



**CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO DEL ÁREA DEL  
CONTRATO 01-068-96 “COOPERATIVA COOPROCARBON SUGAMUXI” MUNICIPIO  
DE GÁMEZA BOYACÁ.**



**BERTHA CECILIA RINCÓN SILVA**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA UPTC  
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA  
2016**



**CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO DEL AREA DEL  
CONTRATO 01-068-96 “COOPERATIVA COOPROCARBON SUGAMUXI” MUNICIPIO  
DE GÁMEZA BOYACÁ.**



**BERTHA CECILIA RINCÓN SILVA**

**PROYECTO DE LA MODALIDAD MONOGRAFÍA, PRESENTADO PARA  
OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO GEÓLOGO**

**DIRECTOR**

**DR. JORGE ELIECER MARIÑO M.**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA UPTC  
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**2016**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios quien me dio fortaleza para asumir un reto más en mi vida, a mi esposo Edgar Efrén y a mi querido hijo Jeisson Efrén por ser mi fuente de motivación e inspiración para superarme cada día más.

A mis padres Julio Abel Rincón y Gilma Inés Silva, mis hermanos mis abuelitos y en general a toda mi familia.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por darme la vida y las herramientas necesarias para avanzar cada día a lo largo de mi carrera.

Al Dr. Jorge Eliecer Mariño M. quien me apoyo desde el momento que le solicité servirme como director del proyecto, fue mi guía, me dio su respaldo y depositó su confianza en la realización del proyecto.

Al ingeniero Nebardo Arturo Abril, quien fue mi revisor del anteproyecto y me orientó para hacer las correcciones pertinentes en su momento.

Al ingeniero Rafael Pérez que me colaboró en su asesoría para la realización de ensayos de laboratorio.

A la Cooperativa Cooprocarrón Sugamuxi, por haber depositado su confianza en mí para realizar este proyecto, y prestaron el apoyo para el ingreso al área de estudio y el ingreso a las minas para la extracción de muestras.

A la escuela de ingeniería geología, al equipo de profesores y personal administrativo quienes me formaron académicamente para convertirme en una profesional comprometida con el desarrollo del país.

A mi esposo Edgar Efrén Tibaduiza R. y a mi hijo Jeisson Efrén Tibaduiza Rincón quienes fueron mi apoyo y el motor que me impulsó a seguir adelante cada día para lograr la meta propuesta.

A mis padres, mis suegros, mis hermanos y toda mi familia, que sirvieron de apoyo y motivación para lograr los objetivos propuestos.

A mis amigos y compañeros que en esta etapa estuvieron presentes,

A cada uno de ellos muchas gracias y que Dios les bendiga

## Tabla de contenido

CAPITULO I.....	9
INTRODUCCIÓN .....	9
CAPÍTULO 2.....	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
CAPITULO III.....	11
OBJETIVOS.....	11
OBJETIVO GENERAL .....	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
CAPITULO IV .....	12
METODOLOGÍA.....	12
CAPITULO V .....	13
ALCANCE Y LIMITACIONES .....	13
CAPITULO VI .....	14
GENERALIDADES.....	14
6.1 MARCO LEGAL .....	14
6.2 INFORMACIÓN EXISTENTE.....	15
CAPITULO VII .....	21
MARCO TEÓRICO .....	21
7.1 ALGUNOS CONCEPTOS .....	21
CAPITULO VIII .....	34
8.1 INFORMACIÓN GEOTÉCNICA .....	34
8.1.1 EXPLORACIONES.....	35
8.1.2 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	37

CAPITULO 8.....	66
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL MACIZO ROCOSO .....	66
8.1 DATOS DE CAMPO .....	66
CLASIFICACIÓN DE FAMILIAS POR MEDIO DEL SOFTWARE DIPS.....	72
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (Bienaiwsky, 1989).....	81
CONCLUSIONES.....	83
RECOMENDACIONES.....	83
BIBLIOGRAFÍA .....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Meteorización de la Matriz Rocosa .....	22
Tabla 2 Estimación Aproximada y Clasificación de la Resistencia a Compresión Simple de Rocas a Partir de Índices de Campo .....	23
Tabla 3 Clasificación con base a la resistencia de la roca.....	23
Tabla 4 Descripción del espaciado.....	26
Tabla 5 Descripción de la continuidad .....	27
Tabla 6 Descripción de la abertura .....	28
Tabla 7 Descripción del relleno .....	29
Tabla 8 Clasificación con base a la resistencia de la roca .....	29
Tabla 9 Descripción del tamaño de bloque en función del número de discontinuidades.....	30
Tabla 10 Clasificación Geomecánica RMR (Bienaiwsky, 1989).....	32
Tabla 11 Datos muestras propiedades físicas .....	42
Tabla 12 Resultados propiedades físicas.....	43
Tabla 13 Datos compresión simple arcilla techo .....	46
Tabla 14 Ensayo compresión simple arcilla medio .....	47
Tabla 15 Ensayo compresión simple arcilla piso .....	48
Tabla 16 Ensayo compresión simple arenisca techo .....	49
Tabla 17 Ensayo compresión simple arenisca medio .....	50
Tabla 18 Ensayo compresión simple arenisca piso.....	51
Tabla 19 Ensayo compresión simple carbón techo .....	53
Tabla 20 Ensayo compresión simple carbón medio .....	54
Tabla 21 Ensayo compresión simple carbón piso.....	55
Tabla 22 Ensayo corte directo ARC M1 .....	59
Tabla 23 Ensayo corte directo ARC M2.....	61
Tabla 24 Ensayo corte directo ARC M3.....	63
Tabla 25 Características de las discontinuidades. ....	68
Tabla 26 Clasificación geomecánica RMR (Bienaiwsky, 1989).. ..	80
Tabla 27 Tabla resumen de clasificación RMR.. ..	81
Tabla 28 Categorías de clasificación RMR.....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización Geográfica .....	15
Figura 2 LOCALIZACIÓN DE BLOQUES Y FALLAS .....	18
Figura 4 Esquema de los parámetros de las discontinuidades.....	25
Figura 5 Perfil de rugosidad.....	28
Figura 6 Fotografía extracción de arcillas formación Socha Superior.....	35
Figura 7 Fotografía extracción de areniscas formación Socha Inferior.....	36
Figura 8 Fotografía extracción de testigos de carbón formación Guaduas .....	36
Figura 9 Fotografía realización propiedades físicas.....	37
Figura 10 Realización ensayo corte directo.....	58
Figura 11 Orientación de las discontinuidades.....	71
Figura 12 diagrama de distribución de polos .....	72
Figura 13 diagrama de contornos o frecuencias .....	73
Figura 14 diagrama de dispersión de espaciamiento .....	73
Figura 15 diagrama de planos de falla .....	74
Figura 16 Diagrama roseta de juntas .....	74
Figura 17 Histograma de espaciado de las discontinuidades.....	75
Figura 18 Histograma de la abertura .....	79



# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo está hecho con el fin de desarrollar un estudio de las propiedades físicas y mecánicas más relevantes de la formación Guaduas que aflora en el área de concesión de la Cooperativa Cooprocabón Sugamuxi Municipio de Gámeza Boyacá.

El método utilizado para determinar la clasificación Geomecánica del macizo rocoso es el propuesto por (Bienaiwsky, 1989) conocido como RMR (Rock Mass Rating).

Este proyecto hace parte de un estudio que se debe realizar para dar cumplimiento al decreto 1886 de 2015 emanado del Ministerio de Minas y Energía.

## **CAPÍTULO 2.**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La cooperativa de productores de carbón de la provincia de Sugamuxi “COOPROCARBON SUGAMUXI LTDA” del municipio de Gámeza Boyacá, cuenta con 36 empresas mineras que deben actualizarse en el marco del decreto 1886 de 2015 emanado del ministerio de minas y energía “Por el cual se establece el Reglamento de Seguridad en las labores mineras subterráneas”, Debido a que esta cooperativa no cuenta con estudios de caracterización geomecánica, se hace necesario estudiar las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso el cual se encuentra en la formación guaduas, que debido a la profundización de las minas viene acompañado de problemas de inestabilidad.

## **CAPITULO III**

### **OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar la clasificación geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 “Cooperativa Cooprocabon Sugamuxi” Municipio de Gámeza Boyacá.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar la recopilación, validación y análisis de la información existente.
- Realizar las visitas de campo, toma de muestras y de datos estructurales.
- Realizar ensayos de laboratorio y procesamiento de los mismos.
- Determinar la clasificación geomecánica del macizo rocoso por el método propuesto por (Bienaiwsky, 1989) conocido como RMR (Rock Mass Rating).

## CAPITULO IV

### METODOLOGÍA

- **Etapa 1. Recopilación, validación y análisis de la información existente.** Se realizó la recopilación bibliográfica teniendo en cuenta estudios realizados anteriormente como informes de visitas, plan de trabajos e inversiones 2009.
- **Etapa 2. Visitas de campo, toma de muestras y de datos estructurales.** Consistió en visitas de reconocimiento del área y se determinaron las estructuras geológicas, la organización de la minería de la región, la localización de las minas, se realizó el levantamiento de información geológica como tomar datos estructurales, toma de muestras y de testigos, caracterización de unidades geológicas y litológicas, levantamiento de columnas estratigráficas.
- **Etapa 3. Realizar ensayos de laboratorio y procesamiento de los mismos.** Con la información obtenida se realizaron ensayos de laboratorio como Propiedades Físicas, Resistencia a la Compresión simple, Corte Directo, estado, espaciamiento y orientación de discontinuidades.
- **Etapa 4. Informe Final Determinando la clasificación geomecánica del macizo rocoso por el método propuesto por (Bienaiwsky, 1989) conocido como RMR (Rock Mass Rating).** Con la información obtenida se pudo determinar la clasificación geomecánica del macizo rocoso.

## **CAPITULO V**

### **ALCANCE Y LIMITACIONES**

#### **Alcances**

Realización de toma de muestras y datos estructurales, ensayos y análisis de laboratorios como propiedades físicas, compresión simple y corte directo para determinación de la clasificación geomecánica del macizo rocoso perteneciente al área de concesión minera título 01-068-96 "Cooprocarbon Sugamuxi Ltda."

#### **Limitaciones**

- Ensayos de laboratorio triaxial. Debido a que por costos no se puede realizar.

## **CAPITULO VI**

### **GENERALIDADES**

#### **6.1 MARCO LEGAL**

Decreto 1886 de Septiembre 21 de 2015.

#### **POR EL CUAL SE ESTABLECE EL REGLAMENTO DE SEGURIDAD EN LAS LABORES MINERAS SUBTERRÁNEAS.**

En el **artículo 76**: DEFINICIÓN, IMPLEMENTACIÓN E INSPECCIÓN DEL PLAN DE SOSTENIMIENTO. Dice que “El titular del derecho minero, y el empleador minero debe definir e implementar un plan de sostenimiento de la explotación de acuerdo con el estudio geomecánico del área y con lo aprobado en plan de Trabajos y Obras (P.T.O.) del proyecto cuando se trate de labores mineras.

El titular del derecho minero, el explotador minero y el empleador minero debe realizar un documento de actualización permanente donde se establezcan las normas específicas sobre cuándo, dónde y que tipo de apoyo del techo se tienen que instalar en todas las etapa del proceso de desarrollo de actividades subterráneas incluidas bocaminas, galerías y frentes. Como mínimo debe definir:

1. El nombre, ubicación, el número de ubicación de la mina y la localización de las diferentes entradas o bocaminas, esta última en caso de actividad minera.
2. El nombre y el título del profesional responsable del plan de sostenimiento.
3. **Estudios geológicos o geomecánicos del suelo** o los demás estudios que sean necesarios donde se realicen labores subterráneas.
4. Una lista de todos los materiales de soporte requeridos para ser utilizados en el sistema de control de sostenimiento, desde superficie así como las labores de desarrollo preparación y explotación, en caso de fortificación una descripción de las características de estos materiales; y,
5. Registro de las capacitaciones realizadas al personal minero en temas relacionados con sostenimiento de labores mineras subterráneas ...

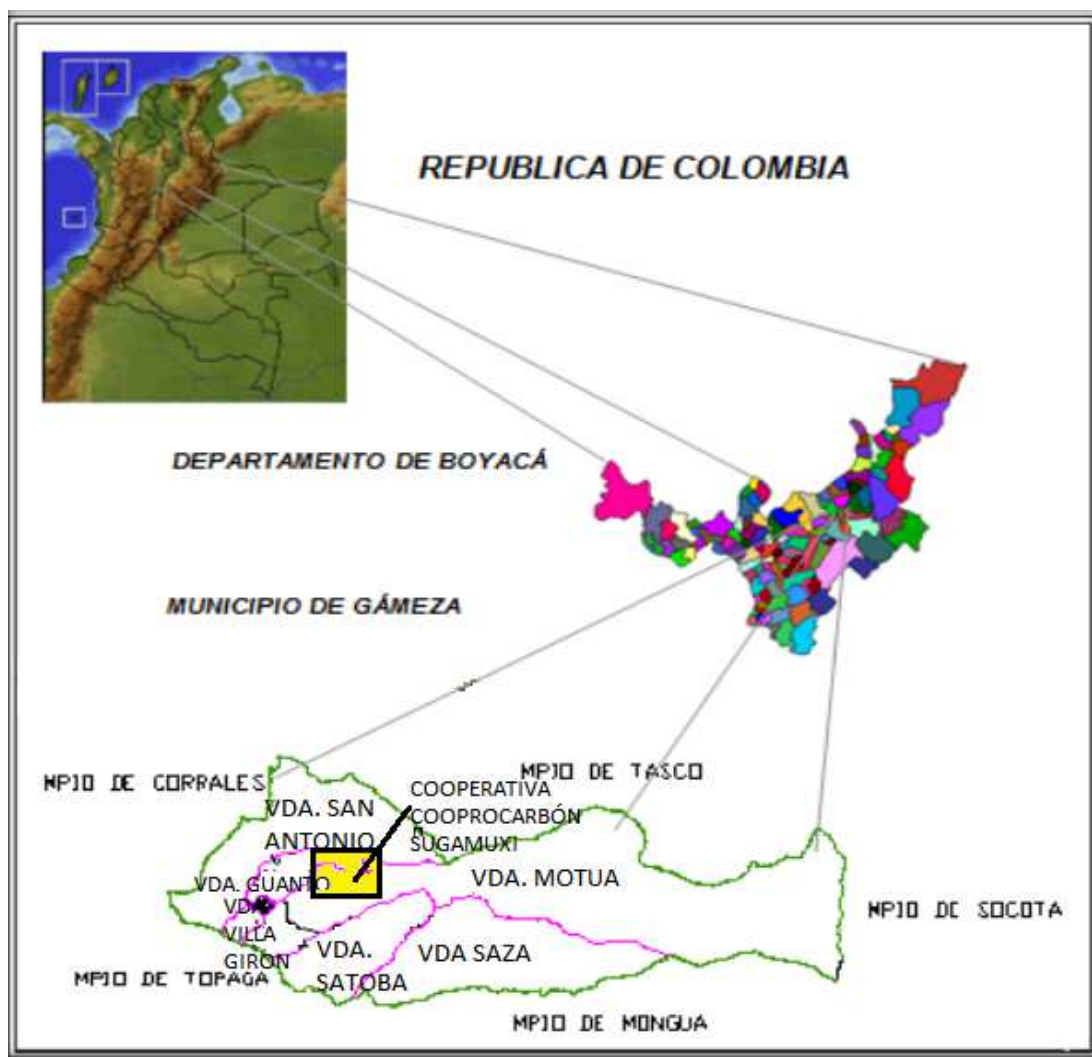
## 6.2 INFORMACIÓN EXISTENTE

### 6.2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y VÍAS DE ACCESO

La cooperativa COOPROCARBÓN SUGAMUXI, se encuentra ubicada en el municipio de Gámeza Boyacá a unos 18 km de la ciudad de Sogamoso, el contrato 01-068-96 de la cooperativa COOPROCARBÓN Sugamuxi Ltda., se localiza en las veredas Guanto y Motua.

Las vías de acceso son las carreteras que conducen a las veredas de Guanto y Motua de donde desprenden carretables para llegar a las diferentes minas.

Figura 1 Localización Geográfica



Fuente: Disponible en <http://www.gameza-boyaca.gov.co/index.shtml>

## **6.2.2 CLIMA E HIDROLOGÍA**

En la región se presentan temperaturas entre 5 y 14 °C, se presentan precipitaciones entre 500 y 800 mm (IGAC), el régimen de lluvia es bimodal con dos periodos de invierno entre abril y junio y la otra en el segundo semestre del año en los meses de octubre y noviembre.

El municipio de Gámeza cuenta con importantes cuencas hidrográficas como: Río Chicamocha, que es la principal red hidrográfica a donde vierten sus aguas el río las Playas que pasa al sur de la Zona de estudio, al cual vierten sus aguas las quebradas que drenan el área como las quebradas El Yeso, Guanto Coyata y el Alisal con flujo intermitente en dirección predominante noreste-sureste. (COPROCARBON- SUGAMUXI, 2009)

## **6.2.3 GEOLOGÍA**

El área de estudio, se ubica cronológicamente desde el cretáceo hasta el cuaternario. La Cooperativa Coprocarbon Sugamuxi regionalmente tiene como estructura principal el Gran Anticlinal del Chicamocha, cuyo eje se extiende con dirección SW-NE, siguiendo en parte el curso del río Chicamocha; dentro del mismo se encuentran una serie de estructuras complejas conformadas durante la Orogenia Andina.

(fuente: coprocarbon- sugamuxi, 2009)

## **6.2.4 ESTRATIGRAFÍA**

La secuencia estratigráfica aflorante en el área objeto de estudio está representada por rocas sedimentarias, en la cual se encontró la Formación Guaduas (Ktg) compuesta por arcillas del Guaduas, areniscas del Guaduas y carbones.

### **6.2.4.1 CRETÁCEO – TERCIARIO**

#### **6.2.4.1.1 Formación Guaduas (Ktg)**

**EDAD:** La edad de la Formación Guaduas por Alvarado y Sarmiento (1944), establece una edad Maastrichtiano superior – Paleoceno Inferior.

**LITOLOGÍA;** Propuesto por Alvarado y Sarmiento (1944) como formación Guaduas a la sucesión litológica comprendidas entre las areniscas calcáreas fosilíferas del tope de la Formación Ermitaño y el primer conjunto grueso de



areniscas de la Formación Socha Inferior. Esta formación suprayace concordantemente a la Formación Ermitaño e infrayace de la misma forma a la formación Socha Inferior, En el área de interés se extiende formando una faja alargada con dirección SW-NE, la cual es dislocada en varios tramos por las fallas presentes en el sector.

**ESPESOR:** El espesor promedio de esta formación se ha calculado en unos 550m, aunque hay sitios donde este espesor no sobrepasa los 300 m debido a que se halla en parte erosionada y cubierta por depósitos cuaternarios recientes.

**CORRELACIÓN:** La formación Guaduas según Reyes de acuerdo a las determinaciones de edad por vía palinológica, esta formación en la zona de estudio se correlaciona con la parte inferior y media del Guaduas de la cuenca de Lenguaque – Samaná y la formación Catatumbo de la serie Norte de Santander.

#### **6.2.4.1.4 Cuaternario (Q)**

Los depósitos existentes en el área de estudio, corresponden a depósitos de origen coluvial, localizados en las partes bajas o depresiones. Los cuales están conformados por materiales provenientes de la destrucción de otras rocas existentes embebidos dentro de matriz arcillosa o arenosa.

#### **6.2.5 GEOMORFOLOGÍA**

Se reconocen geoformas notorias correspondiente a los materiales de la Formación Socha Superior la cual presenta amplias colinas con pendientes moderadas sin llegar a mostrar escarpes abruptos, las formaciones Socha superior y Socha inferior se encuentran un poco alejadas de la zona de estudio.

Las geoformas de las formaciones Socha inferior y Guaduas presentan pendientes más suaves formando laderas fácilmente erosionables debido a su litología arcillosa, sin embargo sobre estas formaciones se han generado escarpes fuertes pendientes debido al desarrollo de deslizamientos de gran magnitud, generados en parte por la tectónica y por el mal uso de las técnicas de explotación.

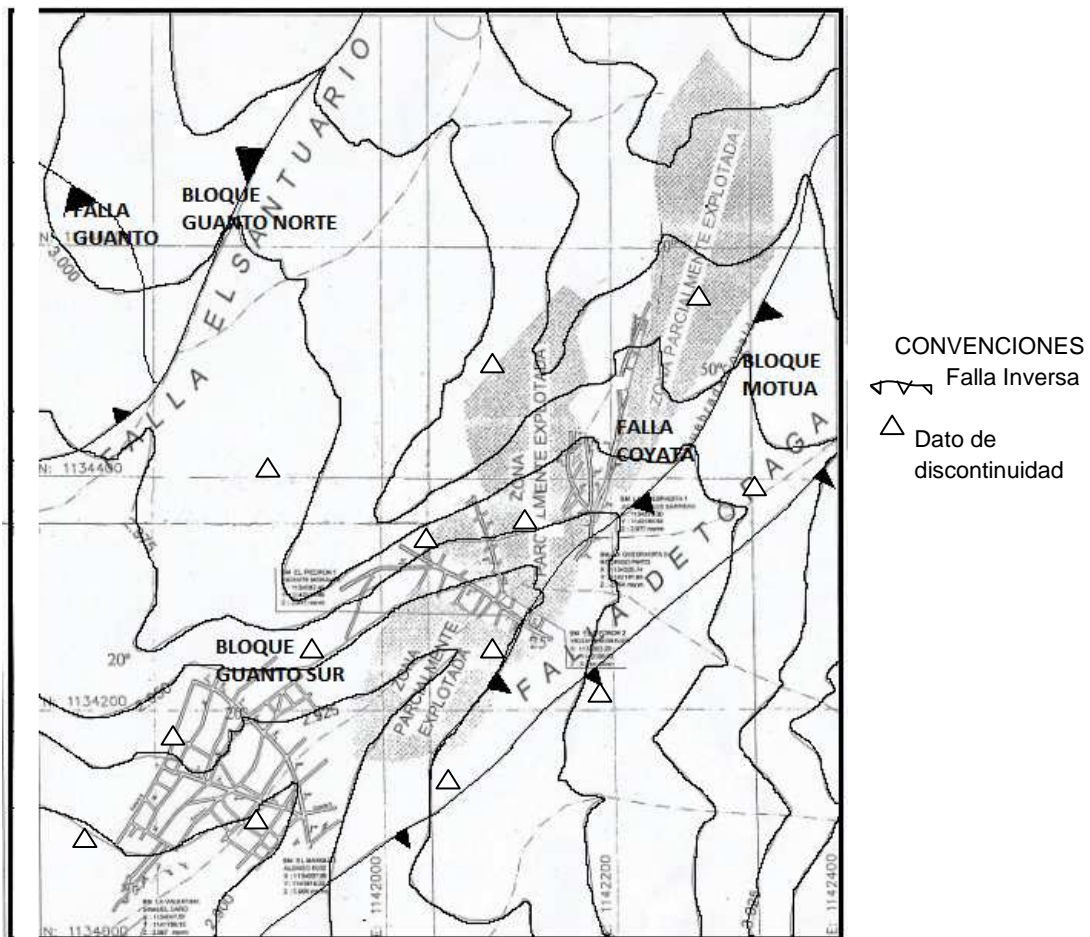
#### **6.2.6 GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO**

Las características geológicas del área de interés son bastante complejas debido no solo a las fallas que se describirán a continuación, sino a otras de menor

magnitud denominadas fallas de minería, estas conjugadas con las fallas que se describirán a continuación han hecho que la formación portadora de los carbones (Formación Guaduas), tenga notables cambios en el comportamiento de los mantos de carbón. Estos cambios se ven reflejados en la falta de continuidad lateral de los mantos, espesores de los mismos, espesores de las intercalaciones de roca, inclinaciones o buzamientos de los mantos etc.

El área de la cooperativa Cooprocarrón Sugamuxi está dividida en tres bloques carboníferos: Bloque Guanto Norte, Bloque Guanto Sur, y Bloque Motua, todos ellos limitados por rasgos geológicos y tectónicos bien definidos en la zona.

Figura 2 LOCALIZACIÓN DE BLOQUES Y FALLAS



### ***Coordenadas superficies de discontinuidad.***

## **6.2.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Estructuralmente el área de estudio presenta varias fallas debido a los esfuerzos que han ocurrido, tanto de compresión como de distensión, los cuales reflejan fallamiento como la falla Gámeza, Falla de Tópaga y otras fallas locales y plegamientos, tanto regionales como locales, por tal razón la continuidad lateral como también a profundidad de los mantos carboníferos se ve obstaculizada y en algunos casos se debe interrumpir las labores mineras.

A continuación se presenta una descripción de algunas estructuras identificadas en el área de estudio.

### **6.2.7.1 Fallas**

#### **6.2.7.1.1 Falla de Tópaga**

Es una falla de tipo inverso y de carácter regional, en el área de estudio se extiende con dirección SW-NE, hasta encontrarse con la falla de Coyatá, girando bruscamente hacia el este, su plano de buzamiento está hacia el SE, y coloca en contacto rocas de las formaciones Ermitaño y la parte superior de la Formación Guaduas, se puede considerar como un límite estructural para la explotación.

#### **6.2.7.1.2 Falla de Guanto**

Falla localizada siguiendo el curso de la quebrada Guantó, cuya orientación es SW-NE, es una falla de tipo inverso con plano de falla situado hacia el Oeste rompe la continuidad de la formación Guaduas, su desplazamiento vertical se calcula aproximadamente en más de 50m.

### **6.2.7.1.3 Falla Coyatá**

Esta falla rompe la continuidad de los carbones del bloque Guantó norte y sirve como límite estructural de los carbones del bloque Motua, su dirección es SW-NE, terminando contra la falla de Tópaga.

### **6.2.7.1.4 Falla el Santuario**

Corresponde a una falla satélite de la falla Guanto, es una falla de tipo inverso con dirección SW-NE, terminando contra la falla Coyatá, su plano de buzamiento es hacia el NW, sirve como límite estructural entre los bloques Guanto Sur y Guanto Norte, su desplazamiento vertical se considera que es superior a los 50 m.

### **6.2.7.1.5 Falla Intermedia**

Al igual que la anterior, es una falla satélite de la falla Guanto, de tipo inverso, que se extiende en forma paralela a la falla de El Santuario con dirección SW-NE, terminando contra la falla Coyatá, su plano de buzamiento es hacia el SE y marca el límite Oeste de explotación de los mantos carboníferos en el bloque Guantó Norte. Su desplazamiento vertical se calcula en más de 70m.

## **6.2.7.2 Pliegues**

### **6.2.7.2.1 Anticlinal de Motua**

Estructura de tipo simétrico, cuyo eje se localiza al este de la falla de Tópaga, con dirección SW-NE, sus flancos tienen un buzamiento promedio de 45° aunque el flanco occidental presenta inclinaciones mayores, por la influencia de la falla de Tópaga.

### **6.2.7.2.2 Anticlinal de Tierramiqui**

Estructura localizada en la parte noroeste del área de licencia su eje presenta una dirección SW-NE, y su núcleo lo conforman rocas pertenecientes a la formación Guaduas, mientras que los flancos lo constituyen las rocas de la formación Socha Superior con un buzamiento promedio de 49°, en la parte norte esta estructura se va cerrando por efectos de la Falla Los Colorados, Hacia el sur los flancos presentan buzamientos de 30°.

## **CAPITULO VII**

### **MARCO TEÓRICO**

La aplicación de las clasificaciones geomecánica implica determinar parámetros de resistencia y deformación del macizo rocoso a través de muestras de las cuales en laboratorio de obtienen sus principales parámetros y para el presente estudio se tendrá como referencia la clasificación propuesta por Bieniawski, (1989).

#### **7.1 ALGUNOS CONCEPTOS**

##### **7.1.1 Macizo rocoso**

Conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. Presenta carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico.

##### **7.1.1.1 Matriz rocosa**

Material rocoso sin discontinuidades, o bloques de roca entre discontinuidades. (Se caracteriza por su densidad, deformabilidad y resistencia; por su localización geográfica; y por su litología, ya sea ésta única o variada).

Los aspectos que deben describirse de la matriz rocosa en campo son:

Identificación litológica.

Meteorización o alteración.

Resistencia a compresión simple.

Discontinuidad

Cualquier plano de origen mecánico o sedimentario en un macizo rocoso, con una resistencia a la tracción nula o muy baja. (Genera comportamiento no continuo de la matriz rocosa, y normalmente anisótropo).

**7.1.1.1.1 Identificación litológica.** Debido a que todas las rocas que se encuentran contenidas en el depósito son sedimentarias, este aspecto se reduce a identificar qué tipo de roca sedimentaria es, y esto se hace revisando las propiedades de identificación de rocas sedimentarias tales como tamaño y forma de los granos, color, textura, estructura y dureza de dichas rocas.

**7.1.1.1.2 Meteorización de la matriz rocosa.** Gonzales de Vallejo, 2004, sostiene que el grado de meteorización de la roca es una observación importante en cuanto que condiciona de forma definitiva sus propiedades mecánicas. Según avanza el proceso de meteorización aumenta la porosidad, permeabilidad y deformidad del material rocoso, al tiempo que disminuye su resistencia. La definición del estado o grado de meteorización de la matriz rocosa se puede realizar de forma sistemática. Los distintos tipos de rocas son afectados desigualmente por los procesos de meteorización siendo estos más intensos cuanto mayor es el tiempo de exposición a los agentes atmosféricos.

Tabla 1 Meteorización de la Matriz Rocosa

Código	TERMINO	DESCRIPCIÓN	GRADO
F	Fresca (Fresh)	No presenta señales visibles de meteorización en la roca; tal vez puede presentar ligeras decoloraciones sobre superficies de discontinuidad mayores.	I
SW	Ligeramente meteorizada (Slightly weathered)	Se presenta decoloración del material de roca y superficies de discontinuidad. Todo el material de roca esta decolorado por la meteorización y tal vez algunos pueden ser más débiles externamente que en su condición fresca.	II
MW	Moderadamente meteorizada (Moderately weathered)	Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La roca fresca o decolorada está presente continuamente.	III
HW	Altamente Meteorizada (Highly weathered)	Más de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La roca fresca o decolorada está presente discontinuamente.	IV
CW	Completamente Meteorizada (Completely Weathered)	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura de la masa original permanece intacta.	V
RS	Suelo Residual (Residual soil)	Todo el material esta convertido en suelo. La estructura de la masa y fábrica de los materiales esta destruida. Hay grandes cambios en volumen, pero el suelo no ha sido transportado.	VI


Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004, quién lo tomó de (ISRM, 1981).

**7.1.1.1.3 Resistencia.** La resistencia de la matriz rocosa puede ser estimada en el afloramiento mediante índices de campo a partir de datos proporcionados por sencillos ensayos de campo; los índices de campo permiten una estimación del rango de resistencia de la roca, los criterios para su identificación se describen en la tabla 2 y deben ser aplicados sobre a roca una vez limpiada la capa de alteración superficial.

**Tabla 2 Estimación Aproximada y Clasificación de la Resistencia a Compresión Simple de Rocas a Partir de Índices de Campo**

Clase	Descripción	Identificación de campo	Aproximación al rango de resistencia a compresión simple (Mpa)
R0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña	0,25 - 1
R1	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo	1 - 5
R2	Roca blanda	Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas	5 - 25
R3	Roca moderadamente dura	Puede fracturarse con un golpe fuerte de martillo	25 - 50
R4	Roca dura	Se requiere más de un golpe de martillo para fracturarla	50 - 100
R5	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes de martillo para fracturarla	100 - 250
R6	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo solo saltan esquirlas	> 250

Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I Gonzales de Vallejo 2004, quién lo tomó de (ISRM, 1981).

 **Compresión Simple:** El esfuerzo máximo de compresión es definido como el esfuerzo necesario para producir la fractura del testigo cilíndrico. Se considera que dicha fractura ocurre cuando se produce una caída repentina en la aplicación de la carga, no siendo capaz el testigo de soportar incrementos de carga posteriores.

Es el procedimiento tal vez más intuitivo y más simple a la hora de valorar la resistencia de un material, para el presente trabajo se evalúa la resistencia de tres testigos de arenisca los cuales fueron sometidos a un esfuerzo axial con el fin de llevarlos hasta la rotura, para evaluar su resistencia y clasificar la roca.

**Tabla 3 Clasificación con base a la resistencia de la roca**

Resistencia a la compresión simple (Mpa)	Descripción
1 - 5	Muy blanda
5 - 25	Blanda
25 - 50	Moderadamente dura
50 - 100	Dura
100 - 250	Muy dura
> 250	Extremadamente dura

Fuente: Ingeniería Geológica, Luis I Gonzales de Vallejo 2004, quién lo tomó de (ISRM, 1981).

- ✚ **Corte directo:** El ensayo de corte directo se realiza con el objetivo principal de determinar el valor de la cohesión, así como el ángulo de fricción interna de un suelo o una roca sometido a esfuerzo cortante. Este ensayo indica la ocurrencia de una falla a través de un plano de localización predeterminado. Sobre este plano actúan dos fuerzas, una normal por una carga vertical aplicada y un esfuerzo cortante debido a la acción de una carga horizontal. Como el esfuerzo cortante y el esfuerzo normal tienen el mismo significado en la construcción del círculo de Mohr, en lugar de resolver una serie de ecuaciones para  $c$  y  $\tan \phi$ , es posible dibujar en un plano de ejes coordenados estos valores para los diferentes ensayos y proponer promedio del valor de la cohesión en el corte en  $Y$  y  $\phi$  por la pendiente de esta recta. Normalmente el ensayo se realiza sobre tres probetas de una misma roca, sometida cada una de ellas a una presión normal diferente, obteniéndose la relación entre la tensión tangencial de rotura y la tensión normal aplicada.

Para determinar los parámetros resistentes,  $c$  y  $\phi$  de un suelo, se utiliza un equipo de corte directo en el que una probeta de suelo de forma cilíndrica o rectangular que se encuentra restringida lateralmente por una pared rígida, se corta a lo largo de un plano horizontal mientras se encuentra sometida a una presión normal a dicho plano.

**7.1.1.2 Descripción De Las Discontinuidades:** González, 2004, afirma que las discontinuidades condicionan de una forma definitiva las propiedades y el comportamiento resistente, deformacional e hidráulico de los macizos rocosos. La resistencia al corte de las discontinuidades es el aspecto más importante en la determinación de la resistencia de los macizos rocosos duros fracturados, y para su estimación es necesario definir las características y propiedades de los planos de discontinuidad. A cada familia de discontinuidades la descripción y medida de los siguientes parámetros debe ser realizada en campo

- ✚ Orientación.
- ✚ Espaciado
- ✚ Continuidad y persistencia
- ✚ Rugosidad
- ✚ Resistencia de las paredes.
- ✚ Abertura.



🚧 Relleno.

🚧 Filtraciones.

Figura 3 Esquema de los parámetros de las discontinuidades



Fuente: Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades (Hudson, 1989)

Algunos de estos parámetros, como la rugosidad, resistencia de las paredes, apertura y relleno, determinan el comportamiento mecánico y la resistencia al corte de las discontinuidades.

**7.1.1.2.1 Orientación.** Las discontinuidades sistemáticas se presentan en familias con orientación y características más o menos homogéneas. La orientación relativa y el espaciado de las diferentes familias de un macizo rocoso definen la forma de los bloques que conforman al macizo. La orientación de las discontinuidades con respecto a las estructuras u obras de ingeniería condiciona la presencia de inestabilidades y roturas a su favor.

La orientación de una discontinuidad en el espacio queda definida por su dirección de buzamiento (inclinación respecto a la horizontal de dicha línea). Su medida se realiza mediante la brújula con clinómetro o con el diaclasímetro. La dirección de buzamiento se mide siguiendo la dirección de las agujas del reloj desde el norte, y varía entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$ . El buzamiento se mide mediante el clinómetro, con valores entre  $0^\circ$  (capa horizontal) y  $90^\circ$  (capa vertical). Los valores de dirección de buzamiento y buzamiento se suelen registrar en este orden en los formatos, indicando el tipo de discontinuidad al que corresponden los valores. Por ejemplo la notación  $270^\circ/60^\circ$  indica un plano de estratificación con un buzamiento de  $60^\circ$  según una dirección de  $270^\circ$ . También puede definirse la orientación de un plano de discontinuidad por su rumbo o dirección (ángulo que forma una línea horizontal trazada sobre el plano de discontinuidad con el norte magnético, midiendo hacia el este) y su buzamiento, debiendo indicar en este caso el sentido de buzamiento

(norte, sur, este, oeste). La dirección del plano y la dirección del buzamiento forman un ángulo de 90°.

Es aconsejable medir un número suficiente de orientaciones de discontinuidades para definir adecuadamente cada familia. El número de medidas dependerá de la dimensión de la zona estudiada, de la aleatoriedad de las orientaciones de los planos y del detalle de análisis. Si las orientaciones son constantes se puede reducir el número de medidas.

**7.1.1.2.2 Espaciado:** El espaciado entre los planos de discontinuidad condiciona el tamaño de los bloques de matriz rocosa y, por tanto, define el papel que ésta tendrá en el comportamiento mecánico del macizo rocoso y, su importancia con respecto a la influencia de las discontinuidades. En macizos rocosos con espaciados grandes, de varios metros, en los procesos de deformación y rotura prevalecerán las propiedades de la matriz rocosa o de los planos de discontinuidad según la escala de trabajo considerada y la situación de la obra de ingeniería con respecto a las discontinuidades; si los espaciados son menores de varios decímetros de 1 ó 2 metros, el comportamiento del macizo lo determinarán los planos de debilidad; por último, si el espaciado es muy pequeño el macizo estará muy fracturado y presentará un comportamiento “isótropo”, controlado por las propiedades del conjunto de bloques más o menos uniformes.

El espaciado se define como la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia, medida en la dirección perpendicular a dichos planos. Normalmente este valor se refiere al espaciado medio o modal de los valores medios para las discontinuidades de una misma familia.

Tabla 4 Descripción del espaciado

Código	Espaciamiento	Descripción
1	< 20 mm	Extremadamente junto
2	20 – 60 mm	Muy junto
3	60 – 200 mm	Junto
4	200 – 600 mm	Moderadamente junto
5	600 – 2000 mm	Separado
6	2000 – 6000 mm	Muy separado
7	> 6000 mm	Extremadamente separado

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004, quién lo tomó de (ISRM, 1981).

**7.1.1.2.3 Continuidad:** La continuidad o persistencia de un plano de discontinuidad es su extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento. Es un parámetro de gran importancia

pero de difícil cuantificación a partir de la observación de afloramientos, en los que normalmente se ven las trazas de los planos de discontinuidad según un buzamiento aparente. La medida de la discontinuidad se realiza con una cinta métrica. Si el afloramiento permite la observación tridimensional en los planos de discontinuidad, deberán medirse las longitudes a lo largo de la dirección y del buzamiento. Las discontinuidades pueden o no terminar en contra de otra discontinuidad, debiendo indicarse en la descripción. Es importante destacar las familias más continuas, ya que por lo general serán éstas las que condicionen principalmente los planos de rotura del macizo rocoso.

**Tabla 5 Descripción de la continuidad**

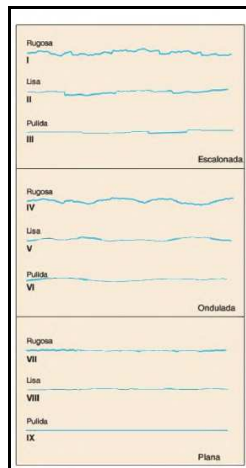
Descripción	Dimensión (m)
Muy baja continuidad	< 1
Baja continuidad	1-3
Continuidad media	3-10
Alta continuidad	10-20
muy alta continuidad	> 20

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004. quién lo tomó de (ISRM, 1981).

**7.1.1.2.4 Rugosidad:** Es caracterizada por la aspereza y la ondulación de la discontinuidad. La descripción y medida de la rugosidad tiene como principal finalidad la evaluación de la resistencia al corte de los planos, que para discontinuidades sin cohesión puede ser estimada a partir de datos de campo y de expresiones empíricas, este parámetro aumenta la resistencia al corte, que decrece con el aumento de la abertura y, por lo general, con el espesor de relleno.

Para definir el grado de rugosidad la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas sugiere el siguiente esquema:

Figura 4 Perfil de rugosidad



Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004, quién lo tomó de (ISRM, 1981).

**7.1.1.2.5 Abertura:** La abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. La influencia de la abertura en la resistencia al corte de la discontinuidad es importante incluso en discontinuidades muy cerradas, al modificar las tensiones efectivas que actúan sobre las paredes.

Para evaluar este parámetro la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas sugiere el siguiente cuadro:

Tabla 6 Descripción de la abertura

DESCRIPCIÓN	ABERTURA
<b>MUY CERRADA</b>	< 0,1 mm
<b>CERRADA</b>	0,1-0,25 mm
<b>PARCIALMENTE ABIERTA</b>	0,25-0,5mm
<b>ABIERTA</b>	0,5-2,5 mm
<b>MODERADAMENTE ANCHA</b>	2,5-10mm
<b>ANCHA</b>	>10 mm
<b>MUY ANCHA</b>	1-10 cm
<b>EXTREMADAMENTE ANCHA</b>	10-100 cm
<b>CAVERNOSA</b>	>100 cm

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004. quién lo tomó de (ISRM, 1981).

**7.1.1.2.6 Relleno:** Son materiales que se encuentran dentro de las discontinuidades; generándose un cemento que es una alteración química y consiste en la precipitación de nuevos minerales como calcita, dolomita, siderita, óxidos de hierro y sílice los cuales se insertan entre los poros desplazando el agua y uniendo más compactamente los sedimentos.

**Tabla 7 Descripción del relleno**

Código	Descripción
N	Sin relleno
ST	Limo
CL	Arcilla
CA	Calcita
PY	Pirita
SF	Sulfatos
QZ	Cuarzo
FG	Relleno ferruginoso

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004. quién lo tomó de (ISRM, 1981).

**7.1.1.2.7 Filtraciones:** El agua en el interior de un macizo rocoso procede generalmente del flujo que circula por las discontinuidades (permeabilidad secundaria), las observaciones respecto a las filtraciones en discontinuidades, tanto si se presentan rellenas como si aparecen limpias, pueden seguir las siguientes descripciones establecidas por la ISRM.

**Tabla 8 Clasificación con base a la resistencia de la roca**

Clase	Discontinuidades sin relleno	Discontinuidades con relleno
I	Junta muy plana y cerrada. Aparece seca y no parece posible que circule agua.	Relleno muy consolidado y seco. No es posible el flujo de agua.
II	Junta seca sin evidencia de flujo de agua.	Relleno húmedo pero sin agua libre.
III	Junta seca pero con evidencia de haber circulado agua.	Relleno mojado con goteo ocasional.
IV	Junta húmeda pero sin agua libre.	Relleno que muestra señales de lavado, flujo de agua continuo (estimar el caudal en l/min.).
V	Junta con rezume, ocasionalmente goteo pero sin flujo continuo.	Relleno localmente lavado, flujo considerable según canales preferentes (estimar caudal y presión).
VI	Junta con flujo continuo de agua (estimar el caudal en l/min. y la presión).	Rellenos completamente lavados, presiones de agua elevadas.

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004. quién lo tomó de (ISRM, 1981).

**7.1.1.2.8 Tamaño del Bloque y Grado de Fracturación:** El tamaño de los bloques que forman el macizo rocoso condiciona de forma definitiva su comportamiento sus propiedades resistentes y deformaciones. La dimensión y la forma de los bloques están definidas por el número de familias de discontinuidades, su orientación, su espaciado y su continuidad.

Para cuantificar el tamaño de bloque se emplea el contador volumétrico de juntas  $J_v$  se define como la suma del número de juntas por metro cubico, para cada familia de juntas presentes.

**Tabla 9 Descripción del tamaño de bloque en función del número de discontinuidades**

Descripción	$J_v$ , juntas/m <sup>3</sup>
Bloques muy grandes	< 1
Bloques grandes	1 – 3
Bloques medios	3 –10
Bloques pequeños	10 –30
Bloques muy pequeños	> 30

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004, quien lo tomó de (ISRM, 1983).

### **7.1.1.3 ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

Para determinar los parámetros resistentes,  $c$  y  $\phi$  de un suelo, se utiliza un equipo de corte directo en el que una probeta de suelo de forma cilíndrica o rectangular que se encuentra restringida lateralmente por una pared rígida, se corta a lo largo de un plano horizontal mientras se encuentra sometida a una presión normal a dicho plano.

Se pueden efectuar los siguientes ensayos.

- Ensayo Consolidado Drenado (CD): Se aplica la presión normal, permitiendo el drenaje del suelo hasta finalizar la consolidación primaria, a continuación se procede a la rotura de la probeta a una velocidad lo suficientemente lenta como para que no se originen presiones intersticiales, permitiendo el libre drenaje del agua de los poros. De este ensayo se obtienen los parámetros resistentes efectivos.
- Ensayo Consolidado no drenado (CU): Se aplica la presión normal, permitiendo el drenaje del suelo hasta finalizar la consolidación primaria. A continuación se procede a la rotura de la probeta a una velocidad lo suficientemente rápida para que no se produzca el drenaje. De este ensayo se obtienen los parámetros resistentes totales.
- Ensayo no consolidado no drenado (UU): La rotura se inicia nada mas aplicar la presión normal correspondiente y a una velocidad lo suficientemente rápida para que no se produzca el drenaje. De este ensayo se obtienen los parámetros resistentes totales.

## **DEFORMACIÓN HORIZONTAL.**

La lectura de la deformación horizontal se hará cada determinado número de divisiones según el criterio del responsable del ensayo. Esta se mide en un extensómetro de deformación y corresponderá a un valor de movimiento de la caja.

## **ESFUERZO DE CORTE Y NORMAL.**

Para cada una de las fuerzas normales o verticales aplicadas, se calcula su esfuerzo:

$$\sigma = P / A$$

Dónde: P: fuerza normal aplicada

A: Área inicial de la probeta

Para cada valor de fuerza horizontal o de corte aplicada, se calcula su esfuerzo de corte:

$$\tau = N / A$$

Dónde: N=fuerza de corte aplicada

### **7.1.1.4 RQD**

Es el índice de calidad de la roca. Comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro cúbico ( $J_v$  = Joint Volumétric number), determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural en el área o zona predeterminada de la operación minera.

$$RQD = 115 - (3.3) J_v$$

Dónde:  $J_v$  = número de fisuras por metro cúbico

### **7.1.1.5 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (Bienaiwsky, 1989).**

Desarrollado por Bienaiwsky, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento de túneles.

El parámetro que define la clasificación es el denominado índice RMR (ROCK MASS RATING), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

Resistencia a compresión simple de la roca intacta

- RQD
- Espaciamiento de discontinuidades
- Condición de las discontinuidades
- Condiciones de agua subterránea
- Orientación de discontinuidades

Tabla 10 Clasificación Geomecánica RMR (Bieniawsky, 1989)

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	<b>RQD</b>		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	<b>Separación entre diaclasas</b>		>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	<b>Longitud de la discontinuidad</b>	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		<b>Puntuación</b>	6	4	2	1	0		
		<b>Abertura</b>	Nada	<0,1mm	0,1-1,0mm	1-5mm	>5mm		
		<b>Puntuación</b>	6	5	3	1	0		
		<b>Rugosidad</b>	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		<b>Puntuación</b>	6	5	3	1	0		
		<b>Relleno</b>	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		<b>Puntuación</b>	6	4	2	2	0		
		<b>Alteración</b>	Inalterada	Ligeramente alterad	Moderadamente alterad	Muy alterada	Descompuesta		
<b>Puntuación</b>	6	5	3	1	0				
5	Nivel freático	<b>Caudal por 10m de túnel</b>	Nulo	<10litro/mm	10-25 litros/mm	25-125 litros/mm	>125 litros/mm		
		<b>Relación: presión de agua/Tensión principal mayor</b>	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		<b>Estado general</b>	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		<b>Puntuación</b>	15	10	7	4	0		

Fuente: Bieniawsky, 1989.



**Tabla 11: Categorías de la clasificación RMR**

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

. Fuente: Bienaiwsky, 1989

#### **7.1.1.6 SOFTWARE DIPS 5.0**

Este software DIPS 5.0 está diseñado para el análisis de características de las estructuras rocosas. Ha sido diseñado para el cálculo interactivo, gráfico y estadístico, de orientaciones de datos estructurales geológicos, dando al usuario una forma parecida a usar manualmente la proyección estereográfica.

## CAPITULO VIII

### 8.1 INFORMACIÓN GEOTÉCNICA

Con la evaluación de las condiciones de la estabilidad del macizo rocoso en la extracción minera de carbón del sector Guanto y Motua municipio de Gámeza, determinaremos la calidad de la roca y de esta manera se evaluará las condiciones geomecánica del macizo rocoso.

La presente monografía tiene como objetivo realizar la clasificación geomecánica del macizo rocoso correspondiente a las minas pertenecientes a la cooperativa COOPROCARBON SUGAMUXI, Gámeza Boyacá, usando la metodología Rock Mass Rating (RMR). Este sistema de clasificación fue desarrollado <por Z.T. Bieniawski durante los años 1972- 73, y ha sido modificado en 1976 y 1979, con base en más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición de 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979. Para determinar el índice RMR de calidad de la roca se hace uso de los seis parámetros del terreno siguientes:

- ✚ La resistencia a compresión simple del material
- ✚ El RQD (Rock Quality Designation)
- ✚ El espaciamiento de las discontinuidades
- ✚ El estado de las discontinuidades
- ✚ La presencia de agua
- ✚ La orientación de las discontinuidades

El RMR se obtiene como suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros mencionados anteriormente. El valor del RMR oscila entre 0 y 100, y es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca. Bieniawski distingue cinco tipos o clases de roca según el valor del RMR:

- CLASE I:  $RMR > 80$ , Roca muy buena
- CLASE II:  $80 < RMR < 60$ , Roca buena
- CLASE III:  $60 < RMR < 40$ , Roca media
- CLASE IV:  $40 < RMR < 20$ , Roca mala
- CLASE V:  $RMR < 20$ , Roca muy mala

Existen muchas más clasificaciones geomecánicas, como la clasificación Q de Barton 1974, la clasificación geomecánica Slope Mass Rating (SMR) propuesta

por Romana (1985), La clasificación geomecánica GSI índice de resistencia geológica desarrollada por Hoek , 1995, pero para la presente tesis se optó por utilizar la clasificación de **Bieniawski** debido a que este método permite determinar de forma sencilla la calidad del macizo rocoso mediante la cuantificación de los parámetros anteriormente mencionados, los cuales son de fácil medición en campo y con costos económicos mínimos

### 8.1.1 EXPLORACIONES

En la zona de estudio se realizaron muestras corazonadas, para la arcilla como se observa en la figura 4 se extrajo la muestra con un tubo de pared gruesa y se sacó muestra de 1.80m desde el techo de las arcilla de la formación Guaduas. Las muestras de las areniscas de la formación Guaduas fueron sacadas en bloques como se muestra en la figura 5 y se trasladaron al laboratorio de suelos y Rocas de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC. Para extraer los testigos con taladro. De la misma manera se trajeron las muestras de carbón de la formación Guaduas los cuales se sacaron de adentro de la mina donde iba el corte y también los bloques fueron trasladados a la universidad para sacar testigos como se observa en la figura 6 y posteriormente poder realizar los diferentes ensayos de laboratorio, Para cada litología se extrajeron muestras de techo, medio y piso como se encontraban en el terreno.

Figura 5 Fotografía extracción de arcillas formación Guaduas



Coordenadas: X: 1.135.500  
Y: 1.142.900



Fuente: Autora del proyecto

**Figura 6 Fotografía extracción de areniscas formación Guaduas**

Coordenadas: X: 1.135.500  
Y: 1.142.900



Fuente: Autora del proyecto

**Figura 7 Fotografía extracción de testigos de carbón formación Guaduas**



Coordenadas: X: 1.135.000

Y: 1.142.500

Fuente: Autora del proyecto

## 8.1.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

### 8.1.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Se realizó laboratorios de propiedades físicas para estudiar la composición mineralógica, procesos de alteración y meteorización que han experimentado los minerales de la formación Guaduas, parámetros que nos permiten determinar las propiedades de las rocas. Para este ensayo se calcularon los siguientes parámetros.

Figura 8 Fotografía realización propiedades físicas



Fuente: Autora del proyecto

### MUESTRA DE PISO ARENISCA DEL GUADUAS

- **Densidad Total De La Muestra**  
Peso total de la muestra  $M_t=93.2\text{gr}$   
Volumen total de la muestra  $V_t=40.5\text{cc}$

$$\rho = \frac{M_t}{V_t}$$

$$\rho = \frac{93.2 \text{ gr}}{40.5} = 2.301 \text{ gr/cc}$$

40.5 cc

➤ **Densidad Seca de la Muestra  $\rho_d$**

Peso seco de la muestra  $M_s=93.1$  gr

Volumen total de la muestra  $V=40.5$ cc

$$\rho_d = \frac{M_s}{V_t}$$

$$\rho_d = \frac{93.1 \text{ gr}}{40.5 \text{ cc}} = 2.298 \text{ gr/cc}$$

➤ **Densidad Saturada de la Muestra  $\rho_{sat}$**

Peso saturado de la muestra  $M_{sat}=99.2$  gr

Volumen total de la muestra  $V=40.5$ cc

$$\rho_{sat} = \frac{M_{sat}}{V_t}$$

$$\rho_{sat} = \frac{99.2 \text{ gr}}{40.5 \text{ cc}} = 2.449 \text{ gr/cc}$$

➤ **Porcentaje de Humedad ( $\omega$ )**

Expresa la proporción de agua presente en la roca

$\omega$  = Porcentaje de humedad

$W_w$ = Peso de agua contenida en la muestra

$W_s$ = Peso total de la muestra

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$M_t$ : Peso muestra total

$M_s$ : Peso Muestra Seca

$$\omega = \frac{M_t - M_s}{M_s} * 100\%$$

$$\omega = \frac{(93.2 - 93.1) \text{ gr}}{93.1 \text{ gr}} * 100\% = 0.107\%$$

Este parámetro resulta de gran utilidad para prever comportamientos de deformación y de cambios volumétricos por adición o disminución del contenido de humedad, además de que valores elevados pueden expresar una disminución en la cohesión de las partículas, y como es bien sabido es importante conocer la relación que presenta el agua para el material pues este agente es uno de los que más influye a la hora de producir variaciones en la resistencia del material

➤ **Porcentaje de Saturación (S)**

Indica el porcentaje de volumen de vacíos de la muestra que están llenos de agua.

**s** = Porcentaje de Saturación

V<sub>w</sub>= Volumen de agua contenida en la muestra

V<sub>v</sub>= Volumen de Vacíos

$$s = \frac{V_w}{V_v} * 100\%$$

Mt: Peso muestra total

Ms: Peso Muestra Seca

Msat: Peso muestra saturada

$$s = \frac{M_t - M_s}{M_{sat} - M_s} * 100\%$$

$$s = \frac{(93.2 - 93.1)gr}{(99.2 - 93.1)gr} * 100\% = 1.63\%$$

Varía entre 0 % (material seco) y 100 % (material totalmente saturado).

Esta propiedad afecta de manera importante la resistencia mecánica del material, y resulta importante conocerla debido a que el comportamiento geomecánico del material seco es muy diferente al saturado.

➤ **Porosidad (n)**

Es la relación entre el volumen de vacíos (V<sub>v</sub>) y el volumen total de la roca (V), expresada en porcentaje.

**n** = Porcentaje de Porosidad

Vt= Volumen total de la muestra

Vv= Volumen de Vacios

$$n = \frac{Vv}{Vt} * 100\%$$

Vt: Volumen muestra total

Ms: Peso Muestra Seca

Msat: Peso muestra saturada

$$s = \frac{Msat - Ms}{Vt} * 100\%$$

$$s = \frac{(99.2 - 93.1)gr}{(40.5)gr} * 100\% = 15.06\%$$

Es una propiedad importante y afecta las características resistentes y mecánicas de las rocas, siendo inversamente proporcional a la resistencia y a la densidad; constituyen valores normales entre 15 y 30 % de porosidad y entre mayor sea esta la resistencia del material será menor; está muy ligado con el contenido de agua.

#### ➤ Relación de vacíos (e)

También llamada Índice de poros; Es la relación existente entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos del suelo

e = Relación de Vacios

Vs= Volumen de solidos

Vv= Volumen de Vacios

Vt = Volumen Total

$$e = \frac{Vv}{Vs} * 100\%$$

$$e = \frac{Vv}{Vt - Vv} * 100\%$$

$$e = \frac{6.1}{40.5 - 6.1} * 100\% = 0.177$$

Esta propiedad física es un índice del nivel de deformación que puede presentarse en un depósito de suelo al incrementar los esfuerzos a los que está sometido.



➤ **PESO ESPECÍFICO**

Es la relación entre el peso del material y su volumen

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Proporciona un indicio acerca de la distribución del esqueleto mineral, así como de su densidad y dureza.

**DENSIDAD TOTAL (KN/m<sup>3</sup>)**

$\gamma$ = Peso específico

$\rho$ = Densidad total de la muestra

$g$ = Gravedad

$$\gamma = \rho * g$$

$$\gamma = \frac{9.8N}{Kg} * \frac{2301kg}{m^3} = 22.549 \text{ KN/ m}^3$$

➤ **DENSIDAD SECA (Kn/m<sup>3</sup>)**

$\gamma_d$ = Densidad seca

$\rho_d$ = Densidad seca de la muestra

$g$ = Gravedad

$$\gamma_d = \rho_d * g$$

$$\gamma_d = \frac{9.8N}{Kg} * \frac{2298kg}{m^3} = 22.520 \text{ KN/ m}^3$$

➤ **DENSIDAD SATURADA (Kn/m<sup>3</sup>)**

➤  $\gamma_{sat}$ = Densidad saturada

➤  $\rho_{sat}$ = Densidad saturada de la muestra

➤  $g$ = Gravedad

➤  $\gamma_{sat} = \rho_{sat} * g$

$$\gamma = \frac{9.8 \text{ N}}{\text{Kg}} \cdot \frac{2449 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 24.000 \text{ KN/ m}^3$$

- Las muestras fueron pesadas y cubiertas con papel aluminio para luego ser secadas en horno durante 24 horas a 110°C.
- Al cabo de las 24 horas se procede a sacar las siete muestras dejándolas enfriar y nuevamente tomamos su peso, con el fin de hallar la humedad y densidad natural de la misma.
- Utilizando una probeta llena de agua hasta una medida de 700 ml, las muestras se sujetan con una pita para ser sumergidas en la probeta cada una por separado y así determinar el volumen de las muestras por desplazamiento del agua (aplicando el principio de Arquímedes).
- Posteriormente las siete muestras son sumergidas en agua, cada una por separado en vasos previamente pesados y marcados, durante 24 horas para su saturación.
- Al final de las 24 horas se pesaron las muestras saturadas con el fin de hallar el índice de porosidad de la roca.

La siguiente tabla contiene los resultados obtenidos para nueve muestras de mano extraídas en el área de estudio, representativas de techo, medio y piso de cada una de las litologías correspondientes a la formación Guaduas

Tabla 11 Datos muestras propiedades físicas

MUESTRA #	M(gr)	Ms(gr)	Msat(gr)	V(cm3)
1 techo Arenisca Guaduas	106.8	105.1	109.8	50
2 Medio Arenisca Guaduas	41.7	41.0	43.7	10.5
3 Piso Arenisca Guaduas	93.2	93.1	99.2	40.5
4 Techo Arcilla Guaduas	77.8	76.3	83.5	40
5 Medio Arcilla Guaduas	57.2	56.3	73.6	20
6 Piso Arcilla Guaduas	30.4	28.4	36.5	10
7 Techo Carbón Guaduas	29.0	28.9	28.9	20
8 Medio Carbón Guaduas	62.6	62.2	62.5	50
9 Piso Carbón Guaduas	32.0	31.8	31.9	20.5

Fuente: Autora del proyecto

Donde:

M(gr): Peso muestra total

Ms(gr): Peso Muestra Seca

Msat(gr): Peso muestra saturada

V(cm<sup>3</sup>): Volumen

**Tabla 12 Resultados propiedades físicas**

MUESTRA #	Pd (gr/cm <sup>3</sup> )	Psat (gr/cm <sup>3</sup> )	W%	Vv (cm <sup>3</sup> )	S%	n %	e	γ (KN/m <sup>3</sup> )	γd (KN/m <sup>3</sup> )	γsat (KN/m <sup>3</sup> )
1	2,102	2,196	0.016	1.7	36.17	9.4	0,035	20,932	20,599	21.520
2	3.904	4.161	0,017	0.7	25.92	25.71	0.71	38.92	38.259	40.777
3	2.298	2.449	0,001	0.1	1.63	15.06	0.002	22.55	22.520	24.000
<b>Promedio</b>	<b>2.76</b>	<b>2.93</b>	<b>0.062</b>	<b>2.5</b>	<b>21.24</b>	<b>16.72</b>	<b>0.24</b>	<b>27.46</b>	<b>27.126</b>	<b>28.765</b>
4	1.907	2.087	0,019	1.5	20.83	18	0.038	19.061	18.688	20.456
5	2.815	3.0	0,015	0.9	24.32	18.5	0.047	28.028	27.587	36.064
6	2.84	3.65	0,013	2	24.69	181	0.025	29.792	27.832	45.57
<b>Promedio</b>	<b>2.520</b>	<b>3.47</b>	<b>0.015</b>	<b>1.46</b>	<b>12.35</b>	<b>72.5</b>	<b>0.036</b>	<b>25.627</b>	<b>24.702</b>	<b>34.03</b>
7	1.43	1.43	0,772	0.4	10	0	0.020	14.21	14.014	14.014
8	1.244	1.25	0.006	0.4	1.33	0.6	0.008	12.269	12.191	12.25
9	1.551	1.556	0.006	0.2	20	0.48	0.009	15.297	15.199	15.248
<b>Promedio</b>	<b>1.408</b>	<b>1.41</b>	<b>0.261</b>	<b>0,33</b>	<b>10.44</b>	<b>0.36</b>	<b>0.012</b>	<b>13.925</b>	<b>13.801</b>	<b>13.837</b>

Fuente: Autora del proyecto

Donde:

Pd(gr/cm<sup>3</sup>): Peso muestra seca

Psat(gr/cm<sup>3</sup>): Peso Muestra Saturada

W(%): Porcentaje de humedad

Vv(cm<sup>3</sup>): Volumen de Vacíos

S(%): Porcentaje de saturación

n(%): Porcentaje de porosidad

e: Relación de vacíos

γ (KN/m<sup>3</sup>): Peso Especifico

γd (KN/m<sup>3</sup>): Densidad Seca

γsat (KN/m<sup>3</sup>): Densidad Saturada

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos observar que el promedio de la porosidad en las muestras estudiadas de arenisca es de 16.72%, lo que indica una baja porosidad y que la roca es compacta, de consistencia densa, el porcentaje de humedad se encuentra en promedio en areniscas es 0.062 lo que indica que es muy bajo este porcentaje y que los factores de saturación no van a dañar el mineral o a producir fallas en el mismo. Caso similar ocurre en los carbones con porosidad de 0.36% , lo que indica que es una roca densa y muy compacta, y el % de humedad 0.261 lo cual indica una baja humedad.

### **8.1.2.2 COMPRESIÓN SIMPLE**

El esfuerzo máximo de compresión es definido como el esfuerzo necesario para producir la fractura del testigo cilíndrico. Se considera que dicha fractura ocurre cuando se produce una caída repentina en la aplicación de la carga, no siendo capaz el testigo de soportar incrementos de carga posteriores.

Es el procedimiento tal vez más intuitivo y más simple a la hora de valorar la resistencia de un material, para el presente trabajo se evaluara la resistencia de tres testigos de cada una de las litologías presentes correspondientes a techo, medio y piso de cada una de ellas, sometidos a un esfuerzo axial con el fin de llevarlos hasta la rotura, para evaluar su resistencia y clasificar la roca

#### **PROCEDIMIENTO**

- ◆ Tipo de muestra: La ejecución del ensayo se puede realizar tanto en muestras inalteradas como remoldeadas en el laboratorio para tal fin. Las muestras inalteradas se deben manejar cuidadosamente para evitar su alteración, cambios en la sección transversal o la pérdida de humedad.
- ◆ Dimensiones de la muestra: La muestra debe tener un diámetro mínimo de 52 mm y la partícula más grande contenida en ellos debe ser menor de un décimo del diámetro de la muestra. La relación altura-diámetro de las muestras debe estar comprendida entre 2 y 3.
- ◆ Otros parámetros: Además de los valores del diámetro y la altura, se debe determinar los valores de humedad, densidad húmeda y densidad seca.
- ◆ Se coloca la muestra centrada en la placa inferior del aparato de carga, se ajusta cuidadosamente de manera que la placa superior quede justamente en contacto con la muestra, y se colocan en cero los controles.
- ◆ Se aplica la fuerza para conseguir la relación de deformación axial unitaria de 1/2% a 2% por minuto y se anota la fuerza en cada porcentaje de deformación establecido. Se debe regular la relación de deformación para que el tiempo de falla de la muestra no supere los 10 minutos.
- ◆ Se continúa cargando hasta cuando la fuerza disminuya con un incremento de deformación o hasta alcanzar una deformación del 20%

- ◆ Una vez finalizado el ensayo se retira con cuidado del equipo, se describe y se realiza un esquema de la forma de la falla y se establece la humedad de la muestra.

**MUESTRA DE ARCILLA TECHO**

Tabla 13 Datos compresión inconfinaada arcilla techo

***Ctrl + click en el titulo- página 1***

**MUESTRA DE ARCILLA MEDIO**

Tabla 14 Ensayo compresión inconfiada arcilla medio

***Ctrl + click en el titulo- página 2***

**MUESTRA DE ARCILLA PISO**

Tabla 15 Ensayo compresión inconfiada arcilla piso

***Ctrl + click en el titulo- página 3***



✓ **Promedio Resistencia Máxima**

$$PR_{csArc}: 4.836 \text{ Mpa}$$

De acuerdo con el comportamiento del material este exhibe un comportamiento elástico típico de las arcillas, este comportamiento está muy relacionado con los movimientos y expansión de las arcillas cuando hay humedad.

De acuerdo a los cálculos de resistencia a la compresión inconfiada del material se obtuvo un promedio entre los datos de las tres muestras de 4.836 Mpa por tanto este suelo se clasifica como suelo blando, aunque este dato puede variar debido a que las arcillas pueden variar por la humedad.

**MUESTRA DE ARENISCA TECHO**

Tabla 16 Ensayo compresión simple arenisca techo

***Ctrl+click en el titulo***

**MUESTRA DE ARENISCA MEDIO**

Tabla 17 Ensayo compresión simple arenisca medio

*Ctrl+click en el titulo*

**MUESTRA DE ARENISCA PISO**

Tabla 18 Ensayo compresión simple arenisca piso

***Ctrl+click en el titulo***

✓ **Promedio**

$$PRcsAren = 10.153Mpa$$

De acuerdo con el comportamiento del material este exhibe un comportamiento semi-elástico típico de las arenas, este comportamiento está muy relacionado con los movimientos y deslizamientos de material, evidenciando la propensión del material a presentar movimientos.

De acuerdo a los cálculos de resistencia a la compresión simple del material se obtuvo un promedio entre los datos de las tres muestras de 10.153 Mpa por tanto esta roca se clasifica como R<sub>2</sub> Roca blanda.

## **MUESTRA DE CARBÓN TECHO**

Tabla 19 Ensayo compresión simple carbón techo

***Ctrl+click en el titulo***

## **MUESTRA DE CARBÓN MEDIO**

Tabla 20 Ensayo compresión simple carbón medio

***Ctrl+click en el titulo***

**MUESTRA DE CARBÓN PISO**

Tabla 21 Ensayo compresión simple carbón piso

***Ctrl+click en el titulo***



✓ **Promedio**

*PRcsCarbón:15.33Mpa*

De acuerdo con el comportamiento del material este exhibe un comportamiento semi-elastico, De acuerdo a los cálculos de resistencia a la compresión simple del material se obtuvo un promedio entre los datos de las tres muestras de 15.33 Mpa.

### 8.1.2.3 CORTE DIRECTO

Figura 9 Realización ensayo corte directo



Como se muestra en las imágenes de la figura 10 el ensayo de corte directo se realiza en arcillas, con el objetivo principal de determinar el valor de la cohesión, así como el ángulo de fricción interna de un suelo sometido a esfuerzo cortante.

Este ensayo impone sobre un suelo condiciones idealizadas, o sea indica la ocurrencia de una falla a través de un plano de localización predeterminado. Sobre este plano actúan dos fuerzas, una normal por una carga vertical aplicada y un esfuerzo cortante debido a la acción de una carga horizontal. Como el esfuerzo cortante y el esfuerzo normal tienen el mismo significado en la construcción del Círculo de Mohr, en lugar de resolver una serie de ecuaciones para  $c$  y  $\tan \phi$ , es posible dibujar en un plano de ejes coordenados estos valores para los diferentes ensayos y proponer promedio del valor de la cohesión en el corte en  $Y$  y  $\phi$  por la pendiente de esta recta

Normalmente el ensayo se realiza sobre tres probetas de un mismo suelo, sometida cada una de ellas a una presión normal diferente, obteniéndose la relación entre la tensión tangencial de rotura y la tensión normal aplicada.

El Presente ensayo se realizó solo en arcillas debido a que para areniscas y carbón no se puede realizar, por las condiciones de la máquina de ensayo.

### **PROCEDIMIENTO.**

- Primero que todo se extrae la muestra del suelo con la ayuda de un molde de 6 x 6cm y 3cm de altura.
- Con la ayuda de un cuchillo y una espátula se retira el material sobrante dejando la muestra a ras del molde y luego se extrae de éste y se envuelve en papel aluminio mientras se realiza el ensayo en el laboratorio para que conserve su humedad natural. (de igual manera se obtienen las otras muestras)
- Se envuelven las muestras en papel aluminio y ya en el laboratorio, se procede a pesar cada una de las muestras.
- Se procede a armar la caja de corte, colocando las láminas, la piedra porosa y la muestra.
- Se ensambla cuidadosamente la caja en la máquina de corte directo.
- Luego se colocan los aditamentos y se ajusta cuidadosamente, una vez listos los aditamentos, el primer indicador que se coloca es el de desplazamiento vertical Luego se adiciona la carga deseada, teniendo cuidado de no mover la máquina.
- Se pone en ceros el deformímetro horizontal y se procede a girar la manivela de la máquina al mismo tiempo que se van leyendo las diferentes lecturas de los relojes.
- Una vez fallada la muestra, se saca de la caja con mucho cuidado y se lleva al horno por 24 horas.
- Después de las 24 horas se sacan las muestras y se pesa nuevamente.

[Tabla 22 Ensayo corte directo ARC M1](#)

*Ctrl+click en el titulo*

Fuente: Autora del proyecto

[Tabla 23 Ensayo corte directo ARC M2](#)

*Ctrl+click en el titulo*

Fuente: Autora del proyecto

[Tabla 24 Ensayo corte directo ARC M3](#)

*Ctrl+click en el titulo*



Fuente: Autora del proyecto

## CAPITULO 8

### CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL MACIZO ROCOSO

#### 8.1 DATOS DE CAMPO

La zona se dividió en tres bloques carboníferos para facilitar la descripción y está dividida en bloque Guantó norte, Bloque Guanto sur y Bloque Motua.

#### *Bloque Guanto Norte*

Ctrl+Click en el titulo

Este bloque se localiza por medio de la vía que conduce desde el casco urbano del municipio hasta la escuela de la vereda Guantó, municipio de Gámeza, al norte de este bloque se encuentran las areniscas de la formación Socha inferior, al sur de este bloque se encuentra la falla el santuario al este la falla Coyata y al oeste la falla Guanto.

Para este bloque según estudios realizados por la empresa (ECOCARBON LTDA), dentro del programa de integración de áreas Carboníferas para la Pequeña Minería y el PTO 2009, estratigráficamente para este se reportaron 8 mantos de carbón económicamente explotables así mismo algunas cintas de carbón sin ningún interés comercial. El espesor para esta sección dio 154.5 mts que se describirán a continuación. De acuerdo a la columna estratigráfica.

### **BLOQUE GUANTO SUR**

Ctrl+Click en el título

El bloque Guanto Sur se localiza en la parte inferior de la licencia hacia el sur-este, se encuentra limitado al norte y oeste por la falla el Santuario, al sur por la falla Tópaga y al este por la falla Coyatá. Es un bloque tectónicamente muy complejo por la presencia de varias fallas mineras que interrumpen la continuidad de los carbones en profundidad. Para el bloque Guantó sur se reportan 7 mantos de carbón y algunas cintas menores a 60 cm de espesor las cuales no tienen interés económico. El espesor para esta sección dio 113 mts que se describirán a continuación

### **BLOQUE MOTUA**

Ctrl+Click en el título

El bloque Motua se localiza en la parte NE, del área de la licencia y se halla enmarcado por la falla Coyata al oeste, la falla Tópaga al sur y límites de la licencia al este y norte.

Según la columna estratigráfica levantada para este bloque se tienen siete mantos de carbón, El espesor para esta sección dio 99.8 mts que se describirán a continuación distribuidos como se muestra en la columna estratigráfica.

## ***SUPERFICIES DE DISCONTINUIDAD***

Las superficies o planos de discontinuidad es el nombre colectivo para fracturas en general y zonas de debilidad como diaclasas, fallas, planos de estratificación, de los macizos rocosos estas condicionan de una forma definitiva sus propiedades y comportamiento resistente, deformacional e hidráulico. Las discontinuidades provocan que los macizos sean más deformables y débiles por lo cual su reconocimiento, descripción y caracterización es fundamental.

## ***CARACTERÍSTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES***

Para la descripción de las diferentes familias de discontinuidades en el macizo rocoso se evaluaron las siguientes características y parámetros geométricos: orientación, espaciado, continuidad o persistencia, rugosidad, abertura, relleno, filtraciones; por medio de visitas de campo en las cuales se levantaron un total de 48 datos de discontinuidades en superficie (ver tabla) para posteriormente evaluar su influencia en la estabilidad del macizo.

Tabla 25 características de las discontinuidades

<b>No</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>Azimut</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Espaciado (mm)</b>
1	15	75	3.5	90
2	20	72	7	6
3	20	74	4.5	33
4	30	62	6	68
5	20	74	3.5	15
6	25	68	4	28
7	50	42	5	55
8	25	63	4	67
9	55	38	7	120
10	36	56	3	83
11	10	78	6	93
12	20	82	5	58
13	50	42	3	120
14	18	75	9	200
15	29	340	4	20

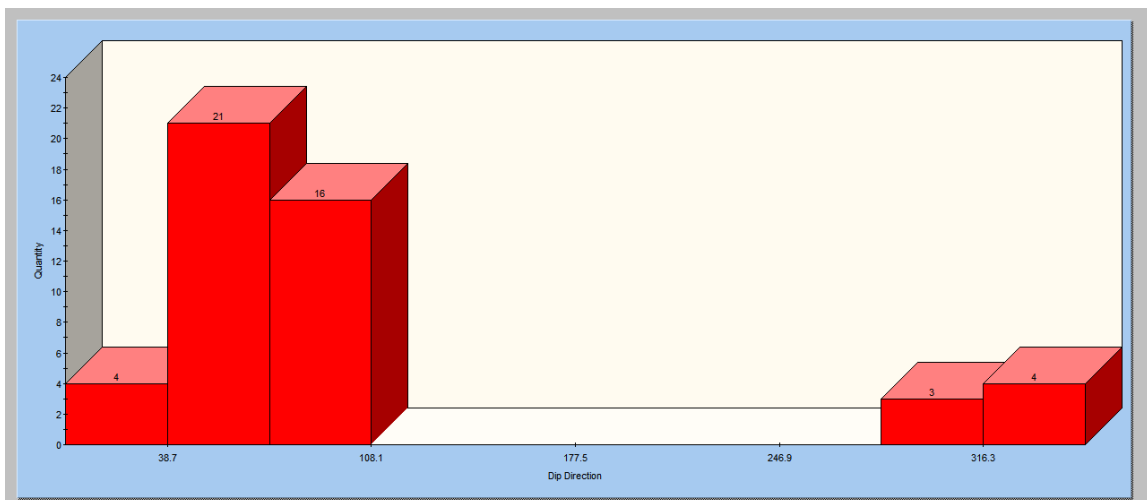
16	59	33	7	17
17	16	75	3	13
18	29	298	6	19
19	27	46	4	7
20	39	52	3	170
21	34	60	7	289
22	22	70	3	200
23	21	72	4	124
24	21	74	5	320
25	13	80	10	228
26	32	60	7	300
27	20	78	20	520
28	20	81	5	480
29	30	80	5	60
30	18	75	3	9
31	33	55	2	15
32	9	351	4	153
33	13	310	4	240
34	13	326	5	200
35	22	83	10	600
36	13	76	6	220
37	30	64	4	200
38	10	78	10	137
39	34	54	3	276
40	40	52	8	329
41	18	70	3	257
42	40	52	9	480
43	25	60	18	5
44	26	4	7	60
45	12	320	20	20
46	19	284	5	19
47	8	34	2	13
48	36	72	3	9

Fuente: Autora del proyecto

## ***ORIENTACIÓN***

La orientación de una discontinuidad está definida por su buzamiento y por su dirección de buzamiento. La representación gráfica de las discontinuidades o de su orientación permite una visión general de la geometría de los conjuntos rocosos permitiendo visualizar de una forma sencilla la orientación de la fracturación. La orientación de las discontinuidades con respecto a las estructuras u obras de ingeniería condiciona la presencia de inestabilidades y roturas a su favor.

Figura 10 Orientación de las discontinuidades



Fuente: Autora del proyecto

Según los datos de frecuencia obtenidos se observa que la zona de estudio presenta una orientación heterogénea.

La orientación predominante corresponde a los valores entre 38.7° y 108.1°.

### ***SUPERFICIES DE DISCONTINUIDAD***

Las superficies o planos de discontinuidad es el nombre colectivo para fracturas en general y zonas de debilidad como diaclasas, fallas, planos de estratificación, del macizo rocoso estas condicionan de una forma definitiva sus propiedades y comportamiento resistente, deformacional e hidráulico. Las discontinuidades provocan que el macizo sea más deformable y débil por lo cual su reconocimiento, descripción y caracterización es fundamental.

## ***CARACTERÍSTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES***

Para la descripción de las diferentes familias de discontinuidades en el macizo rocoso se evaluaron las siguientes características y parámetros geométricos: orientación, espaciado, continuidad o persistencia, rugosidad, abertura, relleno, filtraciones; por medio de visitas de campo en las cuales se levantaron un total de 48 datos de discontinuidades, que se procesaron en el software DIPS, para determinar las familias de discontinuidades presentes.

### **CLASIFICACIÓN DE FAMILIAS POR MEDIO DEL SOFTWARE DIPS**

Figura 11 diagrama de distribución de polos

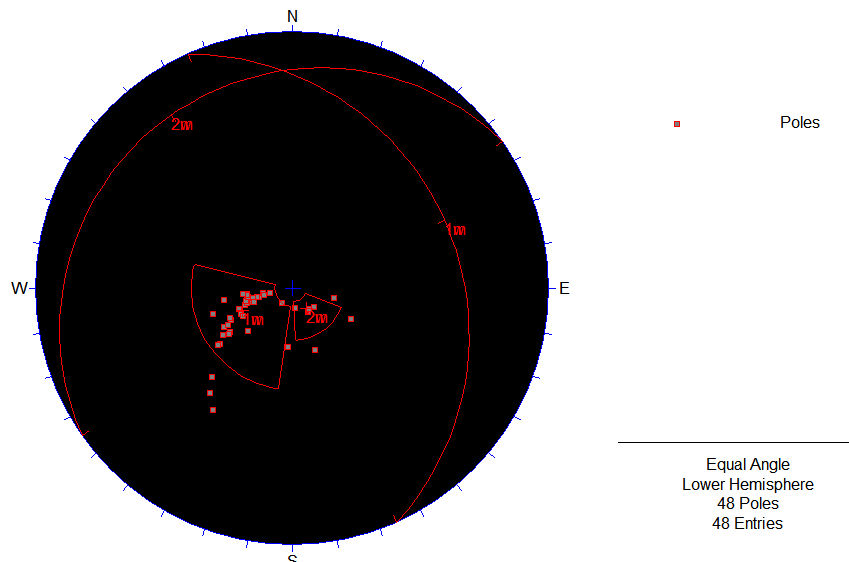
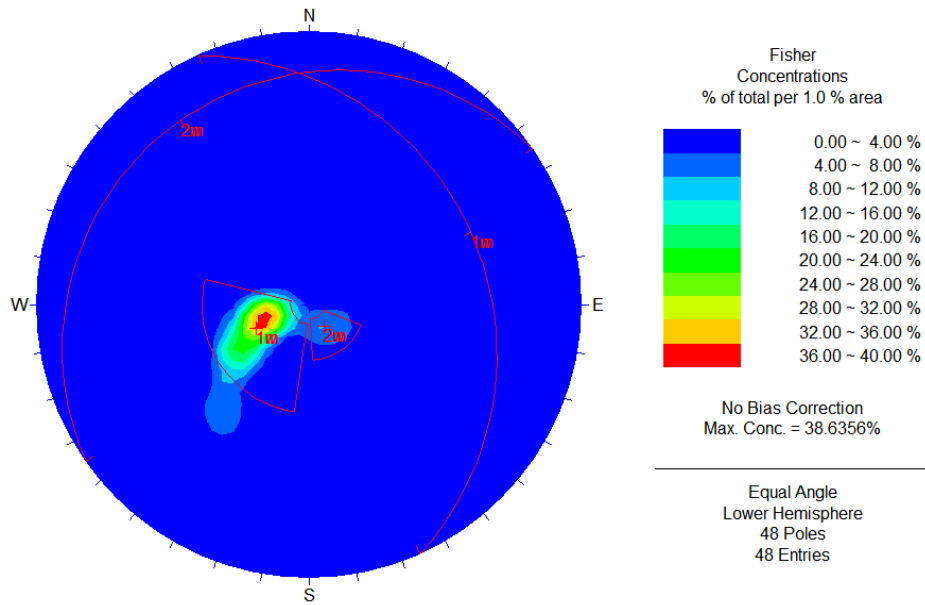


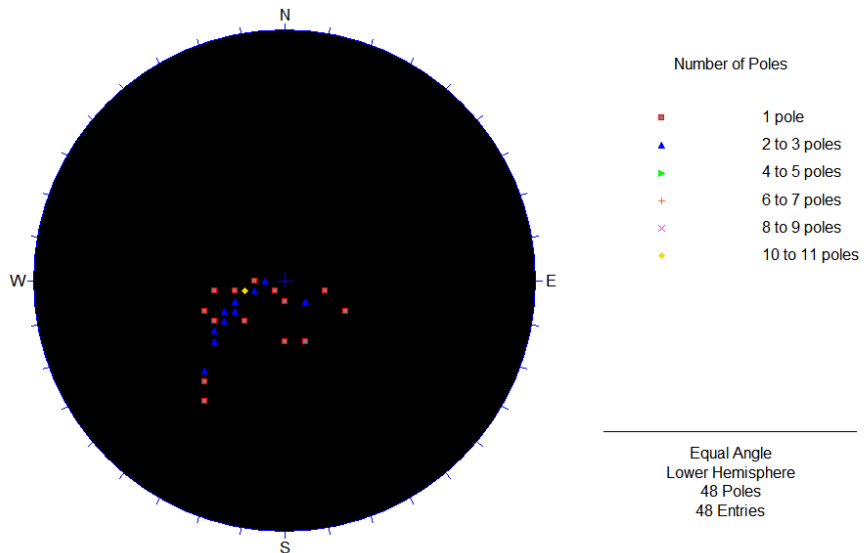


Figura 12 diagrama de contornos o frecuencias



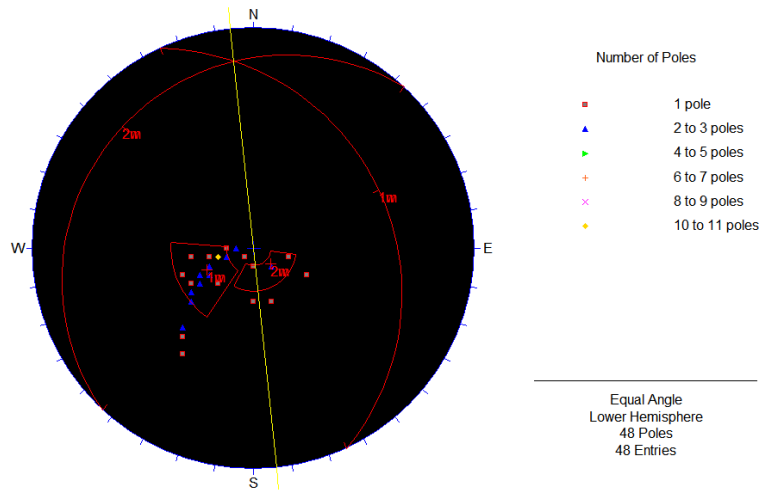
En el diagrama de contornos o frecuencias se cual muestra un total de dos familias de discontinuidades, donde la mayor concentración se encuentra en la familia 1

Figura 13 diagrama de dispersión de espaciamento



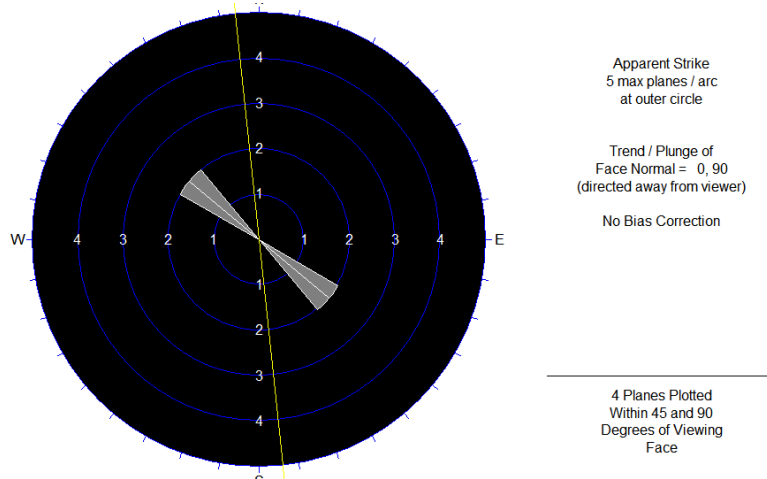
## **DIAGRAMA DE PLANOS DE FALLA**

**Figura 14 diagrama de planos de falla**



En el diagrama de planos de falla se observan los principales esfuerzos de cada una de las familias de discontinuidades presentes, como se puede observar, se genera una falla en cuña indicando que puede haber desprendimiento de roca a lo largo de la línea de intersección de dos planos como lo indica la línea amarilla para el caso el desplazamiento ocurrirá en dirección NW-SE.

**Figura 15 Diagrama roseta de juntas**



En este diagrama se observa la orientación de los planos de familias de discontinuidades, en el cual la familia principal presenta una orientación NW-SE, indicando que el avance de la explotación debe realizarse de manera perpendicular a esta es decir en dirección NE-SW.

### **ESPACIAMIENTO**

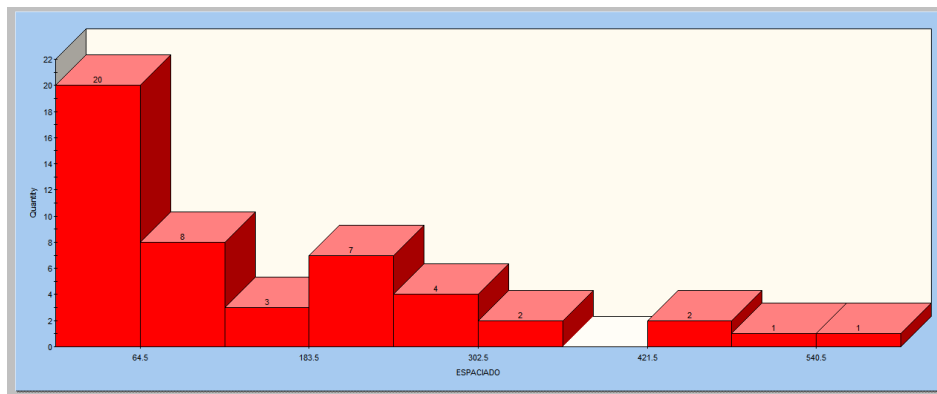
Es la distancia media perpendicular entre los planos de discontinuidad de una misma familia. Influye en el comportamiento global de macizo rocoso y define el tamaño de los bloques de matriz rocosa que forman las diferentes familias. Si los espaciados son pequeños, la resistencia del macizo rocoso disminuye de forma considerable, pudiendo en casos extremos presentar un comportamiento asimilable al de materiales granulares sin cohesión.

La Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas sugiere la tabla, donde se reconoce claramente la descripción del espaciado en metros, según el tamaño de cada discontinuidad.

Descripción	Espaciado (m)
extremadamente pequeño	< 0.02
Muy pequeño	0.02-0.06
Pequeño	0.06-0.2
Moderado	0.2-0.6
Grande	0.6-2
Muy grande	2-6
Extremadamente grande	> 6

Fuente: Libro Ingeniería geológica, González Vallejo, quién lo tomó de (ISRM, 1981).

Figura 16 Histograma de espaciado de las discontinuidades



Fuente: Autora del proyecto

Según los datos obtenidos a partir del histograma, se observa que la zona de estudio es muy heterogénea, los máximos valores de espaciamiento se presentan entre 0 y 64.5, teniendo en cuenta la tabla anterior de clasificación, la zona de estudio tiene un espaciamiento muy pequeño.

### **CONTINUIDAD**

La continuidad o persistencia de un plano de discontinuidad es su extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento. Es un parámetro de gran importancia y resulta importante destacar las familias más continuas, ya que por lo general serán estas las que condicionen principalmente los planos de rotura del macizo rocoso.

La Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas para la evaluación de la continuidad sugiere la siguiente tabla

Descripción	Dimensión (m)
Muy baja continuidad	< 1
Baja continuidad	1-3
Continuidad media	3-10
Alta continuidad	10-20
muy alta continuidad	> 20

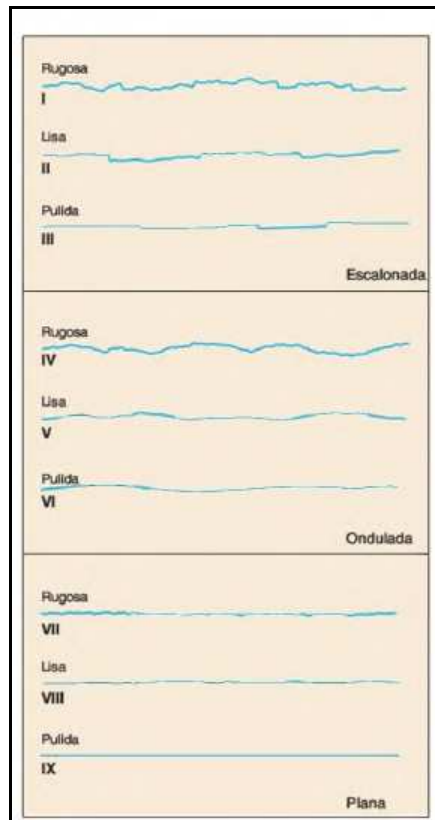
FUENTE: Libro Ingeniería geológica, González Vallejo, quién lo tomó de (ISRM, 1981).

Definir la Continuidad del macizo es un poco difícil ya que la zona presenta una heterogeneidad en varios aspectos. Sin embargo según el promedio de longitudes obtenidas se puede clasificar en el rango de **Baja Continuidad**.

### ***RUGOSIDAD***

Es caracterizada por la aspereza y la ondulación de la discontinuidad. La descripción y medida de la rugosidad tiene como principal finalidad la evaluación de la resistencia al corte de los planos, que para discontinuidades sin cohesión puede ser estimada a partir de datos de campo y de expresiones empíricas, este parámetro aumenta la resistencia al corte, que decrece con el aumento de la abertura y, por lo general, con el espesor de relleno.

Para definir el grado de rugosidad la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas sugiere el siguiente esquema:



FUENTE: Libro Ingeniería geológica, González Vallejo, quién lo tomó de (ISRM, 1981).

En la zona de estudio se presentan discontinuidades escalonadas las cuales según el esquema de perfiles de rugosidad se clasificaría como nivel I; discontinuidad **ESCALONADA RUGOSA**.

#### **RESISTENCIA DE LAS PAREDES DE LA DISCONTINUIDAD**

La resistencia de la pared de una discontinuidad influye en su resistencia al corte y en su deformabilidad. Depende del tipo de matriz rocosa, del grado de alteración y de la existencia o no de relleno. En el presente estudio esta se evalúa según el siguiente cuadro:

Clase	Descripción	Identificación de campo	Aproximación al rango de resistencia a compresión simple (MPa)
$S_1$	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0,025
$S_2$	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0,025-0,05
$S_3$	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo.	0,05-0,1
$S_4$	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo.	0,1-0,25
$S_5$	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña.	0,25-0,5
$S_6$	Arcilla dura	Se marca con dificultad al presionar con la uña.	> 0,5
$R_0$	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0,25-1,0
$R_1$	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo. Con una navaja se talla fácilmente.	1,0-5,0
$R_2$	Roca blanda	Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas.	5,0-25
$R_3$	Roca moderadamente dura	No puede tallarse con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo.	25-60

FUENTE: Libro Ingeniería geológica, González Vallejo, quién lo tomó de (ISRM, 1981).

El macizo rocoso estudiado como lo son los carbones lo podemos clasificar; Como R<sub>4</sub> que corresponde a Roca dura, ya que se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla. Esta clasificación se hace también de acuerdo al resultado obtenido en laboratorio de resistencia a la compresión simple donde se obtuvo un valor de 65.28 Mpa.

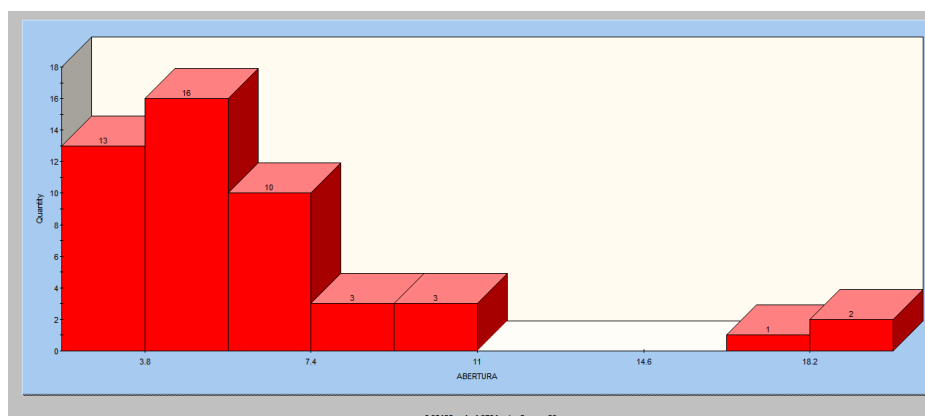
### **ABERTURA**

La abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. La influencia de la abertura en la resistencia al corte de la discontinuidad es importante incluso en discontinuidades muy cerradas, al modificar las tensiones efectivas que actúan sobre las paredes. Para evaluar este parámetro la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas sugiere el siguiente cuadro:

DESCRIPCIÓN	ABERTURA
<b>MUY CERRADA</b>	< 0,1 mm
<b>CERRADA</b>	0,1-0,25 mm
<b>PARCIALMENTE ABIERTA</b>	0,25-0,5mm
<b>ABIERTA</b>	0,5-2,5 mm
<b>MODERADAMENTE ANCHA</b>	2,5-10mm
<b>ANCHA</b>	>10 mm
<b>MUY ANCHA</b>	1-10 cm
<b>EXTREMADAMENTE ANCHA</b>	10-100 cm
<b>CAVERNOSA</b>	>100 cm

FUENTE: Libro Ingeniería geológica, González Vallejo, quién lo tomó de (ISRM, 1981).

Figura 17 Histograma de la abertura



FUENTE: autora del proyecto

De acuerdo al histograma generado con los datos tomados en campo, se observa que hay datos muy cercanos pudiendo concluir que la zona de estudio presenta una abertura **parcialmente abierta** ya que presenta una alta cantidad de valores  $\leq 10\text{mm}$ .

### ***RELLENO***

Son materiales que se encuentran dentro de las discontinuidades los cuales se insertan entre los poros desplazando el agua y uniendo más compactamente los sedimentos.

### ***FILTRACIONES***

El agua en el interior de un macizo rocoso procede generalmente del flujo que circula por las discontinuidades (permeabilidad secundaria), Las observaciones respecto a las filtraciones en discontinuidades, tanto si se presentan rellenas como si aparecen limpias, pueden seguir las siguientes descripciones establecidas por la ISRM.

Clase	Discontinuidades sin relleno	Discontinuidades con relleno
I	Junta muy plana y cerrada. Aparece seca y no parece posible que circule agua.	Relleno muy consolidado y seco. No es posible el flujo de agua.
II	Junta seca sin evidencia de flujo de agua.	Relleno húmedo pero sin agua libre.
III	Junta seca pero con evidencia de haber circulado agua.	Relleno mojado con goteo ocasional.
IV	Junta húmeda pero sin agua libre.	Relleno que muestra señales de lavado, flujo de agua continuo (estimar el caudal en l/min.).
V	Junta con rezume, ocasionalmente goteo pero sin flujo continuo.	Relleno localmente lavado, flujo considerable según canales preferentes (estimar caudal y presión).
VI	Junta con flujo continuo de agua (estimar el caudal en l/min. y la presión).	Rellenos completamente lavados, presiones de agua elevadas.

Fuente: Libro Ingeniería geológica, González Vallejo, quién lo tomó de (ISRM, 1981).

Según lo observado en campo se determina que la zona de estudio presenta discontinuidades con relleno, clasificado en clase II con relleno que muestra señales de Relleno húmedo pero sin agua libre.

#### **TAMAÑO DEL BLOQUE Y GRADO DE FRACTURACIÓN**

El tamaño de los bloques que forman el macizo rocoso condiciona de forma definitiva su comportamiento sus propiedades resistentes y deformaciones.

La dimensión y la forma de los bloques están definidas por el número de familias de discontinuidades, su orientación, su espaciado y su continuidad.

Para cuantificar el tamaño de bloque se emplea el contador volumétrico de juntas

Jv se define como la suma del número de juntas por metro cubico, para cada familia de juntas presentes.

Descripción	Jv, juntas/m <sup>3</sup>
Bloques muy grandes	< 1
Bloques grandes	1 – 3
Bloques medios	3 –10
Bloques pequeños	10 –30
Bloques muy pequeños	> 30

FUENTE: Libro Ingeniería geológica, González Vallejo, quién lo tomó de (ISRM, 1981).

Descripción del tamaño de bloque en función del número de discontinuidades

$$Jv = 5/10 + 8/10$$



$J_v = 1.3$  juntas/m

De acuerdo con la tabla el tamaño del bloque para el área de estudio se encuentra entre los rangos de 1 a 3 que corresponde a **Bloques Grandes**.

### ***RQD***

Es el índice de calidad de la roca.

Comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro cúbico ( $J_v =$  Joint Volumétric number), determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural en el área o zona predeterminada de la operación minera.

### **Para Carbones**

$$RQD = 115 - (3.3) J_v$$

Dónde:  $J_v =$  número de fisuras por metro cúbico

$$RQD = 115 - (3.3) (9) = \mathbf{85.3\%}$$

### **Para areniscas**

$$RQD = 115 - (3.3) J_v$$

Dónde:  $J_v =$  número de fisuras por metro cúbico

$$RQD = 115 - (3.3) (15) = \mathbf{65.5\%}$$

### **Para arcillas**

$$RQD = 115 - (3.3) J_v$$

Dónde:  $J_v =$  número de fisuras por metro cúbico

$$RQD = 115 - (3.3) (12) = \mathbf{75.4\%}$$

## **CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (Bienaiwsky, 1989).**

Desarrollado por Bienaiwsky, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento de túneles.

El parámetro que define la clasificación es el denominado índice RMR (ROCK MASS RATING), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

- Resistencia a compresión simple de la roca intacta
- RQD
- Espaciamiento de discontinuidades
- Condición de las discontinuidades
- Condiciones de agua subterránea
- Orientación de discontinuidades

Tabla 26 Clasificación geomecánica RMR (Bieniawsky, 1989).

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	3		
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 la discontinuidad	<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	3	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 alterad	Moderadamente alterad	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Nivel freático	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litro/mm	10-25 litros/mm	25-125 litros/mm	>125 litros/mm		
		Relación: presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		

	<b>Estado general</b>	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	<b>Goteando</b>	Agua fluyendo
	Puntuación	15	10	7	<b>4</b>	0

Fuente: Bienaiwsky, 1989

Tabla 27 Tabla resumen de clasificación RMR.

Para carbones			Para Arcillas		
PARAMETRO	VALOR	PUNTAJACIÓN	PARAMETRO	VALOR	PUNTAJACIÓN
UCS (Mpa)	5 - 25	2	UCS (Mpa)	1 - 5	1
RQD	75-90	17	RQD	75-90	17
ESPACIAMIENTO	0,06 - 0,2 m	8	ESPACIAMIENTO	0,06 - 0,2 m	8
CONTINUIDAD	1 - 3 m	4	CONTINUIDAD	1 - 3 m	4
ABERTURA	1 - 5 mm	1	ABERTURA	1 - 5 mm	1
RUGOSIDAD	Rugosa	5	RUGOSIDAD	Rugosa	5
RELLENO	Relleno duro <5mm	4	RELLENO	Relleno duro >5mm	2
ALTERACION	Moderadamente alterad	3	ALTERACION	Moderadamente alterad	3
INFILTRACION	Goteando	4	INFILTRACION	Goteando	4
<b>TOTAL</b>		<b>48</b>	<b>TOTAL</b>		<b>45</b>

Para Areniscas		
PARÁMETRO	VALOR	PUNTAJACIÓN
UCS (Mpa)	5 - 25	2
RQD	75-90	17
ESPACIAMIENTO	0,06 - 0,2 m	8
CONTINUIDAD	1 - 3 m	4
ABERTURA	1 - 5 mm	1
RUGOSIDAD	Rugosa	5
RELLENO	Relleno duro <5mm	4
ALTERACION	Moderadamente alterad	5
INFILTRACION	Ligeramente Húmedo	10
<b>TOTAL</b>		<b>56</b>

Tabla 28 Categorías de clasificación RMR.

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

FUENTE: Bienaiwsky, 1989.

Según los datos obtenidos la clasificación RMR para el caso de los carbones se clasifica en clase III calidad media con una valoración correspondiente a 48 (RMR) con una cohesión aproximada de 2-3 kg/cm<sup>2</sup>, y un ángulo de rozamiento de 25°-35°. Para el caso de las arcillas se clasifica en clase III calidad media con una valoración correspondiente a 45 (RMR) con una cohesión aproximada de 2-3 kg/cm<sup>2</sup>, y un ángulo de rozamiento de 25°-35°. Y para el caso de las areniscas se clasifica en clase III calidad media con una valoración correspondiente a 56 (RMR) con una cohesión aproximada de 2-3 kg/cm<sup>2</sup>, y un ángulo de rozamiento de 25°-35°.

Según la clasificación propuesta por Bienaiwsky y con los resultados RMR, el macizo rocoso presenta una calidad media, lo cual indica que se encuentra en un rango promedio, haciendo notar que los carbones, por ser una minería subterránea puede llegar a verse afectada en alguno o varios de los factores estudiados y la calidad del macizo tenderá también a modificarse disminuyendo la estabilidad del mismo ocasionando graves daños.

## CONCLUSIONES

- En la zona de estudio se encontraron Arcillas de la formación Guaduas, areniscas de la formación Guaduas y principalmente carbones de la formación Guaduas, los cuales actualmente son explotados, pero su estabilidad se ve afectada por la alta sismicidad debido a la presencia de fallas. Además de esto la zona se ve afectada por la actividad minera subterránea que allí se realiza.
- La cooperativa Cooprocabón Sugamuxi posee tres bloques carboníferos delimitados por fallas regionales los cuales se denominan bloque Guanto Norte, Bloque Guanto Sur y Bloque Motua.
- El presente estudio se realizó con la clasificación propuesta por Bieniawski, la cual se concluyó clasificando el macizo rocoso como clase III calidad media con una valoración correspondiente al rango 60-41 (RMR) con una cohesión aproximada de 2-3 kg/cm<sup>2</sup>, y un ángulo de rozamiento de 25°-35°. Indicando que es medianamente estable pero al variar alguna de las condiciones estudiadas este podría tender a fallar.

SIGLA	LITOLOGÍA	RMR	CLASE	CALIDAD
ARC	Arcillolita	45	III	Media
SS	Areniscas	56	III	Media
CR	carbón	48	III	Media

- Con el trabajo realizado con el programa Dips se pudo establecer dos familias de discontinuidades.
- Observando las características geomecánicas de la zona se encontró un movimiento de remoción en masa entre el bloque Guantó Norte y el bloque Motua, además allí se presenta el paso de la falla Tópaga, la Falla Coyata, y el anticlinal de Tierramiqui.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda instalar piezómetros en sitios estratégicos con el fin de monitorear el nivel freático, como también realizar obras ambientales para el tratamiento de las aguas subterráneas que se presentan en las minas como también el manejo de los materiales estériles los cuales generan recarga sobre los taludes.
- Se recomienda realizar un análisis detallado de estabilidad de taludes, (se puede utilizar la información generada en este trabajo), específicamente en el deslizamiento (movimiento de remoción en masa) que se presenta entre la zona del bloque Guanto Norte y la zona del bloque Motua.
- Se recomienda realizar actividad minera buscando integrar las labores mineras que se encuentran sobre el mismo manto para un mejor aprovechamiento de las reservas mineras.
- Se recomienda hacer un estudio más detallado para cada uno de los bloques carboníferos incluyendo perforaciones profundas.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALVARADO, B.; SARMIENTO, R.1944.** Informe Geológico sobre los yacimientos de hierro, carbón y caliza de la región de Paz del Río, Departamento de Boyacá. Serv. Geol. Nal., Informe 468. Bogotá.

**Abril Nebardo. 2008.** Mecánica de Suelos. Notas de Clase. UPTC

**BIENIAWSKI, Z, T.,** 1989, Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley and sons, Inc.

**ECOCARBÓN-INGEOMINAS, 1997.** Programa Normalización de Recursos y Reservas de carbón (departamento de Boyacá) Áreas Carboníferas Checua Lenguaque, Suesca Albarracín, Tunja Paipa Duitama.

**GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. I.,** 2004. Ingeniería Geológica. Ed. Pearson Educación S.A. (Prentice Hall). España.

**Hudson, J. A. (1989).** Rock mechanics principles in engineering practice. Butterworths. Ciria. London.

**REŞAT ULUSAY. (ISRM).1981.** Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested methods. Ed. E.T. Brown. Pergamon Press.

**Reyes Italo. 1984.** Geología de la región de Duitama, Sogamoso – Paz del Río (Departamento de Boyacá). Bilioteca UPTC. Sogamoso

**Sarmiento. G. 1994.** Estratigrafía, palinología y paleoecología de la formación Guaduas (Maastrichtiano – Paleoceno) Colombia. Ingeominas, Publ. Geol. Esp., (20) 192 p. Bogotá.

**ULLOA C.E.; Rodriguez E; Fuquen J; Acosta J.E.,** 2001. Geología de la plancha 192. INGEOMINAS. Memoria explicativa, Bogotá.

**Ulloa. C; Rodriguez E. 1976.** Geología del cuadrángulo K12 Guateque ingeominas, Informe 1701. Bogotá.

**Van der HAMMEN.T. 1957.,** Estratigrafía cordillera oriental de Colombia. Ingeominas, Bol. Geol., 5(2): 189-203.Bogotá.

<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6380/1/CAPITULO%206.pdf>  
pag 9,13

<http://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/TEMA05.htm>

<http://ocw.uis.edu.co/>