



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA PARA
DETERMINAR EL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN
LABORES SUBTERRÁNEAS, PERÚ-2018”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería de Minas

Autores:

Leyden Humberto Alcántara Urrutia

Roxana Vanesa Pacheco Ccapa

Iris Nohely Salazar Cacho

Asesor:

Ing. Shonel Miguel Cáceres Pérez

Lima - Perú

2018

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El Asesor Ing. Stonel Miguel Cáceres Pérez, docente de la Universidad Privada del Norte, facultad de Ingeniería, carrera profesional de Ingeniería de Minas, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación, desarrollo, revisión de fondo y forma (cumplimiento del estilo APA y ortografía) y verificación en programa de antiplagio del Trabajo de Investigación del o los estudiantes(s)/egresado (s):

- Loayza Humberto Alcántara Urrutia
(Nombre completo de estudiante o egresado)
- Rosana Vanessa Pacheco Ceapa
(Nombre completo de estudiante o egresado)
- Iris Nohely Salazar Cacho
(Nombre completo de estudiante o egresado)

Por cuanto, **CONSIDERA** que el Trabajo de Investigación titulado ¿Caracterización Geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en labores subterráneas Perú - 2018?, para optar al grado de bachiller por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas en forma y fondo, por lo cual, **AUTORIZA** su presentación.

Cajamarca, 23 de Enero del 2019
(Lugar) (día) (mes) (año)


Ing./Lic./Mg./Dr. STONEL MIGUEL CÁCERES PÉREZ
(Nombre completo del Asesor)

Asesor

ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El Director/Coordinador Ing. Alex Patricia Marinovic Pulido, de la carrera de Ingeniería de Minas de la Universidad Privada del Norte, ha procedido a realizar la evaluación del Trabajo de Investigación del (o los) estudiante (s)/egresado (s):

- Lesden Humberto Alcántara Urrutia
(Nombre completo de estudiante o egresado)
- Roxana Vanesa Pacheco Ceara
(Nombre completo de estudiante o egresado)
- IRIS Nohely Salazar Cacho
(Nombre completo de estudiante o egresado)

Para aspirar al grado de bachiller con el Trabajo de Investigación titulado "Caracterización Geomecánica Para determinar el tipo de Sostentamiento en Labores Subterráneas, Perú - 2018"

Luego de la revisión, en forma y contenido, del Trabajo de Investigación expresa el siguiente resultado:

Aprobado

Calificativo:

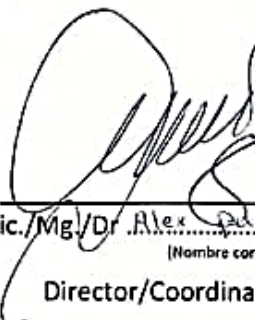

(*) Excelente: De 20 a 18.

() Sobresaliente: De 17 a 15.

() Bueno: De 14 a 13.

Desaprobado

Cajamarca, 23 de Enero del 2019
(lugar) (día) (mes) (año)



Ing./Lic./Mg./Dr. Alex Patricia Marinovic Pulido
(Nombre completo del Director/Coordinador)
Director/Coordinador de Carrera



DEDICATORIA

Dedicado a todos nuestros docentes que continuamente nos inculcaron valores y e incentivos hacia el campo de la investigación, mostrando su interés por nuestra superación académica, brindándonos conocimientos de calidad, que posteriormente transformaremos en proyectos de desarrollo encaminados hacia el éxito profesional



AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios por darnos salud y bienestar en esta temporada de estudios; a nuestra familia, que incondicionalmente nos apoyaron y motivaron a continuar y culminar con este nivel; y a la Universidad Privada Del Norte, por acogernos en su lecho, y brindarnos enseñanza de calidad a través de excelentes docentes.



Tabla de contenido

| | |
|--|-----------|
| ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN | 2 |
| ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN | 3 |
| DEDICATORIA..... | 4 |
| AGRADECIMIENTO | 5 |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | 7 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 8 |
| RESUMEN | 9 |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 10 |
| CAPÍTULO II. METODOLOGÍA..... | 12 |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS | 15 |
| CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES..... | 23 |
| REFERENCIAS..... | 25 |
| ANEXOS | 27 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Matriz de Operacionalización de Variables..... | 14 |
| Tabla 2 Matriz de Investigaciones:..... | 15 |
| Tabla 3 Análisis de Investigación “caracterización geomecánica en Valle de Cajamarca” | 16 |
| Tabla 4 Análisis de los métodos de caracterización geomecánica | 17 |
| Tabla 5 Frecuencia en la elección del método de caracterización geomecánica..... | 19 |
| Tabla 6 Enfoque de las investigaciones | 21 |
| Tabla 7 Interpretación del índice Q (Barton, 1974)..... | 28 |
| Tabla 8 Índice RMR: calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR..... | 32 |
| Tabla 9 Interpretación de Valores de RQD (Deere, 1964)..... | 33 |
| Tabla 10 clasificación geomecánica de Bieniawski (1989) | 34 |
| Tabla 11 Sistema RMR según Bieniawski (1976) | 36 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Métodos influyentes en la caracterización geomecánica | 20 |
| Figura 2: Enfoque de las investigaciones. | 22 |
| Figura 3: GSI (Hoek, Marinos 2000)..... | 37 |
| Figura 4: Mapa Geológico del Perú 1:1 000 000 | 37 |
| Figura 5: Mapa de esfuerzos del Perú..... | 37 |



RESUMEN

En este trabajo de investigación se presenta datos y antecedentes de análisis con respecto a estudios sobre geomecánica de macizos rocosos y la determinación de tipos de sostenimiento usados en labores subterráneas tanto en campo minero como en túneles vehiculares. Considerar que la construcción de estos accesos tiene fines de integración, ya sea en una población que necesita reducir tiempos de comunicación vial, aumento de turismo o túneles para labores mineras. Según diferentes autores, antes de realizar la construcción de un túnel, ha de realizarse un estudio geomecánico incisivo, para ello se utilizarán métodos de evaluación. Cabe destacar que el objetivo principal del presente trabajo es conocer y estudiar la caracterización geomecánica para determinar un tipo de sostenimiento para labores subterráneas en el Perú en 2018. La información obtenida en el presente informe fue encontrada en los buscadores Dialnet, Scielo y Renati, donde se analizó tesis y artículos referentes al tema. Las diferentes investigaciones lanzan como resultados y recomendaciones un estudio geomecánico en base a evaluaciones en RMR (Bieniawski-1989), Q Barton, y uso de la cartilla GSI (Hoek Brown), gracias a estas herramientas se puede determinar el tipo de sostenimiento que requerirá el túnel a construir.

PALABRAS CLAVES: Caracterización, Geomecánica, Rock Mass Rating (RMR), Geological Index Strain (GSI).



CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La caracterización geomecánica analiza el dinámico comportamiento que ejercen los esfuerzos y otras variables sobre el macizo rocoso, y éste a su vez permite determinar el tipo de sostenimiento en accesos subterráneos (túneles o labores mineras). Existen antecedentes como fuentes de estudio que dan a conocer la estructura del macizo rocoso, las litologías, geomorfología, geología, topografía, estratigrafía entre otros, para recomendar diversos sostenimientos de acuerdo al método de minado que haya sido elegido.

El sostenimiento aplicado a la construcción de un túnel (sea vehicular, peatonal o labores mineras), sirve para evitar el desprendimiento de rocas, que las labores de perforación y voladura sean seguras; de ésta manera se logra salvaguardar los equipos, la vida de las personas que transitaran por dichas vías subterráneas, y también asegurar que las labores sean continuas, trabajando bajo un factor de seguridad óptimo.

Considerando lo mencionado anteriormente, la pregunta a la investigación es ¿Cómo influye la caracterización geomecánica para la determinación de tipo de sostenimiento en labores subterráneas, Perú – 2018?, aclarando el cuestionamiento tendremos por objetivo conocer la influencia de la caracterización geomecánica en la determinación de un tipo de sostenimiento en labores subterráneas, Perú – 2018.

Los sistemas de clasificación geomecánica pueden ser utilizados para cualquier operación donde la calidad del macizo afecte la eficiencia de ésta, como es el caso de la perforación y voladura de roca, para éste estudio se toma en cuenta la historia geológica de los macizos que tienden a estar afectados por los agentes geodinámicos, los cuales traen



consigo grandes cambios que muchas veces vulnerabilizan y desequilibran la estabilidad y consistencia de la litología y a su vez de los macizos rocosos, y a su vez sumándose la presencia de estructuras discontinuas.

Los tipos de sostenimientos recomendados pueden ser pernos helicoidales, cimbras, malla electrosoldada, o agregar el uso de concreto lanzado (shotcrete por vía seca o vía húmeda), de acuerdo al dinamismo que presente la estructura del terreno y el costo que va afectar al presupuesto, siendo parte de la evaluación de aceptar que tan viable es la ejecución del proyecto; y en caso de minería evaluar el método de minado para el diseño que éste requiera tanto en la perforación y voladura del macizo.

Los resultados de la investigación nos ayudan a comprender cuáles son las mejores opciones de sostenimiento, dando el apoyo en la toma de decisiones al momento de realizar una caracterización geomecánica de acuerdo al tipo de suelo y roca de la zona a evaluar. Diversos autores interpretan que el cálculo más acertado es el RMR, sin olvidar la gran importancia que abarca determinar el factor de seguridad para evitar accidentes fatales que detengas las operaciones y terminen por aumentar los costos de la empresa, llegando incluso afectar el presupuesto de la operación y la motivación del personal.

Cabe también analizar el importante papel que asumen los costos unitarios, tanto, materiales, MOD, MOI, gastos generales; y el correcto procedimiento que implica el aplicar el sostenimiento de una labor subterránea.

Las conclusiones y recomendaciones de la investigación son descritas en base a evidencias y estudios realizados en varias partes del país.



CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

El tipo de estudio aplicado es de revisión sistemática de la literatura científica, descriptiva, que permita a conocer los diversos métodos de caracterización geomecánica del macizo rocoso para la determinación de tipo de sostenimiento para labores subterráneas, Perú – 2018. La pregunta de investigación formulada es: ¿Cómo influye la caracterización geomecánica para la determinación de tipo de sostenimiento en labores subterráneas, Perú – 2018?

Los criterios usados son en base a antecedentes son tesis (para obtención de título universitarios y magíster), y artículos que están escritos en idioma español, estudian el terreno peruano, y abarcan como periodo desde el año 2000 hasta investigaciones del 2018.

Asimismo las fuentes de información utilizadas son muy completas para el análisis de la presente investigación, éstas son:

RENATI, es un repositorio creado por la SUNEDU, donde se indexa de manera automática la tesis de pregrado y postgrado presentada en las diversas universidades del Perú, siendo su dirección web: <http://renati.sunedu.gob.pe/>

Dialnet, es una de las mayores bases de datos de contenidos científicos en lenguas iberoamericanas. Cuenta con artículos de revistas y obras colectivas, libros, actas de congresos, reseñas bibliográficas y tesis doctorales, siendo su dirección web: <https://dialnet.unirioja.es/tesis>



Scielo, es una biblioteca científica electrónica que brinda publicaciones en línea de ediciones completas, sean revistas científicas, artículos, etc. Su dirección web es: <http://www.scielo.org/php/index.php?lang=es>

La estrategia de búsqueda usada fue a partir de definir términos relacionados al tema, siendo: geomecánica, sostenimiento, construcción de túneles, normativa. Para especificar la búsqueda y que brinde información más detallada se implementa el uso de "and" con las palabras: RMR, GSI, Q Barton. Específicamente la búsqueda se realizó de la siguiente manera:

((Geomecánica" OR "macizo rocoso") AND "RMR")

((Sostenimiento" OR "minería") AND "GSI")

((Túneles") AND "construcción" AND "normativa")

A continuación se presenta la matriz de operacionalización que nos permite identificar las variables del trabajo de investigación y sus características.

Tabla 1
Matriz de Operacionalización de Variables

| VARIABLES | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DIMENSIONES | INDICADORES |
|--|--|--|---|
| VARIABLE INDEPENDIENTE: Caracterización geomecánica | Es el estudio las propiedades geotécnicas de la roca, el patrón de la distribución de los sistemas de discontinuidades y las características intrínsecas de las mismas | RMR Bieniawski 89 | Resistencia % RQD Espaciamiento Persistencia Humedad Relleno alteración |
| VARIABLE DEPENDIENTE: Tipo de sostenimiento | Es una técnica que se emplea para brindar estabilidad al túnel, afin de evitar desprendimiento de rocas. | Sostenimiento por pernos de anclaje Sostenimiento por shotcrete (Hormigón proyectado) | Cuñas biplanares Cuñas tetrahedrales RMR GSI Índice Q |

La matriz orienta la ejecución del proceso de investigación y refleja su totalidad del proyecto, mostrando sus variables, dimensiones, conceptos e indicadores.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III. RESULTADOS

1. Se analizaron los siguientes estudios:

Tabla 2

Matriz de Investigaciones:

| Base de Datos | Tipo de Documento |
|---------------|---------------------------|
| Renati | 11 Tesis de Investigación |
| Dialnet | 1 Tesis de investigación |
| Scielo | 2 Artículos Científicos |
| Google | 2 Páginas web |

Expresa la cantidad de investigaciones analizadas por cada repositorio y/o biblioteca digital de trabajos pregrado y postgrado.

Fuente: Elaboración propia

2. Para mayor incisión, se revisa los siguientes datos y su análisis propiamente:

- En el caso de caracterización geomecánica en Valle de Cajamarca se revisa que:

Según (Alcántara Quispe, Torres Arroyo, & Torres Lucano, 2014), "El valle de Cajamarca está formado por diversos tipos de rocas(...) divididos en tres grandes grupos: unidades estratigráficas (formaciones sedimentarias Cretáceas, secuencias volcánicas Paleógenas y Neógenas y depósitos inconsolidados cuaternarios), unidades intrusivas (Stocks pórfido Latíticos y Domos microdiorítico) y unidades de alteración (Silicificación y Argilitización).



De acuerdo a la caracterización geomecánica para el Valle de Cajamarca, se determina que:

Tabla 3

Análisis de Investigación "caracterización geomecánica en Valle de Cajamarca"

| Método de Caracterización | Datos Analizados | Tendencia de la investigación |
|---------------------------|------------------------------------|--|
| Sistema Hoek y Brown | 186 datos de campo de roca intacta | Las unidades encontradas han sufrido diversos eventos de alteraciones (tectónicas y/o meteóricas), que han generado complejos macizos rocosos. |
| Programa Rock Data v3 | 9 unidades estratigráficas | Se encuentran 9 Unidades Geomecánicas de macizos rocosos como con la reducción de la resistencia de la roca intacta |
| | Zonas de alteración | Aplicar los criterios de zonificación basados en el GSI y la Resistencia Global del Macizo rocoso, utilizados en este estudio |
| | Rocas intrusivas | Utilizar los resultados de la zonificación geomecánica de los macizos rocosos |

Expresa el análisis de la investigación "caracterización geomecánica en Valle de Cajamarca", resaltando sus datos básicos y más significativos como su uso de los métodos de estudio.

Fuente: Elaboración propia

- Revisando estudios geomecánicos para determinación de tipo de sostenimiento en túneles, se entiende que:

Tabla 4

Análisis de los métodos de caracterización geomecánica

| Método | Determina | Tendencia de la investigación |
|----------|--|--|
| | El tipo de sostenimiento | |
| RMR | recomendado para cada estación de campo considerada. | seguir adaptándose el sistema RMR y el índice Q de Barton para futuras evaluaciones geomecánicas considerando |
| Q Barton | Según parámetros estandarizados y el índice hallado. | que las labores son permanentes |
| GSI | la influencia del factor de seguridad para la permanencia de las labores y el trabajo bajo condiciones seguras | Mientras que GSI se utiliza más para labores temporales, porque estima un sostenimiento en base a descripciones geológicas |

Expresa los métodos de caracterización existentes en el medio geológico-minero, su tendencia de investigación y las recomendaciones que brindan.

Fuente: Elaboración propia

- Según (OSINERMINING, 2017), “Un sostenimiento apropiado implica que cada uno de los elementos de sostenimiento cumpla su función de soporte”, para ello indica la necesidad de verificar ciertos requisitos de calidad, como conocer la función y tipo



de falla, los requisitos de resistencia, las características de los componentes, la forma correcta de instalación o aplicación, los controles y ensayos de laboratorio, y los procedimientos o instructivos específicos que detallen los sucesivos pasos que se deben cumplir.

- Ante un análisis geomecánico que nos interprete una calidad de roca desfavorable, se debe analizar los eventos como caída de rocas; con ello se plantea homogenizar reportes para analizar una serie de factores que intervienen en la falla de roca, tales como: modo de rotura de rocas, características geomecánicas, calidad de la masa de roca, detalles de excavación, detalles de sostenimiento, refuerzo de roca e información de monitoreo.

- Se observa también que en la elección del método de cierre a emplearse en una labor minera subterránea, tiene gran influencia la relación entre la calidad del macizo rocoso y presencia o no de agua, debido a su presión reduce la resistencia al corte de las discontinuidades, el contenido de humedad incrementa el peso unitario de la roca, acelera la intemperización de las rocas débiles, produce la expansión de las rocas expansivas y aumenta la deformabilidad del macizo rocoso.

De acuerdo a lo señalado en el presente trabajo de investigación, también se ha de mencionar y resaltar a los indicadores geomecánicos o KPI (indicadores claves de desempeño) que se puede utilizar en una mina como son los siguientes:

- Cantidad de sostenimiento instalado por tonelada producida (Und/t).
- Cantidad de sostenimiento instalado por guardia (Und/gdía).
- Oportunidad de instalación (hrs después de la voladura).
- Costo sostenimiento (US\$/t, US\$/ml).
- Disponibilidad y utilización de equipos de sostenimiento (hrs/gdía).
- Cantidad de sostenimiento por tipo de roca/labor (Und/tipo roca o labor).
- Cantidad de sostenimiento instalado como sostenimiento adicional (%)

En general para realizar una caracterización geomecánica se utiliza el cálculo del sistema RMR, Índice Q; de ésta manera se determina el tipo de sostenimiento a aplicar en las diferentes estructuras de los terrenos analizados. Siendo útil para la estabilidad del macizo rocoso.

Realizando una estadística, de 15 investigaciones estudiadas, entre tesis, artículos, páginas web) se tiene lo siguiente:

Tabla 5

Frecuencia en la elección del método de caracterización geomecánica.

| Método de Caracterización | <i>n^a de investigaciones</i> | % |
|---------------------------|---|------|
| RMR | 11 | 69% |
| Q- Barton | 5 | 31% |
| Total | 16 | 100% |

La tabla 5 refleja la cantidad de investigaciones que se centran en el método de caracterización geomecánica

Fuente: Elaboración propia

Para mayor entendimiento, se presenta la gráfica:

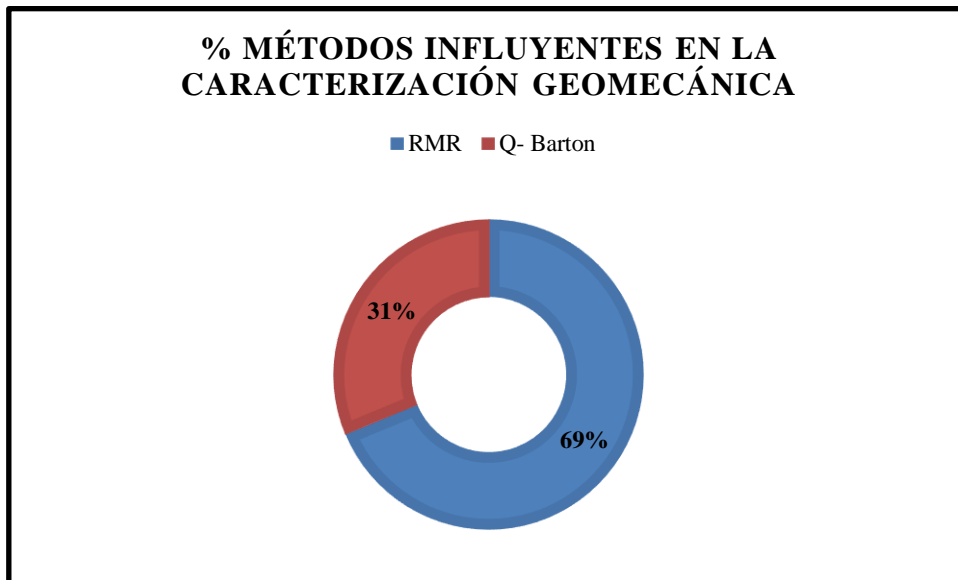


Figura 1 Métodos influyentes en la caracterización geomecánica

La figura 1, muestra con mayor percepción visual, el porcentaje de importancia que tienen los métodos de caracterización geomecánica sobre las investigaciones estudiadas.

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

Para 11 investigaciones, es mucho más útil y seguro el uso del método RMR, y en ocasiones utilizan el índice Q como comparación para determinar sus datos y poder brindar como respuesta la determinación del tipo de sostenimiento.

Mientras existe un 33% de investigaciones que le dan mayor énfasis y seguridad al resultado y recomendación de la Q Barton y se guían posteriormente con RMR.

Cabe destacar que en la mayoría de investigaciones se hace uso de ambos métodos y se agrega a ellos el índice de resistencia geológica (GSI) y el uso de algún tipo de software.

Tabla 6
Enfoque de las investigaciones

| Enfoque | N ^a Investigaciones | % Investigaciones | % Acum. |
|-----------------------------|-----------------------------------|----------------------|---------|
| Caracterización geomecánica | 8 | 50% | 50% |
| Sostenimiento | 3 | 19% | 69% |
| Construcción de túneles | 2 | 13% | 81% |
| Costos | 2 | 13% | 94% |
| Riesgo Geológico | 1 | 6% | 100% |
| Total | 16 | 100% | |

La tabla 6, refleja el enfoque que brinda cada investigación, como palabra clave de búsqueda y mayor énfasis de estudio.

Fuente: Elaboración propia

Para mayor entendimiento, se presenta la gráfica:

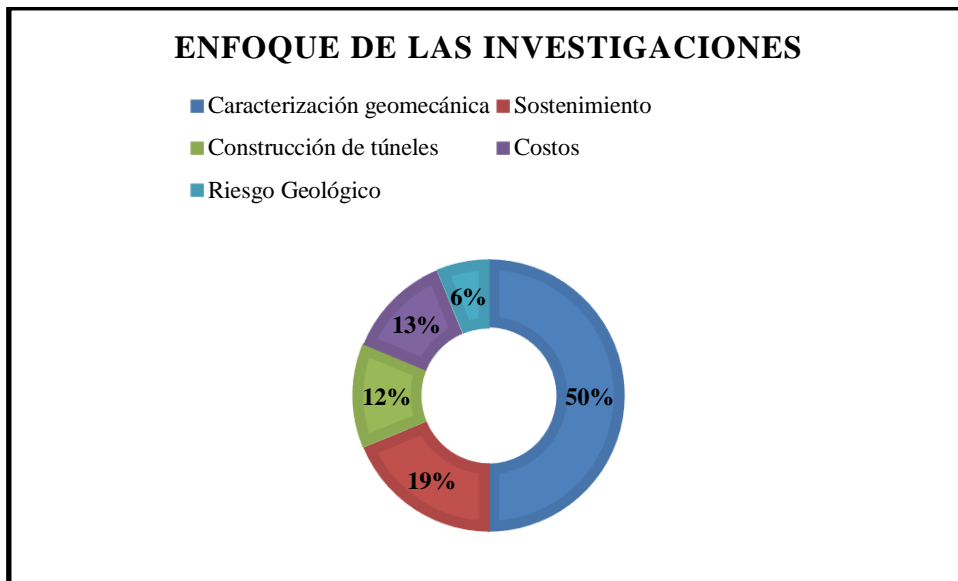


Figura 2: Enfoque de las investigaciones.

La figura 2, demuestra el porcentaje de importancia que brindan las investigaciones respecto a su tema fundamental, señalado como palabras clave de búsqueda y alto grado de incisión en el estudio del tema.

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión:

Los datos analizados, son estudios que se realizaron en el periodo de 2000 al 2018, considerando entre ellos, tesis, artículos científicos, entre otros. De los que cada uno interpreta la caracterización geomecánica y el sostenimiento a aplicar en el macizo rocoso para su estabilidad, considerando un óptimo factor de seguridad y el cumplimiento de estándares y normativas vigentes, según OSINERMINING detalla cuáles son las medidas a tener en cuenta para el diseño y construcción de estos túneles (labores subterráneas).

Según (Quispe Matos, 2018) “el factor de seguridad influye significativamente en la elección de un tipo de sostenimiento (...) para que las labores permanezcan estables (...) y brindar condiciones de trabajo seguro.

Los métodos de estudio, funcionan tanto haciendo trabajo manual de campo (levantamiento de información-puntos), como también llevando la data a un software para facilitar los cálculos y acortar tiempo de respuesta; un ejemplo es el programa Rock Data v3, que se encarga de determinar las propiedades de los materiales de roca y suelo utilizando el sistema Hoek y Brown.

De acuerdo a los cuadros de elección del método de caracterización geomecánica, y considerando el periodo de las investigaciones, se entiende que éstos métodos son permanentes y concisos y recomendables para futuras evaluaciones, ya sea para construcción de túneles para labores mineras, y/o también en construcción de túneles peatonales y vehiculares como vías de acceso de comunicación entre ciudades o pueblos.



De acuerdo a la *tabla 5*, el 69% de investigaciones se fían al estudio del sistema RMR y el 31% le brinda mayor confianza al índice Q, recalando que ambos al final logran compararse y brindar mayor seguridad en la decisión que se tomará para la elección de un tipo de sostenimiento.

Conclusiones

Se conoció la importancia de la influencia que ejerce la caracterización geomecánica para la determinación de un tipo de sostenimiento en labores subterráneas en Perú-2018.

Se concluye que por seguridad y confianza el 69% de investigaciones evalúa la caracterización geomecánica en base al sistema RMR Y el 31% al índice Q Barton. Adicionando el uso y datos hallados con soporte del índice de resistencia geológico (GSI) y el uso de un software.

Con respecto a la *tabla 6*, se concluye que las investigaciones presentadas y analizadas, cumplen con el tema fundamental basado en la caracterización geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en labores subterráneas, y a su vez, se centran en los riesgos geológicos, correcta construcción de túneles, costos y recomendaciones para futuras investigaciones.

REFERENCIAS

- Alcántara Quispe, E. R., Torres Arroyo, K. J., & Torres Lucano, D. L. (2014). *Caracterización geomecánica mediante el sistema Hoeky Brown del valle de Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- CACERES MALCA, E. M. (2017). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso para el sostenimiento de las labores de explotación en la mina San Cristóbal – Compañía Minera Volcan, Nazca, Ica, Perú*. Ica: UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA DE ICA.
- Ccorahua Sequeiros, B. (2016). *La Geomecánica en el Sostenimiento de la Mina Ricotona*. Apurímac: Universidad Nacional Micaela Bastidas.
- Ceras Cuadros, F. A. (2015). *Influencia del sostenimiento en el estrés de roca en túnel DR09 en la empresa de generación eléctrica Cheves SA*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Chirinos Verano, R. A. (2017). *Diseño geotécnico de 1km de túnel para la línea 2 de la red básica del metro de Lima y Callao*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Córdova Rojas, N. D. (2015). *Geomecánica en el minado subterráneo: caso Mina Condestable*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Flores Quispe, J. L. (2015). *Estudio técnico económico del proyecto túnel de integración de las minas Carahuacra, San Cristobal y Andaychagua de la empresa Volcan Compañía minera SAA*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- INGEMMET. (s.f.). *INGEMMET*. Obtenido de <http://www.ingemmet.gob.pe>
- Lagos M., A., & Quispe M., Z. (2012). Caracterización litológica y paleontológica del cretáceo inferior en Cajamarca. *ECIPERU*, Vol 9 Num 1 .
- Mendieta Britto, L. A. (2014). *Optimización de los costos operativos en la unidad Cerro Chico*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Mercado Salas, G. E., & Obregón Rivera, C. J. (2017). *Modelamiento geomecánico a nivel de prefactibilidad de una mina subterránea*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.



- OSINERMIN. (2017). *Guía de Criterios Geomecánicos para diseño construcción supervisión de labores subterráneas*. Lima: OSINERMIN.
- Otarola Miraval, M. (2000). *Construcción del túnel de descarga y conexión túnel- Laguna Chilicocha*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Quispe Matos, A. (2018). *Evaluación geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en el túnel Yauricocha*. Huancayo: Universidad Continental.
- Rodríguez Villegas, M. A., & Torpoco Huayllani, F. A. (2015). *Manual de construcción e instalación de pilotes según la práctica de empresas especializadas en el Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Zavala Carrión, B., & Rosado Seminario, M. (2011). *Riesgo geológico región Cajamarca- Zavala y Rosado - 2011*. Lima: INGEMMET.



ANEXOS

1. A continuación se presenta complemento de la investigación las siguientes definiciones:

a) Geomecánica: es el área que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la Tierra. Se investigan el suelo y las rocas por debajo de la superficie para determinar sus propiedades y diseñar las cimentaciones.

b) La clasificación Q: Fue desarrollada en 1974 por Barton, Lunde y Lien a partir de la información de numerosos túneles. Posteriormente ha sido revisada en varias ocasiones. La contenida en este post es la Clasificación Q Barton, 2000; permite estimar parámetros geotécnicos del macizo rocoso y lo que es más importante diseñar sostenimientos para túneles y otras excavaciones subterráneas.

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

Ecuación 1: Cálculo del Índice Q:

Donde:

RQD = Índice de calidad de la roca

J_n = Parámetro basado en el número de familias de discontinuidades

J_r = Parámetro basado en la rugosidad de las discontinuidades



J_a = Parámetro basado en la alteración de las discontinuidades

J_w = Parámetro basado en la presencia de agua

SRF = Factor de reducción de esfuerzos

Tabla 7

Interpretación del índice Q (Barton, 1974)

| Descripción | Índice Q |
|-----------------------------|--------------|
| Roca Excepcionalmente Mala | 0.001 - 0.01 |
| Roca Extremadamente Mala | 0.01 - 0.1 |
| Roca Muy Mala | 0.1 - 1 |
| Roca Mala | 1 - 4 |
| Roca Regular | 4 - 10 |
| Roca Buena | 10 - 40 |
| Roca Muy Buena | 40 - 100 |
| Roca Extremadamente Buena | 100 - 400 |
| Roca Excepcionalmente Buena | 400 - 1000 |

El Sistema Q es un sistema de clasificación del macizo rocoso con respecto a la estabilidad de excavaciones subterráneas para brindar una descripción de la calidad del macizo rocoso.

Fuente: (Alcántara Quispe, Torres Arroyo, & Torres Lucano, 2014)

- c) RMR: La clasificación geomecánica de Bieniawski o clasificación RMR fue desarrollada en 1973, actualizada en 1979 y 1989, el sistema consiste de una metodología de clasificación de macizos rocosos que permite relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo rocoso, criterios de excavación y sostenimiento. Esta metodología es una de las más usadas en el ámbito de la mecánica de rocas.

La clasificación RMR tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia de la roca: Tiene una valoración máxima de 15 puntos, y puede utilizarse como criterio el resultado del ensayo de resistencia a compresión simple o bien el ensayo de carga puntual (Point Load).
- RQD (Rock Quality Designation): Tiene una valoración máxima de 20 puntos. Se denomina RQD (Rock Quality Designation) de un cierto tramo de un sondeo a la relación en tanto por ciento entre la suma de las longitudes de los trozos de testigo mayores de 10 cm y la longitud total del sondeo. Evidentemente existen otros métodos para determinar el RQD (Rock Quality Designation).
- Separación entre discontinuidades: Tiene una valoración máxima de 20 puntos. El parámetro considerado es la separación en metros entre juntas de la familia principal de diaclasas la de roca.



- Estado de las discontinuidades: Es el parámetro que más influye, con una valoración máxima de 30 puntos. Pueden aplicarse los criterios generales, en la que el estado de las diaclasas se descompone en otros cinco parámetros: persistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración de la junta.
- Presencia de agua: La valoración máxima es de 15 puntos. La ofrece tres posibles criterios de valoración: estado general, caudal cada 10 metros de túnel y relación entre la presión del agua y la tensión principal mayor en la roca.
- Orientación de las discontinuidades: Este parámetro tiene una valoración negativa, y oscila para túneles entre 0 y -12 puntos. En función del buzamiento de la familia de diaclasas y de su rumbo, en relación con el eje del túnel (paralelo o perpendicular), se establece una clasificación de la discontinuidad en cinco tipos: desde muy favorable hasta muy desfavorable.

A continuación se muestra a detalle los parámetros mencionados:



El RMR (Rock Mass Rating), se obtiene como suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros enumerados. El valor del RMR (Rock Mass Rating) oscila entre 0 y 100, y es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca, esta clasificación geomecánica se basa en el índice RMR (Rock Mass Rating), queda una estimación de la calidad del macizo rocoso, Estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros definiéndose unos valores para dichos parámetros, cuya suma, en cada caso nos da el índice de Calidad del RMR (Rock Mass Rating) que varía entre 0–100. Los objetivos de esta clasificación son:

- Determinar y/o estimar la calidad del macizo rocoso.
- Dividir el macizo rocoso en grupos de conducta análoga.
- Proporcionar una buena base de entendimiento de las características del macizo rocoso.
- Facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca, proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería

El puntaje total del RMR está definido por:

$$\text{RMR} = (\text{i}) + (\text{ii}) + (\text{iii}) + (\text{iv}) + (\text{v}) - \text{Ajuste por orientación de discontinuidades}$$

Ecuación 2: Cálculo final de RMR

- d) Índice RMR: distingue cinco clases que corresponden a la calidad de los macizos rocosos, relacionado características geotécnicas que se toman en cuenta para la aplicación de obras de ingeniería civil y minería, especialmente túneles o taludes.

Tabla 8

Índice RMR: calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR

| Clase | Calidad | Valoración RMR | Cohesión | Ángulo de rozamiento |
|-------|-----------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| I | Muy buena | 100-81 | > 4 kg/cm ² | >45° |
| II | Buena | 80-61 | 3-4 kg/cm ² | 35°-45° |
| III | Media | 60-41 | 2-3 kg/cm ² | 25°-35° |
| IV | Mala | 40-21 | 1-2 kg/cm ² | 15°-25° |
| V | Muy mala | < 20 | < 1 kg/cm ² | < 15° |

Fuente: (OSINERMINING, 2017)

Es así que, un macizo rocoso Clase I será clasificado como Muy Bueno, es decir que es un macizo rocoso duro, poco fracturado, sin filtraciones representativas y leve o poco meteorizado, representa muy pocos problemas frente a su estabilidad y resistencia, por lo tanto, se deduce que tendrá una capacidad portante alta, permitirá la excavación de taludes con pendientes altas y no será necesario la implementación de medidas de estabilización y refuerzo en túneles.

e) RQD: El índice de calidad de roca, conocido como RQD (Deere, 1964), es uno de los sistemas más empleados para caracterizar la competencia del macizo rocoso.

El RQD asigna un porcentaje de calificación al macizo rocoso, de 100% (el más competente) a 0% (el menos competente: condición de suelo). La interpretación del valor del RQD se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 9
Interpretación de Valores de RQD (Deere, 1964)

| Descripción del índice de calidad de roca | Valor del RQD |
|---|---------------|
| Muy pobre | 0-25 |
| Pobre | 25-50 |
| Regular | 50-75 |
| Buena | 75-90 |
| Excelente | 90-100 |

Fuente: (OSINERMING, 2017)

El RQD se puede estimar a partir del espaciamiento promedio de las discontinuidades basado en la siguiente ecuación de Priest y Hudson (1976):

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

Ecuación 3: Cálculo de RQD

Donde:

$$\lambda = 1/(\text{frecuencia de discontinuidades})$$

Ecuación 4: Cálculo de lambda

Cuadro de clasificación Bieniawski para determinar el tipo de RMR (calidad de macizo de roca) – Modificado por Wickham et al. (1972).

Tabla 10
clasificación geomecánica de Bieniawski (1989)

| SISTEMA DE RMR (Según Bieniawski 1989). | | | | | | | | | |
|---|---|---|--|--|--|--|---|---------|--------|
| A. PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN Y SUS VALORACIONES | | | | | | | | | |
| Parámetro | | | Rango de valores | | | | | | |
| 1 | Resistencia del material de la roca intacta | Índice de resistencia bajo carga puntual | >10 MPa | 4-10 MPa | 2-4 MPa | 1-2 MPa | Para este bajo rango es Preferible un Ensayo de compresión simple | | |
| | | Resistencia a la compresión simple | >250 MPa | 100-250 MPa | 50-100 MPa | 25-50 MPa | 5-25 MPa | 1-5 MPa | <1 MPa |
| | Puntuación | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 | |
| 2 | RQD Calidad del testigo de perforación | | 90%-100% | 75%-90% | 50%-75% | 25%-50% | <25 % | | |
| | Puntuación | | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 | | |
| 3 | Espaciado entre discontinuidades | | >2 m | 0.6-2 m | 200-600 mm | 60-200 mm | <60 mm | | |
| | Puntuación | | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 | | |
| 4 | Condiciones de las discontinuidades (Ver E) | | Superficies muy rugosas Discontinuas No hay separación Paredes intactas | Superficies ligeramente rugosas Separación <1mm Paredes ligeramente meteorizadas | Superficies ligeramente rugosas Separación <1mm Paredes altamente meteorizadas | Superficies pulidas o relleno de falla < 5mm de espesor o separación 1- 5mm Continuas | Relleno de falla suave > 5mm de espesor o separación > 5mm Continuas | | |
| | Puntuación | | 30 | 25 | 20 | 10 | 0 | | |
| 5 | Agua subterránea | Afluencia por 10 m de longitud del túnel (l/m) | Ninguna | <10 | 10-25 | 25-125 | >125 | | |
| | | (Presión de agua en las juntas) / (σ principal mayor) | 0 | <0.1 | 0.1-0.2 | 0.2-0.5 | >0.5 | | |
| | | Condiciones generales | Completamente seco | Húmedo | Mojado | Goteando | Fluyendo | | |
| | Puntuación | | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 | | |
| B. AJUSTE DE LA PUNTUACIÓN PARA LA ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES (Ver F) | | | | | | | | | |
| Orientaciones de rumbo y buzamiento | | | Muy favorable | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy desfavorable | | |
| Puntuaciones | Túneles y minas | | 0 | -2 | -5 | -10 | -12 | | |
| | Cimentaciones | | 0 | -2 | -7 | -15 | -25 | | |
| | Taludes | | 0 | -5 | -25 | -50 | - | | |
| C. CLASES DE MACIZOS ROCOSOS DETERMINADOS A PARTIR DE LA PUNTUACIÓN TOTAL | | | | | | | | | |



| | | | | | |
|-------------|----------------|------------|--------------|-----------|---------------|
| Valoración | 100←81 | 80←61 | 60←41 | 40←21 | <21 |
| Categoría | I | II | III | IV | V |
| Descripción | Roca muy buena | Roca buena | Roca regular | Roca mala | Roca muy mala |

D. SIGNIFICADO DE LAS CLASES DE ROCA

| | | | | | |
|---|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Categoría | I | II | III | IV | V |
| Tiempo promedio de auto soporte | 20 años para tramo de 15 m | 1 año para un tramo de 10 m | 1 semana para tramo de 5m | 10 hrs. Para tramo de 2.5 m | 30 min para tramo de 1 m |
| Cohesión del macizo rocoso (kPa) | >400 | 300-400 | 200-300 | 100-200 | <100 |
| Ángulo de fricción del macizo rocoso (grados) | >45 | 35-45 | 25-35 | 15-25 | <15 |

E. LINEAMIENTOS PARA CLASIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE DISCONTINUIDAD

| | | | | | |
|---|----------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| Longitud de discontinuidad (persistencia) | <1 m | 1-3 m | 3-10 m | 10-20 m | >20 m |
| Puntuación | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| Separación (apertura) | Ninguna | <0.1 mm | 0.1-1.0 mm | 1-5 mm | >5 mm |
| Puntuación | 6 | 5 | 4 | 1 | 0 |
| Rugosidad | Muy rugosa | Rugosa | Ligeramente rugosa | Lisa | Pulida |
| Puntuación | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 |
| Relleno (relleno de falla) | Ninguna | Relleno duro <5m | Relleno duro >5m | Relleno blando <5mm | Relleno blando >5mm |
| Puntuación | 6 | 4 | 2 | 2 | 0 |
| Meteorización | No meteorizada | Ligeramente meteorizada | Moderadamente meteorizada | Altamente meteorizada | Descompuesta |
| Puntuación | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 |

F. EFECTO DE LA ORIENTACIÓN DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACIÓN DE TÚNELES**

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
| Rumbo perpendicular al eje del túnel | | Rumbo paralelo al eje del túnel | |
| Excavación hacia el buzamiento-buz. 45-90° | Excavación hacia el buzamiento-buz. 20-45° | Buzamiento 45-90° | Buzamiento 20-45° |
| Muy favorable | Favorable | Muy desfavorable | Regular |
| Excavación contra el buzamiento-buz. 45-90° | Excavación contra el buzamiento-buz. 20-45° | Buzamiento 0-20° - independiente del rumbo | |
| Regular | Desfavorable | Regular | |

Fuente: (OSINERMINING, 2017)

Cuadro de clasificación Bieniawski para determinar el tipo de RMR (calidad de macizo de roca) – Actualizado por Bieniawski (1976).

Tabla 11
Sistema RMR según Bieniawski (1976)

| SISTEMA DE RMR (Según Bieniawski 1976). | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|--|--|---|---|----------|---------|
| A. PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN Y SUS VALORACIONES | | | | | | | | | |
| Parámetro | | Rango de valores | | | | | | | |
| 1 | Resistencia del material de la roca intacta | Índice de resistencia de carga puntual | >8 MPa | 4-8 MPa | 2-4 MPa | 1-2 MPa | Para este bajo rango es preferible un ensayo de compresión simple | | |
| | | Resistencia a la compresión simple | >200 MPa | 100-200 MPa | 50-100 MPa | 25-50 MPa | 10-25 MPa | 3-10 MPa | 1-3 MPa |
| | Puntuación | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 | |
| 2 | RQD Calidad del testigo de perforación | | 90%-100% | 75%-90% | 50%-75% | 25%-50% | <25% | | |
| | Puntuación | | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 | | |
| 3 | Espaciado entre discontinuidades | | >3 m | 1-3 m | 0.3-1 m | 50-300 mm | <50 mm | | |
| | Puntuación | | 30 | 25 | 20 | 10 | 5 | | |
| 4 | Condiciones de las discontinuidades | | Superficies muy rugosas sin continuidad, sin separación. Paredes de roca dura | Superficies algo rugosas, separación < 1 mm paredes de roca dura | Superficies algo rugosas, separación < 1mm paredes de roca suave | Superficies pulidas o relleno < 5mm Espesor o juntas abiertas de 1-5mm juntas continuas | Relleno blando > 5mm o juntas abiertas > 5mm juntas continuas | | |
| | | | Puntuación | 25 | 20 | 12 | 6 | 0 | |
| 5 | Agua subterránea | Afluencia por 10m de longitud del túnel (l/m) | Ninguna | | <25 litros/min | 25-125 litros/min | >125 litros/min | | |
| | | (Presión de agua en las juntas) / (σ principal o mayor) | Cero | | 0.0-0.2 | 0.2-0.5 | >0.5 | | |
| | | Condición general | Totalmente seco | | Solo húmedo | Ligera presión de agua | Serios problemas de agua | | |
| | Puntuación | | 10 | | 7 | 4 | 0 | | |

| B. AJUSTE DE LA PUNTUACIÓN POR LA ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES | | | | | | |
|---|---------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------------------|---|
| Orientaciones de rumbo y buzamiento de juntas | | Muy favorable | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy desfavorable |
| Puntuación | Túneles | 0 | -2 | -5 | -10 | -12 |
| | Cimentaciones | 0 | -2 | -7 | -15 | -25 |
| | Taludes | 0 | -5 | -25 | -50 | -60 |
| C. CLASES DE MACIZOS ROCOSOS DETERMINADOS A PARTIR DE LA PUNTUACIÓN TOTAL | | | | | | |
| Puntuación | | 100←-81 | 80←-61 | 60←-41 | 40←-21 | <21 |
| Categoría | | I | II | III | IV | V |
| Descripción | | Roca muy buena | Roca buena | Roca regular | Roca mala | Rocamuy mala |
| D. SIGNIFICADO DE LAS CLASES DE MACIZO ROCOSO | | | | | | |
| Categoría | | I | II | III | IV | V |
| Tiempo promedio de auto soporte | | 10 años para una luz de 5m | 6 meses para una luz de 4m | 1 semana para una luz de 3 m | 5 hrs. para una luz de 1.5 m | 10 min. para una luz de 0.5m |
| Cohesión del macizo rocoso (kPa) | | >300 | 200-300 | 150-200 | 100-150 | <100 |
| Ángulo de fricción del macizo rocoso (grados) | | >45° | 40° - 45° | 35° - 40° | 30° - 35° | <30° |
| EFFECTO DE ORIENTACIÓN DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS JUNTAS EN LA EXCAVACIÓN DE TÚNELES | | | | | | |
| Rumbo perpendicular al eje del túnel | | | | Rumbo paralelo al eje del túnel | | Buzamiento 0° - 20° sin importar el rumbo |
| Excavación hacia el buzamiento | | Excavación contra el buzamiento | | Rumbo | | |
| Buz 45° - 90° | Buz 20° - 45° | Buz 45° - 90° | Buz 20° - 45° | Buz 45° - 90° | Buz 20° - 45° | |
| Muy favorable | Favorable | Regular | Desfavorable | Muy desfavorable | Regular | |
| | | | | | | Desfavorable |

Fuente: (OSINERMINING, 2017)

- f. GSI: El índice de resistencia geológica (GSI) es un índice de caracterización de macizos rocosos que evalúa al macizo rocoso en función a dos criterios: estructura geológica y condición de la superficie de las juntas. Tiene gran aceptación en el Perú por su facilidad de uso entre el personal de operaciones.

| | | | | | | |
|---|---|---|-----|-----|-----|-----|
| <p>INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICO GSI (Hoek & Marinos, 2000). A partir de la litología, estructura y la condición de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio de GSI. No intente ser muy preciso. Escoger un rango de 33 a 37 es más realista que fijar GSI=35. También notar que esta tabla no se aplica a mecanismos de falla controlado por estructuras. Donde se presenten planos estructuralmente débiles en una orientación desfavorable con respecto a la cara de la excavación, estos dominarán el comportamiento del macizo rocoso. La resistencia al corte de las superficies en rocas que son propensas a deteriorarse como resultado de cambios en la humedad, se reducirá cuando exista presencia de agua. Cuando se trabaje con rocas de categoría regular a muy mala, puede moverse hacia la derecha para condiciones húmedas. La presión de poros se maneja con un análisis de esfuerzos efectivos.</p> | | <p>CONDICIONES SUPERFICIALES</p> <p>MUY BUENA Muy rugoso. Superficies frescas sin meteorización</p> <p>BUENO Rugoso, ligeramente meteorizada. Superficies con óxido.</p> <p>REGULAR Lizas, moderadamente meteorizadas y superficies alteradas.</p> <p>MALA Espejo de falla, altamente meteorizadas con recubrimiento compacto o rellenos o fragmentos</p> <p>MUY MALA Espejo de falla, superficies altamente meteorizadas con recubrimiento de arcilla suave o rellenos</p> | | | | |
| <p>ESTRUCTURA</p> | | <p>DISMINUYE CALIDAD DE SUPERFICIE →</p> | | | | |
| <p>Intacta o Masivo: Especímenes de roca intacta o masivo in situ con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas.</p> | <p>DISMINUYE EL ENTRELAZADO DE PEDAZOS DE ROCA</p> <p>↓</p> | 90 | | | N/A | N/A |
| <p>Levemente fracturado: Macizo rocoso no disturbado, muy bien entrelazado, constituido por bloques cúbicos formados por tres familias de discontinuidades</p> | | 80 | 70 | | | |
| <p>Moderadamente Fracturado: Entrelazado, macizo rocoso parcialmente disturbado con bloques angulosos de varias caras formado por 4 o más familias de discontinuidades</p> | | | 60 | 50 | | |
| <p>Muy Fracturado/Disturbado/Agrietada: Foliada con bloques angulosos formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Persistencia de planos de estratificación o esquistocidad</p> | | | | 40 | 30 | |
| <p>Desintegrado: Pobremente entrelazado, macizo altamente fracturado compuesto de una mezcla de pedazos de rocas angulosas y redondeadas</p> | | | | | 20 | |
| <p>Foliado/Laminado/Cizallado: Falta de formación de bloques debido al pequeño espaciamiento o esquistocidad débil o planos de corte</p> | | | N/A | N/A | | 10 |

Figura 3: GSI (Hoek, Marinos 2000)

Fuente: (OSINERMINING, 2017)

- g. Mapeo geomecánico: Según (Mendieta Britto, 2014), "El mapeo geomecánico consiste en la recolección de la data del macizo rocoso in situ, la descripción gráfica de las condiciones in situ del macizo rocoso consideran las diaclasas, las condiciones del ambiente y la clasificación del tipo de macizo rocoso, haciendo uso de las herramientas geomecánicas: picota de geólogo, martillo Schmidt, brújula y juego de colores".
- h. Pernos de roca: Según (Mendieta Britto, 2014), " Los sistemas de reforzamiento con pernos de roca minimizan las deformaciones inducidas por el peso muerto de la roca aflojada, así como también aquellas inducidas por la redistribución de los esfuerzos en la roca circundante a la excavación".
- i. Perno helicoidal: es una barra de acero helicoidal cuya sección transversal es ovalada, con resaltes en forma de un hilo helicoidal izquierdo, que actúa en colaboración con un sistema de fijación formada por una placa de acero perforada y una tuerca de fundición nodular, las cuales actúan de forma complementaria para reforzar y preservar la resistencia natural del macizo rocoso. Es un perno que actúa o transfiere su carga por adherencia.
- j. Split sets: consiste en un tubo ranurado a lo largo de su longitud, uno de los extremos es ahusado y el otro lleva un anillo soldado para mantener la platina.
- k. Swellex: Según (Mendieta Britto, 2014), "Es un perno de anclaje por fricción, pero en este caso la resistencia friccional al deslizamiento se combina con el ajuste, es decir, el mecanismo de anclaje es por fricción y por ajuste mecánico, el cual funciona como un anclaje repartido. El perno swellex está formado por un tubo de diámetro



original de 41 mm y puede tener de 0.6 a 12 m de longitud o más (en piezas conectables), el cual es plegado durante su fabricación para crear una unidad de 25 a 28 mm de diámetro”.

1. Concreto lanzado (Shotcrete): Según (Mendieta Britto, 2014), “El shotcrete es el nombre genérico del concreto cuyos materiales componentes son: cemento, agregado, agua, aditivos y elementos de refuerzo, los cuales son aplicados neumáticamente y compactados dinámicamente a alta velocidad sobre una superficie”.

Los instrumentos de recolección y análisis de datos que deben considerarse son:

- Libreta de campo.
- Formato de Registro-MR.
- GPS eTrexR Legend C.
- Picota de geólogo.
- Brújula geotécnica.
- Rayador dureza 7.
- Lupa 20X.
- Cámara fotográfica
- Colores.
- Tablero.
- Ácido clorhídrico (al 20%).

2. Mapa geológico del Perú



Figura 4: Mapa Geológico del Perú 1:1 000 000

Fuente: (INGEMMET, s.f.)



Para (INGEMMET, s.f.) “La Carta Geológica Nacional a escala 1:100,000 está conformada por 501 cuadrángulos, los cuales fueron cartografiados entre los años 1960 y 1999. Cada mapa geológico o grupo de mapas, vienen acompañados de un boletín Serie A (Carta Geológica Nacional), en el que se brinda información objetiva del terreno estudiado, resaltando la estratigrafía, rocas ígneas y geología estructural; en algunos casos se encuentran acompañadas de geología económica, geología histórica entre otras ramas geológicas de la región estudiada. Toda la información está ilustrada con fotografías de campo, columnas estratigráficas, secciones estructurales, resultados de laboratorio y la bibliografía de referencia, para darle al producto la solidez científica y técnica”.

3. Mapa mundial de esfuerzos

En el proyecto del mapa mundial de esfuerzos participaron 18 países en 1992 con la finalidad de compilar una base de datos global de esfuerzos tectónicos actuales. La última versión (2016) contiene 42 870 datos a nivel mundial, y la página web a acceder es a través de www.world-stress-map.org.

Según (OSINERMIN, 2017) “El mapa mundial de esfuerzos (WSM, 2016) puede ser usado para dar estimaciones iniciales de la dirección de esfuerzos que se podrían encontrar en el Perú (Figura 5). Debido a la importancia de la dirección y magnitud de los esfuerzos como un parámetro en el diseño de excavaciones subterráneas, y caracterizaciones geomecánicas”.



Figura 5: Mapa de esfuerzos del Perú

Fuente: (OSINERMING, 2017)