



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL DISEÑO DE
SOSTENIMIENTO EN LA GALERÍA DE ACCESO Y RAMPA
430-E DE LA EMPRESA MINERA S.M. POWER S.A.C.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. GERONIMO TICONA JOSEC

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2019



DEDICATORIA

Dedicado a mi compañera de vida Maritza, que estuvo a mi lado apoyándome toda mi formación profesional y personal, hasta el día de hoy.

A mis padres Rosendo y Juana, quienes siempre supieron apoyarme y tuvieron paciencia en este camino difícil, esperando ser un orgullo para ellos.

A mis hermanos Juan, Patricio, Marina, Elva, Marily y Rolando, quienes fueron los que me motivaron al camino del ser profesional.



AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento infinito a mi universidad, mis docentes y compañeros que más allá de los conocimientos, me enseñaron a ser útil a la sociedad, luchar por la verdad y la justicia, a tener una perspectiva diferente de uno mismo y crecer personalmente con valores dignos de un verdadero profesional.



ÍNDICE GENERAL

| | |
|---------------------|----|
| DEDICATORIA | |
| AGRADECIMIENTOS | |
| ÍNDICE GENERAL | |
| ÍNDICE DE FIGURAS | |
| ÍNDICE DE TABLAS | |
| ÍNDICE DE ACRÓNIMOS | |
| RESUMEN | 11 |
| ABSTRACT..... | 12 |

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

| | |
|--|----|
| 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA | 13 |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 13 |
| 1.2.1. Pregunta general..... | 14 |
| 1.2.2. Preguntas específicas | 14 |
| 1.3. HIPÓTESIS | 14 |
| 1.2.3. Hipótesis general..... | 14 |
| 1.2.4. Hipótesis específicas | 14 |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 15 |
| 1.5. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN..... | 15 |
| 1.5.1. Objetivo general..... | 15 |
| 1.5.2. Objetivos específicos | 15 |

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

| | |
|---|----|
| 2.1. ANTECEDENTES | 16 |
| 2.2. BASE TEÓRICA..... | 19 |
| 2.2.1. Evaluación geomecánica..... | 19 |
| 2.2.2. Clasificaciones geomecánicas | 19 |



| | |
|---|----|
| 2.2.3. Índice de calidad de roca de Deere RQD (Rock Quality Designation)..... | 20 |
| 2.2.4. Índice de macizo rocoso de Bieniawski RMR (Rock Mass Rating)..... | 21 |
| 2.2.5. Índice de calidad de túneles Q de Barton..... | 27 |
| 2.2.6. Índice de resistencia geológica GSI..... | 34 |
| 2.2.7. Correlación del índice RMR y Q..... | 36 |
| 2.2.8. Teoría de bloques..... | 37 |
| 2.2.9. Tipos de bloques..... | 37 |
| 2.2.10. Sostenimiento..... | 40 |
| 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES..... | 41 |

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

| | |
|---|----|
| 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO..... | 44 |
| 3.1.1. Ubicación..... | 44 |
| 3.1.2. Accesibilidad..... | 44 |
| 3.1.3. Geología general..... | 45 |
| 3.2. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN..... | 55 |
| 3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA..... | 55 |
| 3.3.1 Población..... | 55 |
| 3.3.2 Muestra..... | 55 |
| 4.3. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... | 55 |
| 4.4. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN..... | 56 |

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | |
|---|----|
| 4.1 EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE ACCESO Y RAMPA 430-E DE LA EMPRESA MINERA S.M. POWER S.A.C..... | 58 |
| 4.1.1 Clasificación de la masa rocosa según RMR, Q y GSI..... | 59 |
| 4.1.2 Orientación de las discontinuidades del macizo rocoso..... | 59 |



| | | |
|--------------------|--|------------|
| 4.1.3 | Análisis de cuñas | 59 |
| 4.1.4 | Estación Geomecánica A-1 | 60 |
| 4.1.5 | Estación Geomecánica A-2 | 60 |
| 4.1.6 | Estación Geomecánica A-3 | 60 |
| 4.1.7 | Estación Geomecánica A-4 | 61 |
| 4.1.8 | Estación Geomecánica R-1 | 61 |
| 4.1.9 | Estación Geomecánica R-2 | 61 |
| 4.1.10 | Estación Geomecánica R-3 | 61 |
| 4.1.11 | Estación Geomecánica R-4 | 62 |
| 4.1.12 | Ensayos de laboratorio | 62 |
| 4.1.13 | Análisis de estabilidad de cuñas clave | 68 |
| 4.2 | DISEÑO DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO PARA LA GALERÍA DE ACCESO Y RAMPA 430-E DE LA EMPRESA MINERA S.M. POWER S.A.C. | 77 |
| 4.2.1 | Elección del tipo de sostenimiento según Q de Barton..... | 77 |
| 4.2.3 | Diseño y simulación de sostenimiento | 79 |
| 4.2.4 | Diseño de sostenimiento definitivo utilizando Q de Barton ajustada con el software Unwedge v.3 | 83 |
| 4.2.5 | Costo de sostenimiento de galería de acceso y rampa 430 E. | 93 |
| V. | CONCLUSIONES..... | 95 |
| VI. | RECOMENDACIONES | 96 |
| VII. | REFERENCIAS..... | 97 |
| ANEXOS..... | | 100 |

Área: Mecánica de rocas, geomecánica y geotecnia.

Tema: Diseño de sostenimiento

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 14 DE OCTUBRE DE 2019.



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Espaciado versus Resistencia. | 23 |
| Figura 2. Tabla GSI | 36 |
| Figura 3. Clasificación de tipos de bloques | 38 |
| Figura 4. Tipos de bloques..... | 40 |
| Figura 5. Proyección estereográfica y familias de discontinuidad EG A-1 | 64 |
| Figura 6. Proyección estereográfica y familias de discontinuidad EG A-2..... | 64 |
| Figura 7. Proyección estereográfica y familias de discontinuidad EG A-3..... | 65 |
| Figura 8. Proyección estereográfica y familias de discontinuidad EG A-4..... | 65 |
| Figura 9. Proyección estereográfica y familias de discontinuidad EG R-1 | 66 |
| Figura 10. Proyección estereográfica y familias de discontinuidad EG R-2..... | 66 |
| Figura 11. Proyección estereográfica y familias de discontinuidad EG R-3 | 67 |
| Figura 12. Proyección estereográfica y familias de discontinuidad EG R-4..... | 67 |
| Figura 13. Tipo de sostenimiento Galería de Acceso. | 78 |
| Figura 14. Tipo de sostenimiento Rampa 430-E. | 79 |
| Figura 15. Diseño de sostenimiento EG A-1. | 80 |
| Figura 16. Diseño de sostenimiento EG A-2. | 80 |
| Figura 17. Diseño de sostenimiento EG A-3 | 81 |
| Figura 18. Diseño de sostenimiento EG A-4 | 81 |
| Figura 19. Diseño de sostenimiento EG R-1 | 82 |
| Figura 20. Diseño de sostenimiento EG R-2 | 82 |
| Figura 21. Diseño de sostenimiento EG R-3 | 83 |
| Figura 22. Diseño de sostenimiento EG R-4 | 83 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Accesibilidad Puno – Lunar de oro | 45 |
| Tabla 2. Relación de RQD Versus Calidad de Roca (Hoek & Brown, 1980) | 21 |
| Tabla 3. Clasificación Según la Resistencia de la Roca. | 22 |
| Tabla 4. Espaciado de las discontinuidades..... | 24 |
| Tabla 5. Descripción de la Apertura. | 24 |
| Tabla 6. Clasificación de Bieniawski Según la Orientación de las Discontinuidades.... | 26 |
| Tabla 7. Valoración de los parámetros RMR de Bieniawski..... | 27 |
| Tabla 8. Descripción del RQD..... | 28 |
| Tabla 9. Valoración Según el Número de Juntas..... | 29 |
| Tabla 10. Valoración Según la Rugosidad de las Juntas. | 29 |
| Tabla 11. Valoración según la Alteración de las juntas..... | 30 |
| Tabla 12. Valoración Según Presencia de Agua..... | 31 |
| Tabla 13. Valoración SRF. | 32 |
| Tabla 14. Valores de Q en Función de Macizo Rocoso..... | 33 |
| Tabla 15. Correlaciones entre el índice RMR y el índice Q. | 37 |
| Tabla 16. Resumen de Estaciones Geomecánicas y Ubicación..... | 58 |
| Tabla 17. Resumen de Valores RMR, Q y GSI por Estación. | 60 |
| Tabla 18. Propiedades físicas de la roca Pizarra..... | 62 |
| Tabla 19. Ensayo a la Compresión Simple de Núcleos de Roca | 63 |
| Tabla 20. Resumen Análisis de Roca Software RocData, Estaciones Geomecánicas. . | 63 |
| Tabla 21. Análisis de estabilidad de cuñas clave - Estación Geomecánica A-1..... | 69 |
| Tabla 22. Análisis de estabilidad de cuñas clave - Estación Geomecánica A-2..... | 70 |
| Tabla 23. Análisis de estabilidad de cuñas clave - Estación Geomecánica A-3..... | 71 |
| Tabla 24. Análisis de Estabilidad de Cuñas Clave - Estación Geomecánica A-4. | 72 |



| | |
|---|----|
| Tabla 25. Análisis de Estabilidad de Cuñas Clave - Estación Geomecánica R-1. | 73 |
| Tabla 26. Análisis de Estabilidad de Cuñas Clave - Estación Geomecánica R-2. | 74 |
| Tabla 27. Análisis de Estabilidad de Cuñas Clave - Estación Geomecánica R-3. | 75 |
| Tabla 28. Análisis de estabilidad de cuñas clave - Estación Geomecánica R-4..... | 76 |
| Tabla 29. Diámetro equivalente para cada estación geomecánica..... | 77 |
| Tabla 30. Diseño de sostenimiento adecuado para la estación A-1 | 84 |
| Tabla 31. Diseño de sostenimiento adecuado para la estación A-2..... | 84 |
| Tabla 32. Diseño de sostenimiento adecuado para la estación A-3..... | 87 |
| Tabla 33. Diseño de sostenimiento adecuado para la estación A-4..... | 88 |
| Tabla 34. Diseño de sostenimiento adecuado para la estación R-1 | 89 |
| Tabla 35. Diseño de sostenimiento adecuado para la estación R-2 | 90 |
| Tabla 36. Diseño de sostenimiento adecuado para la estación R-3 | 91 |
| Tabla 37. Diseño de sostenimiento adecuado para la estación R-4 | 92 |



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

| | |
|-------------------|---|
| Q: | Q de Nick Barton |
| RCU: | Resistencia a la compresión simple |
| R.Q.D.: | Rock Quality Designation |
| RMR: | Rock Mass Rating |
| σ_3 : | Esfuerzo principal efectivos mayor |
| σ_1 : | Esfuerzo principal efectivos menor |
| σ_{ci} : | Resistencia a compresión uniaxial |
| mb : | Valor reducido de la constante del material m_i y está dado por: ci |
| s y a : | Constantes del macizo rocoso |
| σ_{roca} : | Campo de esfuerzos presente en el macizo rocoso |
| S_p : | Resistencia del pilar |
| f_s : | Factor de Seguridad |
| Wp: | Ancho del Pilar |
| Wo: | Ancho de la cámara |
| λ : | Nro. De Fisuras / Espacio |



RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como zona de estudios la Galería de Acceso y Rampa 430-E de la empresa minera S.M. POWER S.A.C. centro poblado Lunar de Oro, distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, Puno – Perú. El problema surge de la caída de rocas ocasionada por la inestabilidad de las excavaciones subterráneas durante el avance en el proceso de minado del año 2018. Como objetivo principal es realizar una evaluación geomecánica del macizo rocoso para diseñar el tipo de sostenimiento adecuado. Para este fin la metodología de investigación que se aplica es la cuantitativa descriptiva. Se asignaron cuatro estaciones geomecánicas en la galería de acceso y cuatro para la rampa obteniéndose valoración RMR de IIIa y IIIb respectivamente. Además, se llevó muestras de roca intacta a laboratorio para el ensayo de resistencia a la compresión simple, dando una resistencia promedio para la roca pizarra de 84.9 Mpa. Se realizó el análisis de cuñas con los datos de Buzamiento y Dirección de Buzamiento requeridos por el software Dips, identificando cuñas clave potenciales en el techo como en los hastiales, por consiguiente, se procedió a la estimación de estabilidad con el software Unwedge, identificándose cuñas críticas de 3Tn a 6Tn. y factores de seguridad menores a 1. Haciendo uso del índice Q de Barton se identificó el tipo de sostenimiento propuesto para las condiciones de galería y rampa. Finalmente se diseña el sostenimiento considerando la zonificación dada por los resultados de RMR. Concluyéndose que las características geomecánicas en la Rampa 430-E son más críticas debido a su gradiente con respecto a la Galería de acceso. Así también cabe considerar la importancia del uso del software Unwedge para la estimación de las características de las cuñas clave y su estabilización. El diseño de sostenimiento cuenta con el uso de perno helicoidal de 2m de forma sistemática. para el tipo de rocas IIIa y perno helicoidal de 1.8m con malla para el tipo de roca IIIb.

Palabras Clave: Evaluación geomecánica, Cuña clave, Sostenimiento.



ABSTRACT

The present work of investigation arises from the problem of falling of rocks caused by the instability of the underground excavations during the advance in the process of mining of the year 2018. The zone of studies is the Gallery of Access and Rampa 430-E of the company mining SM POWER S.A.C. populated center Lunar de Oro, district of Ananea, province of San Antonio de Putina, Puno - Peru. S observes that the choice of the type of support to date is empirical and lacks technical support. It was proposed as a general objective, to perform a geomechanical evaluation of the rock mass to design the type of adequate support. For this purpose, the research methodology applied is the descriptive quantitative one. Four geomechanical stations were assigned in the access gallery and four for the ramp, obtaining RMR valuation of IIIa and IIIb respectively. In addition, intact rock samples were taken to the laboratory for the simple compression resistance test, giving an average strength for slate rock of 84.9 Mpa. The analysis of wedges with the data of Dive and Direction of Dive required by the software Dips, identifying potential key wedges in the roof as in the gables, was carried out, therefore, we proceeded to the stability estimation with the software Unwedge, identifying wedges 3Tn to 6Tn reviews and safety factors lower than 1. Using the Barton Q index, the type of support proposed for gallery and ramp conditions was identified. Finally, the support is designed considering the zoning given by the RMR results. Concluding that the geomechanical characteristics in the Ramp 430-E are more critical due to its gradient with respect to the Access Gallery. The importance of the use of Unwedge software for estimating the characteristics of key wedges and their stabilization can also be considered. The sustaining design has the use of a 2m helical bolt in a systematic way. for the type of rocks IIIa and helical bolt of 1.8m with mesh for the type of rock IIIb.

Key Words: Geomechanical evaluation, Key wedge, Sustainability.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La Empresa Minera “S.M. Power S.A.C.” dedicada a la minería aurífera. Ubica sus operaciones en la zona Lunar de Oro del distrito de Ananea. utiliza el método de explotación por cámaras y pilares de manera convencional, En la zona; se observan numerosas vetas interestratificadas (tipo mantos) de cuarzo aurífero dentro de la secuencia estratificada de las pizarras, se observa también vetillas de cuarzo (filones) atravesando la formación de pizarras y cuarcitas, donde el oro se presenta en estado nativo, mayormente en forma macroscópica, y en forma diseminada dentro de la roca encajonante (pizarra y cuarcita).

Actualmente la empresa viene profundizando sus labores, debido a la ubicación y dirección de los mantos mineralizados hacia los niveles inferiores, por lo que el tránsito en la galería principal y rampa 430-E es cada vez más fluido. Originándose problemas de caída de rocas provocando incidentes de menor cuantía hasta el momento, todo ello a causa de las vibraciones originadas por el paso de maquinaria, la creciente presencia de agua y las voladuras aledañas de otras contratistas.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Dada la necesidad de una inmediata implementación del sostenimiento adecuado a las características geomecánicas del macizo rocoso, se procede a realizar el presente trabajo de investigación el cual compone la evaluación geomecánica para el diseño de sostenimiento de la galería de acceso y rampa 430-E y responde a las siguientes interrogantes.



1.2.1. Pregunta general

¿Qué características geomecánicas tiene el macizo rocoso para diseñar el tipo de sostenimiento de la galería de acceso y rampa 430-E de la Empresa Minera S.M. Power S.A.C.?

1.2.2. Preguntas específicas

¿Cuáles son las características geomecánicas del macizo rocoso de la galería de acceso y rampa 430-E de la Empresa Minera S.M. POWER S.A.C.?

¿Cuál es el tipo de sostenimiento a diseñar de la galería de acceso y rampa 430-E de la Empresa Minera S.M. POWER S.A.C.?

1.3. HIPÓTESIS

1.2.3. Hipótesis general

Con la evaluación geomecánica del macizo rocoso se determina el tipo de sostenimiento de la galería de acceso y rampa 430-E de la Empresa Minera S.M. POWER S.A.C.

1.2.4. Hipótesis específicas

La calidad del macizo rocoso permite evaluar geomecánicamente la galería de acceso y rampa 430-E de la Empresa Minera S.M. POWER S.A.C.

Las características del macizo permiten diseñar el tipo de sostenimiento adecuado para la galería de acceso y rampa 430-E de la Empresa Minera S.M. POWER S.A.C.



1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Como se viene desarrollando labores de profundización, el tránsito de equipos y personal en la galería principal y la rampa 430-E va en aumento, se debe ofrecer un ambiente seguro para el normal desarrollo de las labores mineras y es obligación para la empresa S.M. POWER SAC la seguridad de los colaboradores y los equipos. Por esta razón se debe realizar con mucha importancia un diseño de sostenimiento basado en la evaluación geomecánica del macizo rocoso.

1.5. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Evaluar geomecánicamente el macizo rocoso para diseñar el tipo de sostenimiento de la galería de acceso y rampa 430-E de la Empresa Minera S.M. POWER S.A.C.

1.5.2. Objetivos específicos

Determinar las características geomecánicas del macizo rocoso de la galería de acceso y rampa 430-E de la Empresa Minera S.M. POWER S.A.C.

Diseñar el tipo de sostenimiento adecuado para la galería de acceso y rampa 430-E de la Empresa Minera S.M. POWER S.A.C.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Se tiene como antecedentes a este trabajo de tesis los siguientes trabajos de investigación:

Calderon (2018), Para recomendar un tipo de sostenimiento en la galería Gavilán de Oro se basó en la caracterización geomecánica, mediante la clasificación Q de Barton, usando el grafico de Grimstad y Barton (1993) donde recomienda la aplicación de pernos de forma sistemática con espaciados de 1.7, 2.4, 2.2, 3.6, 2.2 y 2.6 metros para las estaciones geomecánicas 1, 2, 3, 4, 5, y 6 respectivamente.

Mamani (2018), Definió un numero específico de estaciones basadas en un rango de valores que está dentro de las clasificaciones geomecánicas que fueron 11 estaciones y estos datos fueron procesadas utilizando softwares; Dips v. 6.0, para el análisis interactivo de los datos geológicos basados en las orientaciones geológicas, Unwedge para el estudio analítico y Phase2 para el análisis de soporte propuestos por las metodologías empíricas y propuso un tipo de sostenimiento basado a softwares y también el método empírico dejando en claro que ambos se complementan necesariamente.

Ccallo (2016), Realizo un modelamiento geomecánico en 3D; para poder observar con claridad el desplazamiento que sufren el sistema de discontinuidades principales así como tambien implementar medidas de sostenimiento de acuerdo a la clasificación geomecánica de los diferentes niveles de producción.

Luis (2014), Afirmo que con respecto a los parametros geomecanicos que varian las condiciones del macizo rocoso, el modelo propuesto para el macizo rocoso se muestra



como un conjunto de zonas discontinuas anisótropas y heterogéneas. Respecto del grado de fracturamiento, el macizo rocoso generalmente presenta 3 a 4 familias constantes de diaclasas y presenta alguna aleatoria, ocasionalmente irregulares no constantes. Estas familias se disponen aproximadamente de forma ortogonal entre las mismas y respecto a los planos de estratificación, formando bloques aproximadamente equidimensionales con variaciones de tamaño. Por lo tanto, el tamaño y forma de los bloques rocosos forman un sistema semi cubico o prismático, incluso cabe mencionar que esto se debe a su origen tectónico asociado principalmente a los plegamientos de la formación.

Bustamante (2008), Concluye que el sistema de sostenimiento que más se utiliza en las labores de desarrollo, preparación y explotación en la mina Huanzalá de Santa Luisa, son los pernos cementados. Sin embargo, el sistema de sostenimiento shotcrete, cables bolting se utilizan en zonas de acuerdo al tipo de terreno y la tabla geomecánica.

Córdova (2008), en su tesis titulada Geomecánica en el minado subterráneo caso Mina Condestable, presentado a la Universidad Nacional de Ingeniería, en sus conclusiones indica: De los mecanismos de falla mencionados, y según lo que se observa in-situ, las fallas en cuñas podrían constituir las mayores inestabilidades locales. Los otros mecanismos de falla generarían solo inestabilidades locales menores, lo cual es avalado por las observaciones in-situ y la experiencia del personal de la mina. Los análisis de la estabilidad de las cuñas, han indicado que estas se presentan con inestabilidad potencial en los techos de las excavaciones (factores de seguridad menores que 1), pero en las paredes presentan mejor grado de estabilidad (factores de seguridad mayores que 1.3). En resumen, los resultados de estos análisis indican que en las cavidades existentes estarán presentes situaciones de inestabilidad local importantes en el techo”.



Andrade (2014), Concluyo que para evaluar el comportamiento del macizo rocoso por donde atraviesa el Pique de Fierro, se optó por utilizar la clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating) ya que, además de la facilidad que implica su realización, permite considerar las estructuras y sus condiciones en el macizo rocoso. Además, proporciona una corrección por la orientación que presentan las discontinuidades con respecto a la excavación. Esto permite establecer de manera más aproximada el comportamiento real del macizo rocoso, así como el grado de estabilidad y las necesidades de sostenimiento en cada pared del pique.

Chura (2016), Recomienda que la selección del anclaje en la etapa de sostenimiento se debe conocer la calidad de las propiedades físicas-mecánicas de perno pre-instalación y post-instalación a utilizar y cumplir los procedimientos indicados por el fabricante para su instalación, esto con el fin de que cumpla su función de sostener eficientemente, evitar el colapso de rocas colgadas y realizar un monitoreo periódico. Para la obtención de los dominios geotécnicos, se deberá apoyar con programas computacionales de Rocscience como son, el software Dips y Unwedge, con el objetivo de visualizar a un mejor y detallado, para luego diseñar el sostenimiento a utilizar.

Tacuri (2017), Concluye que la clasificación Geomecánica tiene dos aplicaciones, la primera es para seleccionar el tipo de sostenimiento que debe aplicarse a una determina labor subterránea y la segunda es un parámetro para diseñar adecuadamente la malla de perforación – voladura. La clasificación Geomecánica practicada en el nivel 4300 de la Mina Hércules al conocimiento de tres tipos de rocas que a su vez ha determinado el sostenimiento a utilizarse para su estabilidad como también la formulación de los costos unitarios de excavación.



Mendieta (2014), Concluye que la implementación de un método de sostenimiento mecanizado en el 77% de las reservas empleando shotcrete, malla electrosoldada y split sets es posible en terrenos tipo IVA donde tradicionalmente se ha sostenido con cuadros de madera, considerando la calidad de la información recolectada y el procesamiento adecuado ayudándonos con la tecnología de los softwares que nos permiten simular diferentes situaciones ingresando diferentes inputs en corto tiempo.

2.2. BASE TEÓRICA

2.2.1. Evaluación geomecánica

El comportamiento de un macizo rocoso está directamente relacionado con el número de familias de discontinuidades existentes, su distribución espacial y orientación; por lo que es necesario realizar una evaluación geomecánica.

Para llevar a cabo dicha evaluación, es necesario ejecutar una serie de investigaciones geotécnicas correspondiente al reconocimiento geológico y estructural, mapeo geomecánico, logueo geomecánico y ensayos de laboratorio, todo ello a través de las clasificaciones geomecánicas que permitirán caracterizar el macizo rocoso y establecer un modelo geomecánico.

2.2.2. Clasificaciones geomecánicas

Las clasificaciones geomecánicas se utilizan en los estudios geotécnicos con el objetivo de determinar y evaluar de forma cuantitativa y cualitativa la calidad de los terrenos con el fin de definir aspectos de diseño, construcción, soporte y estabilidad. La clasificación se realiza por observaciones y mediciones sistemáticas en el terreno, sin embargo, estas operaciones de campo dependen en buena medida de la experiencia de quien las realiza por lo cual puede existir subjetividad. Una forma de superar esta limitación consiste en obtener las



clasificaciones por diferentes métodos. Las clasificaciones RMR Rock Mass Rating de Bieniawski y Q de Barton son las más difundidas (Castro & Pérez, 2013).

2.2.3. Índice de calidad de roca de Deere RQD (Rock Quality Designation)

En 1964 Deere propuso un índice cuantitativo de la calidad de la roca basado en la recuperación de núcleos de perforación diamantina. Se llama el sistema RQD; Se ha usado en todas partes y se ha comprobado que es muy útil en la clasificación del macizo rocoso para la selección del sostenimiento de los túneles. (Hoek & Brown, 1980).

El RQD se define como el porcentaje de núcleos que se recuperan en piezas enteras de 100mm o más, del largo total del barreno:

$$RQD(\%) = 100 * \frac{\text{Longitud de los núcleos mayores de 100mm}}{\text{largo del barreno}}$$

Está normalmente aceptado que el RQD se establece en núcleos de cuando menos de 50 mm de diámetro, recuperados con una perforadora diamantina de doble barril. Un valor RQD se daría para cada tramo perforado de digamos 2 metros. Deere propuso la siguiente relación entre el valor numérico RQD y la calidad de la roca desde el punto de vista ingenieril:



Tabla 1. *Relación de RQD Versus Calidad de Roca (Hoek & Brown, 1980)*

| RQD | Calidad de roca |
|--------------|------------------------|
| < 25% | Muy mala |
| 25 - 50% | Mala |
| 50 - 75% | Regular |
| 75% - 90 % | Buena |
| 90 % - 100 % | Muy buena |

Fuente: (Hoek & Brown, 1980)

2.2.4. Índice de macizo rocoso de Bieniawski RMR (Rock Mass Rating)

Esta clasificación, basada en el índice RMR, que da una estimación de la calidad del macizo rocoso, tiene en cuenta los siguientes factores:

- Resistencia de la roca matriz.
- Condiciones del diaclasado.
- Efecto del agua.
- Posición relativa del diaclasado respecto a la excavación.

Estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros, definiéndose unos valores para dichos parámetros, cuya suma, en cada caso, nos da el índice de calidad RMR, que varía entre 0 y 100.

Los objetivos que se persiguen con esta clasificación son:

- Dividir el macizo rocoso en grupos de conducta análoga.
- Proporcionar una buena base de entendimiento de las características del macizo rocoso.

- Facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca, proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería.

- Proporcionar una base común para la comunicación efectiva entre todas las personas que trabajan en un determinado problema de geomecánica.

Se clasifican las rocas en 5 categorías. En cada categoría se estiman los valores de la cohesión y del ángulo de rozamiento interno del macizo rocoso. A continuación, se definen y valoran cada uno de los factores que intervienen en la clasificación:

Resistencia de la roca intacta: Los criterios que se utilizan para clasificar la resistencia de la roca intacta, deben garantizar la comunicación adecuada entre los especialistas en la materia. Esta clasificación es la siguiente:

Tabla 2. Clasificación Según la Resistencia de la Roca.

| Descripción | UCS (Mpa) | Índice de Carga Puntual (Mpa) |
|-------------|-----------|----------------------------------|
| Muy alta | > 200 | > 8 |
| Alta | 100-200 | 4-8 |
| Media | 50-100 | 2-4 |
| Baja | 25-50 | 1-2 |
| Muy baja | 10-25 | < 1 |
| | 3-10 | |
| | 1-3 | |

Fuente: (Hoek & Brown, 1980)

Calidad de la roca: Para describir cuantitativamente la calidad de la roca en los testigos de sondeos, en la clasificación de Bieniawski, se recomienda el uso

del RQD. También se puede utilizar el criterio de frecuencia de fracturación; la relación que existe entre el RQD y la frecuencia de fracturación es: un RQD del 100% se corresponde con una frecuencia de fracturación de una fractura por cada 30 cm; un RQD próximo a cero se corresponde con frecuencias de 5 a 6 fracturas por cada 30 cm.

Espaciado de las juntas: Se ha comprobado que el espaciado tiene gran influencia sobre la estructura del macizo rocoso. La resistencia del macizo rocoso va disminuyendo según va aumentando el número de juntas, siendo el espaciado de las juntas el factor más influyente en esta disminución de resistencia.

En la siguiente figura se puede ver la influencia del espaciado de las juntas sobre la resistencia del macizo rocoso, referido a la resistencia del material rocoso intacto.

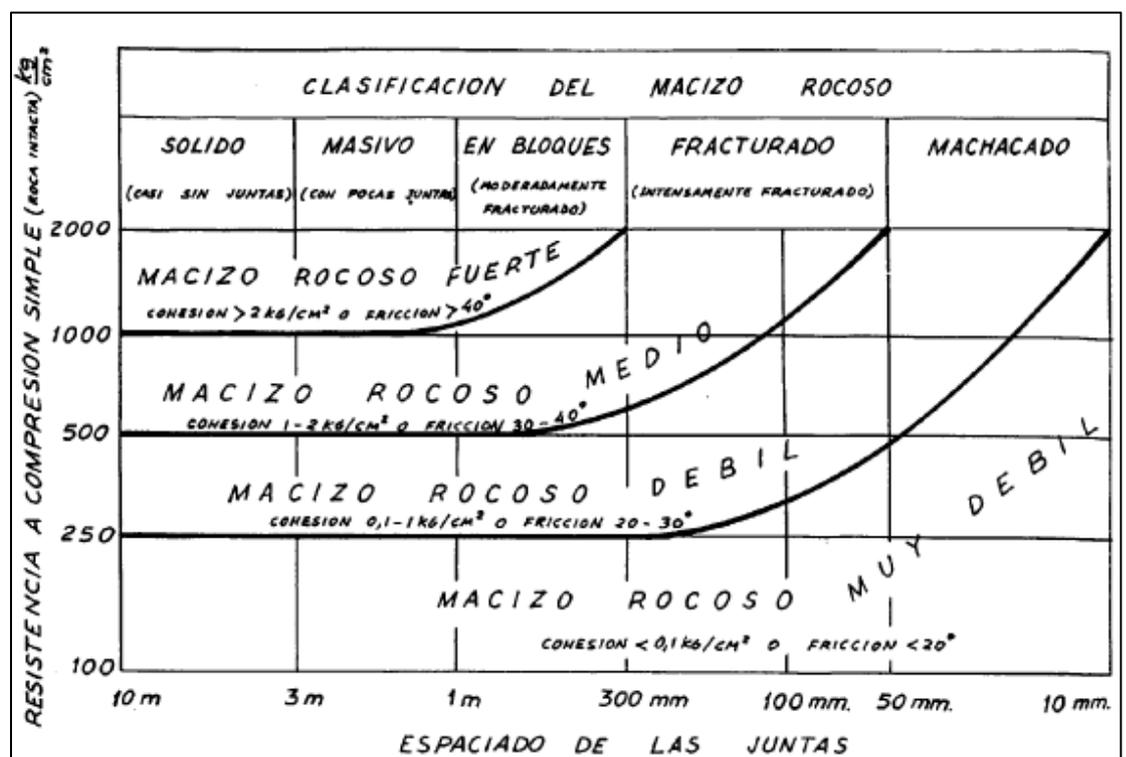


Figura 1. Espaciado versus Resistencia.

Fuente: (Bieniawski, 1989)

Así resulta que un material rocoso de alta resistencia, de 100 a 200 MPa, que esté muy fracturado, con un espaciado de las juntas de 5 cm, según se ve en la figura, corresponde a un macizo rocoso débil.

A continuación, se presenta la clasificación de Deere de los macizos rocosos, en lo referente al espaciado de las juntas, que es la que se recomienda utilizar en la clasificación de Bieniawski.

Tabla 3. *Espaciado de las discontinuidades.*

| Descripción del espaciado | Espacio de las juntas | Tipo de macizo rocoso |
|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Muy ancho | > 3m | Solido |
| Moderadamente ancho | 1-3m | Masivo |
| Ancho | 0.3-1m | En bloques |
| Cerrado | 50-300mm | Fracturado |
| Muy cerrado | < 50mm | Machacado |

Fuente: (Bieniawski, 1989)

Tabla 4. *Descripción de la Apertura.*

| RQD | Calidad de roca |
|------------|------------------------|
| < 25% | Muy mala |
| 25 - 50% | Mala |
| 50 - 75% | Regular |
| 75 - 90% | Buena |
| 90 – 100% | Muy buena |

Fuente: (Bieniawski, 1989)



Condición de las juntas: En este apartado se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

a. Apertura

La apertura de las juntas es un criterio para la descripción cuantitativa de un macizo rocoso. La clasificación de Bieniawski es la siguiente:

b. Tamaño

El tamaño de las juntas influye en la importancia que el material rocoso y la separación de las juntas tienen en el comportamiento del macizo rocoso.

c. Rugosidad

En esta clasificación se establecen 5 categorías de rugosidad: rugosa, ligeramente rugosa, suave y espejo de falla.

d. Dureza de los labios de la discontinuidad

Se consideran 3 categorías de dureza: dura, media, blanda.

e. Relleno

Se define por su espesor, tipo de material, consistencia y continuidad.

5. Presencia de agua

El efecto del agua tiene especial importancia en los macizos rocosos diaclasados. Se tendrá en cuenta el flujo de agua en el macizo rocoso.

El criterio que se utilizará será el siguiente: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.



Orientación de las discontinuidades: A la hora de considerar los efectos de la orientación de las discontinuidades para la clasificación del macizo rocoso, con vistas a la construcción de un túnel, normalmente, es suficiente considerar si las orientaciones del rumbo y del buzamiento son más o menos favorables con relación a la obra que se va a realizar.

En la tabla 6 vienen indicados los valores de los parámetros anteriores, así como los criterios utilizados para su valoración.

Tabla 5. *Clasificación de Bieniawski Según la Orientación de las Discontinuidades*

| Rumbo Perpendicular al Eje | | Rumbo Paralelo al Eje del Túnel | | | | Buzamiento |
|-------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|---------------------------|
| Dirección según el buzamiento | | Dirección contra buzamiento | | | | 0-20° |
| Buzam. 45 – 90° | Buzam. 20 – 45° | Buzam. 45 – 90° | Buzam. 20 – 45° | Buzam. 45 – 90° | Buzam. 20 – 45° | (Independiente del rumbo) |
| Muy favorable | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy desfavorable | Regular | Desfavorable |

Fuente: (Bieniawski, 1989)

Tabla 6. Valoración de los parámetros RMR de Bieniawski.

| A. PARAMETROS DE CLASIFICACION Y SUS VALORES. | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|--|--------------------|-------|
| PARAMETROS | ESCALA DE VALORES | | | | | | | | |
| 1 | Resistencia de la roca intacta | Bajo carga | >80 | 40-80 | 20-40 | 10-20 | < 10 kg/cm ² | | |
| | | puntual | kg/cm ² | kg/cm ² | kg/cm ² | kg/cm ² | | | |
| | | A | >2000 | 1000-2000 | 500-1000 | 250-500 | 100-250 | 30-100 | 10-30 |
| | | compresión simple | kg/cm ² | kg/cm ² | kg/cm ² | kg/cm ² | kg/cm ² | kg/cm ² | |
| | VALOR | | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 0 | |
| 2 | RQD | | 90%-100% | 75%-90% | 50%-75% | 25%-50% | <25% | | |
| | | VALOR | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 | | |
| 3 | ESPACIADO DE JUNTAS | | >3m | 1-3m | 0.3-1m | 50-300mm | >50mm | | |
| | | VALOR | 30 | 25 | 20 | 10 | 5 | | |
| 4 | CONDICION DE LAS JUNTAS | Muy rugosas sin continuidad | | Ligerament e rugosa separación <1 mm. | Ligerament e rugosa separación <1mm. | Espejo de falla o relleno de espesor < 5mm o abiertas | Relleno blando de ese Relleno blando de espesor <5mm o abiertas >5mm | | |
| | | . Cerradas rocas labios dura. | | Rocas labio dura. | Roca labios blanda. | 1-5mm continuas | | | |
| | | VALOR | 25 | 20 | 12 | 6 | 0 | | |
| 5 | AGUA | Flujo en caja 10m de túnel | Ninguno | | 25 l/min | 25-125 l/min | >125 l/min | | |
| | | Presión del agua | | | | | | | |
| | | Mayor tensión principal | 0 | | 0 – 0.02 | 0.2 – 0.5 | >0.5 | | |
| | | Condiciones generales | / Completamente seco | | / húmedo intersticial | /Agua a presión moderada | / Agua a presión moderada. | | |
| | VALOR | 10 | | 7 | 4 | 0 | | | |
| B. AJUSTE DE VALORES POR LAS ORIENTACIONES DE LAS JUNTAS. | | | | | | | | | |
| ORIENTACIONES DEL RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS JUNTAS | | MUY FAVORABLE | FAVORABLE | REGULAR | DESFAVORABLE | MUY DESFAVORABLE | | | |
| VALORES | | 0 | -2 | -5 | -10 | -12 | | | |
| C. DETERMINACION DE LA CLASE DEL MACIZO ROCOSO | | | | | | | | | |
| VALOR TOTAL DE R.M.R. | | 81 – 100 | 61 – 80 | 41 – 60 | 21 – 40 | <20 | | | |
| CLASE NUMERO | | I | II | III | IV | V | | | |
| DESCRIPCION | | MUY BUENO | BUENO | MEDIO | MALO | MUY MALO | | | |
| D. SIGNIFICADO DE LAS CLASES DE MACIZO ROCOSOS | | | | | | | | | |
| CLASE NUMERO | | I | II | III | IV | V | | | |
| TIEMPO DE MANTENIMIENTO | | 10 años para 5m | 6 meses para 4m | 1 semana para 3m | 5 horas para 1.5m | 10 minutos para 0.5 m | | | |
| COHESION | | >3kg/cm ² | 2 – 3 kg/cm ² | 1.5 – 2 kg/cm ² | 1 – 1.5 kg/cm ² | < 1 kg/cm ² | | | |
| ANGULO DE FRICCION | | > 45° | 40 – 45° | 30 – 40° | 30 – 35° | < 30° | | | |

Fuente: (Bieniawski, 1989)

2.2.5. Índice de calidad de túneles Q de Barton

Basándose en una gran cantidad de casos tipo de estabilidad en excavaciones subterráneas, Barton, Lien y Lunde del Instituto de geotecnia de Noruega NGI (Norwegian Geotechnical Institute), propusieron un índice para



determinar la calidad del macizo en túneles. El valor numérico de este índice Q se define por:

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

RQD = es el índice de calidad de roca de Deere.

J_n = es el número de familias de discontinuidad.

J_r = es el número de la rugosidad de las juntas.

J_a = es el número de la alteración de las juntas.

J_w = es el factor de reducción por agua en las juntas.

SRF = es el factor de reducción por esfuerzos (Stress Reduction Factor).

RQD – Rock Quality Designation

Tabla 7. Descripción del RQD.

| 1.- | Descripción de la calidad del macizo rocoso | RQD |
|-----|---|--------|
| A | Muy pobre | 0-25 |
| B | Pobre | 25-50 |
| C | Regular | 50-75 |
| D | Buena | 75-90 |
| E | Excelente | 90-100 |

Fuente: (Barton, 2004)



Jn - Número de familias de juntas, que es un índice del diaclasado.

Tabla 8. *Valoración Según el Número de Juntas.*

| 2.- | Índice de diaclasado | Jn |
|------------|---|-----------|
| A | Masivo, con pocas juntas o sin juntas | 0.5-1.0 |
| B | Una familia de juntas | 2 |
| C | Una familia de juntas más aleatorios | 3 |
| D | Dos familias de juntas | 4 |
| E | Dos familias de juntas más aleatorios | 6 |
| F | Tres familias de juntas | 9 |
| G | Tres familias de juntas más aleatorios | 12 |
| H | Cuatro o más familias de juntas, fuertemente unidas “como cubo de azúcar” | 15 |
| I | Roca triturada, como tierra o suelo | 20 |

Fuente: (Barton, 2004)

Jr - Índice de rugosidad de las juntas

Tabla 9. *Valoración Según la Rugosidad de las Juntas.*

| 3.- | Índice de rugosidad de las discontinuidades | Jr |
|------------|---|-----------|
| (a) | Contacto de pared rocosa y | |
| (b) | Contacto de pared rocosa antes de 10 cm de corte | |
| A | Junta discontinua | 4 |
| B | Rugosa o irregular, ondulante | 3 |
| C | Lisa, ondulante | 2 |
| D | Resbaladizo, ondulante | 1.5 |
| E | Rugosa o irregular, planar | 1.5 |
| F | Lisa, planar | 1 |
| G | Resbaladizo, planar | 0.5 |
| (c) | No hay contacto con la pared de roca cuando se corta | |
| H | Zona conteniendo minerales de arcilla lo suficientemente gruesa para prevenir el contacto de pared rocosa | 1 |
| I | Zona arenosa, gravosa o triturada suficientemente gruesa para prevenir el contacto de pared rocosa | |

Fuente: (Barton, 2004)

Ja – Índice de alteración de las Juntas

Tabla 10. Valoración según la Alteración de las juntas.

| 4.- | Índice de alteración de las discontinuidades | | Ja |
|---|---|-------|-----------------|
| (a) Contacto de pared rocosa (sin relleno mineral, solo revestimiento) | | | |
| A | Estrechamente sano, duro, no suavizante, relleno impermeable, es decir, cuarzo o epidota | - | 0.75 |
| B | Paredes de juntas no alteradas, sólo manchado superficial | 25-35 | 1 |
| C | Paredes de juntas ligeramente alteradas; revestimientos minerales no suavizantes, partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcilla, etc. | 25-30 | 2 |
| D | Revestimientos arcillosos siliciosos o arenosos, pequeña fracción arcillosa (no suavizante) | 20-25 | 3 |
| E | Revestimientos minerales de arcilla de ablandamiento o de baja fricción, es decir, caolinita y mica; también clorito, talco, yeso y grafito, etc., y pequeñas cantidades de arcillas hinchadas (recubrimientos discontinuos de 1-2 mm de espesor) | 8-16 | 4 |
| (b) Contacto de la pared rocosa antes de 10 cm de cizallamiento (rellenos minerales delgados) | | | |
| F | Partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcilla, etc. | 25-30 | 4 |
| G | Recubrimientos minerales de arcilla fuertemente consolidados y no suavizantes (continuos, <5 mm de grosor) | 16-24 | 6 |
| H | Sobre-consolidación media o baja, ablandamiento, rellenos minerales de arcilla (continua, <5 mm de grosor) | 12-16 | 8 |
| I | Relleno de arcilla hinchada, es decir, montmorillonita (continua, <5 mm de espesor); el valor de depende del porcentaje de partículas hinchadas de tamaño de arcilla y el acceso al agua, etc. | 6-12 | 8-12 |
| (c) No hay contacto con la pared de roca cuando se corta (rellenos minerales gruesos) | | | |
| K,L,M | Zonas o bandas de rocas y arcillas desintegradas o trituradas (véase G, H, I para la descripción de la condición de arcilla) | 6-24 | 6, 8, ó 8-12 |
| N | Zonas o bandas de arcilla limosa o arenosa, pequeña fracción de arcilla (no suavizante) | - | 5 |
| O,P,R | Zonas gruesas o continuas o bandas de arcilla (ver G, H, I para la descripción de la condición de la arcilla) | 6-24 | 10, 13, ó 13-20 |

Fuente: (Barton, 2004)



Jw – Reducción por la presencia de agua

Tabla 11. *Valoración Según Presencia de Agua.*

| 5.- | Índice de presencia de agua | Presión (MPa) | Jw |
|------------|--|----------------------|-----------|
| A | Excavación en seco o infiltración menor, es decir, 5 lt./min localmente | <0.1 | 1 |
| B | Infiltraciones o presiones medias, lavados ocasionales en el relleno de junta | 0.1-0.25 | 0.66 |
| C | Infiltración grande o presión alta en roca competente con juntas sin relleno | 0.25-1.0 | 0.5 |
| D | Infiltraciones grandes o presiones altas, lavados considerables en el relleno de juntas | 0.25-1.0 | 0.33 |
| E | Infiltración excepcionalmente alta o presión de agua en la voladura, decayendo con el tiempo | >1.0 | 0.2-0.1 |
| | Infiltración excepcionalmente alta o presión de agua continua sin decaimiento notable | >1.0 | 0.1-0.05 |

Fuente: (Barton, 2004)

SRF- Strength reductor factor

Tabla 12. Valoración SRF.

| 6.- | Tensiones en el Túnel. | SRF | | |
|-----|---|---------------------|-----------|---------|
| | 1. Zonas débiles que intersectan la excavación y pueden causar caídas de bloques, según avanza la misma. | | | |
| A | Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor (cualquier profundidad). | 10 | | |
| B | Sólo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m). | 5 | | |
| C | Sólo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación mayor de 50 m). | 2.5 | | |
| D | Varias zonas de fractura en roca competente (libre de arcilla), roca suelta alrededor (cualquier profundidad). | | | |
| E | Sólo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación menor de 50 m). | 7.5 | | |
| F | Sólo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad mayor de 50 m). | 5 | | |
| G | Juntas abiertas sueltas, muy fracturadas, etc. (cualquier profundidad). | | | |
| | 2. Rocas competentes, problemas de tensiones en | | | |
| | σ_c/σ_1 | σ_t/σ_1 | SRF | |
| H | Tensiones pequeñas cerca de la superficie. | >200 | >13 | 2,5 |
| J | Tensiones medias. | 200-10 | 13-0,66 | 1,0 |
| K | Tensiones altas, estructura muy compacta (normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales). | 10-5 | 0,66-0,33 | 0,5-2,0 |
| L | Explosión de roca suave (roca masiva). | 5-2,5 | 0,33-0,16 | 5-10 |
| M | Explosión de roca fuerte (roca masiva). | <2,5 | <0,16 | 10-20 |
| | σ_c y σ_t son las resistencias a compresión y tracción, respectivamente, de la roca; σ_1 es la tensión principal máxima que actúa sobre la roca. | | | |
| | 3. Roca fluvente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas. | | | SRF |
| N | Presión de flujo suave. | | | 5-10 |
| O | Presión de flujo intensa. | | | 10-20 |
| | 4. Rocas expansivas, actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua. | | | SRF |
| P | Presión de expansión suave. | | | 5-10 |
| R | Presión de expansión intensa. | | | 10-20 |

- Observaciones al SRF:

- i. Reducir los valores del SRF en un 25-50% si las zonas de rotura sólo influyen, pero no intersectan a la excavación.
- ii. En los casos en que la profundidad de la clave del túnel sea inferior a la anchura del mismo, se sugiere aumentar el SRF de 2,5 a 5 (ver H).
- iii. Para campos de tensiones muy anisótropos (si se miden) cuando $5 < \sigma_1/\sigma_3 < 10$, reducir σ_c y σ_t a $0,8 \sigma_c$ y $0,8 \sigma_t$ cuando $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, reducir σ_c y σ_t a $0,2 \sigma_c$ y $0,6 \sigma_t$, donde σ_3 es la tensión principal mínima que actúa sobre la roca.

Fuente: (Barton, 2004)

Considerando los intervalos de variación de los parámetros que definen el índice de calidad Q, éste toma unos valores comprendidos entre 0,001 y 1000.

Según estos valores, los macizos rocosos se clasifican en 9 categorías:

Tabla 13. *Valores de Q en Función de Macizo Rocosos.*

| Tipo de macizo rocoso | Valores de Q |
|------------------------------|---------------------|
| Excepcionalmente malo | 0,001 - 0,01 |
| Extremadamente malo | 0,01 - 0,1 |
| Muy malo | 0,1 - 1,0 |
| Malo | 1,0 - 4,0 |
| Regular | 4,0 - 10,0 |
| Bueno | 10,0 - 40,0 |
| Muy bueno | 40,0 - 100,0 |
| Extremadamente bueno | 100,0 - 400,0 |
| Excepcionalmente bueno | 400,0 - 1000,0 |

Fuente: (Barton, 2004)

Relación entre la clasificación de Barton y la de Bieniawski

Los sistemas más recomendados son los de Barton y Bieniawski, ya que incluyen información suficiente para proporcionar conclusiones realistas sobre los factores que influyen en la estabilidad de una excavación subterránea (Ramírez, De la Cuadra, R, & E, 1991).



La clasificación de Bieniawski pone un poco más de énfasis en la orientación e inclinación de las características estructurales en el macizo rocoso, mientras no considera la tensión en la roca.

La clasificación de Barton no incluye un término de orientación de las juntas, pero, sin embargo, se consideran las propiedades de las familias de juntas más desfavorables, mediante unos números asignados a la rugosidad y alteración de las juntas, que representan la resistencia al corte del macizo rocoso.

Se ha encontrado una relación entre la clasificación de Barton y la de Bieniawski. Esta relación es la siguiente:

$$RMR = 9\ln Q + 44$$

2.2.6. Índice de resistencia geológica GSI

En el criterio original se consideran 6 categorías de masas rocosas, pero para el presente manual se han considerado 5 categorías, para compatibilizar este criterio con el criterio RMR y las guías de clasificación antes presentadas. El Índice de Resistencia Geológica GSI considera dos parámetros: y la condición de la estructura de la masa rocosa la condición superficial de la misma. (SNMPE, 2004).

1. La estructura de la masa rocosa considera el grado de fracturamiento o la cantidad de fracturas (discontinuidades) por metro lineal, según esto, las cinco categorías consideradas se definen así:

Masiva o Levemente Fracturada (LF)

Moderadamente Fracturada (F)

Muy Fracturada (MF)



Intensamente Fracturada (IF)

Triturada o brechada (T)

2. La condición superficial de la masa rocosa involucra a la resistencia de la roca ntacta y a las propiedades de las discontinuidades: resistencia, apertura, rugosidad, relleno y la meteorización o alteración. Según esto, las cinco categorías consideradas se definen así:

Masa rocosa Muy Buena (MB)

Masa rocosa Buena (B)

Masa rocosa Regular (R)

Masa rocosa Mala (M)

Masa rocosa Muy Mala (MM)

| <p>CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN GSI MODIFICADO</p> <p>Se basa en la cantidad de fracturas por metro lineal, medidas insitu con una wincha. La mala voladura afecta esta condición. La resistencia se determina golpeando o indentando la roca con una picota. Se toma en cuenta la rugosidad, alteración de paredes y relleno de las discontinuidades.</p> | | <p>CONDICIONES SUPERFICIALES</p> | | | | | |
|--|---|--|------|------|------|-------|--|
| <p>ESTRUCTURA</p> | | <p>MUY BUENA (EXTREMADAMENTE RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIES DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc > 250 MPa). (SE ASTILLA CON GOLPES DE PICOTA).</p> <p>BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEVEM. ALTERADAS, MANCHAS DE OXIDACIÓN, LIGERAM. ABIERTAS. (Rc 100 a 250 MPa). (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA).</p> <p>REGULAR (RESISTENTE Y LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADAS, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 a 100 MPa). (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA).</p> <p>MALA (MODERADAMENTE RESIT. MODERADAM. ALTERADA) SUPERFICIES PULIDAS O CON ESTRACIONES, MUY ALTERADAS, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (Rc 25 a 50 MPa) - (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE).</p> <p>MUY MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIES PULIDAS Y ESTRADAS, MUY ABIERTAS CON RELLENO DE ARCILLAS BLANDAS. (Rc < 25 MPa). (SE DISGREGA O INDENTA PROFUNDAMENTE).</p> | | | | | |
| | <p>LEVEMENTE FRACTURADA. TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (RQD 75 - 90%) (2 A 6 FRACT. POR METRO)</p> | LF/MB | IF/B | LF/R | LF/M | LF/MM | |
| | <p>MODERADAMENTE FRACTURADA. MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CÚBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (RQD 50 - 75%) (6 A 12 FRACT. POR METRO)</p> | F/MB | F/B | F/R | F/M | F/MM | |
| | <p>MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MÁS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES. (RQD 25 - 50%) (12 A 20 FRACT. POR METRO)</p> | MF/MB | MF/B | MF/R | MF/M | MF/MM | |
| | <p>INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (RQD 0 - 25%) (MÁS DE 20 FRACT. POR METRO)</p> | IF/MB | IF/B | IF/R | IF/M | IF/MM | |
| | <p>TRITURADA O BRECHADA. LIGERAMENTE TRABADA, MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE ROTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DISGREGABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS. (SIN RQD)</p> | T/MB | T/B | T/R | T/M | T/MM | |

Figura 2. Tabla GSI, Fuente: (SNMPE, 2004).

2.2.7. Correlación del índice RMR y Q

(Castro & Pérez, 2013), Se elaboraron ecuaciones de correlación RMR-Q del tipo lineal bajo transformación logarítmica de Q con la intención de ser comparables con las propuestas de la bibliografía (Tabla 15); sin embargo, es

posible que se obtengan correlaciones de mayor calidad con ecuaciones diferentes a la lineal. En comparación con las propuestas citadas en dicha Tabla, se observa que las obtenidas están próximas de las de Bieniawski (1989) y Kaiser y Gale (1985).

Tabla 14. *Correlaciones entre el índice RMR y el índice Q.*

| Autor | Correlación RMR - Q |
|------------------------------|----------------------------|
| Barton, 1995 | $RMR=15 \log(Q)+50$ |
| Bieniawski. 1976, 1989. | $RMR=9 \ln(Q)+44$ |
| Rutledge y Preston. 1978 | $RMR=13.5 \ln(Q)+43$ |
| Moreno E. 1981. | $RMR=12.5 \ln(Q)+55.2$ |
| Abad et al 1983. | $RMR=10.53 \ln(Q)+41.83$ |
| Cameron Clark. Budavari 1981 | $RMR=5 \log(Q)+60.8$ |

Fuente: (Castro & Pérez, 2013).

2.2.8. Teoría de bloques

La teoría de bloque, se desarrollará con base en la información geométrica derivada de la geología estructural y de cálculos relativos al equilibrio, usando simple estática. Se asume que la discontinuidad mecánica está relevada al segundo plano en importancia, en referencia al cálculo y descripción de los bloques claves. Solamente los movimientos de los bloques son considerados.

2.2.9. Tipos de bloques

Se recordará que un bloque está determinado por las intersecciones de conjunto particular de n medios-espacios. Ahora, considerando únicamente a las orientaciones, existen dos únicas intersecciones de medios-espacios y de estas intersecciones no todas definen potenciales bloques críticos.

Una cuña clave es potencialmente crítico para la estabilidad de una excavación debido a que, por definición, es finita, removible y potencialmente inestable. La siguiente tabla utiliza estos términos para reconocer cinco tipos de bloques. (Ayes, 2011).

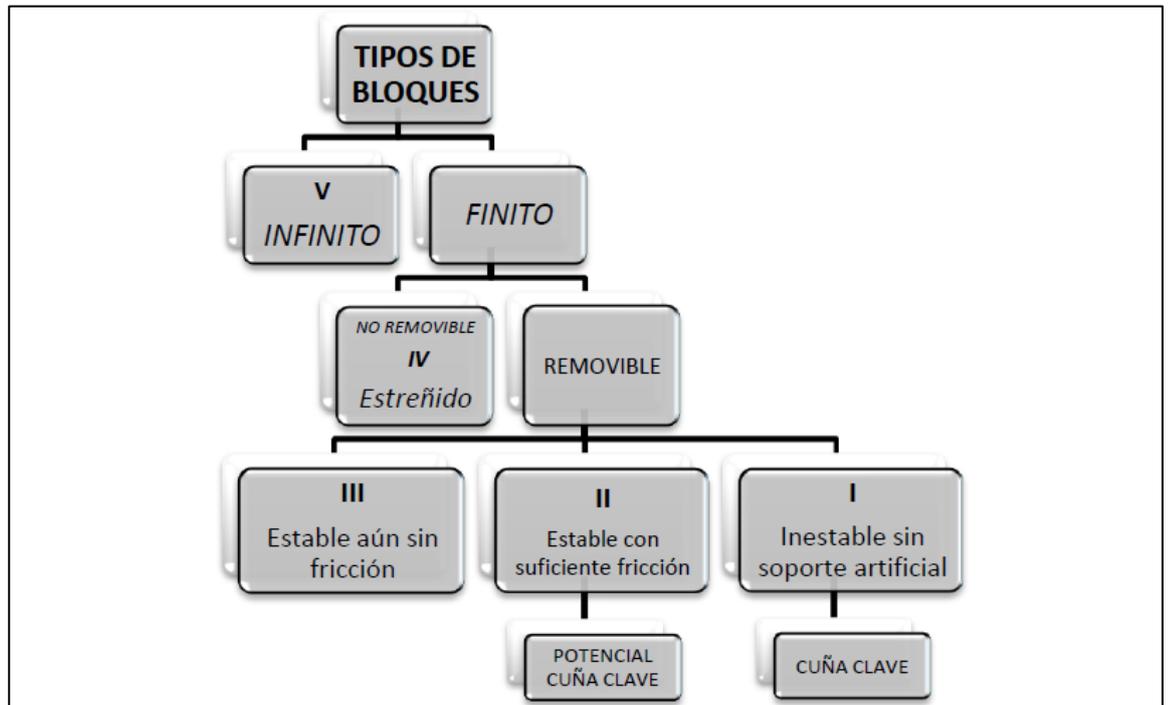


Figura 3. Clasificación de tipos de bloques, Fuente: (Ayes, 2011)

Bloque Infinito: (tipo V), es un bloque que no daña a una excavación mientras no sea posible, que sufra fracturamiento interno.

Bloques Finitos: Pueden ser divididos en no removibles (tipo IV) y removibles (tipo III, II, I). Un bloque infinito que no tiene fracturamiento interno, obviamente no puede removerse de la masa rocosa; sin embargo, un bloque finito puede ser también no removible debido a su forma geométrica estreñida. La figura 1b (tipo IV) muestra un ejemplo de un bloque estreñido, recuérdese que todos los bloques estreñidos son no removibles, a menos que causas externas lo muevan. Los bloques no estreñidos y finitos, son removibles, pero no todos son bloques

críticos para el buen comportamiento de una excavación bajo un conjunto de condiciones de carga. Así, es posible distinguir tres clases de bloques removibles.

Bloque tipo III: Tiene una orientación favorable con respecto a la fuerza resultante, por lo que se mantiene estable sin necesidad de movilizar la fuerza friccionante en sus caras. Figura 1c. Aunque sea posible levantar este bloque de su lugar, el bloque no es de interés bajo la condición de carga debido a la gravedad, ya que su virtual movimiento está fuera del espacio excavado.

Bloque del tipo II: Figura 1.d es definido como un bloque que es potencialmente inestable, pero con pocas posibilidades de convertirse en un problema, a menos que la resistencia friccionante en la potencial cara de deslizamiento sea extremadamente pequeña o que haya otras fuerzas aplicadas al bloque, además del peso propio. Un bloque de este tipo, es considerado una Potencial Cuña Clave.

Cuña clave: (tipo I) figura 1e. no es únicamente removible, sino que además está orientado de manera insegura por lo que es probable que se mueva, a menos que se le proporcione restricciones. En el caso de la figura 1e, la restricción deberá ser construida antes de que la excavación muestre descubra totalmente al bloque.

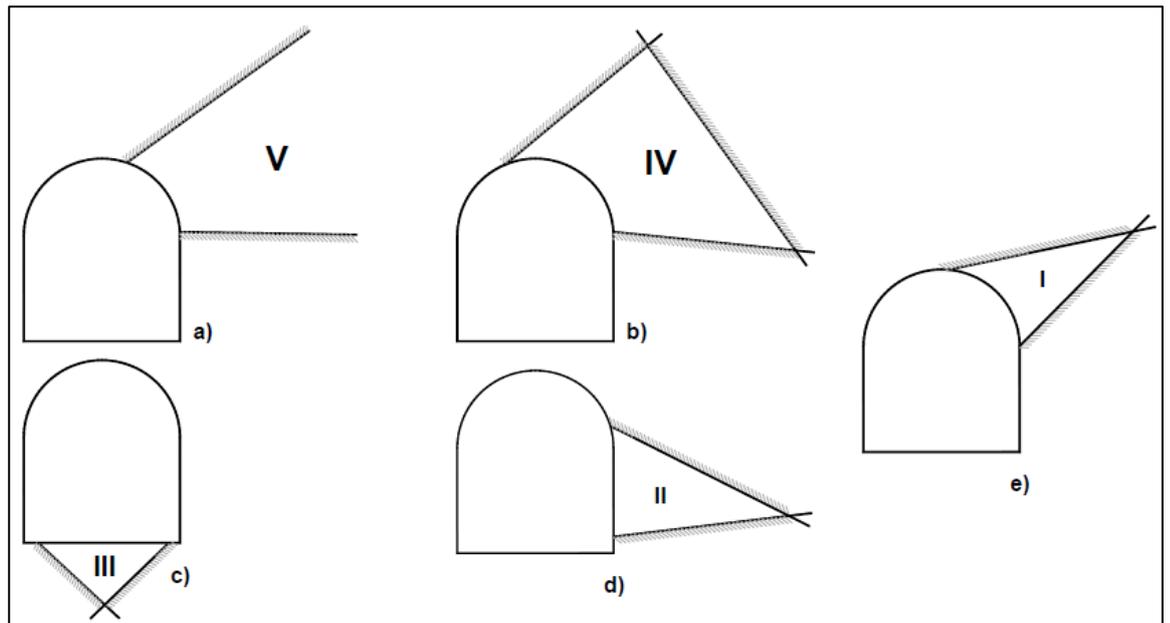


Figura 4. Tipos de bloques: a) Infinito, b) Estreñido, c) Estable, d) Potencial cuña clave, e) Cuña clave. Fuente: (Ayes, 2011)

2.2.10. Sostenimiento

El sostenimiento en minería subterránea es muy importante, ya que por la naturaleza del trabajo toda labor que se hace en el interior de la mina se realiza en espacios vacíos, inestables producto de la rotura de la roca o mineral extraído; para lograr que se mantenga nuevamente estable la zona y en condiciones de trabajarla, la zona debe de redistribuir sus fuerzas, para ello es necesario apoyar inmediatamente con el refuerzo o el sostenimiento adecuado, considerando el tipo de rocas, fallas con relleno, fallas abiertas, etc. (Mendieta, 2014).

El término “sostenimiento” es usado aquí para cubrir los diversos aspectos relacionados con los pernos de roca (de anclaje mecánico, de varillas de fierro corrugado o barras helicoidales ancladas con cemento o con resina, split sets y swellex), cables, malla, cintas de acero (straps), concreto lanzado (shotcrete) simple y con refuerzo de fibras de acero, cimbras de acero, gatas, madera (puntales, paquetes, cuadros y conjuntos de cuadros), relleno y algunas otras



técnicas de estabilización de la masa rocosa. Todos estos elementos son utilizados para minimizar las inestabilidades de la roca alrededor de las aberturas mineras. (SNMPE, 2004)

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Mecánica de rocas

La Mecánica de Rocas o de las Rocas puede considerarse como aquella parte de la Geotecnia que abarca todos los estudios teóricos y experimentales destinados a conocer el comportamiento mecánico e hidromecánico de las rocas, al ser sometidas a cambios en sus estados tensionales y en sus condiciones hidráulicas. (ITGME, 1992).

Macizo rocoso

Es la roca masiva o roca "in situ", surcada por fracturas, litoclasas, superficies de estratificación y otros tipos de discontinuidades, generalmente presentes según familias paralelas a diversas superficies quasi-planas, que se cortan entre sí, definiendo bloques del material original. (Ramírez et al., 1991).

Roca intacta

Es el bloque ubicado entre las discontinuidades y podría ser representada por una muestra de mano o trozo de testigo que se utiliza para ensayos de laboratorio. (SNMPE, 2004).

Discontinuidad

Es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario en un macizo rocoso, generalmente con una resistencia a la tracción muy baja o nula. La



presencia de discontinuidades implica un comportamiento no continuo del macizo rocoso. (Gonzales de Vallejo & Ferrer, 2007)

Orientación

Es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente es descrito por su rumbo y buzamiento. Cuando un grupo de discontinuidades se presentan con similar orientación o en otras palabras son aproximadamente paralelas, se dice que éstas forman un “sistema” o una “familia” de discontinuidades. (SNMPE, 2004).

Espaciado

El espaciado de las discontinuidades adyacentes es el factor determinante del tamaño de los bloques de roca. Si las familias de discontinuidades presentes tienen una separación pequeña, la cohesión del macizo rocoso es pequeña, mientras que aquellas discontinuidades que están muy separadas originan bloques de gran tamaño engranados entre sí. (Ramírez et al., 1991).

Persistencia

Es la extensión en área o tamaño de una discontinuidad. Cuanto menor sea la persistencia, la masa rocosa será más estable y cuanto mayor sea ésta, será menos estable.(SNMPE, 2004).

Rugosidad

La rugosidad de una discontinuidad es un factor muy importante, determinante de la resistencia al corte. La importancia de la rugosidad disminuye al aumentar la apertura, el espesor de relleno o cualquier desplazamiento sufrido con anterioridad. (Ramírez et al., 1991).



Apertura

Es la separación entre las paredes rocosas de una discontinuidad o el grado de abierto que ésta presenta. A menor apertura, las condiciones de la masa rocosa serán mejores y a mayor apertura, las condiciones serán más desfavorables. (SNMPE, 2004)

Relleno

El material de meteorización que rellena las discontinuidades puede tener su origen en la descomposición de la roca o en la desintegración. (Ramírez et al., 1991).

Alteración

La alteración de la roca o más propiamente dicha, alteración hidrotermal, se produce por la ascensión de fluidos o gases magmáticos a altas temperaturas a través de fracturas o zonas de falla. Éstos afectan a los rellenos de las zonas de falla y sus cajas, originando reemplazamientos y rellenos, que modifican las condiciones del macizo rocoso en los cuales se emplazan. (SNMPE, 2004).

Dominio estructural

Es la masa de roca delimitada por discontinuidades geológicas dentro de la cual la estructura es prácticamente homogénea.

Estructura del macizo rocoso

Es el conjunto de fallas, diaclasas, pliegues y demás características geológicas que definen una determinada región, en la que existen una serie de dominios estructurales perfectamente definidos y diferenciados entre sí. (Ramírez et al., 1991).



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

3.1.1. Ubicación

La Empresa Minera “S.M. POWER S.A.C.” Se ubica en los parajes La Rinconada y Cerro Lunar, margen derecha del Valle Glaciar Lunar, Distrito de Ananea, Provincia de San Antonio de Putina, Departamento y Región Puno, a una altitud de 4832.373 m.s.n.m. Las Coordenadas UTM de los puntos de partida de las concesiones son: 8’383,477.523 N y 451,724.828 E. (Ver Anexo 1)

3.1.2. Accesibilidad

Para llegar a la zona de estudio, en la tabla 1 se detalla las rutas de accesibilidad con las distancias y kilómetros entre los lugares conocidos y principales empezando desde la ciudad de Puno en dirección a la ciudad de Juliaca con una distancia de 45 kilómetros en calidad de carretera asfaltada, luego se toma una móvil particular o si no de los paraderos minivan con directo al centro poblado de la Rinconada con un lapso de viaje con 3 horas donde la carretera es asfaltado hasta el distrito de Ananea (variante a la provincia de Sandia) y luego se sigue como trocha carrozable hasta el centro poblado de la Rinconada para luego tomar un móvil particular hasta llegar a lunar de oro con de se ubica el bocamina en estudio donde todo este trayecto se suma la cantidad de 198 kilómetros con una duración de viaje con cambios de móvil y algunos percances a 4 horas y 35 minutos.

Tabla 15. *Accesibilidad Puno – Lunar de oro*

| Inicio | Fin | km | Tiempo / Tipo de vía |
|---------------|-----------------------|------------|--------------------------------|
| Puno | Juliaca | 45 | 45 minutos / Asfaltada |
| Juliaca | San Antonio de Putina | 90 | 1.5 horas / Asfaltada |
| S.A. Putina | Ananea | 79 | 1.5 horas / Asfaltada |
| Ananea | Rinconada | 25 | 30 minutos / Trocha carrozable |
| Rinconada | Lunar de oro | 4 | 20 minutos / Trocha carrozable |
| | TOTAL | 198 | 4hrs35min |

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Geología general

Los mantos auríferos del paraje la Rinconada, son yacimientos de tipo filoniano, en donde la mineralización del oro se presenta en mantos de cuarzo ahumado, estratificado en los esquistos y cuarcitas del paleozoico inferior estando en gran parte cubiertas por hielo glacial el mismo que ha experimentado un trabajo muy activo de erosión meteórica, la acción de estos elementos han venido destruyendo por largas edades geológicas; las crestas más salientes de la cordillera reduciéndolas probablemente por centenares de metros y transportando de las partes bajas. (Medina, 2017)

La desglaciación ha dejado grandes depósitos de morrenas y arcillas a lo largo de la quebrada del Ccorhuari y la Rinconada que concurren hacia la laguna La Rinconada producto de este fenómeno existen dos zonas; la zona de San francisco al SE y Lunar al NE.

En el área de la rinconada afloran una sucesión de lutitas y pizarras negras, con intercalación de cuarcitas en su parte inferior que generalmente tiene como rumbo NW – SE y con buzamientos de 15° a 20° al Sur, estos estratos pertenecen a la Formación Ananea.



Geología regional

Teniendo en cuenta los estudios realizados por el INGEMMET sobre la parte geológica de la zona (Chávez, Salas, Cuadros, Gutierrez, 1996); La parte Sur-Este del Perú, la cordillera oriental muestra una alineación geomorfológica y estructural de NW-SE, la zona en estudio (Phoquera) se encuentra emplazado en el flanco oriental, perteneciente a la vertiente del atlántico y las depresiones longitudinales de valles glaciares del terciario superior y cuaternario inferior. (Belizario, 2019)

La cordillera oriental muestra una alineación geomorfológico y estructura de NW – SE, la zona de Ritty pata, se encuentra ubicada en el flanco oriental perteneciente a la vertiente del océano atlántico las depreciaciones longitudinales de los valles fluvioglaciares del terciario superior y cuaternario inferior (Calumani, 2019).

Las rocas más antiguas en el extremo NE de la provincia de San Antonio de Putina y la mayor parte de la provincia de Sandia consisten en una secuencia de pizarras azuladas y filitadas del paleozoico sobre los cuales se han depositado areniscas y calizas del cretácico y cubriendo las formaciones anteriores por unas extensas formaciones de ginebritas del terciario y deposito aluviales glaciares del cuaternario (Calumani, 2019).

Geología local

Constituida por pizarras negras y esquistos con intercalaciones de de cuarcitas. También se presentan rocas intrusivas de paleozoico superior y material no consolidado del cuaternario. En la Formación Ananea se observan lutitas y pizarras que afloran tanto en el sector SE, donde se ubica la unidad operática de



la Corporación minera Ananea y al NE se ubica la mina “Cerro Lunar de Oro”. Los afloramientos de diques conocidos como san pedros y tentadora, con rumbos promedios de NE a SE y con buzamientos a NE (Medina, 2017)

Esta formación esta plegada, fallada y metamorfozada. Cabalga sobre la formación Ananea mas reciente del Silúrico-Devoniano. Esta Formación es la que hospeda la mineralización aurífera de la zona en esta que consiste en un sistema de mantos sensiblemente paralelos (50m a 60m) uno de otro, con buzamientos del orden de 35° hacia el Sur. También afloran rocas de la formación Ananea del Silúrico superior – devoniano inferior. Consiste en una serie de esquistos epimetamórficos. Su litología corresponde a una homogénea y monótona sucesión de pizarras negras en paquetes. Presenta una alternancia micrométrica de siltitas y bancos masivos de areniscas. (Ingemmet, 1996)

Geología económica

Minas la rinconada está controlada por un sistema de mantos y vetas, el ensamble guía es cuarzo sulfuros y oro, se encuentra emplazada en los mantos concordantes a la estratificación entre pizarras, filitas y cuarcitas, los tipos de cuarzo son; gris y lechoso; el tamaño de grano del cuarzo es determinante para el contenido de oro fino y oro libre, para el segundo se encuentra mayormente relacionado a las ocurrencias de oro, y el cuarzo lechoso se encuentran en forma de diques o vetas con presencia de limonita y clorita. Sin embargo su distribución es muy errática y pueden ocurrir hasta bolsonadas de Oro Macizo. (Calumani, 2019)

En la hoja de la rinconada, se ubica a la cordillera oriental con un rumbo general NO-SE, encontrándose la mineralización emplazada en rocas pizarrosas y



areniscas de la formación Ananea, a manera de vetas y vetas capa tipo filoneano, con mineralización de cuarzo y contenido de vetillas de oro. (Belizario, 2019)

La mineralización aurífera está relacionada al ciclo Eohercinico siendo de origen hidrotermal; como ejemplo tenemos las minas Ana María – Rinconada – Gavilán de Oro -. San miguel y Phoquera. (Belizario, 2019)

Estos yacimientos están relacionados al paleozoico inferior, considerándoseles como estratoligado de oro.

Pre-Cordillera del Carabaya: Se ubica en la hoja de Putina. Presenta una mineralización polimetálica de wolframio en scheelita y ferberita emplazadas en rocas del Grupo Ambo, con un rumbo general NO-SE, a manera de betas que están asociadas a intrusiones sub-volcánicas correspondientes al Mioceno superior. Está compuesto además de Cu, Zn, Ag y Pb. (Belizario, 2019)

Geología estructural

- **Paleozoico inferior**

Pliegues y Fallas: el paleozoico inferior representado por la formación Sandía, está compuesto litológicamente, por una secesión homogénea de areniscas y siltitas muy finas, que son afectadas por un sistema de anticlinales y sinclinales de dirección NO – SE con su plano axial, ligeramente inclinado al NE, que coinciden con la dirección tectónica de la Cordillera Oriental. (Belizario, 2019)

Un conjunto de fallas inversas ligeramente sub-verticales con la misma dirección, pero de buzamiento al NO y SO, rompe este plegamiento, dando estructuras en bloques el cual hace dificultoso el seguimiento de las secuencias estratigráficas. (Belizario, 2019)



El sinclinal del río Yagua junto con el Hirigache, ubicado en el sector NE del cuadrángulo de La Rinconada son simétricos y sus flancos no están interrumpidos por fallas; otros sinclinales de importancia también se pueden observar entre Untuca y Phoquera, en el sector NO del cuadrángulo de La Rinconada. (Belizario, 2019)

- **Paleozoico superior**

Este conjunto sedimentario compuesto por los grupos Ambo, Tarma y Copacabana tienen un paso gradacional entre ellos. En el área de estudio, no se ha determinado ningún evento tectónico al interior que separe a alguno de estos grupos. Sin embargo, habría que señalar la presencia de olistolitos y slumpings en la parte superior del grupo Ambo, lo que podría indicar algún movimiento del basamento hacia el Mississipiano Superior.

Son los terrenos del paleozoico superior los que la pre-cordillera del Carabaya cuya orientación es NO-SE, la cual atraviesa en forma diagonal la parte central del cuadrángulo de Putina, continuando en el cuadrángulo de La Rinconada con la misma dirección.

El plegamiento del Paleozoico superior es de escala kilométrica, sus pliegues muy abiertos y con una ligera vergencia hacia el SO. Hay que destacar que este plegamiento debe haber sido más suave y abierto cuando se produjo la fase tectónica responsable del mismo; debió haber sido acentuado en las fases tectónicas tanto del Cretáceo como del Terciario. (Belizario, 2019)

- **Cretáceo**

El cretáceo reposa en discordancia angular sobre el Paleozoico superior por intermedio de un conglomerado de hasta 200m de grosor. Esta discordancia



es bien visible en el cerro Calacalana situado en la esquina NO del cuadrángulo de Putina, en el cerro Huilachaca situado en el extremo SE de la pre-cordillera del Carabaya en el cuadrángulo de Putina y en el cerro Pucacunca. El Cretaceo se encuentra afectado por un plegamiento de dirección NO – SE, en cierto modo paralelo al plegamiento del Paleozoico superior.

Un sistema principal de fallas de orientación NO – SE afecta al Cretaceo. A este sistema pertenecen las fallas Tarucani, Quilcapunco, Infiernillo y Minastraca; son fallas sub-verticales, lo que puede descubrirse también por su traza casi rectilínea. Estas fallas son de carácter inverso con el bloque NE levantado. (Belizario, 2019)

Geomorfología

Esta zona está conformada por la Cordillera Oriental de los Andes, con altitudes mayores de los 5,000 msnm, con orientación andina NW-SE, donde se observa la presencia de glaciares, de relieve muy abrupto, con crestas y aristas agudas producto de la acción glaciaria. También se presentan geformas menores, como los valles en U, que se encuentran erosionados o cubiertos por materiales recientes, así también morrenas, que están siendo erosionadas o cubiertas por depósitos aluviales. Entre la Cordillera Oriental y la pre- Cordillera de Carabaya se puede observar una zona de planicie sub-horizontal, con altitudes entre los 4,400msnm y 4,600msnm, producto del relleno de una cuenca por materiales morrénicos y fluvioglaciares que después fueron erosionados a diferentes niveles. La morfología de la pre-Cordillera de Carabaya presenta una altitud promedio de 4,734 msnm, con pendientes moderadas (Luabacher, citado por Curo, 2018)



Litología

Las rocas más antiguas la constituyen las pizarras, lutitas, areniscas, calizas del cretáceo y cubriendo estas formaciones se encuentran un conjunto de ignimbritas del terciario, depósitos aluviales y glaciares del cuaternario. Las rocas paleozoicas ocupan toda la cordillera de Carabaya y las rocas mesozoicas aparecen en la cuenca del Titicaca ininterrumpida por formaciones del cenozoico. (Medina, 2017)

Las rocas que afloran en la zona son las siguientes.

Formación Ananea SD-a (Paleozoico Inferior). Es la unidad litoestratigráfica más antigua del Paleozoico en el área. Fue definido inicialmente por Laubacher (1978) en el valle de Sandía, constituida por una secuencia detrítica de pizarras oscuras e intercaladas con cuarcitas que van de metros a milímetros de ancho. Se ha catalogado como edad Caradociana del Ordovícico. Por tratarse de una sedimentación impuesta por las filitas y lutitas, cuyas estructuras internas corresponden a flaserbedding, lenticular bedding, wave bedding y otras, indicarían que la formación se habría sedimentado en un ambiente de llanura tidal. (Curo, 2018)

Morrenas Q-m (Cuaternario). Unidad del Cuaternario pleistoceno, se desarrolla al sur del poblado de La Rinconada, y al NW de la Concesión de Beneficio. Está compuesto de clastos sin gradación, dispersos en una matriz limo-arcillo-arenosa. Sus clastos presentan diámetros de 4 a 12", y erráticamente bolones hasta de 1m de diámetro. Los clastos de estas morrenas tienen litología variada. Estas morrenas fueron depositadas en varias etapas de glaciación.



Depósitos Fluvio Glaciares Q-FI-gl (Cuaternario reciente). Unidad del Cuaternario holoceno reciente, que suprayacen a los sedimentos de la formación Ananea y Sandía, está constituido por limos y arcillas, y en cauces amplios presentan a depósitos de gravas y arenas. (INGEMMET, 1996)

Mineralogía y alteraciones

La alteración de la roca o más propiamente dicha, alteración hidrotermal, se produce por la ascensión de fluidos o gases magmáticos a altas temperaturas a través de fracturas o zonas de falla. Éstos afectan a los rellenos de las zonas de falla y sus cajas, originando reemplazamientos y rellenos, que modifican las condiciones del macizo rocoso en los cuales se emplazan., Algunos tipos de alteración, como la silicificación y en menor grado la calcificación, mejoran las características de la masa rocosa, incluyendo las zonas de falla. Otros, como la propilitización, disminuyen levemente las condiciones debido a la presencia de cloritas en las paredes de las fracturas. La sericitización y la argilitización (aumento de minerales arcillosos) son las alteraciones más desfavorables para los macizos rocosos donde se emplazan. (Medina, 2017)

La mineralización se presenta en mantos y vetas con potencias de 1cm a 20cm. Las estructuras mineralizadas de La Rinconada, se observan: cuarzo (lechoso y ahumado), clorita, pirita, sericita, arsenopirita y oro nativo en forma de láminas finas. El oro también ocurre, a menor escala, en venillas y diseminaciones dentro de los hastiales pizarrosos hasta pocos centímetros de los mantos. También se han observado finas inclusiones de oro nativo en la arsenopirita. El oro ocurre en partículas libres de 3micras a 220 micras y como inclusiones principalmente dentro del cuarzo. También ocurren esporádicas inclusiones de oro en la arsenopirita con dimensiones de 1micras a 20 micras. Los sulfuros blenda y galena



ocurren en granos muy finos, y muy erráticamente, y asociados a calcopirita, arsenopirita y piritita. Molibdenita ocurre en granos libres. La piritita I ocurre en finas diseminaciones en el cuarzo. (INGEMMET, 1996)

Estructura de los mantos

Las flexuras de orden de micro sinclinales y mini anticlinales, con buzamientos que oscilan entre 20° y 30°, que en el laboreo minero se manifiesta con rumbos variables con respecto a los rumbos de las fracturas y micro fracturas permitiendo el enriquecimiento en el eje del micro sinclinal, estas manifestaciones pueden favorecer la ley de mineral. (INGEMMET, 1996)

Para conocer la masa rocosa, hay necesidad de observar en el techo y las paredes de las labores mineras, las diferentes propiedades de las discontinuidades, para lo cual se debe primero lavar el techo y las paredes. A partir de estas observaciones se podrán sacar conclusiones sobre las condiciones geomecánicas de la masa rocosa. Debido a la variación de las características de la masa rocosa, el supervisor deberá realizar en forma permanente una evaluación de las condiciones geomecánicas, conforme avanzan las labores, tanto en desarrollo como en explotación, utilizando el presente manual como una herramienta de clasificación de la masa rocosa. En situaciones especiales, el supervisor deberá realizar un mapeo sistemático de las discontinuidades, denominado mapeo geomecánico, utilizando métodos como el “registro lineal”, para lo cual debe extender una cinta métrica en la pared rocosa e ir registrando todos los datos referidos a las propiedades de las discontinuidades, teniendo cuidados de no incluir en ellos las fracturas producidas por la voladura. Los datos se irán registrando en formatos elaborados para este fin, luego serán procesados y presentados en los planos de las labores mineras (Medina, 2017).



Formación del yacimiento

El fallamiento en el yacimiento está relacionado a un periodo anterior al Permo-Trias, consecuentemente con fallas pre-minerales. Las fallas san Andrés, Tentadora, Esperanza, Carmen y Lunar se orientan hacia el NW-SE de bajo ángulo con desplazamiento vertical al orden de centímetros, otro sistema de fallas importantes son las fallas San Francisco, Norma y Virginia completan un cuadro tectónico de fallamiento transversal de rumbo NE-SW estas fallas son casi verticales y de alto ángulo con desplazamiento vertical (Curo, 2018)

El Plegamiento es otro de los fenómenos importantes que ocurre en el yacimiento, se sabe que el plegamiento se presenta a manera de flexuras-anticlinales y sinclinales que son producto de fuertes movimientos horizontales que han afectado a los estratos de lutitas y pizarras en el sector de Cerro Lunar de Oro se observa claramente el eje del anticlinal asimétrico con rumbo NW-SE consecuente del plegamiento andino pero el sector de Cerro San Francisco se puede observar un anticlinal asimétrico con un eje NE-SW anómalo en comparación con el plegamiento andino (Laubacher, 1978).

Profundidad de los mantos: el promedio con respecto a la superficie se encuentra a 110 metros, en la mina que será el punto exacto de nuestro proyecto de investigación este valor tiene incidencia directa con el esfuerzo vertical máximo y en consecuencia en los esfuerzos inducidos sobre los pilares. (Medina, 2017)

Método de explotación

El método de explotación que se aplica para la extracción del mineral es el método de explotación de cámaras y pilares, se opta por este método teniendo en



consideración los diferentes factores o parámetros como resistencia del macizo rocoso, dureza del mineral, densidad de la roca, densidad del mineral así mismo se considera el comportamiento de la mineralización que se expande en mantos con buzamientos que están entre 20° y 30°.

3.2. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el presente trabajo de investigación se utilizó el diseño metodológico descriptivo cuantitativo el mismo que nos permitió examinar los datos de manera científica haciendo uso de formatos y ábacos de Mapeo Geomecánico para la recolección de la información de campo.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población

Conformada por todas las galerías, labores y rampas de la Empresa Minera S.M. POWER S.A.C.

3.3.2 Muestra

Macizo rocoso zonificado de la galería principal y rampa 430-E de la Empresa Minera S.M. POWER S.A.C.

4.3. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos del área de estudio se aplicó la técnica observacional de levantamiento de características de una porción delimitada del macizo rocoso de manera in-situ en formatos preestablecidos (Anexo C), organizados según criterios teóricos haciendo uso de los instrumentos mencionados cuyos valores son corroborados con los ábacos mencionados. Técnica conocida como mapeo geomecánico por ventanas



o celdas. De la cual se obtiene todos los parámetros que nos permiten estimar las condiciones del macizo rocoso. Para esta investigación consideramos los siguientes:

- Orientación de las discontinuidades.
- Espaciado entre discontinuidades.
- Persistencia de discontinuidades.
- Abertura de discontinuidades.
- Relleno en las discontinuidades.
- Rugosidad de las discontinuidades.
- Alteración de discontinuidades.
- Resistencia de las paredes de discontinuidades.
- Presencia de agua.
- Orientación y geometría de la excavación.

Concluida la fase de campo se llevó una muestra intacta de la roca encajonante a laboratorio, con la finalidad de recolectar valores de resistencia a la compresión simple UCS y comparar los valores obtenidos con martillo Schmidt. Así como también datos de densidad y ángulo de fricción de la roca.

4.4. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para el procesamiento de la información recabada en gabinete, campo y laboratorio se hace el uso de programas especializados en el siguiente orden:

Calculo del RMR, Q y GSI con ayuda del programa computacional Excel.

Para el análisis de cuñas se usó el software Dips v.6 que con los valores de ángulo de fricción, buzamiento y dirección de buzamiento nos proporcionó la existencia de potenciales cuñas claves.



Para procesar los datos de resistencia obtenidos en laboratorio se usó el software Rocdata.v3 que proporciona parámetros para hallar el factor de seguridad.

Para el análisis del factor de seguridad de las cuñas se hace uso del software Unwedge v.4, que nos permitió determinar las condiciones de las cuñas existentes. Finalmente se simuló las condiciones estables y fueron consideradas en el diseño de sostenimiento.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO DE LA GALERÍA DE ACCESO Y RAMPA 430-E DE LA EMPRESA MINERA S.M. POWER S.A.C.

Inicialmente para un manejo adecuado de la información recabada, se optó por dividir la zona de estudio en dos, la primera denominada Galería de acceso y la segunda como Rampa 430-E, considerando la diferencia que existe en su construcción, geometría, orientación e inclinación. Ver Anexo B.

Para la Rampa 430-E que tiene una longitud de 260m que zigzaguea en 4 tramos se designaron también 4 estaciones geomecánicas considerando en este caso el cambio de dirección en su avance. Denominadas R-1 hasta R-4. Ver Anexo B.

Tabla 16. *Resumen de Estaciones Geomecánicas y Ubicación.*

| Labor | Estación Geomecánica | Progresiva | Orientación de túnel |
|-------------------|----------------------|------------|----------------------|
| Galería de acceso | A-1 | 0+30 | N25E |
| | A-2 | 0+140 | N40E |
| | A-3 | 0+220 | N28E |
| | A-4 | 0+370 | N31E |
| Rampa 430-E | R-1 | 0+480 | N103E |
| | R-2 | 0+550 | N32W |
| | R-3 | 0+590 | S20W |
| | R-4 | 0+630 | N28W |

Fuente: Elaboración propia.



4.1.1 Clasificación de la masa rocosa según RMR, Q y GSI

Estos valores obtenidos de la información recabada en cada estación geomecánica tanto para la galería de acceso como para la rampa 430-E (ver Anexo C) se detallan en la tabla 17.

4.1.2 Orientación de las discontinuidades del macizo rocoso

De las dos zonas de estudio se lograron levantar 320 mediciones de buzamiento y dirección de buzamiento (Dip/ Dip Dir.) con un mínimo de 40 datos por estación geomecánica ver Anexo D.

Esta data nos servirá para la identificación de las familias de discontinuidades que influyen directamente en la estabilidad de la galería principal y rampa 430-E.

4.1.3 Análisis de cuñas

Con la técnica conocida como proyecciones estereográficas que realiza el software Dips v.6 se identifica estadísticamente las familias de discontinuidades existentes en cada estación geomecánica.

Luego con los datos de ángulo de fricción obtenidos de la clasificación RMR y del ensayo de Tilt test $\phi_b = 30^\circ$ (Valor típico para roca pizarra, fuente laboratorio de geotecnia y Mecánica de Rocas FIM-UNAP), conjuntamente con la orientación de las familias representativas como input, se realizó el análisis de cuñas para valores proporcionados por cada estación geomecánica.

Tabla 17. Resumen de Valores RMR, Q y GSI por Estación.

| Estación Geomecánica | RMR | Clasificación RMR | Q | GSI |
|----------------------|-----|-------------------|-----|-----|
| A-1 | 62 | IIb | 7.4 | 57 |
| A-2 | 54 | IIIa | 3 | 49 |
| A-3 | 59 | IIIa | 5.3 | 54 |
| A-4 | 41 | IIIb | 0.7 | 36 |
| R-1 | 52 | IIIa | 2.4 | 47 |
| R-2 | 47 | IIIb | 1.4 | 42 |
| R-3 | 44 | IIIb | 1 | 39 |
| R-4 | 50 | IIIb | 1.9 | 45 |

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Estación Geomecánica A-1

Considerando la orientación de la galería de acceso para este sector de N25°E y ángulo de fricción $\phi_b = 30^\circ$ correspondiente a la estación geomecánica A-1. Se identificaron 3 familias representativas las cuales forman una potencial cuña clave con ubicación en el techo de la excavación.

4.1.5 Estación Geomecánica A-2

La orientación de la galería de acceso para este sector de la estación geomecánica A-2 es de N40°E y ángulo de fricción $\phi_b = 30^\circ$. Se identificaron 3 familias representativas las cuales forman potenciales cuñas clave en el techo y hastiales de la excavación.

4.1.6 Estación Geomecánica A-3

Considerando la orientación de la galería de acceso para este sector de N28°E y ángulo de fricción $\phi_b = 30^\circ$. Se identificaron 4 Familias de



discontinuidades representativas las cuales forman potenciales cuñas clave en el techo y hastiales de la excavación.

4.1.7 Estación Geomecánica A-4

La orientación de la galería de acceso para este sector es de N31°E y ángulo de fricción $\phi_b = 30^\circ$. Se identificaron 3 Familias representativas las cuales forman una potencial cuña clave en el hastial izquierdo y techo de la excavación.

4.1.8 Estación Geomecánica R-1

En este sector de la estación geomecánica R-1 la orientación de la Rampa 430-E es de S77°E y ángulo de fricción $\phi_b = 30^\circ$. Identificándose 4 Familias representativas que forman potenciales cuñas clave en el techo y hastiales de la excavación.

4.1.9 Estación Geomecánica R-2

Para este sector la Rampa 430-E tiene la orientación de N32°W y ángulo de fricción $\phi_b = 30^\circ$. Identificándose 4 Familias representativas las que forman potenciales cuñas clave en el techo de la excavación susceptibles de caída libre y deslizamiento en los hastiales.

4.1.10 Estación Geomecánica R-3

Considerando la orientación de la Rampa 430-E para este sector de S20°E y ángulo de fricción $\phi_b = 30^\circ$ Se identificaron 4 familias de discontinuidades que forman potenciales cuñas clave en el techo de la excavación y hastiales.

4.1.11 Estación Geomecánica R-4

Considerando la orientación de la Rampa 430-E para este sector de N28°E y ángulo de fricción $\phi_b = 30^\circ$. Se identificaron 4 familias de discontinuidades formando potenciales cuñas clave en el techo de la excavación y hastial derecho.

4.1.12 Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio son de especial importancia en este tipo de investigaciones, para tal efecto se llevó una muestra representativa de roca intacta de la zona más crítica al Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Facultad de Ingeniería de Minas UNAP.

Se solicitaron los ensayos de propiedades físicas de la roca obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 18. *Propiedades físicas de la roca Pizarra*

| Tara | Peso húmedo (g) | Peso seco (g) | Peso seco + parafina (g) | Peso parafina (g) | Peso sumergido (g) | Densidad parafina (g/cm ³) | Volumen parafina (cm ³) | Volumen muestra (cm ³) | Densidad seca (g/cm ³) | Porosidad aparente (%) | Peso específico aparente (KN/m ³) |
|-------------------------------|--------------------|------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------|---|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|--|
| M-01 | 251.25 | 251.1 | 262.67 | 11.57 | 160.41 | 0.87 | 13.3 | 88.96 | 2.82 | 0.13 | 27.68 |
| M-02 | 228.37 | 228.24 | 236.95 | 8.71 | 144.79 | 0.87 | 10.01 | 82.15 | 2.78 | 0.11 | 27.24 |
| M-03 | 255.94 | 255.8 | 264.48 | 8.68 | 162.96 | 0.87 | 9.98 | 91.54 | 2.79 | 0.13 | 27.4 |
| M-04 | 226.55 | 226.4 | 233.8 | 7.4 | 143.17 | 0.87 | 8.51 | 82.12 | 2.76 | 0.12 | 27.03 |
| M-05 | 233.34 | 233.26 | 241.13 | 7.87 | 147.96 | 0.87 | 9.05 | 84.12 | 2.77 | 0.07 | 27.19 |
| Numero de resultados | | | | | | | | | 5 | 5 | 5 |
| Valor máximo, MAX | | | | | | | | | 2.82 | 0.13 | 27.68 |
| Valor mínimo, MIN | | | | | | | | | 2.76 | 0.07 | 27.03 |
| Mediana, MED | | | | | | | | | 2.78 | 0.12 | 27.24 |
| Valor promedio, MEAN | | | | | | | | | 2.78 | 0.11 | 27.31 |
| Desviación estándar, SDEV | | | | | | | | | 0.02 | 0.03 | 0.24 |
| Coefficiente de variación, CV | | | | | | | | | 0.79 | -1.56 | 0.79 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Rocas FIM UNAP

También se solicitó los ensayos de resistencia a la compresión simple UCS obteniendo los siguientes valores.

Tabla 19. *Ensayo a la Compresión Simple de Núcleos de Roca*

| ID | Diámetro (cm) | Altura (cm) | Área (cm ²) | Relación L/D | Carga (Kg-f) | Factor de corrección | | | UCS (MPa) | UCS corregido (MPa) | UCS corregido (Kg-f/ cm ²) |
|------------------------------|------------------|----------------|----------------------------|-----------------|-----------------|--|---|-------------------|--------------|---------------------------|---|
| | | | | | | Relación D/L (Protody aconov) | Por diámetro (Hoek & Brown, 1980) | Tipo de Rotura | | | |
| UCS-01 | 5.5 | 11 | 23.76 | 2 | 20410 | 1 | 1.02 | fractura | 84.25 | 85.87 | 875.6 |
| UCS-02 | 5.5 | 11.1 | 23.76 | 2.02 | 17630 | 1 | 1.02 | matriz | 72.77 | 74.25 | 757.19 |
| UCS-03 | 5.5 | 11.08 | 23.76 | 2.01 | 22450 | 1 | 1.02 | matriz | 92.67 | 94.53 | 963.99 |
| Número de resultados | | | | | | | | | 3 | 3 | 3 |
| Valor máximo, MAX | | | | | | | | | 92.67 | 94.53 | 963.99 |
| Valor mínimo, MIN | | | | | | | | | 72.77 | 74.25 | 757.19 |
| Mediana, MED | | | | | | | | | 84.25 | 85.87 | 875.6 |
| Valor promedio, MEAN | | | | | | | | | 83.23 | 84.89 | 865.59 |
| Desviación estándar, SDEV | | | | | | | | | 9.99 | 10.18 | 103.76 |
| Coeficiente de variación, CV | | | | | | | | | -0.45 | -0.43 | -0.43 |

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Rocas FIM UNAP

Con esta información de laboratorio y los valores de GSI obtenidos en campo son el input para analizar la roca con el software RocData v.3 (ver Anexo E)

Tabla 20. *Resumen Análisis de Roca Software RocData, 8 Estaciones Geomecánicas.*

| Estacion Geomecanica | A-1 | A-2 | A-3 | A-4 | R-1 | R-2 | R-3 | R-4 |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Hoek-Brown Classification | | | | | | | | |
| σ_{ci} (Mpa) | 84.89 | 84.89 | 84.89 | 84.89 | 84.89 | 84.89 | 84.89 | 84.89 |
| GSI | 57 | 49 | 54 | 36 | 47 | 42 | 39 | 45 |
| mi | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| D | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Hoek-Brown Criterion | | | | | | | | |
| mb | 1.81527 | 1.32151 | 1.61154 | 0.788914 | 1.22068 | 1.001 | 0.888652 | 1.12755 |
| s | 0.005982 | 0.002308 | 0.004185 | 0.000491 | 0.001819 | 0.001003 | 0.000702 | 0.001434 |
| a | 0.503516 | 0.506143 | 0.504342 | 0.514908 | 0.50705 | 0.509923 | 0.512167 | 0.508086 |
| Failure Envelope Range | | | | | | | | |
| Application | Tunnels | Tunnels | Tunnels | Tunnels | Tunnels | Tunnels | Tunnels | Tunnels |
| σ_{3max} (Mpa) | 2.73548 | 4.20642 | 4.36093 | 4.48962 | 4.86881 | 5.07578 | 5.17346 | 5.46103 |
| Unit Weight (MN/m ³) | 0.02731 | 0.02731 | 0.02731 | 0.02731 | 0.02731 | 0.02731 | 0.02731 | 0.02731 |
| Tunnel Depth (m) | 200 | 320 | 330 | 350 | 375 | 395 | 405 | 425 |
| Mohr-Coulomb Fit | | | | | | | | |
| c (Mpa) | 1.39674 | 1.40287 | 1.61703 | 1.10257 | 1.46473 | 1.35354 | 1.28803 | 1.50793 |
| phi (°) | 47.7039 | 41.881 | 43.211 | 36.6981 | 40.005 | 37.9051 | 36.6547 | 38.3615 |
| Rock Mass Parameters | | | | | | | | |
| σ_t (Mpa) | -0.279731 | -0.148251 | -0.220464 | -0.052834 | -0.126492 | -0.08506 | -0.067038 | -0.107926 |
| σ_c (Mpa) | 6.4484 | 3.92883 | 5.36279 | 1.67909 | 3.46292 | 2.51045 | 2.05865 | 3.04836 |
| σ_{cm} (Mpa) | 15.7431 | 12.9975 | 14.6416 | 9.45702 | 12.3941 | 10.9905 | 10.2067 | 11.8161 |
| Em (Mpa) | 12407.1 | 7828.36 | 10439.3 | 3704 | 6977.03 | 5232.04 | 4402.21 | 6218.29 |

Fuente: Elaboración Propia

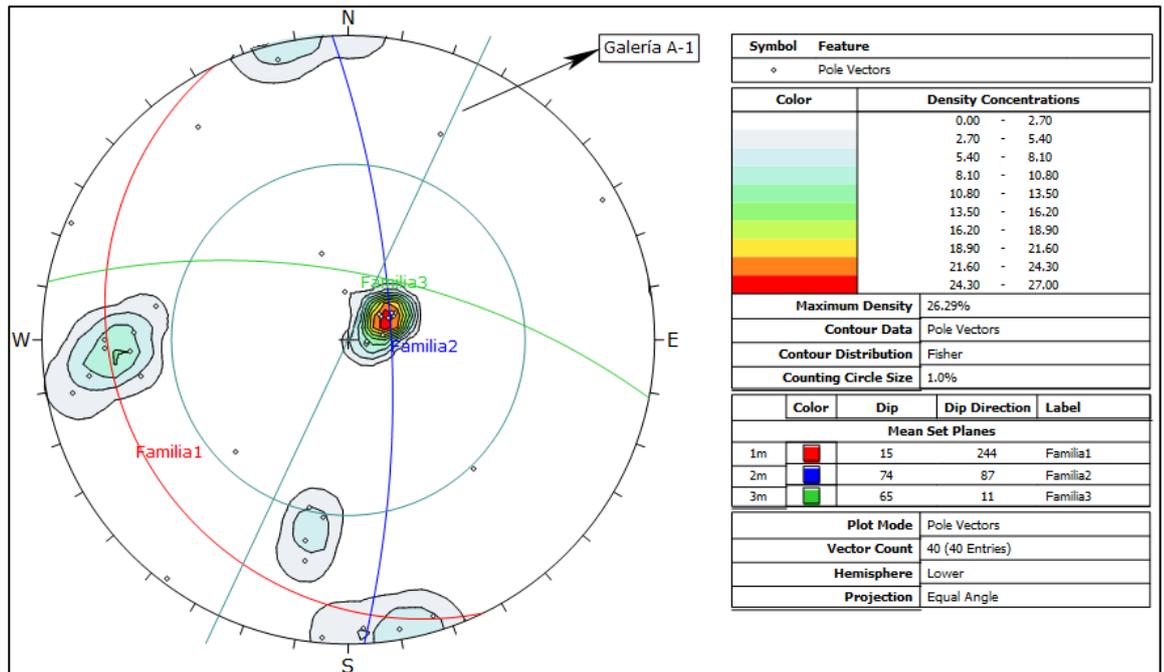


Figura 5. Proyección estereográfica y familias de discontinuidad Estación Geomecánica A-1. Fuente: Elaboración propia.

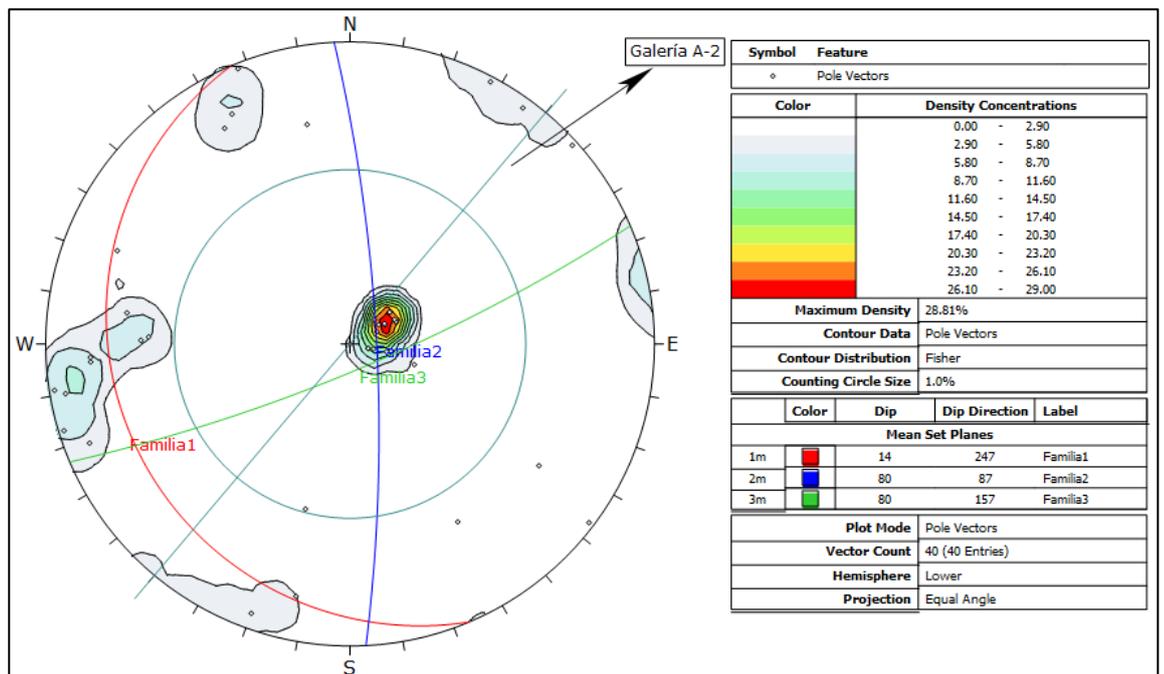


Figura 6. Proyección estereográfica y familias de discontinuidad Estación Geomecánica A-2. Fuente: Elaboración propia.

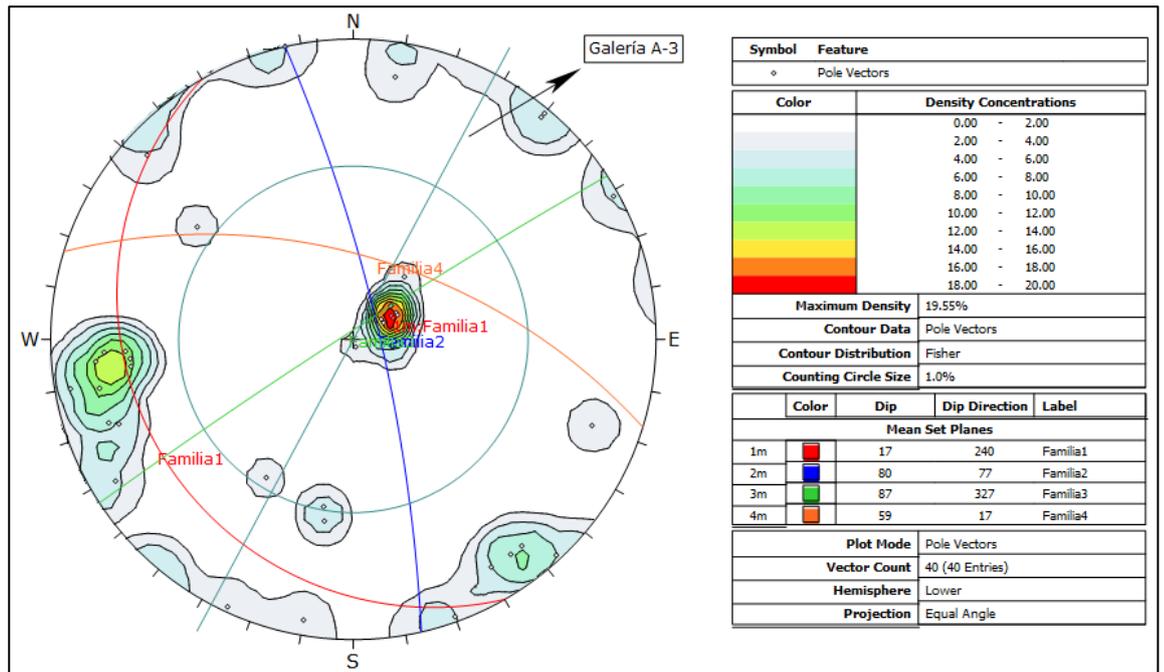


Figura 7. Proyección estereográfica y familias de discontinuidad Estación Geomecánica A-3. Fuente: Elaboración propia.

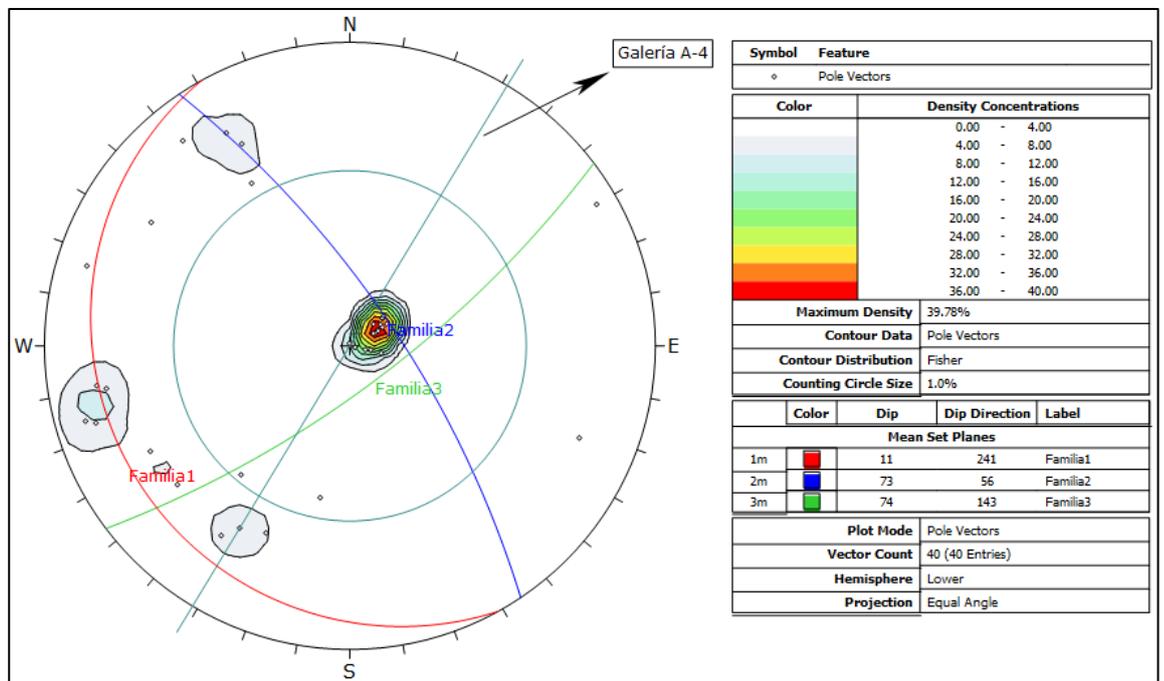


Figura 8. Proyección estereográfica y familias de discontinuidad Estación Geomecánica A-4 Fuente: Elaboración propia.

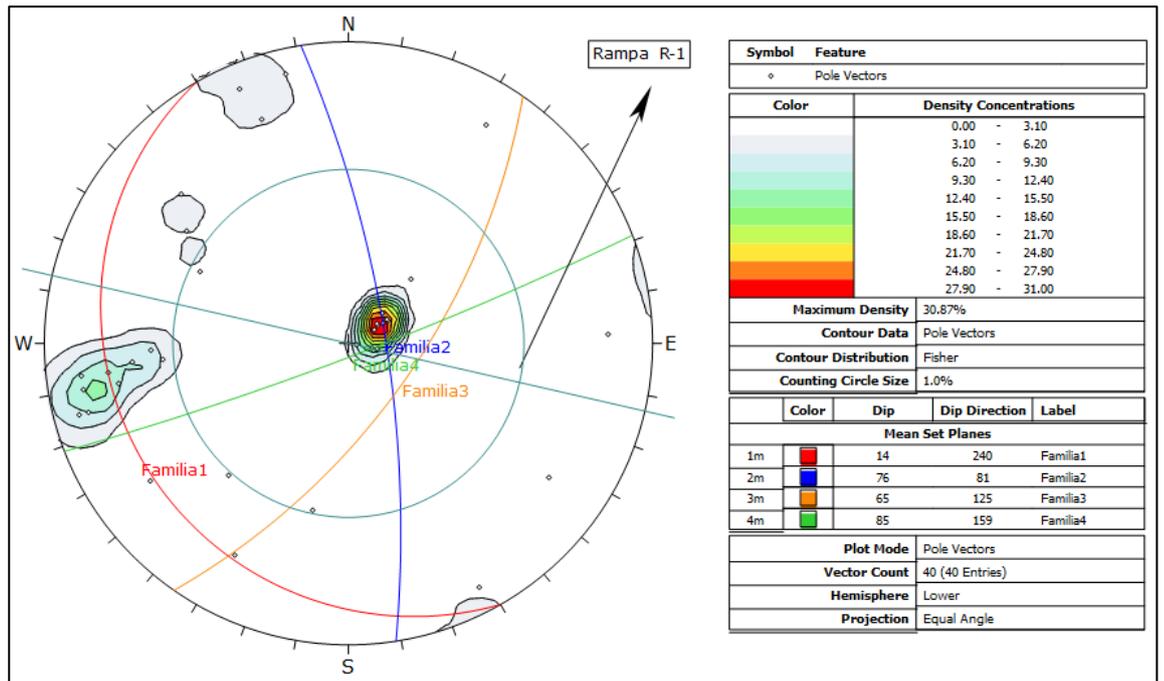


Figura 9. Proyección estereográfica y familias de discontinuidad Estación Geomecánica R-1. Fuente: Elaboración propia.

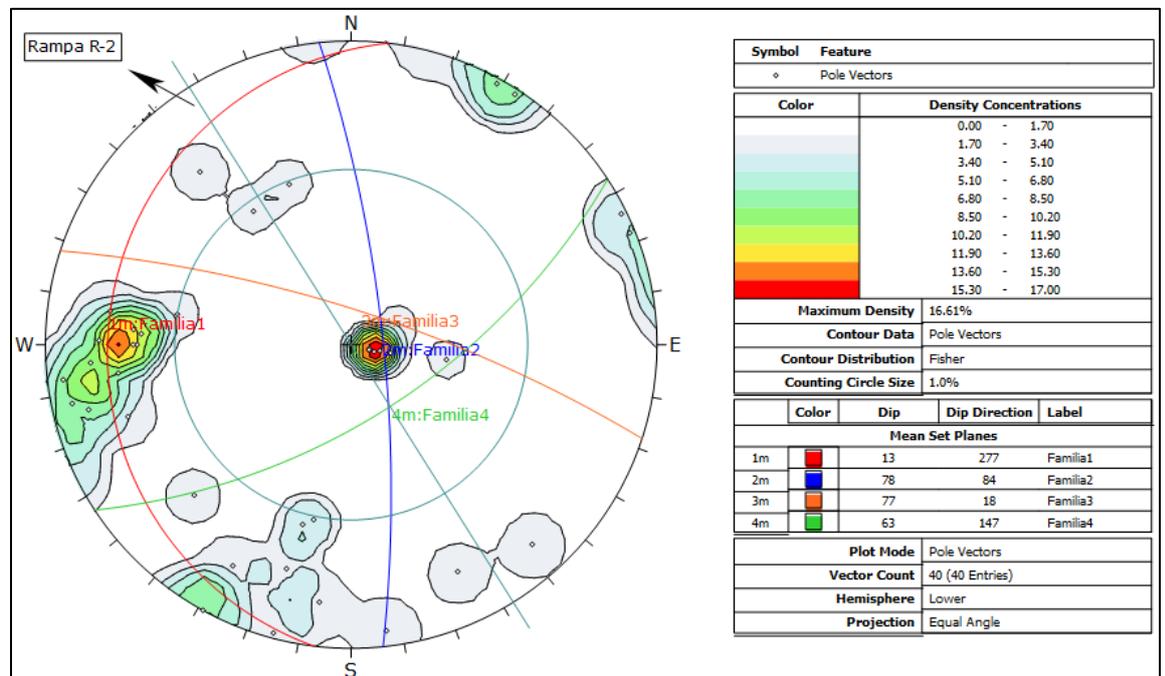


Figura 10. Proyección estereográfica y familias de discontinuidad Estación Geomecánica R-2. Fuente: Elaboración propia.

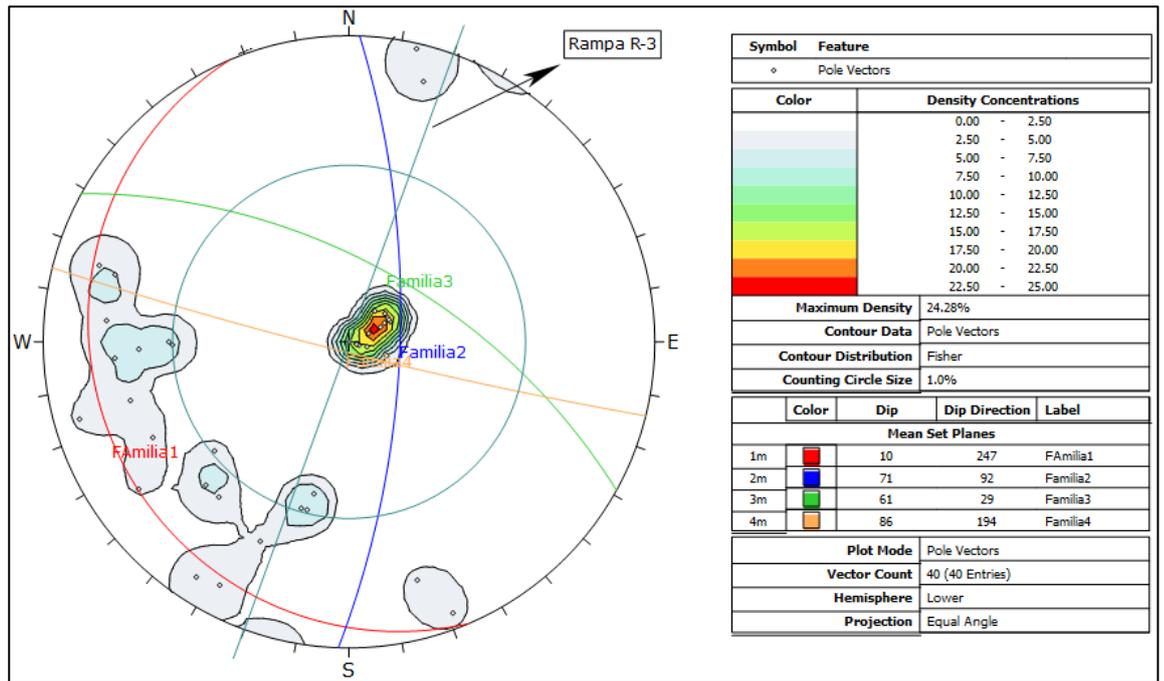


Figura 11. Proyección estereográfica y familias de discontinuidad Estación Geomecánica R-3. Fuente: Elaboración propia.

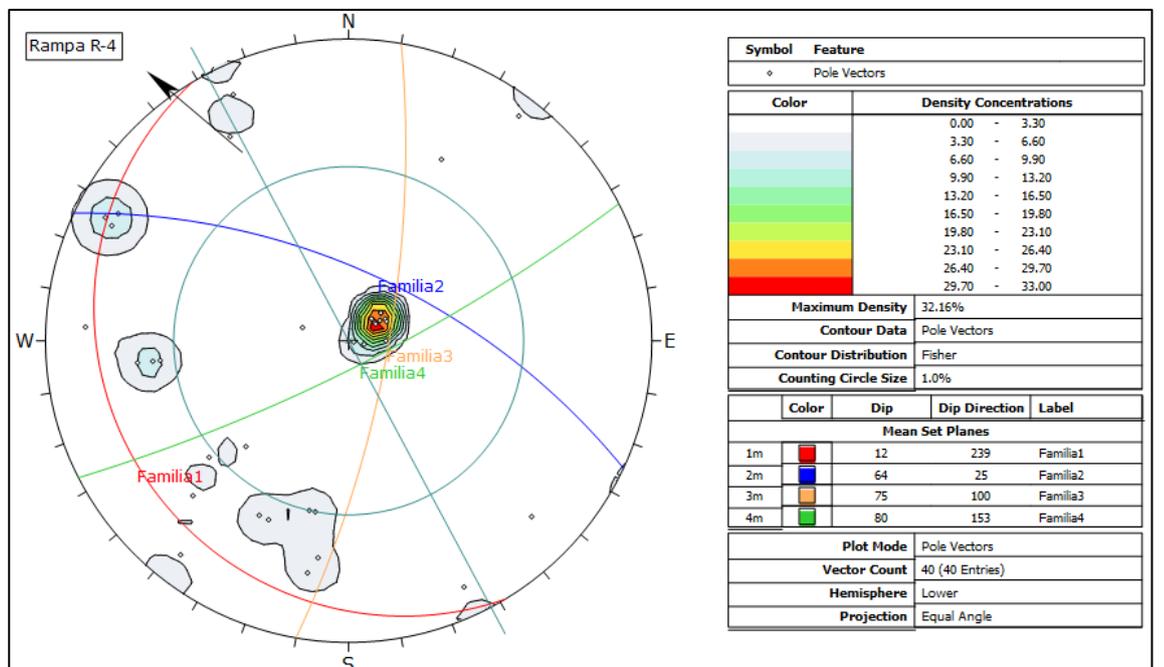


Figura 12. Proyección estereográfica y familias de discontinuidad Estación Geomecánica R-4. Fuente: Elaboración propia.

4.1.13 Análisis de estabilidad de cuñas clave

Una vez identificada la existencia de potenciales cuñas clave con el software Dips v.6, tanto en la Galería de acceso como en la Rampa 430-E es conveniente conocer las características, mecanismos de falla de dichas cuñas y el coeficiente de Seguridad para cada estación geomecánica para lo cual haremos uso del software Unwedge v.3 que utiliza el método analítico de estabilidad. Determinando; el Factor de Seguridad, geometría de las cuñas clave, peso, volumen y parámetros con los que podremos proponer el tipo de sostenimiento a aplicarse para estabilizar las excavaciones.

Análisis de estabilidad de cuñas clave estación geomecánica A-1. Luego del análisis de cuñas clave en software Unwedge v.3 para la estación geomecánica A-1 se identificaron 3 cuñas con FS por debajo de 1.5 permitido para galerías principales y rampas. Estas Cuñas son las N° 6, 7 y 8 ubicadas en la parte alta de la sección de la galería siendo la cuña 8 las más crítica por estar en la misma corona (Anexo F). A continuación, se muestra el resumen de parámetros y resultados para el cálculo de cuñas clave.

Análisis de estabilidad de cuñas clave estación geomecánica A-2. En este caso de la estación geomecánica A-2 las cuñas claves críticas identificadas son la N° 2, 5, 7 y 8 que tienen valores de FS menores a 1.5 siendo las cuña 7 y 8 susceptibles a falla por caída libre y las cuñas 2 y 5 falla por deslizamiento (Anexo F). La siguiente tabla muestra los parámetros y resultados del cálculo respectivo.

Tabla 21. *Análisis de estabilidad de cuñas clave - Estación Geomecánica A-1.*

| Wedge Information A-1 | |
|--|---|
| <p>Project Settings Project Title: Análisis de estabilidad EG. A-1 Wedges Computed: Perimeter Wedges Units: Metric, stress as MPa</p> <p>General Input Data Tunnel Axis Orientation: Trend: 25° Plunge: 2° Design Factor of Safety: 1.500 Unit Weight of Rock: 0.027 MN/m³ Unit Weight of Water: 0.010 MN/m³</p> <p>Joint Orientations Joint 1 Dip: 15° Dip Direction: 244° Joint 2 Dip: 74° Dip Direction: 087° Joint 3 Dip: 65° Dip Direction: 011°</p> <p>Joint Properties Joint Properties 1 Water Pressure Constant: 0 MPa Waviness: 0° Shear Strength Model: Barton-Bandis JRC: 10 JCS: 84.89 MPa Phi b: 30°</p> | <p>Floor wedge [1] Factor of Safety: stable Wedge Volume: 0.438 m³ Wedge Weight: 0.012 MN Wedge z-Length: 2.93 m Excavation Face Area: 3.28 m²</p> <p>Lower Right wedge [3] Factor of Safety: 13.033 Wedge Volume: 0.020 m³ Wedge Weight: 0.001 MN Wedge z-Length: 1.57 m Excavation Face Area: 0.40 m²</p> <p>Upper Left wedge [6] Factor of Safety: 0.788 Wedge Volume: 0.037 m³ Wedge Weight: 0.001 MN Wedge z-Length: 1.90 m Excavation Face Area: 0.64 m²</p> <p>Upper Right wedge [7] Factor of Safety: 1.281 Wedge Volume: 0.002 m³ Wedge Weight: 0.000 MN Wedge z-Length: 1.18 m Excavation Face Area: 0.08 m²</p> <p>Roof wedge [8] Factor of Safety: 0.000 Wedge Volume: 0.010 m³ Wedge Weight: 0.000 MN Wedge z-Length: 1.75 m Excavation Face Area: 0.31 m²</p> |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. *Análisis de estabilidad de cuñas clave - Estación Geomecánica A-2.*

| Wedge Information A-2 | |
|--|---|
| <p>Project Settings Project Title: Análisis de estabilidad EG. A-2 Wedges Computed: Perimeter Wedges Units: Metric, stress as MPa</p> <p>General Input Data Tunnel Axis Orientation: Trend: 40° Plunge: 2° Design Factor of Safety: 1.500 Unit Weight of Rock: 0.027 MN/m³ Unit Weight of Water: 0.010 MN/m³</p> <p>Joint Orientations Joint 1 Dip: 14° Dip Direction: 247° Joint 2 Dip: 80° Dip Direction: 087° Joint 3 Dip: 80° Dip Direction: 157°</p> <p>Joint Properties Joint Properties 1 Water Pressure Constant: 0 MPa Waviness: 0° Shear Strength Model: Barton-Bandis JRC: 10 JCS: 84.89 MPa Phi b: 30°</p> | <p>Floor wedge [2] Factor of Safety: stable Wedge Volume: 0.455 m³ Wedge Weight: 0.012 MN Wedge z-Length: 2.98 m Excavation Face Area: 3.10 m²</p> <p>Lower Right wedge [4] Factor of Safety: 9.227 Wedge Volume: 0.251 m³ Wedge Weight: 0.007 MN Wedge z-Length: 1.47 m Excavation Face Area: 1.64 m²</p> <p>Upper Left wedge [5] Factor of Safety: 0.717 Wedge Volume: 0.286 m³ Wedge Weight: 0.008 MN Wedge z-Length: 1.89 m Excavation Face Area: 1.80 m²</p> <p>Roof wedge [7] Factor of Safety: 0.484 Wedge Volume: 0.070 m³ Wedge Weight: 0.002 MN Wedge z-Length: 1.63 m Excavation Face Area: 0.87 m²</p> <p>Upper Right wedge [8] Factor of Safety: 0.000 Wedge Volume: 0.009 m³ Wedge Weight: 0.000 MN Wedge z-Length: 1.48 m Excavation Face Area: 0.21 m²</p> |

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de estabilidad de cuñas clave estación geomecánica A-3. En el análisis de cuñas clave en software Unwedge v.6 para la estación geomecánica A-3 se identificaron 4 cuñas con FS por debajo de 1.5, estas cuñas son las N° 6, 7 y 8 ubicadas en la parte alta de la sección de la galería siendo la cuña 8 las más crítica por estar en la misma corona (Anexo F). A continuación, se muestra el resumen de parámetros y resultados.

Tabla 23. *Análisis de estabilidad de cuñas clave - Estación Geomecánica A-3.*

| Wedge Information A-3 | |
|--|---|
| <p>Project Settings Project Title: Análisis de estabilidad EG. A-3 Wedges Computed: Perimeter Wedges Units: Metric, stress as MPa</p> <p>General Input Data Tunnel Axis Orientation: Trend: 28° Plunge: 2° Design Factor of Safety: 1.500 Unit Weight of Rock: 0.027 MN/m³ Unit Weight of Water: 0.010 MN/m³</p> <p>Joint Orientations Joint 1 Dip: 17° Dip Direction: 240° Joint 2 Dip: 80° Dip Direction: 077° Joint 3 Dip: 87° Dip Direction: 327°</p> <p>Joint Properties Joint Properties 1 Water Pressure Constant: 0 MPa Waviness: 0° Shear Strength Model: Barton-Bandis JRC: 10 JCS: 84.89 MPa Phi b: 30°</p> | <p>Floor wedge [1] Factor of Safety: stable Wedge Volume: 0.462 m³ Wedge Weight: 0.013 MN Wedge z-Length: 3.23 m Excavation Face Area: 2.97 m²</p> <p>Lower Right wedge [3] Factor of Safety: 7.362 Wedge Volume: 0.020 m³ Wedge Weight: 0.001 MN Wedge z-Length: 0.72 m Excavation Face Area: 0.47 m²</p> <p>Upper Left wedge [6] Factor of Safety: 0.484 Wedge Volume: 0.024 m³ Wedge Weight: 0.001 MN Wedge z-Length: 0.75 m Excavation Face Area: 0.53 m²</p> <p>Upper Right wedge [7] Factor of Safety: 0.144 Wedge Volume: 0.008 m³ Wedge Weight: 0.000 MN Wedge z-Length: 1.37 m Excavation Face Area: 0.19 m²</p> <p>Roof wedge [8] Factor of Safety: 0.000 Wedge Volume: 0.071 m³ Wedge Weight: 0.002 MN Wedge z-Length: 1.78 m Excavation Face Area: 0.85 m²</p> |

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de estabilidad de cuñas clave estación geomecánica A-4. Para el caso de la estación geomecánica A-4 las cuñas claves críticas identificadas son la N° 5, 7 y 8 que tienen valores de FS menores a 1.5 siendo las cuña 7 y 8 susceptibles a falla por caída libre y la cuña 5 falla por deslizamiento (Anexo F). La siguiente tabla muestra los parámetros y resultados del cálculo en el software Unwedge v.6.

Tabla 24. *Análisis de Estabilidad de Cuñas Clave - Estación Geomecánica A-4.*

| Wedge Information A-4 | |
|--|---|
| <p>Project Settings Project Title: Análisis de estabilidad EG. A-4 Wedges Computed: Perimeter Wedges Units: Metric, stress as MPa</p> <p>General Input Data Tunnel Axis Orientation: Trend: 31° Plunge: 2° Design Factor of Safety: 1.500 Unit Weight of Rock: 0.027 MN/m³ Unit Weight of Water: 0.010 MN/m³</p> <p>Joint Orientations Joint 1 Dip: 11° Dip Direction: 241° Joint 2 Dip: 73° Dip Direction: 056° Joint 3 Dip: 84° Dip Direction: 143°</p> <p>Joint Properties Joint Properties 1 Water Pressure Constant: 0 MPa Waviness: 0° Shear Strength Model: Barton-Bandis JRC: 10 JCS: 84.89 MPa Phi b: 30°</p> | <p>Lower Left wedge [1] Factor of Safety: stable Wedge Volume: 0.000 m³ Wedge Weight: 0.000 MN Wedge z-Length: 1.67 m Excavation Face Area: 0.04 m²</p> <p>Lower Right wedge [4] Factor of Safety: 11.668 Wedge Volume: 0.252 m³ Wedge Weight: 0.007 MN Wedge z-Length: 1.41 m Excavation Face Area: 1.65 m²</p> <p>Upper Left wedge [5] Factor of Safety: 1.059 Wedge Volume: 0.291 m³ Wedge Weight: 0.008 MN Wedge z-Length: 1.91 m Excavation Face Area: 1.83 m²</p> <p>Upper Left wedge [7] Factor of Safety: 0.289 Wedge Volume: 0.019 m³ Wedge Weight: 0.001 MN Wedge z-Length: 1.38 m Excavation Face Area: 0.44 m²</p> <p>Upper Right wedge [8] Factor of Safety: 0.000 Wedge Volume: 0.073 m³ Wedge Weight: 0.002 MN Wedge z-Length: 1.66 m Excavation Face Area: 0.77 m²</p> |

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de estabilidad de cuñas clave estación geomecánica R-1. En el análisis de cuñas clave para la estación geomecánica R-1 se identificaron 2 cuñas con FS menores a 1.5, las N° 7 y 8 ubicadas en la parte alta de la sección de la galería siendo la cuña 7 las más crítica por su volumen y ubicación en la corona, falla por caída libre (Anexo F). A continuación, se muestra el resumen de parámetros y resultados.

Tabla 25. *Análisis de Estabilidad de Cuñas Clave - Estación Geomecánica R-1.*

| Wedge Information R-1 | |
|---|--|
| <p>Project Settings Project Title: Análisis de estabilidad EG. R-1 Wedges Computed: Perimeter Wedges Units: Metric, stress as MPa</p> <p>General Input Data Tunnel Axis Orientation: Trend: 103° Plunge: 6° Design Factor of Safety: 1.500 Unit Weight of Rock: 0.027 MN/m³ Unit Weight of Water: 0.010 MN/m³</p> <p>Joint Orientations Joint 1 Dip: 14° Dip Direction: 240° Joint 2 Dip: 65° Dip Direction: 125° Joint 3 Dip: 85° Dip Direction: 159°</p> <p>Joint Properties Joint Properties 1 Water Pressure Constant: 0 MPa Waviness: 0° Shear Strength Model: Barton-Bandis JRC: 10 JCS: 84.89 MPa Phi b: 30°</p> | <p>Floor wedge [2] Factor of Safety: stable Wedge Volume: 0.875 m³ Wedge Weight: 0.024 MN Wedge z-Length: 2.57 m Excavation Face Area: 3.23 m²</p> <p>Lower Left wedge [3] Factor of Safety: 8.945 Wedge Volume: 0.241 m³ Wedge Weight: 0.007 MN Wedge z-Length: 1.43 m Excavation Face Area: 1.02 m²</p> <p>Upper Right wedge [6] Factor of Safety: 5.265 Wedge Volume: 0.283 m³ Wedge Weight: 0.008 MN Wedge z-Length: 1.50 m Excavation Face Area: 1.15 m²</p> <p>Roof wedge [7] Factor of Safety: 0.240 Wedge Volume: 0.251 m³ Wedge Weight: 0.007 MN Wedge z-Length: 2.02 m Excavation Face Area: 1.27 m²</p> <p>Upper Right wedge [8] Factor of Safety: 0.000 Wedge Volume: 0.000 m³ Wedge Weight: 0.000 MN Wedge z-Length: 0.31 m Excavation Face Area: 0.02 m²</p> |

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de estabilidad de cuñas clave estación geomecánica R-2. Para análisis de la estación geomecánica R-2 las cuñas claves críticas identificadas son la N° 6 y 8 que tienen valores de FS de 0.6 y 0 respectivamente siendo susceptibles a falla por caída libre (Anexo F). La siguiente tabla muestra los parámetros y resultados del cálculo respectivo.

Tabla 26. *Análisis de Estabilidad de Cuñas Clave - Estación Geomecánica R-2.*

| Wedge Information R-2 | |
|--|---|
| Project Settings | Floor wedge [1] |
| Project Title: Análisis de estabilidad EG. R-2 | Factor of Safety: stable |
| Wedges Computed: Perimeter Wedges | Wedge Volume: 1.095 m ³ |
| Units: Metric, stress as MPa | Wedge Weight: 0.030 MN |
| General Input Data | Wedge z-Length: 3.46 m |
| Tunnel Axis Orientation: | Excavation Face Area: 6.03 m ² |
| Trend: 328° | Lower Right wedge [4] |
| Plunge: 6° | Factor of Safety: 9.717 |
| Design Factor of Safety: 1.500 | Wedge Volume: 1.300 m ³ |
| Unit Weight of Rock: 0.027 MN/m ³ | Wedge Weight: 0.036 MN |
| Unit Weight of Water: 0.010 MN/m ³ | Wedge z-Length: 2.14 m |
| Joint Orientations | Excavation Face Area: 2.63 m ² |
| Joint 1 | Upper Left wedge [5] |
| Dip: 13° | Factor of Safety: 4.188 |
| Dip Direction: 277° | Wedge Volume: 1.668 m ³ |
| Joint 2 | Wedge Weight: 0.046 MN |
| Dip: 77° | Wedge z-Length: 3.47 m |
| Dip Direction: 018° | Excavation Face Area: 3.62 m ² |
| Joint 3 | Roof wedge [6] |
| Dip: 63° | Factor of Safety: 0.634 |
| Dip Direction: 147° | Wedge Volume: 0.000 m ³ |
| Joint Properties | Wedge Weight: 0.000 MN |
| Joint Properties 1 | Wedge z-Length: 0.13 m |
| Water Pressure | Excavation Face Area: 0.01 m ² |
| Constant: 0 MPa | Roof wedge [8] |
| Waviness: 0° | Factor of Safety: 0.000 |
| Shear Strength Model: Barton-Bandis | Wedge Volume: 0.204 m ³ |
| JRC: 10 | Wedge Weight: 0.006 MN |
| JCS: 84.89 MPa | Wedge z-Length: 1.86 m |
| Phi b: 30° | Excavation Face Area: 1.78 m ² |

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de estabilidad de cuñas clave estación geomecánica R-3. El análisis de cuñas clave para la estación geomecánica R-3 identifica 2 cuñas con FS por debajo de 1.5 permitido para rampas. Estas Cuñas son las N° 6 y 8 ubicadas en la parte alta de la sección de la galería, cabe precisar que la cuña 5 teniendo un FS de 4.5 presenta posible falla por vuelco (Anexo F). A continuación, se muestra el resumen de parámetros y resultados.

Tabla 27. *Análisis de Estabilidad de Cuñas Clave - Estación Geomecánica R-3.*

| Wedge Information R-3 | |
|---|--|
| <p>Project Settings Project Title: Análisis de estabilidad EG. R-3 Wedges Computed: Perimeter Wedges Units: Metric, stress as MPa</p> <p>General Input Data Tunnel Axis Orientation: Trend: 200° Plunge: 6° Design Factor of Safety: 1.500 Unit Weight of Rock: 0.027 MN/m³ Unit Weight of Water: 0.010 MN/m³</p> <p>Joint Orientations Joint 1 Dip: 10° Dip Direction: 247° Joint 2 Dip: 71° Dip Direction: 092° Joint 3 Dip: 86° Dip Direction: 194°</p> <p>Joint Properties Joint Properties 1 Water Pressure Constant: 0 MPa Waviness: 0° Shear Strength Model: Barton-Bandis JRC: 10 JCS: 84.89 MPa Phi b: 30°</p> | <p>Floor wedge [1] Factor of Safety: stable Wedge Volume: 1.095 m³ Wedge Weight: 0.030 MN Wedge z-Length: 3.46 m Excavation Face Area: 6.03 m²</p> <p>Lower Right wedge [4] Factor of Safety: 9.717 Wedge Volume: 1.300 m³ Wedge Weight: 0.036 MN Wedge z-Length: 2.14 m Excavation Face Area: 2.63 m²</p> <p>Upper Left wedge [5] Factor of Safety: 4.188 Wedge Volume: 1.668 m³ Wedge Weight: 0.046 MN Wedge z-Length: 3.47 m Excavation Face Area: 3.62 m²</p> <p>Roof wedge [6] Factor of Safety: 0.634 Wedge Volume: 0.000 m³ Wedge Weight: 0.000 MN Wedge z-Length: 0.13 m Excavation Face Area: 0.01 m²</p> <p>Roof wedge [8] Factor of Safety: 0.000 Wedge Volume: 0.204 m³ Wedge Weight: 0.006 MN Wedge z-Length: 1.86 m Excavation Face Area: 1.78 m²</p> |

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de estabilidad de cuñas clave estación geomecánica R-4. Para el caso de la estación geomecánica R-4 las cuñas claves críticas identificadas son la N° 5, 6 y 7 que tienen valores de FS menores a 1.5 siendo las cuña 5 y 7 susceptibles a falla por caída libre y la cuña 6 falla por deslizamiento (Anexo F). La siguiente tabla muestra los parámetros y resultados del cálculo en el software Unwedge v.6.

Tabla 28. *Análisis de estabilidad de cuñas clave - Estación Geomecánica R-4.*

| Wedge Information R-4 | |
|---|---|
| <p>Project Settings Project Title: Análisis de estabilidad EG. R-4 Wedges Computed: Perimeter Wedges Units: Metric, stress as MPa</p> <p>General Input Data Tunnel Axis Orientation: Trend: 332° Plunge: 6° Design Factor of Safety: 1.500 Unit Weight of Rock: 0.027 MN/m³ Unit Weight of Water: 0.010 MN/m³</p> <p>Joint Orientations Joint 1 Dip: 12° Dip Direction: 239° Joint 2 Dip: 75° Dip Direction: 100° Joint 3 Dip: 80° Dip Direction: 153°</p> <p>Joint Properties Joint Properties 1 Water Pressure Constant: 0 MPa Waviness: 0° Shear Strength Model: Barton-Bandis JRC: 10 JCS: 84.89 MPa Phi b: 30°</p> | <p>Floor wedge [2] Factor of Safety: stable Wedge Volume: 1.083 m³ Wedge Weight: 0.030 MN Wedge z-Length: 2.62 m Excavation Face Area: 4.53 m²</p> <p>Lower Right wedge [3] Factor of Safety: 10.657 Wedge Volume: 0.108 m³ Wedge Weight: 0.003 MN Wedge z-Length: 0.77 m Excavation Face Area: 0.72 m²</p> <p>Upper Left wedge [5] Factor of Safety: 0.761 Wedge Volume: 0.000 m³ Wedge Weight: 0.000 MN Wedge z-Length: 0.39 m Excavation Face Area: 0.02 m²</p> <p>Upper Left wedge [6] Factor of Safety: 0.736 Wedge Volume: 0.134 m³ Wedge Weight: 0.004 MN Wedge z-Length: 1.28 m Excavation Face Area: 0.86 m²</p> <p>Roof wedge [7] Factor of Safety: 0.484 Wedge Volume: 0.325 m³ Wedge Weight: 0.009 MN Wedge z-Length: 1.61 m Excavation Face Area: 1.74 m²</p> |

Fuente: Elaboración propia.

Diseño de sostenimiento de la Galería de Acceso y Rampa 430-E. Para el diseño de sostenimiento se debe considerar el Análisis cinemático y análisis de cuña realizados en los softwares Dips v.6 y Unwedge v.3 respectivamente.

Previo a este paso es necesario considerar las recomendaciones de sostenimiento dadas por las clasificaciones geomecánicas RMR y Q de Barton.

4.2 DISEÑO DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO PARA LA GALERÍA DE ACCESO Y RAMPA 430-E DE LA EMPRESA MINERA S.M. POWER S.A.C.

4.2.1 Elección del tipo de sostenimiento según Q de Barton

Para la elección del sostenimiento en cada estación geomecánica por el criterio de Q de Barton se calculó el Diámetro Equivalente de la excavación detallado en la siguiente tabla.

Tabla 29. Diámetro equivalente para cada estación geomecánica.

| Estación Geomecánica | Q | Calidad de la Roca | $D_{er} = 2(Q^{0.4})$ |
|----------------------|------|--------------------|-----------------------|
| A-1 | 7.40 | Roca Buena | 4.5 |
| A-2 | 3.00 | Roca Regular | 3.1 |
| A-3 | 5.30 | Roca Regular | 3.9 |
| A-4 | 0.70 | Roca Regular | 1.7 |
| R-1 | 2.40 | Roca Regular | 2.8 |
| R-2 | 1.40 | Roca Regular | 2.3 |
| R-3 | 1.00 | Roca Regular | 2.0 |
| R-4 | 1.90 | Roca Regular | 2.6 |

Fuente: Elaboración propia.

Elección del tipo de sostenimiento en Galería de acceso según Q de Barton. Según Barton el tipo de sostenimiento a elegir para la estación geomecánica A-1 y estación A-3 está dado por la zona de intersección muy cercana a la zona 3 tomando en consideración y adoptando una posición conservadora se elegirá como sostenimiento el Pernos Puntuales de 2m con separación de 1.8m.

Para la estación geomecánica A-2 y A-4 se adoptará Pernos Puntuales de 1.5m con separación de 1.3m.

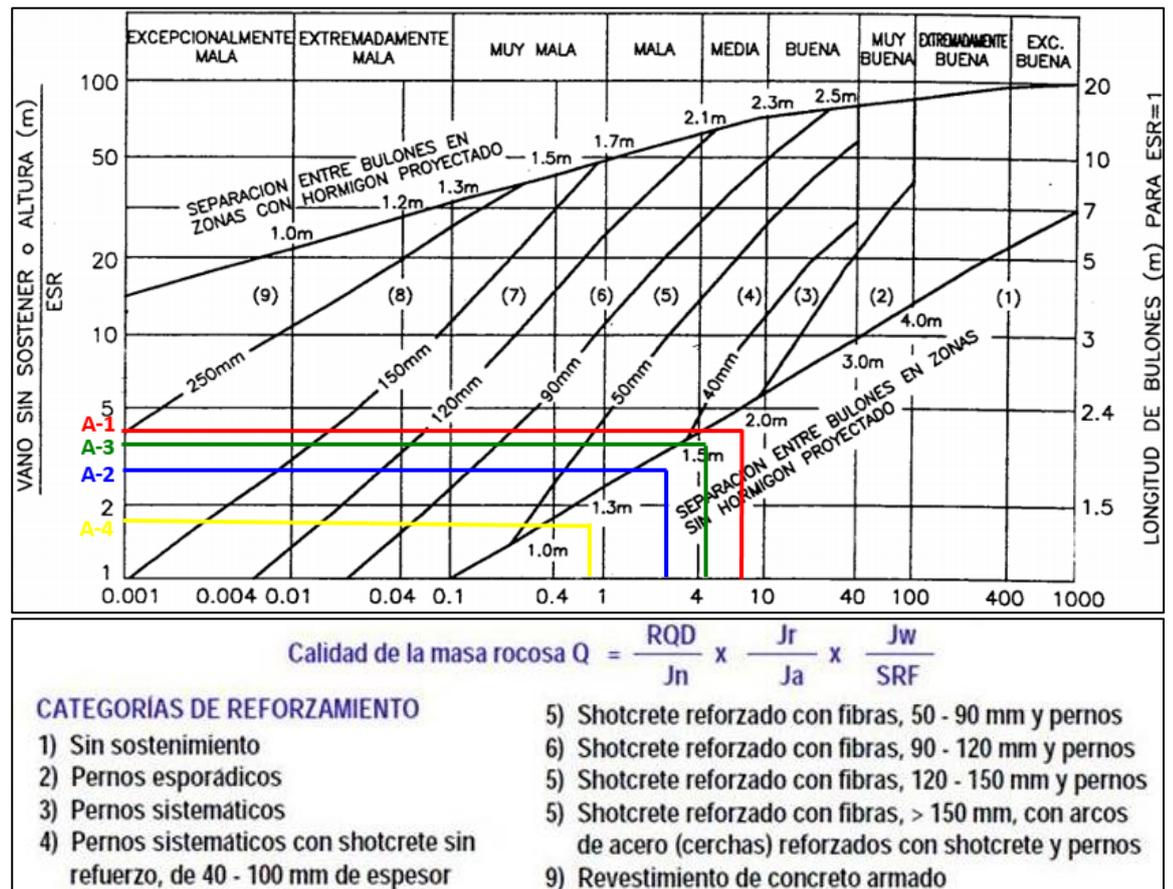


Figura 13. Tipo de sostenimiento Galería de Acceso. Fuente: Elaboración propia.

Elección de sostenimiento en Rampa 430-E según Q de Barton. Para el caso de la Rampa 430-E las cuatro estaciones geomecánicas presentan un comportamiento similar en cuanto a la elección del sostenimiento debido a que la intersección es muy aproximada y corresponde de manera conservadora elegir perno sistemático de 1.8m con malla y separación de 1.3m.

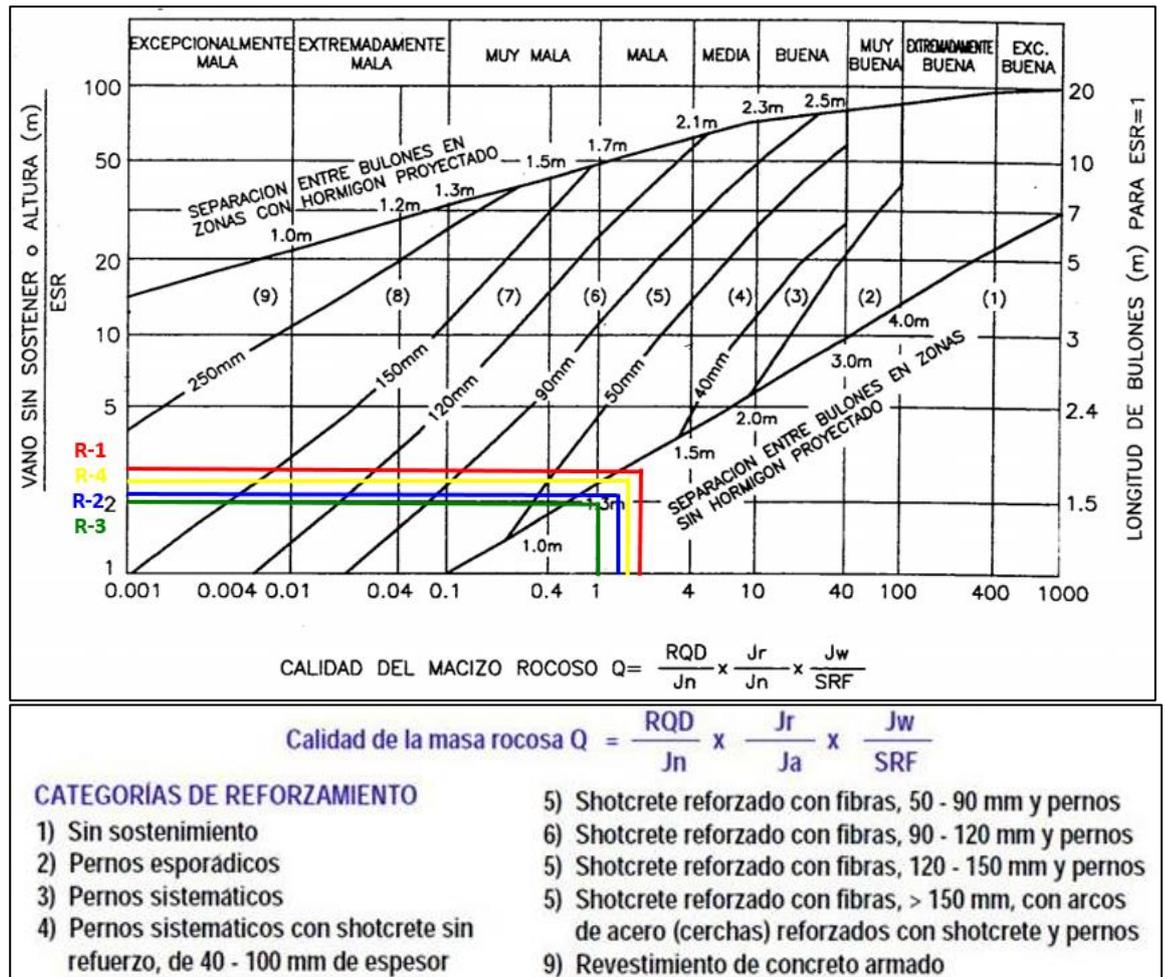


Figura 14. Tipo de sostenimiento Rampa 430-E. Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Diseño y simulación de sostenimiento

Dadas las recomendaciones de sostenimiento según el índice Q de Barton se realizó una simulación analítica en el software Unwedge v.3 y corroboramos la mejora de los factores de seguridad para cada caso. (Ver Anexo G).

Diseño y simulación de sostenimiento para Galería de Acceso. En la EG A-1 para garantizar el sostenimiento se ha optado por simular con perno helicoidal de 1.5m con espaciamento de 1m. Con lo cual se comprueba que el FS es mayor de 1.5 para todas las probables cuñas estimadas.

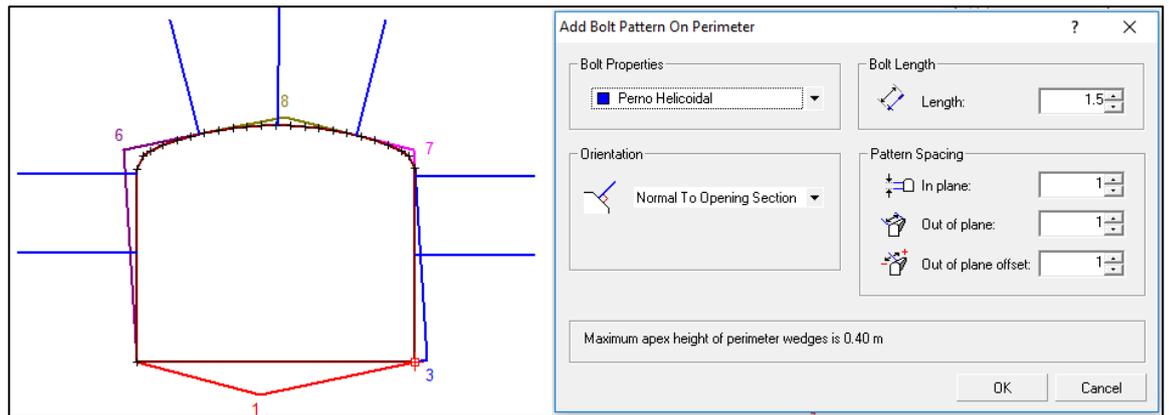


Figura 15. Diseño de sostenimiento EG A-1. Fuente: Elaboración propia.

En la EG A-2 de igual manera el sostenimiento adoptado es perno helicoidal de 1.5m con espaciamiento de 1.5m obteniéndose FS mayor de 1.5 para todas las probables cuñas estimadas.

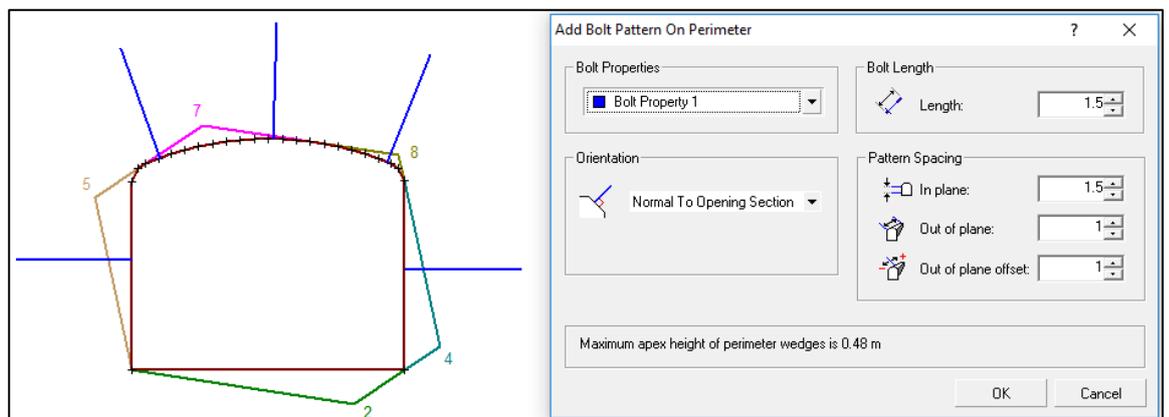


Figura 16. Diseño de sostenimiento EG A-2. Fuente: Elaboración propia.

Para la EG A-3 de igual manera el sostenimiento adoptado es perno helicoidal de 1.5m con espaciamiento de 1.3m obteniéndose FS mayor de 1.5 en todas las probables cuñas estimadas.

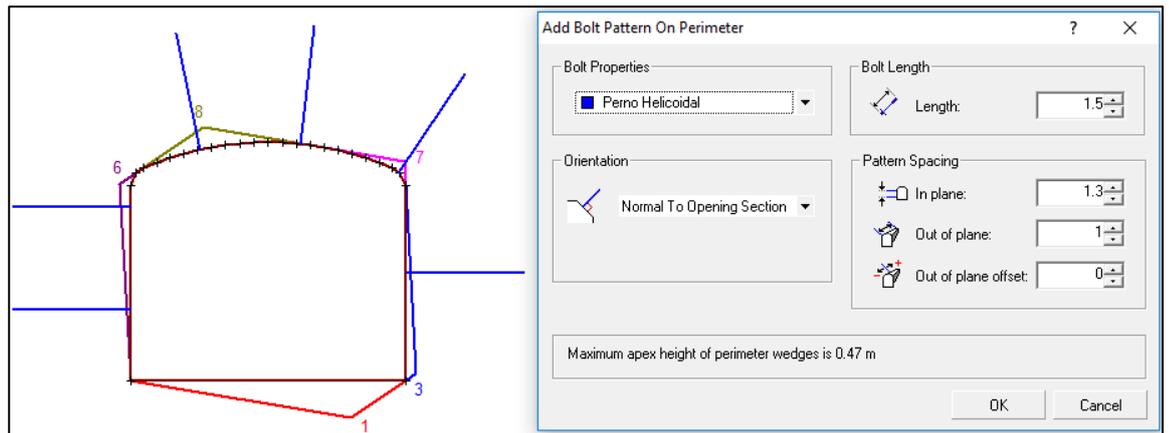


Figura 17. Diseño de sostenimiento EG A-3. Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de la EG A-4 el sostenimiento adoptado es perno helicoidal de 1.5m con espaciamento de 1.45m obteniéndose FS mayor de 1.5 en todas las probables cuñas estimadas.

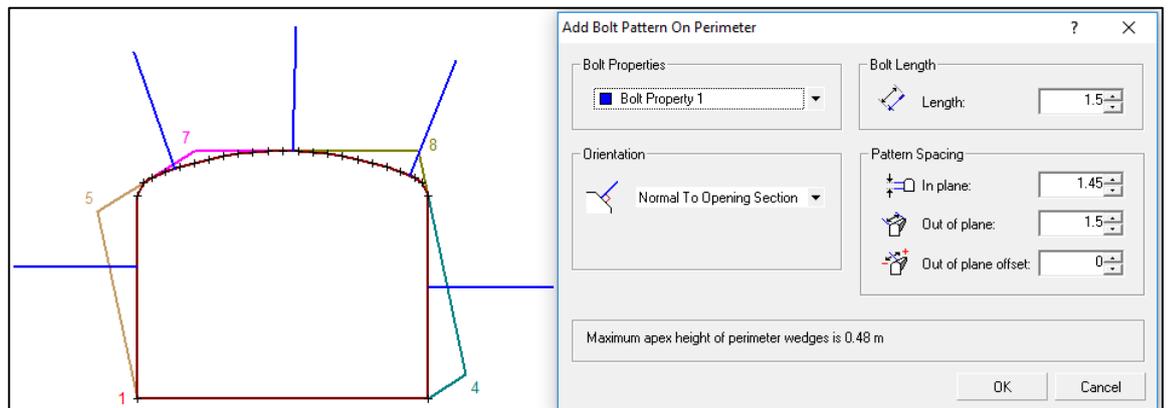


Figura 18. Diseño de sostenimiento EG A-4. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y simulación de sostenimiento para Rampa 430-E. En la Rampa 430-E debido a su inclinación las cuñas clave tienen una configuración más crítica según el análisis de estabilidad realizado, de acuerdo a esto el sostenimiento adoptado debe ser más conservador.

En la EG. R-1 se adopta el sostenimiento con perno helicoidal de 1.5m con espaciamento de 1.5m y malla electrosoldada.

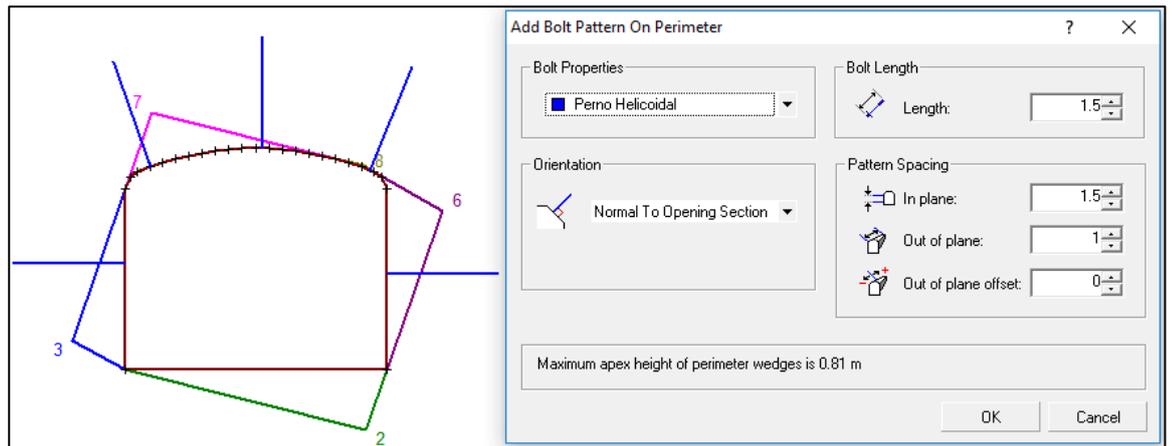


Figura 19. Diseño de sostenimiento EG R-1. Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de la EG R-2 el sostenimiento adoptado es perno helicoidal de 2m con espaciamiento de 1.5m y malla electrosoldada obteniéndose FS mayor de 1.5 en todas las probables cuñas estimadas.

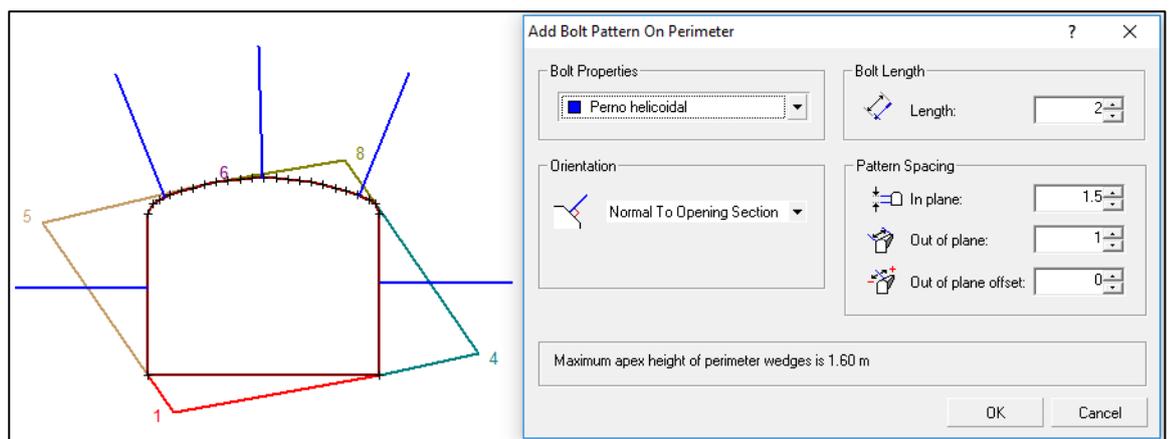


Figura 20. Diseño de sostenimiento EG R-2. Fuente: Elaboración propia.

En la EG R-3 para garantizar el sostenimiento también se ha optado por perno helicoidal de 2m con espaciamiento de 1.5m. y malla electrosoldada, con lo cual se comprueba que el FS es mayor de 1.5 para todas las probables cuñas estimadas.

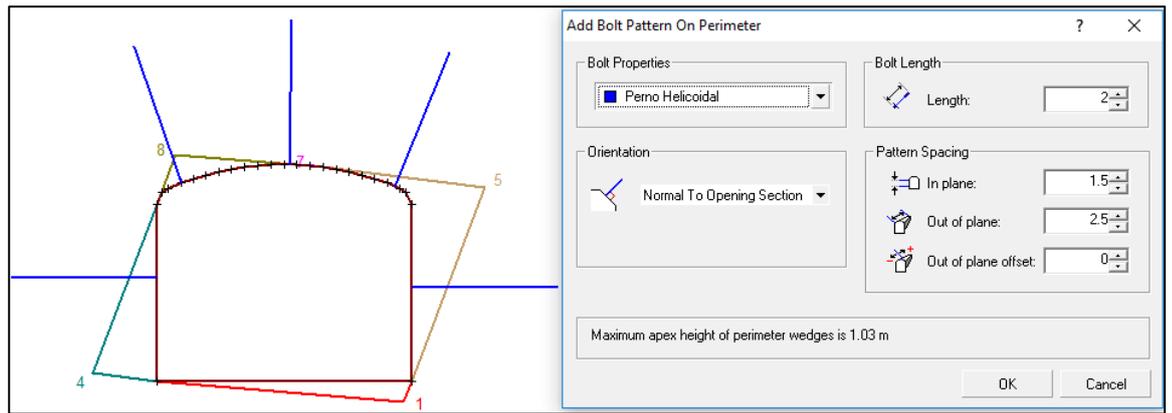


Figura 21. Diseño de sostenimiento EG R-3

Fuente: Elaboración propia.

Y para el caso de la EG R-4 el sostenimiento adoptado es perno helicoidal de 1.5m con espaciamiento de 1.5m y malla electrosoldada obteniéndose FS mayor de 1.5.

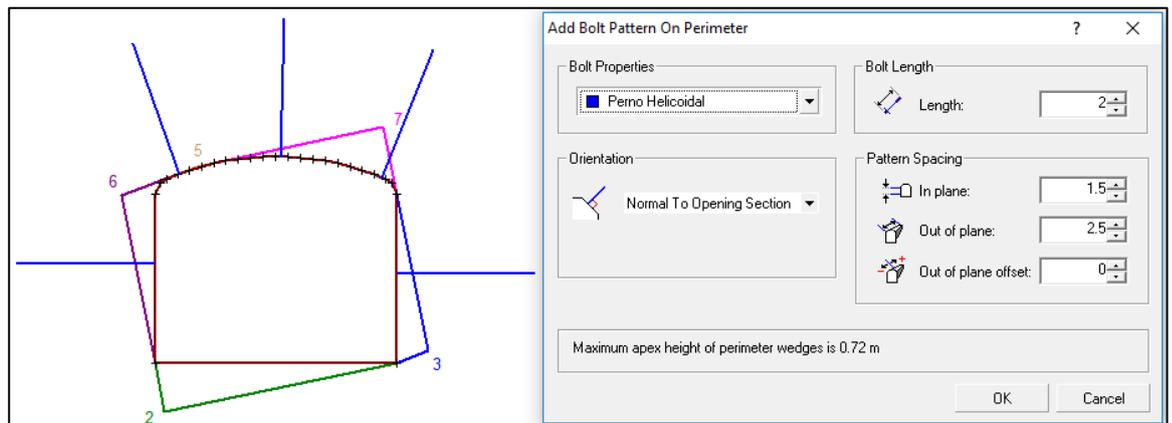


Figura 22. Diseño de sostenimiento EG R-4. Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Diseño de sostenimiento definitivo utilizando Q de Barton ajustada con el software Unwedge v.3

Se obtuvo el tipo de sostenimiento según Q de Barton y se simuló con el software Unwedge v.3. obteniendo dos propuestas que se complementan entre sí para poder diseñar definitivamente el tipo de sostenimiento de la galería de acceso y rampa 430-E de la Empresa Minera SM POWER S.A.C.

Tabla 30. *Diseño de sostenimiento adecuado para la estación A-1*

Diseño de sostenimiento para galería de acceso - estación A-1 - Tramos 1 Progresiva

0+30

| | Q de Barton | Unwedge v.3 | Ajuste del diseño de sostenimiento |
|----------------------------|--------------------|----------------------|--|
| Pernos | 2 m | Helicoidal de 1.50 m | <i>Perno Helicoidal de 1.50m con resina</i> |
| Malla | Sin malla | Sin malla | <i>Sin malla</i> |
| Frecuencia | Puntual | Puntual | <i>Puntual</i> |
| Separación | 1.80 m | 1 m | <i>1.8 m</i> |
| Factor de Seguridad | | 1.5 | <i>>1.5</i> |

Fuente: Elaboración Propia.

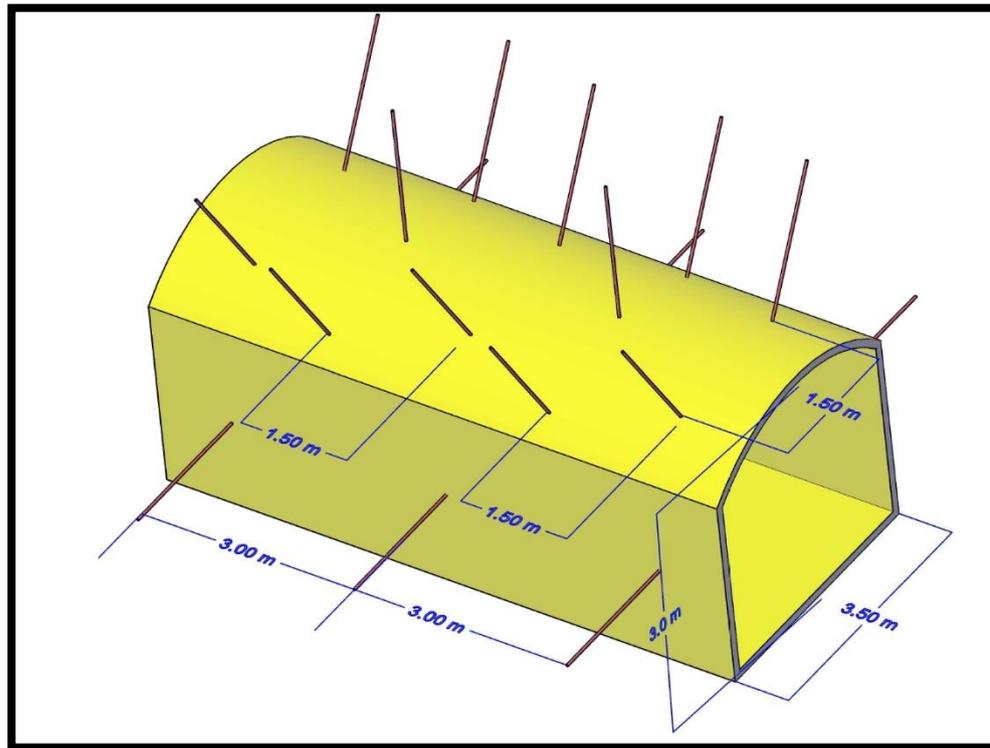
Se optó por diseñar el sostenimiento de la siguiente forma: 3 y 2 pernos en la corona cada 1.8 metros y 2 pernos en los hastiales cada 3 metros en la zona con presencia de cuñas.

El primer tramo requirió de 11 pernos helicoidales por zona de presencia de cuñas.

Tabla 31. *Diseño de sostenimiento adecuado para la estación A-2*

| Diseño de sostenimiento para galería de acceso - estación A-2 - Tramos 2 Progresiva 0+140 | | | |
|--|--------------------|----------------------|---|
| | Q de Barton | Unwedge v.3 | Ajuste del diseño de sostenimiento |
| Pernos | 1.5 m | Helicoidal de 1.50 m | Perno Helicoidal de 1.50m con resina |
| Malla | Sin malla | Sin malla | Sin malla |
| Frecuencia | Sistemático | Puntual | Puntual en cuñas probables |
| Separación de Factor Seguridad | 1.30 m | 1.5 m | 1.50 m |
| | | 1.5 | >1.5 |

Se optó por diseñar el sostenimiento de la siguiente forma: 3 y 2 pernos en la corona cada 1.5 metros y 2 pernos en los hastiales cada 3 metros la zona con presencia de cuñas.

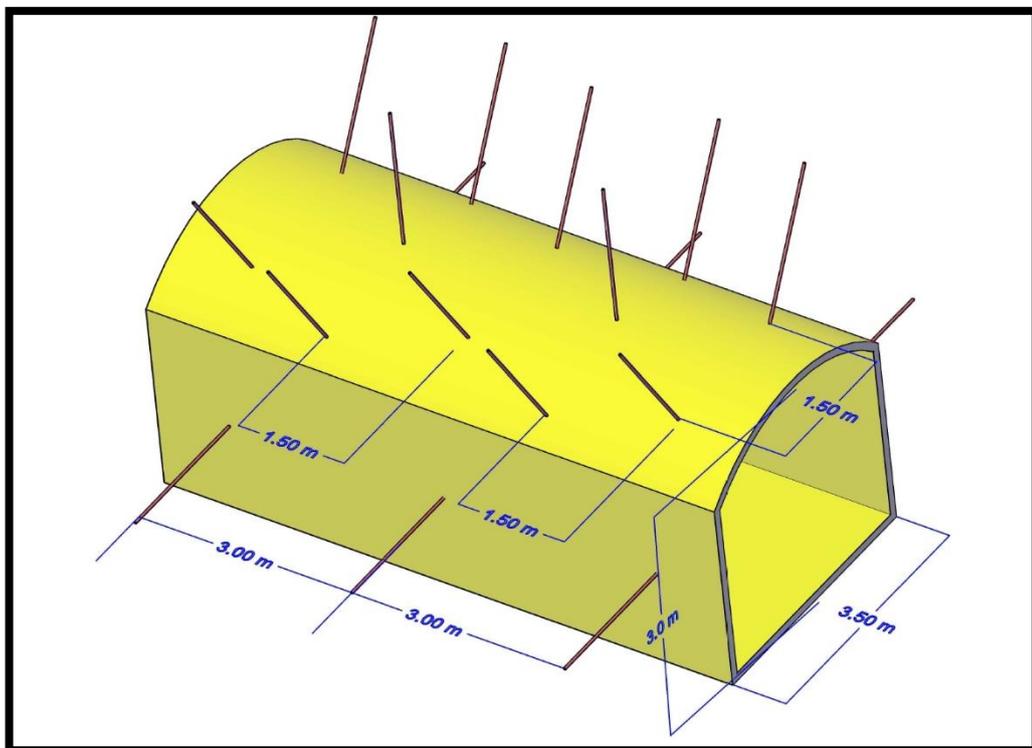


El segundo tramo requirió de 18 pernos helicoidales por zona de cuñas probables.

Diseño de sostenimiento para galería de acceso - estación A-2 - Tramos 2 Progresiva 0+140

| | Q de Barton | Unwedge v.3 | Ajuste del diseño de sostenimiento |
|----------------------------|-------------|----------------------|---|
| Pernos | 1.5 m | Helicoidal de 1.50 m | Perno Helicoidal de 1.50m con resina |
| Malla | Sin malla | Sin malla | Sin malla |
| Frecuencia | Sistemático | Puntual | Puntual en cuñas probables |
| Separación | 1.30 m | 1.5 m | 1.50 m |
| Factor de Seguridad | | 1.5 | >1.5 |

Se optó por diseñar el sostenimiento de la siguiente forma: 3 y 2 pernos en la corona cada 1.5 metros y 2 pernos en los hastiales cada 3 metros la zona con presencia de cuñas.



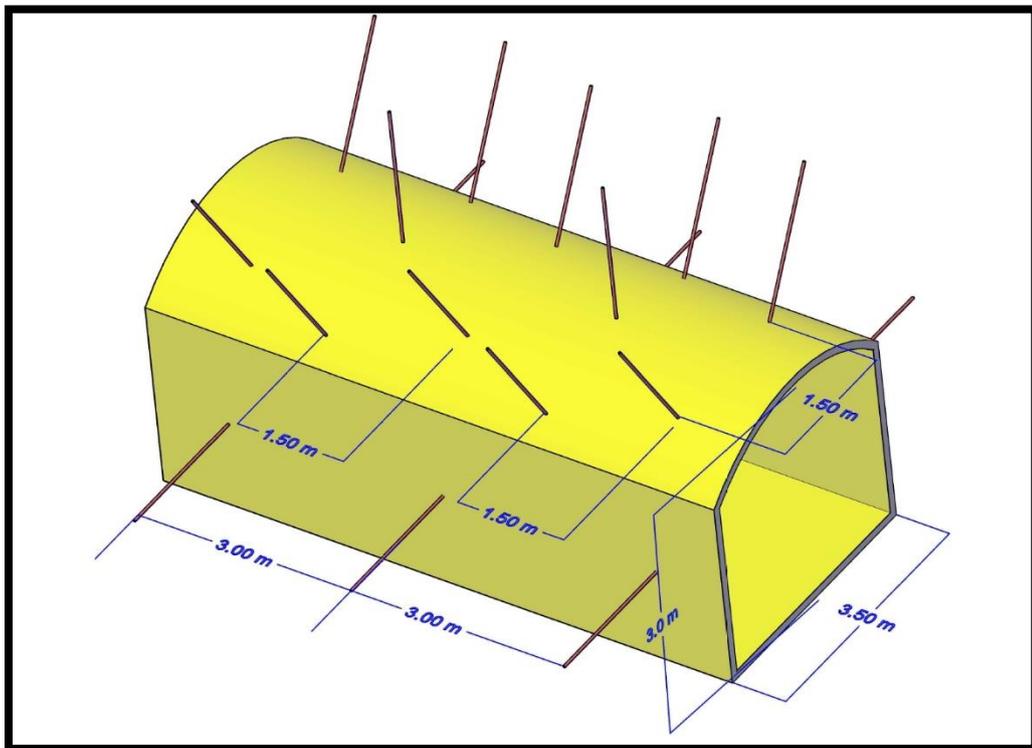
El segundo tramo requirió de 18 pernos helicoidales por zona de cuñas probables.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 32. *Diseño de sostenimiento adecuado para la estación A-3*

| Diseño de sostenimiento para galería de acceso - estación A-3 - Tramos 3 Progresiva 0+220 | | | |
|--|--------------------|----------------------|---|
| | Q de Barton | Unwedge v.3 | Ajuste del diseño de sostenimiento |
| Pernos | 2 m | Helicoidal de 1.50 m | Perno Helicoidal de 1.50m con resina |
| Malla | Sin malla | Sin malla | Sin malla |
| Frecuencia | Sistemático | Puntual | Puntual en cuñas probables |
| Separación de Factor Seguridad | 1.80 m | 1.30 m | 1.50 m |
| | | 1.5 | >1.5 |

Se optó por diseñar el sostenimiento de la siguiente forma: 3 y 2 pernos en la corona cada 1.5 metros y 2 pernos en los hastiales cada 3 metros la zona con presencia de cuñas.



El segundo tramo requirió de 18 pernos helicoidales por zona de cuñas probables.

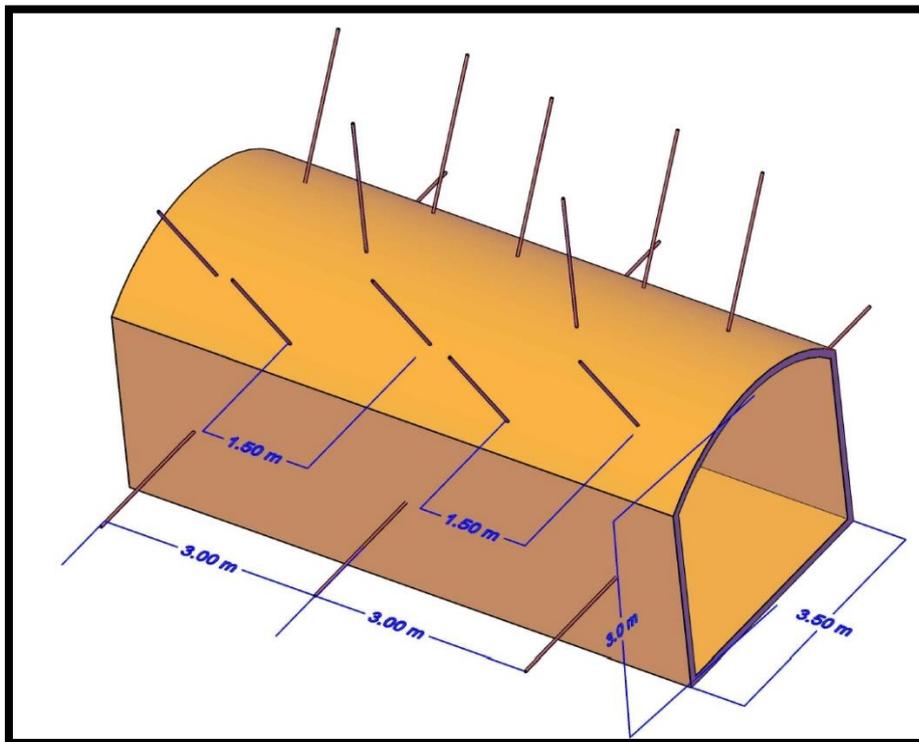
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 33. *Diseño de sostenimiento adecuado para la estación A-4*

Diseño de sostenimiento para galería de acceso - estación A-4 - Tramos 4 Progresiva 0+370

| | Q de Barton | Unwedge v.3 | Ajuste del diseño de sostenimiento |
|---------------------------------------|-------------|----------------------|---|
| Pernos | 2 m | Helicoidal de 1.50 m | Perno Helicoidal de 1.50m con resina |
| Malla | Sin malla | Sin malla | Sin malla |
| Frecuencia | Sistemático | Puntual | Puntual en cuñas probables |
| Separación de Factor Seguridad | 1.80 m | 1.45 m | 1.50 m |
| | | 1.5 | >1.5 |

Se optó por diseñar el sostenimiento de la siguiente forma: 3 y 2 pernos en la corona cada 1.5 metros y 2 pernos en los hastiales cada 3 metros la zona con presencia de cuñas.



El segundo tramo requirió de 18 pernos helicoidales por zona de cuñas probables.

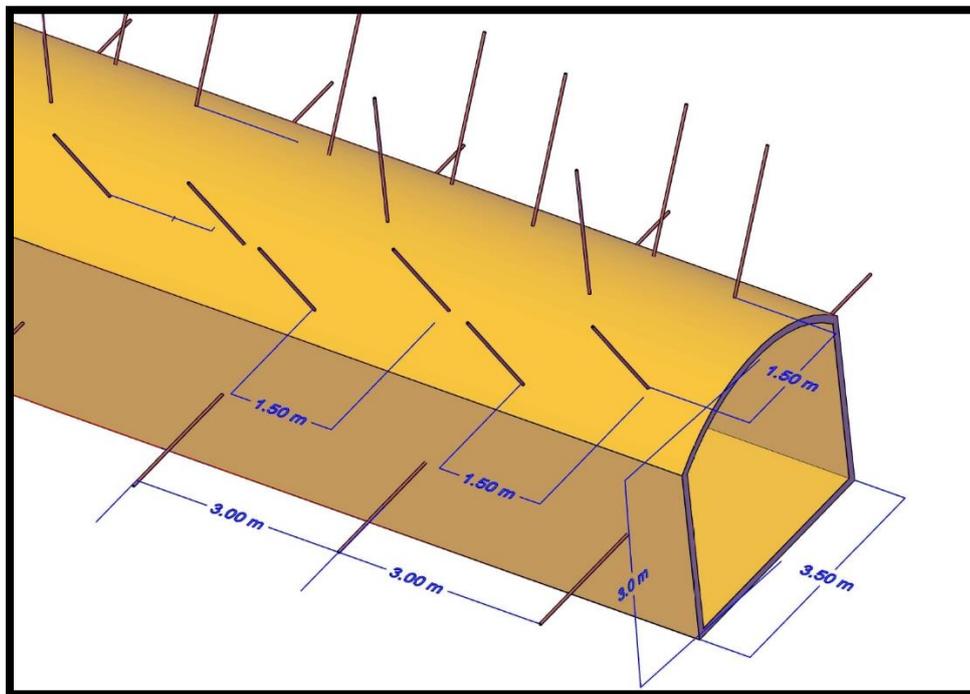
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 34. *Diseño de sostenimiento adecuado para la estación R-1*

Diseño de sostenimiento para Rampa 430-E - estación R-1 - Tramos 1 Progresiva 0+480

| | Q de Barton | Unwedge v.3 | Ajuste del diseño de sostenimiento |
|--------------------------------|-------------|----------------------|---|
| Pernos | 1.80 m | Helicoidal de 2 m | Perno Helicoidal de 1.50m con resina |
| Malla | Con malla | Malla electrosoldada | Malla electrosoldada |
| Frecuencia | Sistemático | Puntual | Sistemático |
| Separación de seguridad | 1.30 m | 1.50 m | 1.50 m |
| Factor de seguridad | | 1.5 | >1.5 |

Se optó por diseñar el sostenimiento de la siguiente forma: 3 y 2 pernos en la corona cada 1.5 metros y 2 pernos en los hastiales cada 3 metros a lo largo de la rampa sistemáticamente reforzada con malla electrosoldada por toda la rampa.



El primer tramo de la rampa requirió de 257 pernos helicoidales según el diseño.

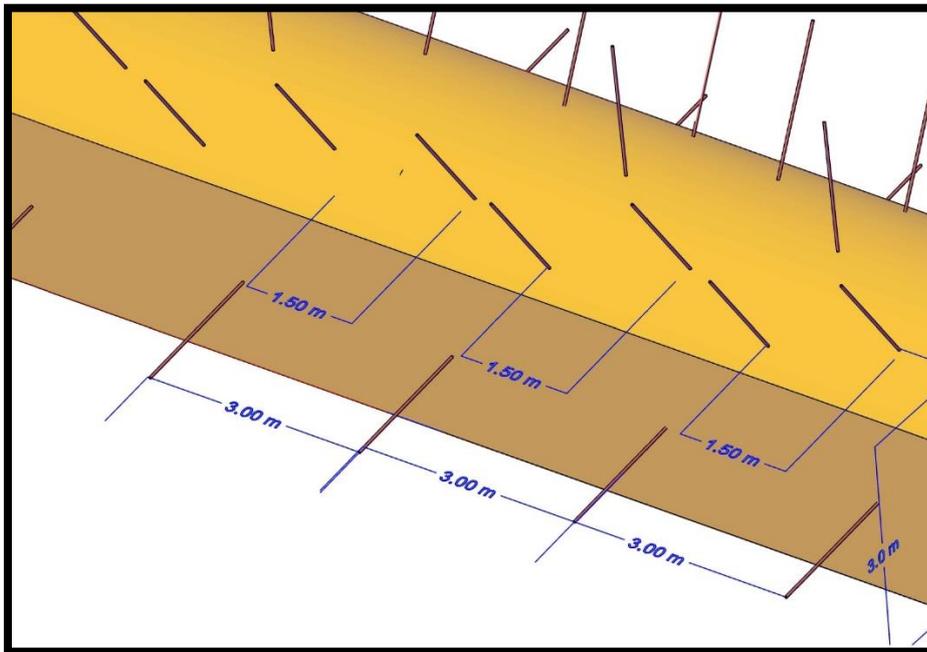
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 35. *Diseño de sostenimiento adecuado para la estación R-2*

Diseño de sostenimiento para Rampa 430-E - estación R-2 – Tramos2 Progresiva 0+550

| | Q de Barton | Unwedge v.3 | Ajuste del diseño de sostenimiento |
|--------------------------------|--------------------|----------------------|---|
| Pernos | 1.80 m | Helicoidal de 2 m | Perno Helicoidal de 1.50m con resina |
| Malla | Con malla | Malla electrosoldada | Malla electrosoldada |
| Frecuencia | Sistemático | Puntual | Puntual en cuñas probables |
| Separación de Seguridad | 1.30 m | 1.50 m | 1.50 m |
| Factor de Seguridad | | 1.5 | >1.5 |

Se optó por diseñar el sostenimiento de la siguiente forma: 3 y 2 pernos en la corona cada 1.5 metros y 2 pernos en los hastiales cada 3 metros a lo largo de la rampa sistemáticamente reforzada con malla electrosoldada por toda la rampa.



El segundo tramo de la rampa requirió de 163 pernos helicoidales según el diseño.

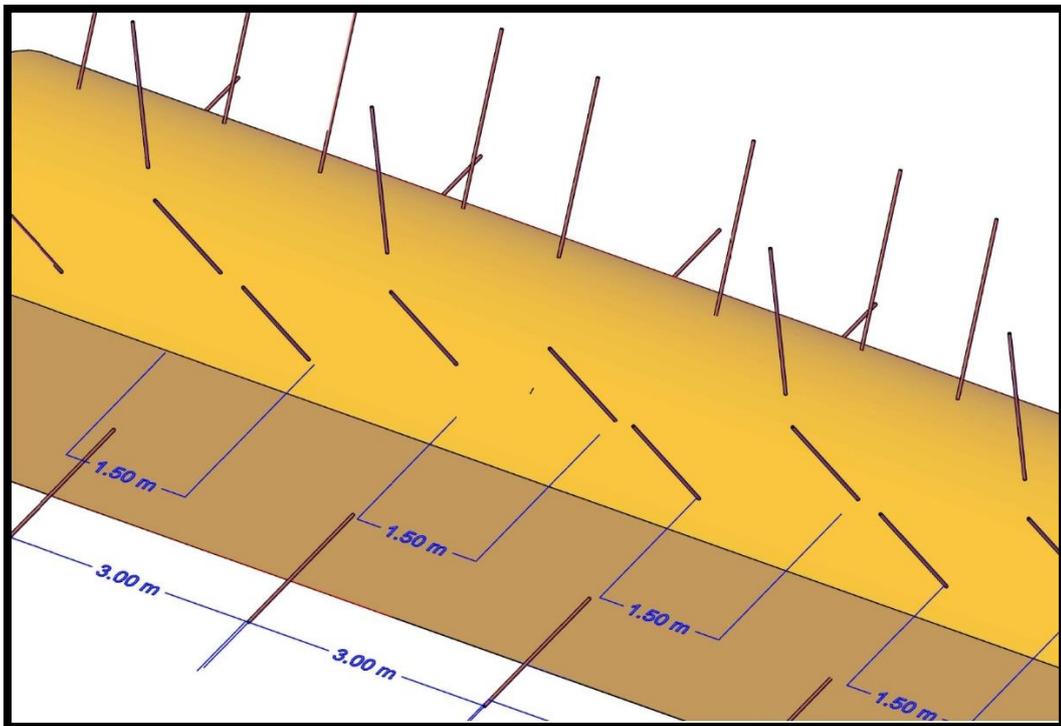
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 36. *Diseño de sostenimiento adecuado para la estación R-3*

Diseño de sostenimiento para Rampa 430-E - estación R-3 - Tramos 3 Progresiva 0+590

| | Q de Barton | Unwedge v.3 | Ajuste del diseño de sostenimiento definitivo |
|--|--------------------|----------------------|---|
| Pernos | 1.80 m | Helicoidal de 2 m | Perno Helicoidal de 1.50m con resina |
| Malla | Con malla | Malla electrosoldada | Malla electrosoldada |
| Frecuencia | Sistemático | Puntual | Puntual en cuñas probables |
| Separación de Factor de Seguridad | 1.30 m | 1.50 m 1.5 | 1.50 m >1.5 |

Se optó por diseñar el sostenimiento de la siguiente forma: 3 y 2 pernos en la corona cada 1.5 metros y 2 pernos en los hastiales cada 3 metros a lo largo de la rampa sistemáticamente reforzada con malla electrosoldada



El segundo tramo de la rampa requirió de 93 pernos helicoidales según el diseño.

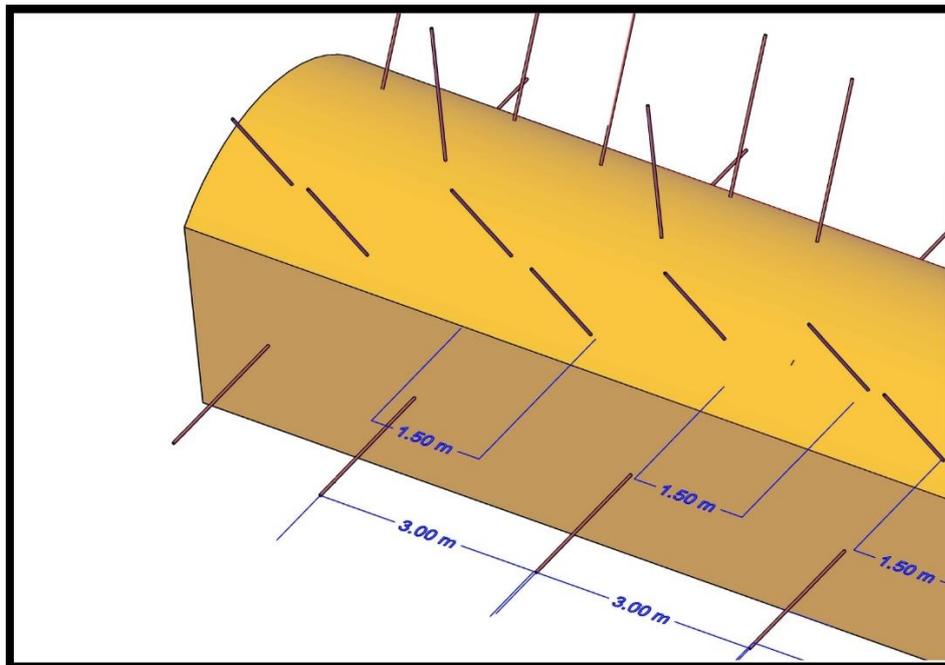
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 37. *Diseño de sostenimiento adecuado para la estación R-4*

Diseño de sostenimiento para Rampa 430-E - estación R-4 - Tramos 4 Progresiva 0+630

| | Q de Barton | Unwedge v.3 | Ajuste del diseño de sostenimiento definitivo |
|---------------------------------------|--------------------|----------------------|---|
| Pernos | 1.80 m | Helicoidal de 1.50 m | Perno Helicoidal de 1.50m con resina |
| Malla | Con malla | Malla electrosoldada | Malla electrosoldada |
| Frecuencia | Sistemático | Puntual | Puntual en cuñas probables |
| Separación de Factor Seguridad | 1.30 m | 1.50 m | 1.50 m |
| | | 1.5 | >1.5 |

Se optó por diseñar el sostenimiento de la siguiente forma: 3 y 2 pernos en la corona cada 1.5 metros y 2 pernos en los hastiales cada 3 metros a lo largo de la rampa sistemáticamente reforzada con malla electrosoldada



El segundo tramo de la rampa requirió de 93 pernos helicoidales según el diseño y 260 m² de Malla Electrosoldada en toda la rampa.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.4 Costo de sostenimiento de galería de acceso y rampa 430 E.

Numero de pernos helicoidales con resina de 1.5 m de longitud y cantidad de malla electrosoldada y sus costos aproximados.

Tabla 38. *Costo del sostenimiento de Galería de Acceso y Rampa.*

| Tramo | Cantidad de Pernos | Costo de Pernos | Cantidad de Malla m ² | Costo de Malla Electrosoldada |
|--------------|--------------------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 0+30 | 11 | 50.67 | 0 | - |
| 0+140 | 18 | 50.67 | 0 | - |
| 0+220 | 18 | 50.67 | 0 | - |
| 0+370 | 18 | 50.67 | 0 | - |
| 0+480 | 257 | 50.67 | 715 | 12.28 \$/m ² |
| 0+550 | 163 | 50.67 | 455 | 12.28 \$/m ² |
| 0+590 | 93 | 50.67 | 260 | 12.28 \$/m ² |
| 0+630 | 93 | 50.67 | 260 | 12.28 \$/m ² |
| TOTAL | 671 | \$ 33999.57 \$ | 1690 m² | \$ 20753.2 \$ |

Fuente: Elaboración Propia, Costos tomados de M. A. Calderón (2018).

El número de total de pernos helicoidales que se utilizaron son 671 Pernos Helicoidales con resina del 0+630 es decir la galería de acceso y la rampa, también se utilizó 1690 m² de malla electrosoldada. Las cuales hace un total del costo de sostenimiento en \$ **20753.2**.

Al final se muestra la tabla del plano de simbología geomecánica Anexo B.

Tabla 39. *Evaluación geomecánica y diseño de sostenimiento en la galería de acceso.*

| ESTAC | COLOR | TIPO | CALIDAD | RMR | Q | DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO |
|-------|---|-------|--------------|-----|-----|---|
| A-1 |  | III B | ROCA BUENA | 62 | 7.4 | Perno Helicoidal de 1.5m con resina espaciado de 1.8 en la corona y 3m en hastiales de zonas de cuñas probables |
| A-2 |  | III A | ROCA REGULAR | 54 | 3 | Perno Helicoidal de 1.5m con resina espaciado de 1.5m en corona y 3m en hastiales en zonas de cuñas probables |
| A-3 |  | III A | ROCA REGULAR | 59 | 5.3 | Perno Helicoidal de 1.5m con resina espaciado de 1.5m en corona y 3m en hastiales en zonas de cuñas probables |
| A-4 |  | III B | ROCA REGULAR | 41 | 0.7 | Perno Helicoidal de 1.5m con resina espaciado de 1.5m en corona y 3m en hastiales en zonas de cuñas probables |
| R-1 |  | III A | ROCA REGULAR | 52 | 2.4 | Perno Helicoidal de 1.5m con resina espaciado de 1.5m en corona y 3m en hastiales y malla electrosoldada en corona y 1.5 en hastial |
| R-2 |  | III B | ROCA REGULAR | 47 | 1.4 | Perno Helicoidal de 1.5m con resina espaciado de 1.5m en corona y 3m en hastiales y malla electrosoldada en corona y 1.5 en hastial |
| R-3 |  | III B | ROCA REGULAR | 44 | 1 | Perno Helicoidal de 1.5m con resina espaciado de 1.5m en corona y 3m en hastiales y malla electrosoldada en corona y 1.5 en hastial |
| R-4 |  | III B | ROCA REGULAR | 50 | 1.9 | Perno Helicoidal de 1.5m con resina espaciado de 1.5m en corona y 3m en hastiales y malla electrosoldada en corona y 1.5 en hastial |



V. CONCLUSIONES

Con la evaluación geomecánica realizada tanto en la Galería de Acceso como en la Rampa 430-E se obtuvieron valores de RMR de Iib para la estación A-1; IIIa para las estaciones geomecánicas A-2, A-3 y R-1; IIIb para las estaciones geomecánicas A-4, R-2, R-3 y R-4 donde la calidad del macizo rocoso para la mayoría de las estaciones geomecánicas será Regular IIIb. Para la clasificación Q se obtuvieron calidades de macizo rocoso de Regular (A-1 y A-3), Mala (A-2, R-1, R-2 y R-4) y Muy mala (A-4 y R-3), donde la calidad del macizo rocoso para la mayoría de las estaciones geomecánicas es de Regular.

El tipo de sostenimiento determinado por el índice Q de Barton para las estaciones geomecánicas ubicadas en la Galería de Acceso el tipo de sostenimiento a elegir para la estación geomecánica A-1 y estación A-3 es perno sistemático de 2m con separación de 1.8m. Para las estaciones A-2 y A-4 es de perno sistemático de 1.5m con separación de 1.3m. Y para la Rampa 430-E, se determina perno sistemático de 1.8m con malla y separación de 1.3m. Estas recomendaciones fueron ajustadas con el software Unwedge v.3 determinándose Perno helicoidal de 1.5m con espaciado 1.5m en la corona y cada 3m en los hastiales en promedio para la galería de acceso en zonas de cuñas probables. Y para la Rampa 430-E perno helicoidal de 1.5 m y separación de 1.5m en la corona y cada 3 metros en los hastiales con refuerzo de malla electrosoldada desde la media altura del hastial.



VI. RECOMENDACIONES

En trabajos similares en labores de mayor profundidad se recomienda alimentar la investigación con ensayos de laboratorio más costosos como corte directo, compresión triaxial y constantes elásticas, para estimar los parámetros de deformación que definen el comportamiento del macizo rocoso.

Para la ejecución del sostenimiento se recomienda realizar muestreo y levantamiento de datos de campo en mayor cantidad de estaciones geomecánicas para obtener parámetros que puedan facilitar un análisis probabilístico, que puede optimizar el presente diseño determinístico.

Para optimizar la resistencia de los pernos y disminuir los costos de sostenimiento se recomienda la aplicación de métodos numéricos los cuales pueden ser; Software Phase2 en caso de uso de Elementos Finitos, FLAC3D para el manejo de Diferencias finitas o Map3D para el caso de Elementos de Borde entre otros, según sea el requerimiento para también determinar si un perno menos costoso no afectaría al diseño del sostenimiento puesto que los costos son relativamente altos.



VII. REFERENCIAS

- Andrade, C. (2014). Diseño de excavación para profundizar el “Pique de Fierro” ubicado en el area “Ciruelo Unificado” operado por la Compañía Minesadco S.A. Universidad Central de Ecuador.
- Ayes, J. C. (2011). *La teoría de bloques aplicada a la mecánica de rocas*. Instituto Politécnico Nacional Mexico D.F.
- Belizario, Y. C. (2019). *Optimizacion de malla de perforacion para la reduccion de costos de voladura en la minas Maribel de Oro A Phoquera*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Bustamante, A. (2008). Geomecánica aplicada en la prevencion de pérdidas por caída de rocas Mina Huanzala - Cía. Minera Santa Luisa S. A. Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- Calderon, M. (2018). Caracterización geomecánica para la determinacion del tipo de sostenimiento en la Galería Gavilán de Oro de la UEA Ana María. Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Calumani, Y. W. (2019). *Evaluacion de Costos por avance lineal y acarreo con equipo (Scoop y Pala Neumatica Nivel San Antonio y Santa Ana en la unidad Minera Ana Maria - CMASA*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Castro, A., & Pérez, D. (2013). Correlaciones entre las clasificaciones geomecánicas Q y RMR en el tunel exploratorio de “La Linea”, cordillera central de Colombia. *Boletin de Ciencias de La Tierra, núm. 34*, 42–50.
- Ccallo, Y. (2016). Caracterización geomecánica y mineralización en la veta Buenos Aires Andaray - Condesuyos - Arequipa. Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Chura, W. (2016). Caracterización geomecanica del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la Unidad Económica



- Administrativa Ana María - La Rinconada. Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Córdova, N. D. (2008). *Geomecánica en el minado subterráneo caso Mina Condestable*. Universidad nacional de ingeniería Lima.
- Curo, A. C. (2018). *Evaluacion Geomecanmica en el emtodo de minado por gradines invertidos en la unidad San Antonio - Corporacion Minera Ananea S.A.* Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Gonzales de Vallejo, L., & Ferrer, M. (2007). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos (2da ed.). Madrid.
- Hoek, E., & Brown, E. T. (1980). *Underground excavations in rock* (1era ed.). Londres.
- ITGME. (1992). Manual de ingeniería geologica. Madrid.
- Laubacher, G. (1978). *Estudio geologico de la region norte del lago titicaca*. Lima, Peru: Ingeomin.
- Luis, J. R. (2014). Geología, evaluacion y comportamiento geomecánico de rocas metamórficas del grupo Salas expuestas en la galería de acceso- Venta 1- Proyecto Alto Piura. Universidad Nacional de Piura.
- Mamani, L. (2018). Clasificacion geomecánica para el diseño de sostenimiento en la Galería Principal - Contrata Minera Peyols, U.E.A. - Ana María. Universidad Nacional del altiplano Puno.
- Medina, V. H. (2017). *Diseño de camaras y pilares basado en las características geomecanicas del macizo rocoso en la corporacion minera Ananea S.A.* Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Mendieta, L. (2014). *Optimización de los costos operativos en la Unidad Cerro Chico*. Pontificia universidad católica del Perú.

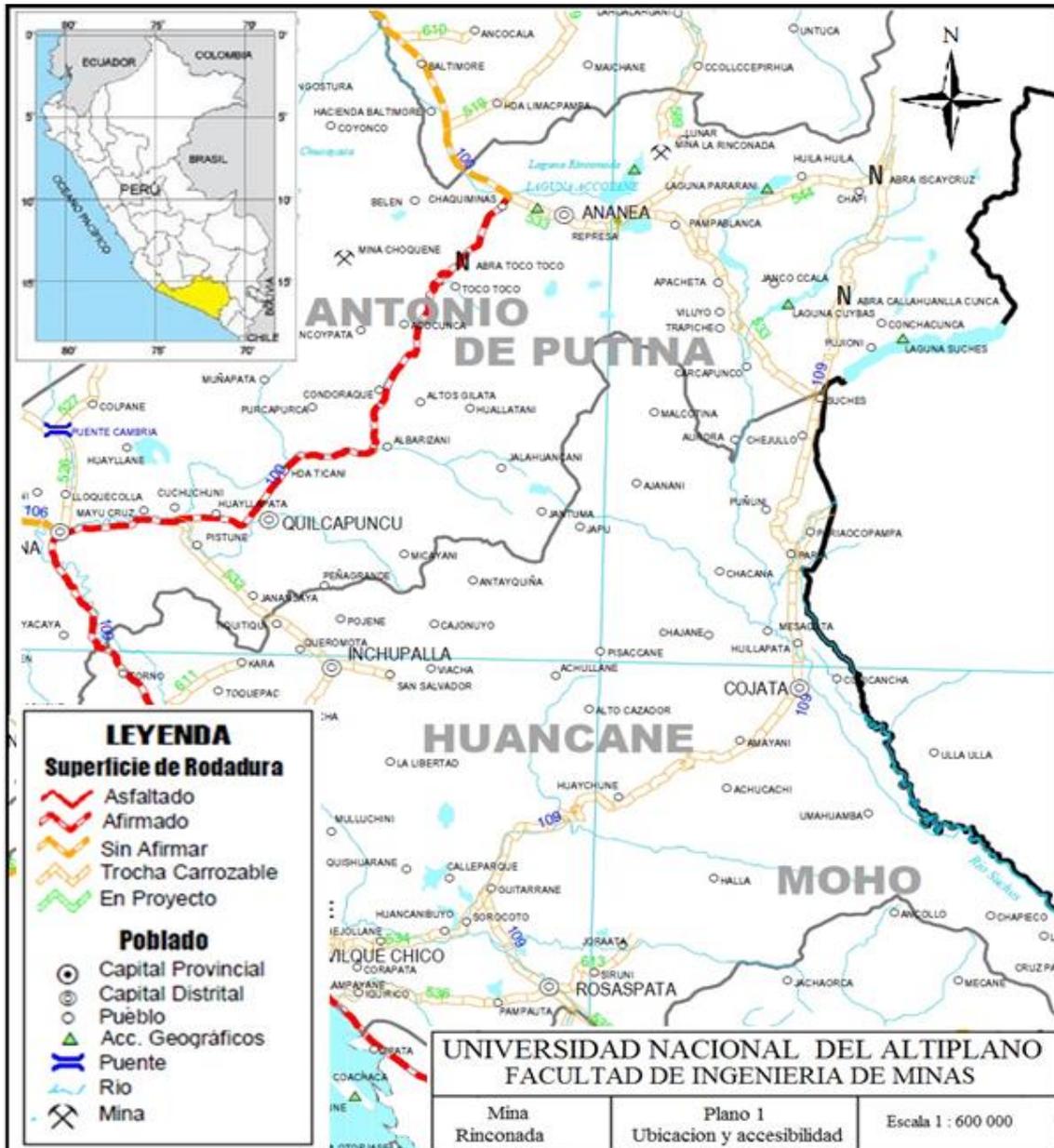


- Ramírez, P., De la Cuadra, L., R, L., & E, G. (1991). *Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea* (1era ed.). Madrid: IGME.
- SNMPE. (2004). Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea. Lima.
- Tacuri, A. (2017). Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la Mina Hércules - Cia Minera Lincumayo S. A. Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga.
- INGEMMET. (1996). Boletín N° 66, Geología de los cuadrangulares de Putina y La Rinconada Hojas: 30-x y 30-y. Lima



ANEXOS

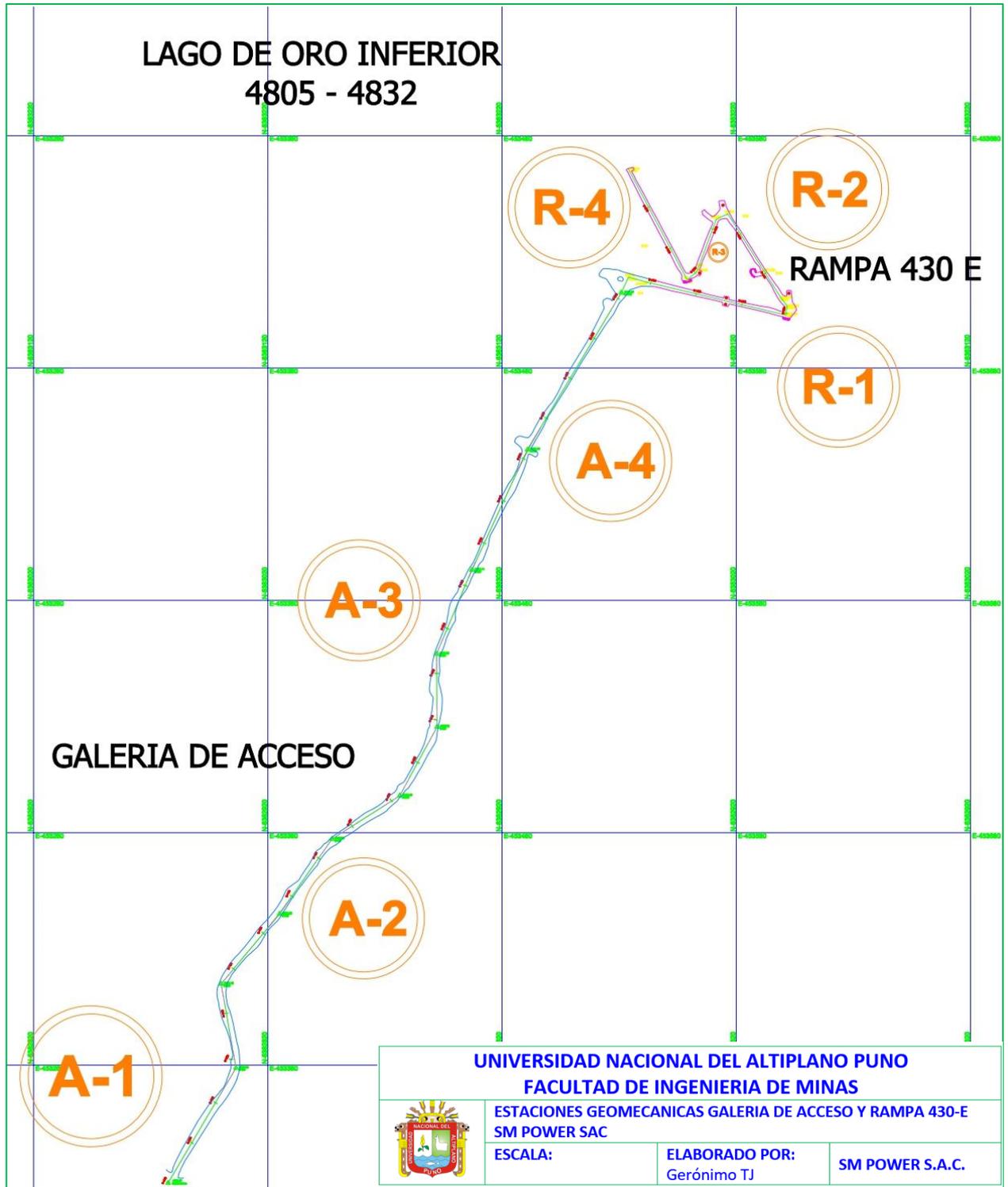
Anexo A. Mapa de ubicación



Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicación



Anexo B. Galería de Acceso y Rampa 430-E





Anexo C. Valores de Buzamiento y Dirección de buzamiento

| Estación Geomecánica A-1 | | | | | |
|---------------------------------|------------|-----------------|-----------|------------|-----------------|
| N° | Dip | Dip Dir. | N° | Dip | Dip Dir. |
| 1 | 20 | 240 | 21 | 7 | 283 |
| 2 | 7 | 279 | 22 | 81 | 82 |
| 3 | 71 | 87 | 23 | 15 | 234 |
| 4 | 81 | 145 | 24 | 68 | 12 |
| 5 | 77 | 90 | 25 | 19 | 238 |
| 6 | 89 | 37 | 26 | 59 | 13 |
| 7 | 87 | 166 | 27 | 17 | 241 |
| 8 | 15 | 236 | 28 | 15 | 230 |
| 9 | 88 | 350 | 29 | 87 | 241 |
| 10 | 89 | 113 | 30 | 13 | 262 |
| 11 | 18 | 176 | 31 | 61 | 316 |
| 12 | 17 | 242 | 32 | 19 | 239 |
| 13 | 19 | 242 | 33 | 33 | 163 |
| 14 | 87 | 357 | 34 | 19 | 238 |
| 15 | 69 | 80 | 35 | 89 | 5 |
| 16 | 65 | 100 | 36 | 73 | 204 |
| 17 | 87 | 343 | 37 | 61 | 8 |
| 18 | 77 | 88 | 38 | 70 | 92 |
| 19 | 55 | 45 | 39 | 73 | 11 |
| 20 | 85 | 79 | 40 | 7 | 275 |

| Estación Geomecánica A-2 | | | | | |
|---------------------------------|------------|-----------------|-----------|------------|-----------------|
| N° | Dip | Dip Dir. | N° | Dip | Dip Dir. |
| 41 | 19 | 245 | 61 | 15 | 241 |
| 42 | 85 | 69 | 62 | 14 | 282 |
| 43 | 69 | 329 | 63 | 19 | 241 |
| 44 | 13 | 236 | 64 | 87 | 20 |
| 45 | 19 | 231 | 65 | 88 | 216 |
| 46 | 81 | 87 | 66 | 7 | 284 |
| 47 | 67 | 92 | 67 | 89 | 208 |
| 48 | 11 | 245 | 68 | 19 | 231 |
| 49 | 79 | 112 | 69 | 89 | 307 |
| 50 | 89 | 73 | 70 | 19 | 231 |
| 51 | 73 | 303 | 71 | 69 | 91 |
| 52 | 73 | 98 | 72 | 59 | 15 |
| 53 | 89 | 228 | 73 | 73 | 169 |
| 54 | 13 | 225 | 74 | 7 | 284 |
| 55 | 89 | 81 | 75 | 81 | 153 |
| 56 | 79 | 150 | 76 | 89 | 158 |
| 57 | 9 | 282 | 77 | 25 | 288 |
| 58 | 19 | 244 | 78 | 81 | 86 |
| 59 | 87 | 80 | 79 | 15 | 239 |
| 60 | 19 | 231 | 80 | 81 | 12 |



| Estación Geomecánica A-3 | | | | | |
|---------------------------------|------------|-----------------|------------|------------|-----------------|
| N° | Dip | Dip Dir. | N° | Dip | Dip Dir. |
| 81 | 63 | 9 | 101 | 79 | 87 |
| 82 | 83 | 189 | 102 | 87 | 10 |
| 83 | 81 | 71 | 103 | 85 | 132 |
| 84 | 89 | 340 | 104 | 59 | 10 |
| 85 | 79 | 70 | 105 | 19 | 241 |
| 86 | 88 | 220 | 106 | 90 | 167 |
| 87 | 19 | 238 | 107 | 81 | 85 |
| 88 | 73 | 83 | 108 | 3 | 342 |
| 89 | 17 | 238 | 109 | 89 | 220 |
| 90 | 19 | 228 | 110 | 83 | 321 |
| 91 | 81 | 79 | 111 | 83 | 324 |
| 92 | 74 | 87 | 112 | 15 | 280 |
| 93 | 19 | 228 | 113 | 89 | 241 |
| 94 | 15 | 281 | 114 | 89 | 317 |
| 95 | 83 | 329 | 115 | 73 | 85 |
| 96 | 65 | 126 | 116 | 89 | 25 |
| 97 | 13 | 241 | 117 | 17 | 241 |
| 98 | 57 | 32 | 118 | 87 | 80 |
| 99 | 30 | 219 | 119 | 80 | 290 |
| 100 | 85 | 59 | 120 | 13 | 234 |

| Estación Geomecánica A-4 | | | | | |
|---------------------------------|------------|-----------------|------------|------------|-----------------|
| N° | Dip | Dip Dir. | N° | Dip | Dip Dir. |
| 121 | 12 | 240 | 141 | 16 | 229 |
| 122 | 78 | 292 | 142 | 8 | 281 |
| 123 | 75 | 122 | 143 | 6 | 284 |
| 124 | 16 | 229 | 144 | 84 | 107 |
| 125 | 68 | 24 | 145 | 16 | 239 |
| 126 | 16 | 229 | 146 | 14 | 235 |
| 127 | 64 | 149 | 147 | 12 | 283 |
| 128 | 12 | 240 | 148 | 82 | 141 |
| 129 | 82 | 73 | 149 | -1 | 348 |
| 130 | 70 | 31 | 150 | 12 | 227 |
| 131 | 2 | 284 | 151 | 2 | 285 |
| 132 | 12 | 240 | 152 | 78 | 150 |
| 133 | 86 | 240 | 153 | 73 | 62 |
| 134 | 78 | 80 | 154 | 12 | 242 |
| 135 | 16 | 229 | 155 | 74 | 34 |
| 136 | 54 | 11 | 156 | 58 | 40 |
| 137 | 84 | 74 | 157 | 74 | 152 |
| 138 | 11 | 243 | 158 | 17 | 228 |
| 139 | 80 | 81 | 159 | 72 | 51 |
| 140 | 10 | 242 | 160 | 14 | 240 |



| Estación Geomecánica R-1 | | | | | |
|---------------------------------|------------|-----------------|------------|------------|-----------------|
| N° | Dip | Dip Dir. | N° | Dip | Dip Dir. |
| 161 | 13 | 238 | 181 | 77 | 304 |
| 162 | 83 | 80 | 182 | 61 | 42 |
| 163 | 63 | 85 | 183 | 75 | 80 |
| 164 | 66 | 125 | 184 | 17 | 228 |
| 165 | 81 | 268 | 185 | 66 | 88 |
| 166 | 17 | 240 | 186 | 77 | 28 |
| 167 | 33 | 224 | 187 | 11 | 242 |
| 168 | 11 | 283 | 188 | 85 | 157 |
| 169 | 77 | 159 | 189 | 17 | 228 |
| 170 | 85 | 332 | 190 | 81 | 212 |
| 171 | 85 | 75 | 191 | 83 | 75 |
| 172 | 17 | 237 | 192 | 15 | 240 |
| 173 | 17 | 228 | 193 | 13 | 235 |
| 174 | 71 | 85 | 194 | 11 | 242 |
| 175 | 3 | 280 | 195 | 15 | 239 |
| 176 | 11 | 281 | 196 | 73 | 132 |
| 177 | 77 | 83 | 197 | 59 | 12 |
| 178 | 57 | 116 | 198 | 83 | 83 |
| 179 | 77 | 55 | 199 | 17 | 238 |
| 180 | 85 | 167 | 200 | 9 | 282 |

| Estación Geomecánica R-2 | | | | | |
|---------------------------------|------------|-----------------|------------|------------|-----------------|
| N° | Dip | Dip Dir. | N° | Dip | Dip Dir. |
| 201 | 86 | 78 | 221 | 59 | 159 |
| 202 | 75 | 72 | 222 | 63 | 15 |
| 203 | 70 | 90 | 223 | 15 | 282 |
| 204 | 7 | 285 | 224 | 57 | 144 |
| 205 | 81 | 86 | 225 | 87 | 353 |
| 206 | 79 | 335 | 226 | 75 | 16 |
| 207 | 83 | 76 | 227 | 7 | 287 |
| 208 | 11 | 282 | 228 | 35 | 279 |
| 209 | 89 | 248 | 229 | 89 | 209 |
| 210 | 75 | 83 | 230 | 61 | 12 |
| 211 | 74 | 139 | 231 | 89 | 244 |
| 212 | 81 | 7 | 232 | 69 | 93 |
| 213 | 9 | 287 | 233 | 19 | 246 |
| 214 | 89 | 213 | 234 | 71 | 90 |
| 215 | 77 | 98 | 235 | 7 | 282 |
| 216 | 89 | 15 | 236 | 79 | 91 |
| 217 | 79 | 28 | 237 | 71 | 94 |
| 218 | 90 | 29 | 238 | 71 | 46 |
| 219 | 60 | 100 | 239 | 7 | 286 |
| 220 | 83 | 318 | 240 | 87 | 83 |



| Estación Geomecánica R-3 | | | | | |
|---------------------------------|------------|-----------------|------------|------------|-----------------|
| N° | Dip | Dip Dir. | N° | Dip | Dip Dir. |
| 241 | 15 | 220 | 261 | 83 | 196 |
| 242 | 15 | 290 | 262 | 87 | 339 |
| 243 | 80 | 55 | 263 | 75 | 86 |
| 244 | 77 | 95 | 264 | 67 | 45 |
| 245 | 60 | 89 | 265 | 73 | 75 |
| 246 | 59 | 51 | 266 | 4 | 288 |
| 247 | 84 | 28 | 267 | 3 | 283 |
| 248 | 13 | 245 | 268 | 59 | 14 |
| 249 | 17 | 244 | 269 | 61 | 90 |
| 250 | 0 | 288 | 270 | 78 | 344 |
| 251 | 17 | 238 | 271 | 85 | 33 |
| 252 | 15 | 242 | 272 | 7 | 285 |
| 253 | 17 | 232 | 273 | 8 | 247 |
| 254 | 67 | 40 | 274 | 77 | 106 |
| 255 | 85 | 74 | 275 | 54 | 13 |
| 256 | 17 | 232 | 276 | 3 | 288 |
| 257 | 69 | 88 | 277 | 71 | 64 |
| 258 | 17 | 241 | 278 | 71 | 24 |
| 259 | 81 | 107 | 279 | 59 | 16 |
| 260 | 3 | 283 | 280 | 89 | 193 |

| Estación Geomecánica R-4 | | | | | |
|---------------------------------|------------|-----------------|------------|------------|-----------------|
| N° | Dip | Dip Dir. | N° | Dip | Dip Dir. |
| 281 | 66 | 24 | 301 | 70 | 84 |
| 282 | 76 | 10 | 302 | 12 | 235 |
| 283 | 16 | 229 | 303 | 52 | 44 |
| 284 | 14 | 237 | 304 | 84 | 117 |
| 285 | 82 | 93 | 305 | 6 | 283 |
| 286 | 82 | 116 | 306 | 12 | 238 |
| 287 | 16 | 229 | 307 | 84 | 38 |
| 288 | 14 | 237 | 308 | 82 | 119 |
| 289 | 76 | 150 | 309 | 16 | 229 |
| 290 | 72 | 45 | 310 | 14 | 270 |
| 291 | 16 | 239 | 311 | 62 | 50 |
| 292 | 6 | 281 | 312 | 60 | 13 |
| 293 | 66 | 27 | 313 | 16 | 243 |
| 294 | 66 | 84 | 314 | 60 | 11 |
| 295 | 72 | 8 | 315 | 84 | 155 |
| 296 | 18 | 106 | 316 | 68 | 207 |
| 297 | 16 | 229 | 317 | 80 | 314 |
| 298 | 12 | 228 | 318 | 64 | 84 |
| 299 | 12 | 226 | 319 | 2 | 284 |
| 300 | 86 | 217 | 320 | 84 | 335 |

Anexo D. Estaciones Geomecánicas

| MAPEO GEOMECANICO POR ESTACIONES | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|--|---|--|---|---|---------|-------------|--|------------|--|
| Nombre del proyecto: | | Diseño de sostenimiento Galería de Acceso y Rampa 430-E | | | | ESTACION GEOMECANICA | | Hoja: | | 1 | |
| Ejecutado por: | | Gerónimo Ticona Josec | | | | | | Fecha: | | 20/10/2018 | |
| Labor: | | Galería de acceso | | | | | | Nivel: | | 3832a | |
| Litología: | | Pizarra | | | | | | Progresiva: | | 0+100 | |
| CARACTERISTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES | | | | | | | | | | | |
| FAMILIA DE JUNTAS | FAMILIA 1 | FAMILIA 2 | FAMILIA 3 | | | | | | | | |
| BUZ./D.BUZ. | 12/224 | 74/087 | 65/011 | | | | | | | | |
| CONDICION DE DISCONTINUIDADES | Per | 10-20m | 3-10m | 3-10m | | | | | | | |
| | Rug | muy rug. | Rug | Rug | | | | | | | |
| | Apr | <0.1mm | >5mm | >5mm | | | | | | | |
| | Rell | duro | duro | suave | | | | | | | |
| ESPACIAMIENTO (cm) | 95 38 40 42 | 85 54 88 115 | 95 110 97 110 | | | | | | | | |
| ESPACIAMIENTO PROMEDIO (cm) | 53.75 | | | 85.5 | | | 103 | | | | |
| RQD | 109.9 | | | | | | | | | | |
| CROQUIS | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| CLASIFICACION RMR | | | | | | | | | | | |
| Resist. Roca Intacta | Picota | R 6 | R 5 | R 4 | R 3 | R 2 | R 1 | | | | |
| 1 | Is(50) UCS | >8Mpa >200Mpa(15) | 4-8Mpa 100-200Mpa(12) | 2-4Mpa 50-100Mpa(7) | 1-2Mpa 25-50Mpa(4) | Preferible UCS 10-25(2) | 3-10(1) | 7 | | | |
| 2 | VALORACION | 90-100%(20) | 75-90%(17) | 50-75%(13) | 25-50%(8) | <25%(3) | 20 | | | | |
| 3 | VALORACION | >2m(20) | 0.6-2m(15) | 200-600mm(10) | 60-200mm(8) | <60mm(5) | 15 | | | | |
| 4 | ESTADO DE LAS JUNTAS | Superf. muy rugosa, sin cont. Sin separ. Pared de roca dura (30) | Superf. algo rugosa, separ.<1mm Pared de roca dura (25) | Superf. algo rugosa, separ.<1mm Pared de roca suave (20) | Superf. pulidas, relleno<5mm fisuras ab. y cont. De 1-5mm(10) | Relleno blando<5mm O fisuras ab. Y cont<5mm (0) | 20 | | | | |
| 5 | VALORACION | Comp. Seco (15) | Humedo(10) | Mojado(7) | Goteo(4) | Flujo(0) | 10 | | | | |
| 6 | ORIENTACION | Muy favorable(0) | Favorable(-2) | Regular(-5) | Desfavorable(-10) | Muy desfavor. (-12) | -10 | | | | |
| RMR | | Muy buena 81-100 | Buena 61-80 | Regular 41-60 | Mala 21-40 | Muy mala 0-20 | 62 | | | | |
| Q | | I | II | III | IV | V | II | | | | |
| GSI | | RMR=9 ln(Q)+44 Bieniawski, 1976, 1989. | | | | | | | | 7.4 | |
| GSI | | GSI = RMR - 5 | | | | | | | | 57 | |

| MAPEO GEOMECANICO POR ESTACIONES | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------|--|---|--|---|--|-------------|---------------|-------------|----|-----|------------|----|
| Nombre del proyecto: | | | Diseño de sostenimiento Galería de Acceso y Rampa 430-E | | | ESTACION GEOMECANICA | | | Hoja: | | | 2 | |
| Ejecutado por: | | | Gerónimo Ticona Josec | | | | | | Fecha: | | | 20/10/2018 | |
| Labor: | | | Galería de acceso | | | | | | Nivel: | | | 3832a | |
| Litología: | | | Pizarra | | | | | | Progresiva: | | | 0+200 | |
| CLASIFICACION RMR | | | | | | | | | | | | | |
| CARACTERISTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES | | | | | | | | | | | | | |
| FAMILIA DE JUNTAS | | FAMILIA 1 | | | FAMILIA 2 | | | FAMILIA 3 | | | | | |
| BUZ./D.BUZ. | | 14/247 | | | 80/087 | | | 80/157 | | | 7 | | |
| CONDICION DE DISCONTINUIDADES | | Per | 10-20m | Per | 3-10m | Per | 3-10m | Per | 3-10m | | | | |
| | | Rug | muy rug. | Rug | rugoso | Rug | rugoso | Rug | rugoso | | | | |
| | | Apr | <0.1mm | Apr | >5mm | Apr | >5mm | Apr | >5mm | | | | |
| | | Rell | suave | Rell | duro | Rell | duro | Rell | duro | | | | |
| ESPACIAMIENTO (cm) | | 75 | 28 | 20 | 22 | 75 | 44 | 78 | 105 | 75 | 100 | 77 | 90 |
| ESPACIAMIENTO PROMEDIO (cm) | | 36.25 | | | 75.5 | | | 85.5 | | | | | |
| RQD | | 109.9 | | | | | | | | | | | |
| CROQUIS | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| CLASIFICACION RMR | | | | | | | | | | | | | |
| Resist. Roca Intacta | Picota Is(50) UCS | R 6 >8Mpa >200Mpa(15) | R 5 4-8Mpa 100-200Mpa(12) | R 4 2-4Mpa 50-100Mpa(7) | R 3 1-2Mpa 25-50Mpa(4) | R 2 Preferible UCS 10-25(2) | R 1 3-10(1) | | | | | | |
| 1 | VALORACION | >200Mpa(15) | 100-200Mpa(12) | 50-100Mpa(7) | 25-50Mpa(4) | 10-25(2) | 3-10(1) | | | | | | |
| 2 | RQD | 90-100%(20) | 75-90%(17) | 50-75%(13) | 25-50%(8) | <25%(3) | | | | | | | |
| 3 | VALORACION | X | | | | | | | | | | | |
| 4 | ESPACIAMIENTO | >2m(20) | 0.6-2m(15) | 200-600mm(10) | 60-200mm(8) | <60mm(5) | | | | | | | |
| 5 | VALORACION | | | X | | | | | | | | | |
| 6 | ESTADO DE LAS JUNTAS | Superf. muy rugosa, sin cont. Sin separ. Pared de roca dura (30) | Superf.algo rugosa, separ<1mm Pared de roca dura (25) | Superf.algo rugosa, separ<1mm Pared de roca suave (20) | Superf. pulidas, relleno<5mm fisuras ab. y cont. De 1-5mm(10) | Relleno blando<5mm O fisuras ab. Y cont<5mm(0) | | | | | | | |
| 7 | AGUA SUBT. VALORACION | Comp. Seco (15) | Humedo(10) | Mojado(7) | Goteo(4) | Flujo(0) | | | | | | | |
| 8 | ORIENTACION VALORACION | Muy favorable(0) | Favorable(-2) | Regular(-5) | Desfavorable(-10) | Muy desfavor. (-12) | | | | | | | |
| 9 | RMR | Muy buena 81-100 | Buena 61-80 | Regular 41-60 | Mala 21-40 | Muy mala 0-20 | | | | | | | |
| 10 | Q | I | II | III | IV | V | | | | | | | |
| 11 | GSI | RMR=9 ln(Q)+44 Bieniawski, 1976, 1989. | | | | | | GSI = RMR - 5 | | | | | |

MAPEO GEOMECANICO POR ESTACIONES

| | | | |
|-----------------------------|---|--------------------|------------|
| Nombre del proyecto: | Diseño de sostenimiento Galería de Acceso y Rampa 430-E | Hoja: | 3 |
| Ejecutado por: | Gerónimo Ticona Josec | Fecha: | 20/10/2018 |
| Labor: | Galería de acceso | Nivel: | 3832a |
| Litología: | Pizarra | Progresiva: | 0+300 |

| CARACTERISTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES | | CLASIFICACION RMR | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------|--------------|-------------|----------|---------|-----|
| FAMILIA DE JUNTAS | FAMILIA 1 | | | FAMILIA 2 | | | FAMILIA 3 | | | R 6 | R 5 | R 4 | R 3 | R 2 | R 1 |
| | Per | Rug | Apr | Per | Rug | Apr | Per | Rug | Apr | | | | | | |
| BUZ./D.BUZ. | 17/240 | 80/077 | 87/327 | 45 | 26 | 27 | 30 | 81 | 45 | 31 | 74 | 70 | 60 | 95 | 7 |
| CONDICION DE DISCONTINUIDADES | muy rug. <0.1mm duro | rugoso >5mm duro | Per 3-10m rugoso >5mm duro | >8Mpa >200Mpa(15) | 100-200Mpa(12) | 50-100Mpa(7) | 25-50Mpa(4) | 10-25(2) | 3-10(1) | |
| ESPACIAMIENTO (cm) | 32 | 57.75 | 73.75 | 45 | 26 | 27 | 30 | 81 | 45 | 31 | 74 | 70 | 60 | 95 | |
| ESPACIAMIENTO PROMEDIO (cm) | 32 | | | 57.75 | | | 73.75 | | | | | | | | |
| RQD | 109.8 | | | 109.8 | | | 109.8 | | | | | | | | |
| <p>CROQUIS</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>ESTACION GEOMECANICA</p> <p>A-3</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>VALORACION</p> <p>1 VALORACION: RQD >2m(20) X</p> <p>2 VALORACION: RQD 90-100%(20) X</p> <p>3 VALORACION: ESPACIAMIENTO >2m(20) X</p> <p>4 ESTADO DE LAS JUNTAS: Superf.algo rugosa, sepa<1mm Pared de roca dura (25)</p> <p>5 VALORACION: AGUA SUBT. VALORACION: Humedo(10) X</p> <p>6 ORIENTACION: VALORACION: Favorable(-2) X</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>RMR</p> <p>Muy buena 81-100 I</p> <p>Buena 61-80 II</p> <p>Regular 41-60 III</p> <p>Mala 21-40 IV</p> <p>Muy mala 0-20 V</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Q</p> <p>RMR=9 ln(Q)+44</p> <p>Bienawski, 1976, 1989.</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>GSI</p> <p>GSI = RMR - 5</p> | | | | | | | | | | | | | | | |

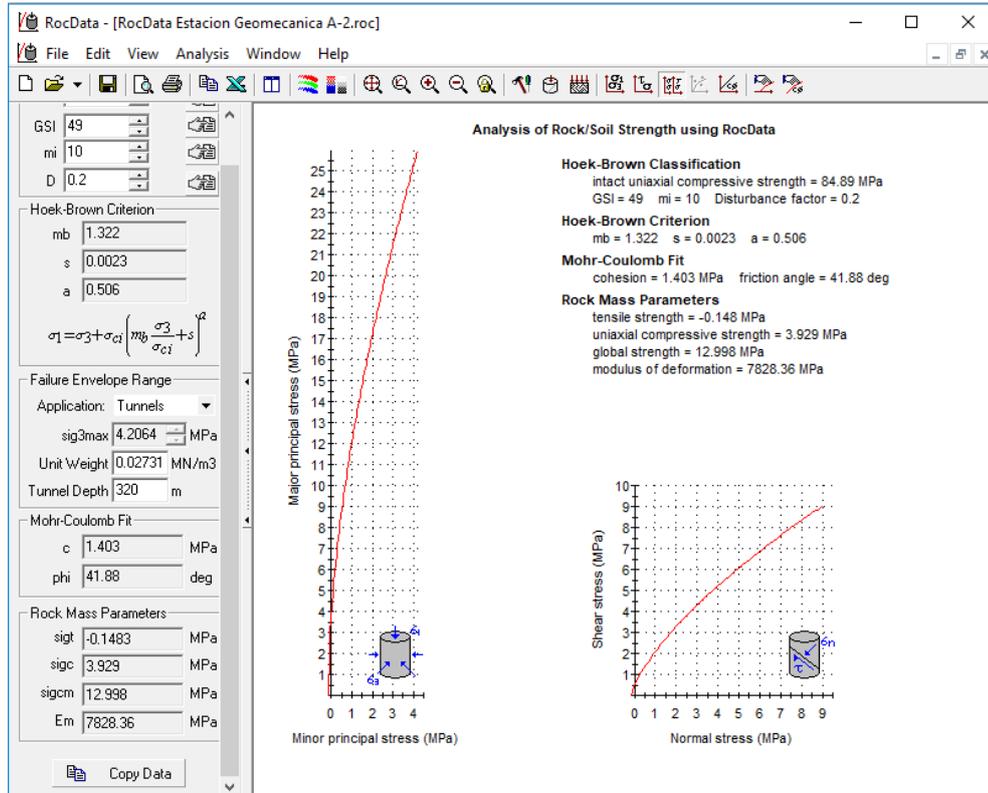
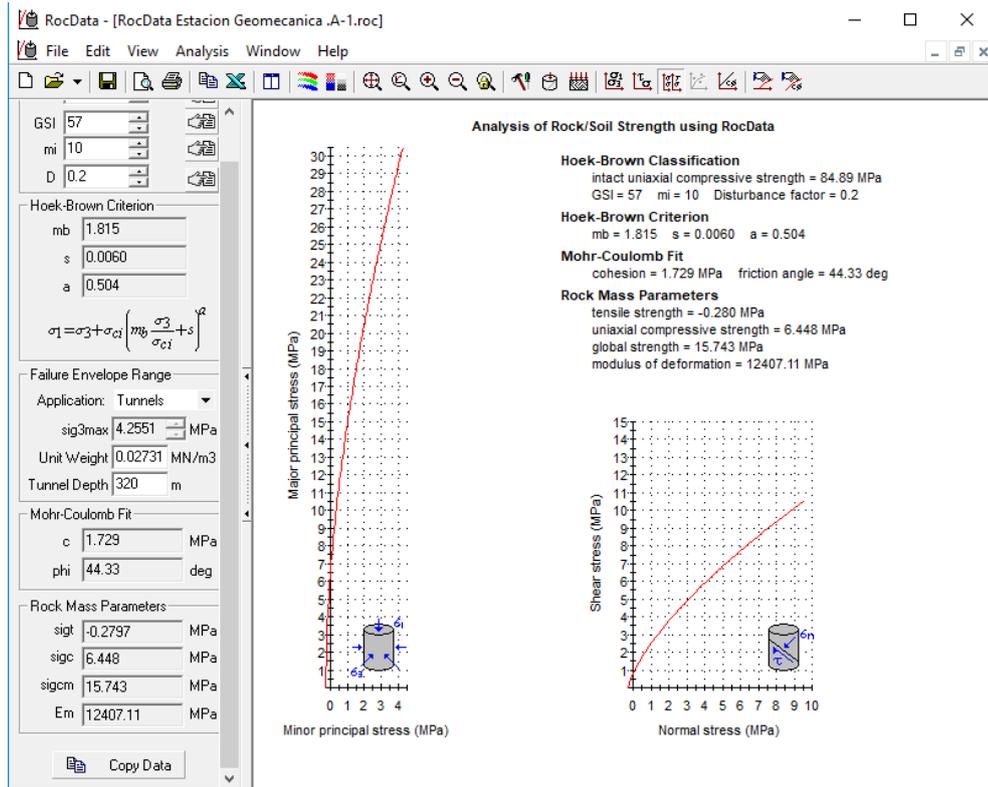
| MAPEO GEOMECANICO POR ESTACIONES | | | | | | | | | | |
|---|---------------|--|--|---|---|---|---------|------------|-----|-----|
| Nombre del proyecto: | | Diseño de sostenimiento Galería de Acceso y Rampa 430-E | | | | Hoja: | | 4 | | |
| Ejecutado por: | | Gerónimo Ticona Josec | | | | Fecha: | | 20/10/2018 | | |
| Labor: | | Galería de acceso | | | | Nivel: | | 3832a | | |
| Litología: | | Pizairra | | | | Progresiva: | | 0+400 | | |
| CLASIFICACION RMR | | | | | | | | | | |
| Resist. Roca Intacta | Picota Is(50) | R 6 | R 5 | R 4 | R 3 | R 2 | R 1 | 7 | 20 | |
| | UCS | >8Mpa >200Mpa(15) | 4-8Mpa 100-200Mpa(12) | 2-4Mpa 50-100Mpa(7) | 1-2Mpa 25-50Mpa(4) | Preferible UCS 10-25(2) | 3-10(1) | | | |
| VALORACION | | | | X | | | | | | |
| RQD | | | 75-90%(17) | 50-75%(13) | 25-50%(8) | <25%(3) | | | | |
| VALORACION | | X | | | | | | | | |
| ESPACIAMIENTO | | | 0.6-2m(15) | 200-600mm(10) | 60-200mm(8) | <60mm(5) | | | 10 | |
| VALORACION | | | | X | | | | | | |
| ESTADO DE LAS JUNTAS | | Superf. muy rugosa, sin cont. Sin separ. Pared de roca dura (30) | Superf. algo rugosa, separ<1mm Pared de roca dura (25) | Superf. algo rugosa, separ<1mm Pared de roca suave (20) | Superf. pulidas, relleno<5mm fisuras ab. y cont. De 1-5mm(10) | Relleno blando<5mm O fisuras ab. y cont<5mm (0) | | | 10 | |
| VALORACION | | | | | X | | | | | |
| AGUA SUBT. VALORACION | | Comp. Seco (15) | Humedo(10) | Mojado(7) | Goteo(4) | Flujo(0) | | | 4 | |
| ORIENTACION VALORACION | | Muy favorable(0) | Favorable(-2) | Regular(-5) | Desfavorable(-10) | Muy desfavor. (-12) | | | -10 | |
| RMR | | Muy buena 81-100 | Buena 61-80 | Regular 41-60 | Mala 21-40 | Muy mala 0-20 | | | 41 | |
| Q | | I | II | III | IV | V | | | III | |
| GSI | | RMR=9 ln(Q)+44 Bieniawski, 1976, 1989. | | | | | | | | 0.7 |
| GSI | | GSI = RMR - 5 | | | | | | | | 36 |
| CARACTERISTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES | | | | | | | | | | |
| FAMILIA DE JUNTAS | | FAMILIA 1 | | | FAMILIA 2 | | | FAMILIA 3 | | |
| CONDICION DE DISCONTINUIDADES | Per | 10-20m | 3-10m | 3-10m | 84/143 | | | | | |
| | Rug | muy rug. | rugoso | rugoso | | | | | | |
| | Apr | <0.1mm | >5mm | >5mm | | | | | | |
| | Rell | suave | duro | duro | | | | | | |
| ESPACIAMIENTO (cm) | | 15 18 20 12 | 15 14 18 15 | 90 40 92 116 | 16.25 | | | 84.5 | | |
| ESPACIAMIENTO PROMEDIO (cm) | | 15.5 | | | 109.7 | | | | | |
| RQD | | 109.7 | | | | | | | | |
| CROQUIS | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

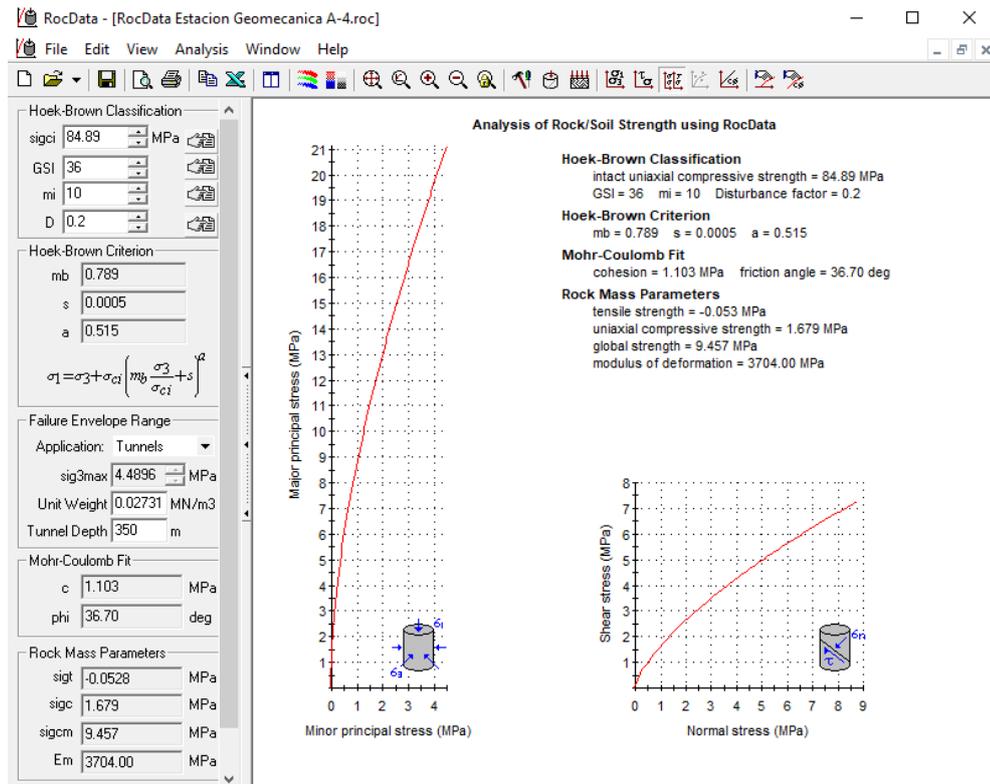
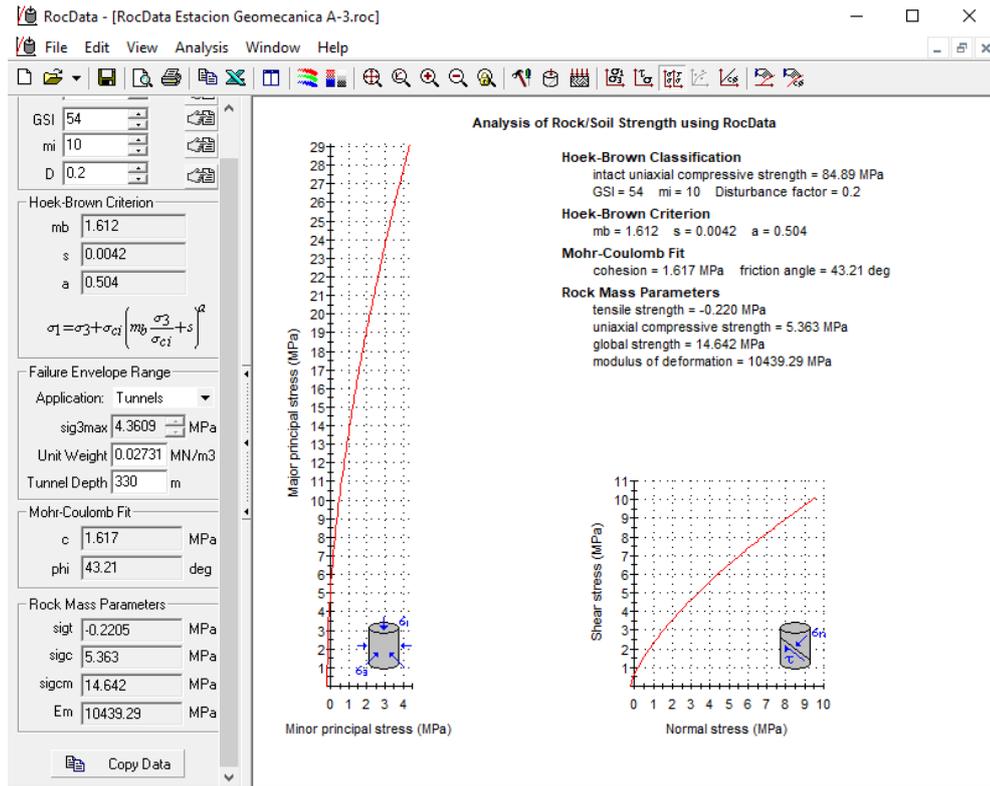
| MAPEO GEOMECANICO POR ESTACIONES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|---|-----------|----------------------|--|-------------|--|--|---|---|--|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------------|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|-----------|-------|---------|----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--------|-------|-------|------|--|--|--|--|--|--|--|--|---|----|-----|----|--|--|--|--|--|--|--|
| Nombre del proyecto: | | Diseño de sostenimiento Galería de Acceso y Rampa 430-E | | | ESTACION GEOMECANICA | | | Hoja: | | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ejecutado por: | | Gerónimo Ticona Josec | | | R-2 | | | Fecha: | | 21/10/2018 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Labor: | | Galería de acceso | | | | | | Nivel: | | 3832a | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Litología: | | Pizarra | | | | | | Progresiva: | | 0+600 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CARACTERISTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES | | | | | CLASIFICACION RMR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FAMILIA DE JUNTAS | FAMILIA 1 | FAMILIA 2 | FAMILIA 3 | Resist. Roca Intacta | Piçota Is(50) | R 6 | R 5 | R 4 | R 3 | R 2 | R 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BUZ/D.BUZ. | 13/277 | 77/018 | 63/147 | UCS | VALORACION | >8Mpa | 4-8Mpa | 2-4Mpa | 1-2Mpa | Preferible UCS | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONDICION DE DISCONTINUIDADES | Per | Per | Per | VALORACION | RQD | >200Mpa(15) | 100-200Mpa(12) | 50-100Mpa(7) | 25-50Mpa(4) | 10-25(2) | 3-10(1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Rug | Rug | Rug | RQD | VALORACION | 10-20m | 75-90%(17) | X | 25-50%(8) | <2.5%(3) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Apr | Apr | Apr | ESPACIAMIENTO | VALORACION | muy rug. | 0.6-2m(15) | X | 60-200mm(8) | <60mm(5) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Reil | Reil | Reil | VALORACION | ESTADO DE LAS JUNTAS | duro | Superf. muy rugosa, sin cont. Sin separ. Pared de roca dura (30) | Superf.algo rugosa, sepa<1mm Pared de roca dura (25) | Superf.algo rugosa, sepa<1mm Pared de roca suave (20) | Superf. pulidas, relleno<5mm fisuras ab. y cont. De 1-5mm(10) | Relleno blando<5mm O fisuras ab. y cont<5mm(0) | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESPACIAMIENTO (cm) | 22 | 35 | 24 | 58 | 35 | 41 | 90 | 52 | 74 | 62 | 42 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESPACIAMIENTO PROMEDIO (cm) | 35.25 | | | 56 | | | 57.5 | | | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RQD | 109.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CROQUIS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RMR | | | | | <table border="1"> <tr> <td>VALORACION</td> <td></td> </tr> <tr> <td>AGUA SUBT.</td> <td>Comp. Seco (15)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>VALORACION</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ORIENTACION</td> <td>Muy favorable(0)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VALORACION</td> <td></td> </tr> <tr> <td>RMR</td> <td>Muy buena</td> <td>Buena</td> <td>Regular</td> <td>Muy mala</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>81-100</td> <td>61-80</td> <td>41-60</td> <td>0-20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>I</td> <td>II</td> <td>III</td> <td>IV</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | | | | | | | VALORACION | | | | | | | | | | | | AGUA SUBT. | Comp. Seco (15) | | | | | | | | X | | | VALORACION | | | | | | | | | | | | ORIENTACION | Muy favorable(0) | | | | | | | | | | | VALORACION | | | | | | | | | | | | RMR | Muy buena | Buena | Regular | Muy mala | | | | | | | | | 81-100 | 61-80 | 41-60 | 0-20 | | | | | | | | | I | II | III | IV | | | | | | | |
| VALORACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AGUA SUBT. | Comp. Seco (15) | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VALORACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ORIENTACION | Muy favorable(0) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VALORACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RMR | Muy buena | Buena | Regular | Muy mala | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 81-100 | 61-80 | 41-60 | 0-20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | I | II | III | IV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Q | | | | | <table border="1"> <tr> <td>VALORACION</td> <td></td> </tr> <tr> <td>RMR</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> </tr> </table> | | | | | | | VALORACION | | | | | | | | | | | | RMR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VALORACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RMR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GSI | | | | | <table border="1"> <tr> <td>VALORACION</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GSI</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> </tr> </table> | | | | | | | VALORACION | | | | | | | | | | | | GSI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VALORACION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GSI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

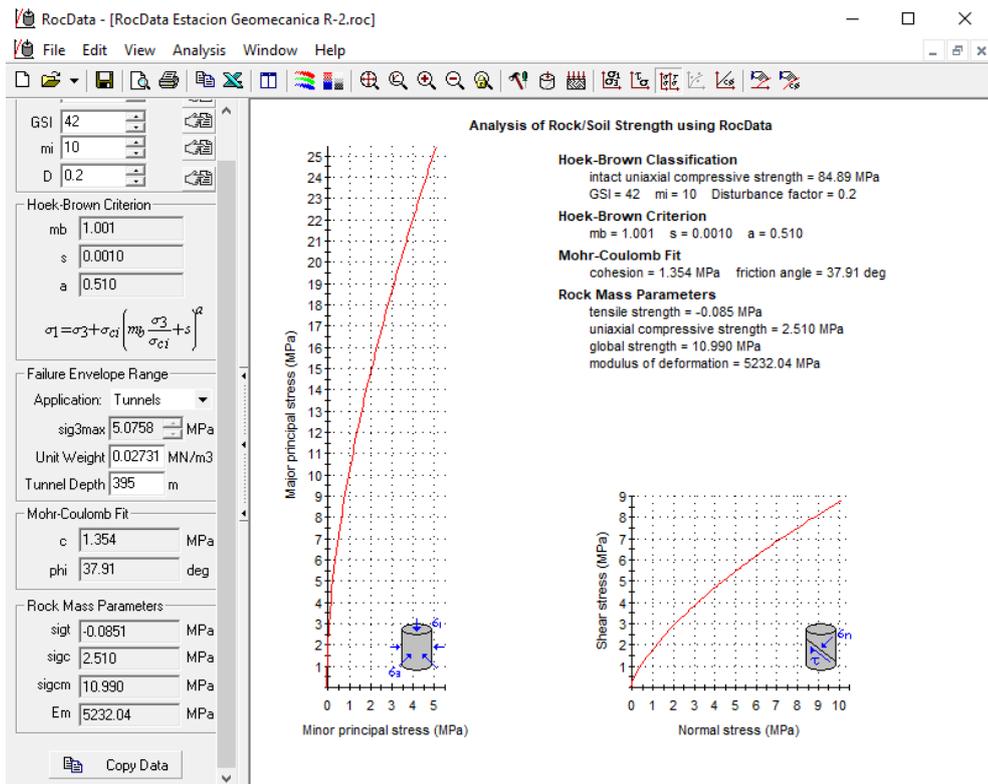
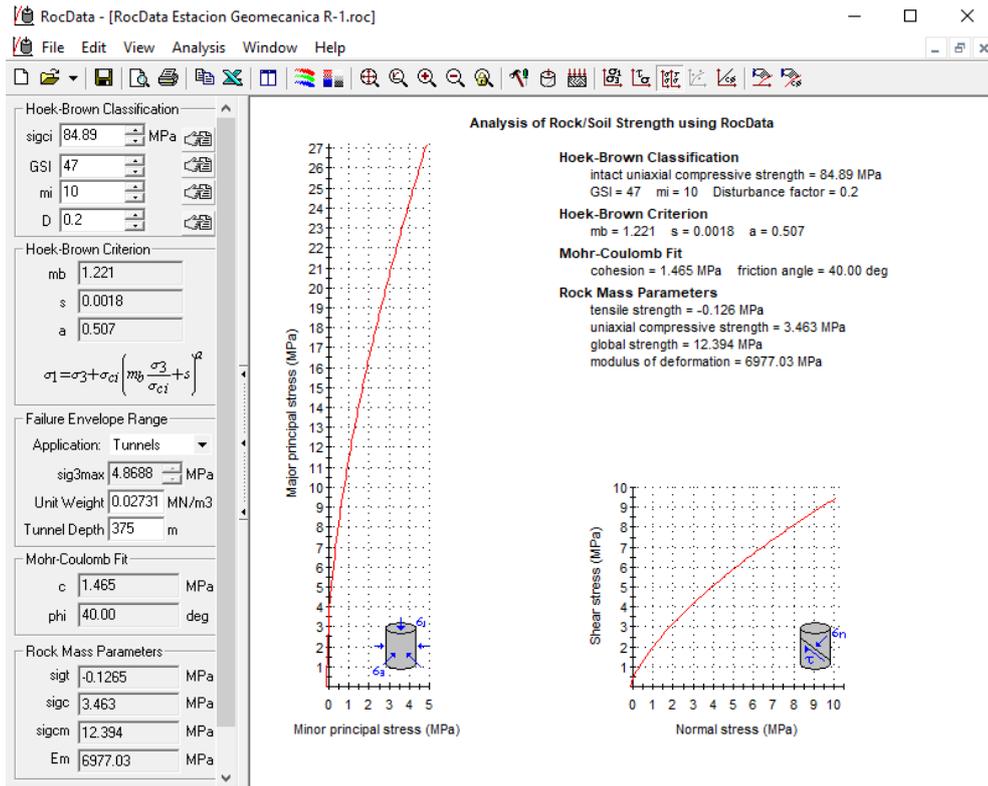
| MAPEO GEOMECANICO POR ESTACIONES | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|---|--|--|--|--|---|-------------|----|------------|-----|----|----|
| Nombre del proyecto: | | Diseño de sostenimiento Galería de Acceso y Rampa 430-E | | | ESTACION GEOMECANICA | | | Hoja: | | 7 | | | |
| Ejecutado por: | | Gerónimo Ticona Josec | | | | | | Fecha: | | 21/10/2018 | | | |
| Labor: | | Galería de acceso | | | | | | Nivel: | | 3832a | | | |
| Litología: | | Pizarra | | | | | | Progresiva: | | 0+700 | | | |
| CLASIFICACION RMR | | | | | | | | | | | | | |
| CARACTERISTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES | | | | | | | | | | | | | |
| FAMILIA DE JUNTAS | | FAMILIA 1 | | | FAMILIA 2 | | | FAMILIA 3 | | | | | |
| BUZ/D.BUZ. | | 10/247 | | | 71/092 | | | 86/194 | | | | | |
| CONDICION DE DISCONTINUIDADES | | Per | 10-20m | Per | 3-10m | Per | 3-10m | | | | | | |
| | | Rug | muy rug. | Rug | rugoso | Rug | rugoso | | | | | | |
| | | Apr | <0.1mm | Apr | >5mm | Apr | >5mm | | | | | | |
| | | Rel | duro | Rel | duro | Rel | suabe | | | | | | |
| ESPACIAMIENTO (cm) | | 26 | 24 | 36 | 54 | 45 | 25 | 38 | 41 | 21 | 25 | 63 | 18 |
| ESPACIAMIENTO PROMEDIO (cm) | | 35 | | | 37.25 | | | 31.75 | | | | | |
| RQD | | 109.8 | | | | | | | | | | | |
| CROQUIS | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Resist. Roca Intacta UCS | Picota | R 6 | R 5 | R 4 | R 3 | R 2 | R 1 | | | | | |
| 1 | VALORACION | | >200Mpa(15) | 100-200Mpa(12) | 50-100Mpa(7) | 25-50Mpa(4) | 10-25(2) | 3-10(1) | 7 | | | | |
| 2 | RQD | | 90-100%(20) | 75-90%(17) | 50-75%(13) | 25-50%(8) | <25%(3) | | | 20 | | | |
| 3 | VALORACION | | X | | | | | | | 10 | | | |
| 4 | ESTADO DE LAS JUNTAS | | Superf. muy rugosa, sin cont. Sin separ. Pared de roca dura (30) | Superf. muy rugosa, separ <1mm Pared de roca dura (25) | Superf. algo rugosa, separ <1mm Pared de roca suave (20) | Superf. pulidas, relleno <5mm fisuras ab. y cont. De 1-5mm(10) | Relleno blando <5mm fisuras ab. y cont <5mm (0) | | | 10 | | | |
| 5 | VALORACION | | X | | | | | | | 7 | | | |
| 6 | ORIENTACION | | Muy favorable(0) | Favorable(-2) | Regular(-5) | Desfavorable(-10) | Muy desfavor. (-12) | | | -10 | | | |
| RMR | | | Muy buena | Buena | Regular | Mala | Muy mala | | | 44 | | | |
| Q | | | I | II | III | IV | V | | | III | | | |
| GSI | | | RMR=9 ln(Q)+44 | | | Bieniawski, 1976, 1989. | | | | | 1.0 | | |
| GSI | | | GSI = RMR - 5 | | | | | | | | 39 | | |

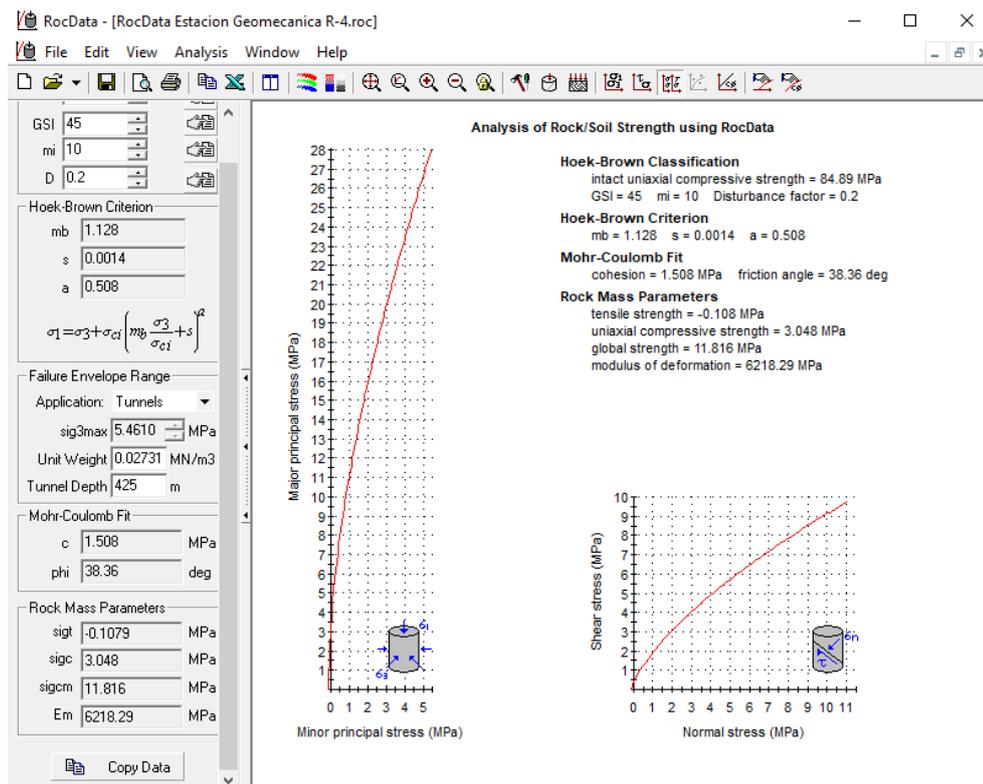
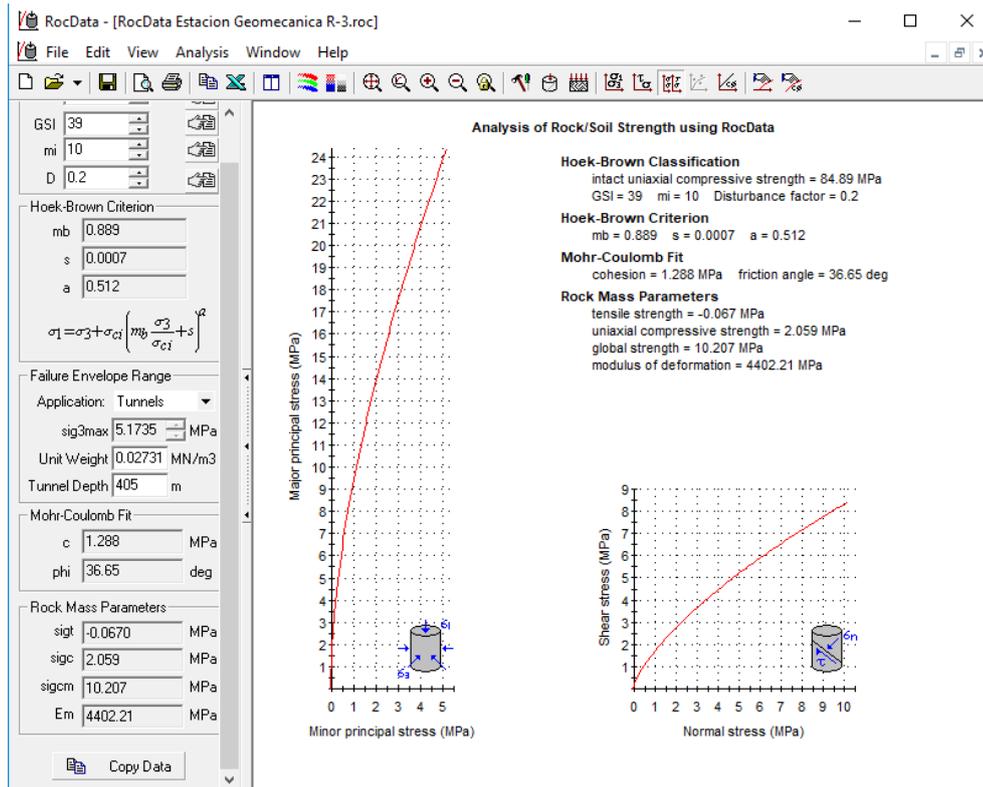
| MAPEO GEOMECANICO POR ESTACIONES | | | | | | | | | | |
|---|---|--|--|---|---|--|---------|-------------|--|------------|
| Nombre del proyecto: | | Diseño de sostenimiento Galería de Acceso y Rampa 430-E | | | | ESTACION GEOMECANICA | | Hoja: | | 8 |
| Ejecutado por: | | Gerónimo Ticona Josec | | | | | | Fecha: | | 21/10/2018 |
| Labor: | | Galería de acceso | | | | | | Nivel: | | 3832a |
| Litología: | | Pizarra | | | | | | Progresiva: | | 0+800 |
| CARACTERISTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES | | | | | | | | | | |
| FAMILIA DE JUNTAS | FAMILIA 1 | FAMILIA 2 | FAMILIA 3 | | | | | | | |
| BUZ/D.BUZ. | 12/239 | 75/100 | 80/153 | | | | | | | |
| CONDICION DE DISCONTINUIDADES | Per | 3-10m | Per | 3-10m | | | | | | |
| | Rug | muy rug. | Rug | rugoso | | | | | | |
| | Apr | <0.1mm | Apr | >5mm | | | | | | |
| | Rel | duro | Rel | suave | | | | | | |
| ESPACIAMIENTO (cm) | 14 25 38 47 | 25 65 24 51 | 81 72 34 16 | | | | | | | |
| ESPACIAMIENTO PROMEDIO (cm) | 31 | | | 41.25 | | | 50.75 | | | |
| RQD | 109.8 | | | | | | | | | |
| CROQUIS | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| CLASIFICACION RMR | | | | | | | | | | |
| Resist. Roca Intacta | Picota Iσ(50) UCS | R 6 | R 5 | R 4 | R 3 | R 2 | R 1 | | | |
| 1 | VALORACION | >200Mpa(15) | 100-200Mpa(12) | 2-4Mpa | 1-2Mpa | 10-25(2) | 3-10(1) | 7 | | |
| 2 | RQD | 90-100%(20) | 75-90%(17) | X | 50-75%(13) | <25%(3) | 20 | | | |
| 3 | VALORACION | >2m(20) | 0.6-2m(15) | 200-600mm(10) | 60-200mm(8) | <60mm(5) | 8 | | | |
| 4 | ESTADO DE LAS JUNTAS | Superf. muy rugosa, sin cont. Sin separ. Pared de roca dura (30) | Superf. algo rugosa, separ<1mm Pared de roca dura (25) | Superf. algo rugosa, separ<1mm Pared de roca suave (20) | Superf. pulidas, relleno<5mm fisuras ab. y cont. De 1-5mm(10) | Relleno blando<5mm fisuras ab. y cont.<5mm (0) | 20 | | | |
| 5 | VALORACION | Comp. Seco (15) | Humedo(10) | X | Goteo(4) | Flujo(0) | 7 | | | |
| 6 | ORIENTACION | Muy favorable(0) | Favorable(-2) | Regular(-5) | Desfavorable(-10) | Muy desfavor. (-12) | -12 | | | |
| RMR | VALORACION | Muy buena | Buena | Regular | Mala | Muy mala | 50 | | | |
| | | 81-100 | 61-80 | 41-60 | 21-40 | 0-20 | III | | | |
| | | I | II | III | IV | V | 1.9 | | | |
| Q | RMR=9 ln(Q)+44 Bieniawski, 1976, 1989. | | | | | | | | | 45 |
| GSI | GSI = RMR - 5 | | | | | | | | | 45 |

Anexo E. Calculo de parámetros en el software RocData v.3

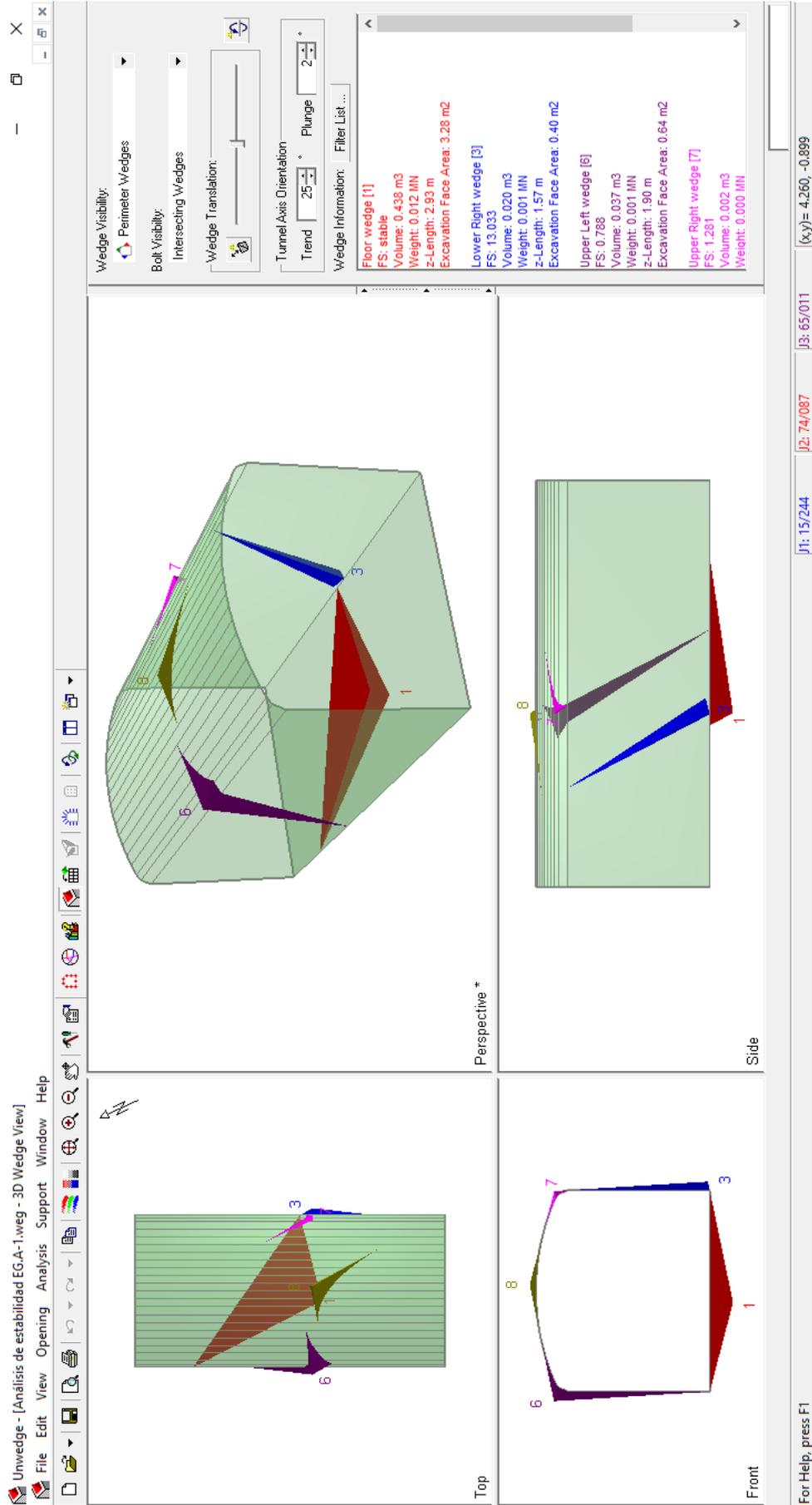








Anexo F. Análisis de estabilidad en el software Unwedge v.3



Unwedge - [Análisis de estabilidad EG.A-2.weg - 3D Wedge View]
File Edit View Opening Analysis Support Window Help

Wedge Visibility: Perimeter Wedges
Bolt Visibility: Intersecting Wedges
Wedge Translation: [Slider]
Tunnel Axis Orientation: Trend 40° Plunge 2°

Wedge Information: Filter List...

| | |
|-------------------------------|------------|
| Floor wedge [2] | FS: stable |
| Volume: 0.455 m3 | |
| Weight: 0.012 MN | |
| z-Length: 2.86 m | |
| Excavation Face Area: 3.10 m2 | |
| Lower Right wedge [4] | FS: 9.227 |
| Volume: 0.251 m3 | |
| Weight: 0.007 MN | |
| z-Length: 1.47 m | |
| Excavation Face Area: 1.64 m2 | |
| Upper Left wedge [5] | FS: 0.717 |
| Volume: 0.286 m3 | |
| Weight: 0.008 MN | |
| z-Length: 1.89 m | |
| Excavation Face Area: 1.80 m2 | |
| Roof wedge [7] | FS: 0.464 |
| Volume: 0.070 m3 | |
| Weight: 0.002 MN | |

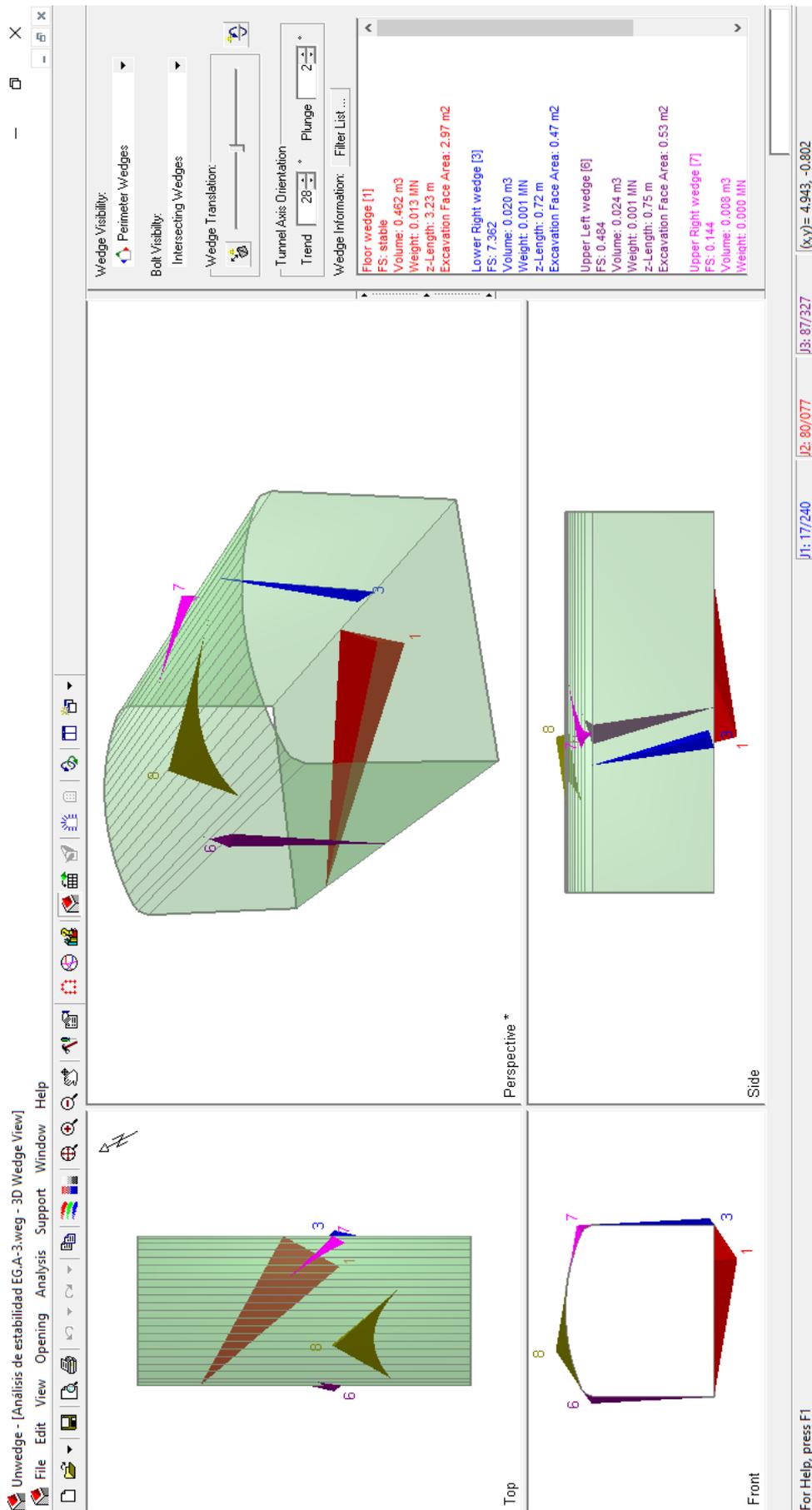
Top

Perspective *

Side

Front

J1: 14/247 J2: 80/087 J3: 80/157 (x,y) = 0.206, -0.771
For Help, press F1



Unwedge - [Análisis de estabilidad EG.A-4.weg - 3D Wedge View]

File Edit View Opening Analysis Support Window Help

Wedge Visibility:
 Perimeter Wedges: []
 Bolt Visibility: []
 Intersecting Wedges: []
 Wedge Translation: []
 Tunnel Axis Orientation: Trend: 31° Plunge: 2°

Wedge Information: Filter List...

| |
|-------------------------------|
| Lower Left wedge [1] |
| FS: stable |
| Volume: 0.000 m3 |
| Weight: 0.000 MN |
| z-Length: 1.67 m |
| Excavation Face Area: 0.04 m2 |
| Lower Right wedge [4] |
| FS: 11.668 |
| Volume: 0.252 m3 |
| Weight: 0.007 MN |
| z-Length: 1.41 m |
| Excavation Face Area: 1.65 m2 |
| Upper Left wedge [5] |
| FS: 1.059 |
| Volume: 0.291 m3 |
| Weight: 0.008 MN |
| z-Length: 1.91 m |
| Excavation Face Area: 1.83 m2 |
| Upper Left wedge [7] |
| FS: 0.289 |
| Volume: 0.019 m3 |
| Weight: 0.001 MN |

Top **Front** **Side** **Perspective***

For Help, press F1 | J1: 11/241 | J2: 73/056 | J3: 84/743 | (x,y)= 4.851, -0.332

Unwedge - [Análisis de estabilidad EG.R-1.weg - 3D Wedge View]

File Edit View Opening Analysis Support Window Help

Wedge Visibility: Perimeter Wedges

Bolt Visibility: Intersecting Wedges

Wedge Translation:

Tunnel Axis Orientation: Trend 103° Plunge 6°

Wedge Information: Filter List...

| Wedge | FS | Volume (m ³) | Weight (MN) | z-Length (m) | Excavation Face Area (m ²) |
|-----------------------|--------|--------------------------|-------------|--------------|--|
| Floor wedge [2] | stable | 0.875 | 0.024 | 2.57 | 3.23 |
| Lower Left wedge [3] | 8.945 | 0.241 | 0.007 | 1.43 | 1.02 |
| Upper Right wedge [6] | 5.265 | 0.283 | 0.008 | 1.50 | 1.15 |
| Roof wedge [7] | 0.240 | 0.251 | 0.007 | - | - |

Top

Perspective *

Side

Front

J1: 14/240 J3: 65/125 J4: 85/159 (z,y)=- 5.999, -1.289

For Help, press F1

Unwedge - [Análisis de estabilidad EG.R-2.weg - 3D Wedge View*]
 File Edit View Opening Analysis Support Window Help

Wedge Visibility:
 Perimeter Wedges
 Bolt Visibility:
 Intersecting Wedges
 Wedge Translation:
 Tunnel Axis Orientation
 Trend 328° Plunge 6°

Wedge Information: Filter List...

| Wedge ID | FS | Volume (m ³) | Weight (MN) | z-Length (m) | Excavation Face Area (m ²) |
|-----------------------|--------|--------------------------|-------------|--------------|--|
| Floor wedge [1] | stable | 1.095 | 0.030 | 3.46 | 6.03 |
| Lower Right wedge [4] | 9.717 | 1.300 | 0.036 | 2.14 | 2.63 |
| Upper Left wedge [5] | 4.188 | 1.668 | 0.046 | 3.47 | 3.62 |
| Roof wedge [6] | 0.634 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Top **Front** **Side** **Perspective ***

For Help, press F1 | J1: 13/277 | J3: 77/018 | J4: 63/147 | (z,y)= 8.170, -0.997

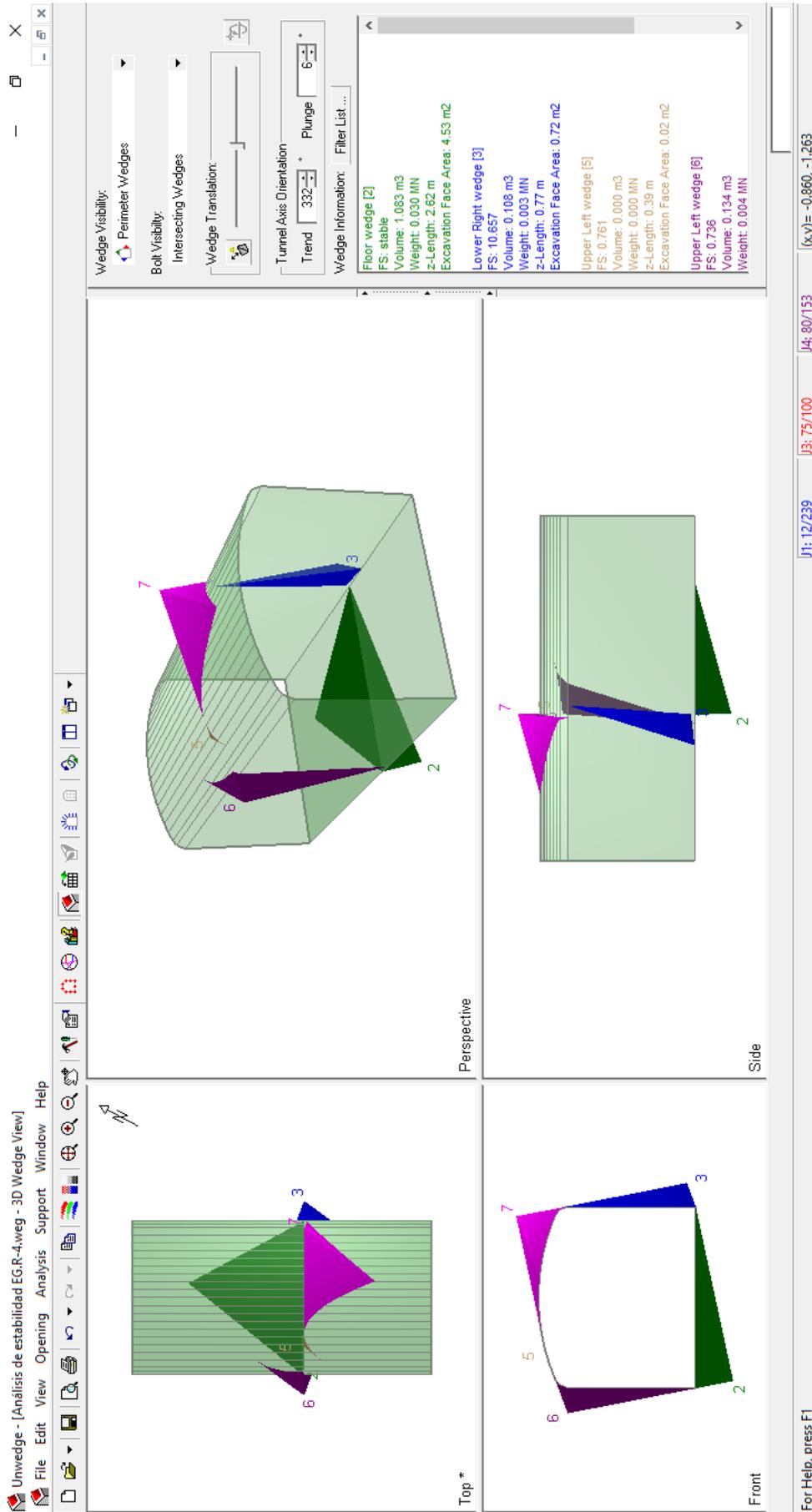
Unwedge - [Análisis de estabilidad EG.R-3.weg - 3D Wedge View*]
 File Edit View Opening Analysis Support Window Help

Wedge Visibility: Perimeter Wedges
 Bolt Visibility: Intersecting Wedges
 Wedge Translation: [Slider]
 Tunnel Axis Orientation: Trend 200° Plunge 6°
 Wedge Information: Filter List...

| Wedge | FS | Volume | Weight | Z-Length | Excavation Face Area |
|-----------------------|--------|----------|----------|----------|----------------------|
| Floor wedge [1] | 43.619 | 1.137 m3 | 0.031 MN | 9.94 m | 11.77 m2 |
| Lower Left wedge [4] | 17.944 | 0.932 m3 | 0.025 MN | 2.61 m | 3.19 m2 |
| Upper Right wedge [5] | 1.403 | 1.630 m3 | 0.045 MN | 4.61 m | 6.71 m2 |
| Roof wedge [7] | 0.192 | 0.000 m3 | 0.000 MN | 0.000 m | 0.000 m2 |

Perspective *
 Top
 Side
 Front

J1: 10/247 J2: 71/092 J4: 86/194 (x,y)= -2.221, 2.876
 For Help, press F1



Anexo G. Diseño de sostenimiento en el software Unwedge v.3

The screenshot displays the Unwedge v.3 software interface. The main window shows a 3D perspective view of a retaining wall design with several wedges (1-8) and a floor wedge. The software includes a menu bar (File, Edit, View, Opening, Analysis, Support, Window, Help), a toolbar with various icons, and a control panel with options for Wedge Visibility, Bolt Visibility, Intersecting Wedges, Wedge Translation, Tunnel Axis Orientation, Trend, and Plunge. A 'Wedge Information' window is open, listing the properties for each wedge.

| Wedge ID | FS | Volume (m ³) | Weight (tonnes) | Z-Length (m) | Excavation Face Area (m ²) |
|-----------------------|-------------|--------------------------|-----------------|--------------|--|
| Floor wedge [1] | stable | 0.438 | 1.184 | 2.93 | 3.28 |
| Lower Right wedge [3] | FS: 13.419 | 0.020 | 0.054 | 1.57 | 0.40 |
| Upper Left wedge [6] | FS: 196.374 | 0.037 | 0.099 | 1.90 | 0.64 |
| Upper Right wedge [7] | FS: 1.281 | 0.002 | 0.005 | - | - |

The interface also shows four viewports: Top, Front, Side, and Perspective *. The Top view shows the plan view of the wall and wedges. The Front view shows the elevation of the wall. The Side view shows the profile of the wall. The Perspective view shows the 3D model of the wall and wedges.

At the bottom of the interface, there is a status bar with the text "For Help, press F1" and coordinates: [J1: 15/244] [J2: 74/087] [J3: 65/011] (z,y) = -6.271, -0.389

Unwedge - [Análisis de estabilidad con pemo EG-A-2.weg - 3D Wedge View]
 File Edit View Opening Analysis Support Window Help

Wedge Visibility: Perimeter Wedges
 Bolt Visibility: Intersecting Wedges
 Wedge Translation: [Slider]
 Tunnel Axis Orientation: Trend 40° Plunge 2°
 Wedge Information: Filler List ...

| Wedge | FS | Volume (m ³) | Weight (tonnes) | z-Length (m) | Excavation Face Area (m ²) |
|-----------------------|------------|--------------------------|-----------------|--------------|--|
| Floor wedge [2] | FS: stable | 0.455 | 1.228 | 2.98 | 3.10 |
| Lower Right wedge [4] | FS: 47.959 | 0.251 | 0.676 | 1.47 | 1.64 |
| Upper Left wedge [5] | FS: 33.174 | 0.286 | 0.772 | 1.89 | 1.80 |
| Roof wedge [7] | FS: 53.069 | 0.070 | 0.188 | - | - |

Top: [View]
 Front: [View]
 Side: [View]
 Perspective*: [View]

For Help, press F1

[J1: 14/247] [J2: 80/087] [J3: 80/157] [Zy]= 3.284, -0.107

Unwedge - [Análisis de estabilidad con pemo EG.A-4.weg - 3D Wedge View]
 File Edit View Opening Analysis Support Window Help

Wedge Visibility: Perimeter Wedges
 Bolt Visibility: Intersecting Wedges
 Wedge Translation: [Slider]
 Tunnel Axis Orientation: Trend 31° Plunge 2°
 Wedge Information: Filler List ...

| Wedge | FS | Volume (m ³) | Weight (tonnes) | Z-Length (m) | Excavation Face Area (m ²) |
|-----------------------|--------|--------------------------|-----------------|--------------|--|
| Lower Left wedge [1] | stable | 0.000 | 0.000 | 1.67 | 0.04 |
| Lower Right wedge [4] | 12.101 | 0.252 | 0.681 | 1.41 | 1.85 |
| Upper Left wedge [5] | 1.059 | 0.291 | 0.785 | 1.91 | 1.83 |
| Upper Left wedge [7] | 0.289 | 0.019 | 0.051 | - | - |

Top Perspective * Side
 Front

Analisis de estabilidad con pemo EG.A-2.weg - 3D Wedge View
 Analisis de estabilidad con pemo EG.A-3.weg - 3D Wedge View
 Analisis de estabilidad con pemo EG.A-1.weg - 3D Wedge View

For Help, press F1

J1: 11/241 J2: 73/056 J3: 84/143 (xy)= 1.845, -0.414

Unwedge - [Análisis de estabilidad con pemo EG.R-1.weg - 3D Wedge View]
 File Edit View Opening Analysis Support Window Help

Wedge Visibility: Perimeter Wedges
 Bolt Visibility: Intersecting Wedges
 Wedge Translation: [Slider]
 Tunnel Axis Orientation: Trend 103° Plunge 6°
 Wedge Information: Filler List ...

| Wedge | FS | Volume (m ³) | Weight (tonnes) | z-Length (m) | Excavation Face Area (m ²) |
|-----------------------|------------|--------------------------|-----------------|--------------|--|
| Floor wedge [2] | FS: stable | 0.875 | 2.362 | 2.57 | 3.23 |
| Lower Left wedge [3] | FS: 79.660 | 0.241 | 0.651 | 1.43 | 1.02 |
| Upper Right wedge [6] | FS: 84.161 | 0.283 | 0.784 | 1.50 | 1.15 |
| Roof wedge [7] | FS: 0.240 | 0.251 | 0.678 | | |

Top Perspective * Side
 Front

Analisis de estabilidad con pemo EG.A-2.weg - 3D Wedge View
 Analisis de estabilidad con pemo EG.A-3.weg - 3D Wedge View
 Analisis de estabilidad con pemo EG.A-4.weg - 3D Wedge View

For Help, press F1 | J1: 14/240 | J3: 65/125 | J4: 85/159 | (Zy)= 3.716, -1.328

Unwedge - [Análisis de estabilidad con pemo EG.R-2.weg - 3D Wedge View]
 File Edit View Opening Analysis Support Window Help

Wedge Visibility:
 Perimeter Wedges
 Bolt Visibility:
 Intersecting Wedges
 Wedge Translation:
 Tunnel Axis Orientation
 Trend: 328° Plunge: 6°
 Wedge Information: Filter List...

| Wedge | FS | Volume (m ³) | Weight (tonnes) | z-Length (m) | Excavation Face Area (m ²) |
|-----------------------|------------|--------------------------|-----------------|--------------|--|
| Floor wedge [1] | stable | 1.095 | 2.958 | 3.46 | 6.03 |
| Lower Right wedge [4] | FS: 23.587 | 1.300 | 3.511 | 2.14 | 2.63 |
| Upper Left wedge [5] | FS: 13.426 | 1.668 | 4.502 | 3.47 | 3.62 |
| Roof wedge [6] | FS: 0.634 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Top Perspective * Side
 Front

Analisis de estabilidad con pemo EG.A-4.weg - 3D Wedge View
 Analisis de estabilidad con pemo EG.R-1.weg - 3D Wedge View
 Analisis de estabilidad con pemo EG.A-3.weg - 3D Wedge View

For Help, press F1
 [J1]: 13/277 [J3]: 77/018 [J4]: 63/147 [xy]= -2,377, -1,252

Unwedge - [Análisis de estabilidad con pemo EG.R-3.weg - 3D Wedge View]
 File Edit View Opening Analysis Support Window Help

Wedge Visibility: Perimeter Wedges
 Bolt Visibility: Intersecting Wedges
 Wedge Translation: [Slider]
 Tunnel Axis Orientation: Trend 200° Plunge 6°
 Wedge Information: Filler List ...

| Wedge | FS | Volume | Weight | Z-Length | Excavation Face Area |
|-----------------------|--------|----------------------|--------------|----------|----------------------|
| Floor wedge [1] | 43.619 | 1.137 m ³ | 3.070 tonnes | 9.94 m | 11.77 m ² |
| Lower Left wedge [4] | 18.527 | 0.932 m ³ | 2.515 tonnes | 2.61 m | 3.19 m ² |
| Upper Right wedge [5] | 7.486 | 1.630 m ³ | 4.401 tonnes | 4.61 m | 6.71 m ² |
| Roof wedge [7] | 0.192 | 0.000 m ³ | 0.000 tonnes | - | - |

Top Perspective * Side
 Front

For Help, press F1

[J1: 10/247] [J2: 71/092] [J4: 86/194] [Xy]= 1.655, -0.571

Unwedge - [Análisis de estabilidad con pemo EG.R-4.weg - 3D Wedge View]
 File Edit View Opening Analysis Support Window Help

Wedge Visibility: Perimeter Wedges
 Bolt Visibility: Intersecting Wedges
 Wedge Translation: [Slider]
 Tunnel Axis Orientation: Trend 332 Plunge 6
 Filler List ...

| Wedge Information: | |
|-------------------------------|--|
| Floor wedge [2] | |
| FS: stable | |
| Volume: 1.083 m3 | |
| Weight: 2.925 tonnes | |
| z-Length: 2.62 m | |
| Excavation Face Area: 4.53 m2 | |
| Lower Right wedge [3] | |
| FS: 222.949 | |
| Volume: 0.108 m3 | |
| Weight: 0.291 tonnes | |
| z-Length: 0.77 m | |
| Excavation Face Area: 0.72 m2 | |
| Upper Left wedge [5] | |
| FS: 0.761 | |
| Volume: 0.000 m3 | |
| Weight: 0.000 tonnes | |
| z-Length: 0.39 m | |
| Excavation Face Area: 0.02 m2 | |
| Upper Left wedge [6] | |
| FS: 45.932 | |
| Volume: 0.134 m3 | |
| Weight: 0.363 tonnes | |

Top Perspective * Side
 Front

Analisis de estabilidad con pemo EG.R-2.weg - 3D Wedge View | Analisis de estabilidad con pemo EG.R-3.weg - 3D Wedge View | Analisis de estabilidad con pemo EG.R-4.weg - 3D Wedge View

For Help, press F1 | J1: 12/239 | J3: 75/100 | J4: 80/153 | (xy)= 5.237, -1.236



INFORME N°013-2019-LG&MR-FIM-UNA-PUNO

* ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE DE NÚCLEOS DE ROCA

SOLICITADO POR:

GERONIMO TICONA JOSEC.

PROYECTO:

DISEÑO DE SOSTENIMIENTO GALERIA DE ACCESO Y RAMPA 430-E S.M. POWER SAC.

UBICACIÓN:

POWER SAC.

MUESTRA:

MUESTRA 01

FECHA:

22 DE DICIEMBRE DE 2018

NOTA:

- La empresa solicitante es responsable por la toma de muestra en campo.
- La información correspondiente a las muestras fue proporcionada por el solicitante.
- Condición de la muestra, preparadas según norma vigente.
- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
- Prohibida su reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas.
- Los resultados no pueden ser utilizados como certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



[Firma manuscrita]
Ing. Oscar A. Cahuana Condori
LABORATORIO G Y M R
CIP N° 137178

JEFE DE LABORATORIO DE GEOTECNIA & MECÁNICA DE ROCAS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS



ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE DE NÚCLEOS DE ROCA

INFORME No : 013-2019-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.
REFERENCIA : ASTM D 3148, D 2938.
FECHA DE EMISIÓN: 22 DE DICIEMBRE DE 2018
SOLICITADO POR : GERONIMO TICONA JOSEC.
PROYECTO : DISEÑO DE SOSTENIMIENTO GALERIA DE ACCESO Y RAMPA 430-E S.M. POWER SAC.
UBICACIÓN : POWER SAC.
MUESTRA : MUESTRA 01
TÉCNICO : ING. SC. OSCAR CAHUANA CONDORI & ING. SC. IVAN LAURA NINA.
RESPONSABLE : ING. OWAL A. VELASQUEZ VIZA.

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 3148, D 2938, obteniéndose los siguientes resultados:

| ID | Diámetro | Altura | Área | Relación | Carga | Factor de corrección | | UCS | UCS corregido | UCS corregido | Tipo de Rotura | Observaciones |
|------------------------------|----------|--------|--------------------|----------|---------|------------------------------|-----------------------------------|-------|---------------|-------------------------|----------------|---------------|
| | (cm) | (cm) | (cm ²) | L/D | (Kg-f) | Relación D/L (PROTODYAKONOV) | Por diámetro (Hoek & Brown, 1980) | (MPa) | (MPa) | (Kg-f/cm ²) | | |
| UCS-01 | 5.5 | 11.00 | 23.76 | 2.00 | 20410.0 | 1.00 | 1.02 | 84.25 | 85.87 | 875.60 | fractura | -- |
| UCS-02 | 5.5 | 11.10 | 23.76 | 2.02 | 17630.0 | 1.00 | 1.02 | 72.77 | 74.25 | 757.19 | matriz | -- |
| UCS-03 | 5.5 | 11.08 | 23.76 | 2.01 | 22450.0 | 1.00 | 1.02 | 92.67 | 94.53 | 963.99 | matriz | -- |
| Número de resultados | | | | | | | | 3 | 3 | 3 | | |
| Valor máximo, MAX | | | | | | | | 92.67 | 94.53 | 963.99 | | |
| Valor mínimo, MIN | | | | | | | | 72.77 | 74.25 | 757.19 | | |
| Mediana, MED | | | | | | | | 84.25 | 85.87 | 875.60 | | |
| Valor promedio, MEAN | | | | | | | | 83.23 | 84.89 | 865.59 | | |
| Desviación estándar, SDEV | | | | | | | | 9.99 | 10.18 | 103.76 | | |
| Coeficiente de variación, CV | | | | | | | | -0.45 | -0.43 | -0.43 | | |



[Firma]
Ing. Oscar A. Cahuana Condori
LABORATORIO G Y M R
CIP N° 137178

OBSERVACIÓN:

- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
- Prohibida su reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas.
- Los resultados no pueden ser utilizados como certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas – UNA P.

Página 2 de 4



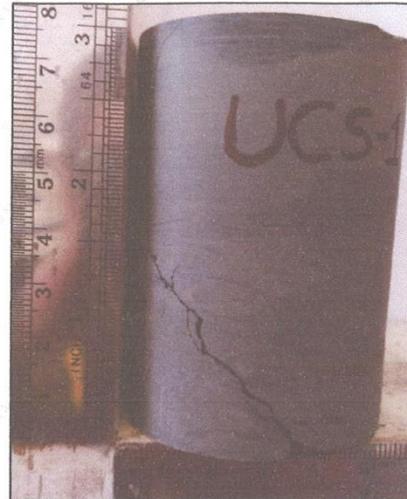
FOTOS

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN NÚCLEOS DE ROCA

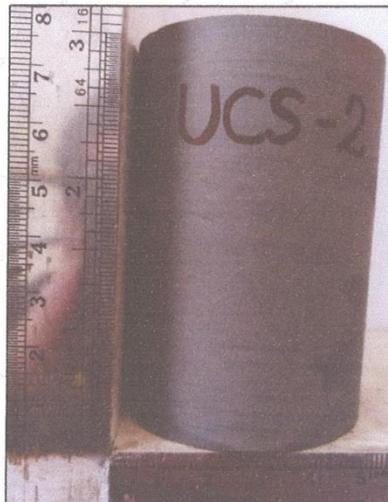
ANTES



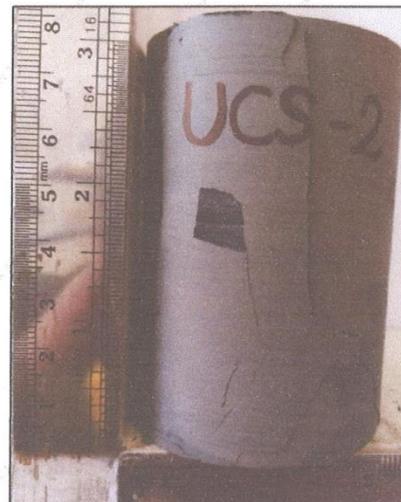
DESPÚES



ANTES



DESPÚES



Oscar A. Cahuana Condori
Ing. Oscar A. Cahuana Condori
LABORATORIO G Y M R
CIP N° 137178

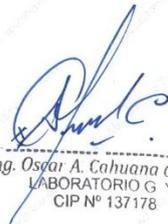


ANTES



DESPÚES




Ing. Oscar A. Cahuana Condori
LABORATORIO G Y M R
CIP N° 137178

OBSERVACIÓN:

- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
- Prohibida su reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas.
- Los resultados no pueden ser utilizados como certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

