

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Trabajo de Investigación

**Propuesta de elección de tipo de sostenimiento  
por utilizarse en la Unidad de Producción  
Yauricocha, Lima-2020**

Juan Héctor Cerrón Rosales

Para optar el Grado Académico de  
Bachiller en Ingeniería de Minas

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**ASESOR**

Dr. Eusebio Zenón Castro León

## **AGRADECIMIENTOS**

A la empresa contratista minera Operaciones Mineras San Pedro S.A.C., por la oportunidad de permitirme trabajar con ellos en sus operaciones de la unidad de producción Yauricocha de la Sociedad Minera Corona, y de realizar la investigación.

Al Ing. Teófilo Sotacuri Cóngora, gerente de Operaciones de la contrata, quien me permitió realizar la investigación bajo el asesoramiento del equipo de geomecánica de la contrata.

Al Dr. Eusebio Zenón Castro León, por el asesoramiento metodológico durante el desarrollo de la investigación.

## **DEDICATORIA**

A mi familia, por su constante apoyo moral a lo largo de los proyectos emprendidos en mi vida académico-profesional, a la EAP de Minas de la Universidad Continental y al Programa Nacional de Becas (Pronabec).

# ÍNDICE

ASESOR.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	x
CAPÍTULO I.....	11
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	11
1.1. Planteamiento del problema.....	11
1.2. Formulación del problema.....	11
1.2.1. Problema general.....	11
1.2.2. Problemas específicos.....	11
1.3. Objetivos de la investigación.....	12
1.3.1. Objetivo general.....	12
1.3.2. Objetivos específicos.....	12
1.4. Justificación e importancia.....	12
1.5. Hipótesis.....	13
1.5.1. Hipótesis general.....	13
1.5.2. Hipótesis específicas.....	13
1.6. Identificación de las variables.....	13
1.6.1. Variable.....	13
1.7. Operacionalización de las variables.....	14
CAPÍTULO II.....	15
MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. Antecedentes de la investigación.....	15
2.2. Bases teóricas.....	16
2.2.1. Tensión, estado y campo de tensiones.....	16
2.2.2. Tensiones naturales e inducidas.....	16
2.2.3. Compresión uniaxial.....	17

2.3. Definición de términos básicos .....	17
CAPÍTULO III.....	19
METODOLOGÍA.....	19
3.1. Método de investigación .....	19
3.2. Tipo de investigación .....	19
3.3. Nivel de investigación .....	19
3.4. Diseño de investigación.....	19
3.5. Población y muestra .....	19
3.5.1. Población.....	19
3.5.2. Muestra .....	19
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	20
3.6.1. Técnicas.....	20
3.6.2. Instrumentos.....	20
CAPÍTULO IV .....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	21
4.1. Presentación de los resultados.....	21
4.2. Análisis de los resultados .....	24
4.3. Discusión de resultados.....	26
CONCLUSIONES .....	28
RECOMENDACIONES.....	29
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31.
ANEXOS.....	31

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Registro de datos en estaciones geomecánicas.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 2. Resumen de parámetros geomecánicos en macizo rocoso .....</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 3. Valoración geomecánica RMR.....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 4. Clasificación geomecánica del macizo rocoso .....</b>	<b>26</b>



## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se propone el mejor sostenimiento por usarse en la construcción del túnel Yauricocha de la unidad de producción Yauricocha - Sociedad Minera Corona, mediante la aplicación del sistema de clasificación geomecánica de Bieniawski. La investigación se desarrolló en el tercer tramo de construcción del túnel Yauricocha, con la finalidad de estimar el óptimo sostenimiento de labor permanente. En el estudio del tipo de sostenimiento se describen propiedades geomecánicas, caracterización y condiciones estructurales del macizo rocoso en concordancia con los parámetros de evaluación geomecánica presentes en la evaluación del RMR de Bieniawski usado para túneles. Finalmente, los resultados obtenidos demuestran que teniendo en cuenta las propiedades mecánicas, caracterización y condiciones asociadas al macizo rocoso, el sostenimiento recomendado, según la clasificación RMR de Bieniawski, es el empernado con perno helicoidal y resina, de 4 metros con separación de 1.5 metros de espaciado, con malla electrosoldada en la corona, así como aplicación de hormigón proyectado de 50 mm en corona y 30 mm en hastiales.

**Palabras clave:** sostenimiento, macizo rocoso, geomecánica, desprendimiento de rocas.

## ABSTRACT

In the present research work, the best support to be used in the construction of the Yauricocha tunnel of the Yauricocha Production Unit - Sociedad Minera Corona is proposed, by applying the Bieniawski geomechanical classification system. The research was developed in the third section of the Yauricocha tunnel construction, in order to estimate the optimal maintenance of permanent work.

In the study of the type of support, geomechanical properties, characterization and structural conditions of the rocky massif are described in accordance with the geomechanical evaluation parameters present in the evaluation of the Bieniawski RMR used for tunnels.

Finally, the results obtained show us that taking into account the mechanical properties, characterization and conditions associated with the rocky massif, the recommended support according to Bieniawski's RMR classification is bolting with a helical bolt and resin, 4 meters with a separation of 1.5 meters. of spacing, with electro-welded mesh in the crown, as well as application of 50 mm sprayed concrete in the crown and 30 mm in the gables.

**Keywords:** support, rock massif, geomechanics, rockfall.

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación tiene como objetivo dar a conocer cuál sería el tipo de sostenimiento por establecer, mediante el uso del sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, en la unidad de producción Yauricocha, Lima – 2020, el cual se llevará a cabo usando el sistema de clasificación geomecánica de Bieniawski en el desarrollo de una labor permanente.

La investigación está compuesta por cuatro capítulos, conclusiones y recomendaciones.

El Capítulo I contiene el planteamiento del problema, formulación del problema, objetivos, justificación e importancia, hipótesis y operacionalización de las variables.

En el Capítulo II se plantea el marco teórico, los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y se definen términos básicos.

El Capítulo III presenta la metodología de la investigación, el diseño de investigación, la población, muestra y los instrumentos de recolección de datos.

En el Capítulo IV se exponen los resultados de la investigación y la discusión de los mismos sobre el sostenimiento estimado usando el sistema de clasificación geomecánica de Bieniawski.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento del problema

El sostenimiento de labores mineras es una de las actividades más importantes por realizarse durante la preparación, el desarrollo y la explotación en una mina subterránea. El principal peligro latente en una operación minera subterránea es la caída y desprendimiento de rocas; en el año 2018, los colaboradores que perdieron la vida mientras realizaban sus actividades en minería ascienden a 23, de los cuales cinco perecieron por caída de rocas, por lo que la correcta aplicación de la metodología de estimación de sostenimiento en una labor minera subterránea, basándose en criterios y parámetros para la caracterización geomecánica, resulta ser uno de los pilares fundamentales de ingeniería en servicios auxiliares mineros.

### 1.2. Formulación del problema

#### 1.2.1. Problema general

¿Cuál sería el tipo de sostenimiento por establecer, mediante el uso del sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, en la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020?

#### 1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son las propiedades geomecánicas que presenta el macizo rocoso según el sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski en la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020?
- b) ¿Cuál es la caracterización geomecánica del macizo rocoso según el sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020?
- c) ¿Cuáles son las condiciones estructurales del macizo rocoso según el sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Dar a conocer cuál sería el tipo de sostenimiento por establecer, mediante el uso del sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, en la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a) Dar a conocer cuáles son las propiedades geomecánicas que presenta el macizo rocoso según el sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski en la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020.
  
- b) Dar a conocer cuál es la caracterización geomecánica del macizo rocoso según el sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020.
  
- c) Dar a conocer cuáles son las condiciones estructurales del macizo rocoso según el sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020.

### **1.4. Justificación e importancia**

El Perú es un país donde la minería supone la mayor cantidad de divisas para el tesoro nacional, por lo que el desarrollo de esta actividad es fundamental. Asimismo, es una de las actividades industriales más riesgosas, que anualmente produce accidentes fatales durante su realización.

Por ello, es fundamental neutralizar los peligros y minimizar el número de accidentes, como en el caso de desprendimiento de rocas, que cada año supone un desafío de prevención para los responsables en la actividad, por lo que determinar un tipo de sostenimiento técnicamente correcto es imperativo.

Normalmente, en minería el sostenimiento es recomendado por el índice GSI, mientras que el índice RMR de Bieniawski es normalmente usado en la construcción de túneles. No obstante, el mencionado sistema también permite estimar parámetros muy importantes inmersos en el sostenimiento de roca, por

lo que resulta ser una herramienta muy eficiente cuando de estimación de sostenimiento se trata.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis general**

Mediante el uso del sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski es factible establecer el tipo de sostenimiento pertinente en la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020.

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- a) Mediante el uso del sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski es factible establecer las propiedades geomecánicas que presenta el macizo rocoso de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020.
- b) Mediante el uso del sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski es factible establecer la caracterización geomecánica del macizo rocoso de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020.
- c) Mediante el uso del sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski es factible establecer las condiciones estructurales del macizo rocoso de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020.

## **1.6. Identificación de las variables**

### **1.6.1. Variable**

Tipo de sostenimiento

## 1.7. Operacionalización de las variables

<b>Tabla 1. Operacionalización de variables</b>				
<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Subdimensión</b>	<b>Indicador</b>
Tipo de sostenimiento por establecer mediante el uso del sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski.	Conjunto de procedimientos que permiten el soporte natural o artificial del macizo rocoso, usando el sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, tomando en cuenta las propiedades geomecánicas, caracterización y condiciones estructurales del macizo rocoso de la mina en explotación.	Conjunto de procedimientos de soporte por utilizar mediante el sistema RMR de Bieniawski.	Propiedades geomecánicas del macizo rocoso.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistencia a la compresión y la tracción (MPa)</li> <li>Velocidad de propagación de las ondas elásticas</li> <li>Deformabilidad</li> </ul>
			Caracterización del macizo rocoso.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Índice RQD (Rock Quality Designation)</li> <li>Índice GSI</li> <li>Índice de Q de Barton</li> </ul>
			Condiciones estructurales del macizo rocoso.	<ul style="list-style-type: none"> <li>N.º de fallas regionales asociadas al yacimiento</li> <li>N.º de pliegues asociados al yacimiento</li> <li>Nº de fracturas por metro cuadrado</li> </ul>

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

- Zorrilla (1), en su tesis *La seguridad en el sostenimiento con criterios geomecánicos en la excavación subterránea de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila*, se planteó como objetivo definir estándares de seguridad para el sostenimiento sustentados en la aplicación de criterios geomecánicos. La hipótesis fue que se mejorarán las condiciones de seguridad en el sostenimiento mediante la aplicación de criterios geomecánicos. La investigación concluyó que la ingeniería de minas moderna ha adoptado a la geomecánica como una herramienta tecnológica indispensable para lograr las mejores condiciones de seguridad y eficiencia en las operaciones de excavación de túneles y cavernas y otros trabajos subterráneos.
- Bojórquez (2), en su tesis doctoral *Implementación de un sistema de información geomecánica en la estabilidad subterránea en la mina Huanzalá periodo 2010-2011*, se planteó como objetivo implementar un sistema de información geomecánica de estabilidad subterránea. La investigación concluyó que la implementación de un sistema de información geomecánica de estabilidad subterránea automatiza y agiliza los procesos de acceso a la información de dicha estabilidad en la mina.
- Burgos (3), en su tesis de maestría *Desarrollo de herramienta de diseño para la estabilidad de excavaciones con entrada de personal*, tuvo como objetivo desarrollar y proponer una herramienta de diseño para el análisis de estabilidad de excavaciones subterráneas con entrada de personal y equipos, a partir de la aplicación de métodos empíricos y numéricos. La investigación concluyó que las condiciones de estabilidad que exigen las excavaciones mineras subterráneas con entrada de personas y equipos requieren de un análisis exhaustivo que permita identificar las variables críticas dentro del diseño que garanticen una operación segura.



- Mamani (4), en su tesis de maestría *Clasificación geomecánica para el diseño de sostenimiento en la galería principal – contrata minera Peyols, U.E.A. – Ana María*, se propuso como objetivo determinar la influencia de las aplicaciones del sistema de clasificación geomecánica en el diseño de sostenimiento para la galería principal. La hipótesis planteada fue que las aplicaciones del sistema de clasificación geomecánica permitirán diseñar el sostenimiento adecuado en la galería principal. El investigador concluyó que la aplicación de la geomecánica determinó el sistema de sostenimiento adecuado en la minera Peyols, de acuerdo con los análisis de los parámetros geomecánicos de RQD promedio de 86, RMR promedio de 48, Q promedio 1.03 y GSI promedio de 43.
- En su tesis doctoral, (5) Rosado planteó como objetivo de investigación determinar los procesos geológicos que favorecen la infiltración y el movimiento de las aguas subterráneas que originan la meteorización y alteración, las cuales afectan el comportamiento geomecánico en la mina Zoila. La hipótesis propuesta fue que los procesos geológicos que influyen en el comportamiento geomecánico de las rocas son el régimen del agua de infiltración y el sistema estructural de las rocas de caja en la mina Zoila. La investigación concluyó que, regionalmente, las lluvias que anualmente se precipitan en las cumbres de la zona andina constituyen la fuente de agua que alimenta el subsuelo. Esta situación, a su vez, es facilitada por la alta permeabilidad de las rocas fracturadas que conforman las cumbres y el macizo rocoso del complejo metamórfico Maraynioc.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Tensión, estado y campo de tensiones**

Según Gavilanes y Andrade (6), las tensiones, en física, son magnitudes derivadas de otra, es decir, la fuerza; en estas, las que inducen un estado tenso-deformacional son las de masa y de superficie.

### **2.2.2. Tensiones naturales e inducidas**

Cualquier macizo rocoso en estado tensional natural se encuentra sometido a tensiones no nulas, ya sea de los esfuerzos inducidos como de las rocas suprayacentes (6).

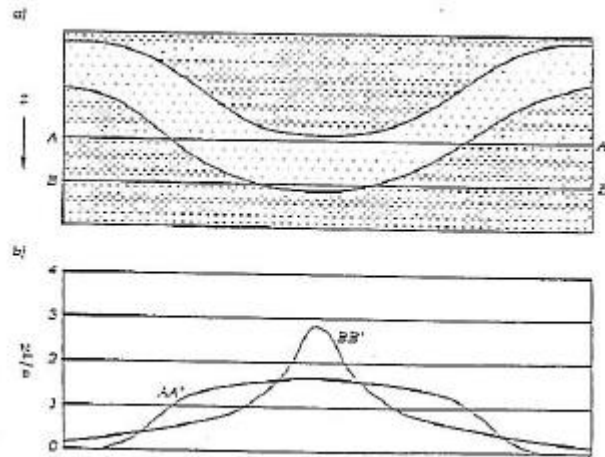


Figura 1. Plegamientos en roca suprayacentes. Tomado de Gavilanes y Andrade, 2004, p. 144 (6).

### 2.2.3. Compresión uniaxial

La resistencia a la compresión uniaxial de la roca (RCU) es posiblemente el parámetro más importante y citado para la caracterización de la roca, lo que puede ser un error, ya que esta se encuentra en función de otros parámetros. Los resultados señalan que, a diferencia de otras propiedades intrínsecas, este si depende de la geometría de la probeta de la muestra por evaluarse (6).

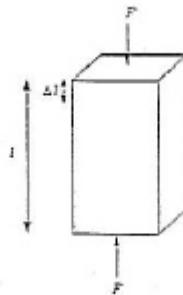


Figura 2. Compresión uniaxial en eje. Tomada de Gavilanes y Andrade, 2004, p. 140 (6).

### 2.3. Definición de términos básicos

a) **Sostenimiento:** Conjunto de procedimientos de soporte natural o artificial del macizo rocoso, en una actividad de excavación subterránea.

- b) Macizo rocoso:** Es un medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo conformado en conjunto por bloques de matriz rocosa.
- c) Geomecánica:** Es la parte de la geología que estudia las propiedades estructurales, mecánicas e hidrogeológicas de un macizo rocoso.
- d) Desprendimiento de rocas:** Son fragmentos de material rocoso que se precipitan por gravedad provocando un peligro.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método de investigación**

Esta investigación usa el método científico, y cuenta con un secuenciamiento a fin de llegar a resultados con confiabilidad científica.

#### **3.2. Tipo de investigación**

La presente investigación es aplicada, porque se usan como base investigaciones y principios científicos básicos en construcción de túneles mineros y civiles enfocándose en su sostenimiento derivado de la caracterización geomecánica.

#### **3.3. Nivel de investigación**

El nivel de la investigación es descriptivo, debido a que se basa principalmente en la observación de los fenómenos relacionados con la variable.

#### **3.4. Diseño de investigación**

El diseño de esta investigación es descriptivo simple, ya que busca recoger información sobre el objeto de la investigación, como en este caso es la caracterización.

#### **3.5. Población y muestra**

##### **3.5.1. Población**

Para esta investigación, se considerarán las labores de la zona II, de la unidad de producción Yauricocha, de la Sociedad Minera Corona.

##### **3.5.2. Muestra**

La muestra de esta investigación será la labor By-Pass 8274NW, del túnel Yauricocha.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.6.1. Técnicas**

La principal técnica usada es la observación directa del comportamiento geomecánico del macizo rocoso, identificando los parámetros geomecánicos del RMR.

- Recolección de datos del macizo rocoso *in situ*.
- Limpieza y procesamiento de datos
- Análisis e interpretación de los datos

#### **3.6.2. Instrumentos**

El instrumento que se ha usado fue la ficha de clasificación geomecánica Gi Mroc.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Presentación de los resultados

Para estimar el sostenimiento de cualquier excavación subterránea, es necesario realizar la evaluación geomecánica del macizo rocoso, donde se está desarrollando la excavación, por lo que se considerarán los resultados tomados en 100 puntos a lo largo de la excavación, a medida del avance.

**Tabla 1. Registro de datos en estaciones geomecánicas**

ID	RCU		RQD		Espaci am. (m)	Estado de las discontinuidades					Agua freática	
	Ensayo de carga	Martillo de Schimid	JV	Índice		Long. de discon. (m)	Abertu ra (mm)	Rugosi dad	Rellen o	Alterá ción	Caudal (l/min) x 10m	Estado general
PRD001	2	30	21	45.7	0.050	2.1	5	3	5	3	32	4
PRD002	1	32	23	39.1	0.057	3.2	6	4	6	2	38	5
PRD003	1	34	27	25.9	0.045	2.3	8	4	8	3	36	5
PRD004	2	42	26	29.2	0.048	0.6	7	3	7	3	42	5
PRD005	2	44	19	52.3	0.069	2.1	5	3	5	3	44	4
PRD006	3	52	18	55.6	0.058	2.2	5	3	5	3	38	3
PRD007	2	52	25	32.5	0.470	3.5	8	4	8	2	34	4
PRD008	3	54	18	55.6	0.600	2.6	7	3	7	2	32	4
PRD009	4	54	26	29.2	0.450	1.6	8	4	8	3	36	3
PRD010	4	56	26	29.2	0.890	1.4	9	2	9	3	38	3
PRD011	5	56	28	22.6	0.547	0.7	4	3	4	2	40	4
PRD012	3	58	15	65.5	0.458	0.9	7	3	7	2	44	4
PRD013	4	58	18	55.6	0.894	0.5	6	4	6	2	40	4
PRD014	3	56	16	62.2	0.874	1.9	8	4	8	3	36	4
PRD015	2	52	17	58.9	0.740	2.5	7	3	7	2	38	4
PRD016	3	50	18	55.6	0.870	3.2	8	4	8	3	36	4
PRD017	3	48	20	49	0.798	3.6	9	3	9	2	34	4
PRD018	2	36	26	29.2	0.784	3.7	4	3	4	2	32	3
PRD019	2	34	23	39.1	0.954	3.9	8	3	8	2	40	5
PRD020	2	32	22	42.4	0.125	3.9	7	4	7	2	42	3
PRD021	2	30	21	45.7	0.050	2.1	5	3	5	3	32	4
PRD022	1	32	23	39.1	0.057	3.2	6	4	6	2	38	5
PRD023	1	34	27	25.9	0.045	2.3	8	4	8	3	36	5
PRD024	2	42	26	29.2	0.048	0.6	7	3	7	3	42	5
PRD025	2	44	19	52.3	0.069	2.1	5	3	5	3	44	4

PRD026	3	52	18	55.6	0.058	2.2	5	3	5	3	38	3
PRD027	2	52	25	32.5	0.470	3.5	8	4	8	2	34	4
PRD028	3	54	18	55.6	0.600	2.6	7	3	7	2	32	4
PRD029	4	54	26	29.2	0.450	1.6	8	4	8	3	36	3
PRD030	4	56	26	29.2	0.890	1.4	9	2	9	3	38	3
PRD031	5	56	28	22.6	0.547	0.7	4	3	4	2	40	4
PRD032	3	58	15	65.5	0.458	0.9	7	3	7	2	44	4
PRD033	4	58	18	55.6	0.894	0.5	6	4	6	2	40	4
PRD034	3	56	16	62.2	0.874	1.9	8	4	8	3	36	4
PRD035	2	52	17	58.9	0.740	2.5	7	3	7	2	38	4
PRD036	3	50	18	55.6	0.870	3.2	8	4	8	3	36	4
PRD037	3	48	20	49	0.798	3.6	9	3	9	2	34	4
PRD038	2	36	26	29.2	0.784	3.7	4	3	4	2	32	3
PRD039	2	34	23	39.1	0.954	3.9	8	3	8	2	40	5
PRD040	2	32	22	42.4	0.125	3.9	7	4	7	2	42	3
PRD041	2	30	21	45.7	0.050	2.1	5	3	5	3	32	4
PRD042	1	32	23	39.1	0.057	3.2	6	4	6	2	38	5
PRD043	1	34	27	25.9	0.045	2.3	8	4	8	3	36	5
PRD044	2	42	26	29.2	0.048	0.6	7	3	7	3	42	5
PRD045	2	44	19	52.3	0.069	2.1	5	3	5	3	44	4
PRD046	3	52	18	55.6	0.058	2.2	5	3	5	3	38	3
PRD047	2	52	25	32.5	0.470	3.5	8	4	8	2	34	4
PRD048	3	54	18	55.6	0.600	2.6	7	3	7	2	32	4
PRD049	4	54	26	29.2	0.450	1.6	8	4	8	3	36	3
PRD050	4	56	26	29.2	0.890	1.4	9	2	9	3	38	3
PRD051	5	56	28	22.6	0.547	0.7	4	3	4	2	40	4
PRD052	3	58	15	65.5	0.458	0.9	7	3	7	2	44	4
PRD053	4	58	18	55.6	0.894	0.5	6	4	6	2	40	4
PRD054	3	56	16	62.2	0.874	1.9	8	4	8	3	36	4
PRD055	2	52	17	58.9	0.740	2.5	7	3	7	2	38	4
PRD056	3	50	18	55.6	0.870	3.2	8	4	8	3	36	4
PRD057	3	48	20	49	0.798	3.6	9	3	9	2	34	4
PRD058	2	36	26	29.2	0.784	3.7	4	3	4	2	32	3
PRD059	2	34	23	39.1	0.954	3.9	8	3	8	2	40	5
PRD060	2	32	22	42.4	0.125	3.9	7	4	7	2	42	3
PRD061	2	30	21	45.7	0.050	2.1	5	3	5	3	32	4
PRD062	1	32	23	39.1	0.057	3.2	6	4	6	2	38	5
PRD063	1	34	27	25.9	0.045	2.3	8	4	8	3	36	5
PRD064	2	42	26	29.2	0.048	0.6	7	3	7	3	42	5
PRD065	2	44	19	52.3	0.069	2.1	5	3	5	3	44	4
PRD066	3	52	18	55.6	0.058	2.2	5	3	5	3	38	3
PRD067	2	52	25	32.5	0.470	3.5	8	4	8	2	34	4
PRD068	3	54	18	55.6	0.600	2.6	7	3	7	2	32	4
PRD069	4	54	26	29.2	0.450	1.6	8	4	8	3	36	3
PRD070	4	56	26	29.2	0.890	1.4	9	2	9	3	38	3

PRD071	5	56	28	22.6	0.547	0.7	4	3	4	2	40	4
PRD072	3	58	15	65.5	0.458	0.9	7	3	7	2	44	4
PRD073	4	58	18	55.6	0.894	0.5	6	4	6	2	40	4
PRD074	3	56	16	62.2	0.874	1.9	8	4	8	3	36	4
PRD075	2	52	17	58.9	0.740	2.5	7	3	7	2	38	4
PRD076	3	50	18	55.6	0.870	3.2	8	4	8	3	36	4
PRD077	3	48	20	49	0.798	3.6	9	3	9	2	34	4
PRD078	2	36	26	29.2	0.784	3.7	4	3	4	2	32	3
PRD079	2	34	23	39.1	0.954	3.9	8	3	8	2	40	5
PRD080	2	32	22	42.4	0.125	3.9	7	4	7	2	42	3
PRD081	2	30	21	45.7	0.050	2.1	5	3	5	3	32	4
PRD082	1	32	23	39.1	0.057	3.2	6	4	6	2	38	5
PRD083	1	34	27	25.9	0.045	2.3	8	4	8	3	36	5
PRD084	2	42	26	29.2	0.048	0.6	7	3	7	3	42	5
PRD085	2	44	19	52.3	0.069	2.1	5	3	5	3	44	4
PRD086	3	52	18	55.6	0.058	2.2	5	3	5	3	38	3
PRD087	2	52	25	32.5	0.470	3.5	8	4	8	2	34	4
PRD088	3	54	18	55.6	0.600	2.6	7	3	7	2	32	4
PRD089	4	54	26	29.2	0.450	1.6	8	4	8	3	36	3
PRD090	4	56	26	29.2	0.890	1.4	9	2	9	3	38	3
PRD091	5	56	28	22.6	0.547	0.7	4	3	4	2	40	4
PRD092	3	58	15	65.5	0.458	0.9	7	3	7	2	44	4
PRD093	4	58	18	55.6	0.894	0.5	6	4	6	2	40	4
PRD094	3	56	16	62.2	0.874	1.9	8	4	8	3	36	4
PRD095	2	52	17	58.9	0.740	2.5	7	3	7	2	38	4
PRD096	3	50	18	55.6	0.870	3.2	8	4	8	3	36	4
PRD097	3	48	20	49	0.798	3.6	9	3	9	2	34	4
PRD098	2	36	26	29.2	0.784	3.7	4	3	4	2	32	3
PRD099	2	34	23	39.1	0.954	3.9	8	3	8	2	40	5
PRD100	2	32	22	42.4	0.125	3.9	7	4	7	2	42	3
MEDIA	<b>2.65</b>	<b>46.5</b>		<b>43.72</b>	<b>0.489</b>	<b>05</b>	<b>2.32</b>	<b>6.8</b>		<b>6.8</b>		<b>37.6</b>
MAX	5.000	58.000		65.500	0.954	3.900	9.000		9.000		44.000	
MIN	1.000	30.000		22.600	0.045	0.500	4.000		4.000		32.000	

*Nota.* Adaptado de información proporcionada por Operaciones Mineras San Pedro S.A.C.

En vista de que algunos datos recogidos son cualitativos, se ha tomado en cuenta la mayor incidencia de algunos parámetros como son la rugosidad, alteración y estado general del agua; el relleno de fracturas se consideró como relleno duro, mayor a 5 mm.

En zonas del área estudiada hay presencia clara y visible de parámetros como rugosidad y alteración, mientras que en otras áreas de la zona de estudio



no se puede apreciar. Por otro lado, el relleno de fracturas es perfectamente visible y el diaclasamiento medible.

En la mina Yauricocha, uno de los principales peligros existentes es el soplo de lodo o agua, por lo que realizar una medición precisa de los caudales y fluencia del agua resultará imperativo, teniendo principal control de este parámetro para el cálculo no solo de la percolación, sino también bajo la presencia de aguas subterráneas.

**Tabla 2. Resumen de parámetros geomecánicos en macizo rocoso**

		Conteo
<b>Rugosidad</b>		
1	Muy rugoso	0
2	Rugoso	5
3	Ligeramente rugoso	55
4	Ondulado	40
5	Suave	0
<b>Alteración</b>		
1	Inalterada	0
2	Ligeramente alterada	55
3	Moderadamente alterada	45
4	Muy alterada	0
5	Descompuesta	0
<b>Estado general del agua</b>		
1	Seco	0
2	Ligeramente húmedo	0
3	Húmedo	25
4	Goteando	55
5	Agua fluyendo	20
<b>Relleno</b>		
> 5 mm (relleno duro)		

#### 4.2. Análisis de los resultados

Obtenidos los parámetros necesarios para la estimación RMR, esta se realizó usando una hoja de cálculo programada en función de los parámetros ya considerados durante la recolección, de lo que resulta el índice de RMR.

También se toma en cuenta la orientación de la excavación en relación con la dirección de ataque del túnel.

Al realizar la estimación, se consideran las correcciones de tunelería, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas, condiciones estructurales y caracterización hidrogeológica del macizo rocoso.

**Tabla 3. Valoración geomecánica RMR**

Parámetros de clasificación	Clasificación	Puntuación
<b>1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)</b>		
Ensayo de carga puntual	4-2	7
Compresión simple	50-25	4
<b>2 Índice RQD de la roca</b>		
RQD (%)	25-50	6
<b>3 Separación entre diaclasas</b>		
Separación entre diaclasas (m)	0,2 – 0.6	10
<b>4 Estado de las discontinuidades</b>		
Longitud de la discontinuidad (m)	1-3	4
Abertura (mm)	>5	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno duro >5	2
Alteraciones	Ligeramente alterada	5
<b>5 Agua freática</b>		
Caudal por 10 m de túnel	10-25 l/min	7
Presión agua/Tensión principal mayor	No aplica	0
Estado general	Goteando	4
<b>Corrección por discontinuidades</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Puntuación</b>

Túneles	Medias	-5
Cimentaciones	No aplica	0
Taludes	No aplica	0
<b>Puntuación</b>		<b>47</b>

Según la estimación del índice RMR, no es posible estimar el tiempo de autosostenimiento de la excavación, con una longitud de avance de voladura máximo como se presenta en la Tabla 5, lo que será necesario para poder analizar el tipo de sostenimiento, debido a que este tiempo permitirá estimar recursos, mano de obra requerida para este fin.

**Tabla 4. Clasificación geomecánica del macizo rocoso**

CLASIFICACIÓN RMR				
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Cohesión [kg/cm <sup>2</sup> ]	Angulo de rozamiento [°]
Media	III	1 semana con 5 m de vano	2-3	25-35

*Nota.* Adaptado de información proporcionada por Operaciones Mineras San Pedro S.A.C.

#### 4.3. Discusión de resultados

La valoración RMR de Bieniawski es de 47, luego de la corrección “media” de trabajo en tunelería. Esta conjetura coincide con Garza (7), quien señaló que “la búsqueda comparativa de diversos métodos geomecánicos encontrando como complemento el Índice Q con el RMR. Propuesto inicialmente para determinar la calidad de un macizo rocoso en túneles, adaptado posteriormente para taludes” (7, p. 5).

Según Burgos (3), “El diseño de soporte en excavaciones subterráneas depende de características propias del sistema de refuerzo y del macizo rocoso. El análisis de esta interacción se puede establecer por medio de aproximaciones empíricas, analíticas o estudios de observación” (3, p. 12). Es así que, en el caso

de esta investigación, existe la coincidencia en cuanto a la combinación de las estimaciones recomendadas teniendo en cuenta la vida del túnel Yauricocha.

El RMR de Bieniawski es un sistema de clasificación geomecánica usada para túneles en obras civiles. No obstante, la clasificación geomecánica del RMR ha sido utilizada para el análisis en evaluaciones de sostenimiento en minería subterránea no solo de carbón, sino también metálica, en concordancia con Mamani (4), quien indicó que “en la minería la industria, la Q y el sistema de clasificación RMR forman la base de muchos métodos de diseño empíricos” (4, p. 34). De esta manera, realizar la evaluación para la estimación y tratamiento de un sostenimiento en labores mineras es completamente racional.

Entonces, si se tiene en cuenta que la estimación del RMR de la zona investigada es de 47, en la escala de estimación de Bieniawski, se puede clasificar a la roca como **clase media** (III). Así mismo, el sostenimiento recomendado es:

- 50 - 100 mm de hormigón proyectado en corona y 30 mm en hastiales
- Empernado sistemático de en hastiales y corona de 4 m longitud, a espaciado de 1.5 a 2.0, con malla electrosoldada en la corona.

Considerando costos, utilización de equipos, recursos humanos y el hecho de que el túnel Yauricocha es una labor permanente, se opta por tener una combinación de los sostenimientos recomendados por Bieniawski.

## CONCLUSIONES

1. Las propiedades geomecánicas del macizo rocoso son  $RCU = 46.5 \text{ MPa}$  y  $ECP = 2.65 \text{ MPa}$ .
2. La caracterización geomecánica tiene una valoración, según el sistema de clasificación geomecánica de Bieniawski, Media (III),  $RMR = 47$ .
3. Las estructuras asociadas al macizo rocoso son 2 familias de discontinuidades, la primera a  $N67^\circ W$  y la segunda  $N29^\circ W$ , ambas con altos buzamientos.
4. Teniendo en cuenta las propiedades mecánicas, caracterización y condiciones asociadas al macizo rocoso, el sostenimiento recomendado según la clasificación RMR de Bieniawski es el empernado con perno helicoidal y resina, de 4 metros con separación de 1.5 metros de espaciado, con malla electrosoldada en la corona, así como aplicación de hormigón proyectado de 50 mm en corona y 30 mm en hastiales.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar la fórmula  $RMR = 9\ln Q + 44$  analizada por Bieniawski (1979) a fin de cotejar los resultados con la clasificación geomecánica de la Q de Barton.
2. Se recomienda cotejar los valores tomados con el martillo de Schmidt con los ensayos de laboratorio como es carga puntual y compresión.
3. La recomendación del sostenimiento debe ser evaluada posteriormente bajo criterios económicos.
4. Se recomienda contemplar la evaluación de costos sobre la base de precios unitarios a fin de escoger el sostenimiento más adecuado.

## REFERENCIAS

1. ZORRILLA, L. *La seguridad en el sostenimiento con criterios geomecánicos en la excavación subterránea de la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila* [en línea]. Tesis (Doctor en Seguridad y Control en Minería). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2015, 225 pp. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCNP/1366>
2. BOJÓRQUEZ, G. *Implementación de un sistema de información geomecánica en la estabilidad subterránea en la mina Huanzalá periodo 2010-2011* [en línea]. Tesis (Doctor en Ciencia e Ingeniería de la Computación). Huaraz (Perú): Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2019, 128 pp. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4047>
3. BURGOS, S. *Desarrollo de herramienta de diseño para la estabilidad de excavaciones con entrada de personal* [en línea]. Tesis (Magíster en Minería). Santiago: Universidad de Chile, 2015, 126 pp. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/134934>
4. MAMANI, L. *Clasificación geomecánica para el diseño de sostenimiento en la galería principal - contrata minera Peyols, U.E.A. - Ana María* [en línea]. Tesis (Magister Scientiae en Geotecnia y Geomecánica Minera). Puno (Perú): Universidad Nacional del Altiplano, 2018. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8514>
5. ROSADO, S. *Rocas que favorecen la infiltración del agua, efectos en el comportamiento geomecánico mina Zoila – Cerro de Pasco* [en línea]. Tesis (Doctor en Seguridad y Control en Minería). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2015, 130 pp. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCNP/1367>
6. GAVILANES, H. y ANDRADE, B. *Introducción a la ingeniería de túneles: caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizos rocosos*. Quito: Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador (AIME), 2004, 340 pp. ISBN: 9978434526.
7. GARZA, M. *Análisis geomecánico utilizando el método RMR, de un macizo rocoso ubicado en el km 40 de la carretera Linares – Iturbide* [en línea]. Tesis (Maestro en Ciencias Geológicas). Linares, Nueva León (México): Universidad Autónoma de Nuevo León, 2017, 123 pp. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/16478>

## ANEXOS

### Anexo 1

#### Matriz de consistencia

<b>TITULO:</b> Propuesta de elección de tipo de sostenimiento a utilizarse en la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020			
<b>Problemas</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variable</b>
<b>General</b>	<b>General</b>	<b>General</b>	
¿Cuál sería el tipo de sostenimiento por establecer, mediante el uso del sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020?	Dar a conocer cuál sería el tipo de sostenimiento por establecer, mediante el uso del sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020.	Mediante el uso del sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski es factible establecer el tipo de sostenimiento pertinente de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020.	Tipo de sostenimiento
<b>Específico</b>	<b>Específico</b>	<b>Específica</b>	
¿Cuáles son las propiedades geomecánicas que presenta el macizo rocoso, según el sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020?	Dar a conocer cuáles son las propiedades geomecánicas que presenta el macizo rocoso, según sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020.	Mediante el uso del sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski es factible establecer las propiedades geomecánicas que presenta el macizo rocoso de la unidad producción Yauricocha, Lima - 2020.	
¿Cuál es la caracterización geomecánica del macizo rocoso, según el sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020?	Dar a conocer cuál es la caracterización geomecánica del macizo rocoso, según el sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020.	Mediante el uso del sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski es factible establecer la caracterización geomecánica del macizo rocoso de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020.	




<p>¿Cuáles son las condiciones estructurales del macizo rocoso, según el sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020?</p>	<p>Dar a conocer cuáles son las condiciones estructurales del macizo rocoso, según el sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020.</p>	<p>Mediante el uso del sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski es factible establecer las condiciones estructurales del macizo rocoso de la unidad de producción Yauricocha, Lima - 2020.</p>	
--	---	--	--

## Anexo 2

### Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensión	Subdimensión	Indicador
Tipo de sostenimiento por establecer mediante el uso del sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski.	Conjunto de procedimientos que permiten el soporte natural o artificial del macizo rocoso, usando el sistema de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, tomando en cuenta las propiedades geomecánicas, caracterización y condiciones estructurales del macizo rocoso, de la mina en explotación.	Conjunto de procedimientos de soporte por utilizar mediante el sistema RMR de Bieniawski.	Propiedades geomecánicas del macizo rocoso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistencia a la compresión y la tracción (MPa)</li> <li>Velocidad de propagación de las ondas elásticas</li> <li>Deformabilidad</li> </ul>
			Caracterización del macizo rocoso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Índice RQD (Rock Quality Designation)</li> <li>Índice GSI</li> <li>Índice de Q de Barton</li> </ul>
			Condiciones estructurales del macizo rocoso	<ul style="list-style-type: none"> <li>N.º de fallas regionales asociadas al yacimiento</li> <li>N.º de pliegues asociados al yacimiento</li> <li>N.º de fracturas por metro cuadrado</li> </ul>

**Anexo 3**  
**Instrumento**



**LABORATORIO DE  
MECÁNICA DE ROCAS**

EAP INGENIERÍA DE MINAS  
UNIVERSIDAD CONTINENTAL

## CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS

### Datos de Campo

**Proyecto:** \_\_\_\_\_

**Operador:** \_\_\_\_\_ **Fecha:** \_\_\_\_\_

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

**Croquis / Gráficos / Notas**

**Datos Estación Geomecánica**

**Datos Información Geológica**

**RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE**

**MARTILLO DE SCHMIDT**      N° determinaciones realizadas: \_\_\_\_\_

N° determinaciones tomadas (no eliminar los ceros interiores)					
Valor modal					
Valor medio					

**COMPRESIÓN UNIAxIAL  
ENSAYADA EN LABORATORIO**

**C<sub>0</sub>** (MPa) \_\_\_\_\_

Tipo de muestra: \_\_\_\_\_

**CARGA PUNTUAL**

> 10 MPa					
10 - 4					
4 - 2					
2 - 1					
< 1 MPa					
I <sub>s</sub> (50)					
Tipo de probeta	Cilíndrica diametral	Cilíndrica axial	Bloque irregular		

**ÍNDICE MANUAL  
(Martillo geológico)**


No rompe, solo saltan astillas	
Rompe con muchos golpes	
Rompe con más de un golpe	
Rompe con un golpe	
Se indenta la punta	
Se machaca con un golpe	
Idem y se raya con la uña	

**VALOR y/o INTERVALO ADOPTADO**

> 250 MPa	Muy alta	<input type="checkbox"/>
250 - 100	Alta	<input type="checkbox"/>
100 - 50	Media	<input type="checkbox"/>
50 - 25	Baja	<input type="checkbox"/>
25 - 5	Muy baja	<input type="checkbox"/>
5 - 1		<input type="checkbox"/>
< 1 MPa		<input type="checkbox"/>

**Más información y datos en hojas adjuntas**

SI     No



**Universidad  
Continental**

ALTERACIÓN DE LA MATRIZ ROCOSA					
<b>MATRIZ</b>	Ia	F	Roca sana o fresca	-	<input type="checkbox"/>
	Ib	F	Debil decoloración en juntas principales	-	<input type="checkbox"/>
	II	SW	Ligramente alterada	< 10 %	<input type="checkbox"/>
	III	MW	Bastante alterada	10 - 50	<input type="checkbox"/>
	IV	HW	Muy alterada	50 - 90	<input type="checkbox"/>
	V	CS	Completamente alterada	> 90 %	<input type="checkbox"/>
VI	RS	Roca descompuesta	100 %	<input type="checkbox"/>	

OTROS TIPOS DE ALTERACIÓN FUERA DE LA ESCALA ISRM:

CONDICIONES GENERALES - $r_u$		
Completamente seca	<input type="checkbox"/>	$r_u = 0$
Húmeda	<input type="checkbox"/>	0 - 0,1
Mojada	<input type="checkbox"/>	0,1 - 0,2
Goteros	<input type="checkbox"/>	0,2 - 0,5
Fluyendo	<input type="checkbox"/>	$r_u > 0,5$
Agua a presión	<input type="checkbox"/>	

RAZÓN DE PRESIONES INTERSTICIALES  $r_u = \frac{u}{\sigma'_v}$

ESTACIONALIDAD: SI  ¿?  No

FLUJO EN EXCAVACIONES		
Seco o filtraciones locales (menos de 5 l/min)	<input type="checkbox"/>	< 1
Fil. medias o agua a presión, también ocasionales de refresco	<input type="checkbox"/>	1 - 2,5
Grandes o agua a gran presión, raras congel., juntas sin refresco	<input type="checkbox"/>	2,5 - 10
Grandes o agua a gran presión, con secos de refresco	<input type="checkbox"/>	
Excepcionalmente alta escala, decreciente con el tiempo	<input type="checkbox"/>	> 10
Excepcionalmente alta, mantenido	<input type="checkbox"/>	

PRESIÓN DE AGUA APROXIMADA (kg / cm<sup>2</sup>)

ESTACIONALIDAD: SI  ¿?  No

DESCRIPCION DEL MACIZO		
MASIVO	Pocos discontinuidades o muy ampliamente espaciadas	<input type="checkbox"/>
EN BLOQUES	Aproximadamente equidimensionales	<input type="checkbox"/>
TABULAR	Una dimensión bastante menor que las otras dos	<input type="checkbox"/>
COLUMNAR	Una dimensión bastante mayor que las otras dos	<input type="checkbox"/>
IRREGULAR	Gran variación de forma y tamaño de bloques	<input type="checkbox"/>
TRITURADO	Con muchísima discontinuidades	<input type="checkbox"/>

DIACLASADO		
Ia	Masivo, sin juntas ocasionales	<input type="checkbox"/>
Ib	Masivo, con juntas ocasionales	<input type="checkbox"/>
II	Una familia	<input type="checkbox"/>
III	Una familia y ocasionales	<input type="checkbox"/>
IV	Dos familias	<input type="checkbox"/>
V	Dos familias y ocasionales	<input type="checkbox"/>
VI	Tres familias	<input type="checkbox"/>
VII	Tres familias y ocasionales	<input type="checkbox"/>
VIII	Cuatro o más familias	<input type="checkbox"/>
IX	Roca triturada, suelo	<input type="checkbox"/>

CLAVES

Censado de diaclasas adjunto: SI  No

Estratificación	E	Compresión	Cs	Estalolitos	Et
Esquistosidad	S	Tracción	Tr	Disoluciones	Di
Foliación	F	Corte	Cr	Slickensides	Si
Juntas	J	Flexión	Fx	Volcánicas	V

Persistentes	P	Subpersistente	S	No persistente	N
--------------	---	----------------	---	----------------	---

Muy separadas	> 2,00 m	MS
Separadas	2,00 - 0,60 m	S
Medianamente separadas	0,60 - 0,20 m	X
Próximas	0,20 - 0,06 m	P
Muy próximas	< 0,06 m	MP

$$\downarrow = \frac{1}{S_1} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + \frac{1}{S_4} + \frac{1}{S_5} + \frac{1}{S_6}$$

Muy rugosa	M	1° nivel:	2° nivel:		
Rugosa	R	Escalonada	E	Rugosa	R
Algo rugosa	A	Ondulada	O	Lisa	L
Suave	S	Plana	P	Pulida	P
Señales de pulido	P				

Cerrada	< 0,1 mm	C
Algo abierta	0,1 - 1,0 mm	L
Abierta	1,0 - 5,0 mm	A
Muy abierta	> 5 mm	M

Acoplada	A	No - unidireccional	U	No - bidireccional	B
----------	---	---------------------	---	--------------------	---

Sin relleno	S	Arenoso	A	LL < 30	CH
Puentes de roca	P	Silicatos	I	LL > 30	CL
Cementación	C	Micas/Clorita	M	Expansivo	Ce
Brecha de falla	F	Solubles	L	Arenoso	SC
Otros:					O

Para el flujo de agua y el estado de bordes, utilizar el mismo método que para la matriz rocosa.

NOTAS:

**CARACTERÍSTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES**

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5
Tipo / Géneis:					
Dirección del buzamiento:					
Buzamiento:					
Continuidad:					
ESPACIAMIENTO	Rango:				
	Modal:				
	Medio:				
RUGOSIDAD	General:				
	1° nivel:				
	2° nivel:				
JRC:					
APERTURA	Rango:				
	Modal:				
	Medio:				
Acoplamiento:					
RELLENO	SI / No:				
	Tipo:				
FLUJO DE AGUA	C. Gral.:				
	Estac.:				
BORDES	Alteración:				
	Resistencia:				
RQD	Medido en sondeo:				
	Estimado:				

Palmarstrom: RQD = 115 - 3,3J<sub>v</sub> =

VALOR y/o INTERVALO ADOPTADO: