

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



**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR EL DISEÑO DE
SOSTENIMIENTO EN MINERÍA SUBTERRÁNEA: CASO ANA MARÍA -
RINCONADA**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

WILSON BAYLON UCHAMACO ALANOCA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS**

**PUNO - PERU
2019**



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

**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR EL DISEÑO DE
SOSTENIMIENTO EN MINERÍA SUBTERRÁNEA: CASO ANA MARÍA -
RINCONADA**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PRESENTADO POR:**

WILSON BAYLON UCHAMACO ALANOCA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS**

**APROBADO POR:
PRESIDENTE**

:

Ing. DAVID VELASQUEZ MEDINA

PRIMER MIEMBRO

:

M. Sc. Ing. LUCIO QUEA GUTIERREZ

SEGUNDO MIEMBRO

:

Ing. EMMANUEL HERNÁN TUMY GÓMEZ

TEMA: Geomecanica

AREA: Ingeniería de Minas

FECHA DE SUSTENTACION: 20 – Noviembre - 2019

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

**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR EL DISEÑO DE
SOSTENIMIENTO EN MINERÍA SUBTERRÁNEA: CASO ANA MARÍA -
RINCONADA**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PRESENTADO POR:**

WILSON BAYLON UCHAMACO ALANOCA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS**

**APROBADO POR:
PRESIDENTE**

:

Ing. DAVID VELASQUEZ MEDINA

PRIMER MIEMBRO

:

M. Sc. Ing. LUCIO QUEA GUTIERREZ

SEGUNDO MIEMBRO

:

Ing. EMMANUEL HERNÁN TUMY GÓMEZ

TEMA: Geomecanica

AREA: Ingeniería de Minas

FECHA DE SUSTENTACION: 20 – Noviembre - 2019

DEDICATORIA

Agradezco a DIOS y a la vida por darme la oportunidad de estar en este mundo.

Este trabajo se la dedico a mi familia quienes por ellos soy lo soy .Para mis padres TEOFILO Y SEGUNDINA por su apoyo, consejo, comprensión ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi carácter para conseguir mis objetivos.

Gracias también a mis queridos hermanos: NELY, REYNALDO Y ELVIO. Quienes me apoyaron incondicionalmente día a día en el transcurso de carrera Universitaria.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecer a mi alma Mater Universidad nacional del altiplano, porque en sus ambientes y escuela minas, recibí el conocimiento científico ingenieril y humano de cada uno de los docentes de la facultad de ingeniería de minas, escuela profesional de ingeniería de minas, cuyo ingeniero, maestros y doctores, que a lo largo de mi formación supieron transmitir sus amplios conocimientos y a la vez sus sabios consejos en aras de la formación integral de la investigación e innovación.

Agradecimiento en segundo lugar a los trabajadores administrativos de la facultad de ingeniería de minas, por los servicios de biblioteca especializado, registros, laboratorios y gabinete que complementaron acertadamente a mi formación integral del profesional ingeniero de minas.

También debo agradecer anónimamente a todas las empresas mineras de la región y del país, que sin la oportunidad que me hubieran dado las facilidades de hacerme de la experiencia profesional haciendo un contraste con los conocimientos teóricos y la práctica, no hubiera podido hacerme un profesional.

Wilson B. Uchamaco Alanoca

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	6
I. INTRODUCCIÓN	7
II. MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.1. Ubicación de acceso	12
2.2. Características geológicas del yacimiento.....	12
2.3. Características físico – mecánicas de la matriz rocosa.	13
2.4. Caracterización del macizo rocoso.....	13
2.5. Diseño de sostenimiento.....	16
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
3.1. Características físico – mecánico de la matriz y macizo rocoso	18
3.2. Caracterización del macizo rocoso conjunto.....	19
3.3. Modelamiento estructural en estado geomecánica	21
3.4. Modelamiento de deformacional de las labores en estado geomecánica	22
3.5. Modelamiento con formación de cuñas en el techo o hastial y las paredes con el concepto de factor de seguridad.	23
3.6. Diseño del sostenimiento.....	23
IV. CONCLUSIONES	26
V. BIBLIOGRAFÍA.....	26

EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA DETERMINAR EL DISEÑO DE SOSTENIMIENTO EN MINERÍA SUBTERRÁNEA: CASO ANA MARÍA – RINCONADA.

GEOMECHANICAL EVALUATION TO DETERMINE THE DESIGN OF SUPPORT IN UNDERGROUND MINING: ANA MARÍA - RINCONADA CASE.

Bach. Wilson Baylon Uchamaco Alanoca
<https://orcid.org./0000-0001-9368-6301>
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO – PERU
FACULTAD D EINGENIERIA DE MINAS
DIRECCION: AV. FLORAL 1153, CIUDAD UNIVERSITARIA
wilbayua@gmail.com FONO: 974216911

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es determinar las condiciones del macizo rocoso para caracterizar los tramos en galerías, para la determinación del Estado tensional-deformación al para diseñar las labores mineras y de este modo dar seguridad al personal y equipos. Teniendo como método el desarrollo del estudio del caso que se realiza en dos etapas: Evaluación geomecánica con: recopilación de los datos de campo, que comprende el mapeo geomecánico, pruebas in situ de resistencia de la matriz rocosa, toma de muestras de roca en las labores y las características técnicas adaptables a los tipos de sostenimiento, trabajos de gabinete, elaboración de los planos y corte del mapeo geológico, ensayos en laboratorio de las muestras sistemáticamente obtenidas. Diseño con la clasificación de los datos en función a la geomecánica para el diseño del tipo de sostenimiento emplearse de acuerdo a la zonificación geomecánica sistematizadas realizada en las labores de acceso de la UEA. Ana María La Rinconada Puno, efectuado el 2016, utilizando materiales y equipos geomecánicos. Llegándose a la conclusión en la evaluación geomecánica con RMR89, la calidad de tipo III en pizarra y de tipo II en cuarcita y de diseño de sostenimiento con pernos de 1.80m. y con espaciado de 1.5 a 3.0 m.

Palabras Claves: Evaluación del macizo rocoso, zonificación del macizo rocoso, tipo de sostenimiento y elementos de sostenimiento.

ABSTRACT

The objective of the present investigation is to determine the conditions of the rock mass to characterize the sections in galleries, for the determination of the tension-deformation state when designing the mining work and thus giving security to the personnel and equipment. Having as a method the development of the case study that is carried out in two stages: Geomechanical evaluation with: collection of the field data, which includes the geomechanical mapping, in situ tests of resistance of the rock matrix, rock sampling in the tasks and technical characteristics adaptable to types of support, cabinet work, drawing up plans and cutting geological mapping, laboratory tests of systematically obtained samples. Design with the classification of the data according to the geomechanics for the design of the type of support used according to the systematized geomechanical zoning performed in the access tasks of the UEA. Ana Maria La Rinconada Puno, made in 2016, using materials and geomechanical equipment. At the conclusion in the geomechanical evaluation with RMR89, the quality of type III on slate and type II in quartzite and of support design with bolts of 1.80m. and with spacing of 1.5 to 3.0 m

Keywords: Characterization of the rock mass, zoning of the rock mass and type of support.

I. INTRODUCCIÓN

En la minería subterránea metálica la evaluación del macizo rocoso constituye uno de los procesos más importantes, pues en base a la caracterización del macizo rocoso se determina la calidad y la zonificación y a partir de ésta se determina el dimensionamiento de las labores mineras y la selección del tipo de sostenimiento a utilizarse para garantizar la seguridad de los trabajadores y de los equipos.

Es una característica que en los proyectos mineros de la U.E.A., Ana María – Rinconada, no se da la debida importancia en las operaciones mineras de minado al aspecto de la geomecánica de desconocimiento, esta permite a que las labores de acceso presenten condiciones inseguras y se presenten accidentes por

desprendimiento de rocas en labores en las cuales no se acondicionan los trabajos de sostenimiento.

El recurso humano está expuesto en las condiciones de inseguridad por desconocimiento del evaluación del macizo rocoso y su caracterización produciéndose accidentes fatales e incapacitantes en las labores de acceso y de operación, la misma que tiene relación con las estadísticas de accidentes proporcionadas por el ministerio de energía y minas, que nos indica que el 30% de los accidentes totales está asignado al desprendimiento de bloques (proyección de bloques de roca) a consecuencia de la falta de diseño en las dimensiones de las labores y relación del tipo de sostenimiento adecuado de acuerdo a las características del macizo rocoso.

Es necesario re nombrar que las labores mineras de la mina se encuentran a poca distancia con

respecto a la superficie desde el aspecto de estudio de la geotecnia se encuentran bastante alterados en superficie con precipitaciones sólidas y fluviales lo cual se da en la recarga de la infiltración con un valor mínimo de 2 mm y un máximo de 17.3 mm en las épocas de lluvia (enero, febrero y marzo) información proporcionada por el servicio nacional de meteorología e hidrología denominado SENAMHI, ponderados en los últimos años y que se tiene cuidado en la selección y diseño del tipo de sostenimiento seguro.

En base al estudio efectuado en la zona de la mina Ana María – Rinconada, sobre la aplicación de la geomecánica da como resultado de la calidad del macizo rocoso, según RMR₈₉, roca regular (III) a roca buena (II) y como dominio geotécnico de las propiedades de las discontinuidades dio el tipo, falla por el efecto cuna. Por consiguiente, se aplicara el sostenimiento por refuerzo activo, categoría por adherencia con encapsulantes de resina y cemento, controlando los peligros por desprendimiento de rocas y elevando el factor de seguridad en el proyecto (Chura – Lope, 2019), pero sin embargo en la mayoría de los estudios que se han venido realizando como consecuencia de la aparición de la geomecánica , data en la caracterización como una zonificación del lugar a formarse para su solución inmediata, pero no ha solucionado con un modelo adecuado que requiere de una investigación de la

caracterización, cabe mencionar en la bibliografía consultada en la que no se encontraron referencias. En lo que ve desarrolle una metodología para la caracterización geomecánica más representativa del comportamiento del macizo rocoso teniendo en cuenta sus características mecánicas y estructurales en los últimos las clasificaciones geomecánicas (Deere, Barton, etc.) que sólo se limitan a clasificar las rocas por estas metodologías, sin llegar a un modelo geomecánico (Cartaya – Pre, 2001), pero sin embargo respecto a la hora de determinación del diseño de sostenimiento, es necesario tener una información que tenga base a partir de los trabajos de investigación consolidado en artículos científicos, tesis de grado de Maestro conductor o la revisión de esta lectura se entiende que la minería subterránea, la geomecánica , incluye tanto el modelo geológico buscando aspectos tales como estructura del macizo, litología, contactos y distribución de litología geomorfología, cartografía, hidrogeología, discontinuidades, geofísica, sondeos, ensayo in situ y clasificaciones geomecánicas para pronosticar su comportamiento. (Cueva – Romero & J.G, Arena – Cabrera, J.A.) Lo que implicaría la importancia decisiva desde el punto de vista de la Geo mecánica especialmente referido al tema del macizo rocoso y haciendo como consigna que la “realización de la caracterización geomecánica del macizo

estudiado por sectores de excavación” se proponen los modelos geomecánico y modelos de interacción macizo-fortificación teniendo en cuenta el comportamiento mecánico-estructural del macizo rocoso y es posible mediante la clasificación de los macizos rocosos en modelos geomecánicos y modelos de interacción macizo-fortificación, dar a cada sector del macizo en tratamiento diferenciado, tanto del estudio tenso-deformacional como de la evacuación de la presión interna. (Cartaya – Pire, M., Blanco – Torrens, R.B., 2000)

Para abordar de manera conjunta lo anteriormente mencionado a partir de la investigación se debe llegar de índices comunes y de carácter amplio de comunicación entre todos los geomecánicos entre las más importantes tales como: RMR, Q, RSR y SRC es importante la fiabilidad de los índices para los distintos tipos de macizo rocoso y por lo que es necesario son necesarios los modelos que seleccionado una serie de factores geológicos, pueden predecir fiabilidad al comportamiento mecánico de un macizo rocoso frente a una excavación y estos modelos, denominados clasificaciones geomecánicas han de ser rápidos en su aplicación obteniendo los datos a partir de las técnicas de campo sencillas y que permiten realizar una gran cantidad de determinaciones, cuantitativas produciendo un índice que pueda ser utilizado para el cálculo de parámetros de diseño y

evaluación de sostenimiento y generales, incluyendo parámetros de matriz y macizo rocoso, cuya selección y puntuación cero el resultado de un proceso en que se realice una amplia casuística (Muñoz – Fernandez, L. M, Gonzales – Vallejo, L. J., 1987) para el caso de obras lineales como son túneles, socavones, galerías, cortadas que son de amplia aplicación en la minería como acceso y de preparación. En el trabajo fin de máster en el análisis y caracterización del comportamiento geomecánico del túnel con recubrimiento variable, a partir de la documentación preliminar y antecedentes geológicos-geotécnicos y posteriormente la simulación del Estado tensional del túnel proyectado y se han valorado los parámetros geomecánicos característicos de los materiales a atravesar y una vez definidos los umbrales de deformaciones admisibles asociado a la interacción terreno-sostenimiento, sean clasificado en secciones tipo sostenimiento y se han valorado la resistencia-rigidez comprobando su comportamiento (Hergenrether – Pérez, P.D., 2007) , a partir software para este efecto.

En la actualidad el diseño de sistemas de estabilización para los macizos rocosos que se realiza a partir de las formas geométricas de las labores y fundamentalmente de la calidad del macizo rocoso, pero que los índices vienen de casos generalizados que al aplicar a casos particulares deben ser investigados su adopción

en la cual queda comprometido el recurso humano de operaciones y de supervisión comprometidos y a que los aspectos teóricos y empíricos no garantizan en trabajos de tanta responsabilidad su gestión de riesgos. Las condiciones de estabilidad que exigen las excavaciones mineras subterráneas con entrada de personas y equipos, requieren de un análisis exhaustivo que permite identificar las variables críticas dentro del diseño tal que garantice una operación segura, entre estas se destaca los sistemas de fortificación, cuyo objetivo es crear una estructura eficiente para permitir al macizo rocoso auto soportarse, aunque las propiedades del soporte están debidamente analizadas por ensayos mecánicos, la interacción con el macizo rocoso aún no es de total entendimiento (Burgos – Cedeno, S.L., 2015) .

De este modo queda claro que para los casos de aplicación a distintas condiciones por ejemplo para el caso Barton que define categorías y estableciendo gráficos en zonas sugeridas que deben ser analizados cuidadosamente en función a un monitoreo en el terreno, para luego obtener los reparos en los índices o zonas de juzgamiento del terreno con relación al sostenimiento o no sostenimiento para completar respecto a la aplicación de la geomecánica , es necesario realizar una evaluación del macizo rocoso y otros aspectos, la aplicación al caso de la mina Hércules – Cia Mina Lincuna S.A., la aplicación

del sistema geomecánico RMR del nivel 4300 comprendido entre 21 a 75 y el Q entre 3 a 9, tomando en consideración para fines de sostenimiento a labores subterráneas con tipos de sostenimiento activos Shotcrete, pernos helicoidales, malla electrosoldada, pernos de fricción, pernos expansivos, cuadros de madera, pilares de madera y puntales, teniendo en cuenta el proceso constructivo y el RMQ hallado además que las rocas se clasifican en roca tipo I, II, III, IV, respectivamente y por Clasificación dinámica GSI, las rocas existentes en la mina con calidades buena $RMR < 70$, regular $RMR = 51$ a 70 y calidad mala $RMR = 21$ a 40 y las rocas son principalmente tufos, brechas andesitas y dacitas (Tacuri – Gamboa A.,, 2017), sin embargo también es necesario tener en consideración otras formas y resultados de aplicación de la geomecánica en otra mina del territorio nacional en la misma se observa. La calidad de la masa rocosa es variable y en este caso está asociada al comportamiento estructural de las vetas que es de buena a regular y que el diseño minero involucra distintos “dominios geomecánicos” además que se ha tomado el carácter temporal y/o permanente de las labores mineras; el sostenimiento es directamente proporcional al costo de daño que éstas generen. (García – Ramos, E.R., 2019) Además de más casos que relacionan a la aplicación al sostenimiento de las labores subterráneas en la mina Toma la Mano Cormitoma S.A. El sostenimiento de acuerdo a

los valores determinados por Bieniawski (RMR) y Barton (Q) en el caso del mineral no requiere sostenimiento, en el caso de la zona de contado el sostenimiento es esporádico, ya que el levantamiento litológico estructural se realizó en la zona mineralizada, en el caso de la pizarra el sostenimiento será a través de Split set de 5 a 7 pies especificados a 1,2 x 1,2 m., Forma de tres bolillas más malla electrosoldada en terrenos muy fracturados o cuadros de madera, en el caso de la cuarcita el sostenimiento será con puntales de seguridad y también en el caso de la granodiorita que es más un tanto rígido. (Loarte – Trujillo, O.J., 2018) Para tener en concepto cabal acerca de la importancia de la geomecánica en el proceso de diseño donde se interrelaciona el origen del material y su estado de condicionalidad a partir de la geología, el Estado de tensión o esfuerzo y la periodicidad de la deformación y con el Estado tensional diferenciado a través del tiempo, para tener un concepto para la investigación del estado de diseño con la participación defecto tiempo con relación al diseño con la acuciosidad en detalle con la adecuación del tipo de diseño y selección de sostenimiento a fin de darle la confiabilidad dentro del rango necesario y útil y su prioridad económica que justifique su aplicación ingenieril tal como deriva en el tema de la Geotecnia como solución en obras civiles y mineros realizado en la ciudad de Lima en abril del presente año y uno de las ponencias que resalta, el control de la

estabilidad de las excavaciones asociada a la explotación de un yacimiento comienza con el planteamiento y diseño de minado, en este caso la caracterización del macizo tiene un rol de la calidad que debe estar actualizado paralelo a la operación y para el sostenimiento (incluyendo el relleno y los pilares en el macizo) se deben establecerse estándares de control de calidad antes, durante y después de su instalación para materiales, equipos procedimiento y rendimiento. (Cordova – Rojas, 2019) (Cordoba – Rojas N.D., 2008)

El presente estudio de caso es la de determinar la evaluación del macizo rocoso para efectuar el diseño de sostenimiento activo aplicado en el área o zona de Morro Pelado en la E.U.A. Ana María – Rinconada en la Región Puno, de la provincia de San Antonio de Putina, distrito de Ananea. Usando el estudio en el terreno a través de procedimientos prácticos y descriptivos in situ.

El estudio en función de la hipótesis que se plantea satisfacer: La evaluación geomecánica, identifica los dominios geomecánicos y la zonificación correspondiente al diseño del tipo de sostenimiento para cada caso.

De este modo satisface las inquietudes de realizar la evaluación geomecánica de las labores a estudiar y del mismo modo de determinar el tipo de sostenimiento de acuerdo a la zonificación de las labores objeto de estudio. De este modo estará

dando solución a los problemas de caída de rocas que influye directamente en el rendimiento del elemento humano relacionado básicamente con la seguridad eliminando las condiciones inseguras referidas a la caída de rocas que es la fuente principal de los accidentes que se dan en la Unidad Ana María , La Rinconada, Ananea.

El procedimiento seguido por los múltiples autores bajo el tema de evaluación geomecánica es básicamente una descripción superficial con la ayuda de medios y mecanismos de uso práctico , para llegar a la caracterización del macizo rocoso y finalmente la zonificación de acuerdo a los índices que determinan la calidad del macizo rocoso en cambio con el tema de diseño de sostenimiento se realiza con procedimientos empíricos o prácticos muchas veces por analogía del tipo de sostenimiento aplicadas en otras minas que tienen características en cuanto al macizo rocoso y para los analistas se utilizan métodos apoyados por la física del terreno por análisis de cuñas o teoría de bloques y su condición de estabilidad y finalmente se realiza utilizando medios de la matemática en base a los modelos y su solución como medio continuo o discontinuo asemejando a las propiedades del material rocoso en este caso del macizo rocoso.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación de acceso

La E.U.A. Ana María – Rinconada, se encuentra la coordenada UTM N° 8 383 230 E; 451 924 de la Región de Puno, en la cordillera real de Carabaya entre los niveles de 4800 y 5200 m.s.n.m., De la provincia de San Antonio de Putina, distrito de Ananea en el paraje Rinconada (Ver anexo)

2.2. Características geológicas del yacimiento

El yacimiento e instalación mina se encuentra en la formación Sandia y Ananea (Velásquez, 2010) en cuya formación se encuentra las unidades lito estratigráficas consistente en:

Pizarras. Es una roca metamórfico foliadas, de grano fino compuesta por cristales de mica que se presenta en los planos de foliación existiendo variaciones en coloración negra (carbonaceas), rojas (óxido de hierro) y verdes (clorificadas)

Filitas. Es una gradación entre el metamorfismo de la pizarra y el esquisto las micas en sus planos de foliación se presentan más grandes que la pizarra.

Esquisto. Son rocas metamórficas en exclusividad de grano medio a grueso con minerales planares de micas claras y oscuras (moscovita y biotita)

Cuarcita. Se forman a partir de la metamorfización de las areniscas cuarzosas con variaciones de color blanco, rojizas o grises.

Intrusivo. Es una pegmatita constituido por cuarzo de lechoso en forma de dique espesores que oscilan de 1 a 4 m., y en forma de lentes de 4 a 15 m., Los cuales afloran en superficie y son los responsables de la mineralización aurífera de los mantos y vetas en las formaciones Sandía y Ananea.

2.3. Características físico – mecánicas de la matriz rocosa.

Está relacionada fundamentalmente a los parámetros a ensayar y reconocerse en el terreno y considerados para el diseño del sostenimiento.

a) Densidad (ρ)

Es la relación de la masa de la muestra sobre el volumen de la misma

$$\rho = m/v$$

b) Humedad (ω)

Es la comparación entre peso del agua contenida en la roca y el peso del sólido rocoso; $\omega = w_w/w_s$

c) Porosidad (η)

Es la equiparación entre el volumen de vacíos y el volumen de la probeta en muestra; $\eta(\%) = \frac{V_v}{V_m} \times 100$

d) Peso unitario (γ)

Relación entre el peso de la muestra y el volumen de la muestra $\gamma = \frac{V_v}{V_m}$

e) Alterabilidad

Propiedad de alterarse de la roca en presencia de los fenómenos atmosféricos este proceso físico – químico.

f) Ensayo USC. Compresión uniaxial (σ_c)

Se realiza en probetas de 55 mm con una $\varepsilon = 2$ de la relación $\sigma_c = F/A$

g) Deformabilidad. (ε)

La característica en la que se describe el comportamiento de la roca o probeta a la acción de la carga de ensayo hasta el punto de rotura y pueden ser:

- Elástico (rocas frágiles)
- Plástico (rocas deformables)
- Viscoso (roca en cedencia)

h) Permeabilidad (k)

Es una propiedad hidráulica de las rocas respecto al flujo de agua en la matriz rocosa.

2.4. Caracterización del macizo rocoso

En la caracterización del macizo rocoso interviene varios parámetros y que interviene en el comportamiento del macizo rocoso.

a) Parámetros en discontinuidades

- **Número de discontinuidades.** El número de discontinuidades está realizado por el número de set o familias (ISRM, 1981)
- **Orientación.** La orientación de una discontinuidad queda definida por su dirección de buzamiento lo que normalmente se conoce como dip – dir, de las estructuras de planos de falla, fractura, juntas y planos de sedimentación,

foliación o esquistosidad (Ferrer, M. et al. 1999)

- **Espaciado**, es el espacio perpendicular relativo a los planos de discontinuidad y que condiciona el tamaño de los bloques. (Ferrer, M. et al. 1999)
- **Abertura**. También es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad, cuando no existe relleno consistente. (Ferrer, M. et al. 1999)
- **Rugosidad**. Esta referenciada básicamente el comportamiento mecánico de resistencia al corte entre las paredes de la fractura, la alta rugosidad aumenta la resistencia al corte (τ) y que decrece con el espacio de separación entre las paredes y la presencia de relleno suave, en si la rugosidad son las imperfecciones de las paredes por la presencia de los minerales conformadores de la roca o de la creación de superficies escalonadas por los planos de foliación o esquistosidad. (Ferrer, M. et al. 1999).
- Está designado a través de perfiles típicos de rugosidad en escala milimétrica o centimétrica entre JRC de 0 a 20.
- **Alteración**. Se mide por el grado de meteorización del macizo rocoso, que en ocasiones puede ser necesario fragmentar un bloque de roca para observar la meteorización del macizo rocoso (ISRM 1981).

b) Parámetros mecánicos del material rocoso

- **Resistencia a la compresión**. Es el esfuerzo máximo que puede soportar la roca sin romperse, y si se hace el ensayo sin confinamiento se anota por USC resistencia a compresión simple, que entra como componente del cálculo del RMR y Q.
- **Módulo de elasticidad** (E_r) es la relación en una probeta de roca al 50% de la compresión con relación a la deformación al punto de rotura $E_r = \sigma_c / \epsilon$ ratio de Poisson (ν) se considera al nivel de deformación que relaciona deformación axial y la transversal $\vartheta = (\epsilon_l / \epsilon_t)$

c) Condiciones alrededor o entorno del macizo rocoso

• Flujo de agua y presión de agua

El flujo de agua en el macizo rocoso está relacionado al flujo en el medio poroso o su equivalente de flujo en las paredes de las fracturas del macizo rocoso, está controlado por la ecuación de Darcy.

$$Q = k i A$$

Que se diferencia con la permeabilidad k y con la porosidad de la roca y como nota en el caso de la pizarra que tiene alta porosidad, pero a la vez baja permeabilidad (k)

- **Presión de agua**, está relacionada a la presión piezométrica a partir de un taladro por las filtraciones o la acumulación de la presión de poro contenida en los espacios vacíos de la

roca o en las fracturas o incluso micro fracturas que es estudiado por la hidrogeología.

- Presión geostática (Stress) está definida por la presión vertical y la presión horizontal en función del coeficiente de empuje lateral K_0 que varía entre 0.3 a 0.5 como:

$$\sigma_v = \delta z$$

$$\sigma_h = k_0 \delta z$$

$$\delta = \text{peso unitario}$$

d) Ratios o coeficientes de caracterización del macizo rocoso

- Designación de la calidad de roca (RQD)
Propuesto por Deere et, al (1967), para asignar la calidad del macizo rocoso, basado en la recuperación de testigos de una perforación diamantina con aporte de núcleo.

RQD vs. Calidad de roca

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

Fuente: Deere 1988

$$RQD = \frac{\sum \text{longitud de testigo} > 10 \text{ cm}}{\text{longitud total logeado}}$$

Si no se dispone de testigos se mapea la superficie expuesta y usando la medición de las fracturas se calcula.

$$RQD = 115 - 3.3 J_v \quad ; J_v > 4.5$$

$$RQD = 100 \quad ; J_v \leq 4.5; \text{ donde:}$$

J_v = Número de juntas por m^3 . También es válido el parámetro λ - según la formulación de Priest y Hudson (juntas/m)

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

• Ratio del macizo rocoso (RMR)

(Rock Mass Ratio) propuesta por Bieniawski (1976), es la más utilizada y confiable porque se basa en la recuperación de testigos y usada para su determinación los siguientes parámetros de la roca.

1. USC, resistencia a compresión simple de la matriz rocosa.
2. RQD (Rock Quality Designation)
3. Espaciado de las discontinuidades.
4. Condición de la discontinuidad (longitud de la discontinuidad, abertura, rugosidad, relleno y alteración)
5. Resistencia de agua subterránea; por tanto

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

Para usar la ecuación de Mohr – Coulomb

$$\tau = c + \sigma \tan \phi ;$$

$$C = 5 RMR (KPa)$$

$$\phi = 5 + \frac{RMR}{2} (^\circ)$$

RMR₇₆ Vs. RMR₈₉

Parámetro	RMR ₇₆	RMR ₈₉
RQD y espaciado de los discontinuidades	8 – 50	8 – 40
Condición de discontinuidades	0 – 25	0 – 30
Presencia agua subterránea	0 – 10	0 – 15

Fuente: Bienwsky (1976)

• Índice Q (NGI) Norgian Geology Index

Propuesto por Bartón et.al (1974), aplicado para proponer la calidad en túneles y varía de 10^{-3} a 10^3 ; formulando:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_n}{SRF}; \text{ Donde:}$$

RQD = Calidad de roca.

J_n = Número de familias de discontinuidades.

J_r = Número de rugosidad de discontinuidades.

J_a = Número de alteración de discontinuidades.

J_w = Factor por presencia de agua por discontinuidades.

SRF = Factor de reducción por tensión, a lo cual se agrega el valor para su determinación.

$$De = \frac{\text{Apertura excavada (diámetro o altura m.)}}{\text{Ratio de soporte de excavación ESR}}$$

Valor de ESR Vs. Categoría de excavación

Categoría de excavación	ESR
A: Excavación temporal (mina)	3 – 5
B: Excavación permanente (mina, túneles)	1.6
C: Cámaras de almacenaje de agua	1.3
D: Túneles permanentes de trenes	1.0
E: Estaciones subterráneas nucleares	0.8

Fuente: Bartón et.al (1974)

Índice de tensión geológica GSI (Geological Stress)

Índice, Hoek & Brown, introduce en razón para valores $RMR \leq 20$, está dado para el macizo rocoso; estimación del GSI (Ver anexo)

Finalmente se proporciona las relaciones entre GSI, RMR y Q.

$$- RMR_{76} > 18 \rightarrow GSI = RMR$$

$$- RMR_{76} < 18 \rightarrow GSI = \text{No se utiliza}$$

$$- RMR_{89} > 23 \rightarrow GSI = RMR_{89} - 5$$

$$- RMR_{89} < 23 \rightarrow GSI = \text{No se utiliza}$$

$$- GSI = 9 \log Q' + 44 \quad Q' \text{ Índice modificado de Bartón } Q' = \frac{RQD}{J_r} \cdot \frac{J_a}{J_r}$$

2.5. Diseño de sostenimiento

a) Parámetros geomecánico por evaluación

La evaluación de las labores, sirve para un diseño de sostenimiento adecuado y considera los parámetros siguientes:

- Calidad geomecánica
- Estabilidad estructural
- Esfuerzos en la zona

- Parámetro mecánico
- Factores de seguridad

b) Parámetro operativo

Se asocia al uso de la labor y se tienen:

- Tiempo de uso
- Capacidad de carga
- Calidad del soporte
- Factor de seguridad
- Dimensionamiento
- Costo-beneficio

c) Elementos de sostenimiento

- Pernos de anclaje por adherencia.
- Resina cartuchos
- Cemento cartuchos e inyecciones
- Pernos de anclaje por fricción
 - Carga alta, perno mecánico
 - Carga baja, Split set y Swellex
- Elementos de soporte
 - Shotcrete
 - Cartuchos y simbras
 - Cuadros de madera
 - Soportes puntales
 - Mallas (Electrosoldadas, torsión y gallinero)

METODO

El presente estudio de caso usa el método de una investigación descriptiva y aplica activa de los elementos de sostenimiento y descriptivo por la parte evaluación, caracterización del macizo rocoso, su aplicación se reduce a una longitud de

700 m, con una sección de 3×3 m, o sea en labores lineales.

- Instrumento de medidas utilizados
 - Brújula Brunton (mediciones de Dipdir)
 - Esclerómetro o martillo Schmith (Medición por rebote de USC)
 - Plexometro Stanley (medición de continuidad, apertura y espaciamiento)
 - Picsa Stanley (determinación indirecta y practica de USC)
 - Wincha de 50m. (medición de distancias de fracturas por “detail line”)
- Registro de datos
 - Tablero acrílico A-4(preparación de croquis de estructuras en dominio)
 - Formato de notas(similar a libreta de campo pero con hojas formato)
 - Ábacos y tablas(para determinar en campo calidad, índice y tipo de roca)
- Dispositivos de ensayo
 - Saca testigos portátil(NX, HQ de 55m.m)
 - Cortadora y refrendado(disco y asiento disco)
 - Balanza graduado al centésimo de gramo(utilizado para ponderar peso)
 - Equipo compresión uniaxial (prensa de 2,000 KNewtons).
 - Los métodos de medición se realiza en campo, gabinete o laboratorio a partir de testigos de roca o muestras de roca intacta.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y discusión se hacen en función de los materiales y métodos, para coincidir con la metodología en su análisis de la matriz rocosa y macizo rocoso en su evaluación principalmente de los componentes mayores en este caso la pizarra y el relleno correspondiente en calcita.

3.1. Características físico – mecánico de la matriz y macizo rocoso

a. Densidad (ρ): De las pruebas efectuadas en el laboratorio de Geotecnia y Geomecánica de la Facultad de Ingeniería de Minas de la UNA – Puno, tomando en cada caso tres muestras cuyos resultados tenemos en el cuadro siguiente:

Resultados de densidad de pizarra y cuarcita insitu

Muestra	ρ		w (%)	
	Pizarra	Cuarcita	(%)Pizarra	Cuarcita
001	2.64	2.75	0.20	0.15
002	2.64	2.75	0.20	0.15
003	2.64	2.75	0.20	0.15

Fuente. UNA – Puno, Laboratorio de geotecnia y geomecánica 2015

De la misma se puede deducir que la roca metamórfica pizarra es una roca que tiene mayor porosidad que la cuarcita y por consiguiente menor densidad que la cuarcita que el comportamiento del macizo rocoso el relleno de la fractura por cuarcita o cuarzo es mayor por su inercia y estabilidad lo cual mejora el macizo

excepto en las fracturas recientes que no es coincidente a estos rellenos de fractura.

b. Humedad (w%) A nivel de muestras adecuadamente aisladas para conservar su humedad se tiene en el cuadro:

Resultados de humedad w (%)

Muestra	ρ		w (%)	
	Pizarra	Cuarcita	(%)Pizarra	Cuarcita
001	0.09	0.18		
002	0.09	0.18	0.09	0.08
003	0.09	0.18		

Fuente. UNA – Puno, Laboratorio de geotecnia y geomecánica 2015

Siendo la pizarra una roca metamórfico producto mineralógico de la arcilla en cambio la cuarcita también metamórfico pero con alto contenido de cuarzo y de poca porosidad e impermeable a comprensión de la pizarra porosa y permeable, así como el macizo rocoso la pizarra muestra mayor presión de poro a comparación de la cuarcita en menor proporción sólo a nivel de presión de poro equivalente.

c. Porosidad (η)

Relación de densidad (ρ) y porosidad (η)

Tipo de roca	ρ (Kg/m^3)	η (%)
Pizarra	2600 – 2700	0.1 – 0.5
Cuarcita	2650 - 2759	0.1 – 0.5

Fuente. UNA – Puno, Laboratorio de geotecnia y geomecánica 2015

Dos rocas metamórfico de carácter regional en términos generales son similares, en la cual la relación microscópica de las partículas de arcilla compensa a la textura como de la cuarcita quien

nivel superficie el daño es mayor frente a los fenómenos atmosféricos tiene menor resistencia a la pizarra que la cuarcita.

d. Resistencia en la matriz rocosa y el macizo rocoso en pizarra y cuarcita

Para entender mejor el comportamiento de la roca de la zona de la rinconada se muestra en la matriz rocosa y también en la pared de la fractura como dominio estructural del macizo rocoso.

Resistencia matriz y macizo rocoso de la pizarra (Pz) y cuarcita (Qzta)

Muestra	Matriz	USC (Mpa)	Macizo (Pz)	USC (Mpa)	\bar{x}
SF 1 – 2	93.13				84.60
SF 1 – 3	76.04				
SF 2 – 3		253.03			261.60
SF 2 – 1		270.23			
SF 1 – 1			48.96		48.96
SF 2 – 2				105.36	105.3

Fuente. UNA – Puno, Laboratorio de geotecnia y geomecánica 2015

En función de la matriz y del macizo se llega a establecer que las muestras de roca pizarra a nivel de matriz, muestran que su resistencia a compresión simple es de un tercio con respecto a la cuarcita, lo que explica que la cuarcita presenta una resistencia inicial mayor que la pizarra y a nivel de macizo el ensayo muestra que la pizarra es la mitad de la resistencia de la cuarcita, que en su conjunto es cuando el comportamiento de bloques hace que sea complejo desde el punto de

vista de la resistencia a la compresión, en parte explica que la fragilidad de la cuarcita rellene los espacios vacíos en cuanto se presenta a la acción combinada de esfuerzos normales y repercute sobre la roca cuarcita, que hace que en las labores o excavaciones se formen bloques de tamaño menor.

Los diversos ensayos tomados en la zona poco difieren a cerca de sus características en otras labores de la zona, lo que afirma que la roca intacta tiene una localización en cuanto a sus propiedades físico-mecánicas.

3.2. Caracterización del macizo rocoso conjunto

Uno de los aspectos determinantes para el diseño de elección de los soportes en una labor de carácter lineal, tal como se toma para el estudio de caso, con una metodología de análisis y estudio por estaciones. (1, 2, 3, 4 y 5) los valores se determina en base a la formulación descrita en materiales y métodos.

Caracterización del macizo rocoso e índice por estaciones

Estación	Coordenadas	Caracterización Macizo Rcoso						
		RQD %	RMR	GSI	Q	C (Mpa)	ϕ (°)	Notas
N° 1	E 451 900 N 8383344 Z 4842	70	49	44	4.67	0.24	29.5	
Cualificación		Regular	III		Media			
N° 2	E 452 060 N 8383417 Z 4.845	94	74	69	31.33	0.37	42	
Cualificación		excelente	II		Buena			
N° 3	E 452 258 N 8383 447 Z 4847	77	54	49	4.28	0.27	32	
Cualificación		Buena	III		Media			
N° 4	E 452 461 N 8383450 Z 4848	94	68	63	10.44	0.34	39	
Cualificación		Excelente	III		Buena			
N° 5	E 452497 N 383337 Z 48841	94	57	52	18.28	0.28	33.5	
Cualificación		Excelente	III		Buena			
N° 6	E 452612 N 838304 Z 4836	98	69	64	40.83	0.34	39.5	
Cualificación		Excelente	II		Muy buena			

Fuente: Elaborado a partir de la tesis Wilber Chura Lope (2016)

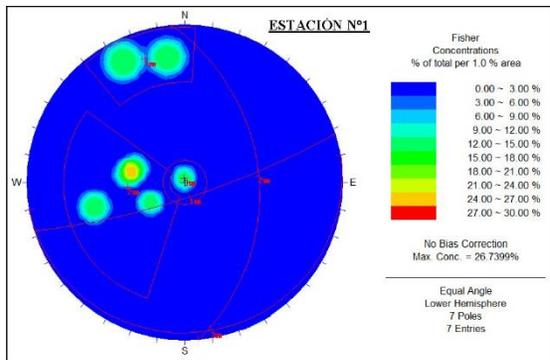
Del cuadro se indica que el RQD es un buen calificador del macizo, pero no es un buen caracterizador del macizo para fines de diseño de soporte, el mejor caracterizador de la roca y macizo rocoso es el RMR₈₉, en función a lo cual se realiza un análisis más detallado de las estadías

geomecánicas y le sigue para trabajos lineales en el caso del índice Q que requiere un análisis para el diseño como se da en los siguientes procedimientos.

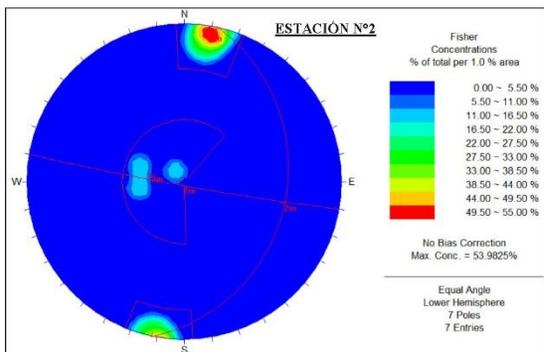
3.3. Modelamiento estructural en estadía geomecánica

Se realiza en función de los datos de estadías geomecánicas debidamente señalizada usando DIPS.

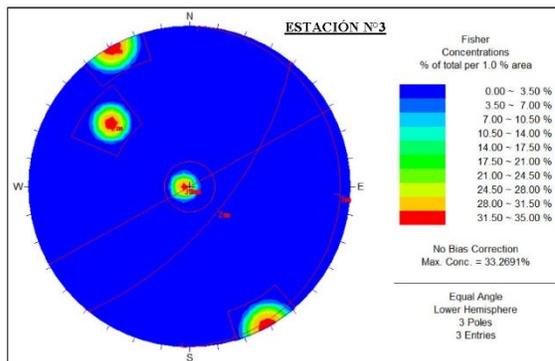
Estación N° 1



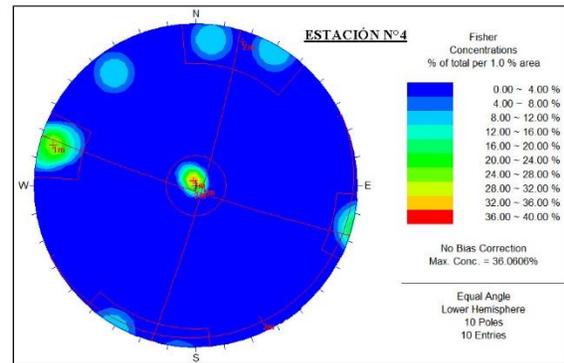
Estación N° 2



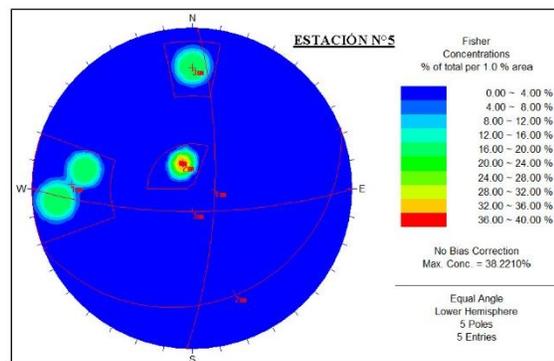
Estación N° 3



Estación N° 4



Estación N° 5



Estación N° 6

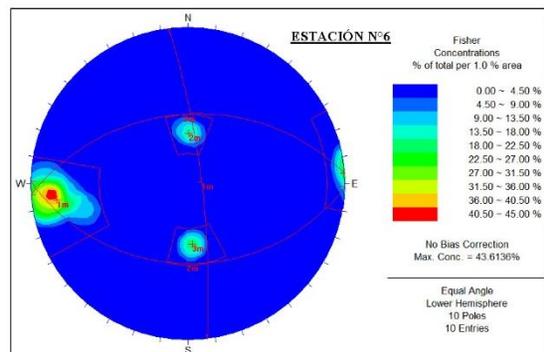


Figura 1. Dominio geotecnia N° 1, N° 2, N° 3, N° 4, N° 5, N° 6

Fuente: Wilber Chura L. (2016)

Resumen Estructural

Estación	Nº familias interceptas	Tipo de falla Techo /pared	Sostenimiento
Nº 1	3	Cuña	Si
Nº 2	2	No	No
Nº 3	3	Cuña	Si
Nº 4	3	Cuña	Si
Nº 5	3	Cuña	Si
Nº 6	3	Cuña	Si

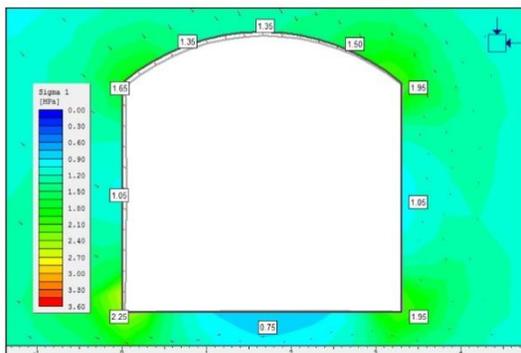
Fuente: Elaboración propia (2019)

De la cual se puede indicar que sólo el 27% no requiere un sostenimiento inmediato al menos y el 83% requiere sostenimiento inmediato de acuerdo al análisis en las labores.

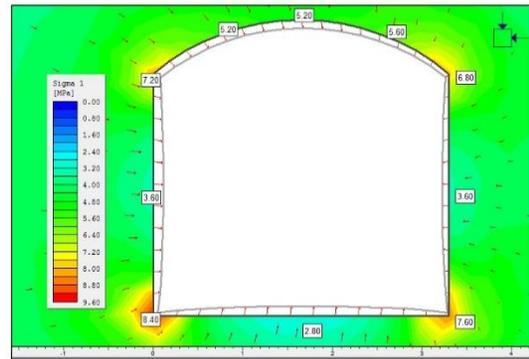
3.4. Modelamiento deformacional de las labores en estadía geomecánica

Se efectúa el análisis con los datos obtenidos a partir del software PHASES. Sin embargo es necesario precisar la posible deformación por lo que la cuña pueda ser expulsada muy lentamente.

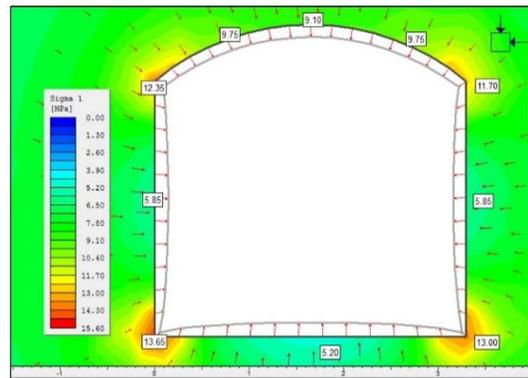
Estación Nº 1



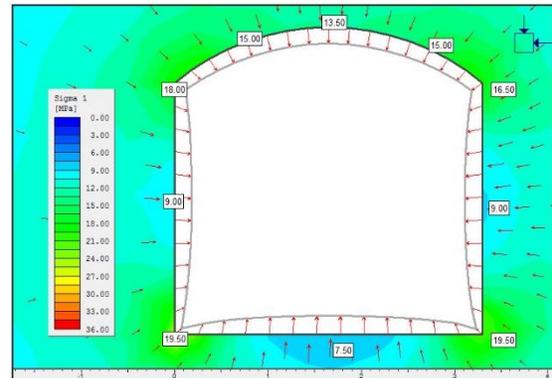
Estación Nº 2



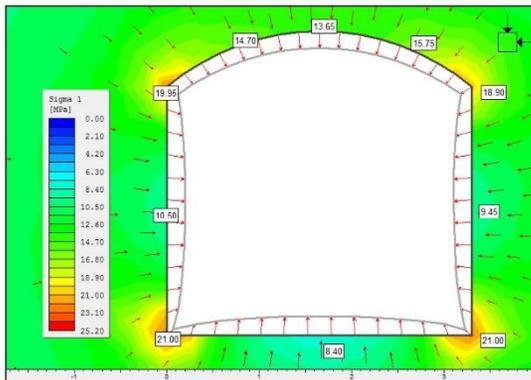
Estación Nº 3



Estación Nº 4



Estación N° 5



Estación N° 6

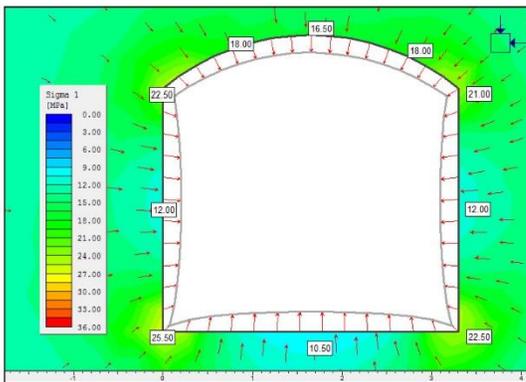


Figura 2. Tensiones en la labor de posible sostenimiento N° 1, N° 2, N° 3, N° 4, N° 5, N° 6

Fuente: Wilber Chura L. (2016)

Tensión Principal Mayor σ_i

Estación	Astrial derecho (Mpa)	Corona o techo (Mpa)	Astrial izquierdo (Mpa)
N° 1	1.05	1.36	1.05
N° 2	3.60	5.20	3.60
N° 3	5.85	9.10	5.85
N° 4	9.00	13.60	9.00
N° 5	10.50	13.65	9.45
N° 6	12.00	16.50	12.00

Fuente: Elaboración propia (2019)

Al comparar los valores de la tensión principal mayor σ_1 podemos observar que esta crece por

ejemplo en el hastial izquierdo o derecho hasta un 1200%; en igual modo en el techo o corona, sin embargo en la mayoría de las veces esta secuencia es por el encampane del cerro, pero las caídas de cuña a partir del techo, principalmente los que se encuentran cerca la superficie por efecto de las filtraciones de las aguas meteóricas en superficie en cambio hacia el fondo por efecto de tensión petrostática.

3.5. Modelamiento con formación de cuñas en el techo o hastial y las paredes con el concepto de factor de seguridad.

Para encontrar en el modelan miento el factor de seguridad se utilizó el software Unwedge, este aspecto de acordar los datos obtenidos presenta números altos, por la condición especial que en este caso tiene la roca pizarra y que además que las fracturas de génesis se encuentran mejor por la presencia de la cuarcita, por lo que este factor no es tan relevante en la determinación del diseño de sostenimiento.

3.6. Diseño del sostenimiento

El diseño del soporte de las cuñas y/o bloques irregulares dependerá básicamente de la condición geomecánica del macizo rocoso de manera que se salvaguarda el recurso humano y la integridad de los equipos utilizados en las labores de preparación y explotación puesto que la labor de estudio constituye el único

medio de acceso. La aplicación de los parámetros evaluados en forma secuencial constituye los principales parámetros para su determinación en base al análisis y la toma de decisiones en el momento de su implementación.

a) Concepto de diseño

Es común cometer algunos errores como:

- En muchos casos se analiza al detalle sólo los parámetros geomecánicos o sea la calidad del macizo rocoso que estructuralmente tiene características que satisfacen en una primera instancia la elección del soporte.
- Es también importante, porque en algunos casos es determinante en los parámetros operativos, a partir de la acción conjuncionada ha demostrado que en la práctica da resultados satisfactorios.

b) Elementos de sostenimiento

Es importante en el diseño de sostenimiento el concepto de interacción entre el macizo rocoso y el elemento de soporte, aunque esta relación no es tan visible requiere de una investigación en base a mediciones in situ y podemos correlacionar de mejor manera.

- **Por adherencia;** se realizan un soporte activo donde el macizo rocoso queda presionado por el elemento de soporte al

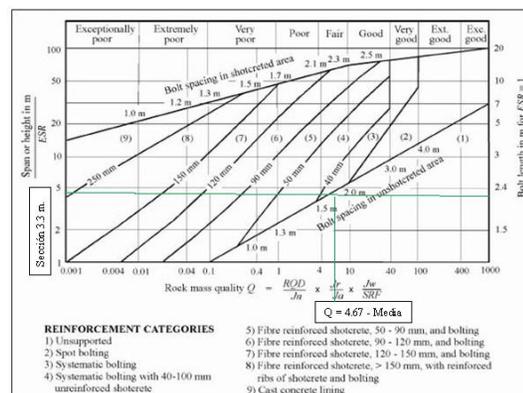
menos temporalmente, entre estas tenemos:

- **Perno helicoidal:** Consiste en una barra de acero con hilo helicoidal izquierdo sujeto a una fijación con placa y que se complementa su activación con inyección de concreto o resina que sirve para anclar mejor en toda su longitud.
- **Pernos de anclaje:** Que actúan para su adherencia con cartuchos de resina activantes desde su reacción química que lleva su endurecimiento final.

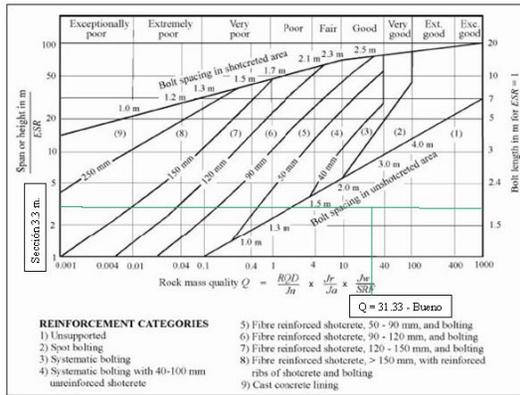
- **Por refuerzo**

Para ello utilizamos los valores de Q de Barton, NR, Lien R y Lunde (1974) En base al abaco de diseño de sostenimiento, en base a los siguientes valores y determinaciones en donde se tiene como variable fija el ancho de la labor de 3.3 m.

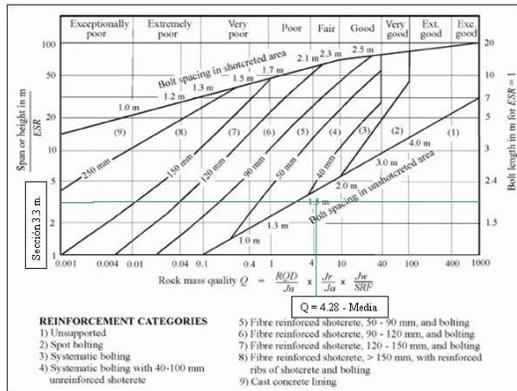
Estación N° 1



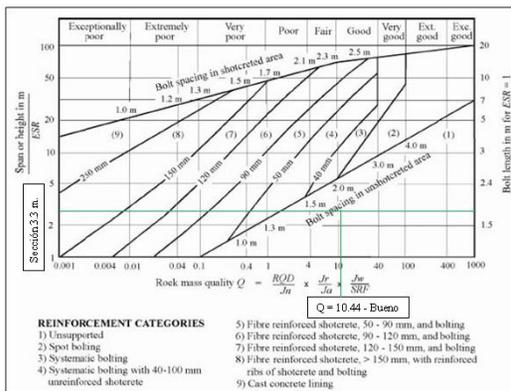
Estación N° 2



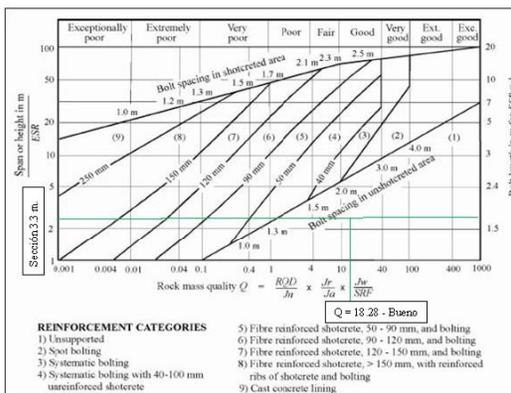
Estación N° 3



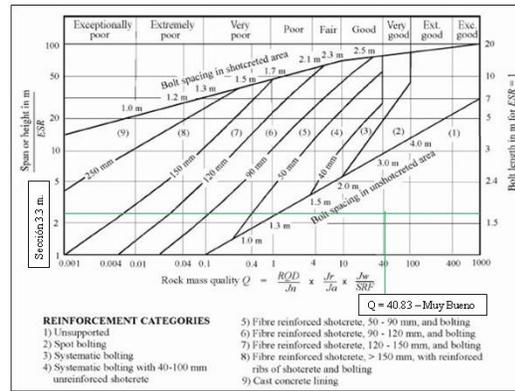
Estación N° 4



Estación N° 5



Estación N° 6



Diseño de sostenimiento estádia 1

Espaciamento de soporte por pernos, ϕ taladro 40 – 45 mm.

Estación	Sección m	Espaciado de pernos sin Shotcrete	Q/Calidad
N° 1	3.3	1.5 a 2.0 m	4.67 media
N° 2	3.3	2.0 a 3.0 m	31.33 buena
N° 3	3.3	1.5 a 2.0 m	4.28 media
N° 4	3.3	2.0 a 2.50 m	10.44 bueno
N° 5	3.3	2.0 a 2.50 m	18.28 bueno
N° 6	3.3	2.0 a 2.50 m	40.23 muy bueno

Fuente: Elaboración propia (2019)

De lo que podemos indicar que en índice Q medio la distancia promedio es de 1.5 a 2.0 m., en Q bueno de 2.0 a 3.0 m., Y en calidad de Q muy bueno de 3.0 a 3.50 m., lo cual es conducente a la relación entre calidad geomecánica del macizo rocoso y el elemento de soporte y en algunos casos determina también la presencia del agua en su flujo directamente y el Estado de viabilidad de la labor por circulación de personas y equipos de transporte, la longitud de pernos en todos los casos es de 1.8 m.

IV. CONCLUSIONES

La evaluación geomecánica en términos de caracterización del macizo rocoso en pizarra y cuarcita, principalmente en las zonas de estudio del caso se generaliza para el RMR₈₉ de calidad de tipo III, en pizarra y calidad tipo II en cuarcita y el dominio estructural del macizo rocoso está representado por fracturas y a su vez tiene como denominar común el bloque en forma de cuña por la intersección de 3 familias de fracturas de carácter semiortorómbico.

Además el índice Q según la correlación de data es el más apropiado que mejor evalúa en cada estadía geomecánica y que sirve de base para el diseño de sostenimiento en el caso de labores de carácter lineal que sirve de acceso e irremplazable de la zona de explotación dando como elección principal pernos de 1.8 m., (pies) y espaciado de perno a perno de manera conservadora de 1.5 a 3 m., dependiendo la misma de aplicación sobre cuña en forma puntual o sistemático separado en el caso del macizo rocoso disturbado.

V. BIBLIOGRAFÍA

Burgos – Cedeno, S.L. (2015). *Desarrollo de herramientas de diseño para la*

estabilidad de excavaciones con entrada de personal. (F. d.-S. Universidad de Chile, Ed.) Chile.

Cartaya – Pire, M., Blanco – Torrens, R.B. (2000). Caracterización biomecánica de los macizos rocosos en minas subterráneas de la región oriental del país. (I. S. Moa, Ed.) *Revista Minera y Geológica*, XVII(1).

Cartaya – Pre, M. (2001). *Caracterización económica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental del País Minería y Geología* (Vol. 22). Cuba: Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulko.orcid=223517652004>.

Chura – Lope, W. (2019). *Caracterización biomecánica del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la Unidad Económica Administrativa Ana María – Rinconada.* Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Repositorio Institucional UNA – PUNO.

Cordoba – Rojas N.D. (2008). *Geomecánica en el Minado Subterráneo: caso Mina Condestable.* (F. I. Universidad Nacional de Ingeniería, & s. d. Posgrado, Edits.) Lima, Perú.

- Cordova – Rojas, N. (2019). *La geomecánica en el proceso de diseño de minas Subterráneas; DCR Ingenieros S.R. Ltda.* (I. S. Geomecánica en Minería y obras civiles, Ed.) Lima, Perú.
- Cueva – Romero & J.G, Arena – Cabrera, J.A. (s.f.). *Caracterización biomecánica en minería subterránea: revisión de literatura científica.* (f. i. Universidad Privada del Norte, Ed.) Cajamarca, Perú.
- García – Ramos, E.R. (2019). *Evaluación Geomecánica en el diseño de sostenimiento subterráneo en la unidad económica administrativa Huachospauna – Cia. Minera Caudalosa S.A.* (F. d. Universidad nacional Daniel Alcides Carrión, Ed.) Cerro de Pasco, Perú.
- Hergenrether – Pérez, P.D. (2007). *Consideraciones y mecánicas en el diseño de secciones tipo para un túnel minero.* (M. d. Universidad de Oviedo, Ed.) España.
- Loarte – Trujillo, O.J. (2018). *Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera toma la mano – Cormitomas S.A.* (F. I. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Ed.) Huaraz, Perú.
- Muñoz – Fernández, L. M, Gonzales – Vallejo, L. J. (1987). *Aplicaciones de las clasificaciones mecánicas de excavaciones subterráneas.* España: Henares Rev. Geología, 1: 71 – 76 (1987).
- Tacuri – Gamboa A., (2017). *Evaluación Geomecánica del macizo rocoso para aplicación del sostenimiento en la mina Hércules – Cia Mina Lincuna S.A.* (F. I. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ed.)