J	25	42	15	4	5	3	1	3	7
36	J	241	82	10	4	5	3	1	3	7
37	J	238	46	10	2	4	3	4	3	7
38	J	90	60	15	4	5	5	1	3	7
39	J	242	60	15	4	5	6	1	3	7
40	J	238	61	15	4	5	6	1	3	7

ANEXO 17: Mapeo geomecánico estación 08

FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 08																			
PROGRESIVA: 070 + 080 m																			
N°	TIPO DE DISC. D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterranea									
					Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	15	10								
												6	4	2	1	0	6	5	3
20	15	10	8	5	6	4	2	1	0	6	5	3	1	0	15	10	7	4	0
					1.- >2m 2.- 0.6-2m 3.- 200-600mm 4.- 60-200mm 5.- <60mm	1.- <1m 2.- 1-3m 3.- 3-10m 4.- 10-20m 5.- >20m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta <0.1mm 3.- Angosta 0.1-1.0mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0mm 5.- Muy Abierta >5.0mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugoso 4.- Lisa 5.- Muy Lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blando <5mm 5.- Relleno blando >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Humedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.- Flujo								
1	J	124	90	10	4	1	3	4	3	7									
2	J	335	88	8	6	6	3	6	3	7									
3	J	40	90	10	6	6	3	6	1	7									
4	J	227	40	10	4	1	5	4	1	7									
5	J	222	56	8	2	6	3	6	5	7									
6	J	44	83	10	4	1	5	4	5	7									
7	J	233	62	10	4	1	3	1	3	7									
8	J	2	38	8	4	1	3	1	3	7									
9	J	7	34	8	4	6	3	6	5	7									
10	J	174	62	10	4	6	5	6	5	7									
11	J	186	70	10	4	4	5	4	5	7									
12	J	77	84	8	4	1	3	4	1	7									
13	J	45	32	10	2	6	5	6	3	7									
14	J	121	72	10	4	1	5	4	5	7									
15	J	53	70	10	4	6	3	6	3	7									
16	J	38	82	10	2	4	3	4	3	7									
17	J	262	76	8	4	4	3	4	5	7									
18	J	272	68	8	4	4	3	1	5	7									
19	J	264	54	10	4	4	5	1	3	7									
20	J	357	80	10	2	4	3	4	5	7									

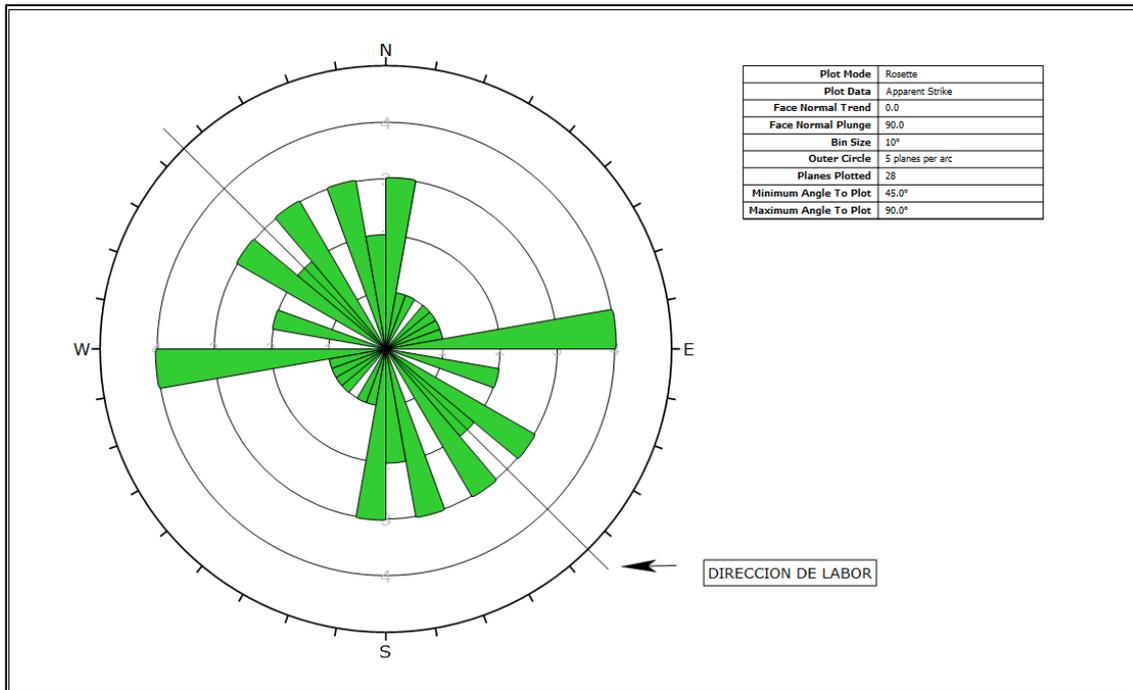
FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 08										
PROGRESIVA: 070 + 080 m										
N°	TIPO DE DISC. D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterranea
					Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	
					20 15 10 8 5	6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 5 3 1 0	6 4 2 1 0	
				1.- >2m 2.- 0.6-2m 3.- 200-600mm 4.- 60-200mm 5.- <60mm	1.- <1m 2.- 1-3m 3.- 3-10m 4.- 10-20m 5.- >20m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta <0.1mm 3.- Angosta 0.1-1.0mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0mm 5.- Muy Abierta >5.0mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugoso 4.- Lisa 5.- Muy Lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blando <5mm 5.- Relleno blando >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Humedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.- Flujo
21	J	94	89	8	4	4	5	1	3	7
22	J	62	84	8	6	6	5	6	3	7
23	J	189	88	10	2	6	3	6	3	7
24	J	226	58	8	4	4	3	1	3	7
25	J	84	62	8	2	6	5	6	3	7
26	J	197	86	10	4	4	5	1	1	7
27	J	257	50	10	2	1	3	1	3	7
28	J	254	78	10	4	4	5	1	1	7
29	J	94	24	8	4	6	5	6	3	7
30	J	54	72	10	2	6	5	6	3	7
31	J	57	78	8	4	4	3	1	1	7
32	J	256	52	8	4	4	3	1	1	7
33	J	224	82	8	2	6	5	6	3	7
34	J	64	71	10	4	4	3	1	3	7
35	J	52	88	8	4	6	3	6	3	7
36	J	116	72	10	4	4	5	1	3	7
37	J	229	79	8	4	4	5	1	5	7
38	J	217	78	10	2	4	5	1	5	7
39	J	262	86	10	2	4	5	1	3	7
40	J	254	48	10	2	4	3	1	3	7



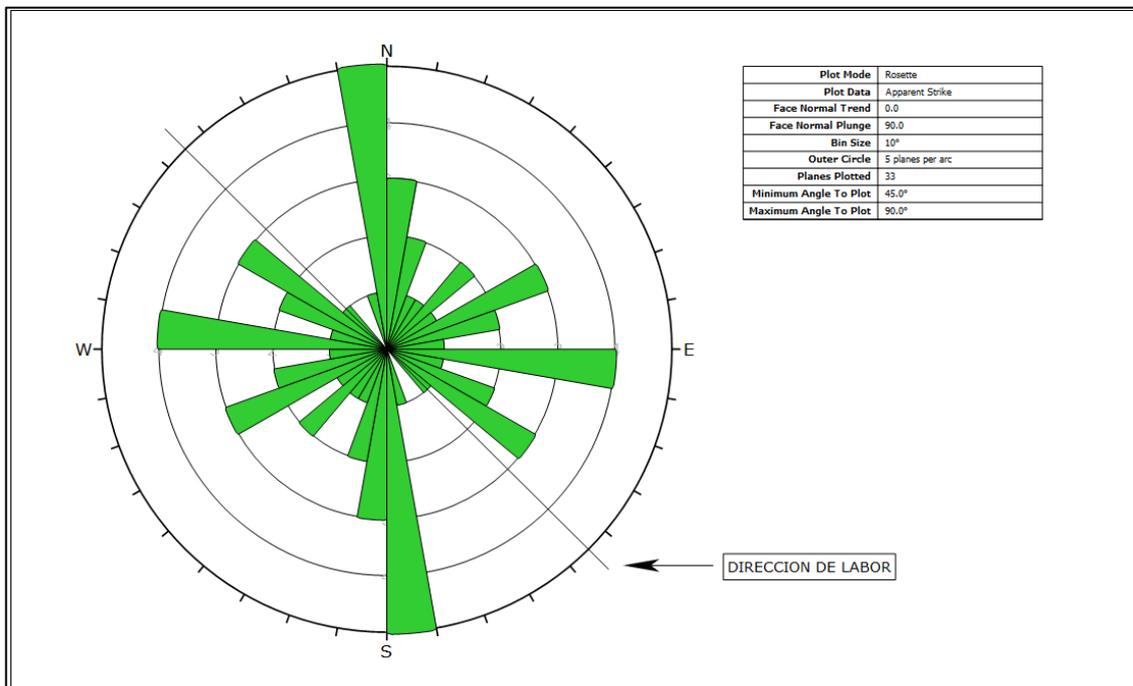
ANEXO 18: Mapeo geomecánico estación 09

FICHA DE ESTACION DE MAPEO GEOMECANICO 09										
PROGRESIVA: 080 + 084 m										
N°	TIPO DE DISC. D - Diaclasa, f - Falla J - Juntas	DIP DIR	DIP	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterranea
					Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteracion	15 10 7 4 0
					20 15 10 8 5	6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 5 3 1 0	6 4 2 1 0	
1.- >2m 2.- 0.6-2m 3.- 200-600mm 4.- 60-200mm 5.- <60mm	1.- <1m 2.- 1-3m 3.- 3-10m 4.- 10-20m 5.- >20m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta <0.1mm 3.- Angosta 0.1-1.0mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0mm 5.- Muy Abierta >5.0mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugoso 4.- Lisa 5.- Muy Lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro <5mm 3.- Relleno duro >5mm 4.- Relleno blando <5mm 5.- Relleno blando >5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Humedo 3.- Mojado 4.- Gotero 5.- Flujo				
1	J	251	68	8	2	4	5	1	3	7
2	J	66	58	8	4	5	3	1	1	7
3	J	205	86	10	4	5	5	1	1	7
4	J	68	88	10	2	4	3	1	1	7
5	J	234	82	10	2	6	3	6	3	4
6	J	220	78	10	4	4	3	1	3	4
7	J	239	64	10	4	4	3	1	1	7
8	J	266	67	8	2	4	5	1	1	7
9	J	194	81	8	2	6	5	6	3	7
10	J	29	64	10	4	6	5	6	3	4
11	J	76	72	8	2	4	5	1	1	4
12	J	4	82	8	2	4	3	1	1	4
13	J	19	59	10	4	5	3	1	1	4
14	J	34	84	10	4	4	5	1	1	7
15	J	213	82	8	4	5	3	1	1	7
16	J	219	80	8	4	4	3	1	1	4
17	J	357	88	8	4	4	3	1	3	4
18	J	254	79	10	4	4	5	1	3	4
19	J	246	64	8	4	4	5	1	3	4
20	J	264	69	8	4	4	5	1	1	7

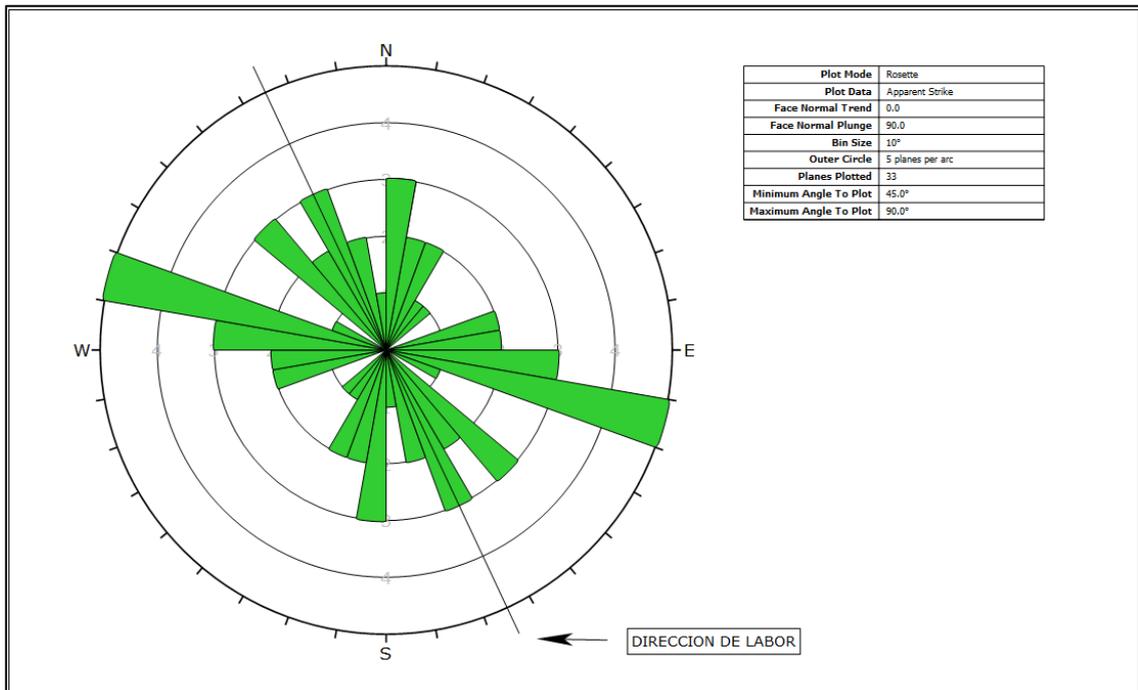
ANEXO 19: Grafico de roseta progresiva 2.



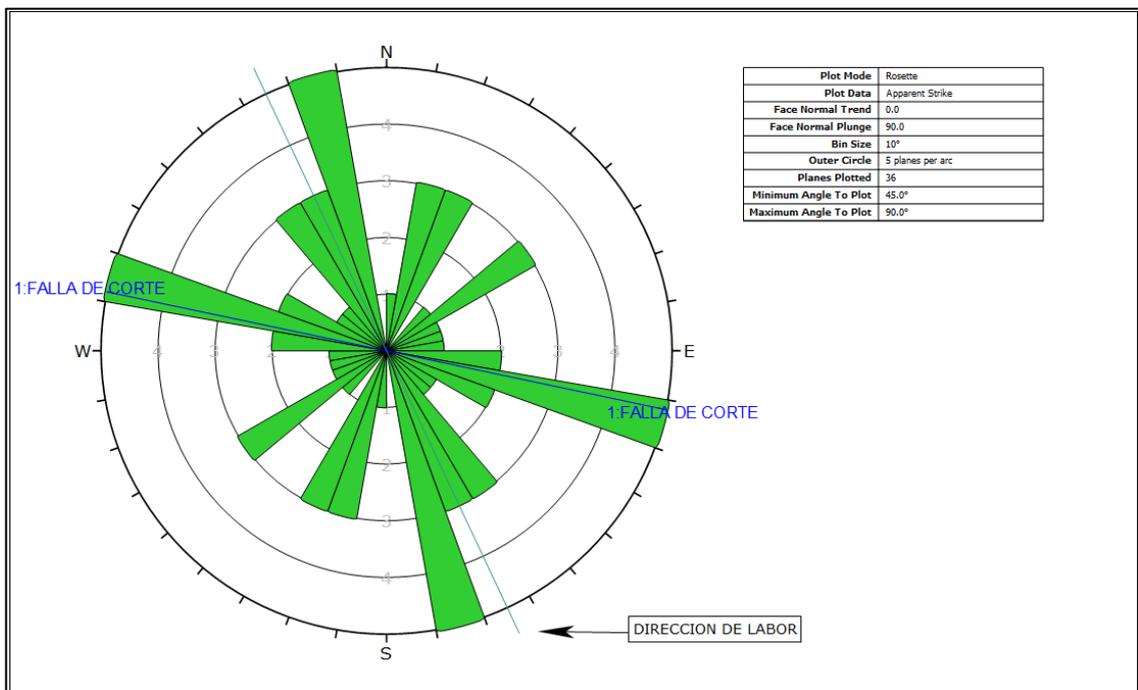
ANEXO 20: Grafico de roseta Progresiva 3.



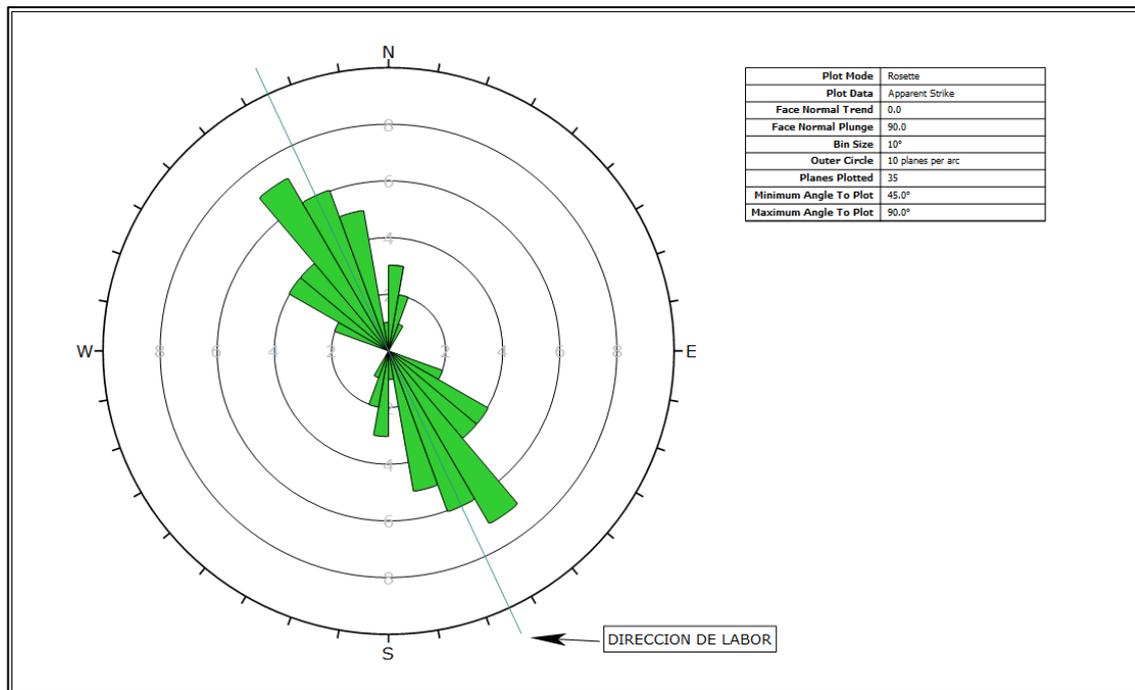
ANEXO 21: Grafico de roseta. Progresiva 4.



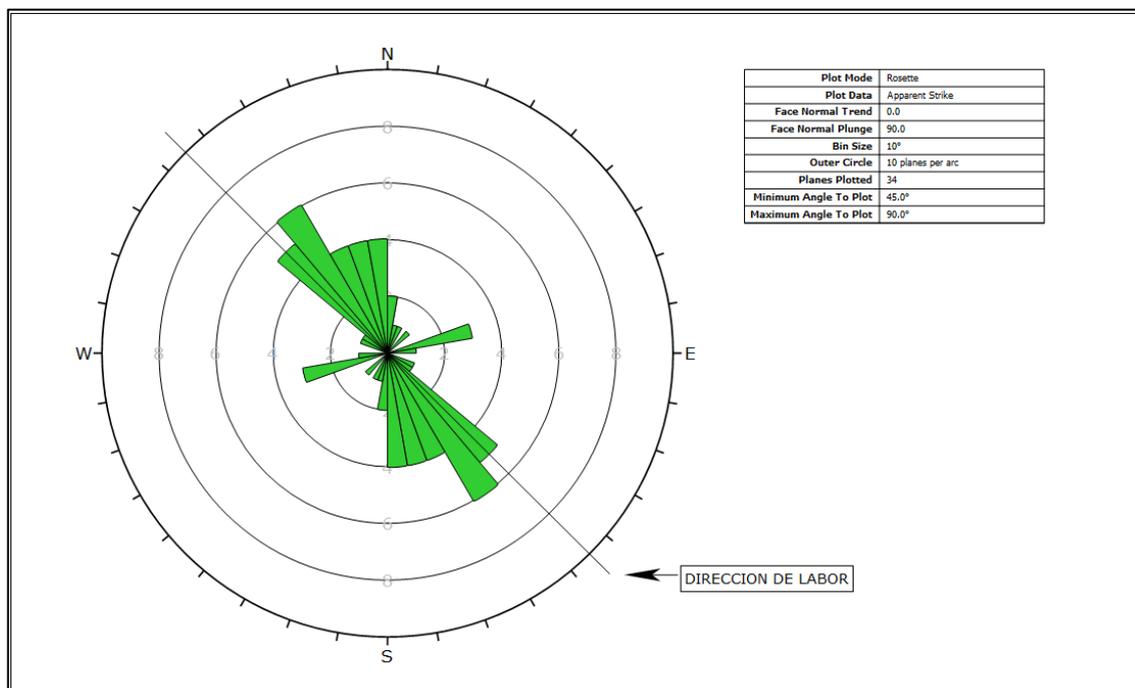
ANEXO 22: Grafico de roseta. Progresiva 5.



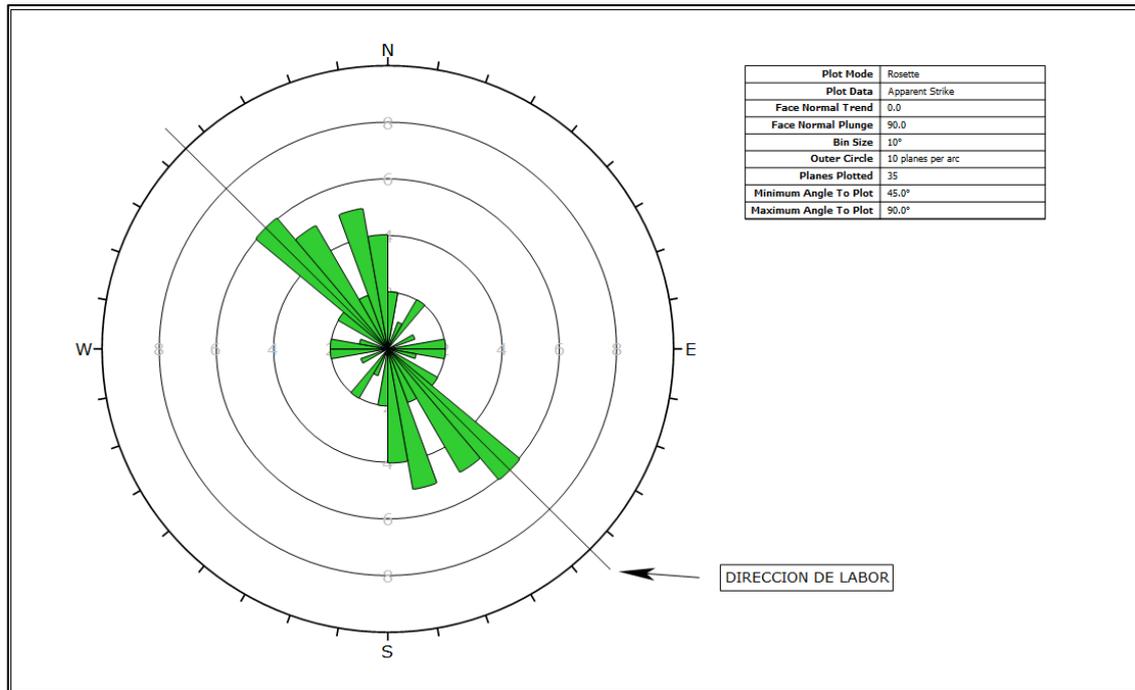
ANEXO 23: Grafico de roseta. Progresiva 6.



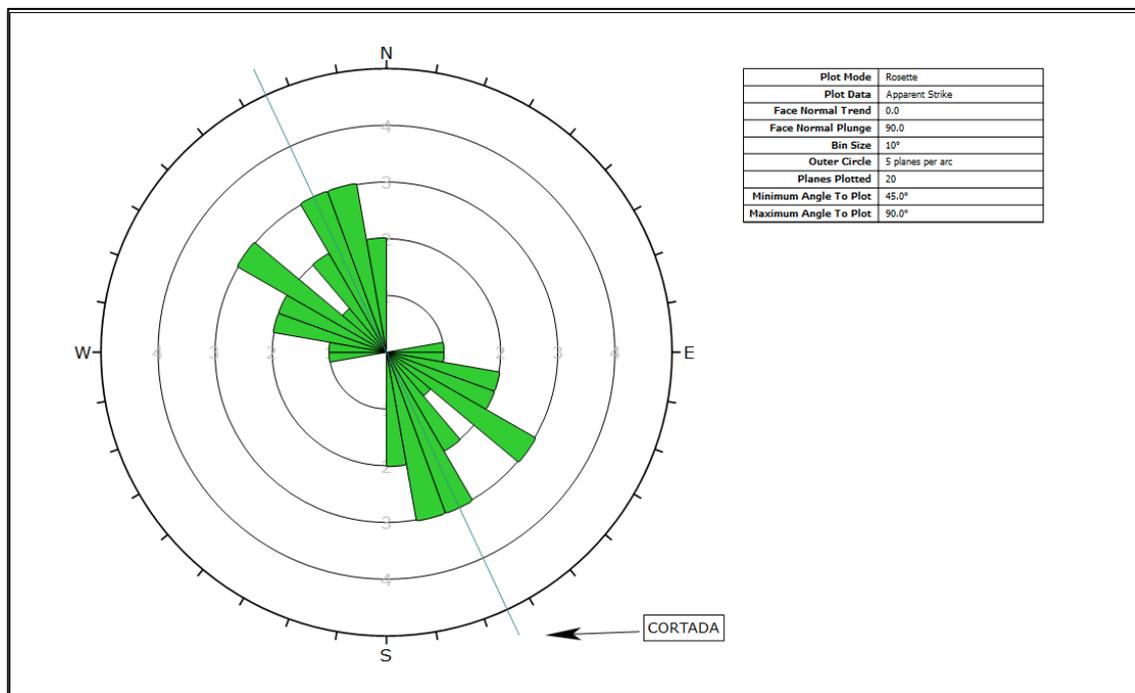
ANEXO 24: Grafico de roseta. Progresiva 7



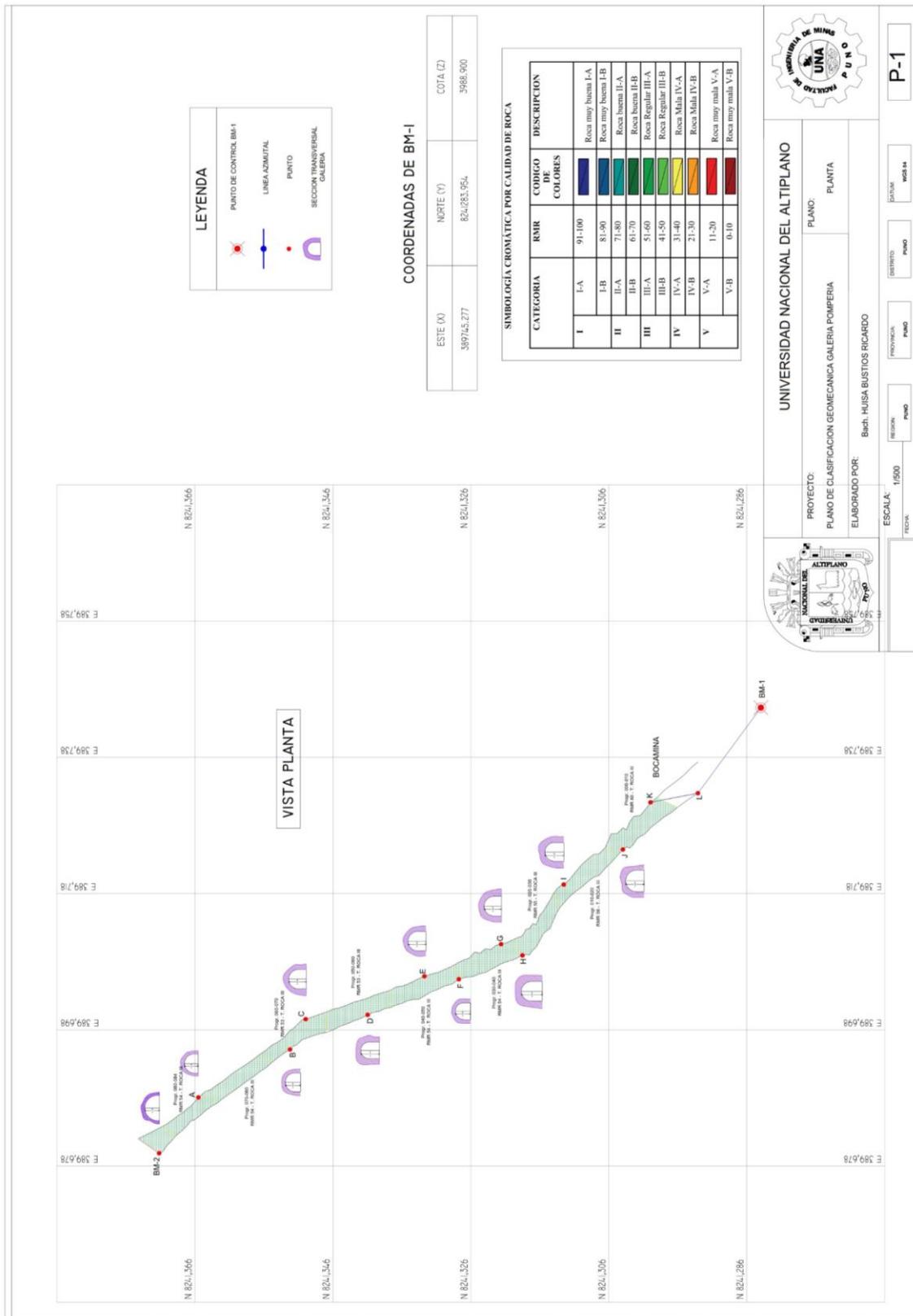
ANEXO 25: Grafico de roseta. Progresiva 8.



ANEXO 26: Grafico de roseta. Progresiva 9.

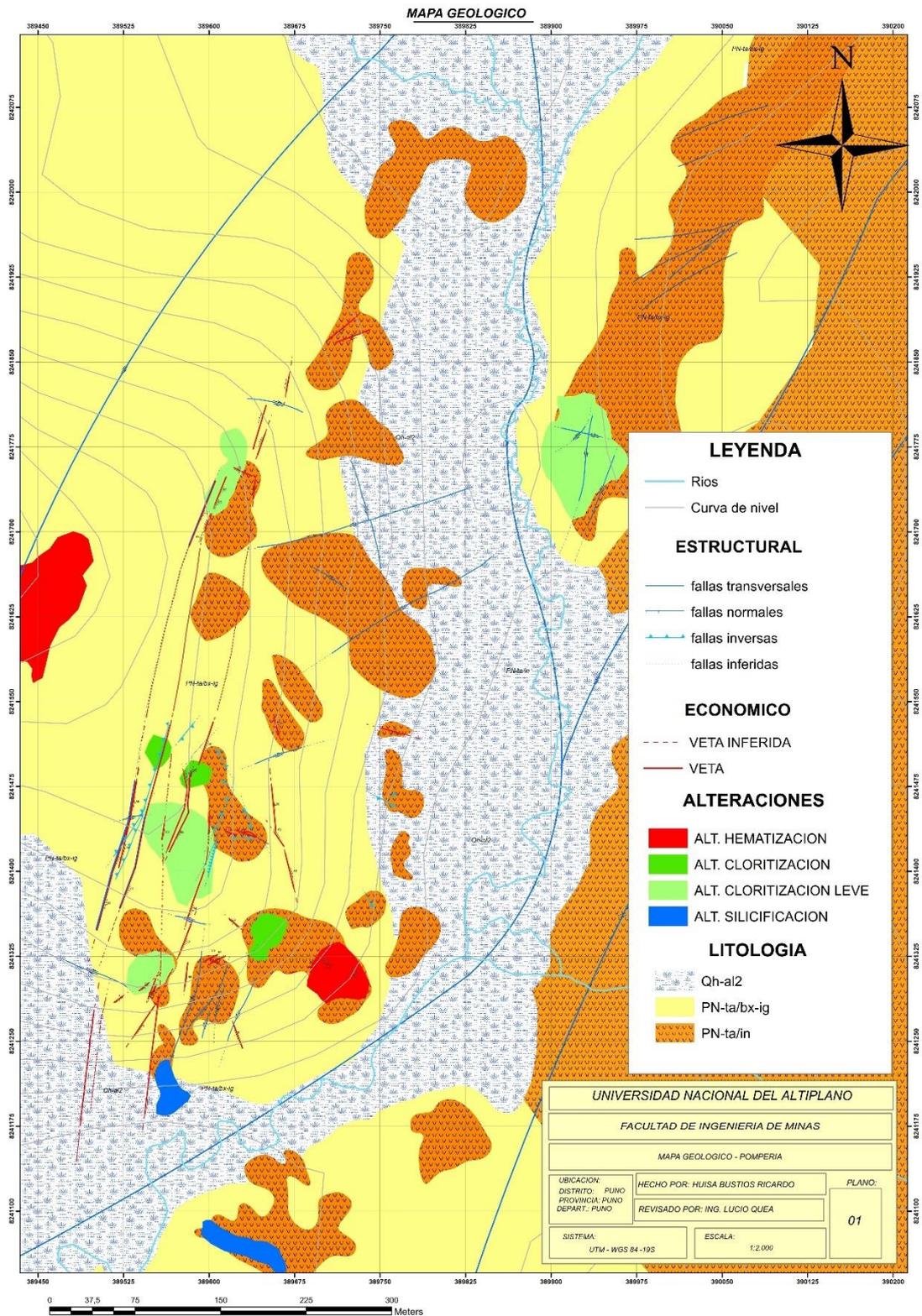


ANEXO 27: Plano de clasificación geomecánica galería Pomperia

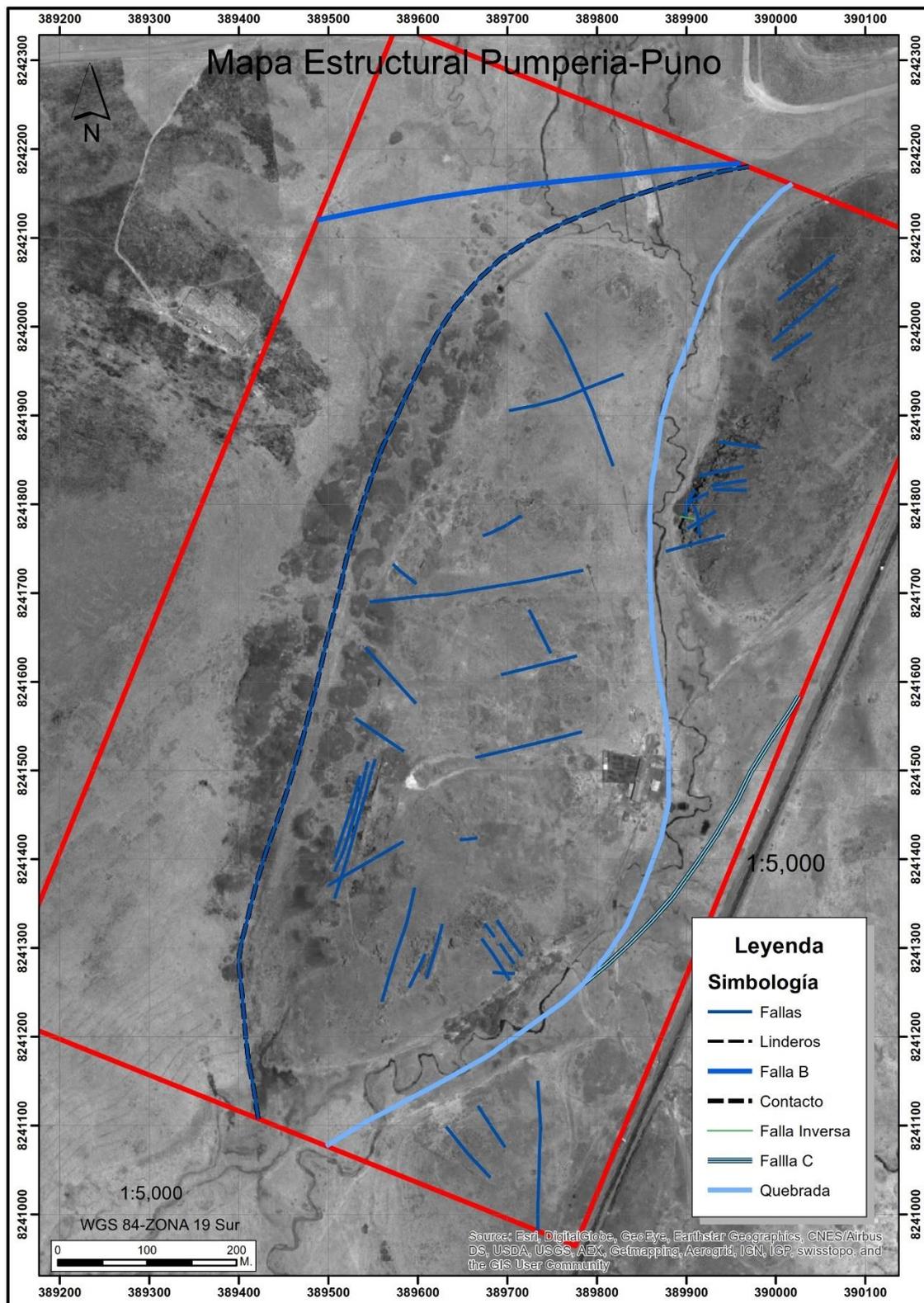




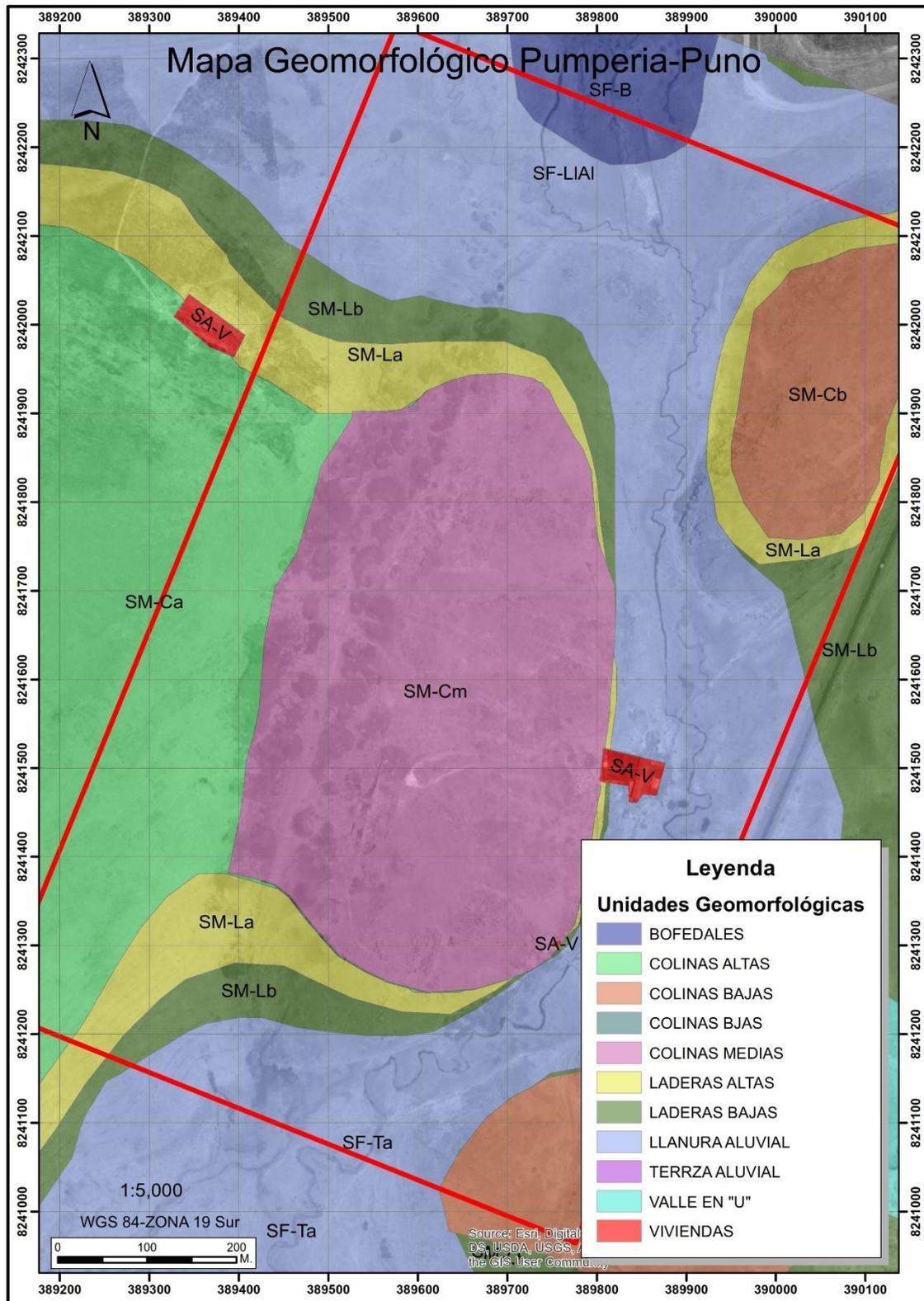
ANEXO 28: Mapa geológico mina Pomperia



ANEXO 29: Plano estructural mina Pomperia

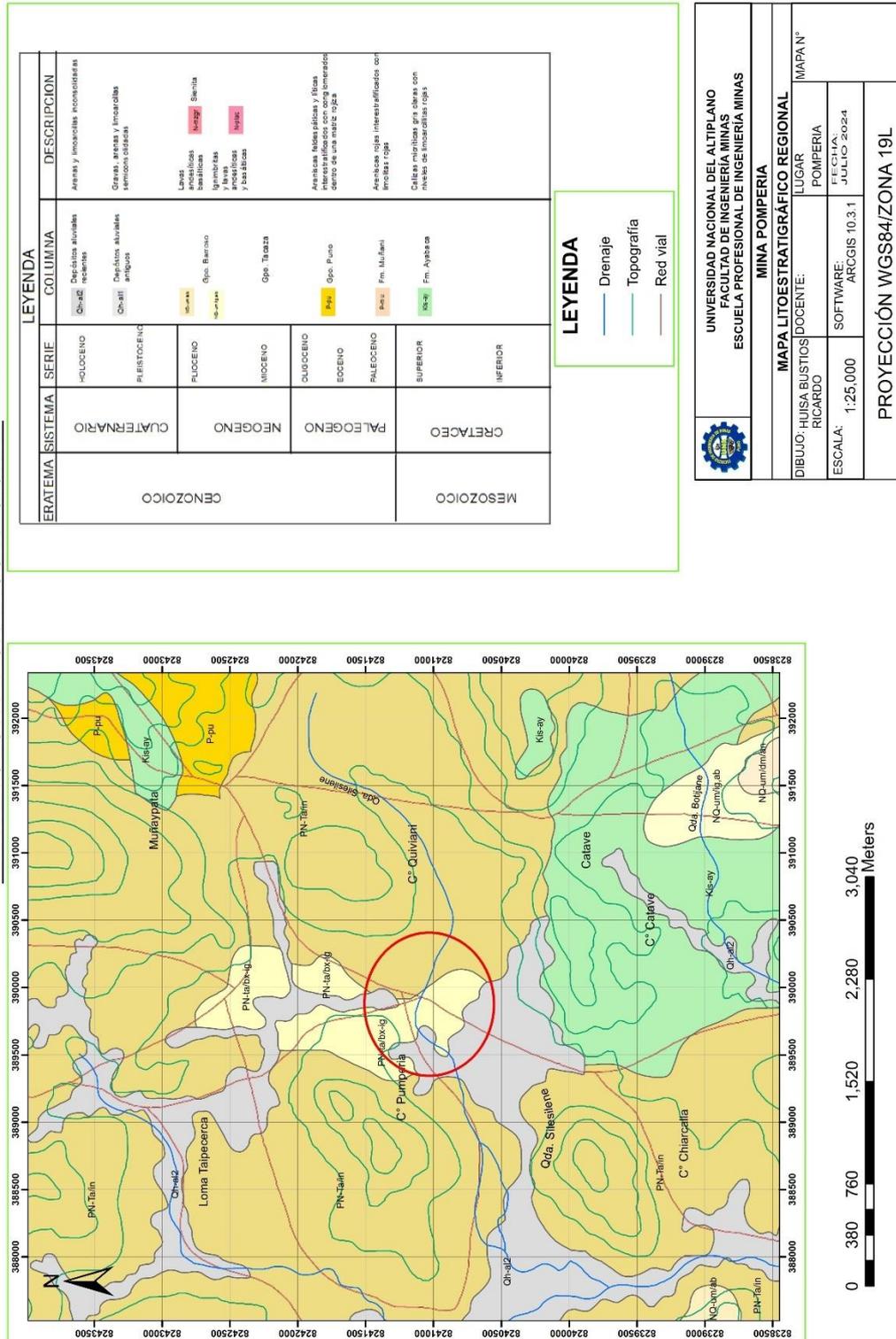


ANEXO 30: Plano geomorfológico mina Pomperia

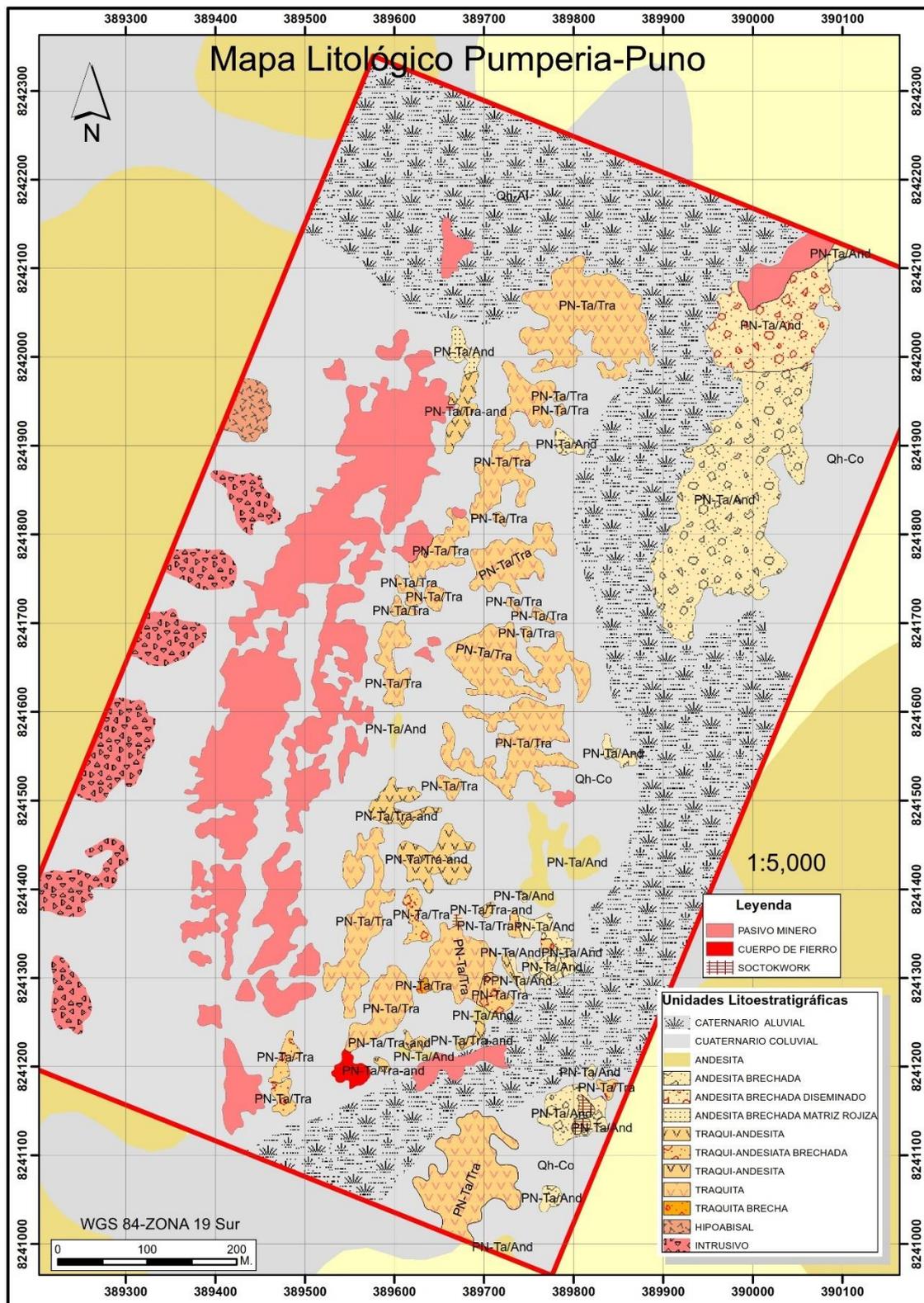


ANEXO 31: Plano litoestratigráfico regional mina Pomperia

MAPA LITOSTRATIGRÁFICO REGIONAL



ANEXO 32: Plano litológico mina Pumperia





ANEXO 33: Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Ricardo Huisa Bustros
identificado con DNI 70206752 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería De Minas

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMECAÑICAS PARA
DETERMINAR EL FACTOR DE SEGURIDAD EN LA GALERÍA
PRINCIPAL DE POMPERIA "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 15 de Julio del 20 24


FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 34: Autorización para el depósito de tesis o trabajo de investigación en el repositorio institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Ricardo Huiza Bustos identificado con DNI 70206752 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería De Minas

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS PARA DETERMINAR EL FACTOR DE SEGURIDAD EN LA GALERÍA PRINCIPAL DE POMPERIA"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 15 de Julio del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella