

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**DISEÑO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE LA  
CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADO POR:**

**VICTOR EMIGDIO QUISPE HUANACO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO - PERU**

**2019**



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

**DISEÑO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN  
DEL MACIZO ROCOSO**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADO POR:**

**VICTOR EMIGDIO QUISPE HUANACO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**APROBADO POR:**

**PRESIDENTE**

**:**

  
**DR. JUAN MAYHUA PALOMINO**

**PRIMER MIEMBRO**

**:**

  
**ING. DAVID VELASQUEZ MEDINA**

**SEGUNDO MIEMBRO**

**:**

  
**M. SC. LUCIO QUEA GUTIERREZ**

**TEMA: geomecánica**

**ÁREA: ingeniería de minas**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 08 – Noviembre - 2019**

## DEDICATORIA

*A mi padres Emigdio Quispe  
Zarate y Barbara Lucia Huanaco  
Solis,*

*A mi hermano, a mis hijas y a mi  
familia más cercana*

*A todos ustedes es una satisfacción y un  
Privilegio dedicarles, con alegría y entusiasmo personal, profesional y  
También intelectual, los cientos de horas invertidas en este trabajo de  
Investigación, que no es más la evidencia de la muestra de mi amor y  
Cariño hacia ustedes.*

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a mis padres por darme la vida, por los valores y fuerzas para afrontar el día a día, siempre dispuestos a escucharme y darme su apoyo incondicional, también por el sacrificio que ellos realizaron para que yo culmine la carrera profesional de Ingeniería de Minas.

Agradezco a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, que fueron parte de mi formación académica – profesional, y que estuvieron siempre dispuestos a responder mis preguntas y aclarar mis dudas, impartiendo conocimiento y experiencias que fueron vitales en mi aprendizaje.

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, mi alma mater que me tuvo entre sus aulas durante los años de mi formación profesional, otorgándome parte del conocimiento que eh adquirido y que me servirá en mi desenvolvimiento profesional.

*Victor Emigdio Quispe Huanaco*

## INDICE GENERAL

Resumen.....	1
Abstract.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	6
2.1 ÁMBITO Y LUGAR DE ESTUDIO.....	6
2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – MECÁNICOS DE LA MATRIZ ROCOSA. .	6
2.2.2 Humedad ( $\omega$ ).....	6
2.2.3 Porosidad ( $\eta$ ).....	6
2.2.4 Peso unitario ( $\gamma$ ).....	6
2.2.5 Alterabilidad.....	6
2.2.6 Ensayo USC. Compresión uniaxial ( $\sigma_c$ ).....	7
2.2.7 Deformabilidad. ( $\epsilon$ ).....	7
2.2.8 Permeabilidad ( $k$ ).....	7
2.3 CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO .....	7
2.3.1 Parámetros en discontinuidades .....	7
2.3.2 Parámetros mecánicos del material rocoso .....	8
2.3.3 Condiciones alrededor o entorno del macizo rocoso.....	8
2.4 DISEÑO DE SOSTENIMIENTO .....	10
2.4.1 Parámetros geomecánico por evaluación .....	10
2.5 METODO .....	10
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	11
3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – MECÁNICO DE LA MATRIZ Y MACIZO ROCOSO.....	11
3.2 CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO CONJUNTO.....	12
3.3 MODELAMIENTO ESTRUCTURAL EN ESTADÍA GEOMECÁNICA .....	13
3.4 MODELAMIENTO DEFORMACIONAL DE LAS LABORES EN ESTADÍA GEOMECÁNICA .....	14
3.5 MODELAMIENTO CON FORMACIÓN DE CUÑAS EN EL TECHO O HASTIAL Y LAS PAREDES CON EL CONCEPTO DE FACTOR DE SEGURIDAD.....	15
3.6 DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO .....	15
3.6.1 Elementos de sostenimiento .....	16
IV. CONCLUSIONES.....	17
V. RECOMENDACIONES.....	17
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	18



## DISEÑO DE SOSTENIMIENTO MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO CASO: MINAS ANA MARÍA

*Bach. Victor Emigdio Quispe Huanaco*  
<https://orcid.org/0000-0002-0066-016X>  
 Universidad Nacional del Altiplano  
 Facultad de Ingeniería de Minas

*Dirección: Av. Floral 1153, Ciudad Universitaria*  
*Correo electrónico: vicquis19.8.6@gmail.com N° Cel: 967469085*



### Resumen

**Objetivos:** 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. **Método:** El desarrollo del estudio del caso se realiza en dos etapas: 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 tenidas, clasificación de los datos en función a la geomecánica para el diseño del tipo de sostenimiento emplearse de acuerdo a sus características geomecánicas. **Resultados:** Los resultados se realizan 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. **Conclusiones:** Los valores del índice Q de Barton, están muy estrechamente relaciona a la calidad de roca, sugiriendo el tipo de sostenimiento a utilizar, el cual da como resultado aplicar un sostenimiento por refuerzo activo de pernos de anclaje con longitudes de 1.8 metros (6 pies), a un espaciado que interactúan entre 1.5 a 3 metros, empernados de forma puntual o sistemática sin refuerzo de concreto lanzado.

**Palabras claves:** geomecanica, sostenimiento, caracterización.

## SUSTAINMENT DESING THROUGH THE CHARACTERIZATION OF ROCKY MACIZO

### Abstract

**Objectives:** 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 give security to personnel and equipment. **Method:** The development of the case study is carried out in two stages: Collection of the field data, which includes the geomechanical mapping, in situ tests of resistance of the rock matrix, sampling of rock in the work and the technical characteristics adaptable to the types of support, cabinet work, Preparation of the plans and cutting of the geological mapping, laboratory tests of the systematically taken samples, classification of the data according to the geomechanics for the design of the type of support used according to its geomechanical characteristics. **Results:** The results are carried out according to the materials and methods, to coincide with the

methodology in its analysis of the rock matrix and rock mass in its evaluation mainly of the major components in this case the slate and the corresponding filler in calcite. **Conclusions:** The values of the Barton Q index are very closely related to the quality of rock, suggesting the type of support to be used, which results in applying a support by active reinforcement of anchor bolts with lengths of 1.8 meters (6 feet), at a spacing that interact between 1.5 to 3 meters, bolted in a timely or systematic way without reinforcement of concrete released.

**Keywords:** geomechanics, support, characterization

---

## I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se desarrolla con la finalidad de resaltar la importancia que constituye el estudio de la caracterización del macizo rocoso para diseñar el tipo de sostenimiento, pues en base a esta caracterización del macizo rocoso se determina el dimensionamiento y la selección del tipo de sostenimiento de las labores mineras a utilizar para garantizar la seguridad de los trabajadores y equipos para reducir el índice alto de accidentes por aplastamiento en las labores mineras subterráneas.

La importancia de realizar una caracterización del macizo rocoso y su evaluación del macizo rocoso es brindar mayor seguridad al recurso humano debido a que está expuesto a condiciones inseguras que puedan producir accidentes fatales e incapacitantes en las labores de acceso y de operación, la misma que tiene una relación estadística de accidentes proporcionadas por el ministerio de energía y minas (MINEM) que indica que

un 29% de los accidentes totales está asignado al desprendimiento de roca esto a consecuencia de la falta de diseño del tipo de sostenimiento de acuerdo a las características del macizo rocoso.

La caracterización de la zona de estudio en muchos casos está asociada a determinar zonas que presentan alteración que tienen impacto sobre la resistencia del macizo rocoso circundante, su estabilidad y auto sostenimiento esto además influenciado por las precipitaciones fluviales, infiltración a aguas subterráneas, mínimos 0.2 mm y máximos 17.3 en épocas de lluvia, que existe en la zona cuyos datos obtenidos en meteorología e hidrología de (SENAMHI, 2014), el cual altera así sus operaciones mineras en el desarrollo de, túneles, tajeos, cortadas, cruceros, chimeneas, que finalmente converge en accidentes de equipos y del personal colaborador, incrementando los costos operacionales.(Chura Lope, 2016, p. 21)

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  $RMR_{89}$ , roca regular (III) a roca buena (II) y como dominio geotécnico de las propiedades de las discontinuidades dio el tipo, falla por el efecto cuña. Por consiguiente, se aplicara el sostenimiento por refuerzo activo, categoría por adherencia encapsulantes de resina y cemento, controlando los peligros por desprendimiento de rocas y elevando el factor de seguridad en el proyecto (Chura Lope, 2016).

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 (Maday Cartaya, 2006), 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 & Arana Cabrera, 2019)

Lo que implicaría la importancia decisiva desde el punto de vista de la Geomecánica 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.(Maday Cartaya, 2006)

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 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 de sostenimiento y generales, incluyendo parámetros de matriz y macizo rocoso.

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 Cedeño, 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, 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 (Garcia Ramos, 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  $1,2 \times 1,2$  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, 2018).

En tanto la novedad científica e la investigación radica en el desarrollo de una metodología para realizar la caracterización geomecanica de los macizos rocosos, y la diferenciación de los modelos geomecanicos representativos de los macizos estudiados (Maday Cartaya, 2006).

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 ÁMBITO Y LUGAR DE ESTUDIO.

La mina de la contrata minera Peyols, se encuentra ubicado políticamente en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, Departamento de Puno, cooperativa Lunar de Oro Ltda., a una altura de 5050 m.s.n.m.

Coordenadas geográficas coordenadas UTM con DATUM WGS 84

Latitud Sur : 14°37'26"  
Norte : 8383230  
Longitud Oeste: 69° 26'48"  
Este : 451924

### 2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – MECÁNICOS DE LA MATRIZ ROCOSA.

Está relacionada fundamentalmente a los parámetros a ensayar y reconocerse en

el terreno y considerados para el diseño del sostenimiento.

**2.2.1 Densidad ( $\rho$ )** Es la relación de la masa de la muestra sobre el volumen de la misma

$$\rho = m/v$$

**2.2.2 Humedad ( $\omega$ )**

Es la comparación entre peso del agua contenida en la roca y el peso del sólido rocoso:

$$\omega = w_w/w_s$$

**2.2.3 Porosidad ( $\eta$ )**

Es la equiparación entre el volumen de vacíos y el volumen de la probeta en muestra;

$$\eta(\%) = \frac{V_v}{V_m} \times 100$$

**2.2.4 Peso unitario ( $\gamma$ )**

Relación entre el peso de la muestra y el volumen de la muestra

$$\gamma = \frac{V_v}{V_m}$$

**2.2.5 Alterabilidad**

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

### 2.2.6 Ensayo USC. Compresión uniaxial ( $\sigma_c$ )

Se realiza en probetas de 55 mm con una  $\epsilon = 2$  de la relación

$$\sigma_c = F/A$$

### 2.2.7 Deformabilidad. ( $\epsilon$ )

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)

### 2.2.8 Permeabilidad ( $k$ )

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

## 2.3 CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

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

### 2.3.1 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)

**Espaciad.** 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 ( $\tau$ ) 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).

### 2.3.2 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 derroca al 50% de la compresión con relación a la deformación al punto de rotura  $E_r = \sigma_c / \varepsilon$  ratio de Poisson ( $\nu$ ) se considera al nivel de deformación que relaciona deformación axial y la transversal  $\vartheta = (\varepsilon_l / \varepsilon_t)$

### 2.3.3 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.

$$Q = k i A$$

#### *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

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

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

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

$$RQD = 100 \quad ; \quad J_v \leq 4.5;$$

donde:

$J_v$  = Número de juntas por  $m^3$ . También es válido el parámetro  $\lambda$  - 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 Bienawski (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.

USC, resistencia a compresión simple de la matriz rocosa.

RQD (Rock Quality Designation)

**Espaciado de las discontinuidades.**

Condición de la discontinuidad (longitud de la discontinuidad, abertura, rugosidad, relleno y alteración) Resistencia de agua subterránea; por tanto

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

Para usar la ecuación de Mohr - Coulomb

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

$$C = 5 RMR (KPa)$$

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

$$RMR_{76} \text{ Vs. } RMR_{89}$$

Fuente: Bienwiski (1976)

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

**Índice Q (NGI) Norgian Geology Index**

Propuesto por Barton 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>Parámetro operativo</b> 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
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 ≤ 20, está dado para el macizo rocoso; estimación del GSI (Ver anexo)

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

- RMR76 > 18 → GSI = RMR
- RMR76 < 18 → GSI = No se utiliza
- RMR89 > 23 → GSI = RMR 89 – 5
- RMR89 < 23 → GSI = No se utiliza
- GSI = 9 log Q' + 44 Q' Índice

modificado de Bartón  $Q' = \frac{RQD}{J_r} \cdot \frac{J_a}{J_r}$

**2.4 DISEÑO DE SOSTENIMIENTO**

**2.4.1 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.

**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)

**2.5 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, exclerometro o martillo Schemith, Plexometro Stanley, Picsa Stanley, Wincha de 50m, Registro de

datos, Tablero acrílico A-4, Formato de notas, Ábacos y tablas  
 Dispositivos de ensayo: Saca testigos portátil, Cortadora y refrendada hora de testigos  
 Balanza graduado al centésimo de gramo  
 Equipo compresión uniaxial.

### 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.

#### 2.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – MECÁNICO DE LA MATRIZ Y MACIZO ROCOSO

2.6.1 Densidad ( $\rho$ ): 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	Pizarra	Cuarcita
		$\rho$

	$\rho$	
001	2.64	2.75
002	2.64	2.75
003	2.64	2.75

Muestra	Pizarra W (%)	Cuarcita W (%)
001	0.20	0.15
002	0.20	0.15
003	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.

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

##### *Resultados de humedad w (%)*

Muestra	Pizarra $\rho$	Cuarcita $\rho$	Pizarra W (%)	Cuarcita W (%)
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.

### **2.6.3 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.

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.

## **2.7 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) los valores se determinan en base a la formulación descrita en materiales y métodos.

Estación	Coordenadas	Caracterización Macizo Rocoso						Notas
		RQD %	RMR	GSI	Q	C (Mpa)	$\phi$ (°)	
N° 1 Cualificación	E 451 900 N 8383344 Z 4842	70 Regular	49 III	44	4.67 Media	0.24	29.5	
N° 2 Cualificación	E 452 060 N 8383417 Z 4.845	94 excelente	74 II	69	31.33 Baeza	0.37	42	
N° 3 Cualificación	E 452 258 N 8383 447 Z 4847	77 Buena	54 III	49	4.28 Media	0.27	32	
N° 4 Cualificación	E 452 461 N 8383450 Z 4848	94 Excelente	68 III	63	10.44 Buena	0.34	39	

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

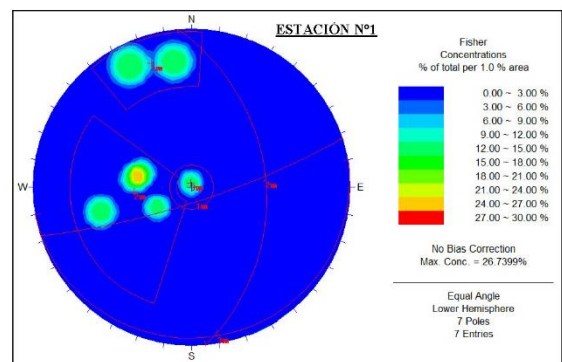
Del cuadro se indica que el RQD es un buen calificador del macizo, pero no es un buen caracterizador del macizo para fines de diseño de soporte, el mejor caracterizador de la roca y macizo rocoso es el RMR<sub>89</sub>, en función a lo cual se realiza un análisis más detallado de las estadías geomecánicas 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.

## 2.8 MODELAMIENTO

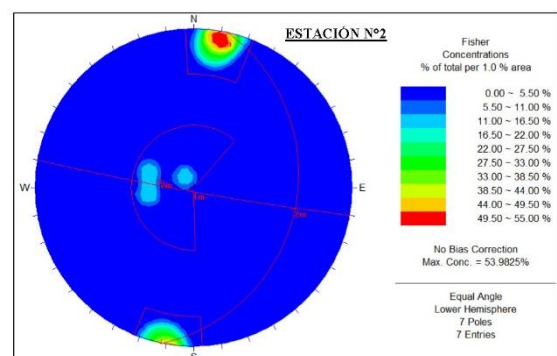
### ESTRUCTURAL EN ESTADÍA GEOMECÁNICA

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

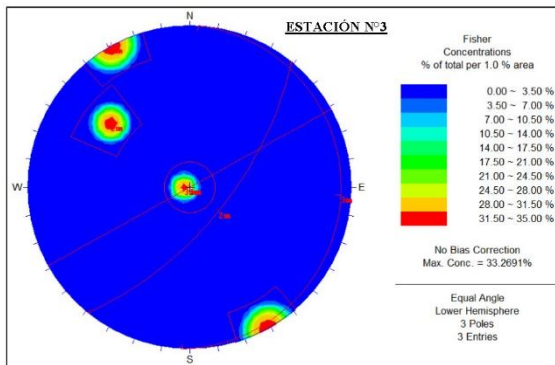
Estación N° 1



Estación N° 2



Estación N° 3



Estación N° 4

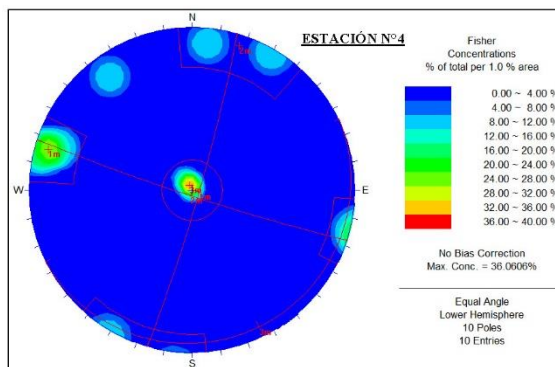


Figura 1. Dominio geotecnia N° 1, N° 2, N° 3, N° 4,  
Fuente: Wilber Chura L. (2016)

**Resumen Estructural**

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

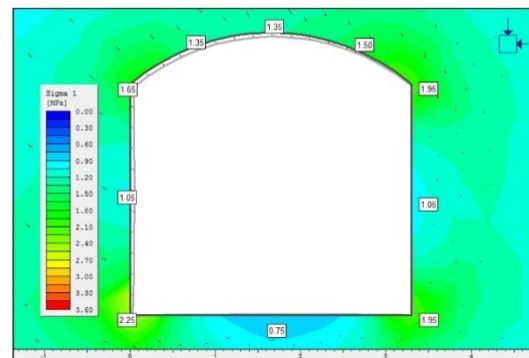
Fuente: Elaboración propia (2019)

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.

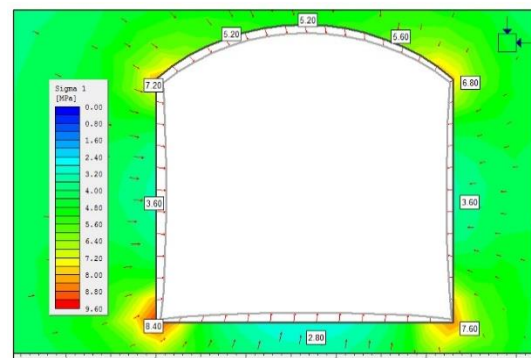
**2.9 MODELAMIENTO DEFORMACIONAL DE LAS LABORES EN ESTADÍA GEOMECÁNICA**

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.

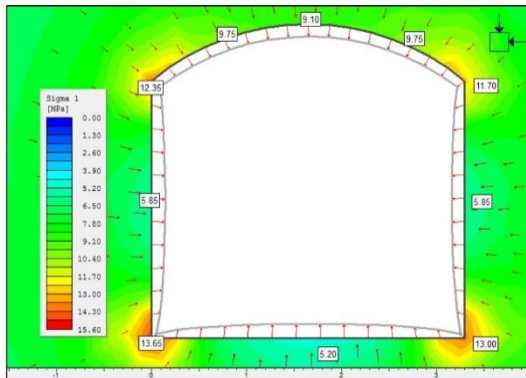
Estación N° 1



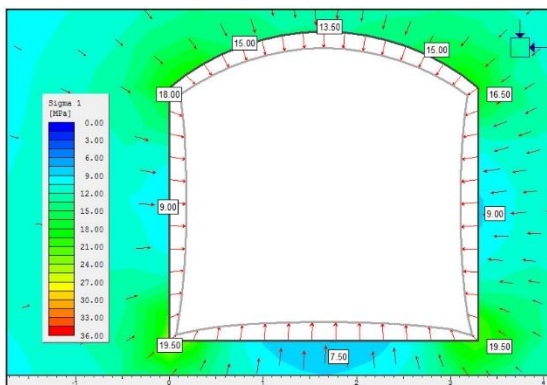
Estación N° 2



Estación N° 3



Estación N° 4



**Tensión Principal Mayor  $\sigma_1$**

Estación	Hastial derecho (Mpa)	Corona o techo (Mpa)	Hastial 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

Fuente: Elaboración propia (2019)

Al comparar los valores de la tensión principal mayor  $\sigma_1$  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.

**2.10 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.

**2.11 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.

**2.11.1 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 ábaco 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.

Diseño de sostenimiento estadía 1

**Espaciamiento de soporte por pernos,  $\phi$  taladro 40 – 45 mm.**

Estación	Sección n m	Espaciado de pernos sin Shotcrete	Q/Calidad
Nº 1	3.3	1.5 a 2.0 m	4.67 media
Nº 2	3.3	2.0 a 3.0 m	31.33 buena
Nº 3	3.3	1.5 a 2.0 m	4.28 media
Nº 4	3.3	2.0 a 2.50	10.44 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 geo mecánica 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

De la revisión de información realizada en este artículo se entendió que, en la minería subterránea, la geo mecánica, incluye tanto el modelo geológico, como el geomecánico, abarcando aspectos tales como, estructura del macizo, litología, contactos y distribución de litologías, geomorfología, cartografía geológica, estudio hidrogeológico, levantamiento de discontinuidades, técnicas geofísicas, sondeos, ensayos in situ, de laboratorio, clasificaciones geomecánicas, entre otros. Convirtiéndose la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en una herramienta indispensable para pronosticar su comportamiento.

La búsqueda de información se ha realizado en el periodo 2013 a 2019, donde se ha encontrado 10 estudios de tesis y algunos artículos.

#### V. RECOMENDACIONES

Los sistemas de clasificación y caracterización de macizos rocosos se enfocan en proveer seguridad, economía, desempeño, y conformidad durante la construcción y operación de una

excavación subterránea (Cueva Romero & Arana Cabrera, 2019)

En las zonas de cizallamiento, que en este caso se consideran como extremas, pero que no pasa del 5% de las labores en estudio, es necesario establecer una evaluación más exhaustiva para establecer los dominios geotécnicos, para establecer los controles de dilución a través de procedimientos de mejora de la calidad del terreno.

Se utiliza con frecuencia para la caracterización geomecánicas más comunes en el macizo rocoso son la de Bieniawski o RMR, el Índice de la Calidad de Roca (RQD) y el Índice de Resistencia Geológica (GSI) y para la determinación de los parámetros de resistencia del macizo rocoso se usó comúnmente el Criterio de Falla de Hoek & Brown y la propuesta de Hoek & Diedericks (Cruzado, 2017)

Realizar un estudio con responsabilidad tomando todos los criterios para los cálculos necesarios y así poder realizar un adecuado tipo de sostenimiento para brindar las condiciones seguras a los trabajadores para evitar algún tipo de accidente.

**VI. REFERENCIAS****BIBLIOGRAFICAS**

- Burgos Cedeño, S. L. (2015). *Desarrollo de herramienta de diseño para la estabilidad de excavaciones con entrada de personal* (Universidad de Chile).  
<https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>
- Chura Lope, 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.
- Cueva Romero, J. G., & Arana Cabrera, J. A. (2019). “*Caracterización geomecánica en minería subterránea*”: una revisión de la literatura científica. Recuperado de [http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/15035/Cueva Romero Jimmy Gerardo - Arana Cabrera Jhonny Alex.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/15035/Cueva%20Romero%20Jimmy%20Gerardo%20-%20Arana%20Cabrera%20Jhonny%20Alex.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- García Ramos, E. R. (2019). *Evaluación geomecánica en el diseño de sostenimiento subterráneo en la unidad económica administrativa Huachocolpa Uno-Compañía Minera Caudalosa S.A.* (Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion). Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/134934/Desarrollo-de-herramienta-de-diseno-para-la-estabilidad-de-excavaciones-con-entrada.pdf?sequence=1>
- Loarte Trujillo, O. J. (2018). *Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera toma la mano – Cormitoma s.a.* Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.
- Maday Cartaya, P. (2006). Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país. *minería y geología*, 22(3), 54. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223517652004.pdf>
- Tacuri Gamboa, A. (2017). “*Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la mina hérocles – cia minera Lincuna s.a*”. (Universidad nacional de San Cristobal de Huamanga). Recuperado de [http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/2206/Tesis M789\\_Tac.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/2206/Tesis%20M789_Tac.pdf?sequence=1&isAllowed=y)