

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO GEOMECANICO DEL MACIZO ROCOSO

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

JHON FREDY CHURATA MESTAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERU

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO GEOMECANICO DEL MACIZO ROCOSO

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADO POR:

JHON FREDY CHURATA MESTAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO:

PRESIDENTE

Dr. Juan Mayhua Palomino

PRIMER MIEMBRO

Ing. David Velásquez Medina

SEGUNDO MIEMBRO

M.Sc. Lucio Quea Gutiérrez

TEMA: Estudio del comportamiento geomecánico del macizo rocoso.

AREA: Ingeniería de Minas.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 07/11/2019.

DEDICATORIA:

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A mis maestros, mis compañeros, y a la universidad en general por todo el conocimiento que me ha otorgado.

AGRADECIMIENTO:

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mi familia, por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

A mis maestros y amigos; que en el andar por la vida nos hemos ido encontrando; porque cada uno de ustedes ha motivado mis sueños y esperanzas en consolidar un mundo más humano y con justicia.

Eterno agradecimiento a esta prestigiosa Universidad la cual abre sus puertas a jóvenes como Yo, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como profesionales con sentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA:

AGRADECIMIENTO:

ÍNDICE DE TABLAS.

ÍNDICE DE FIGURAS.

ACRÓNIMOS.

RESUMEN..... 9

PALABRAS CLAVES:..... 9

1. INTRODUCCIÓN..... 10

2. MÉTODOS Y MATERIALES..... 12

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 19

4. CONCLUSIONES..... 32

REFERENCIAS..... 33

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Clasificación de las rocas en función del RQD.	14
Tabla 2. Parámetros básicos de la clasificación geomecánica de Bieniawski.	15
Tabla 3. Corrección por orientación de las juntas dirección.....	15
Tabla 4. Orientación de las diaclasas dirección.....	16
Tabla 5. Guía para valorar el estado de las discontinuidades.	16
Tabla 6. Calidad de la roca en función de RMR.....	16
Tabla 7. Determinación del RQD – Cuerpo 1.	20
Tabla 8. Determinación del RQD - Cuerpo 2.	21
Tabla 9. Determinación del RQD – Cuerpo 3.	21
Tabla 10. Promedio de RQD en los tres cuerpos de arena.	21
Tabla 11. Resistencia de los cuerpos de arena.....	21
Tabla 12. Resistencia de la roca.	22
Tabla 13. Espaciado de discontinuidades en los cuerpos de arena.	22
Tabla 14. Descripción del espaciado.	22
Tabla 15. Persistencia de las discontinuidades de los cuerpos de arena.....	23
Tabla 16. Clasificación de la persistencia.....	23
Tabla 17. Abertura de las discontinuidades.....	23
Tabla 18. Clasificación de la abertura.	23
Tabla 19. Rugosidad de las discontinuidades de los cuerpos.	23
Tabla 20. Clasificación de la rugosidad.....	23
Tabla 21. Clasificación del RMR.	24
Tabla 22. Clasificación del RMR.	24
Tabla 23. Valores de la resistencia de la roca intacta, zona 1.....	25
Tabla 24. <i>Valores del RQD, zona 1.</i>	26
Tabla 25. Índice de Calidad de la roca RQD, zona 1.....	26
Tabla 26. Valores del espaciado de las continuidades, zona 1.	26
Tabla 27. Valores de la longitud de las discontinuidades, zona 1.	26
Tabla 28. Valores de la Abertura, zona 1.	26
Tabla 29. Valores de rugosidad, zona 1.....	27
Tabla 30. Valores del relleno, zona 1.	27
Tabla 31. Valores de la Alteración, zona 1.....	27
Tabla 32. Valores de Flujo de agua en las Juntas, zona 1.	27
Tabla 33. Clasificación para la determinación de los buzamientos.....	28
Tabla 34. Valoración para Taludes.....	28
Tabla 35. <i>Clasificación para la determinación de los buzamientos, zona 1.</i>	28
Tabla 36. Valoración para Taludes, zona 1.	28
Tabla 37. Valoración del RMR, zona 1.	29
Tabla 38. Cálculo de los parámetros SMR.	29
Tabla 39. Clases de estabilidad según el SMR.	30
Tabla 40. Correlación de los métodos de Bieniawski-Romana, zona 1.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Frecuencia relativa vs Q, RMR y GSI (De uso de distintos métodos de calificación y clasificación geotécnica de macizos rocosos en minas a tajo abierto y subterráneo).....	12
Figura 2: Procedimiento de medición y cálculo del RQD (ligeramente modificado después de Deere, 1989).	13
Figura 3: Sistema de clasificación GSI.	17
Figura 4: Índice de resistencia geológica en macizos rocosos estratificados.....	18
Figura 5: <i>Criterios de caracterización del macizo rocoso.</i>	20
Figura 6: Grietas en la zona del cuerpo 1.....	21
Figura 7: Conclusión: Cantera de arena fina caso 1.....	25
Figura 8: Sacando el rumbo y buzamiento, zona 1.	28
Figura 9: Clasificación geomecánica del GSI.	31
Figura 10: Conclusión: Cuadro comparativo del caso 2.	32

ACRÓNIMOS.

Bj: Buzamiento de las juntas.

Bs: Buzamiento del talud.

Buz: Buzamiento.

cm: centimetro.

F1: Relacion entre el rumbo del talud y el rumbo delas discontinuidades.

F2: Rotura planar.

F3: Relacion entre el buzamiento del talud y el buzamiento de las discontinuidades.

F4: Factor empirico, depende del metodo de arranque empleado.

GSI: Índice de resistestencia geologica.

JC: Condiicon de las estructuras presentes en el macizo rocoso.

Jv: Numero de discontinuidades, 2; Numero de fisuras por metro lineal.

m: metro lineal.

mm: milimetro.

P: Rotura plana.

RMR: Clasificacion del macizo rocoso.

RQD: Designacion calidad de la roca.

SMR: Clasificacion dela masa del talud.

T: Rotura por vuelco.

α_j : direccion de buzamiento de las juntas.

α_s : Direccion de Buzamiento del talud.

λ : Numero de discontinuidades por metro lineal.



Estudio del comportamiento geomecánica del macizo rocoso

Study of the geomechanical behavior of the rock massif



Jhon Fredy Churata Mestas (Bachelor)

<https://orcid.org/0000-0002-9805-0588>

Universidad Nacional del Altiplano Puno – Perú

Facultad de Ingeniería de Minas

Dirección: Av. Floral 1153, ciudad Universitaria

fredtlennonfriestman-gmail.com Fono: 960344552

RESUMEN.

En el presente artículo tiene por objetivo determinar la influencia del estudio del comportamiento geomecánico de taludes en el diseño de bancos, para de ello se debe determinar el RQD, RMR y GSI. Para que el estudio geomecánico de taludes influye en la elaboración del diseño de bancos de la cantera de arena fina “Cabra Cabra” y la cantera “Agocucho”. La comparación desarrollada es experimental con diseño correlacional, la variable dependiente es el estudio geomecánico y la independiente es el diseño de bancos ya que cuentan con diferentes formas de explotación, estos yacimientos pertenecen a la formación geológica CHIMU. La presente comparación involucra trabajo de campo, de laboratorio y análisis en gabinete: se realizó la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, mediante la descripción a detalle de la matriz rocosa y las discontinuidades; de las investigaciones, el análisis de estas comparaciones nos da para optar el método más adecuado, completo y de bajo costo para así determinar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso en canteras. A partir de la información de campo recopilada y su posterior procesamiento se pudo obtener diversas formas de comportamiento geomecánico del macizo rocoso; también se determina la variación y diferencia de los yacimientos a pesar que son de la misma formación.

PALABRAS CLAVES:

Comportamiento geomecánico, macizo rocoso, estabilidad de taludes, RMR, RQD, GSI.

ABSTRACT.

The objective of this article is to determine the influence of the study of the geomechanical behavior of slopes on the design of banks, for which the RQD, RMR and GSI must be determined. So that the geomechanical study of slopes influences the design of banks of the fine sand quarry "Cabra Cabra" and the quarry "Agocucho". The comparison developed is experimental with correlational design, the dependent variable is the geomechanical study and the independent is the design of benches as they have different forms of exploitation, these deposits belong to the geological formation CHIMU. The present comparison involves field work, laboratory and cabinet analysis: the geomechanical characterization of the rock masses was performed, by describing in detail the rock matrix and discontinuities; from the investigations, the analysis of these comparisons gives us to choose the most appropriate method, complete and low cost to determine the geomechanical behavior of the rock mass in quarries. From the field information collected and its subsequent processing, various forms of geomechanical behavior of the rock mass were obtained; the variation and difference of the deposits are also determined even though they are of the same formation.

KEY WORDS:

Geomechanical behavior, rock mass, slope stability, RMR, RQD, GSI.

1. INTRODUCCIÓN.

El área de estudio del siguiente artículo está basada en diversas tesis en las cuales se refieren al comportamiento geomecánico del macizo rocoso en las cuales toman las clasificaciones geomecánicas establecidas para la asignación de propiedades geomecánicas (ángulo de fricción interna y cohesión) a los macizos rocosos es indispensable el uso de clasificaciones geomecánicas establecidas (RMR y GSI), que se elaboran con base en trabajos de campo a detalle, los cuales incluyen la descripción y recolección detallada de muestras de roca y discontinuidades. En particular, el método Rock Mass Rating (RMR), desarrollado por Bieniawski en 1973, permite estimar la calidad del macizo rocoso, mediante la cuantificación de diferentes parámetros como la resistencia a la compresión simple de la roca, así como la valoración de fracturamiento, RQD, y características locales como el espaciamiento y relleno de las juntas. En este contexto, el trabajo de investigación incluye un trabajo de campo a detalle y asignación de propiedades geomecánicas, por otro lado, es importante mencionar que se contó con insumos cartográficos para la construcción de los mapas. (Ortiz-Jaimes, 2017).

El método Rock Mass Rating (RMR) para la clasificación de macizos rocosos fue desarrollado por Bieniawski (1972). Este método permite, de forma sencilla, estimar la calidad del macizo rocoso, mediante la cuantificación de parámetros de fácil medición,

los cuales se establecen en el campo de manera rápida y con costos económicos mínimos. El método RMR incluye los siguientes parámetros: resistencia a la compresión uniaxial de la roca, Rock Quality Designation (RQD), espaciamiento de discontinuidades, condición de las discontinuidades, condición del agua subterránea y orientación de las discontinuidades.

Cartaya-Pire, (2006) *La Geomecánica está dando a la construcción de obras subterráneas un creciente soporte científico y técnico que ha encontrado su máximo exponente en la última década, hasta el punto de que hoy en día, la mayoría de los túneles se hacen bajo supervisión de un experto en geotecnia. Siendo uno de los objetivos, caracterizar geomecánicamente los macizos, constituyendo esto el estudio integral del macizo en cuestión, que incluye tanto el modelo geológico, como el geomecánico, abarcando aspectos tales como, estructura del macizo, litología, contactos y distribución de litologías, geomorfología, cartografía geológica, estudio hidrogeológico, levantamiento de discontinuidades, técnicas geofísicas, sondeos, ensayos in situ, de laboratorio, clasificaciones geomecánicas, entre otros. Convirtiéndose la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en una herramienta indispensable para pronosticar su comportamiento.*

En la cantera de arena fina Cabra Cabra tiene en su área la formación CHIMU se han detectado problemas de inestabilidad, y uno de los

factores que ocasionan esta inestabilidad es la presencia de discontinuidades y el tipo de roca en toda la zona, por lo cual es necesario analizar el comportamiento geomecánico de los macizos presentes en la zona de estudio, y su influencia en el diseño de bancos de la cantera para una futura explotación. La investigación corresponde al diseño correlacional porque se muestra la relación que existe entre las variables (Sampieri 2006) que se trabajó con 7 calicatas dentro de la cantera Cabra Cabra. En la tesis de Álvarez en el año 2012, se definen las medidas de los bancos para una cantera de agregados de construcción, la altura de banco es 3 metros, el ancho de banco son 6 metros y el ángulo de talud es de 35° trabajando con una cohesión de 5 (ya que cuenta con limos) y con un ángulo de fricción de 27° . En el desarrollo de esta tesis se definen bancos más pequeños ya que se considera que la cantera es de arena fina con cohesión cero, sin embargo, el programa acepta valores mínimos el cual es 0.1. El ángulo de fricción es en promedio 26° por tanto se define que la altura de banco es de 2 metros, el ancho del banco es de 3 metros y el ángulo del talud es 45. La diferencia entre el antecedente y esta tesis radica en el tipo de material, en el primero es agregado de construcción, pero claramente se evidencia la presencia de limos lo cual le da cohesión al material. Sin embargo, para esta tesis se consideran arenas finas las cuales se encuentran en cuerpos y no presentan materiales limosos. (Araneda-Nacario, 2017).

En la cantera Agocucho la zona de estudio está conformada por unidades litológicas sedimentarias de la formación CHIMU, presentan una alternancia de areniscas cuarzosas; la roca de dicha cantera es de grano fino y grueso construida por gravas, gravillas y arenas en forma angular. Mediante la evaluación geomecánica, aplicando los métodos de Bieniawski y Romana se puede observar que existe correlación en los resultados, ya que por Bieniawski la calidad del macizo representada por el $RMR = 46$ es Media y por Romana la calidad del macizo representada por el $SMR = 38.5$ macizo rocoso correspondiente a una Descripción de Mala y una Estabilidad Inestable. La caracterización geomecánica realizada por el Método de Bieniawski (1989) determinó que los macizos rocosos de la cantera Agocucho son de clase III (Media) a clase IV (Mala). Mediante el empleo del Método Romana SMR (1985), las zonas analizadas se consideran Inestables. La evaluación del GSI , según su estructura los macizos rocosos son de clase Muy Fracturada, Perturbada, y según las condiciones de superficie es Regular y Pobre. (Alvaro-Marquez & Villanueva-Huatay, 2019).

En general el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos están condicionados por las características locales de las discontinuidades y la matriz rocosa o roca intacta. Se ha identificado que las características y propiedades de las discontinuidades (espaciado, persistencia, rugosidad y relleno) determinan de

forma definitiva el comportamiento de los macizos, es decir controlan la cinemática y emplazamiento del depósito (deslizamiento y caídas) Determinar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso mediante el índice de RQD y el cálculo de RMR Bieniawski, en operaciones a cielo abierto.

De acuerdo a los resultados mostrados de ambas investigaciones se determina que el ensayo uniaxial brinda resultados más exactos. Si bien es cierto para la clasificación de Bieniawski se usan rangos o intervalos, por lo tanto, la resistencia medida con la picota, con el martillo de Schmit son fundamentales para obtener una información más exacta de un macizo rocoso.

2. MÉTODOS Y MATERIALES.

Este artículo se realizó en la Universidad Nacional del Altiplano en la Facultad de Ingeniería de Minas en el curso que se llevó a cabo de Suficiencia Profesional en el presente año 2019.

Las clasificaciones geomecánicas se utilizan mucho actualmente (Ver en la Figura 1), la principal ventaja se permite mediante las correlaciones establecidas. Los sistemas de clasificación de los macizos rocosos tienen por objeto evaluar sus características para determinar de forma cuantitativa su calidad. El término “macizo rocoso” se refiere al conjunto de uno o varios tipos de rocas atravesados por plano de discontinuidad en el que se inserta la obra de ingeniería o mina (Ramírez & Monge, 2008).

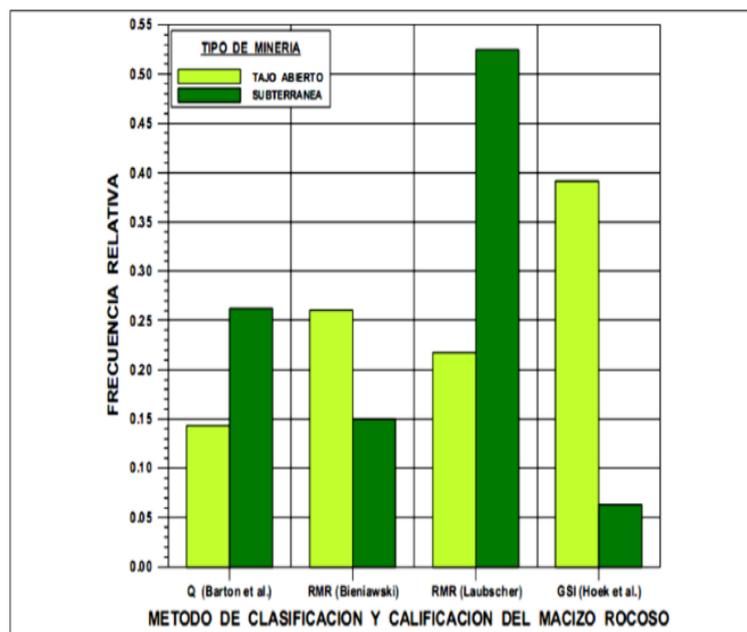


Figura 1: Frecuencia relativa vs Q , RMR y GSI (De uso de distintos métodos de calificación y clasificación geotécnica de macizos rocosos en minas a tajo abierto y subterráneo).

Fuente: (Paredes-Choque, 2019).

MÉTODOS.

Índice de Designación de la Calidad de la Roca (RQD).

Fue desarrollado por Deere para promover un estimado cuantitativo de calidad de la masa rocosa, a partir de los testigos de perforación diamantina. El RQD es definido como el porcentaje de piezas de testigo intactos mayores a 100 mm en la longitud total del testigo, el testigo deberá tener por lo menos un tamaño (54.7 mm de diámetro) y deberá ser perforado con un cilindro de doble tubo de perforación (Marinos & Hoek, 2000).

El índice RQD (Rock Quality Designation) se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud en su eje, sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo.

El RQD hay que tomarlo con las debidas precauciones, ya que su valor depende no sólo de la fracturación del macizo rocoso sino también de otros factores, como la técnica del sondeo, su dirección, diámetro, etc.(Ramírez, Leandro, & Monge, 2004).

$$RQD = \frac{\sum \text{trozos de longitud} \geq 10\text{cm}}{\text{Longitud total de la perforacion}} * 100(\%)$$

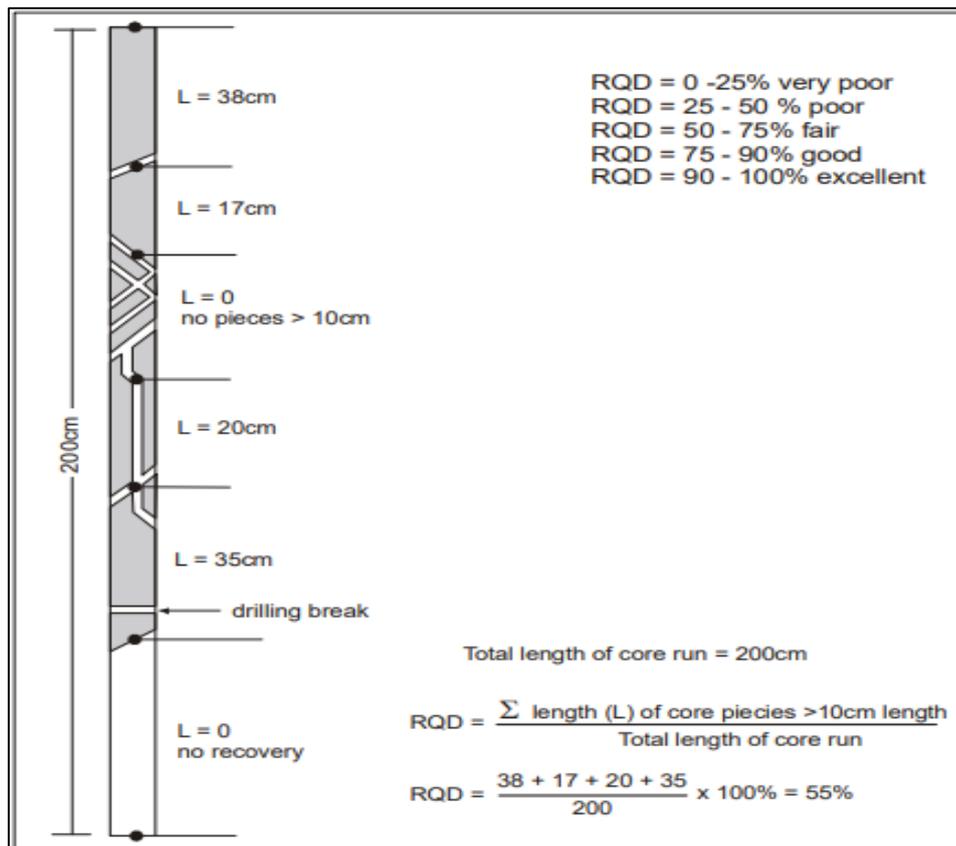


Figura 2: Procedimiento de medición y cálculo del RQD (ligeramente modificado después de Deere, 1989).
Fuente: (Arild-Palmstron, 2005).

Tabla 1. Clasificación de las rocas en función del RQD.

Valores de RQD (%)	Calidad de la roca
25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Normal
75 - 90	Buena
90 - 100	Muy buena

Fuente: (Bieniawski, 1989).

(Palmstrom, 1982) Sugirió que, cuando los testigos no estén disponibles pero las trazas de las discontinuidades son visibles en afloramientos superficiales o en socavones exploratorios, el RQD puede ser estimado a partir del número de discontinuidades por unidad de volumen.

Se hace el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro cubico (Jv) determinadas al realizar el levantamiento litológico - estructural en el área o zona predeterminada. Esto se usa para voladura y queda establecida de acuerdo a la relación entre RQD y Jv

$$RQD = 115 - 3.3 * Jv.$$

Dónde: Jv (Conteo de discontinuidades volumétrico Número de discontinuidades interceptando un volumen de 1 m3).

Para determinar el RQD en el campo existen procedimientos de cálculo, según:

(Priest & Hudson, 1976). A partir de mapeos geotécnicos: comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro lineal, determinadas al realizar el levantamiento litológico - estructural (mapeo por línea de detalles) en el área o zona predeterminada de la operación minera.

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{m}$$

λ: Número medio de discontinuidades por metro lineal.

m: Metro lineal.

Clasificación de Bieniawski (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 (Mohammadi & Hossaini, 2017).

La clasificación RMR tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- a) La resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- b) El grado de fracturación en parámetros del RQD.
- c) El espaciado de las discontinuidades (planos de debilidad).
- d) Las condiciones de las discontinuidades.
- e) Parámetros o condiciones hidrogeológicas.
- f) La orientación de las discontinuidades con respecto a la estructura de excavación.

Todos a excepción de la resistencia de la roca intacta son determinados en las investigaciones geológicas y son ingresados en una hoja de mapeo y se presentan de acuerdo a las siguientes tablas; en la Tabla 2 se presenta los parámetros básicos que se consideran, en Tabla

3 corrección por la orientación, en la Tabla 4 la orientación de las diaclasas, en la Tabla 5 se presenta la condición de las discontinuidades y finalmente en la Tabla 6 se presenta una tabla para determinar la calidad del macizo rocoso.

Tabla 2.

Parámetros básicos de la clasificación geomecánica de Bieniawski.

Parámetro		Valoración						
1	Resistencia de la roca sana (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	04 - 10	2 - 4	1 - 2	Ver compresión uniaxial	
		Compresión simple	> 250	100-250	50-100	50-25		5- 1- <1 25 5
	Valoración		15	12	7	4		2 1 0
2	RQD		90-100	75-90	50-75	25-50	< 25	
	Valoración		20	17	13	8	3	
3	Separación de juntas		> 2 m	0.6.2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	< 0.06m	
	Valoración		20	15	10	8	5	
4	Estado de las diaclasas		Muy rugosas	Ligerament e rugosas e<1mm	Ligerament e rugosos e>1mm	Rellenos e<5mm	Rellenos blandos e > 5mm	
			Bordes discontinuos	Borde duro	Bordes	Abiertas Continuas	Continuas	
	Valoración		30	25	20	10	0	
5	Presencia de agua	Caudal en 10m de túnel.	Nulo	<10L/min	10-25L/min	25-125L/min	>125L/min	
		Relación: Presión de agua/tensión principal mayor.	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5	
	Estado general		Seco	Ligerament e húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo	
Valoración		15	10	7	4	0		

Fuente: (Bieniawski, 1979).

Tabla 3. Corrección por orientación de las juntas dirección.

Dirección y buzamiento		Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable
Valoración para:	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-5	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente:(Bieniawski, 1979).

Tabla 4. Orientación de las diaclasas dirección.

Dirección perpendicular al eje del túnel		Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0° - 20°		Cualquier dirección
Excavación a favor del buzamiento	Excavación contra el buzamiento					
Buz. > 45°	Buzamiento 20° - 45°	Buz. > 45°	Buzamiento 20° - 45°	Buz. > 45°	Buzamiento 20° - 45°	Desfavorable
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	

Fuente: (Bieniaswski, 1989).

Tabla 5. Guía para valorar el estado de las discontinuidades.

Parámetro	Valoración				
Persistencia	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
	6	4	2	1	0
Apertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
	6	5	4	1	0
Rugosidad	Muy rugoso	Rugoso	Ligeramente rugoso	Ondulada	Suave
	6	5	3	1	0
Relleno		Relleno duro	Relleno blando		
	Ninguno	< 5 mm	> 5mm	< 5 mm	> 5mm
	6	4	2	2	0
Alteración	Inalterado	Ligeramente alterado	Moderadamente alterado	Muy alterado	Descompuesto
	6	5	3	1	0

Fuente: (Bieniawski, 1979).

Tabla 6. Calidad de la roca en función de RMR.

Tipo de roca	Rango RMR	Calidad según RMR
I	81 - 100	Muy buena
II	61 - 80	Buena
III	41 - 60	Media
IV	21 - 40	Mala
V	0 - 20	Muy mala

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Método GSI (Geological Strenght Índice).

El índice de resistencia geológica, GSI, fue desarrollado por Hoek (1994) para subsanar los problemas detectados con el uso del índice RMR para evaluar la resistencia de macizos rocosos según el criterio generalizado de Hoek-Brown. Este índice de calidad geotécnica se determina en base a dos parámetros que definen

la resistencia y la deformabilidad de los macizos rocosos:

RMS: es la “estructura del macizo rocoso”, definida en términos de su blocosidad y grado de trabazón.

JC: es la condición de las estructuras presentes en el macizo rocoso.

Marinos & Hoek, (2000) *La clasificación GSI, como un sistema de caracterización basado más en observaciones geológicas y menos en "números"(...). Se fundamenta en una cuidadosa observación del macizo rocoso, esencialmente cualitativa, donde se tienen en cuenta características como litología, estructura y condición de las superficies de*

discontinuidad, tanto en afloramientos como en cortes de excavación y testigos de sondeos. Así, considera dos aspectos fundamentales que son el grado y tipo de fragmentación y las condiciones de las superficies de discontinuidad, ver Figura 1; Sistema de clasificación GSI.

El GSI puede variar de 0 a 100, lo que permite definir 5 clases de macizos rocosos:

- Macizos de calidad MUY MALA (Clase V, $0 \leq GSI \leq 20$).
- Macizos de calidad MALA (Clase IV, $20 < GSI \leq 40$).
- Macizos de calidad REGULAR (Clase III, $40 < GSI \leq 60$).
- Macizos de calidad BUENA (Clase II, $60 < GSI \leq 80$).
- Macizos de calidad MUY BUENA (Clase I, $80 < GSI \leq 100$).

<p>CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOZO SEGUN GSI MODIFICADO. Se basa en la cantidad de fracturas en metro lineal, medidas insitu con un flexómetro. La mala voladora afecta esta condición. La resistencia se determina golpeando o endentando la roca con una picota. Se toma en cuenta la rugosidad, alteración de paredes y relleno de las discontinuidades. RMR (es seco). La descripción cualitativa del macizo rocoso en función del grado de fracturamiento (condición estructural) y resistencia (condición de discontinuidad y macizo rocoso). Su sección con un intervalo de valoreos que se han relacionado al índice RMR en condiciones secas sin ningún tipo de correcciones.</p>		<p>MUY BUENA (EXTRAMADAMENTE RESISTENTE, FRESCA) Superficies de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas cerradas ($R_c > 250$ MPa) (se astilla con golpes de picota).</p>	<p>BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) Discontinuidades rugosas, levemente alteradas, manchas, De oxidación, ligeros entre aberturas, (R_c 100 a 250 MPa) (se rompe con varios golpes de picota).</p>	<p>REGULAR (RESISTENTE Y LEVEMENTE ALTERADA) Discontinuidades lisas, moderadamente alteradas ligeramente abiertas (R_c 50 a 100 MPa) (se rompe con uno o dos golpes de picota).</p>	<p>MALA (MODERADAMENTE RESIST. MODERADAMENTE ALTERAD.) Superficie pulida o con estratificación muy alterada; relleno compacto o con fragmentos de roca (R_c 25 a 50 MPa) (se endenta superficialmente).</p>	<p>MUY MALA (BLANDA MUY ALTERADA) Superficies pulidas y estradas, muy abiertas con relleno de arcillas blandas ($R_c < 25$ MPa) (se disgrega o indenta profundamente).</p>
<p>ESTRUCTURA.</p>						
	<p>LEVEMENTE FRACTURADA. Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre si (RQD 75 - 90 %) (2 a 6 fracturas por metro) (RQD=115 - 3.3 Jr).</p>	LE/MB	LE/B	LE/R	LE/P	LE/MP
	<p>MODERAD. FRACTURADA. Muy bien trabada no disturbada bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales (RQD 50 - 75%) (6 a 12 fracturas por metro).</p>	F/MR	F/B	F/R	F/P	F/MP
	<p>MUY FRACTURADA. Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades (RQD 25 - 50) (12 a 20 fracturas por metro).</p>	MF/MB	MF/B	MF/R	MF/P	MF/MP
	<p>INTENS. FRACTURADA. plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares (RQD 0 - 25) (más de 20 fracturas por metro).</p>	IF/MB	IF/B	IF/R	IF/P	IF/MP
	<p>TRITURADA O BRECHADA. Ligeramente trabada masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables anguloso redondeados (sin RQD).</p>	T/MB	T/B	T/R	T/P	T/MP

Figura 3: Sistema de clasificación GSI.
 Fuente: Marinós & Hoek, (2000).

En la etapa inicial del GSI, los creadores de esta clasificación propusieron (Hoek y Brown, 1997) estimar el GSI a partir del RMR realizando algunas correcciones en estos índices. Actualmente se considera que esta forma de proceder puede resultar correcta solamente en los macizos rocosos de mejor calidad pero que puede carecer de sentido en los de calidad baja. (Marinos et al., 2005) No se recomienda utilizar la correlación que se presenta a continuación en macizos rocosos débiles y heterogéneos, con $GSI < 35$. En los

macizos rocosos de mejor calidad el GSI se puede estimar directamente a partir de $GSI = RMR - 5$, cuando RMR es mayor a 23.

En casos especiales, como macizos rocosos heterogéneos, puede ser necesario desarrollar una versión especial de la tabla de calificación del índice GSI. Un ejemplo de esto se muestra en la Figura 2, donde se presenta una tabla desarrollada por Marinos & Hoek (2000) para el caso de macizos heterogéneos estratificados.

GSI PARA MACIZOS HETEROGENEOS COMO FLYSCH (Marinos P. and Hoek E.2000) A partir de la litología, estructura y condiciones superficiales de las discontinuidades, se estima un valor promedio del GSI. No se debe de tratar de ser muy preciso. Un rango de 33-37 es más realista que un $GSI = 35$. Note que el criterio de Hoek-Brown no aplica a estructuras controladas por fallas, donde la orientación desfavorable de los planos de debilidad esta presente pudiendo estos dominar el comportamiento del macizo rocoso. Algunos esfuerzos en el macizo son reducidos por la presencia de agua y esta puede conducir a un ligero desplazamiento y deteriorar la calidad. COMPOSICION Y TEXTURA				CONDICIONES DE SUPERFICIE EN LAS DISCONTINUIDADES (Planes de foliación)	MUY BUENAS. Superficies muy rugosas, superficies no meteorizadas, fresca.	BUENAS. Superficies rugosas, ligeramente meteorizada, manchada con hierro.	REGULAR. Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas.	POBRE. Superficies con espejos de falla, con alto grado de meteorización con rellenos compactos o rellenos de fragmentos.	MUY POBRE. Superficies con espejos de falla, con alto grado de meteorización con rellenos de arcilla suave.
<p>A. El espesor de la capa de arenisca. El efecto del recubrimiento pelítico sobre los planos de las capas es minimizado por el efecto de confinamiento del macizo rocoso.</p>		70	A						
<p>B. Arenisca con intercalaciones de limolitas.</p>	<p>C. Arenisca y limolita en cantidades iguales.</p>	<p>D. Limolita o esquistos limosos con capas de arenisca.</p>	<p>E. Limolita blanda o esquistos arcillosos con capas de arenisca.</p>	50	B	C D	F		
<p>C, D, E y G pueden ser mas o menos foliadas como se ilustra, pero no cambian los esfuerzos. La deformación tectónica, fallas y pérdida de continuidad implica desplazarse a las categorías F y H.</p>		<p>F. Tectónicamente deformado, intensamente foliado fallado, material arcilloso cizallado de limolita y arcillolita con fragmentos de areniscas deformadas formando estructuras casi caóticas.</p>		40					
<p>G. Arcillolitas y limolitas o arcillosa imperturbable con o sin unas pocas capas de arenisca muy finas.</p>	<p>H. Esquistos limolita o arcillolita tectónicamente deformado que forma una estructura caótica con paquetes de arcilla. Delgados estratos de arenisca se transforman en pequeños fragmentos de roca.</p>			30	F				
					G	H	10		

Figura 4: Índice de resistencia geológica en macizos rocosos estratificados.

Fuente: (Marinos & Hoek, 2000).

MATERIALES (GEORREFERENCIA DE LOS PUNTOS DE ESTUDIO)

Caso 1. Influencia del comportamiento geomecánico de macizo rocoso en el diseño de bancos de la cantera de arena fina Cabra Cabra de la empresa S.M.R.L Cabra Cabra, distrito de Namora-Cajamarca, 2017.

Fracturas presentes en el macizo rocoso asentado en la concesión Minera no Metálica Cabra Cabra distrito de Namora-Cajamarca, 2017,

Se toma los 3 ensayos de comparación con la otra investigación.

Instrumentos de investigación.

- Tablas de clasificación geomecánica RMR (Bieniaswski 89).
- Tablas de clasificación de resistencia de la roca en laboratorio.
- Tabla de clasificación de alteración de rocas (Gonzales, 2002).

Caso 2. Evaluación geomecánica y geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes de la cantera Agocucho, Cajamarca 2018.

La cantera Agocucho-Cajamarca se encuentra a 2950 m.s.n.m., al sur este de la ciudad, al costado derecho de la carretera Cajamarca – San Juan. Tiene una extensión aproximada de 5 hectáreas. EL presente trabajo presenta la evaluación geomecánica para la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera “Agocucho”, mediante la caracterización geomecánica del macizo rocoso afectado y la determinación del factor de seguridad de los

taludes; información que se evaluó mediante mediciones in situ e información existente, para esto se evaluó mediante: RMR, SMR Y GSI y aplico los softwares Dips v5.103 y Slide.

INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.

Evaluación del RQD a partir de la fórmula de Palmstrom, el RQD “Rock Quality Designation”, (Palmstrom, 1982), es un índice de estimación de la calidad del macizo rocoso a partir de perforaciones rotativas con extracción de testigos, pero al no contar con sondeos se puede calcular con la siguiente expresión dada por Palmstrom:

$$RQD = 115 - 3.3J_v, \text{ (RQD} = 0 \text{ para } J_v > 35, \text{ y } RQD = 100 \text{ para } J_v < 4.5) \text{ (Deere, 1982).}$$

El RMR “Rock Mass Rating” se obtiene por la suma de 5 parámetros en vez de los 8 considerados en 1973 con una reducción que se establece en función de la disposición de las juntas, (Bieniawski, 1979). En realidad, la diferencia entre las dos clasificaciones (1973 y 1979) estriba, en el que se ha agrupado en uno, tres de los parámetros correspondientes al estado de las diaclasas, y se han asignado valores negativos a la disposición de las mismas, excepto en el caso de “muy favorables”. Para esta evaluación se toma los datos de la Zona 1.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La correcta evaluación de las propiedades geomecánicas de las estructuras presentes en el macizo rocoso resulta difícil en la práctica, debido a los efectos de escala y la dificultad y costo de ejecutar ensayos in situ. Para una discusión detallada sobre las propiedades y comportamientos de las estructuras pueden

consultarse los trabajos de Goodman (1989), Priest (1993) y Hoek (2000); sin embargo, en lo que sigue se resumen los criterios de caracterización y se presentan algunas recomendaciones prácticas. (Paredes-Choque, 2019).

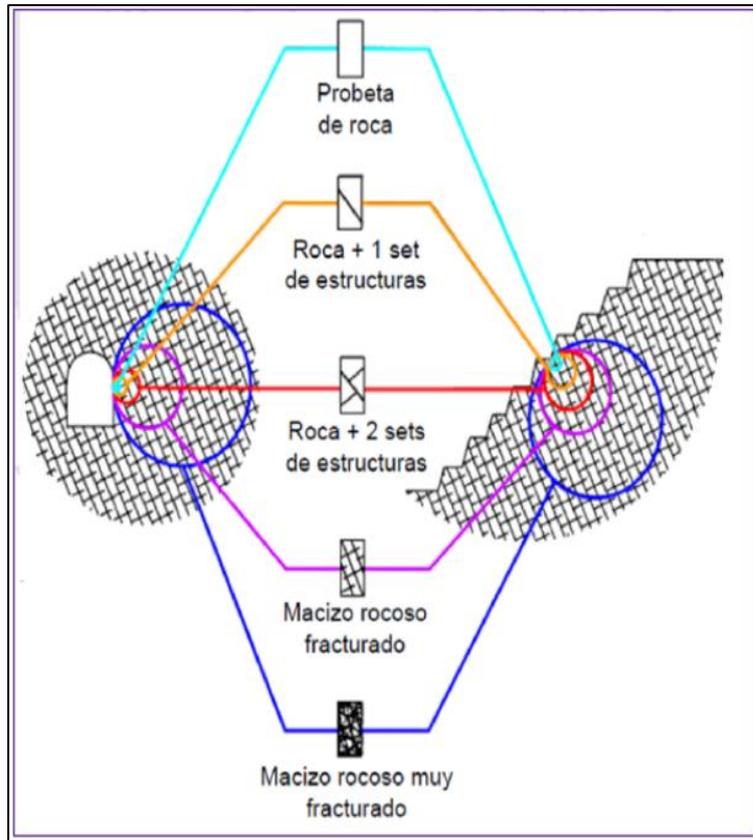


Figura 5: Criterios de caracterización del macizo rocoso.

Fuente: (Paredes-Choque, 2019).

Para el Caso 1.

Primer parámetro: RDQ.

Cuerpo 1:

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N^\circ \text{ de discontinuidades}}{m}$$

$$\lambda = \frac{58}{10} = 5.8$$

Según los datos obtenidos en campo:

$$RQD = 100e^{-0.1*5.8(0.1*5.8+1)};$$

$$RQD = 39.996\%$$

Tabla 7. Determinación del RQD – Cuerpo 1.

RQD (%)	Calidad de la roca
100 – 90	Muy buena
90 – 75	Buena
75 – 50	Regular
50 – 25	Mala
0 - 25	Muy mala

Fuente: (Araneda-Nacario, 2017).

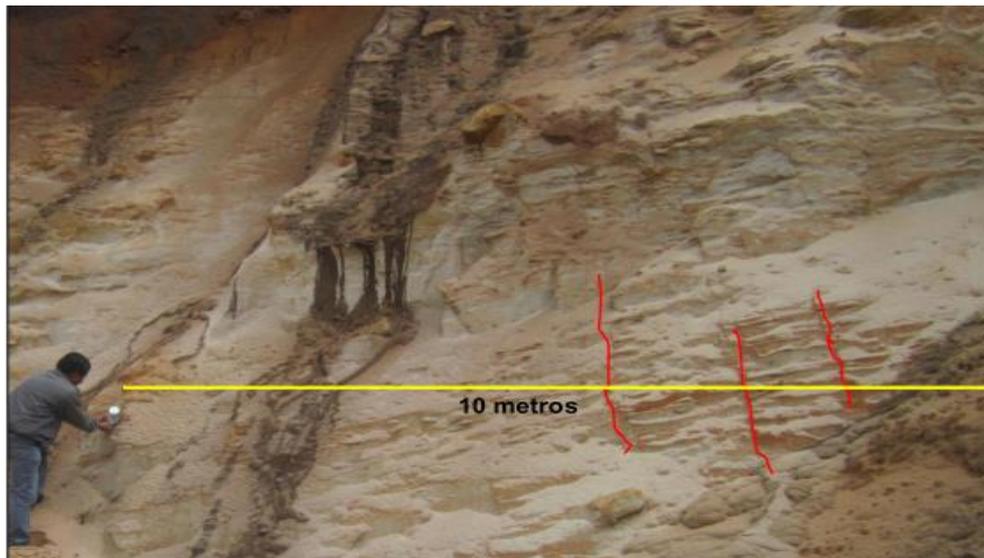


Figura 6: Grietas en la zona del cuerpo 1.
Fuente:(Araneda-Nacario, 2017).

Cuerpo 2.

$$\lambda = \frac{76}{15} = 5.07$$

Según los datos obtenidos en el campo:

$$RQD = 100e^{-0.1 \cdot 5.07(0.1 \cdot 5.07 + 1)};$$

$$RQD = 46.58\%$$

Tabla 8. Determinación del RQD - Cuerpo 2.

RQD (%)	Calidad de la roca
100 – 90	Muy buena
90 – 75	Buena
75 – 50	Regular
50 – 25	Mala
0 - 25	Muy mala

Fuente: (Araneda-Nacario, 2017).

Cuerpo 3.

$$\lambda = \frac{79}{13} = 6.08$$

Según los datos obtenidos en el campo:

$$RQD = 100e^{-0.1 \cdot 6.08(0.1 \cdot 6.08 + 1)};$$

$$RQD = 37.62\%.$$

Tabla 9. Determinación del RQD – Cuerpo 3.

RQD (%)	Calidad de la roca
100 – 90	Muy Buena
90 – 75	Buena
75 – 50	Regular
50 – 25	Mala
0 - 25	Muy mala

Fuente: (Araneda-Nacario, 2017).

Promedio del RQD.

Tabla 10. Promedio de RQD en los tres cuerpos de arena.

Cuerpos	RQD (%)	Calidad de la roca	Promedio
Cuerpo 1	39.996	Mala	
Cuerpo 2	46.58	Mala	41.4
Cuerpo 3	37.62	Mala	

Fuente: (Araneda-Nacario, 2017).

Segundo parámetro: RMR – Bieniaswki 89.

Resistencia a la Compresión del macizo rocoso (Mpa).

La resistencia se evaluó en el laboratorio de mecánica de rocas de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Tabla 11. Resistencia de los cuerpos de arena.

Ubicación	Promedio	Promedio Total
Cuerpo 1	47.64	
Cuerpo 2	44.87	46.72
Cuerpo 3	47.64	

Fuente: (Araneda-Nacario, 2017).

Tabla 12 . Resistencia de la roca.

Clase	Clasificación de la roca según su resistencia	Resistencia a la compresión (MPa)	Estimación en terreno de la resistencia
R6	Extremadamente resistente	> 250	Golpes de picota, solo causan descostramientos en la roca.
R5	Muy resistente	100 – 200	Un trozo de roca requiere varios golpes de la picota para fracturarse.
R4	Resistente	50 – 100	Un trozo de roca requiere más de un golpe de la picota para fracturarse.
R3	Moderadamente resistente	25 - 50	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe de la picota, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.
R2	Débil	5 - 25	Un golpe con la punta de la picota deja una indentación superficial.
R1	Muy débil	1 - 5	La roca se disgrega al ser golpeada con la punta de la picota.
R0	Extremadamente débil	0.25 - 1	La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.

Fuente: (Araneda-Nacario, 2017).

Espaciado de las discontinuidades.

Tabla 13. Espaciado de discontinuidades en los cuerpos de arena.

Cuerpo	Espaciado promedio
Cuerpo 1	6 - 20 cm
Cuerpo 2	6 – 20 cm
Cuerpo 3	6 – 20 cm
Promedio	20 cm

Fuente: (Araneda-Nacario, 2017).

Promedio: $\frac{C_{d1}+C_{d2}+C_{d3}}{3} = 0.20m = 20cm.$

Tabla 14. Descripción del espaciado.

Descripción	Espaciado	
	Mm	Cm
Extremadamente cerrado	< 20	< 2
Muy cerrado	20 - 60	2 – 6
Cerrado	60 - 200	6 – 20
Moderado	200 - 600	20 – 60
Espaciado	600 - 2000	60 cm – 2m
Muy espaciado	2000 - 6000	2 m – 6 m
Extremadamente espaciado	> 600	> 6 m

Fuente: (Araneda-Nacario, 2017).

Condición de las discontinuidades:

Para describir la condición de las discontinuidades se tendrá en cuenta la siguiente guía:

✓ **Persistencia:**

De las discontinuidades de los tres cuerpos medidos obtenemos como persistencia desde

3 m hasta 5 m, por tanto, se considera de muy baja persistencia.

Tabla 15. Persistencia de las discontinuidades de los cuerpos de arena.

Cuerpo	Persistencia promedio
Cuerpo 1	3 – 10 m
Cuerpo 2	3 – 10 m
Cuerpo 3	3 – 10 m
Promedio	6 m

Fuente: (Araneda-Nacario, 2017).

Tabla 16. Clasificación de la persistencia.

Descripción de Persistencia	
Persistencia	Longitud (m)
Muy baja persistencia	< 1
Baja persistencia	1 – 3
Persistencia media	3 - 10
Alta persistencia	10 – 20
Muy alta persistencia	> 20

Fuente: (Araneda-Nacario, 2017).

✓ **Abertura:**

Tabla 17. Abertura de las discontinuidades.

Cuerpo	Abertura promedio
Cuerpo 1	1 – 5mm
Cuerpo 2	1 – 5 mm
Cuerpo 3	1 – 5mm
Promedio	3 mm

Fuente: (Araneda-Nacario, 2017).

Tabla 18. Clasificación de la abertura.

Descripción de la Abertura	
Descripción	Abertura
Muy cerrada	Ninguna
Cerrada	< 0.1 mm
Parcialmente abierto	0.1 – 1.0 mm
Abierta	1 – 5 mm
Muy abierta	> 5 mm

Fuente: (Araneda-Nacario, 2017).

✓ **Rugosidad:**

Las discontinuidades presentan una superficie rugosa, en la foto se puede ver claramente.

Tabla 19. Rugosidad de las discontinuidades de los cuerpos.

Cuerpo	Rugosidad promedio
Cuerpo 1	Ondulada
Cuerpo 2	Ondulada
Cuerpo 3	Ondulada
Promedio	Ondulada

Fuente: (Araneda-Nacario, 2017).

Tabla 20. Clasificación de la rugosidad.

Rugosidad
Muy rugosa
Rugosa
Ligeramente rugosa
Ondulada
Lisa

Fuente: (Araneda-Nacario, 2017).

✓ **Relleno:**

El relleno de las juntas presenta; material orgánico, y arena sin compactar; y son menores a 5mm.

✓ **Meteorización:**

Las rocas calizas presentes en la zona presentan una meteorización moderada en toda la cantera Cabra Cabra.

Segundo parámetro: Clasificación RMR.

Tabla 21. Clasificación del RMR.

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Compresión simple (Mpa)		
		Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25 - 5	5 - 1	< 1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	< 25%		
	Puntuación		20	17	13	6	5		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	> 0.06m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de las discontinuidades	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro >5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 Litros/min	10-25 Litros/min	25-125 Litros/min	>125 Litros/min		
		Relación de agua/Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Fuente: (Araneda-Nacario, 2017).

$$RMR = 4 + 6 + 8 + 2 + 1 + 1 + 2 + 3 + 15$$

$$RMR = 42.$$

Tabla 22. Clasificación del RMR.

Puntuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21
Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala

Fuente: (Araneda-Nacario, 2017)

Evaluación del GSI.

$$GSI = (RMR_{89} - 5) \rightarrow GSI = (42 - 5) \rightarrow GSI = 37.$$

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (Bieniawski)					
Obra: Estación Geomecánica:		Canteras: Arena fina S.M.R.L. CABRACABRA -2017		Localidad: DISTRITO DE NAMORA-CAJAMARCA	
Coordenadas (X,Y,Z):		X	Y	Z	
Observaciones		Desarrollado la comparación: 06-11-2019			
Cliente: 1					
Pámetros de clasificación			Clasificación		Puntuación
1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)					
Ensayo de carga puntual		No aplica		0	
Compresión simple		50-25		4	
2 Índice RQD de la roca					
RQD (%)		25-50		6	
3 Separación entre diaclasas					
Separación entre diaclasas (m)		0,06-0,2		8	
4 Estado de las discontinuidades					
Longitud de la discontinuidad (m)		3-10		2	
Abertura (mm)		1-5		1	
Rugosidad		Ondulada		1	
Relleno		Relleno blando, < 5 mm		2	
Alteraciones		Modera. Alteradamente		3	
5 Agua freática					
Caudal por 10 m de tunel		No aplica		0	
Presión agua/Tensión principal mayor		No aplica		0	
Estado general		Seco		15	
Corrección por discontinuidades			Clasificación		Puntuación
Túneles		No aplica		0	
Cimentaciones		No aplica		0	
Taludes		No aplica		0	
			Puntuación		42

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

Foto o croquis de la estación geomecánica

Orientación de las discontinuidades en el túnel

Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0°-20°. Cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento				
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable

Figura 7: Conclusión: Cantera de arena fina caso 1.

Fuente: Propia (S.M.R.L CABRA CABRA NAMURA CAJAMARCA 2017).

Para el Caso 2.

Primer parámetro: Resistencia de la roca intacta.

En el ensayo de carga puntual de laboratorio se obtuvo una resistencia de 4.3 Mpa.

Lo cual tiene una valoración de 12.

Tabla 23. Valores de la resistencia de la roca intacta, zona 1.

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE – ZONA I							
RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA	Ensayo de carga puntual digital Serie N°:12011940	<10 MPa	4-10MPa	2-4MPa	1-2MPa	Compresión simple (MPa)	
	Valor	15	12	7	4	2	1 0
	Revisado por: Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza						Firma y sello

Fuente: (Llamoctanta-Marchena, 2018).

Segundo parámetro: RQD - RQD (ZONA 1), tiene un valor de 42.4%. Lo cual equivale a una valoración de 6.

Tabla 24. Valores del RQD, zona 1.

RQD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%
VALOR	20	17	13	6	3

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Se utilizó la formula $RQD = 115 - 3.3 (J_v)$

En donde:

J_v : Numero de fisuras por metro lineal.

$$RQD = 115 - 3.3(22).$$

RQD = 42.4% La calidad es mala.

Tabla 25. Índice de Calidad de la roca RQD, zona 1.

INDICE DE CALIDAD R.Q.D (%)	CALIDAD
0-25	Muy Mala
25-50	Mala
50-75	Regular
75-90	Buena
90-100	Excelente

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Tercer parámetro: Espaciado de las discontinuidades.

Zona 1. Espaciado de discontinuidades está en un valor de 8.

Tabla 26. Valores del espaciado de las continuidades, zona 1.

ESPACIADODE LAS DISCONTINUIDADES	>2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	6 – 20 cm	<6 cm
VALOR	20	15	10	8	5

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Cuarto parámetro: Estado de las discontinuidades.

Zona 1. Longitud de la discontinuidad: 2 .

Tabla 27. Valores de la longitud de las discontinuidades, zona 1.

LONGITUD DE DISCONTINUIDAD	>1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	>20 m
VALOR	6	4	2	1	0

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Zona 1. Abertura: 3

Tabla 28. Valores de la Abertura, zona 1.

ABERTURA	Nada	<0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	>5 mm
VALOR	6	5	3	1	0

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Zona 1. Rugosidad: 3.

Tabla 29. Valores de rugosidad, zona 1.

RUGOSIDAD	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave
VALOR	6	5	3	1	0

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Zona 1. Relleno: 2.

Tabla 30. Valores del relleno, zona 1.

RELLENO	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
VALOR	6	4	2	2	0

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Zona 1. Alteración: 3.

Tabla 31. Valores de la Alteración, zona 1.

ALTERACION	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
VALOR	6	5	3	1	0

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Zona 1: Suma Total del cuarto parámetro ZONA 1. Flujo de agua en las juntas 7 (estado de las discontinuidades) es 13. (húmedo).

Quinto parámetro: Flujo de agua de las juntas.

Tabla 32. Valores de Flujo de agua en las Juntas, zona 1.

Flujo de Agua	RELACION Pagua/Pprinc	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	>0,5
En las Juntas	Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
VALOR		15	10	7	4	0

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Tabla de clasificación para la determinación de los buzamientos con respecto al efecto relativo con relación al eje de la obra.

Tabla 33. Clasificación para la determinación de los buzamientos.

Dirección Perpendicular al Eje de la obra				Dirección Paralelo al eje de la obra		Buzamiento 0 -20°
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento				
Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	Cualquier dirección
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Desfavorable

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Tabla 34. Valoración para Taludes.

Calificativo	Valoración
Muy favorable	0
Favorable	-5
Medio	-25
Desfavorable	-50
Muy desfavorable	-60

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Zona 1. Ajuste por orientación de discontinuidades para taludes = -25.

Tabla 35. Clasificación para la determinación de los buzamientos, zona 1.

Dirección Perpendicular al Eje de la obra				Dirección Paralelo al eje de la obra		Buzamiento 0 -20°
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento				
Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	Cualquier dirección
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Desfavorable

Fuente: (Bieniawski, 1989).

Tabla 36. Valoración para Taludes, zona 1.

Calificativo	Valoración
Muy favorable	0
Favorable	-5
Medio	-25
Desfavorable	-50
Muy desfavorable	-60

Fuente: (Bieniawski, 1989).

- ✓ El eje de la excavación es perpendicular a la dirección de los estratos.
- ✓ La excavación es en contra del buzamiento.
- ✓ Buzamiento es de 55.



Figura 8: Sacando el rumbo y buzamiento, zona 1. Fuente:(Alvaro-Marquez & Villanueva-Huatay, 2019).

**Sumatoria del RMR.
Zona 1.**

$$RMR = (12) + (6) + (8) + (13) + (7) + (-25)$$

$$RMR \text{ Básico} = 46 \text{ RMR}$$

$$\text{Ajustado} = 2.$$

Tabla 37. Valoración del RMR, zona 1.

Grado	Característica	RMR
		entre 81 y
I	Roca muy buena	100
II	Roca buena	entre 61 y 80
III	Roca media	entre 41 y 60
IV	Roca mala	entre 21 y 40
		menor que
V	Roca muy mala	20

Fuente: (Bieniawski, 1989).

El valor del RMR= 46, nos da una calidad del macizo correspondiente a Grado III con la característica de Roca media.

Tabla 38. Cálculo de los parámetros SMR.

Caso	Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P T $ \alpha_j - \alpha_s / (\alpha_j - \alpha_s) - 180^\circ $	>30°	30-20°	20-10°	10-5°	5°
P/TF1	0.15	0.40	0.70	0.85	1
P T $ B_j $	<20°	20-30°	30-35°	35-45°	45°
P T F2	0.15	0.40	0.70	0.85	1
T F2	1	1	1	1	1
P T $B_j - B_s$	>10°	10-0°	0°	0° a -10°	<-10°
T $B_j + B_s$	<110°	110-120°	>120°	-	-
P/TF3	0	-6	-25	-50	-60
Método	Talud natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o mecánico	Voladura deficiente
F4	15	10	8	0	-8

Fuente: (Romana, 1992).

Evaluación de SMR. La clasificación de Romana (1992), considera las condiciones de yacencia del talud y las familias de discontinuidades, el SMR “Slope Mass Rating” y el Método de Excavación. Los parámetros considerados son:

- ✓ F1: relación entre el rumbo del talud y el rumbo de las discontinuidades
- ✓ F2: dependiente del buzamiento de las discontinuidades, se supone rotura planar
- ✓ F3: relación entre el buzamiento del talud y el buzamiento de las discontinuidades
- ✓ F4: factor empírico que depende del método de arranque empleado.

Su cálculo está definido por la expresión:

$$SMR = RMR + (F1 * F2 * F3) + F4$$

En donde:

- ✓ P: rotura plana
- ✓ T: rotura por vuelco
- ✓ Bj: buzamiento de las juntas = 40°
- ✓ Bs: buzamiento del talud =70°

αj: dirección de buzamiento de las juntas = 150°

αs: dirección de buzamiento del talud = 160°

Para la clasificación de la estabilidad según el SMR se utiliza la Tabla 47.

Tabla 39. Clases de estabilidad según el SMR.

CLASES DE ESTABILIDAD SEGÚN EL SMR					
Clase No	V	IV	III	II	I
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Descripción	Muy malo	Malo	Normal	Bueno	Muy bueno
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Fuente: (Romana, 1992).

Zona 1.

$$SMR = RMR + (F1 * F2 * F3) + F4$$

$$SMR = 46 + [1 * 0.15 * (-50)] + 0$$

$$SMR = 38.5$$

El valor del SMR=38.8 nos da Clase No IV de macizo rocoso correspondiente a una Descripción de Malo y una Estabilidad de Inestable.

Aplicando las dos metodologías que evalúan el agrietamiento y analizan como éste influye en la calidad de las rocas, se obtuvo que la roca es de calidad buena, aspecto que coincide con la valoración visual de la misma

Aplicando los métodos de Bieniawski y Romana se puede observar que existe correlación en los resultados, ya que por Bieniawski la calidad del macizo representada por el RMR=46 es Media y por Romana la calidad del macizo representada por el SMR = 38.5 es inestable como se lo indica en la tabla 40.

Tabla 40. Correlación de los métodos de Bieniawski-Romana, zona 1.

METODO	VALORACION	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO
Bieniawski	RMR = 46	Media
Romana	SMR = 38.5	Inestable

Fuente: (Bieniawski-Romana).

Evaluación del GSI.

INDICE DE ESFUERZO GEOLOGICO PARA ROCAS UNIDAS (Hoek & Marinos, 2000) Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es más real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde los planos estructurales débiles están presentes en una dirección desfavorable con respecto a la excavación, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de fallas son propensas a la alteración como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua está presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambian las condiciones por el cambio de humedad. La presión del agua es tratada por análisis de esfuerzos efectivos.		CONDICIONES DE SUPERFICIES				
ESTRUCTURA		DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE →				
	INTACTA O MASIVA. Rocas intactas o masivas in-situ. Rocas con discontinuidades amplias y espaciadas.	90				
	FRACTURADA. Macizo rocoso con bloques enclavados, bloques cúbicos formado por tres intersecciones de sistemas de discontinuidades.	80	70		N / A	N / A
	MUY FRACTURADA. Macizo perturbado con bloques entrelazados y angulares, formados por la intersección de 4 o más sistemas.		60			
	FRACTURADA/PERTURBADA/SORDIDA. Macizo plegado formado por bloques angulares productos de la intersección de varios sistemas de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificación.		50	40		
	DISGREGADO. Pobrementemente enclavado, macizo altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados.				30	
	LAMINADA/FOLIADA. Carece de bloques debido al débil material en los planos de esquistosidad y cizalla.				20	
		← DECRECE EL ENCLAVAMIENTO DE LOS BLOQUES				10
			N / A	N / A		

Figura 9: Clasificación geomecánica del GSI.

Fuente: (Marinos & Hoek, 2000).

Zona1: La evaluación del SGI tiene un valor de 40.

Por lo tanto, obtenemos:

- ✓ Según su estructura tenemos que es Muy Fracturada: macizo perturbado con bloques

entrelazados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas.

- ✓ Según la condición de superficie es Regular: superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteras.

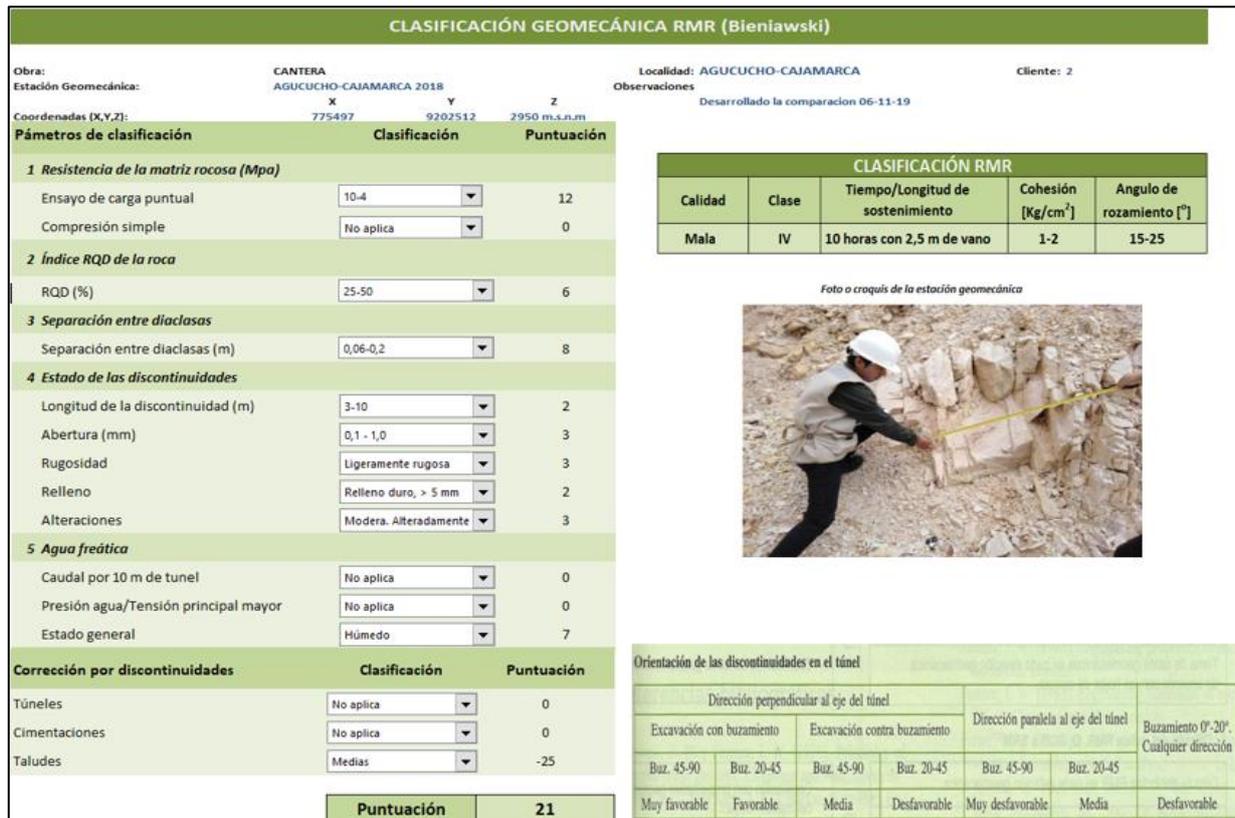


Figura 10: Conclusión: Cuadro comparativo del caso 2.

Fuente: Propia (AGUCUCHO CAJAMARCA 2018).

4. CONCLUSIONES.

Ambos testistas se esforzaron en la recolección de datos de campo, donde en el primer caso vemos con respecto a la resistencia de la matriz rocosa (Mpa) se utilizó la COMPRESION SIMPLE sacando una puntuación de 4 Mpa. Sin embargo, en el segundo caso se utilizó el ENSAYO DE CARGA PUNTUAL obteniendo una puntuación de 12 Mpa.

En la Fig. 7 y la Fig.10, vemos las respectivas diferencias en el parámetro de la matriz rocosa, agua freática y corrección por discontinuidades-Taludes. Dando los siguientes resultados:

Para la cantera Cabra Cabra; Calidad de roca-Media; Clase-III; Tiempo/Longitud de sostenimiento – Una semana con 5m de vano;

Cohesión -2 a 3 Kg/cm²; Angulo de rozamiento-25° a 35°.

Para la cantera Agucucho-Cajamarca: Calidad de roca-Mala; Clase-IV; Tiempo/Longitud de sostenimiento – 10 horas con 2.5m de vano; Cohesión -1 a 2 Kg/cm²; Angulo de rozamiento-15° a 25°.

Con respecto al Índice de resistencia geológica (GSI) en la cantera de Arena fina S.M.R.L. CABRA CABRA no se tomó en cuenta ya que el GSI es igual a 37 menor a lo que indica las literaturas citadas por Marinos & Hoek (2000). Sin embargo, en la cantera Agucucho-Cajamarca se toma en cuenta porque se obtiene un GSI= 41, calidad de la roca es media de clase III.

La metodología de investigación del comportamiento geomecánico del macizo rocoso desarrollado constituye un aporte científico y brinda elementos novedosos para determinar dichos comportamientos además es aplicable a cualquier tipo de macizo rocoso tanto en obras subterráneas como de superficie.

REFERENCIAS.

- Alvaro-Marquez, M. I., & Villanueva-Huatay, L. (2019). *Evaluación geomecánica y geotécnica para el diseño de estabilidad de taludes de la cantera Agocucho, Cajamarca 2018* (Universidad Privada del Norte). Retrieved from <http://hdl.handle.net/11537/14988>
- Araneda-Nacario, A. del R. (2017). *Influencia del comportamiento geomecánico de macizo rocoso en el diseño de bancos de la cantera de arena fina cabra cabra de la empresa S.M.R.L cabra cabra, distrito de Namora-Cajamarca, 2017* (Universidad Privada del Norte). Retrieved from [http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/12795/Araneda Nacario Ana del Rocío - Intor Ríos Luz Marina.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/12795/Araneda%20Nacario%20Ana%20del%20Rocío%20-%20Intor%20Ríos%20Luz%20Marina.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Arild-Palmstron, P. . (2005). Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD). *Published in Tunnels and Underground Space Technology*, 20, 362–377. Retrieved from www.elsevier.com/locate/tust
- Bieniawski, Z. T. (1989). Rock mass classification. *Rocscience*, 1–23. Retrieved from <https://www.rocscience.com/assets/resources/learning/hoek/Practical-Rock-Engineering-Chapter-3-Rock-Mass-Classification.pdf>
- Cartaya-Pire, M. (2006). Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental del país. *Minería y Geología*, 22(marzo), 1–56. Retrieved from <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistatmg/article/view/155>
- Llamoctanta-Marchena, J. E. (2018). *Estimación del comportamiento de parámetros geomecánicos aplicando técnicas geoestadísticas en la concesión Mi Grimaldina 1, caserío de Piñipata, Hualgayoc-Cajamarca* (Universidad Nacional de Cajamarca). Retrieved from <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3034>
- Marinos, P., & Hoek, E. (2000). *GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation*. (November), 1–19. Retrieved from <https://www.rocscience.com/assets/resources/learning/hoek/GSI-A-Geologically-Friendly-Tool-for-Rock-Mass-Strength-Estimation-2000.pdf>
- Mohammadi, M., & Hossaini, M. F. (2017). Modification of rock mass rating system:

- Interbedding of strong and weak rock layers. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(Junio), 1165–1170.
<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.06.002>
- Ortiz-Jaimes, N. A. A. de C. de la T. de la Uag. P. de V. D. (2017). Caracterización geomecánica general de macizos rocosos en la región volcánica de Cuitzeo. *Tlamati Sabiduria*, 8 numero e(octubre), 13. Retrieved from
- <http://tlamati.uagro.mx/t83e/t83eI23.pdf>
- Paredes-Choque, G. (2019). *Evaluación geomecánica y análisis de la estabilidad del talud en la cantera del Arbolito-Juliaca* (Universidad Nacional del Altiplano). Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11799>
- Ramírez, P., Leandro, O., & Monge, A. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Retrieved from <http://oa.upm.es/14183/>