

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



**CARACTERIZACIÓN GEOMECANICA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL
SOSTENIMIENTO, CASO MINA TITAN, PUNO.**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

BACH. EDWIN CONDORI PUMAHUANCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO - PERÚ

2019



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

**CARACTERIZACIÓN GEOMECANICA PARA EL
DIMENSIONAMIENTO DEL SOSTENIMIENTO, CASO MINA TITAN,
PUNO.**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADO POR:

EDWIN, CONDORI-PUMAHUANCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO POR:

PRESIDENTE


: _____
Dr. JUAN MAYHUA PALOMINO

PRIMER MIEMBRO


: _____
Ing. DAVID VELÁSQUEZ MEDINA

SEGUNDO MIEMBRO


: _____
MSc. LUCIO QUEA GUTIERREZ

TEMA: Mecánica de rocas, geomecánica y geotecnia.

ÁREA: Ingeniería de minas

FECHA DE SUSTENTACION: 29 de octubre del 2019

DEDICATORIA

La presente investigación, está dedicada con mucho amor y cariño a mi esposa Carmen Pacompia Turpo e hija Eymi Ariana Condori Pacompia por el apoyo incondicional, que hicieron posible la culminación del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE ACRÓNIMO

Caracterización geomecánica para el dimensionamiento del sostenimiento, caso mina Titan, Puno.....	2
Edwin, Condori-Pumahuanca.....	2
Faculta de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano (UNA), Puno, Perú.....	2
Resumen.....	2
1 Introducción	10
2 Materiales y métodos.....	12
2.1 Metodología	12
2.2 Ubicación	12
3 Resultados.....	12
3.1 Metodología para la caracterización del macizo rocoso	12
3.2 Propiedades físico – mecánico del macizo rocoso.....	13
3.3 Condiciones de agua subterránea.....	13
3.4 Densidad	14
3.5 Resistencia de la roca intacta	14
3.6 Deformación	15
4 Resultados y discusiones.....	15
4.1 Distribución de discontinuidades.....	15
4.2 Aspectos estructurales.....	16
4.3 Clasificación de la masa rocosa	16
4.4 Zonificación geomecánica de la masa rocosa.....	17
4.5 Unidades Geomecánicas	17
4.6 Análisis de esfuerzos y deformaciones por el método de elementos finitos.....	17
4.7 Estructura controlada	18
4.8 Sostenimiento de las excavaciones	18

4.9	Categoría de reforzamiento.....	19
5	Conclusiones.....	20
6	Referencias	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama estereográfico de planos de los sistemas principales de estructura.	15
Figura 2. Diagrama de rosetas de los sistemas principales de estructuras, orientación de los sistemas principales de la zona con respecto a la orientación de la cámara de refugio.	16
Figura 3. Isovalores de factor de seguridad (F.S.) se aprecia que los F.S. están cercanos a la unidad después de instalar el sostenimiento de pernos helicoidales de 7 pies.	17
Figura 4. Parámetros mecánicos de la masa rocosa.	18
Figura 5. Estabilización de cuñas en el techo utilizando pernos helicoidales cementados.	18
Figura 6. Grafica de Grimstad and Barton (1994) define los requerimientos de sostenimiento.	19
Figura 7. Sostenimiento para cada unidad geomecánica.	19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación de densidad y porosidad.	13
Tabla 2: Contenido de agua roca cuarcita.....	14
Tabla 3: Densidad de la roca cuarcita.....	14
Tabla 4: Ensayo de resistencia a la compresión simple de la roca cuarcita.....	14
Tabla 5: Clasificación de las rocas de acuerdo con su resistencia a la compresión.	14
Tabla 6: Distribución de discontinuidades.....	15
Tabla 7: RMR según la tabla de Bieniawski.....	16
Tabla 8: Delimitación de los dominios estructurales.....	17
Tabla 9: Dimensiones de diseño.	19

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RMR	Rock mass rating
FEM	Método de elementos finitos
DIP	Buzamiento
DIP DIR	Dirección de la estructura
ISRM	Sociedad internacional de mecánica de rocas
K	Relación del esfuerzo horizontal con el esfuerzo vertical
UEA	Económica administrativa

Caracterización geomecánica para el dimensionamiento del sostenimiento, caso mina Titan, Puno.

Characterization geomechanic for the sizing of the support, case undermines Titan, Puno.

Edwin, Condori-Pumahuanca

Faculta de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano (UNA), Puno, Perú.

edwin.pumahuanca@gmail.com, 986430579.

Resumen

En el presente estudio de caracterización geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en empresa minera Titan, ubicada en el paraje cumuni, distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, en el departamento de Puno, se realizó observaciones in-situ sobre diferentes aspectos geomecánicos relacionado con las labores, y se elaboró el informe de estas observaciones con las recomendaciones del caso tendientes a mejorar las condiciones de control de la estabilidad de las estructuras rocosas y por tanto mejorar las condiciones de seguridad de la operación. El trabajo de campo realizado a la zona de estudio comprendió las siguientes actividades, en la primera parte se abordan diversos aspectos generales de interés para la evaluación, relacionados básicamente a los rasgos geológicos, en la segunda parte se presentan los resultados de las investigaciones básicas realizadas, las cuales han permitido evaluar los factores principales de influencia sobre condiciones de estabilidad del proyecto y estimar los parámetros geomecánicos básicos, finalmente, en la tercera parte se presentan los resultados de la evaluación de las condiciones de estabilidad del proyecto. La utilización de la información básica integrada y de herramientas de cálculo adecuados, han permitido llevar a cabo esta evaluación para poder cumplir con el objetivo y los alcances de este trabajo.

Palabras claves: mapeo; celdas; RMR; software.

Abstract

In the present I study of classification geomechanic to determine the type of support in mining company Titan, located in the place cumuni, St. Anthony's district of Ananea, province of Putina, in the department of Puno, came true observations in situ on different aspects geomechanics pertaining to works, and himself I elaborate the tending report of these observations with the recommendations of the case to improve the conditions of control of the stability of the rocky structures and therefore improving the safenesses of the operation. The field work once the survey area was accomplished comprised the following activities, in the first part they discuss various general appearances of concern for the evaluation, related basically the results of the realized basic researches, which show up to the geological features, in the second part they have allowed

evaluating the unit factors of influence on conditions of stability of the project and valuing parameters basic geomechanics, finally, in the third part the results of the evaluation of the conditions of stability of the project show up. The utilization of the basic integrated and tools information of calculation made suitable, have allowed carrying out this evaluation to be able to fulfill the objective and the reaches of this work.

Key words: Mapping; Cells; RMR; Software.

1 Introducción

En la empresa minera Titán S.A.C., viene realizando actividades de extracción de mineral del oro. Actualmente recientemente se incorporó el área de geomecánica porque es importante la descripción y caracterización física y mecánica del macizo rocoso debido a la inestabilidad de las labores por tal motivo es necesario realizar una serie de estudios utilizando métodos directos e indirectos y pruebas de laboratorio con el fin de conocer las características geomecánicas y propiedades físicas de la masa rocosa en donde se opera por el método de cámaras y pilares y corte relleno detrítico, considerando los esfuerzos generados alrededor de las excavaciones subterráneas, es difícil la medición de la intensidad de los mismos; sin embargo, es muy importante determinar esos valores para dimensionar adecuadamente las labores subterráneas y diseñar los elementos de sostenimiento adecuado a la capacidad de presión de la roca.

La investigación de acuerdo al análisis cinemático los esfuerzos de rotura en su mayoría

son del tipo cuña esto debido al tipo de roca promedio de muy mala a buena a muy buena.

De acuerdo con wilberth chura si bien es cierto que en la explotación subterránea, los accidentes por caída de rocas son en un mayor número graves a mortales, estos índices nos indican que se tiene que tener mayor atención a la caracterización del macizo rocoso en función de una serie de parámetros a los que se les asigna un valor, que por medio del mismo se llega a calcular un índice característico de la roca, que permite describir numéricamente la calidad de la misma, ejecutando así los trabajos de sostenimiento por soporte activo y refuerzo pasivo en las labores mineras. (Chura, 2016)

En nuestro país la industria minera constituye una de las principales ramas de la economía, estimula el desarrollo de la industria, asegura el abastecimiento de las principales materias primas e influye directamente en el desarrollo económico y social del país, la construcción de obras subterráneas, tanto civiles (trasvases, almacenes, etc), como para obras protectoras de diversos usos, ha aumentado en los últimos años.

Para garantizar la estabilidad y por ende la seguridad de estas excavaciones, deben realizarse estudios del macizo rocoso, con el objetivo de conocer cuáles son sus características y al menos suponer cuál será su comportamiento ulterior. (Jiménez, 2001)

En la ejecución de las labores mineras horizontales, inclinadas o verticales y otras, se procederá a su sostenimiento sistemático inmediato, sobre la base de los estudios geomecánicos, antes de continuar las perforaciones en el frente de avance, aplicando el principio de “labor avanzada, labor sostenida”. (Bedoya, 2018)

Los esfuerzos en el macizo rocoso, resultante del proceso de realizar excavaciones subterráneas, la acumulación de energía de deformación elástica en la roca, causa la generación de fracturas y el consecuente movimiento a lo largo de planos de fallamiento. (Ceras, 2015)

El tipo de sostenimiento madera, puntales de seguridad, y puntales en línea tipo guarda cabeza, el departamento de geología en base al índice GSI (modificado), corroborando los resultados de la valoración del tipo de roca con los sistemas de clasificación RMR y el índice Q, de estos resultados se procedió a elegir los tipos de sostenimiento para las labores de explotación de los cuales son los siguientes: Cuadros de madera

, perno split set, perno split set y malla electro – soldada. (Escalante, 2017).

Los estudios Geomecánica están referidos a la determinación de las características del macizo rocoso, mediante el análisis litológico estructural del mismo; para posteriormente establecer las características del comportamiento mecánico del macizo rocoso, determinando las propiedades físicas, mecánicas y la resistencia compresiva del macizo rocoso y del mineral. (Loarte, 2018)

La aplicación de la geomecánica al minado subterráneo está basada en premisas simples y quizás evidentes. Postula, que a la masa rocosa puede atribuírsele un conjunto de propiedades mecánicas que pueden ser cuantificadas por procedimientos adecuados. (Sosa, 2016)

La clasificación GSI se basa en una observación cuidadosa del macizo rocoso, es esencialmente cualitativa. Este índice incorpora la estructura del mismo y las características geomecánica de las superficies de discontinuidad existentes en él y se obtiene a partir de un examen visual del macizo rocoso en afloramientos y sondeos. (Guaman, 2013)

La caracterización geomecánica tiene por finalidad determinar la calidad y clasificación del macizo rocoso circundante a los tajeos de explotación. Además, permite zonificar el macizo rocoso en dominios estructurales, caracterizándolos por su homogeneidad estructural y geomecánica. (Pantaleon, 2017)

Las masas rocosas aparecen en la mayoría de los casos afectadas por discontinuidades o superficies de debilidad que separan bloques de matriz rocosa o “roca intacta” constituyendo en conjunto los macizos rocosos. Ambos 18 ámbitos son objeto de estudio de la mecánica de rocas, pero son principalmente los planos de discontinuidad los que determinan el carácter diferencial de esta disciplina con respecto al estudio de los suelos, y los que hacen que la mecánica del medio rocoso presente un carácter discontinuo y anisótropo. (Mamani, 2018)

Determinar la clasificación geomecánica para determinar el sostenimiento adecuado.

2 Materiales y métodos

2.1 Metodología

Trabajo de Campo: Para la determinar la evaluación del tipo de sostenimiento mediante clasificación geomecánica, en la verificación in-situ de las condiciones del área, se utilizaron diferentes materiales como: brújula, spray, flexometro, libreta de campo, picota, peine de barton. El trabajo de campo comprendió la evaluación mapeo por celdas. Se realizaron muestreo de roca para determinar la evaluación en el laboratorio y determinar los parámetros geotécnicos, físicos y químicos

Trabajo de gabinete: Comprendió la recopilación y clasificación sistemática de la información de campo, evaluación de los resultados de los ensayos geotécnicos y análisis físico-químicos de las muestras, evaluó el tipo de sostenimiento. Para ello se utilizaron libretas para

la clasificación y evaluación de datos y laptops con diferentes programas de procesamiento de datos para la determinación de diseños de sostenimiento y resultados como: Ms. Excel, AutoCAD, Rocscience.

Tipo y Nivel de Investigación: Consideramos a la presente investigación de tipo Cuantitativo No Experimental, porque se usará datos cuantitativos ya existentes (Ensayos) los cuales no se podrán manipular o modificar, de nivel correlacional ya que las variables de tendrán relación entre sí.

2.2 Ubicación

Se ubica en el paraje cumuni, distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, en el departamento de Puno. Nuestra unidad económica administrativa (UEA) es la mina subterránea denominada oriente N° 1, en donde las actividades de explotación se realizan en los siguientes derechos mineros Ana María N° 5, Maribel de oro y oriente N° 1.

3 Resultados

3.1 Metodología para la caracterización del macizo rocoso

Para la caracterización de la masa rocosa se registraron datos principalmente a partir del mapeo geomecánico de campo, este se llevó a cabo utilizando el “método de mapeo por estación o celdas”. Mediante este método se realizaron mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes en una estación de medición (En), representado por un tramo de extensión variable de una excavación.

Los parámetros de observación y medición fueron obtenidos en formatos de registro, los cuales están adecuadas a las normas sugeridas por la sociedad de mecánica de rocas (ISRM), estos parámetros fueron:

- ✓ Tipo de roca
- ✓ Tipo de sistema de discontinuidad
- ✓ Orientación espaciado
- ✓ Persistencia
- ✓ Apertura
- ✓ Rugosidad
- ✓ Tipo de relleno
- ✓ Espesor de relleno
- ✓ Intemperización
- ✓ Presencia de agua
- ✓ Resistencia de la roca
- ✓ Frecuencia de fracturamiento

En el mapeo geomecánico por celdas la roca predominante en la mina Titan contratistas generales, es la cuarcita.

3.2 Propiedades físico – mecánico del macizo rocoso

Roca arenisca cuarcita

Roca arenisca cuarcítica su afloramiento se encuentra adyacente al afloramiento de las pizarras. Su mineralogía consiste principalmente de cuarzo (95%), óxidos y sulfuros (5%). Se presentan con una coloración blanquecina a blanco grisáceo (por la presencia de óxidos), en muestras de mano se puede observar la textura fina de los granos de cuarzo cementados por sílice. A medida que se acerca a las pizarras, se convierte ya en cuarcitas grisáceas, esto se

aprecia porque sus granos están soldados. (Chura, 2016).

Tabla 1: Relación de densidad y porosidad.

Tipo de roca	Densidad (Kg/m ³)	Porosidad (%)
Cuarcita	2650 - 2750	0.1 - 0.5

Fuente: (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 2004)

Elaboración: Propia

3.3 Condiciones de agua subterránea

La presencia del agua en la masa rocosa de las excavaciones subterráneas tiene un efecto adverso en las condiciones de estabilidad de las mismas. El principal efecto de la presencia del agua en la masa rocosa es la presión que ejerce en las discontinuidades estructurales disminuyendo la resistencia al corte y favoreciendo la inestabilidad de las labores subterráneas.

Se ha observado en el nivel 4700, la presencia de agua que corresponde a condiciones “húmedas”, lo cual se debe a que el área de evaluación se ubica cercana a estructuras.

Las características de presencia del agua en el presente estudio han sido consideradas en la valoración de la calidad de la masa rocosa, con lo cual se han realizado todos los cálculos de diseño.

El contenido de agua que presentan las rocas en mención está muy ligado a la porosidad que presentan, debido a su alta impermeabilidad las rocas metamórficas indicadas se asemejan debido a su composición mineralógica y al tipo de grano que presentan en su estructura.

Tabla 2: Contenido de agua roca cuarcita.

Parámetros	Muestra.1	Muestra.2
Peso tara (g)	47.6	48.6
Peso muestra húmeda + tara (g)	131.2	115
Peso muestra seca + tara (g)	131.17	114.94
peso agua (g)	0.03	0.06
Peso muestra húmeda (g)	83.6	66.4
Peso muestra seca (g)	83.57	66.34
W(%)	0.04	0.09
Promedio	0.09	

Fuente: (Universidad Nacional del Altiplano. (2019). Laboratorio de Geotecnia y Geomecánica).

Elaboración: Propia.

3.4 Densidad

La roca pizarra y cuarcita presenta una densidad promedio, como se muestra en la tabla 3, pruebas realizadas en laboratorio y asumiendo el contenido de agua en campo (in situ) de los núcleos, se muestran en la siguiente tabla. (Blanco, 2005).

Tabla 3: Densidad de la roca cuarcita.

Muestra	Peso (g)	vol. (cm ³)	In situ W (%)	Densidad
Muest-1	442.87	139.8	0.15	2.75
Muest-2	443.13	139.88	0.15	2.75

Fuente: Universidad Nacional del Altiplano. (2019). Laboratorio de geotecnia y geomecánica

Elaboración: Propia.

3.5 Resistencia de la roca intacta

En relación a la resistencia de la roca intacta, uno de los parámetros más importantes del comportamiento mecánico de la roca intacta, es la resistencia compresiva uniaxial (σ_c).

Los valores de σ_c fueron obtenidos mediante los siguientes procedimientos.

- Ensayo de muestras con Equipo de Carga Puntual.
- Ensayos in-situ de impacto con el martillo Schmidt de dureza.

La resistencia compresiva uniaxial ha sido determinada en cada estación de mapeo geomecánico y esta información esta consignada en los formatos de mapeo geotécnico. Para propósitos de presentación se han hallado valores promedio de la resistencia compresiva siendo los resultados los siguientes:

Tabla 4: Ensayo de resistencia a la compresión simple de la roca cuarcita.

Id	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg-f)	UCV (Mpa)
S1	4.46	8.95	15.62	43050	270.23
S2	4.47	8.91	15.69	40490	253.03

Fuente: Universidad Nacional del Altiplano. (2019). Laboratorio de Geotecnia y Geomecánica.

Elaboración: Propia.

Tabla 5: Clasificación de las rocas de acuerdo con su resistencia a la compresión.

Resistencia en Mpa	Condición	Descripción
160 a 320	Resistencia muy alta	Cuarcita: rocas ígneas densas de grano fino

Fuente: Universidad Nacional del Altiplano. (2019). Laboratorio de Geotecnia y Geomecánica.

Elaboración: Propia

3.6 Deformación

La deformación de la cuarcita, cuando se somete los núcleos de roca a una carga en ambos casos estos tiende a una ruptura, durante el período de aplicación del esfuerzo, este y la deformación son inseparables por lo que al estudiar su deformación mediante gráficas conocidas como Esfuerzo-Deformación. (González, 2002).

4 Resultados y discusiones

4.1 Distribución de discontinuidades

Para establecer las características de la distribución de discontinuidades tanto mayores como menores, el procesamiento de los datos orientaciones se realizó mediante técnicas de proyección estereográfica equiarial, utilizando la versión avanzada del programa de computo dips versión 6.0 (2012) Rocscience, elaborado por la M.S. diederichs y E. Hoek.

Del análisis de los resultados obtenidos se señala lo siguiente: En la zona de la rampa principal se tienen claramente definidos tres sistemas estructurales principales y dos secundarios que afectan a la zona, la primera con orientación NWW – SEE teniendo como buzamiento y dirección de buzamiento dip/dip dirección de 78/217. Este es un sistema principal, la segunda con orientación NN E – SS W con dip/dip dirección de 83/134 sistema principal. La tercera con orientación NN E – SS W con dip/dip

dirección de 38/92. Sistema principal, la cuarta con orientación NN W – SS E con dip/dip dirección de 43/12. Sistema secundario, la quinta con orientación NN E – SS W con dip/dip dirección de 53/330. Sistema secundario.

La distribución de las discontinuidades a nivel composito en el nivel 4700 (cámara de refugio minero), revela que en toda la zona de evaluación se presenta tres arreglos estructurales, donde se dan cinco sistemas típicos de discontinuidad:

Tabla 6: Distribución de discontinuidades.

Set	Dip	Dip Dir
S1	78	217
S2	83	134
S3	38	92
S4	43	12
S5	53	330

Fuente. Área de geomecánica Titan

Elaboración. Propia.

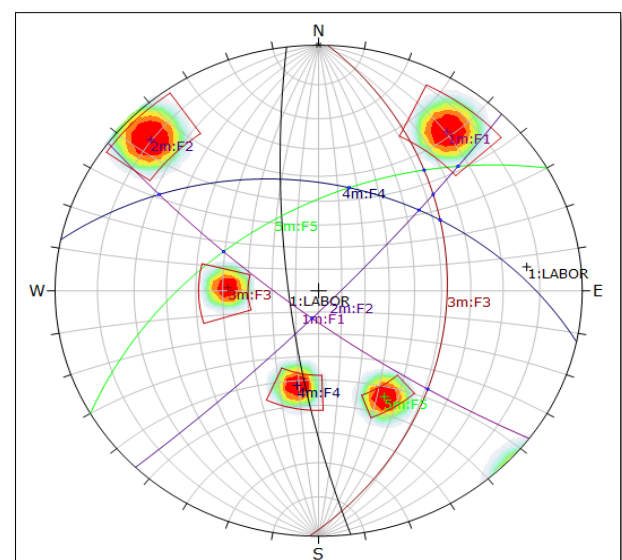


Figura 1. Diagrama estereográfico de planos de los sistemas principales de estructura.

Elaboración. Propia

Los resultados en el diagrama estereográfico son de una densidad máxima es 19.93%.

En el mapeo geomecánico se observa con el programa dips, que a la dirección de las discontinuidades se observa que existen cuñas que van a requerir sostenimiento para estabilizar la zona.

En el diagrama de rosetas se muestra la orientación de los sistemas principales de la zona.

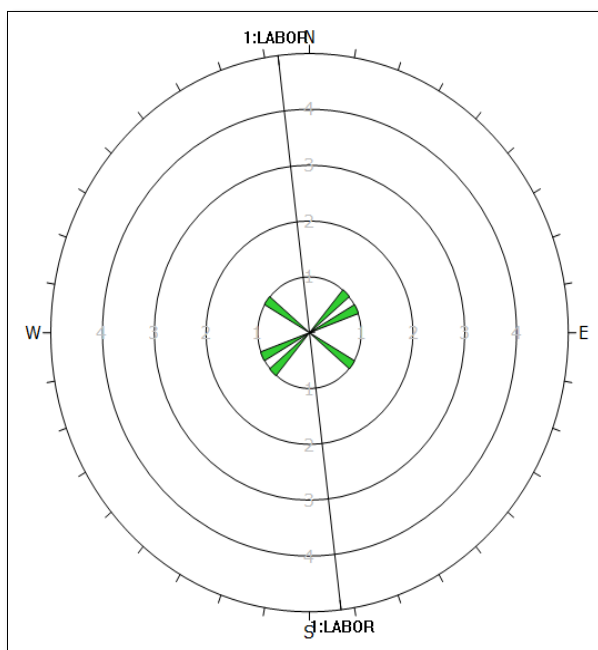


Figura 2. Diagrama de rosetas de los sistemas principales de estructuras, orientación de los sistemas principales de la zona con respecto a la orientación de la cámara de refugio.

Elaboración. Propia

Los resultados del diagrama de rosetas son:

- Face normal plung = 90.0
- Bin Size = 10°
- Planes plotted = 3
- Minimun angle to plot = 45.00°
- Maximun angle to plot = 90.0°

4.2 Aspectos estructurales

Las características estructurales se establecieron mediante tratamiento estadístico de la información registrada en el mapeo geotécnico, la que se trató de compatibilizar con las observaciones in-situ.

En cuanto a las estructuras mayores, general conformados por las diaclasas, estas tienen las siguientes características estructurales:

- Persistencias de 3 – 10m.
- Espaciamientos de 0.06 a 0.2m.
- Aperturas menores a 0.1 – 1.0mm.
- Superficies ligeramente rugosas.
- Relleno duro menor a 5mm
- Superficies ligeramente intemperizadas.
- Condiciones de agua: húmedo

4.3 Clasificación de la masa rocosa

La clasificación geomecánica de la masa rocosa del área de evaluación.

Tomando como referencia los valores de RMR de Bieniawski (1989), podemos señalar que la calidad de la masa rocosa es: Regular (Clase III-A, RMR 41-50).

Tabla 7: RMR según la tabla de Bieniawski.

N° Estación	Tipo de roca	RMR	Roca según RMR
EN 1	Cuarcita	51	Regular
EN 2	Cuarcita	46	Regular

Fuente. Área de geomecánica Titan

Elaboración. Propia.

Esta información es tomada como parámetro de primera importancia para el establecimiento de la zonificación geomecánica de esta zona de evaluación.

4.4 Zonificación geomecánica de la masa rocosa

En la zonificación geomecánica del macizo rocoso se obtuvo un RMR de 51 a 46 de una calidad de roca regular

Tabla 8: Delimitación de los dominios estructurales.

Estación	Tipo de roca	Rango RMR	Calidad roca
EN (1)	Cuarcita	51	Regular
EN (2)	Cuarcita	46	Regular

Fuente. Área de geomecánica Titan

Elaboración. Propia.

Esfuerzos in-situ.

Se ha estimado que el esfuerzo in-situ vertical es del orden de 9.22 a 14.49 MPa para una profundidad 683.414m. El valor de K (Relación del esfuerzo horizontal con el esfuerzo vertical) considerado es alrededor de 1.57.

4.5 Unidades Geomecánicas

De acuerdo a la información geomecánica analizada, se definieron una unidad principal que corresponde a Caliza gris oscuro, a continuación se hace la descripción de la unidad definida:

Representa 100% del macizo rocoso, con un grado de fracturamiento de RQD de 50-75%, su resistencia a la compresión uniaxial y presenta contenido de humedad. De acuerdo a los antecedentes descritos, la calidad del macizo

rocoso presente en esta unidad, es de “Regular B” con un rango de RMR entre 41-50 (Según RMR de Bieniawski)

4.6 Análisis de esfuerzos y deformaciones por el método de elementos finitos (FEM).

Mediante el uso del software Phase2 v 8.0 de la empresa Rocscience analizamos el comportamiento de los esfuerzos y deformaciones presentes en dimensionar el sostenimiento para la cámara de refugio minero.

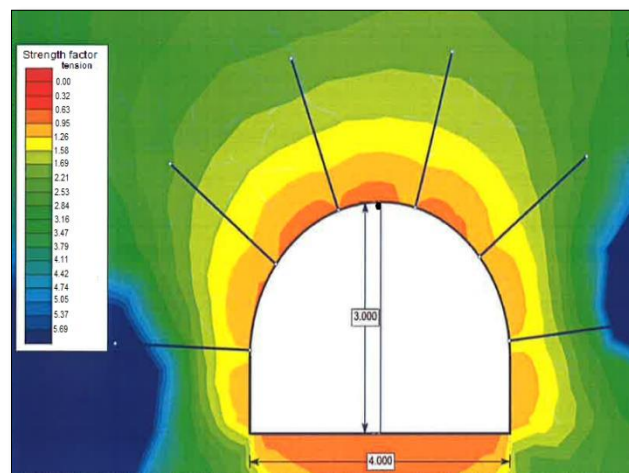


Figura 3. Isovalores de factor de seguridad (F.S.) se aprecia que los F.S. están cercanos a la unidad después de instalar el sostenimiento de pernos helicoidales de 7 pies.

Elaboración. Propia

Como data de entrada se ha utilizado la información mostrada de los ítems anteriores. Los resultados de dicha simulación se muestran en la figura siguiente.

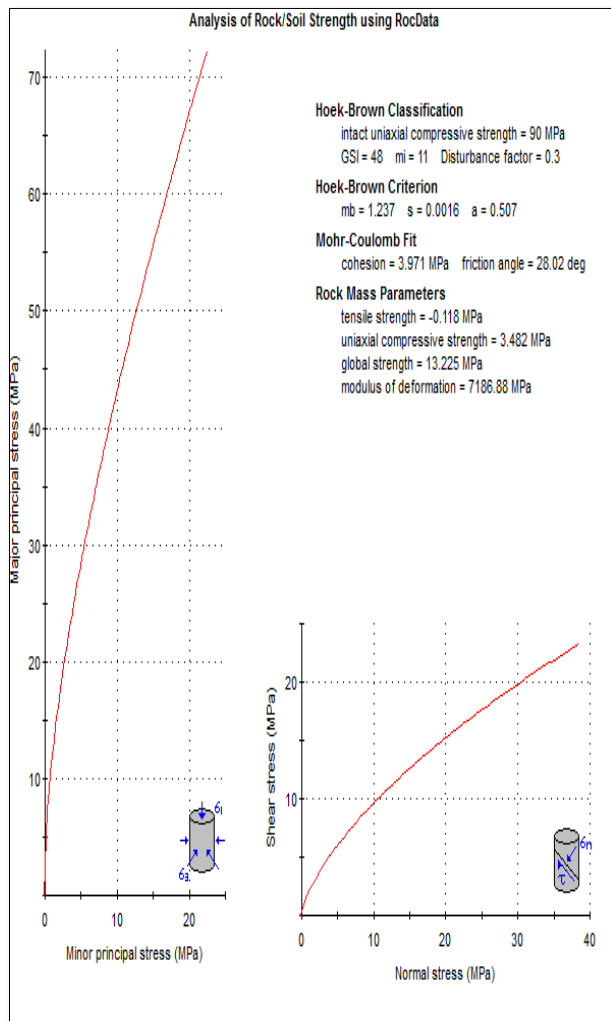


Figura 4. Parámetros mecánicos de la masa rocosa.

Elaboración. Propia

Asimismo para estimar los parámetros de la masa rocosa se utilizó el software RocData v 3.0.

4.7 Estructura controlada

Para analizar la estabilidad según criterio, se ha utilizado el programa UNWEDGE de la empresa Rocscience Inc. V 3.004 (2004) para analizar la formación de cuñas y la estabilidad de las mismas. Según este análisis se observan la formación de cuñas inestables tanto en el techo y en las paredes de la excavación, por lo que se requiere el uso obligatorio de sostenimiento.

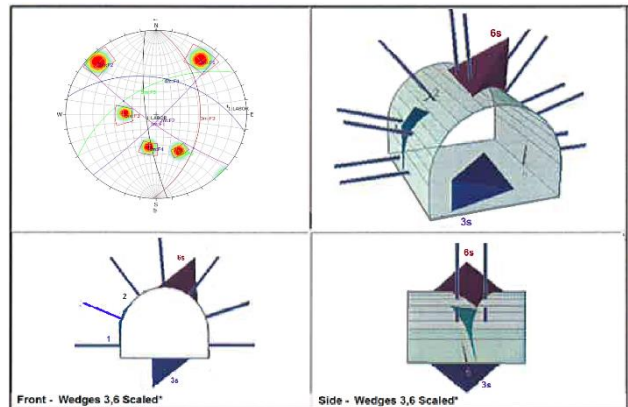


Figura 5. Estabilización de cuñas en el techo utilizando pernos helicoidales cementados.

Elaboración. Propia

Los resultados del análisis indican la formación de cuñas en el techo, los cuales se encuentran con un factor de seguridad (F.S) de 0.683. Para controlar la estabilidad de estas cuñas menores se requiere el uso de pernos cementados ubicados de manera sistemática espaciados a 1.20m y longitud de 2.10m con un mejoramiento de (F.S) a 4.432 en la cámara de refugio minero.

4.8 Sostenimiento de las excavaciones

Si bien es cierto que las labores deben excavarse respetando los RH máximos admisibles, se realizó el análisis que permita determinar el tipo de sostenimiento a emplearse, esto con el objetivo de contener bloques y material alterado propios del macizo rocoso.

Para definir los sistemas de sostenimiento, se consideró la estimación mediante metodologías empíricas de Grimstad and Barton (1994) modificado para Sociedad Minera Corona (2012), que relaciona la calidad del macizo rocoso expresado por el valor de Q de Barton y/o RMR de Bienawski y la luz de la excavación (S)

ajustada por un factor de seguridad según el tipo de excavación (ESR, Excavación Support Ratio). En el plano geomecánico elaborado para el proyecto, se determinaron los rango de valores de RMR_{β} . De manera que en la estimación de sostenimiento, se considera como labores permanentes y su valor para el parámetro ESR igual a 1.6.

Tabla 9: Dimensiones de diseño.

Labor	Luz máxima (m)	ESR	Luz/ESR
Cámara de refugio	4	1.6	2.5

Fuente. Área de geomecánica Titan

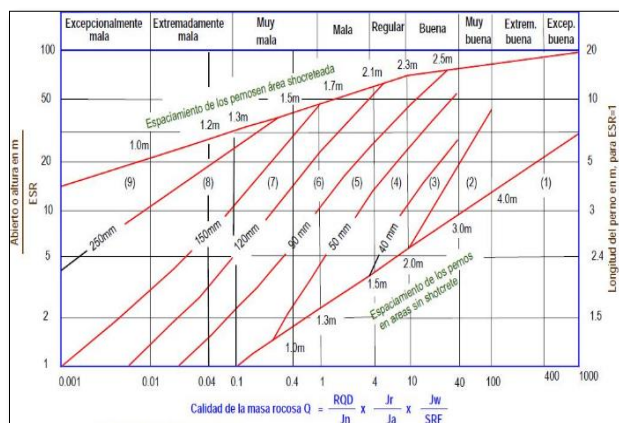


Figura 6. Gráfica de Grimstad and Barton (1994) define los requerimientos de sostenimiento.

Elaboración. Propia.

4.9 Categoría de reforzamiento

- 1) Sin sostenimiento
- 2) Pernos esporádicos
- 3) Pernos sistemático
- 4) Pernos sistemáticos con Shotcrete sin refuerzo de 40 – 100 mm de espesor.

- 5) Shotcrete reforzado con fibras de 50 – 90mm y pernos.
- 6) Shotcrete reforzado con fibras de 90 – 120 mm y pernos.
- 7) Shotcrete reforzado con fibras de 120 – 150 mm y pernos.
- 8) Shotcrete reforzado con fibras > 150mm, con arcos de acero (cerchas) reforzados con shotcrete y pernos.
- 9) Reforzamiento con concreto armado.

A partir del tipo de labor, calidad de macizo rocoso, se define el tipo de sostenimiento a emplearse, de acuerdo a los estándares establecidos en tabla geomecánica.

CODIGO DE COLORES	CLASE RMR	DESCRIPCION CLASE DE ROCA	EVALUACION SEGUN RMR	GSi	GRADO DE ESTABILIDAD	TEMPORALES <= 3 AÑOS	PERMANENTE > 3 AÑOS
[Color Amarillo]	I	MUY BUENA	81- 100	LF/B	MUY ESTABLE	Autosoporte	Autosoporte
[Color Azul claro]	II A	BUENA A	71- 80	LF/R, F/B	ESTABLE	Split Set ocasional o puntual	Perno Helicoidal ocasional o puntual
[Color Azul oscuro]	II B	BUENA B	61- 70	F/R			
[Color Verde claro]	III A	REGULAR A	51- 60	F/P, MF/R	MED. ESTABLE A MED.	Split Set sistemático espaciado según A MED.	perno Helicoidal sistemático esp. Según
[Color Verde oscuro]	III B	REGULAR B	41- 50	MF/P, IF/R			
[Color Naranja]	IV A	POBRE A	31- 40	MF/MP, IF/P	INESTABLE	Shotcrete e=2" y/o cuadros e= 1.2- 1.5m	Shotcrete e=2" y/o Gmbras H4 e = 1.2- 1.5
[Color Magenta]	IV B	POBRE B	21- 30	IF/MP			
[Color Rojo]	V	MUY POBRE	0- 20	T/MP	MUY INESTABLE	Cuadros e = 0.5 - 1.0 m	Gmbras H4 e = 0.5- 1.0m

Figura 7. Sostenimiento para cada unidad geomecánica.

Elaboración. Propia

De lo anteriormente analizado el sostenimiento recomendado por la tabla geomecánica correspondería a pernos helicoides de 2.10m + malla electrosoldada. Adicionalmente por ser una labor permanente se recomienda colocar una capa de 3" de shotcrete en la cámara minera.

Si bien, los estándares nos entregan una buena referencia de sostenimiento, deben ser usadas solo como guía, puesto que el diseño de

sostenimiento siempre debe estar sujeto a las condiciones locales de la excavación, por lo anterior, es fundamental realizar un estricto seguimiento y control geomecánico mediante mapeo y proyección estructural a medida que se desarrolla las labores.

5 Agradecimientos

A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, a la Facultad de Ingeniería de Minas, a sus docentes y administrativos por el apoyo, las enseñanzas y las orientaciones brindadas durante mi formación profesional.

6 Conclusiones

De acuerdo a la información geomecánica analizada, se definieron una unidad principal que corresponde a la cuarcita, a continuación se hace la descripción de la unidad definida. La unidad geomecánica 1, representa 100% del macizo rocoso, con un grado de fracturamiento de RQD de 50-75% su resistencia a la compresión uniaxial promedio es de 250 MPa y presenta contenido de humedad. De acuerdo a los antecedentes descritos, la calidad del macizo rocoso presente de esta unidad, es de “Regular B” con un rango de RMR entre 41 – 50 (según RMR de Bienawski).

La resistencia compresiva uniaxial ha sido determinada mediante el ensayo de carga puntual, resultando el valor de 270 MPa. Este valor nos indica que la roca intacta es de resistencia muy buena. Se ha observado en el nivel 4700, la presencia del agua que corresponde a condiciones

“húmedas”, lo cual se debe a que el área de evaluación se ubica cercana a estructuras formadas por sistemas de diaclasamiento.

Se ha estimado que el esfuerzo in-situ vertical es del orden de 9,22 a 14.49 MPa para una profundidad 683.141m. El valor de K (Relación del esfuerzo horizontal con el esfuerzo vertical) considerado es alrededor de 1.57. El sostenimiento en labores de desarrollo y preparación se realizara de acuerdo a lo establecido en los estándares en la Tabla geomecánica.

El sostenimiento recomendado por la tabla geomecánica correspondería a pernos helicoides de 2.10m + malla electrosoldada. Adicionalmente por ser una labor permanente se recomienda colocar una capa de 3” de shotcrete.

7 Referencias

- Bedoya, E. (2018). *Diseño y sostenimiento del bypass 942 (nivel 3340) para optimizar la seguridad de las operaciones en la mina chipmo*. (Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa). Tesis. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5055>
- Ceras, A. (2015). *Influencia del sostenimiento en el estrés de roca en el tunel dr 09 en la empresa de generación eléctrica Cheves S.A.* (Universidad Nacional Del Centro Del Perú Escuela De Posgrado). Tesis. <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/2154/Ceras>

- Cuadros.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chura, W. (2016). *Caracterización geomecánica 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). Tesis.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4489>
- Escalante, H. (2017). *Mejoramiento del sistema de sostenimiento, con madera, mediante pernos split set y malla electrosoldada en labores de explotación de la Empresa “MACDESA”-Arequipa*. (Universidad Nacional del Altiplano). Tesis.
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6129/Escalante_Guerra_Hernan_Amador.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Guaman, V. (2013). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso En La Cantera De Materiales De Construcción “Las Victorias”*. (Universidad De Cuenca). Tesis.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4312/3/Tesina.pdf>
- Jiménez, A. (2001). *Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país*. (Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa). Tesis.
<https://www.redalyc.org/pdf/2235/223517652004.pdf>
- Loarte, O. (2018). *Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera toma la mano – Cormitoma s.a. Tesis*. (Universidad Nacional “Santiago Antúnez De Mayolo”). Tesis.
http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2383/T033_45462469_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mamani, R. (2018). *Diseño geotécnico del crucero xc 410, mina Shalca*. (Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión). Tesis.
<http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/604/1/TESIS.pdf>
- Pantaleon, H. (2017). *Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea*. (Universidad Católica Del Perú). Tesis.
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20500.12404/8689>
- Sosa, J. (2016). *“Evaluación Geomecánica Para El Diseño De Tajeos De Producción En La Unidad Minera Cerro Lindo – Compañía Minera Milpo”*. (Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion). Tesis.
http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/250/1/T026_44726067_T.pdf