

**Caracterización geológica y mecánica del nivel principal de la mina La Contenta,
ubicada en la Vereda Cuberos Niños, Municipio de Cúcuta, Departamento de Norte de
Santander, perteneciente a la empresa CARBOEXCO Ltda.**



Francisco Javier Hernández Rojas

**Programa De Geología
Facultad De Ciencias Básicas
Universidad De Pamplona
Villa del Rosario
2024**

**Caracterización geológica y mecánica del nivel principal de la mina La Contenta,
ubicada en la Vereda Cuberos Niños, Municipio de Cúcuta, Departamento de Norte de
Santander, perteneciente a la empresa CARBOEXCO Ltda.**

Francisco Javier Hernández Rojas

Tutores

Ms. Ilich Sebastián Villamizar

Esp. Andrés Mauricio del Valle Linares

Ing. Zamyra Laiseca Lázaro

Trabajo de grado

Práctica empresarial

Programa De Geología

Facultad De Ciencias Básicas

Universidad De Pamplona

Villa del Rosario

2024

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas y entidades que han sido fundamentales en mi formación y crecimiento profesional.

En primer lugar, deseo agradecer a mi familia, especialmente a mi madre y abuela, por su apoyo incondicional. Su amor y dedicación han sido pilares esenciales en mi vida, y sin ustedes, este logro no hubiera sido posible.

Asimismo, agradezco a la Universidad de Pamplona, al programa de Geología y a sus docentes por todos los conocimientos y consejos compartidos, que han sido clave en mi desarrollo como profesional.

Mi sincero agradecimiento a la empresa Carboexco LTDA por la valiosa oportunidad de realizar mis prácticas empresariales. También, al Departamento de Minería, por el excelente trato que siempre me brindaron, su colaboración en el desarrollo de este trabajo y por permitirme aprender y crecer en un ambiente profesional.

Finalmente, quiero destacar y agradecer al docente Ilich Villamizar y al Ingeniero Zamyra Laiseca, cuya dirección y conocimientos me permitieron desarrollar este trabajo de la mejor manera posible.

Gracias a todos por su apoyo y enseñanzas.

Tabla de contenido

Agradecimientos	3
Tabla de contenido	4
Resumen.....	8
Introducción	9
Objetivos	10
Generalidades.....	11
Marco Geológico	12
Geología regional	12
Formación Los Cuervos (E1E2c)	12
Geología Estructural	13
Marco teórico	15
Condiciones de las discontinuidades.....	15
RMR (Rock Mass Rating).....	16
RQD (Índice de Calidad de la Roca).....	17
Correlación RMR (Rock Mass Rating) y el índice Q de Barton (Rock Mass Quality)	18
Metodología	20
Fase I: Recopilación Bibliográficas.....	20
Fase II Campo.....	21
Levantamiento Geológico.....	21
Levantamiento Estratigráfico.....	22
Recolección de muestras	22
Evaluación del macizo rocoso del nivel principal.	23
Fase III Oficina.....	24
Ensayo de Resistencia a la compresión uniaxial	24
Análisis de las condiciones estructurales	25
Propiedades mecánicas del Macizo Rcoso del Nivel Principal	26
Fase IV. Elaboración del informe final	26
Resultados	27

Levantamiento Geológico	27
Secuencia estratigráfica.....	28
Evaluación de la calidad del macizo rocoso del nivel principal	32
Resistencia a la compresión uniaxial de la roca.....	32
Condiciones Estructurales.....	34
Orientación de las discontinuidades	38
Cálculo del Sistema de clasificación RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski y la correlación Q de Barton	39
Propiedades mecánicas del Macizo Rcoso del Nivel Principal.....	42
Conclusiones	44
Recomendaciones	45
Referencias.....	46
Anexos	48

Lista de figuras

Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio	11
Figura 2. Mapa geológico del Servicio Geológico Colombiano con el polígono 1979T.	13
Figura 3. Representación esquemática de las propiedades de las discontinuidades	16
Figura 4. Toma de datos en las estaciones mecánicas	17
Figura 5. Esquema de las Fases de Metodología	20
Figura 6. Mapa geológico Local Concesión 1979T	28
Figura 7. Columna estratigráfica Manto 30 La Contenta	29
Figura 8. Condiciones del techo de manto M30	31
Figura 9. Fotografía de las muestras de laboratorio.....	32
Figura 10. Toma de muestras de manto y techo del Nivel principal de la Mina La Contenta. ...	33
Figura 11 Datos levantados a lo largo del Nivel Principal	34
Figura 12. Diagramas representativos de los planos de discontinuidades en el Nivel	35
Figura 13. Diagramas representativos de los planos de discontinuidades de la cruzada de acceso	36
Figura 14. Rangos de Q	41
Figura 15. Mina La Contentan, Destacándose el nivel principal.	42
Figura 16. Modelo del Nivel Principal de la Mina La Contenta, representación de los dominios en cuanto a la calidad de la roca según los resultados del RMR.	43

Lista de Tablas

Tabla 1. Resultados de los ensayos de compresión simple.....	33
Tabla 2 Condiciones de estabilidad	38
Tabla 3 Datos ponderados de los parámetros de las discontinuidades presentes a lo largo del Nivel Principal. Mina la Contenta.	40

Resumen

El presente documento se centra en evaluar la calidad del macizo rocoso del nivel principal de la Mina La Contenta, ubicada en la Vereda Cuberos Niños, Municipio de Cúcuta, Departamento de Norte de Santander. Esta evaluación es esencial debido a las condiciones críticas del macizo rocoso, las cuales requieren intervenciones adecuadas según la normativa vigente.

En primer lugar, el estudio incluyó un reconocimiento detallado de las unidades de roca del área de estudio. Para la evaluación del macizo rocoso, se utilizaron las metodologías Rock Mass Rating de Bieniawski y la correlación Q de Barton. Estas metodologías se enfocan en la recolección de información sobre el tipo y la orientación de las discontinuidades, el espaciamiento entre fracturas, la dureza de las rocas, la presencia de agua y las condiciones geológicas generales del macizo. Además, se llevaron a cabo ensayos de laboratorio para determinar la resistencia a la compresión uniaxial y la resistencia al corte de las muestras de roca, tanto del manto de carbón como de los respaldos de techo y piso del nivel principal de la mina La Contenta.

Como resultado, se construye un modelo geológico y mecánico en el software Leapfrog Geo en donde se visualiza las diversas condiciones de la roca y tendencias estructurales a lo largo del nivel principal de la mina La Contenta. Entre estas condiciones se destacó una baja capacidad de carga en los respaldos de lodolita debido a alteraciones mineralógicas, lo cual compromete la estabilidad del macizo rocoso. Este modelo resulta crucial para la toma de decisiones informadas y la implementación efectiva de estrategias de mitigación de riesgos, asegurando así la seguridad y eficiencia de las operaciones mineras.

Palabras Clave: Caracterización mecánica, estabilidad, discontinuidades, juntas, macizo rocoso.

Introducción

La evaluación geotécnica del macizo rocoso en entornos mineros subterráneos juega un papel crucial en la seguridad y eficiencia de las operaciones mineras. Este estudio se centra en la caracterización geológica y mecánica del nivel principal de la Mina La Contenta, ubicada en la Vereda Cuberos Niños, Municipio de Cúcuta, Departamento de Norte de Santander, operada por CARBOEXCO Ltda.

La importancia de este problema radica en que la extracción de carbón en la mina La Contenta ha producido cambios significativos en las condiciones geotécnicas del macizo rocoso evidenciado ampliamente en el nivel principal. Estos cambios afectan directamente la estabilidad de las galerías subterráneas y las operaciones mineras, destacando la urgente necesidad de evaluar y entender estas condiciones para asegurar la seguridad operativa y mitigar los impactos adversos.

La metodología con la que este estudio se afianza es la que corresponde el Rock Mass Rating de Bieniawski y la correlación Q de Barton. A diferencia de investigaciones previas más generales de la mina la Contenta. De esta manera ofrecer una base sólida de información para el control de la estabilidad del macizo rocoso.

Para alcanzar estos objetivos se desarrollaron algunos productos que incluyen la creación de un mapa geológico local a una escala de 1:5.000, la caracterización geológica y mecánica representada mediante el modelamiento en el software Leapfrog geo correspondiente a todo el nivel principal.

Objetivos

Objetivo General

Caracterizar geológica y mecánicamente el macizo rocoso del nivel principal de la Mina La Contenta, ubicada en la Vereda Cuberos Niños, Municipio de Cúcuta, Departamento de Norte de Santander, perteneciente a la empresa CARBOEXCO Ltda.

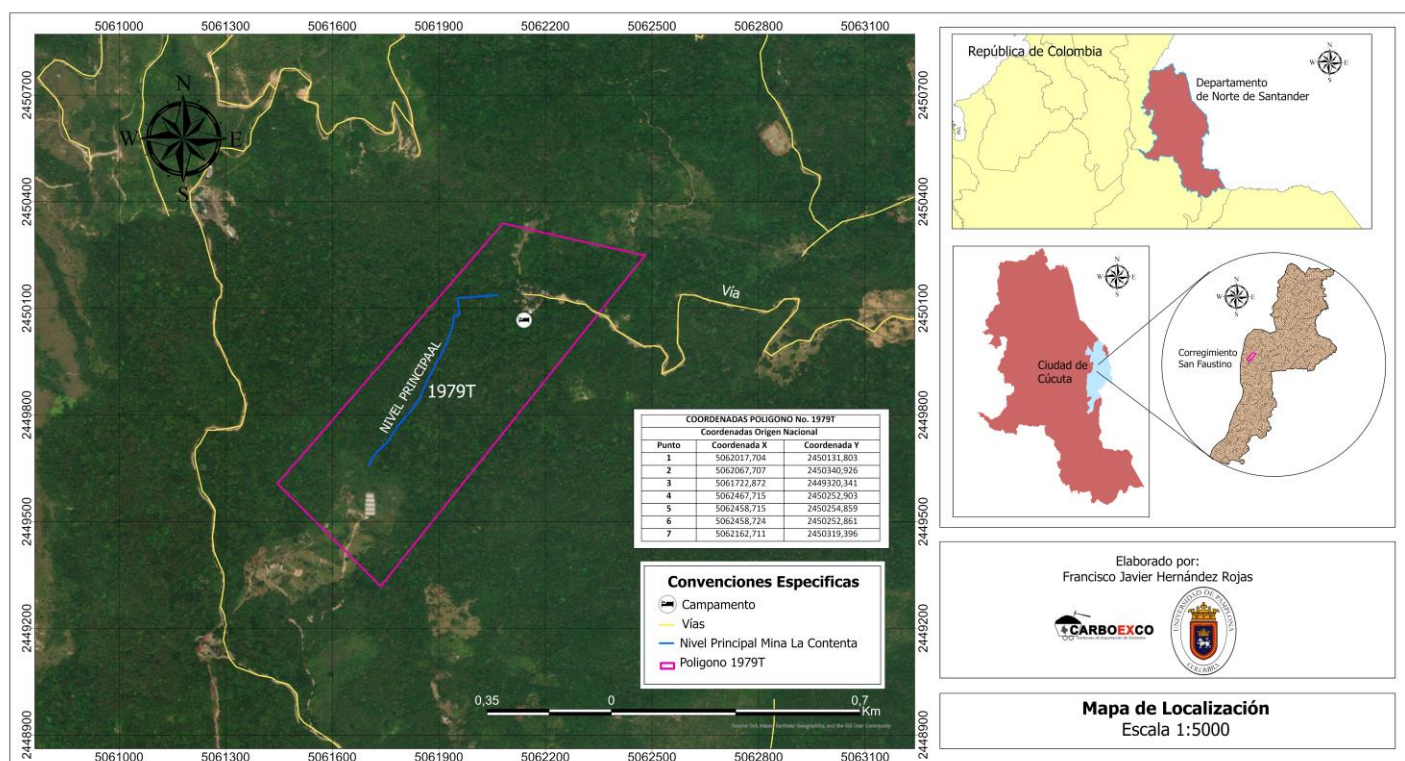
Objetivos específicos

- Identificar la disposición y composición litológica de los estratos de roca del nivel principal de la mina La Contenta, mediante un mapeo geológico y un levantamiento estratigráfico a escala 1:1. Esto nos permitirá reconocer principalmente la composición mineralógica y textural del techo de la mina.
- Evaluar la calidad del macizo rocoso del nivel principal de la mina La Contenta mediante la aplicación de la clasificación geomecánica Rock Mass Rating de Bieniawski y la correlación Q de Barton a los datos geotécnicos recopilados sistemáticamente, así como a las propiedades de resistencia a la compresión de las muestras de matriz rocosa. De esta manera, podremos clasificar el macizo rocoso del nivel principal en función de su estabilidad.
- Dividir el macizo rocoso del nivel principal en dominios basándonos en las características geológicas y mecánicas obtenidas en los apartados anteriores. Esto proporcionará una base sólida de información para el control de la estabilidad del macizo rocoso.

Generalidades

La zona de estudio se encuentra dentro de la concesión 1979T, conocida como mina La Contenta, ubicada en la vereda Cuberos Niños, corregimiento de San Faustino, jurisdicción del municipio de Cúcuta, departamento de Norte de Santander, Colombia (Figura 1). Cúcuta, oficialmente denominada San José de Cúcuta, está situada en el valle que lleva su mismo nombre, en la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos, a una altitud de 320 metros sobre el nivel del mar. Su área total abarca 1,176 km². El área del Contrato se encuentra fuera del perímetro urbano del municipio de Cúcuta.

Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio



Nota. Fuente: Autor

Marco Geológico

El siguiente apartado contiene la descripción de las unidades geológicas presentes en la zona de estudio.

Geología regional

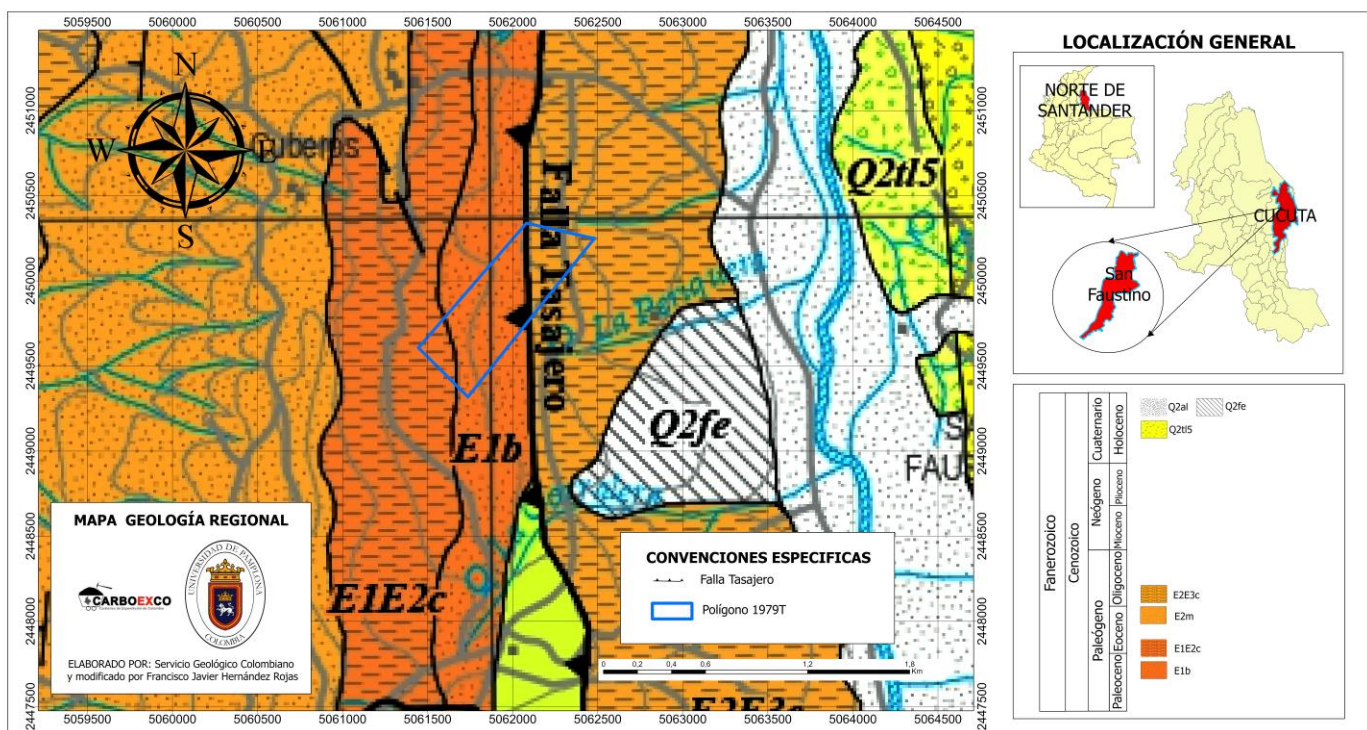
El yacimiento se sitúa geográficamente en el Cerro Tasajero y pertenece estratigráficamente a la Formación Cuervos (E1E2lc), que hace parte de una secuencia cronoestratigrafía que incluye la Formación Mirador (E2m) al este y la Formación Barco (E1b) al oeste (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

Formación Los Cuervos (E1E2c)

La unidad lleva su nombre por la quebrada Los Cuervos, un afluente del río Catatumbo, según Notestein et al. (1944), las litologías de la formación están constituidas principalmente por arcillolitas y limolitas con capas de carbón en la base y algunas capas de arenisca a través de la sección. En general está constituido por lodolitas, arcillolitas gris oscuro, carbonáceas, intercaladas con limolitas micáceas y carbonáceas, areniscas de grano fino y carbón. Las capas de carbón varían en espesor entre 0,5 y 2,5 m (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

El espesor de la Formación Los Cuervos varía entre los 406 y 443 m. Los sedimentos de Los Cuervos representan, básicamente, un ambiente de mar llano e intermitentemente, de ciénagas de aguas salobres o dulces, el contacto inferior es con la formación Barco, el contacto superior es con la formación Mirador, ambos contactos son netos y concordantes (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

Figura 2. Mapa geológico del Servicio Geológico Colombiano con el polígono 1979T.



Nota. Plancha 88 a escala 1:100.000 tomando el cuadrángulo G13. Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2016.

Geología Estructural

En esta zona se ha identificado un sistema compresivo dominado por una estructura conocida como la Falla de Tasajero (Figura 2). Esta falla corresponde a un cabalgamiento con vergencia hacia el sureste, que influye significativamente en la configuración estructural del área. El Anticlinal de Tasajero está asociado a pliegues generados por mecanismos de propagación de fallas (fault-propagation folds), característicos de una tectónica de escamas delgadas (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

Anticlinal de Tasajero

Es descrito como un pliegue cilíndrico con una leve vergencia hacia el este. El eje del pliegue tiene un azimut de 47° al noreste y afecta principalmente a las formaciones León y Carbonera, así como a rocas del Grupo Guayabo. En la zona cercana a Cúcuta, se observan terrazas discordantes que cubren el trazo del pliegue (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

Falla de Tasajero

La Falla Tasajero es una falla de cabalgamiento con una longitud de cerca de 37.5 km y una dirección de buzamiento de 295° . Se estima que el desplazamiento total es de alrededor de 2 km, los ángulos de buzamiento en la superficie varían de 30° a 58° , siendo más verticales cerca del cerro Tasajero, que representa la máxima expresión morfológica de la falla y alcanza su relieve máximo en esa área (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

Marco teórico

El objetivo principal de este estudio es Caracterizar geológica y mecánicamente el macizo rocoso del nivel principal de la Mina La Contenta. Para ello, se partirá de un marco teórico que se sustenta en las siguientes teorías y conceptos clave.

A partir de lo anterior se parte del reconocimiento de que los métodos de extracción ocasionan alteraciones o fenómenos que impactan directamente la estabilidad tanto del terreno superficial como del macizo rocoso en su conjunto. Las condiciones geológicas, estructurales y geotécnicas del terreno también influyen directamente en la estabilidad de las labores mineras subterráneas (Agencia Nacional de Minería, 2023). Para ello, en primer lugar, es fundamental efectuar un reconocimiento de las propiedades geológicas y mecánicas de los estratos de roca que conforman los respaldos de una mina subterránea, de esta manera determinar el espesor real de la zona donde podría ocurrir hundimiento y fracturación en el techo de la mina, a partir de evaluar las características de las discontinuidades presentes en la parte superior de la excavación, y analizar la calidad y estabilidad del macizo rocoso (Arias, 2015).

Condiciones de las discontinuidades

Sabemos que las discontinuidades son elementos que influyen en las propiedades y en la capacidad de resistencia de los macizos rocosos. La resistencia al corte de estas discontinuidades es un factor crucial para determinar la resistencia global de las formaciones rocosas fracturadas. Para estimar esta resistencia, es necesario entender las características y propiedades específicas de los planos de discontinuidad. Parámetros como la rugosidad, la resistencia de las paredes, la abertura, la presencia de relleno, familia de discontinuidades y filtraciones (Figura 3), son

determinantes en el comportamiento mecánico y la resistencia al corte de estas discontinuidades (Gonzales, 2002).

Figura 3. Representación esquemática de las propiedades de las discontinuidades



Nota. Fuentes: Gonzales, 2002

RMR (Rock Mass Rating)

En 1973, Bieniawski introdujo el sistema de clasificación geomecánica conocido como *Clasificación del Macizo Rocosó (RMR, por sus siglas en inglés **Rock Mass Rating**)*, el cual ha sido actualizado en diversas ocasiones, siendo la versión más reconocida la de 1993. Este sistema se basa en la evaluación de seis parámetros: resistencia a la compresión uniaxial, *índice de calidad de la roca (RQD, Rock Quality Designation)*, espaciamiento entre las discontinuidades, condición de las discontinuidades, presencia de agua subterránea y orientación de las discontinuidades geológicas. Estos parámetros permiten correlacionar el índice de calidad del

macizo rocoso con sus propiedades geotécnicas y las condiciones de las excavaciones realizadas en él, constituyendo una herramienta fundamental para el diseño y la evaluación en proyectos de ingeniería, como túneles, taludes y cimientos (Cañas, 2018).

RQD (Índice de Calidad de la Roca)

Es un indicador que mide la calidad de la roca intacta, teniendo en cuenta el grado de fracturación del macizo rocoso. Este índice clasifica los diferentes grados de calidad del macizo en función de las propiedades de la matriz rocosa y las discontinuidades presentes (Deere, 1964). Según Palmström (1982) “es posible estimar el RQD a partir del número de diaclasas por unidad de volumen expuestas en los afloramientos, excavaciones subterráneas, taludes y áreas de explotación, entre otros.”. Priest y Hudson (1976) ampliaron este enfoque al considerar el número de fisuras por metro en tramos longitudinales de superficies expuestas, Detail line o Scan Line (Figura 4).

Figura 4. Toma de datos en las estaciones mecánicas



Nota. Fuente: Agencia Nacional de Minería, 2023.

Los aspectos que se deben llevar a cabo en campo para lograr obtener la mayor información posible son: Identificación de la roca, meteorización o alteración y Resistencia a compresión simple. Esta última principalmente mediante ensayos de compresión simple (Gonzales, 2002).

Correlación RMR (Rock Mass Rating) y el índice Q de Barton (Rock Mass Quality)

Como ventaja de los sistemas de clasificación, es que los resultados pueden ser correlacionados con otros sistemas de clasificación mecánica y geológica. El valor del RMR (Rock Mass Rating) y el índice Q de Barton (Rock Mass Quality), desarrollado por Barton en 1974. Esta correlación facilita la comparación de los resultados obtenidos con ambos sistemas, permitiendo una mejor comprensión de la calidad (Rodríguez, 2022).

Bieniawski en 1989 uso 117 casos históricos donde se habían empleado por separado los dos sistemas de clasificación geomecánica de macizos rocosos, este estudio incluyo 68 casos en Escandinavia, 28 casos en Sudáfrica y 21 casos en Estados Unidos, finalmente propuso la siguiente correlación.

$$RMR = [(9Ln)(Q) + 44] \quad (1)$$

RMR: Es un índice desarrollado por Bieniawski que clasifica el macizo rocoso en función de seis parámetros clave.

Q (Índice Q de Barton): Es un sistema de clasificación desarrollado por Barton y sus colaboradores en 1974, utilizado para evaluar la calidad del macizo rocoso, enfocado principalmente para labores subterráneas.

Ln(Q): El logaritmo natural del índice **Q**, utilizado para normalizar y ajustar el valor del índice en la fórmula, reduce su rango de variación, transformándolo en una escala más manejable para correlacionarlo con el RMR.

9 (Constante de ajuste): Este coeficiente multiplica el logaritmo natural de **Q** para escalar los valores de forma que se alineen con el rango de la clasificación **RMR**.

44 (Constante de referencia): Es un valor fijo que ajusta el rango del RMR para que sea coherente con sus valores estándar.

Otras relaciones fueron propuestas a lo largo de los años como Moreno (1980), Clarke y Budavari (1981) y Abad (1984), Rutledge y Preston (1978), sin embargo, la ecuación que presenta el mayor coeficiente de correlación es la ecuación propuesta por Bieniawski (1989) y será usada en nuestro caso por ofrecer el menor grado de dispersión de datos con relación a la línea de regresión matemática.

Despejando **Q** de la Ecuación (1) nos queda:

$$RMR - 44 = 9\ln(Q) \quad (2)$$

Dividir ambos lados de la ecuación (3) por 9

$$\frac{RMR - 44}{9} = \ln(Q) \quad (3)$$

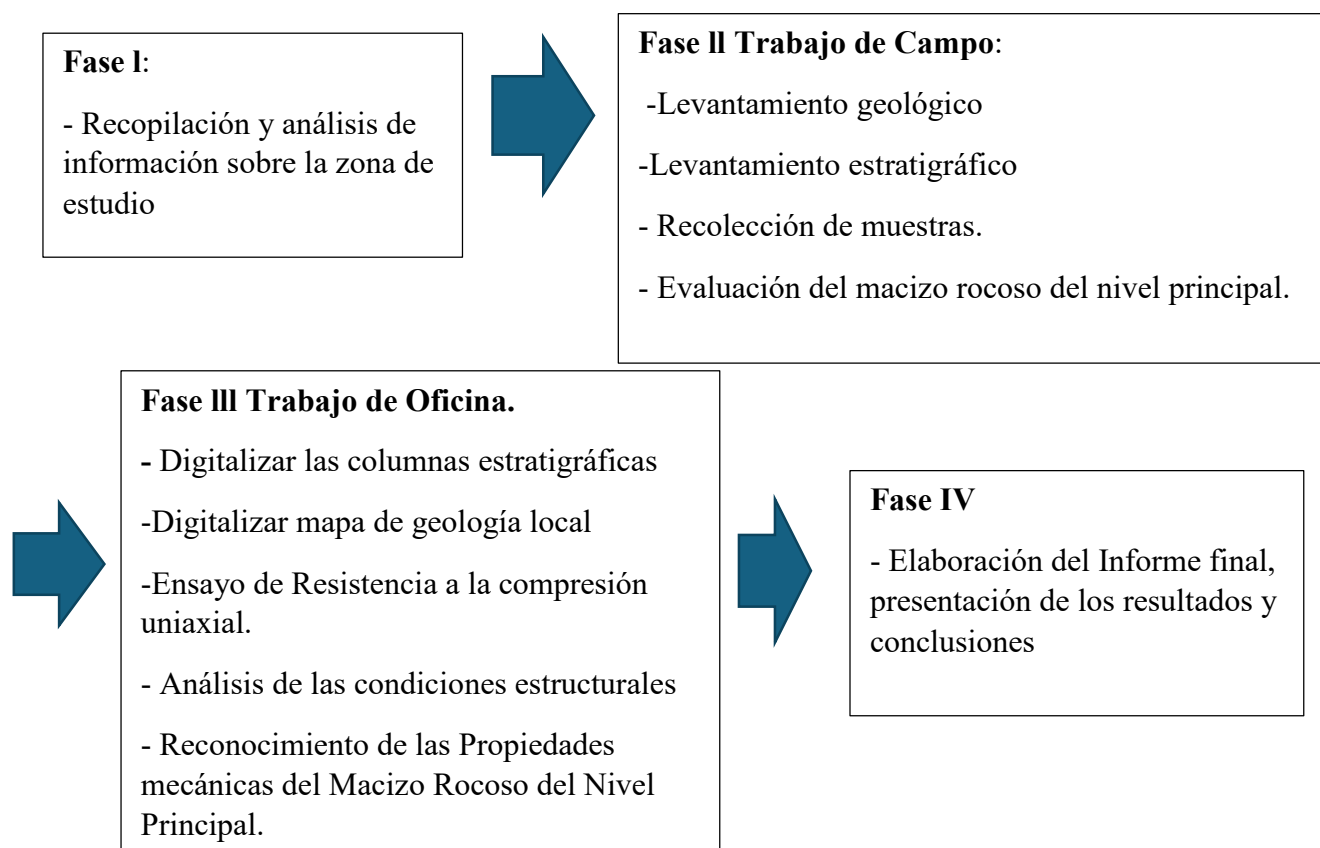
Aplicar la función exponencial e a ambos lados de la ecuación (4) para deshacer el logaritmo natural:

$$Q = e^{\frac{RMR - 44}{9}} \quad (4)$$

Metodología

A continuación, se explica la metodología desarrollada para llevar a cabo la caracterización geológica y mecánica del nivel principal de la Mina La Contenta.

Figura 5. Esquema de las Fases de Metodología



Fase I: Recopilación Bibliográficas

En esta etapa inicial, se recopila información proporcionada por EXPLOCAR Ltda. Y CARBOEXCO Ltda., complementada con datos obtenidos de diversas fuentes autónomas, como geo-portales y repositorios universitarios. La información abarca detalles geológicos, estratigráficos, estructurales y geotécnicos relevantes, principalmente de la formación Los

Cuervos, con el fin de obtener un entendimiento completo del contexto geológico de la zona de estudio.

Para proporcionar una base sólida para las etapas subsecuentes del proyecto, se consultaron fuentes externas principales como el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Agencia Nacional de Minería (ANM) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), además de otros documentos disponibles en sitios web.

Fase II Campo

La fase de campo comprende una serie de subfases, que se inician con un recorrido general por el polígono 1979T, con el objetivo de reconocer la geología local del sector. No obstante, nos centramos en estudiar el nivel principal de la mina La Contenta, siempre acompañados por personal capacitado en geología. Durante este recorrido, observamos y registramos las características geológicas y geotécnicas del macizo rocoso.

Levantamiento Geológico

Durante esta fase de la investigación, se realiza un análisis detallado de las características geológicas y mineralógicas del nivel principal de la Mina La Contenta. En lo que respecta la identificación de los tipos de roca presentes, su composición mineralógica y textural, así como las estructuras geológicas asociadas. Además, se evalúa el contexto estratigráfico, ubicando la mina dentro de la secuencia cronoestratigráfica regional y describiendo las formaciones geológicas que la rodean. También se analiza el contexto estructural, considerando su posición en relación con las principales estructuras tectónicas de la zona.

Levantamiento Estratigráfico

El primer paso para definir las zonas mecánicas del techo y el piso de la mina en el sector del Cerro Tasajero es determinar la secuencia estratigráfica hasta el manto de carbón M30. Para este propósito, se dispone de dos columnas estratigráficas detalladas: una de 68 metros correspondiente a la parte inferior, y otra de 12 metros, levantada por el autor, correspondiente a la parte superior del yacimiento carbonífero de interés en la formación Los Cuervos.

En esta etapa, el levantamiento se realiza inicialmente por medio de mediciones directas en el sitio, escala 1:1 donde se registran las características geológicas de cada estrato, incluyendo su espesor, composición, textura y otras propiedades relevantes. Se utiliza principalmente herramienta de cinta métricas.

Posteriormente, los datos recolectados en campo se trasladan al software Sedlog, que permite la visualización detallada de las columnas estratigráficas. En Sedlog, se ingresan los datos geológicos de cada estrato, lo que facilita la generación de gráficos y diagramas precisos que representan la secuencia de las capas geológicas. Este proceso no solo asegura una mejor organización y análisis de la información, sino que también permite la comparación y correlación de datos entre diferentes zonas de exploración, en nuestro caso el reconocimiento detallado del techo, piso y manto de carbón M30.

Recolección de muestras

El objetivo principal en esta fase corresponde en realizar un recorrido preliminar por el nivel principal de la mina para identificar los sitios potenciales de muestreo, seleccionando aquellos que representan el techo, piso y manto de carbón a lo largo del nivel principal.

Posteriormente, documentar cada sitio de muestreo con la identificación de las coordenadas, descripciones detalladas de la litología, estructuras presentes, y fotografías.

Para asegurar que los procedimientos utilizados sean consistentes y comparables a nivel internacional. Se efectúa bajo la normativa ISRM Estas normas abordan diversos aspectos, desde la recolección de muestras hasta los ensayos y el análisis de datos.

Las muestras tomadas presentan su adecuado etiquetado, almacenamiento y posterior traslado a los laboratorios para su posterior preparación (Fase de Oficina).

Evaluación del macizo rocoso del nivel principal.

En esta fase, se realiza un recorrido exhaustivo por el nivel principal de la mina La Contenta con el propósito de observar y registrar las características geológicas y geotécnicas del macizo rocoso. Durante el recorrido, se identifican y documentan los diferentes estratos de roca presentes, describiendo sus características físicas (color, textura, dureza) y estructurales (estratificación, fallas y pliegues). Además, se efectúan mediciones de parámetros geotécnicos en cada punto de control establecidos. Entre estos parámetros se incluye el RQD (Designación de Calidad de la Roca), según la metodología propuesta por Palmstrom en 1982, que se estima a partir del número de diaclasas que interceptan una línea imaginaria (Scan line). También se evalúa la orientación (dirección y ángulo de inclinación) y el tipo de discontinuidades (diaclasas, fallas, estratificación) presentes en el macizo rocoso, así como su espaciamiento (distancia entre discontinuidades) y apertura (ancho de las discontinuidades), ya que estos parámetros influyen en la estabilidad del macizo. Además, se analizan la rugosidad (suavidad o aspereza) de las superficies de las discontinuidades y el tipo de relleno (material que ocupa las discontinuidades, como arcilla, arena, etc.). Toda la información recopilada se registra en los formatos de campo

elaborados por el departamento de minería de CARBOREXCO Ltda. Los detalles específicos de cada estación levantada se presentarán en el apartado de Anexo.

Fase III Oficina

En esta fase, nos dedicamos a la digitalización y procesamiento de los datos recopilados en las fases anteriores. Utilizamos el software Sed log para digitalizar las columnas estratigráficas de las áreas de exploración. Posteriormente, el mapa geológico se digitaliza empleando ArcMaps.

Para la caracterización geomecánica, tomamos diversas mediciones de parámetros clave, como se mencionó anteriormente. Estos datos se registraron en una base de datos, permitiéndonos calcular los índices RMR y Q Barton, por medio de la sumatoria de cada uno de los parámetros.

Ensayo de Resistencia a la compresión uniaxial

A partir de las muestras recolectadas del manto, techo y piso del nivel principal de la Mina La Contenta, procedimos a preparar las muestras conforme a la normativa ISRM. Primero se utiliza una cortadora de disco de tungsteno para seccionar las muestras en rectángulos adecuados para los ensayos. Luego, cada muestra fue tallada para cumplir con la relación de esbeltez.

Posteriormente, con un pie de rey, se verifica que cada muestra cumpliera con la relación de esbeltez ($L/D = 2 - 1$). Una vez confirmadas las dimensiones, se pesa las muestras en una balanza analítica para determinar la densidad de cada probeta.

El ensayo se realizó en la máquina universal del laboratorio de resistencia de materiales, aplicando cargas incrementales de 100 y 50 kg. Los parámetros de cálculo obtenidos incluyeron el esfuerzo de compresión simple, esfuerzo cortante, cohesión, deformación unitaria y peso específico.

Análisis de las condiciones estructurales

En esta fase, empleamos el software Dips para analizar las condiciones estructurales del nivel principal de la mina. Este programa especializado es fundamental para la gestión y visualización de datos sobre la orientación de estratos, diaclasas y planos de falla.

Primero, ingresamos los datos de rumbo y buzamiento en Dips, organizándolos de manera sistemática (Dips, Dips Direction). Posteriormente, para obtener datos ponderados sobre los parámetros de las discontinuidades, generamos gráficos de barras que reflejan la distribución y proporción de cada característica registrada.

Dips nos permite crear estereogramas de proyección polar, que representan las orientaciones de los planos en una esfera proyectada sobre un plano horizontal. Estos estereogramas son cruciales para comprender la disposición espacial de las estructuras geológicas.

Además, elaboramos diagramas de densidad que muestran la concentración de datos en distintas áreas del estereograma. Estos diagramas facilitan la identificación de patrones en las orientaciones de las discontinuidades, ayudando a reconocer las familias de fracturas y su comportamiento.

Propiedades mecánicas del Macizo Rocosó del Nivel Principal

En esta fase, utilizamos el software Leapfrog Geo para representar los datos geológicos y estructurales del nivel principal de la mina. Leapfrog Geo es una herramienta avanzada que permite la visualización y análisis de datos geoespaciales, facilitando la interpretación de la información geológica y estructural.

Primero, importamos los datos recopilados, correspondientes a los resultados del RMR (Rock Mass Rating) y las mediciones de los planos estructurales principales. Estos datos se cargan en Leapfrog Geo desde bases de datos organizadas correctamente en tablas de Excel. Asegurándose de que cada columna se asocie correctamente con el tipo de dato que representa

El software permite visualizar las variaciones en el RMR, facilitando la identificación de áreas con diferentes condiciones de calidad de roca. Leapfrog Geo permite la creación de vistas y secciones detalladas que muestran la distribución del RMR y los planos estructurales.

Fase IV. Elaboración del informe final

En esta última etapa, después de procesar todos los datos recopilados, se procede con la digitalización del documento que constituirá el informe final. Este informe contendrá información técnica, la cual estará destinada a contribuir al monitoreo del macizo rocoso en cuestión. Para garantizar la adecuada presentación y referencia de la información, el informe se ajustará al formato de las Normas APA. Además, se recopilarán todos los hallazgos relevantes y productos relacionados con la caracterización geológica y mecánica de la zona de estudio, ofreciendo así un compendio completo y detallado de los resultados obtenidos durante el proceso de investigación. Junto con el informe final.

Resultados

El siguiente capítulo presenta los resultados de la caracterización geológica y mecánica a lo largo del nivel principal de la Mina La Contenta.

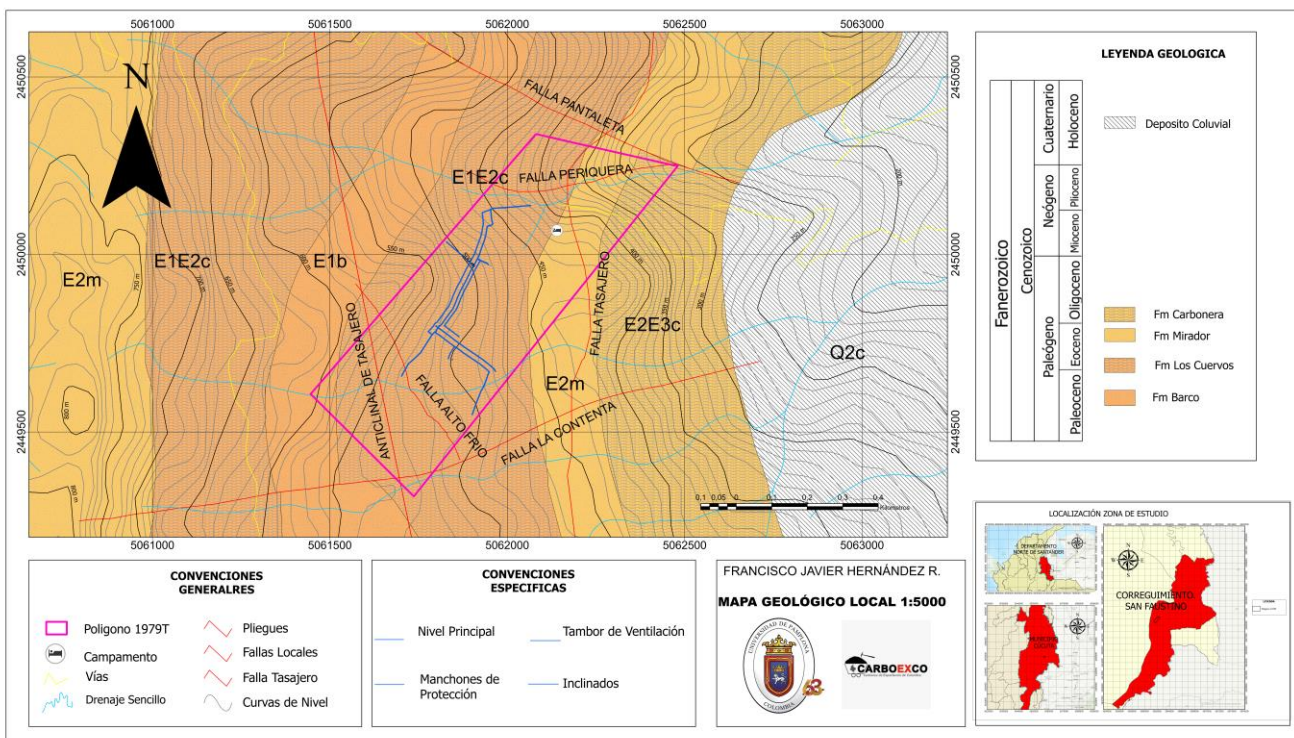
Levantamiento Geológico

A continuación, se describen las características más importantes de los diferentes tipos de roca que componen el nivel principal de la Mina La Contenta. Esto nos permitirá reconocer principalmente la composición mineralógica y textural del techo de la mina (Figura 7).

Como ya se mencionó anteriormente, el área de contrato se encuentra enmarcada geográficamente en el Cerro Tasajero y estratigráficamente la explotación se realiza en la Formación Cuervos (E1E2c), la cual hace parte de una secuencia cronoestratigrafía conformada por la Formación Mirador (E2m) hacia el este y al oeste con la formación Barco (E1b) (Figura 6).

En la Formación Cuervos (E1E2c) se encuentran los mantos carboníferos de interés económico, en los cuales se han adelantado labores de explotación por parte del titular del contrato.

Figura 6. Mapa geológico Local Concesión 1979T

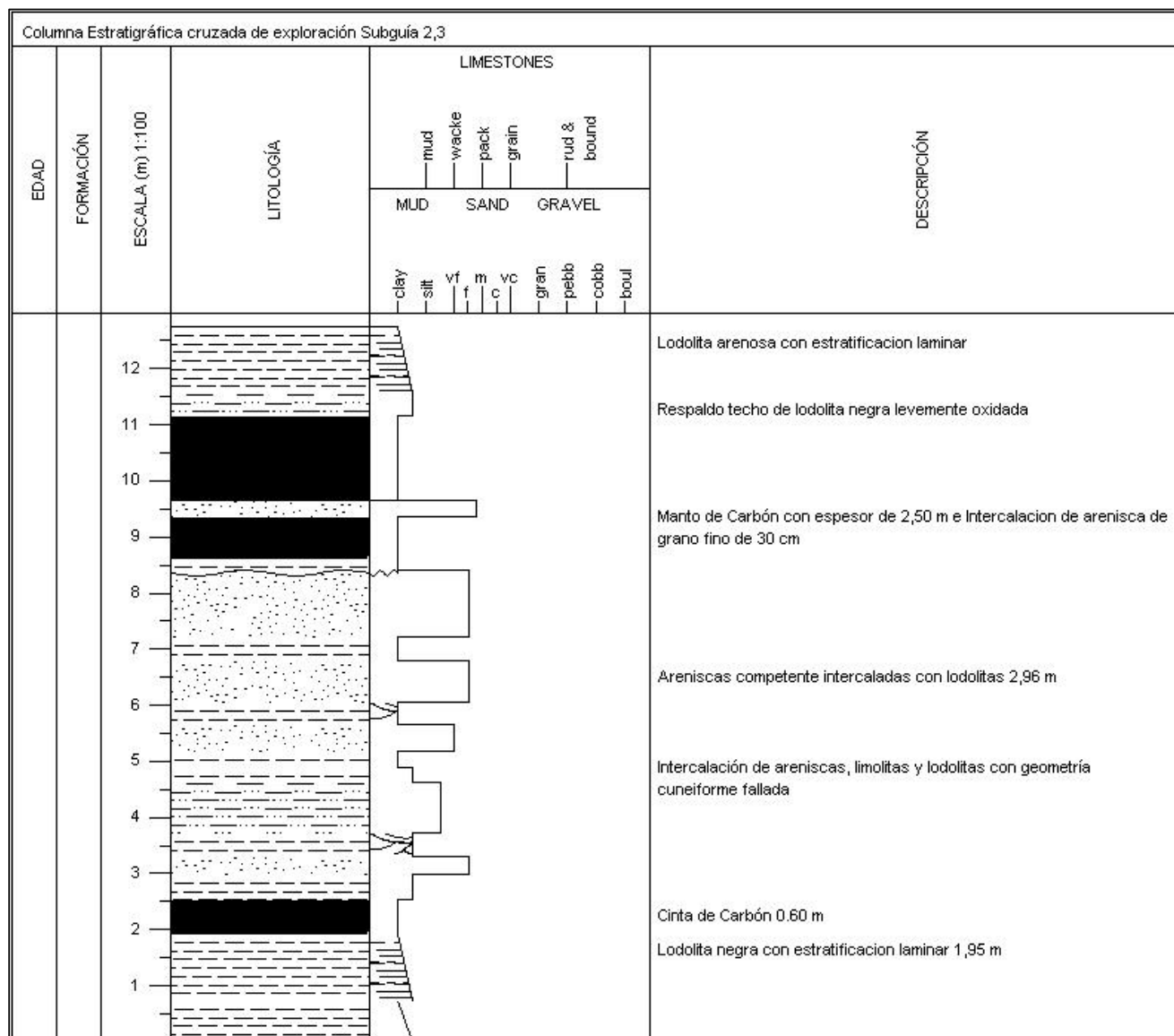


Nota. Fuente: Autor

Secuencia estratigráfica

A continuación, se presentan las características físicas más relevantes de los diferentes tipos de materiales identificados durante el levantamiento estratigráfico, basadas en la observación y comparación (Figura 7).

El manto de carbón, que forma parte de la Formación geológica Los Cuervos, se encuentra específicamente en las partes intermedia e inferior de esta formación. Litológicamente, se observa.

Figura 7. Columna estratigráfica Manto 30 La Contenta

Nota: Columna estratigráfica de la Formación Los Cuervos expresando la litología de los respaldos del manto de carbón. Columna realizada en el software Sed log con una escala 1:100.

Fuente: Autor

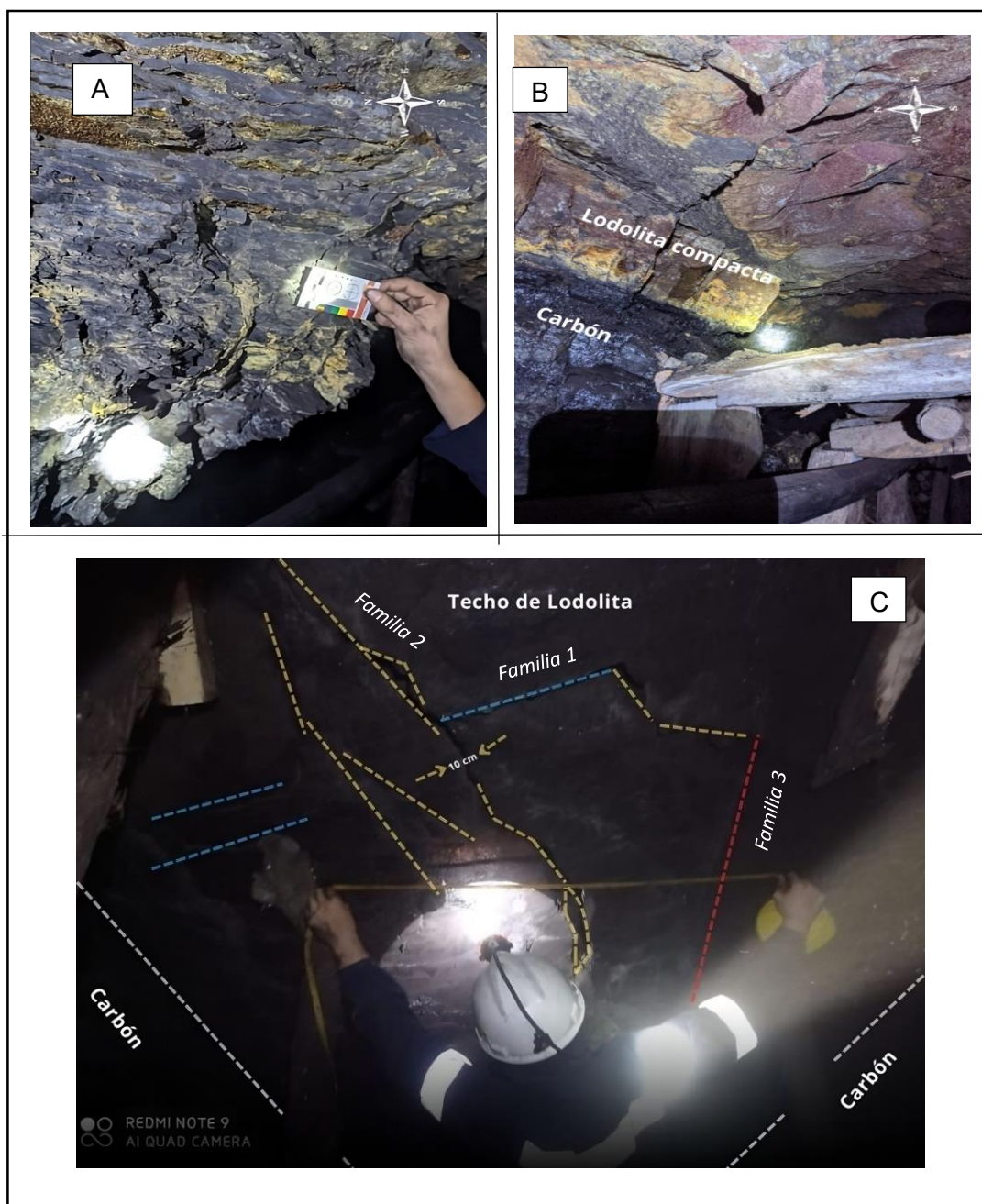
Roca Techo: La roca encajante superior está compuesta por una lodolita homogénea masiva de color gris a negro en muestra fresca. Presenta una leve variación en la fracción fina (Figura 8A), que en algunas secciones pasa de arcillosa a algo más arenosa (Figura 8B), y muestra una estratificación interna. En general, los respaldos del techo son competentes. Sin

embargo, las condiciones ambientales dentro de la mina, especialmente la humedad, alteran significativamente las propiedades de resistencia del techo, aumentando el riesgo de desprendimientos de roca.

Manto de Carbón M30: Encontramos una roca competente de color negro con brillo metálico ha perlado y una fractura concoidea a irregular (Figura 10B). En cuanto a su resistencia es variado posiblemente por su amplia afectación estructural del sector.

Roca Piso: Para la roca encajante inferior encontramos una intercalación entre areniscas de grano fino, limolitas, y lodolita masivas de color negro y gris en muestra fresca, espesores de capa medios a grandes, entre sus propiedades físicas encontramos rocas moderadamente blandas.

Figura 8. Condiciones del techo de manto M30



Nota: A. Techo ampliamente alterado. B. Techo compacto con leve grado de alteración. C. Se observa las diferentes familias de discontinuidades familia 1, familia 2, familia 3, las intersecciones de las mismas indican un desarrollo de cuñas. Fuente: Autor

Evaluación de la calidad del macizo rocoso del nivel principal

Como se ha mencionado previamente, el sistema RMR (Rock Mass Rating) se fundamenta en la evaluación de seis parámetros geo mecánicos cruciales para determinar la calidad del macizo rocoso. Estos parámetros, a su vez, permiten clasificar la roca en diferentes categorías según su competencia y estabilidad, proporcionando información valiosa para la selección del sistema de sostenimiento adecuado en excavaciones subterráneas.

A continuación, se profundiza en cada uno de los parámetros mencionados:

Resistencia a la compresión uniaxial de la roca

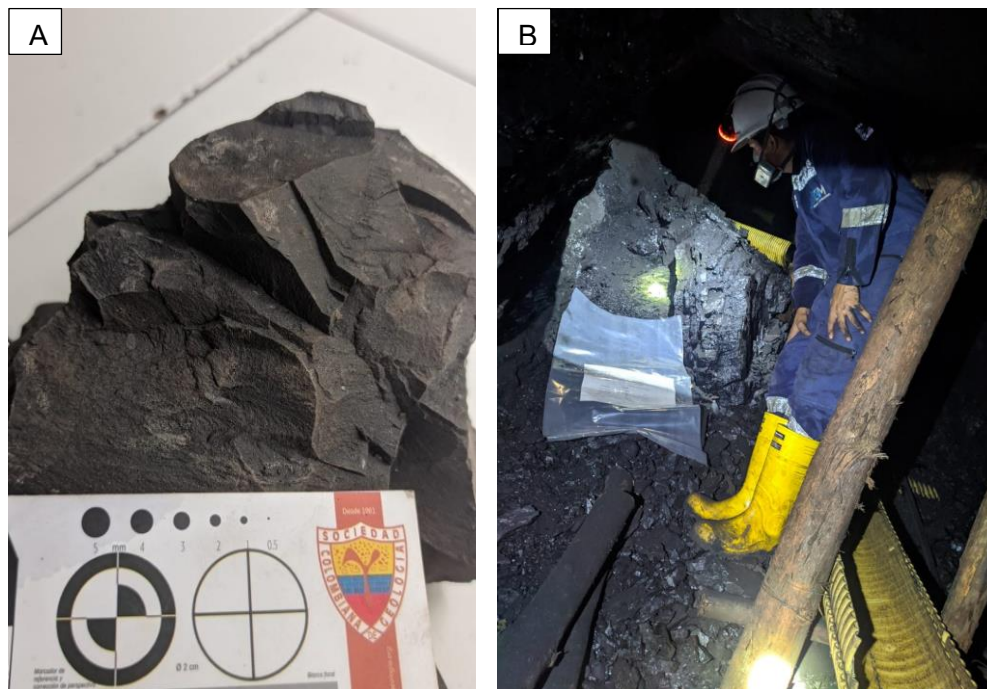
Para el presente estudio se realizaron ensayos de resistencia a la compresión uniaxial de una (1) muestra de roca de techo (lodolita negra), una (1) muestra de roca de piso (Limolita) y una (1) muestras de carbón (M30) (Figura 9).

Figura 9. Fotografía de las muestras de laboratorio



Nota: muestras de techo, manto y piso del nivel principal. Fuente: Autor

Figura 10. Toma de muestras de manto y techo del Nivel principal de la Mina La Contenta.



Nota: A. Muestra de mano de roca del techo. B. Toma de muestra de carbón.

Fuente: Autor

La tabla 1 muestra los valores de Resistencia a la compresión simple, se destaca el valor promedio de las litologías de techo, piso y manto, el esfuerzo promedio del macizo es 4.97 Mpa.

Tabla 1. Resultados de los ensayos de compresión simple

RESULTADO ENSAYOS DE LABORATORIO						
Pto. toma de muestra	No.	Muestra	Área (mm^2)	Área (m^2)	Carga (N)	Esfuerzo (MPa)
La Contenta	1	Carbón manto 30	2487.76	0.02487	0.0092	0.37
La Contenta	2	Techo Manto contenta	2500.46	0.00250	0.0068	2.73
La Contenta	3	Piso manto Contenta	2656.68	0.00265	0.0313	11.83
ESFUERZO PROMEDIO						4.97

Nota. La tabla contiene los resultados de laboratorio de los ensayos de compresión simple.

Condiciones Estructurales

A continuación, se presentan los resultados después de procesar por medio del software Dips los datos estructurales levantados a lo largo de todo el nivel principal, los resultados se separan según la sección del nivel y la sección de cruzada de acceso, que en conjunto conforman todo el nivel principal de la mina la Contenta.

Figura 11 Datos levantados a lo largo del Nivel Principal

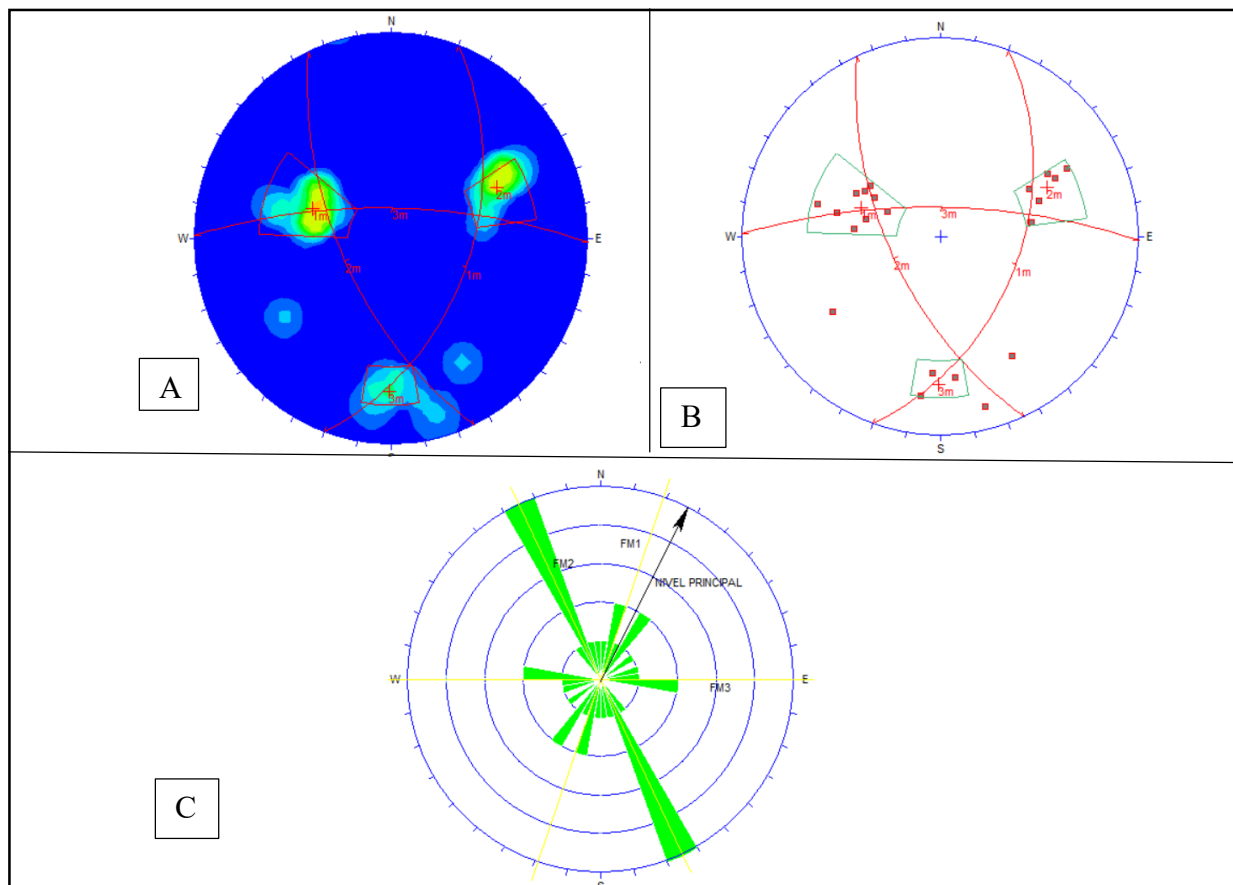
ID	Dip	Dip Direction	RQD	ESPACIAMIENTO (M)	ABERTURA (MM)	PERSISTENCIA (M)	RUGOSIDAD	RELLENO	ALTERACIÓN	AGUA
1	78	7	25-50	0.06-2	> 5	1-3	Lig. Rugosa	Limpia	Alta	Humedo
2	69	3	75-90	< 0.06	0	3-10	Rugosa	Limpia	Mod Alterada	Humedo
3	54	242	25-50	< 0.06	0	1-3	Rugosa	> 5 Duro	Alta	Humedo
4	70	329	25-50	< 0.06	> 5	1-3	Lig. Rugosa	Limpia	Lig Alterada	Humedo
5	56	103	25-50	0.2-0.6	> 5	1-3	Rugosa	Limpia	Lig Alterada	Humedo
6	51	117	75-90	> 2	> 5	3-10	Lig. Rugosa	> 5 Duro	Lig Alterada	Humedo
7	47	95	50-75	< 0.06	0	3-10	Rugosa	Limpia	Mod Alterada	Seco
8	48	121	75-90	< 0.06	> 5	3-10	Rugosa	Limpia	Mod Alterada	Humedo
9	66	243	50-75	0.2-0.6	> 5	3-10	Rugosa	> 5 Duro	Mod Alterada	Humedo
10	42	121	25-50	> 2	0	3-10	Rugosa	> 5 Duro	Mod Alterada	Humedo
11	67	55	75-90	0.06-2	0	3-10	Lig. Rugosa	Limpia	Lig Alterada	Humedo
12	65	105	50-75	0.06-2	> 5	1-3	Rugosa	Limpia	Alta	Seco
13	47	126	50-75	> 2	0	3-10	Rugosa	> 5 Duro	Lig Alterada	Humedo
14	72	242	25-50	> 2	0	1-3	Muy Rugosa	Limpia	Mod Alterada	Humedo
15	42	103	50-75	0.06-2	> 5	1-3	Lig. Rugosa	Limpia	Lig Alterada	Humedo
16	64	240	75-90	< 0.06	> 5	3-10	Lig. Rugosa	> 5 Duro	Alta	Humedo
17	42	103	50-75	< 0.06	> 5	3-10	Lig. Rugosa	< 5 Duro	Mod Alterada	Seco
18	64	240	75-90	> 2	0	3-10	Lig. Rugosa	Limpia	Lig Alterada	Humedo
19	42	103	25-50	< 0.06	> 5	1-3	Lig. Rugosa	> 5 Suave	Lig Alterada	Seco
20	56	250	50-75	0.06-2	0	1-3	Lig. Rugosa	Limpia	Alta	Humedo
21	50	261	25-50	0.06-2	> 5	3-10	Lig. Rugosa	> 5 Duro	Mod Alterada	Humedo
22	33	115	75-90	> 2	> 5	3-10	Lig. Rugosa	Limpia	Mod Alterada	Humedo
23	83	345	50-75	0.2-0.6	> 5	1-3	Rugosa	> 5 Duro	Alta	Seco
24	71	354	25-50	> 2	0	3-10	Rugosa	> 5 Duro	Alta	Seco
25	62	280	25-50	0.06-2	> 5	1-3	Lig. Rugosa	Limpia	Mod Alterada	Humedo
26	37	356	50-75	< 0.06	> 5	3-10	Lig. Rugosa	Limpia	Mod Alterada	Seco
27	87	176	50-75	0.2-0.6	> 5	3-10	Lig. Rugosa	> 5 Duro	Lig Alterada	Seco
28	58	241	50-75	0.06-2	> 5	1-3	Rugosa	Limpia	Mod Alterada	Humedo
29	56	165	75-90	> 2	0	3-10	Rugosa	Limpia	Lig Alterada	Humedo
30	33	353	50-75	0.06-2	> 5	1-3	Lig. Rugosa	Limpia	Mod Alterada	Seco
31	53	278	75-90	> 2	0	1-3	Rugosa	> 5 Duro	Mod Alterada	Humedo
32	47	114	50-75	0.06-2	0	3-10	Rugosa	Limpia	Alta	Humedo
33	38	123	25-50	0.06-2	> 5	1-3	Lig. Rugosa	> 5 Duro	Lig Alterada	Humedo
34	40	133	25-50	0.06-2	> 5	3-10	Lig. Rugosa	> 5 Duro	Alta	Humedo
35	36	128	50-75	0.2-0.6	> 5	1-3	Lig. Rugosa	Limpia	Mod Alterada	Humedo
36	38	131	75-90	0.06-2	0	3-10	Lig. Rugosa	Limpia	Mod Alterada	Humedo
37	35	133	25-50	0.2-0.6	0	1-3	Lig. Rugosa	> 5 Duro	Alta	Humedo
38	30	128	75-90	< 0.06	0	3-10	Rugosa	Limpia	Mod Alterada	Humedo
39	28	135	75-90	> 2	0	3-10	Lig. Rugosa	> 5 Duro	Mod Alterada	Humedo
40	19	131	50-75	0.06-2	> 5	1-3	Lig. Rugosa	Limpia	Mod Alterada	Seco
41	39	118	75-90	0.06-2	0	3-10	Rugosa	Limpia	Mod Alterada	Seco
42	23	124	50-75	0.06-2	0	1-3	Lig. Rugosa	Limpia	Lig Alterada	Seco
43	36	104	25-50	0.06-2	> 5	1-3	Rugosa	> 5 Duro	Lig Alterada	Seco

Nota. La imagen representa los parámetros de las discontinuidades levantadas a lo largo del Nivel principal de la Mina La Contenta en el Software Dips. Fuente: Autor

Nivel

En el estudio del nivel principal, se han generado diversos gráficos estructurales (Figura 12) que permiten entender la orientación y distribución de las discontinuidades presentes en la roca.

Figura 12. Diagramas representativos de los planos de discontinuidades en el Nivel



Nota. a) Diagrama de polos. b) Diagrama de densidad de polos, c) Diagrama de roseta. Fuente:
Autor

A partir del diagrama de densidad de polos (Figura 12A) se identifican 3 familias de discontinuidades principalmente en el techo del manto 30:

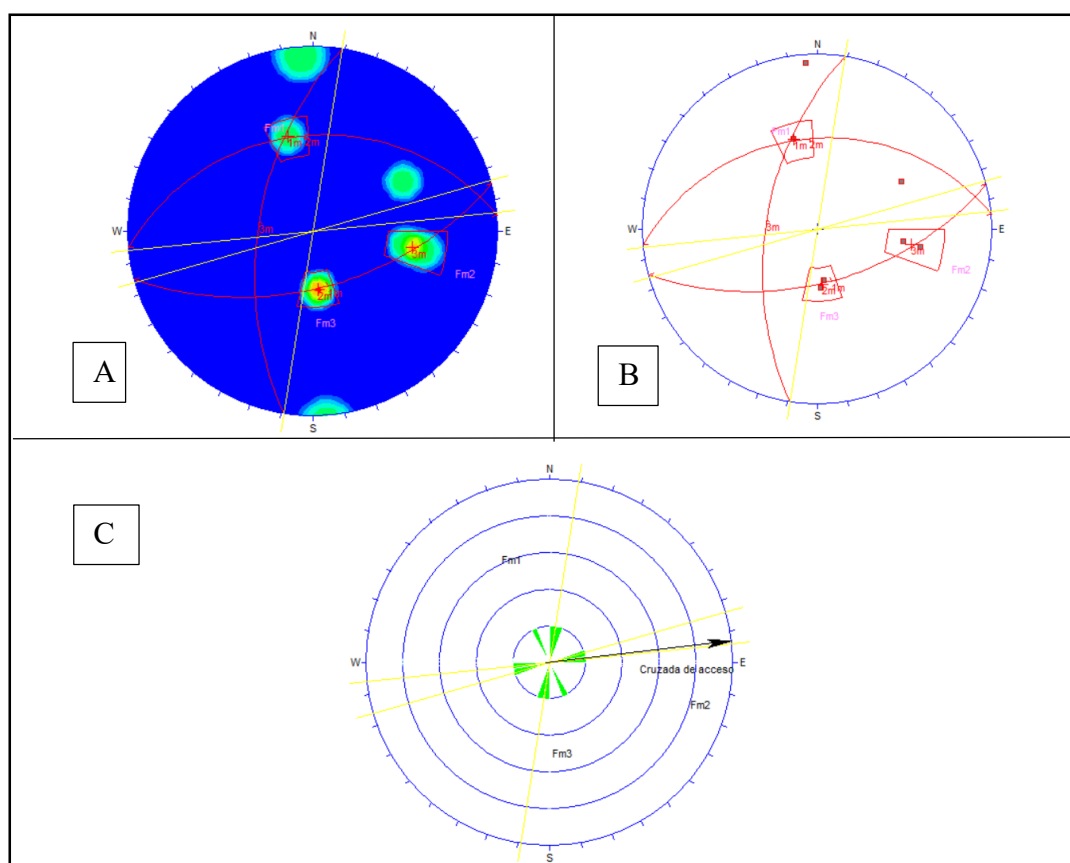
- Familia 1 (FM1): 45/108 - Familia 2 (FM2): 60/245 - Familia 3 (FM3) 72/183

Los planos de discontinuidad presentan un ángulo de medio a alto del buzamiento (40° a 70°), además se muestra una concentración especial en la dirección NW; en el diagrama de rosas (Figura 12C) se aprecia la muy des-favorabilidad ante las discontinuidades de la FM1 y algo más favorable ante la FM2 y FM3.

Cruzada de acceso

En el análisis de la cruzada de acceso, la orientación y distribución de las discontinuidades en la roca se presenta de la siguiente manera (Figura 13).

Figura 13. Diagramas representativos de los planos de discontinuidades de la cruzada de acceso



Nota. a) Diagrama de polos. b) Diagrama de densidad de polos, c) Diagrama de roseta. Fuente:

Autor

A partir del diagrama de densidad de polos (Figura 13A) se identifican 2 familias de discontinuidades principalmente en el techo del manto 30 en la sección de cruzada de acceso

-Familia 1 (FM1): 34/354 -Familia 2 (FM2): 40/95 -Familia 3 (FM3): 57/181

Los planos de discontinuidad presentan un ángulo medio de buzamiento (30° a 60°), además se muestra una concentración especial en la dirección SE; en el diagrama de rosas.

(Figura. 13C) se aprecia la muy des-favorabilidad ante las discontinuidades de la FM2 y Fm3 algo más favorable ante la FM1.

Según la caracterización estructural descrita previamente a lo largo del Nivel principal de la mina La Contenta, se pueden resumir los siguientes aspectos

El plano de discontinuidad con dirección 45/108 representa la dirección del plano de estratificación de los estratos de roca. En cuanto a las diaclasas en la sección de nivel es de 60/245 y 72/183. La falla que se encontró es del tipo normal con un leve desplazamiento y dirección 70/169.

Según lo observado la tendencia estructura de los estratos es tomar un ángulo de buzamiento alto conforme se aproxima a la zona de Falla local que corta el Polígono en dirección a bocamina.

Orientación de las discontinuidades

La orientación de las discontinuidades en relación con la dirección de las cargas o esfuerzos externos influye en la estabilidad del macizo rocoso (Tabla 2). Discontinuidades desfavorablemente orientadas, aquellas que coinciden con la dirección de las cargas, pueden reducir la calidad del macizo rocoso.

Tabla 2. Condiciones de estabilidad

DIRECCIÓN PERPENDICULAR AL EJE DE LA OBRA				DIRECCIÓN PARALELO AL EJE DE LA OBRA	BUZAMIENTO 0 – 20 CUALQUIER DIRECCIÓN	
EXCAV. CON BUZAMIENTO		EXCAV. CONTRA BUZAMIENTO				
Buz 45-90	Buz 20 - 45	Buz 45 – 90	Buz 20 - 45	Buz 45 - 90	Buz 20 – 45	Desfavorable
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	

Nota. Condiciones de estabilidad según la dirección de la labor

A partir de la dirección de las labores del nivel y de la cruzada de acceso, que comprenden la totalidad del nivel principal, se tiene que la dirección del nivel es de N27 y la de la cruzada de acceso es N85. Principalmente, bajo el análisis de rosetas en el software Dips, se obtiene lo siguiente.

Familia 1: Nivel principal inestable muy desfavorable, cruzada de acceso estable

Familia 2: Nivel principal estable, cruzada de acceso estable

Familia 3: Nivel principal estable, cruzada de acceso inestable.

Cálculo del Sistema de clasificación RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski y la correlación Q de Barton

El cálculo del Sistema de Clasificación RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski y su correlación con el índice Q de Barton son herramientas fundamentales para evaluar la calidad de un macizo rocoso. En el contexto del nivel principal de la mina La Contenta, se han considerado varios parámetros clave para asignar un valor RMR a la roca.

En la evaluación del macizo rocoso en el nivel principal de la mina, se ha analizado el espaciamiento de las juntas, el porcentaje de RQD (Rock Quality Designation) y las características de las discontinuidades. Un menor espaciamiento entre juntas indica una roca más fracturada, lo que disminuye su calidad. Sin embargo, el porcentaje de RQD es un indicador crucial que, al ser alto, refleja una menor cantidad de fracturas y, por ende, una mejor calidad de la roca.

Las discontinuidades observadas presentan un espaciado que varía entre 0.06 m y 2 m, aberturas superiores a 5 mm, y una persistencia de 1 a 3 m. La rugosidad es ligeramente rugosa y el relleno está limpio, aunque la roca muestra una alteración moderada. (Tabla 3).

Tabla 3. Datos ponderados de los parámetros de las discontinuidades presentes a lo largo del Nivel Principal. Mina la Contenta.

PARÁMETROS DE CALIFICACION Y SU VALORACION		
NIVEL PRINCIPAL RESPALDOS DEL MANTO		
PARAMETROS	CLASIFICACIÓN	EVALUACION
Roca intacta (Mpa)		1
RQD (%)	25-50 MALA	6
Espaciamiento de discontinuidades (m)	< 60mm Machacado	5
Condición de las discontinuidades		
Abertura	Abierta > 5mm	0
Persistencia	Baja 1-3 m	4
Rugosidad	Ligeramente Rugosa	3
Relleno	Limpia	6
Alteración	Moderadamente alterada	3
Agua subterránea	10-25 Litro /min, 0.1 – 0.2, Húmedo	7
PARAMETROS DE CORRECCION POR ORIENTACION DE DIACLASAS		
Orientación y buzamiento	Muy Desfavorable	-12
DETERMINACION DE LA CLASE DE MACIZO ROCOSO		
Sumatoria		23
Clase		IV
Calidad		Mala
CARACTERISTICAS DEL MACIZO ROCOSO		
Cohesión (Kpa)		1 – 2 kg/cm ²
Angulo de fricción interna		15°-25°

Nota. Parámetros ponderados de las discontinuidades presentes en el Nivel Principal

De acuerdo con la Clasificación RMR estipulada por Bieniawski, se obtuvo una valoración RMR= 23; Mala ($21 \leq \text{RMR} \leq 40$) (Tabla 3): Roca incompetente y poco estable, con un alto riesgo de deformación o falla en el área estudiada del título minero 1979T, lo cual corresponde a un macizo rocoso de la clase IV, cuya denominación es de una roca. Por lo que se concluye que tiene entre 1 – 2 kg/cm² de Cohesión Interna de la Roca y Angulo de Fricción Interna entre 15°-25°.

Correlaciones

De acuerdo con los datos obtenidos y correlacionando con el índice de clasificación Q de Barton.

$$Q = 0.096 \quad (5)$$

Se define la roca como de calidad muy mala (Figura 14).

Figura 14. Rangos de Q

Entre 0,001 y 0,01:	roca excepcionalmente mala
0,01 y 0,1:	roca extremadamente mala
0,1 y 1:	roca muy mala
1 y 4:	roca mala
4 y 10:	roca media
10 y 40:	roca buena
40 y 100:	roca muy buena
100 y 400:	roca extremadamente buena
400 y 1.000:	roca excepcionalmente buena

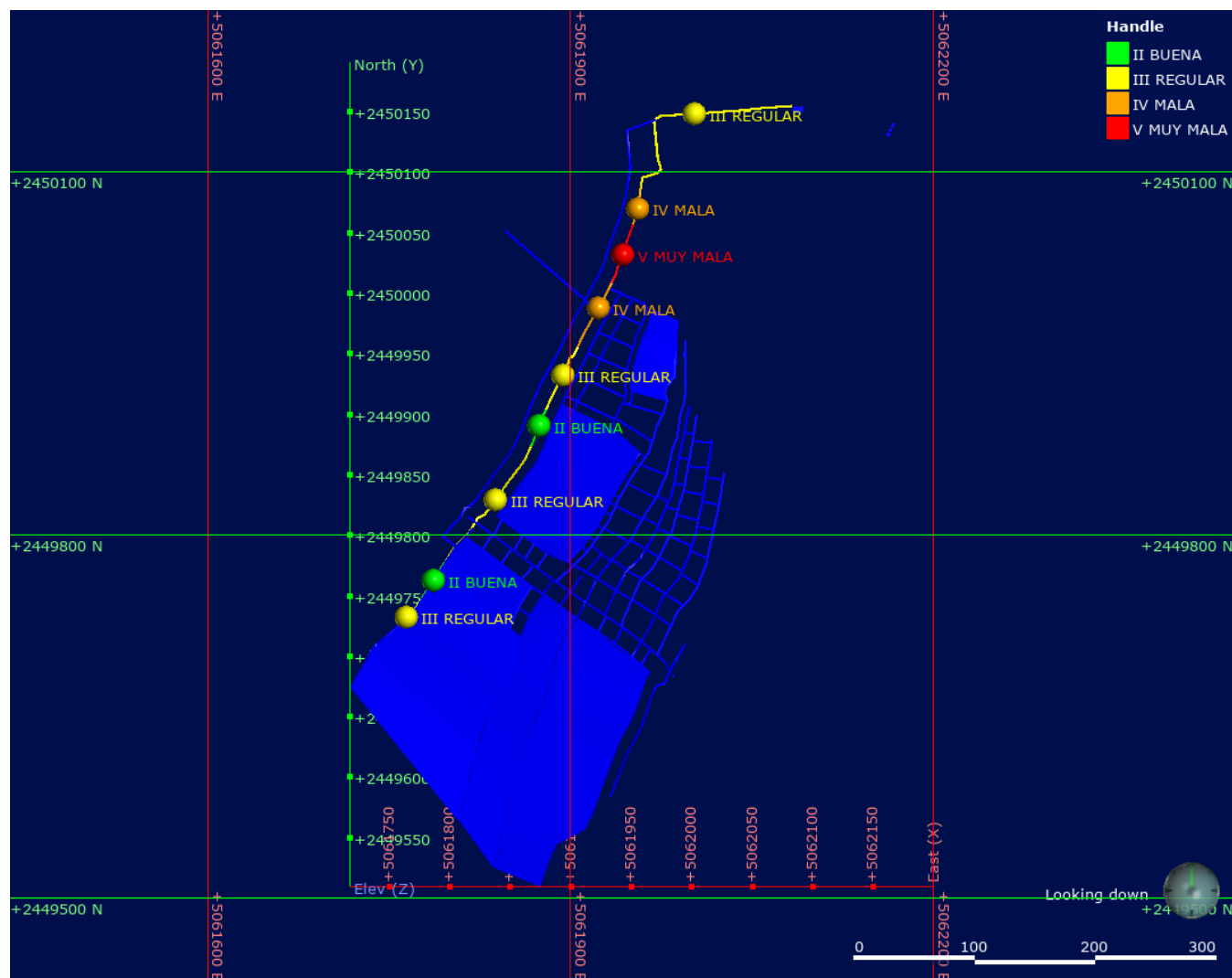
Nota. Fuente: Autor

El índice Q obtenido varía entre 0,01 y 0,1, lo que corresponde a una clasificación del macizo rocoso como muy mala.

Propiedades mecánicas del Macizo Rocosco del Nivel Principal

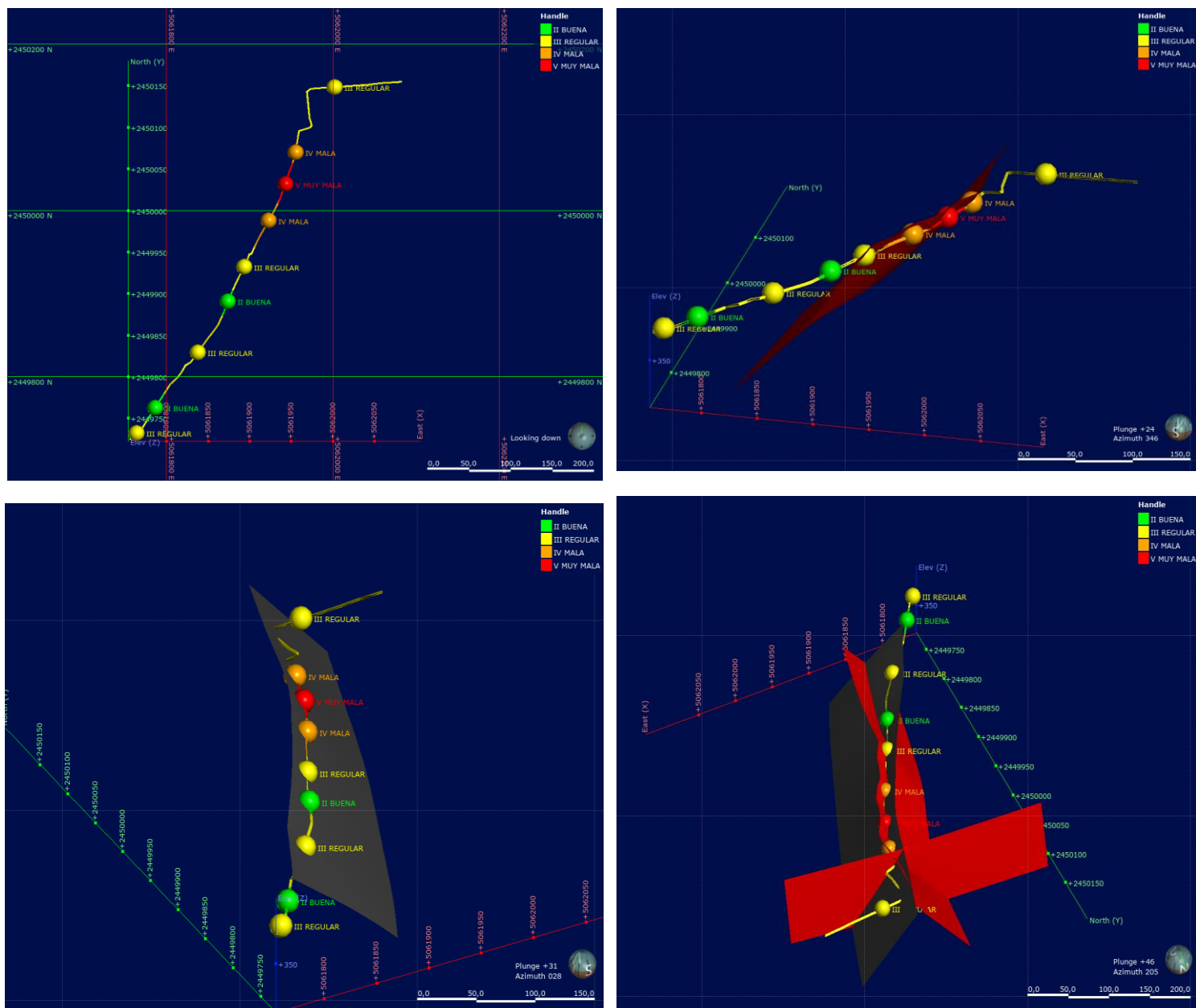
Con los resultados obtenidos, se llevó a cabo un modelamiento en el software Leapfrog (Figura 15) (Figura 16), lo que permitió representar los resultados de manera más realista y comprensible. Esto proporcionará una base sólida de información para el control de la estabilidad del macizo rocoso.

Figura 15. Mina La Contentan, Destacándose el nivel principal.



Nota. Fuente: Autor

Figura 16. Modelo del Nivel Principal de la Mina La Contenta, representación de los dominios en cuanto a la calidad de la roca según los resultados del RMR.



Nota. Representación de los dominios en cuanto a la calidad de la roca según los resultados del

RMR con el software Leapfrog. Fuente: Autor

Conclusiones

Bajo una mirada general y del ponderado de los resultados es recomendable identificar el techo del nivel principal de la mina la contenta como un techo de mala calidad de clase IV con una cohesión de 1-2 Kg/cm² y Angulo de fricción entre 15°-25°.

El aspecto de los respaldos de roca a lo largo del nivel, evidencian cambios mineralógicos (alteración) lo que trasciende en las propiedades de resistencia a la compresión de la roca, obtenido como resultado baja capacidad de cargar, por lo tanto, se ve afectada la estabilidad del nivel, del mismo modo la interacción que se presenta entre las direcciones de las labores antiguas (N-NW) y las actuales (SE) pueden generar tensiones adicionales en el macizo rocoso, especialmente en áreas donde se superponen ejemplo (inclinado de emergencia, cruzada, y antiguos tambores).

El estudio realizado sobre el nivel principal de la Mina La Contenta intenta suplir la falta de información actualizada en términos geológicos y mecánicos, una situación muy común en la gran mayoría de las minas del país, las cuales no toma en cuenta aspectos cruciales como las condiciones de esfuerzos, resistencias y presiones a la hora del desarrollo de las labores mineras.

Gracias a lo anterior, fue posible proporcionar al departamento de minería información sobre las condiciones de estabilidad a lo largo del nivel principal. Además, se delimitaron las secciones con condiciones menos favorables que otras, lo cual es información vital para la planificación en cuanto al sostenimiento como al desarrollo minero.

Recomendaciones

Es importante recordar que el RMR permite identificar características geológicas y mecánicas del macizo rocoso, como la cohesión, el ángulo de fricción interna, el módulo de deformación y la presión portante permisible. No obstante, es fundamental tratar estas propiedades con cautela, ya que se calculan mediante correlaciones matemáticas y deben emplearse únicamente para estudios preliminares. Aunque el sistema de clasificación de Bieniawski (RMR) tiene múltiples aplicaciones, su uso está sujeto a ciertas limitaciones.

Se percibe en primer lugar que el sistema de sostenimiento utilizado no responde adecuadamente, lo cual destaca la urgencia de un cambio del sistema tradicional implementado y, por consiguiente, se recomienda la implementación de otros mecanismos de sostenimiento, los cuales por medio de la evaluación del RMR realizada, se pueden correlacionar con diferentes tablas de sistemas de sostenimiento.

El respaldo de las labores está compuesto principalmente por lodolita compactas que, a lo largo del nivel, se fracturan considerablemente en los sectores intervenidos. Este comportamiento, junto con la naturaleza geológica de la roca, al sufrir alteraciones mineralógicas fácilmente ante los agentes naturales (agua, aire), requiere un monitoreo constante.

Se recomienda continuar con esta metodología para las demás secciones de la mina y de esta manera obtener un modelo geológico y mecánico mucho más robusto.

Referencias

Agencia Nacional de Minería. (2023). *“Guía técnica para la gestión de los riesgos mineros causados por las Fallas Geomecánicas”*

https://www.anm.gov.co/sites/default/files/guia_tecnica_gestipn_de_riesgos_geomecanicos_140224.pdf

Arias, Ibarra, J. F. y Blanco, Beltrán, R. (2015). *“Estudió geomecánico de los estratos superiores al manto 20 para el diseño de las labores de explotación de la mina vista hermosa ubicada en el municipio de Cúcuta, Norte de Santander”* <https://acortar.link/ma6Cp4>

Barton, N, LiIen, R. y Lunde, J. (1974). *“Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support”* <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01239496>

Bieniawski, Z. T. (1993). *“Classification of Rock Masses for Engineering: The RMR System and Future Trends”*. <https://acortar.link/JietCa>

Cañas, Gaviria, M. C. (2018). *“Caracterización geológica y geomecánica de la mina san Joaquín, para el diseño de explotación por el método de cámaras y pilares”*
<https://repository.eafit.edu.co/items/05e8db6f-c8ff-489a-9732-7a10de3c12b0>

Deere, D. U. (1964). *“Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes”*
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2364777>

González, de Vallejo, L. I, Ferrer, M, Ortuño, L. y Oteo, C. (2002). *“Ingeniería Geológica”*.https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod_resource/content/1/Livro%202.pdf

Notestein, F. B. Hubman, C. W. y Bowler, J. (1994). “*Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia- South America.*” <https://acortar.link/qkBZVJ>

Palmstrom, A. (1982). “*Volumetric Joint Count a Useful and Simple Measure of the Degree of Jointing*” <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2364777>

Rodríguez, M. G. (2022). “*Caracterización, Zonificación Geomecánica y Recomendación de Sostenimiento Necesario Para la Estabilidad de Labores Temporales y Permanentes del Macizo Roco en el Nivel 1712 del Cuerpo Zeus de la Mina El Roble.*” <https://acortar.link/hySIgp>

Servicio Geológico Colombiano. (2016). “*Geología de la plancha 88- Cúcuta a escala 1:100000 Departamento de Norte de Santander Colombia.*”

<https://recordcenter.sgc.gov.co/B19/23008010028507/Documento/Pdf/2105285071101000.pdf>

Servicio Geológico de Colombia. (2016). “*Cartografía Geológica de la plancha 87- Sardinata, Departamento de Norte de Santander Colombia.*

<https://recordcenter.sgc.gov.co/B19/23008010028508/Documento/pdf/2105285081101000.pdf>

Anexos

- Formato De Excel Con Las Estaciones Geológicas, Mecánicas Y Clasificación Del Macizo Rocosó
- Columna Estratigráfica
- Datos Estructurales
- Ensayos De Compresión Simple
- Modelo De Los Dominios De Calidad Y Estructural