
Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la estación de servicio en la entrada del municipio de Manaure, Cesar

Aristides José Noriega Hernández, M. Sc (c)¹
César Jaime Urbina Mejía²

Resumen

La caracterización geomecánica ayuda a prevenir o reducir los inconvenientes relacionados con el desprendimiento de rocas; se emplean instrumentos que permiten controlar la estabilidad de las rocas, y estos instrumentos son usados generalmente como palancas para mantener las rocas estables durante los procesos de minería; así, se brinda seguridad y, por ende, calidad a la operación (Cueva y Arana, 2019). Además, esta técnica permite estudiar las propiedades físicas y mecánicas de un macizo. A su vez, por medio de ella, se busca describir, estudiar y analizar los diferentes aspectos importantes a la hora de realizar la caracterización de un macizo rocoso mediante resultados obtenidos por medio de ensayos de laboratorio al aplicar los conceptos básicos. La investigación a continuación es el análisis de la información obtenida de un macizo rocoso tras de la estación de servicio a la entrada del municipio Manaure, Cesar. Este trabajo comprende el levantamiento de diferentes discontinuidades con su respectiva representación y el análisis estereográfico del macizo rocoso; la caracterización geomecánica, el ensayo de resistencia a la compresión simple de la roca y la clasificación geomecánica.

Palabras clave: Geomecánica, macizo rocoso, discontinuidades, estabilidad.

¹ anoriega8@estudiantes.areandina.edu.co

² curbina3@estudiantes.areandina.edu.co

Introducción

Los criterios empleados para la caracterización y la clasificación del macizo rocoso en estudio están condicionados por la metodología empleada por Maday Catarya en 2006. Según (De la Cruz et al., 2011) el propósito inicial es asegurar que la estabilidad. Además, tales criterios se han fundamentado en un conjunto de experiencias que han dado paso a nuevas teorías, las cuales buscan fomentar la mejora y la evolución del conocimiento en lo que respecta al medioambiente, sobre todo en los espacios rocosos, que es el contexto en el que se trabaja. A pesar de esto, los criterios en cuestión no tienen la misma veracidad o pertinencia en ambientes inestables, como sucede en el caso de los suelos blandos.

En ese sentido, en el señalado ambiente inestable, en el que las características mencionadas se suman a la natural inclinación del suelo debido al movimiento subterráneo de las rocas, a su estructura y, en consecuencia, a sus posibles fracturas, pueden verse planos de ruptura que comprenden las características geomecánicas, y una información que es tomada principalmente con los datos estructurales recolectados del municipio Manaure, Cesar. Haciendo uso de la información obtenida por (Driggs

& Miguel, 2019) “este estudio se identificó las diferentes familias de diaclasas y varias características relacionadas a estas como el espaciado, continuidad, abertura, rugosidad y relleno”.

Identificación y caracterización de discontinuidades

La toma de discontinuidades permite conocer el comportamiento geomecánico del macizo rocoso y clasificar geomecánicamente los datos obtenidos en campo, por ejemplo, la resistencia al corte de las discontinuidades.

Durante esta fase de campo *in situ*, se tomaron y caracterizaron en el sitio de estudio 150 discontinuidades. Los datos obtenidos del trabajo en campo en las discontinuidades son los que identifican las propiedades índices.

El objetivo general de esta investigación es la caracterización geomecánica del macizo rocoso al margen derecho de la entrada del municipio de Manaure, Cesar. Se identificaron las familias de discontinuidades en el macizo rocoso, se definieron los tamaños de bloque presentes en el macizo rocoso por medio de análisis estadísticos y cinemáticos a los planos de discontinuidades, y finalmente se clasificó por medio del RQD, Q de Barton, y RMR la calidad del macizo rocoso.



Figura 1.
Vista frontal del macizo rocoso.
Fuente: Elaboración propia.

El afloramiento está en el extremo noroeste del Cesar, en la vertiente occidental de la Serranía del Perijá, a 775 metros sobre el nivel de mar. La ubicación geográfica es en las coordenadas $10^{\circ}23'29.1''$ N y $73^{\circ}02'12.7''$ W; y en coordenadas planas de latitud 10.3914167 y Longitud -73.03686111111111. La orientación del macizo es NE – SW. El macizo está detrás de la estación de servicio a la entrada del municipio de Manaure, Cesar. Por lo tanto, algunas unidades rocosas se encuentran en diferencias en litología, donde los intervalos de tiempo son seleccionados. Es la unidad estratigráfica principal más grande del municipio, está limitada a la Serranía del Perijá, donde se puede identificar el área, los tipos de rocas cercanas.

En la Serranía del Perijá, los diferentes tipos de rocas están formadas por depósitos detríticos, arenisca de arco,

lutita, limolita y conglomerado rojo; en la parte frontal, en el medio del área, se encuentran formaciones de basalto, brechas y flujos de toba. El afloramiento está conformado por roca metasedimentaria con una estratificación estrato paralela en forma tabular. Por procesos o la actividad tectónica, este afloramiento sufrió una inclinación de sus estratos. En el área de estudio, se identifica que el ambiente es de formación marina. Este afloramiento presenta una litología de lutitas con cementación carbonatado alternadas con calizas que han sufrido metamorfismo de grado bajo, y que se han vuelto metalutitas. También podemos apreciar la apariencia de cuarzo lechoso por pequeñas intrusiones de diques y calcita. El presente afloramiento tiene demasiada meteorización y no se ha podido clasificar (Molano & Gómez, 2010).

Metodología

Fuentes y técnicas de recolección de información

Para el desarrollo del presente trabajo se tuvieron en cuenta distintos antecedentes de estudios sobre las formaciones geológicas de Manaure, Cesar. Así, fue posible conocer la disposición del terreno. También se revisaron investigacio-

nes geomecánicas que se hayan realizado en el macizo rocoso escogido; de esta forma, fue posible distinguir el enfoque del proyecto.

Instrumentos para recolección de información

Análisis de resultados

Datos tomados de campo

En este apartado se incluyen los análisis estadísticos en los que se describen las características de las discontinuidades. Este análisis sirve para comprobar los rasgos dominantes en el área de estudio del macizo rocoso.

En un tiempo determinado, las diaclasas en el macizo rocoso detrás de la bomba la frontera se vieron afectadas por un gran flujo del agua que produjo una alta meteorización; sin embargo, cabe recalcar que, al momento del levantamiento de las discontinuidades, el flujo de agua era completamente nulo, pero el área estaba húmeda debido a los cambios climáticos que se han venido presentando en estos meses del año.

Espaciado

El tamaño de los bloques de la matriz rocosa se ve configurado por la distancia entre los planos que muestran tal separación:



Figura 2.
Materiales y equipos utilizados para la investigación.
Fuente: Elaboración propia.

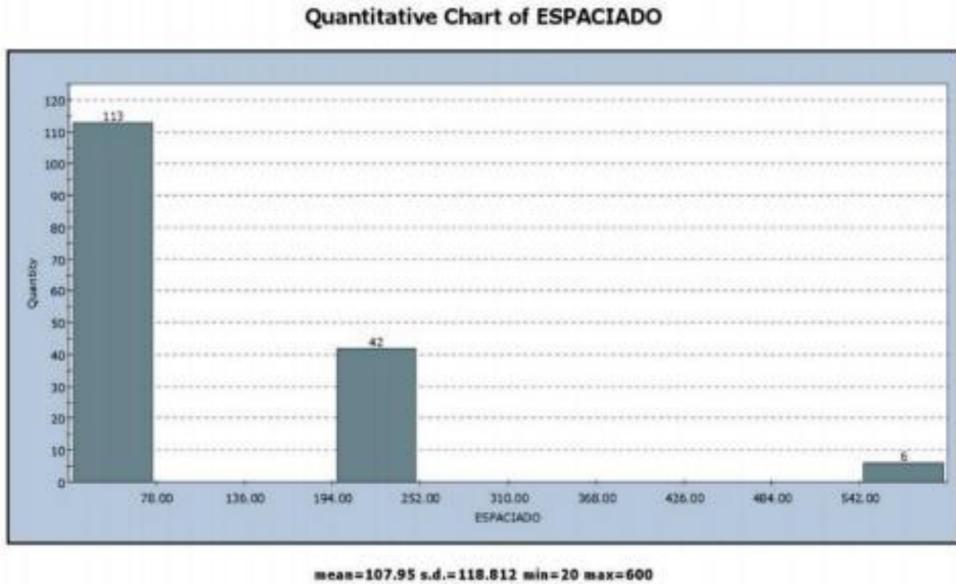


Figura 3.
Espaciado de las discontinuidades.
Fuente: Elaboración propia.

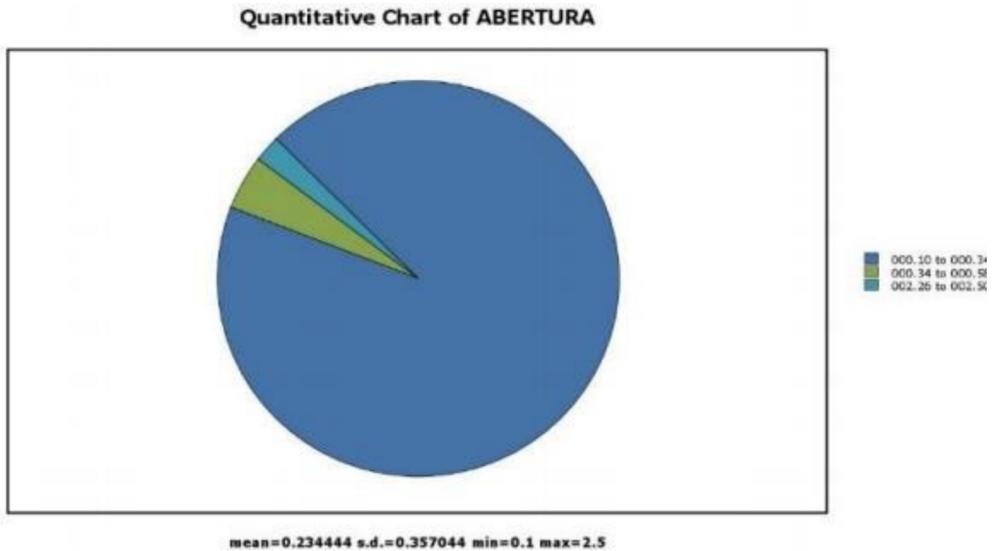


Figura 4.
Abertura de la discontinuidad.
Fuente: Elaboración propia.

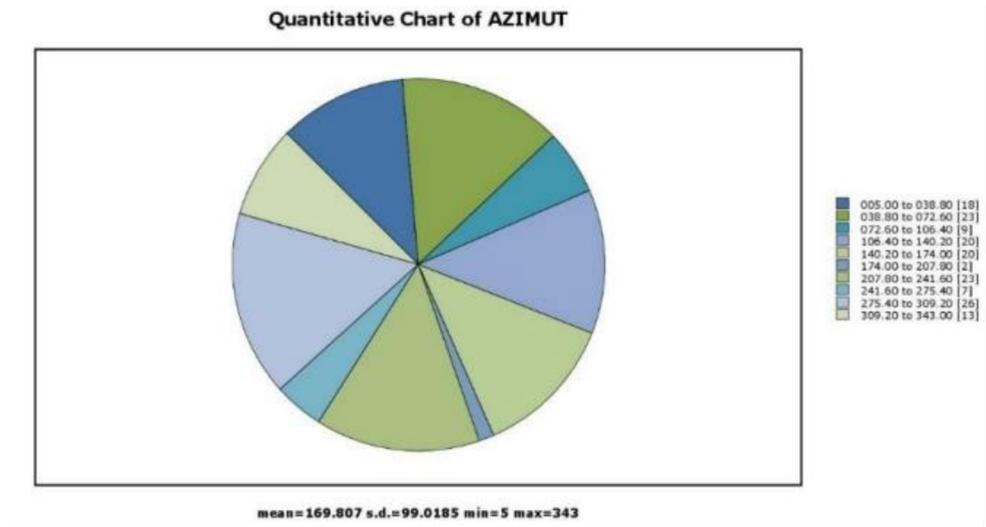


Figura 5.
Orientación.
Fuente: Elaboración propia.

Abertura

Este término se refiere a la separación perpendicular entre los lados de la discontinuidad en los casos en los que no hay un relleno.

Orientación

Es el ángulo de la posición que se traza por encima de una superficie esférica virtual o real.

Continuidad

La continuidad es la extensión del plano de discontinuidad.

Relleno

En lo que concierne a las separaciones, pueden rellenarse con un material diferente del que están compuestas las rocas que dan forma a las paredes.

Filtraciones

El líquido que fluye a través de las separaciones da origen al agua dentro del macizo rocoso.

Rugosidad

La rugosidad calculada es directamente proporcional a la resistencia; por ende, se afirma que la primera influye en la segunda al momento de cortar.



Figura 6.
Continuidad.
Fuente: Elaboración propia.

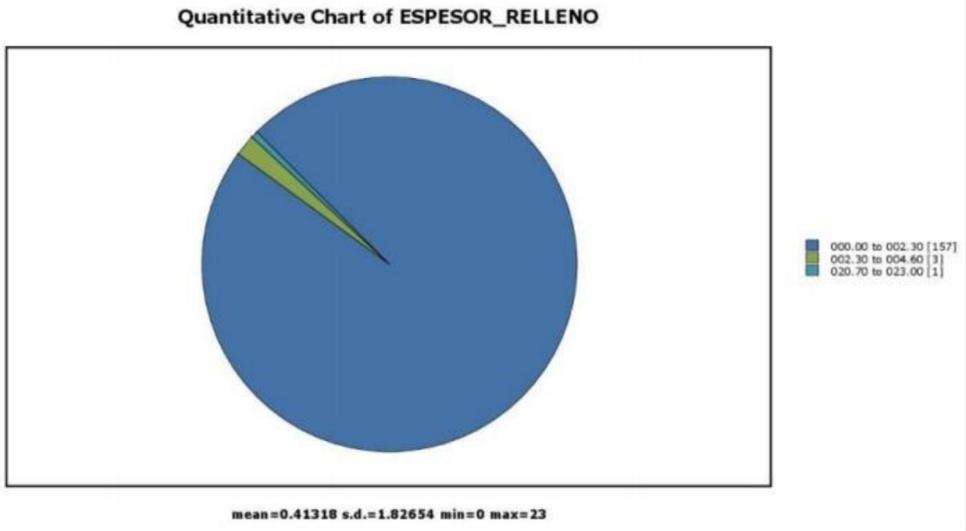


Figura 7.
Relleno.
Fuente: Elaboración propia.

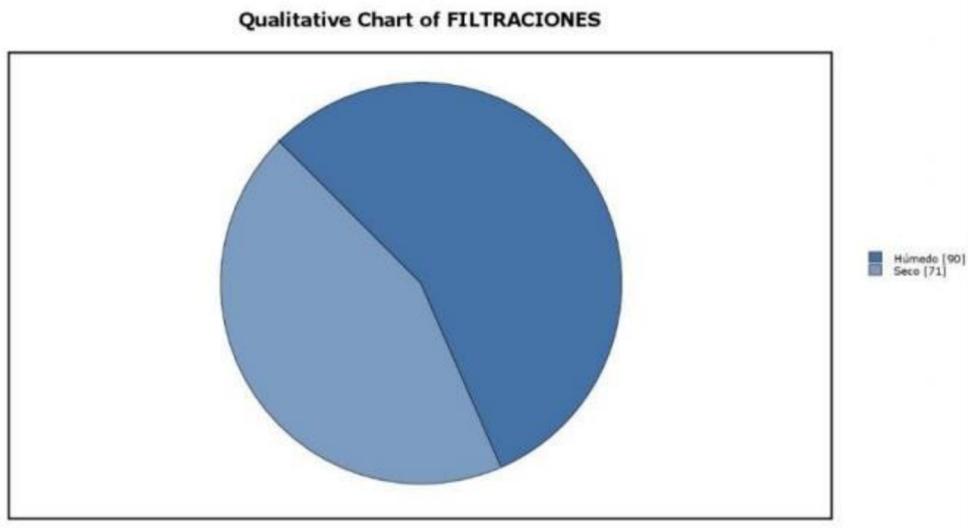


Figura 8.
Filtraciones.
Fuente: Elaboración propia.

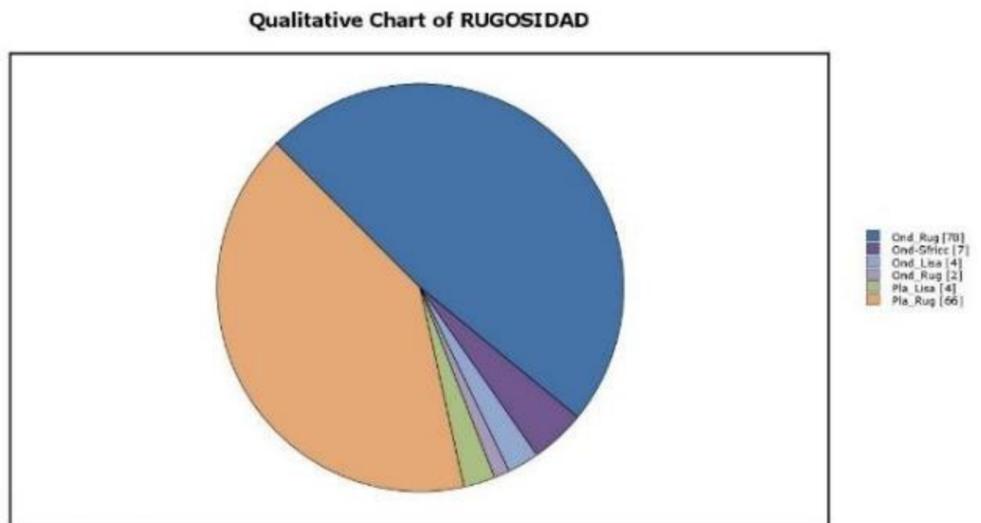


Figura 9.
Rugosidad.
Fuente: Elaboración propia.

Análisis cinemático

Con frecuencia, y de acuerdo con la separación, se diseñan diagramas de tipo pi para señalar los juegos de diaclasas o separaciones que afectan al macizo rocoso (Ramirez y Alejano, 2004). Si esta separación es mínima, se observan los juegos en cuestión sobre la superficie con mayor densidad (Jover et al., 2002). Para la representación estereográfica de las diaclasas de esta investigación, se utilizó el *software* Dips. Este *software* es capaz de arrojar resultados precisos y acordes con los datos tomados en las discontinuidades del macizo rocoso estudiado.

Ensayos de laboratorio

Para corroborar que toda la teoría antes vista sea válidamente aplicable al macizo rocoso, se deben realizar prácticas de laboratorio: en específico, ensayos de carga puntual y compresión simple.

- 1.1. Ensayos diametrales: $D_e = 47,53 \text{ mm}$
- 1.2. Índice de resistencia a carga puntual no corregido: $I_s = 2524,56 \text{ Kpa}$
- 1.3. Índice de resistencia a carga puntual corregido: $F = 0,9776 \rightarrow I_{sC} = 2467,24 \text{ Mpa}$

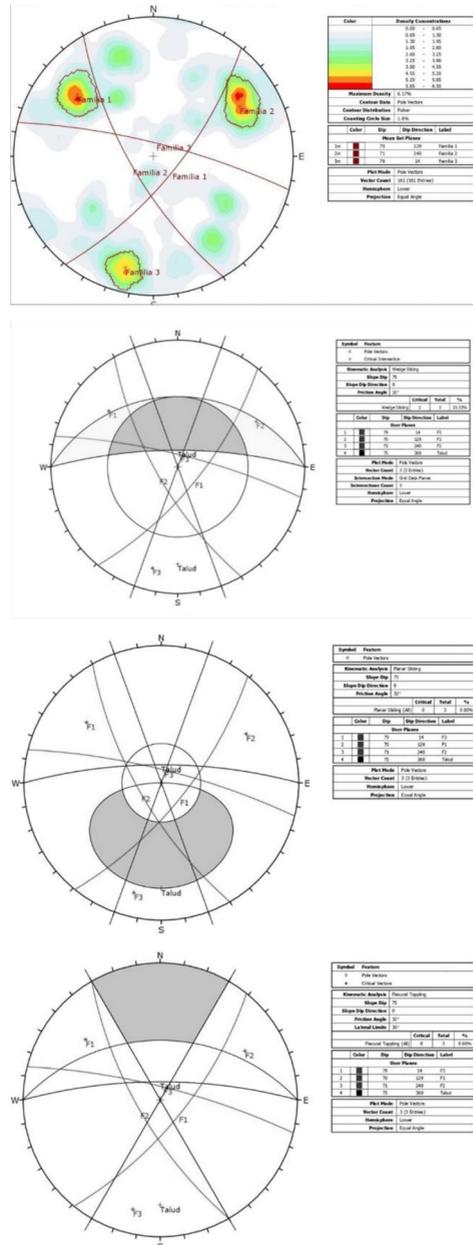


Figura 10. Diagramas de diaclasas o separaciones. Fuente: Elaboración propia.

1.4. Resistencia a compresión simple:

$$\sigma_c = 56,75 \text{ Mpa}$$

Clasificaciones geomecánicas

El propósito de las clasificaciones geomecánicas es, como su nombre lo indica, hacer un análisis geomecánico del conjunto rocoso a través de trabajos de campo² y ensayos simples.

Clasificación RQD

Con base en la recuperación de un testigo, y con el objetivo de aproximar las cualidades del conjunto rocoso a una

cantidad numérica, los autores Deere et al. (1967) crearon el índice RQD (en inglés, *Rock Quality Designation Index*) que se relaciona indirectamente con la alteración del macizo rocoso y la cantidad de fracturas.

$$RQD = 100e^{-0,1(\gamma)} * (0,1\gamma + 1)$$

número de discontinuidades

$$\gamma = \rightarrow = 150 / 8,46 \rightarrow = 17,732$$

longitud en la que se tomaron.

$$RQD = 100e^{-0,1(17,732)} * (0,1(17,732) + 1) = 47,094$$

Detalles	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Masa (gr)	69,50	110,01	26,20	52,40	92,60	41,90	21,00	13,00	81,60
Masa seca (gr)	69,37	109,99	26,08	52,29	92,52	41,83	20,96	12,95	81,16
Humedad %	0,19%	0,018%	0,460%	0,210%	0,086%	0,167%	0,191%	0,386%	0,542%
Volumen (ml)	25	45	09	20	31	15	06	08	30
Masa saturada (gr)	69,60	110,02	26,30	52,50	92,62	41,91	21,05	13,03	81,80
Saturación %	56,52%	66,67%	54,54%	52,39%	80%	87,5%	44,44%	62,5%	68,75%
Densidad seca	2,775	2,4442	2,898	2,614	2,984	2,789	3,493	1,619	2,705
Densidad natural	2,780	2,4446	2,911	2,620	2,987	2,793	3,50	1,625	2,720
Densidad saturada	2,784	2,4448	2,922	2,625	2,988	2,794	3,508	1,629	2,727
Porosidad	0,92%	0,067%	2,444%	1,05%	0,3225%	0,467%	1,5%	1%	2,13%
Relación de vacíos	0,0052	0,00045	0,0137	0,0055	0,00259	0,00469	0,00677	0,00631	0,0149

Figura 12.
Clasificación geomecánica.
Fuente: Elaboración propia.

Según el resultado de RQD, el porcentaje está en el rango de 25 a 50%; por lo tanto, la calidad de la roca es mala.

Clasificación de RMR

La clasificación de RMR es la clasificación planteada por Bieniawski.

- Resistencia de material intacto: 56,75 Mpa → RQD: 47,09
- Distancia entre discontinuidades: 6- 20 cm
- Condición de discontinuidades: 1,3 m < 0,1m
- Ondulada, relleno blando < 5mm Muy alterada.

- Presencia de agua: Completamente secas.

Por lo tanto, se obtiene que,

$$R4 = 4 + 5 + 1 + 0 + 1 = 11$$

- RMR = 7 + 8 + 8 + 11 + 15 → RMR = 49. Lo que permite entender que la calidad e la roca es regular, ya que dio en el rango de 41-60.

Clasificación Q de Barton

En ese sentido,

$$Q = \left(\frac{47}{4}\right) \cdot \left(\frac{3}{6}\right) \cdot \left(\frac{1}{5}\right)$$

$$Q=1,175$$

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	10 a 4	4 a 2	2 a 1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-20	25 a 5	5 a 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	3		
3	Separación entre diaclasas		>2 M	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	<0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación: presión de agua/tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Humedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	0			

Figura 13.
Estado de las discontinuidades.
Fuente: Elaboración propia.

Q de Barton: Estimación de los parámetros	
J_n número de familias	valor
Roca masiva	0.5 - 1
Una familia de juntas	2
Id. con otras juntas ocasionales	3
Dos familias de juntas	4
Id. con otras juntas ocasionales	6
Tres familias de juntas	9
Id. con otras juntas ocasionales	12
Cuatro o más familias, roca muy fracturada	15
Roca triturada	20
J_r coeficiente de rugosidad de la junta	valor
Juntas (contacto entre las dos caras)	
Discontinuas	4
Onduladas, rugosas	3
Onduladas, lisas	2
Onduladas, perfectamente lisas	1.5
Planas, rugosas o irregulares	1.5
Planas, lisas	1
Planas y perfectamente lisas	0.5
Juntas rellenas (relleno impide contacto entre las dos caras)	
material arcilloso	1
Material arenoso, de grava o triturado	1

J_a coeficiente de alteración de la junta	valor
Juntas (sin minerales de relleno intermedios)	
Juntas de paredes sanas	0.75 - 1
Ligera alteración	2
Alteraciones arcillosas	4
Juntas (minerales de relleno en pequeño espesor)	
Con partículas arenosas	4
Con minerales arcillosos no blandos	6
Con minerales arcillosos blandos	8
Con minerales arcillosos expansivos	8 - 12
Juntas (minerales de relleno en gran espesor)	
Con roca triturada/desintegrada y arcilla	6 - 12
Con zonas de arcilla limosa o arenosa	5
Con zonas de arcillosos (espesor grueso)	10 - 20

J_w coeficiente reductor por la presencia de agua	valor
Excavaciones secas o con <5 l/min localmente	1
Afluencia media con lavado de algunas juntas	0.66
Afluencia importante por juntas limpias	0.5
Id. Con lavado de juntas	0.33
Afluencia excepcional inicial, decreciente con el tiempo	0.2 - 0.1
Id. mantenida	0.1 - 0.05

SRF	
Zonas débiles intersectan a la excavación:	
Multitud de zonas débiles o milonitas	
Zonas débiles aisladas, con arcilla o roca descompuesta (cobertura ≤ 50 m)	
Id. con cobertura > 50 m	
Abundantes zonas débiles en roca competente	
Zonas débiles aisladas en roca competente	
(cobertura ≤ 50 m)	
Id. con cobertura > 50 m	
Roca competente (problemas tensionales en las rocas)	
Pequeña cobertura	
Cobertura media	
Gran cobertura	
Rocas deformables (flujo plástico de roca)	
Con bajas presiones	
Con altas presiones	
Rocas expansivas	
Con presión de hinchamiento moderada	
Con presión de hinchamiento alta	

Figura 14.
Clasificación Q de Barton.
Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, se entiende que la valoración es mala, ya que está en el rango entre 1,0 y 4.

Conclusión

El macizo tiene unas características especiales que pueden deberse a la influencia de ríos, materiales erosionados en zonas de alta montaña y materiales

parentales. Generalmente, la textura de un macizo es muy diversa: franco, franco arenoso, arcilloso, franco limoso y arcilloso, lo que aumenta el contenido de sedimentos en el suelo de la llanura aluvial. Debido a la complejidad de los factores que inciden en la migración de contaminantes del suelo subterráneo y las características de cada actividad, es necesario clasificar la vulnerabilidad de cada unidad en el área de estudio como un conjunto de características inherentes. Es la unidad estratigráfica de mayor tamaño de la ciudad, limitada a la Serranía del Perijá, donde se puede identificar el área y el tipo de rocas cercanas. Debido a la complejidad de los factores que inciden en la migración de los contaminantes del suelo subterráneo y las características de cada actividad, es necesario clasificar la vulnerabilidad de las unidades en el área de estudio como un conjunto de características inherentes. Las características regionales de la estructura de formación del suelo en el área no son sólo estudiadas como parte de un proyecto de uso e investigación de la estructura del suelo municipal, sino también por el papel del fertilizante potásico. Se trata, en ese sentido, de un proyecto de elementos que contribuyen a sus cambios. Reaccionará unilateralmente, y la presencia de fósforo y nitrógeno no reaccionará unilateral-

mente, porque el fertilizante de potasio provocará un desequilibrio de nutrientes en el suelo.

A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que el macizo rocoso presenta bloques grandes. En otras palabras, si se llega a intervenir, existen riesgos: puede haber un desprendimiento de rocas y se pueden generar daños. De igual manera, se pudo encontrar que las discontinuidades son bastante largas si se divide el talud en varias rebanadas para favorecer así la inestabilidad, puesto que se hallaron res familias de discontinuidades con buzamientos similares controlando la estabilidad de todo el macizo.

La alta humedad del macizo rocoso viene a jugar un papel muy importante, ya que, se pudo ver que hay muchas filtraciones. También, se observó que el nivel freático presente en el macizo rocoso es bastante alto y esto se debe a la gran cantidad de agentes meteorológicos de la zona que favorecen la presión de poro, la presión intersticial dentro del macizo. En ese sentido, se pueden generar planos de deformación que influyen en su estabilidad a corto, mediano y largo plazo. En cuanto al análisis cinemático que se hizo al talud, se obtuvo que las familias de discontinuidades dentro del talud no

presentan ningún tipo de rotura (planar, volcamiento y cuña) haciendo de este modo que el desprendimiento de roca sea impredecible ya que la inestabilidad del talud va a estar sometida a los procesos meteorológicos antes mencionados.

Finalmente, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos por las clasificaciones que se le hicieron al macizo, se tuvo como resultado que tanto para el RQD y el Q de Barton, la calidad de la roca es mala, ya que sus propiedades físicas y químicas la hacen poco resistente y poco competente para el desarrollo de edificaciones como túneles, según (Singh et al., 1997). Por otra parte, la clasificación del RMR tuvo como resultado que el material es regular para esta roca presente en este macizo, por lo cual se recomienda, para evitar cualquier caída de roca o posible inestabilidad, hacer uso del método de estabilización de concreto usando drenajes. De esta forma, se garantiza que las filtraciones y el alto nivel freático del talud no suponga un riesgo a largo o mediano o corto plazo, ya que este talud presenta una inestabilidad imprecisa suponiendo un riesgo para la vivienda que se encuentra a tres metros y a la estación de servicios La Frontera que está a nueve metros, junto con las personas y automóviles que allí frecuentan.

Referencias

- Clasificación Geomecánica Slope Mass Rating Smr. (s. f.). http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/revisionestado-actual-clasificacion-geomecánica-slope-mass-ratingsmr/id/70195595.html
- Colmenares, F. H., Mesa, A., Roncancio, J., Arciniegas, E., Pedraza, P., Cardona, A. et al. (2007). Geología de las planchas 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27, 33, 34 y 40. Proyecto: evolución geohistórica de la Sierra Nevada de Santa Marta. Bogotá: Ingeominas.
- Cueva Romero, J. G., & Arana Cabrera, J. A. (2019). Caracterización geomecánica en minería subterránea: una revisión de la literatura científica [Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/15035>
- Deere, D.U., Hendron, A.J., Jr., Patton, F.D., and Cording, E.J., (1967), "Design of Surface and Near-Surface Construction in Rock", Failure and Breakage of Rock, ed. C. Fairhurst, Soc. of Min. Eng., AIME, N.Y., pp. 237-302
- De la Cruz, M. A., Trujillo, J. Á., & Morales, T. (2011). LA SUSTENTABILIDAD DEL COSTO EN LA DIRECCION Y GESTION DE PROYECTOS DE INGENIERIA CIVIL EN ESPACIOS DE INESTABILIDAD ECONOMICA. Aepro.com. https://www.aepro.com/files/congresos/2011huesca/CIIP11_0014_0022.3250.pdf
- Driggs, A., & Miguel, Y. (2019). Evaluación de estabilidad de los taludes en la corta este, Yacimiento Castellanos; Pinar del Rio. Departamento de Minas.

- Espitia, Martin. (s.f.). Clasificación geomecánica de macizos rocosos. UPTC. Manual de estaciones geomecánicas. Descripción de macizos rocosos en afloramientos. https://www.researchgate.net/publication/35798937_Manual_de_estaciones_geomecnicas_Descripcion_de_macizos_rocosos_en_afloramientos
- Etseccpb. (Mayo 2019). Criterios de rotura y clasificaciones geomecánicas. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6529/06.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Fernández-Gutiérrez, J. D., Pérez-Acebo, H., & Mulone-Andere, D. (2017). Correlación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton en formaciones sedimentarias de grano fino. *Informes de la Construcción*, 69(547), 205.
- FORERO (A), 1972. Estratigrafía del Precretácico en el flanco occidental de la Serranía del Perijá. *Geol, Colombiana*, No7, p.7-78, Bogotá Construmatica, Aplicación de Geotextiles en Taludes. https://www.construmatica.com/construpedia/Aplicaci%C3%B3n_de_Geotextiles_en_Taludes#-Geomallas
- Geotecnia, C. G. I.-G. y. (2018, mayo 2). CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR14. <https://www.linkedin.com/pulse/clasificaci%C3%B3ngeomec%C3%A1nica-rmr14-centro-geot%C3%A9cnico>
- González de Vallejo, Luis. Et al. Ingeniería geológica. 2002. Madrid, España: Pearson educación. Alonso, Javier. Ingeniería geológica: Caracterización de macizos rocosos. 2007. Universidad de Oviedo.
- Ingeniería Gráfica*. Alicante, España. <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/21681/1/29.pdf>
- Irigaray, C., Fernández, T., & Chacón, J. (2003). Preliminary Rock-Slope Susceptibility Assessment Using GIS and the SMR Classification. *Natural Hazards*, 30(3), 309-324. <https://doi.org/10.1023/B:NAHAZ.0000007178.44617.c6>
- Jover, R. (7 de junio del 2002). Aplicaciones de la proyección estereográfica en ingeniería geológica. <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/21681/1/29.pdf>
- Jover, R. T., Prieto, I. F., Gadea, I. S. y Ivorra, M. C. D. (2002). Aplicaciones de la proyección estereográfica en ingeniería geológica. [Ponencia]. *XIV Congreso Internacional de Molano*, L. A. H., & Gómez, J. F. H. (2010). Caracterización y comparación de propiedades físico-mecánicas de los mampuestos tipo tolete de productoras formales e informales en Bogotá y alrededores. Universidad de La Salle.
- Ramírez, P. y Alejano, L. (2004). *Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*. https://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf
- Romana, M., Gáñez, S., & Bernardo, J. (2017). Revisión del estado actual de la clasificación geomecánica Slope Mass Rating (SMR). <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/70953>
- Singh, B., Goel, R. K., Jethwa, J. L., & Dube, A. K. (1997). Support pressure assessment in arched underground openings through poor rock masses. *Engineering Geology*, 48(1-2), 59-81. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(97\)81914-X](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(97)81914-X)