

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MANTOS DE  
CARBÓN DE LA FORMACIÓN GUADUAS EN LOS MUNICIPIOS DE TAUSA,  
CUCUNUBÁ, Y RÁQUIRA – SAMACÁ. SINCLINALES CHECUA –  
LENGUAZAQUE Y GUACHETÁ.**

**MARCEL HERNANDO VEGA MANZANO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA**

**2004**

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MANTOS DE  
CARBÓN DE LA FORMACIÓN GUADUAS EN LOS MUNICIPIOS DE TAUSA,  
CUCUNUBÁ, Y RÁQUIRA – SAMACÁ. SINCLINALES CHECUA –  
LENGUAZAQUE Y GUACHETÁ.**

POR:

MARCEL HERNANDO VEGA MANZANO

Informe de practica empresarial presentado para optar por el titulo de Geólogo.

Director:

Geo. PhD. Mario García González

Tutor:

Ing. Geo. Víctor Andrés Ramos Díaz

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA**

**2004**

## **DEDICATORIA**

A mi mamá Maria, a mamá Chias y a mi hijo Esteban.

A los miles de Colombianos que han muerto y que mueren día a día combatiendo este sistema político oligárquico, corrupto, terrorista, por que anhelaron y lucharon, anhelan y luchan una patria con trabajo, pan, techo, salud, educación, democracia, libertad e independencia y dignidad nacional.

Y en especial a:

A Orlando y Miguel, compañeros de trabajo que se quedaron en una de estas minas cumpliendo con su labor. Que en paz descansen.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis tíos.

A Stella por ser la madre de ese bebé tan hermoso. Te quiero.

A mis amigos de infancia por ayudarme a crecer.

A mis amigos de Universidad por ayudarme a ser mejor persona y menos egoísta.

A mis amigos en COLMINAS por darme soporte en una de las etapas más duras de mi vida.

Al Ingeniero Fernando Carvajal por haber hecho el esfuerzo de preocuparse por nosotros en su empresa.

A la inmensa mayoría de profesores de Geología UIS por mostrarme el camino de lo que uno NO DEBE SER como persona, y como profesional docente.

## **CONTENIDO**

### **1. INTRODUCCIÓN.**

	Pág.
<b>1.1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. LOCALIZACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. ESTUDIOS ANTERIORES.....</b>	<b>6</b>
<b>1.5. METODOLOGÍA.....</b>	<b>6</b>

### **2. MARCO GEOLÓGICO.**

<b>2.1. TECTÓNICA. ....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. GEOMORFOLOGÍA. ....</b>	<b>9</b>
<b>2.3. MARCO ESTRATIGRÁFICO. ....</b>	<b>10</b>
2.3.1. GRUPO GUADALUPE .....	10
▪ Formación Arenisca Dura .....	11
▪ Formación Plaeners .....	11

▪ Formación Arenisca Labor y Los Pinos .....	11
▪ Formación Arenisca Tierna .....	11
2.3.2. FORMACIÓN GUADUAS .....	12
▪ Nivel Ktg1 .....	12
▪ Nivel Ktg2 .....	13
▪ Nivel Ktg3 .....	14
▪ Nivel Ktg4 .....	14
▪ Nivel Ktg5 .....	15
2.3.3. FORMACIÓN CACHO .....	15
2.3.4. DEPOSITOS CUATERNARIOS .....	15
▪ Cuaternario Aluvial .....	15
▪ Cuaternario Coluvial .....	15

### **3. RESULTADOS.**

<b>3.1. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA.</b> .....	16
3.1.1. BLOQUE ALTIPLANO – SIPRI .....	17

3.1.2. BLOQUE MONTECRISTO .....	20
3.1.3. BLOQUE PALOBLANCO – ALICANTE .....	23
<b>3.2. ESTRATIGRAFÍA. ....</b>	<b>24</b>
3.2.1. BLOQUE ALTIPLANO – SIPRI .....	25
3.2.2. BLOQUE MONTECRISTO .....	29
3.2.3. BLOQUE PALOBLANCO – ALICANTE .....	31
<b>3.3. CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA. ....</b>	<b>33</b>
<b>3.4. PATRONES DE FRACTURAMIENTO. ....</b>	<b>34</b>
3.4.1. BLOQUE PALOBLANCO – ALICANTE .....	35
▪ Zona Paloblanco .....	37
▪ Zona Alicante .....	37
3.4.2. BLOQUE MONTECRISTO .....	38
▪ Bloque Norte .....	39
▪ Bloque Sur .....	40
3.4.3. ANÁLISIS DE DIAGRAMAS ROSETAS .....	41

3.4.4. RESULTADOS .....	42
▪ Bloque Alicante – Paloblanco .....	42
▪ Bloque Montecristo .....	43

## **4. MECÁNICA DE ROCAS. MARCO TEORICO.**

<b>4.1. MACIZO ROCOSO. ....</b>	<b>46</b>
4.1.1. INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA. ROCK QUALITY DESIGNATION (RQD).....	48
<b>4.2. BLOQUE CRITICO. ....</b>	<b>50</b>
4.2.1. MODOS DE FALLA .....	51
4.2.2. SUPOSICIONES DE LA TEORÍA DEL BLOQUE .....	52
4.2.3. EL SISTEMA KEYBLOCK .....	53
<b>4.3. APLICACIONES DE LOS DIAGRAMAS POLARES EQUIAREALES. ....</b>	<b>55</b>
4.3.1. ESFUERZOS TECTONICOS RESIDUALES POTENCIALES .....	56
<b>4.4. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICAS DE ARCILLAS Y CARBONES. ....</b>	<b>57</b>

4.4.1. ENSAYOS .....	58
▪ Compresión Simple .....	60
▪ Humedad .....	60
▪ Expansión y Desleimiento – Durabilidad .....	60
▪ Resistencia al Corte .....	62
<b>CONCLUSIONES</b> .....	66
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	68
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	70

## **LISTADO DE ANEXOS**

Los anexos pueden ser vistos en la carpeta de anexos que acompaña este informe en el disco de software acompañante, con el programa AUTOCAD 2000.

ANEXO 1: Mapa geológico del Bloque Altiplano – Sipri

ANEXO 2: Columna estratigráfica del Bloque Altiplano – Sipri.

ANEXO 3: Mapa geológico del Bloque Montecristo.

ANEXO 4: Columna estratigráfica del Bloque Montecristo.

ANEXO 5: Mapa geológico del Bloque Paloblanco – Alicante.

ANEXO 6: Columna estratigráfica del Bloque Paloblanco – Alicante.

## LISTADO DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1: Mapa localización de los bloques trabajados, dentro del área carbonífera del sinclinal Checua – Lenguazaque. ....	3
Figura 2: Columna estratigráfica generalizada para la Formación Guaduas. ....	13
Figura 3: Correspondencia de las subdivisiones de la Formación Guaduas. ....	14
Figura 4: Diagrama roseta correspondiente al área total del Bloque Paloblanco – Alicante.....	36
Figura 5: Diagrama roseta correspondiente al área total de la superficie del Bloque Paloblanco – Alicante.....	36
Figura 6: Diagrama roseta correspondiente al área de la Zona Paloblanco. ....	37
Figura 7: Diagrama roseta correspondiente al área de la zona Alicante.....	38
Figura 8: Diagrama roseta correspondiente al área total del Bloque Montecristo.....	38
Figura N° 9: Diagrama roseta correspondiente al área superficial total del Bloque Montecristo.....	39
Figura 10: Diagrama roseta correspondiente al área del Bloque Norte en Montecristo.....	40
Figura 11: Diagrama roseta correspondiente al área del Bloque Sur de Montecristo.....	40

Figura 12: Diagrama roseta correspondiente al área de la Cruzada la 12.....	41
Figura 13: Diagramas de polos para las diaclasas totales del Bloque Alicante – Paloblanco.....	43
Figura 14: Diagrama de polos para las diaclasas totales del Bloque Montecristo.....	44
Figura 15: Clasificación RQD.....	49
Figura 16: Parámetros de la Clasificación RMR y Q. ....	50
Figura N° 17: Modos de falla de excavaciones de roca.....	51
Figura N° 18: Key Block.....	53
Figura N° 19: Tipos de bloque.....	54
Figura N° 20: Tipos de Bloque.....	55
Figura N° 21: Diagrama de esfuerzos sobre un cuerpo rígido de forma cuadrada, visto en 2 dimensiones.....	59
Figura N° 22: Envolverte de Mhor. ....	59
Figura N° 23: Equipo utilizado para ensayos de desleimiento – durabilidad.....	61
Figura N° 24: Influencia del número de ciclos de desleimiento en el ensayo desleimiento – durabilidad.....	62

Figura N° 25: Equipo utilizado para el ensayo de Corte Directo.....	63
Figura N° 26: Gráficos Esfuerzo cortante – desplazamiento. ....	64
Figura N° 27: Grafico Esfuerzo cortante – Esfuerzo normal. ....	65

## LISTADO DE FOTOGRAFIAS

	Pág.
Fotografía N° 1: Pliegues sobre paquetes de areniscas del Nivel Ktg3.....	18
Fotografía N° 2: Panorámica del sub-bloque oriental de la mina Altiplano – Sipri.....	19
Fotografía N° 3: Estructura sinclinal-anticlinal en el sector de SIPRI – CEBOLLAS, formada sobre los bancos arenosos de la arenisca Tierna del Grupo Guadalupe ( Municipio de Samacá, Boyacá).....	20
Fotografía 4: Nivel 1 de la formación Guaduas. ....	26
Fotografía N° 5: Escarpe típico de la Formación Arenisca Tierna del grupo Guadalupe. ....	27
Fotografía N° 6: Escarpe formado por las areniscas del Grupo Guadalupe. Depósitos aluviales y coluviales que cubren el primer nivel de la Formación Guaduas (Ktg1). Sector Montecristo.....	29
Fotografía N° 7: Secuencia sobre el nivel 2 de la Formación Guaduas.....	30
Fotografía N° 8: Paquetes tabulares de arenisca La Lajosa.....	32

## RESUMEN

**TITULO:** CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MANTOS DE CARBÓN DE LA FORMACIÓN GUADUAS EN LOS MUNICIPIOS DE TAUSA, CUCUNUBÁ, Y RÁQUIRA – SAMACÁ. SINCLINALES CHECUA – LENGUAZAQUE Y GUACHETÁ\*

**Autor:** VEGA MANZANO, Marcel Hernando\*\*

**Palabras Claves:** Sinclinal Checua - Lenguazaque, Formación Guaduas, Cartografía Geológica, estratigrafía, Caracterización Geomecánica.

Colminas S.A. es una empresa que explota los mejores carbones coquizables de Colombia en el altiplano de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Estos carbones pertenecen a la Formación Guaduas ubicada sobre el Flanco Occidental del Sinclinal Checua – Lenguazaque y Guachetá, que se extiende por más de 60 kilómetros desde el norte de la Sábana de Bogotá hasta el valle de Samacá,\*\* en la Cordillera Oriental de Colombia. La Formación Guaduas de edad Maastrichtiano Superior a Paleoceno Inferior, consta de una sucesión de arcillolitas y limolitas ricas en materia orgánica, intercaladas con areniscas cuarzosas de color blanco y mantos de carbón. Está infrayacida por los bancos de areniscas de la Formación Arenisca Tierna del Grupo Guadalupe de edad Cretácico Superior, Maastrichtiano y suprayacida por las areniscas de la Formación Cacho de edad Terciaria, Paleoceno inferior.

La empresa tiene áreas de explotación en los municipios de Samacá (Boyacá), Guachetá, Cucunubá y Tausa (Cundinamarca), donde se realizó la práctica empresarial que consistió en mejorar la información geológica existente, con la finalidad de hacer una minería subterránea a mayor escala y tecnificada.

Los resultados de la práctica empresarial apuntan a unificar criterios en cuanto a número, posición y nombre de los mantos de carbón, por medio de una cartografía geológica a escala 1:5000 y estratigrafía a detalle a escala 1:200. Además se dejan unas primeras bases teóricas de mecánica de rocas con el fin de optimizar los sostenimientos de las galerías subterráneas, en este proceso de mejoramiento tecnológico, para lo cual se hizo una toma sistemática del sistema de diaclasado en algunas de las minas en poder de Colminas S.A. y la elaboración de diagramas rosetas, así como una serie de recomendaciones en cuanto a los ensayos necesarios en caracterización geomecánica

---

\* Modalidad práctica empresarial.

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Geología, Director: Geo. PhD. Mario García González.

## ABSTRACT

**TITLE:** GEOLOGIC CARTOGRAPHY AND CHARACTERIZATION OF THE COAL MANTLES OF FORMATION GUADUAS IN THE MUNICIPALITIES OF TAUSA, CUCUNUBÁ, AND RÁQUIRA - SAMACÁ. SINCLINALES CHECUA - LENGUAZAQUE AND GUACHETÁ \*

**Author:** VEGA MANZANO, Marcel Hernando.\*\*

**Key words:** Sinclinal Checua - Lenguazaque, Guaduas Formation, geologic cartography, stratigraphy, geomechanic characterization.

Colminas S.A. is a company that operates best coquizable coals of Colombia in the plateau of the departments of Cundinamarca and Boyacá. These coals belong to the Guaduas Formation located on the Western Flank of the Sinclinal Checua - Lenguazaque and Guachetá, that extends by more than 60 kilometers from the north of the Sheet of Bogota to the valley of Samacá, in the Eastern Mountain range of Colombia. The Guaduas Formation of Maastrichtiano age Superior to Inferior Paleoceno, consists of a succession of arcillolitas and limolitas rich in organic matter, put in with arenaceous quartzous of white color and coal mantles. She is infralain by the banks of arenaceous of the Tender Arenaceous Formation of the Guadalupe Group of age Superior Cretácico, Maastrichtiano and supralain by arenaceous of the Formation the Piece of Tertiary age, inferior Paleoceno.

The company has areas of operation in the municipalities of Samacá (Boyacá), Guachetá, Cucunubá and Tausa (Cundinamarca), where the enterprise practice consisted of improving the existing geologic information, with the purpose was made of doing a mining underground on greater scale and technified.

The results of the work aim to unify criteria as far as number, position and name of the coal mantles, by means of a geologic cartography on scale 1:5000 and stratigraphy to detail at scale 1:200. In addition first theoretical bases of rock mechanics are left with the purpose of optimizing the supports of the underground galleries, in this process of technological improvement, for which a systematic taking became of the diaclasado system of in some of the mines in being able of Colminas S.A. and the elaboration of diagrams rosettes, as well as a series of recommendations as far as the necessary tests in geomechanic characterization.

---

\* Grade practice managerial modality.

\*\* Physical and Chemical Engineering Faculty. Geology School. Director: Geo, PhD. Mario García González.

## **1. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1. ANTECEDENTES.**

La empresa COLMINAS S.A. en su necesidad de tecnificar la explotación del carbón elaboró un plan para caracterizar el yacimiento con el objetivo de desarrollar la minería a mayor escala. En el área del sector Cundiboyacense, la formación Guaduas es productora de los mejores carbones coquizables del país. Con un adecuado conocimiento del yacimiento, por medio de una Geología bien definida y ajustada en todo momento, se puede hacer un buen planeamiento minero que reduciría ostensiblemente los gastos sobre la inversión necesaria para la reactivación minera subterránea, sobre todo cuando se trata de optimizar la extracción del mineral haciendo una minería más tecnificada, que en términos reales significaría, para cualquier empresa, una reducción en sus gastos, y por lo tanto mayores ganancias, además de un mejoramiento en las condiciones de seguridad y calidad de vida para el trabajador minero.

Se incluye en este informe, de forma muy sintetizada, un capítulo sobre Caracterización Geomecánica donde se contemplan los temas de macizo rocoso, teoría del bloque crítico y una breve descripción de los ensayos de roca en laboratorio, necesarios para caracterizar geomecánicamente arcillas y carbones. Esta resumida descripción responde a la necesidad de dejar una primera base teórica y metodológica con el fin de que el departamento de Geología de COLMINAS S.A., en futuros trabajos de práctica empresarial o proyectos de grado, pueda realizar una caracterización geomecánica de mantos de carbón y respaldos, como cimiento investigativo a los grandes proyectos en vía de realización por parte de la empresa COLMINAS S.A.

## **1.2. OBJETIVOS.**

### 1.2.1. GENERAL

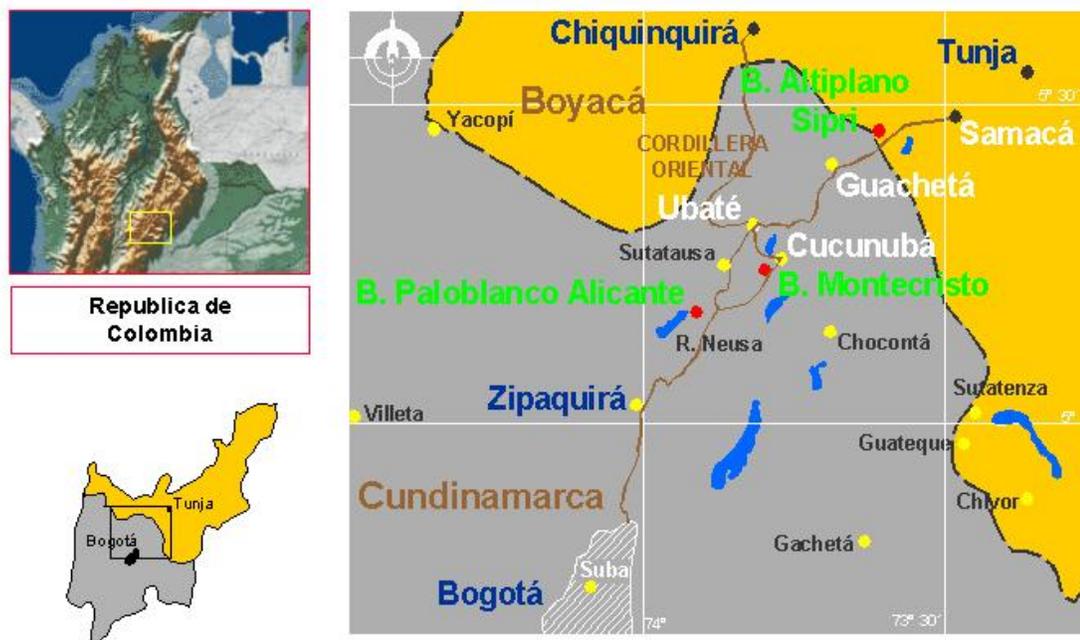
Ajustar la información geológica existente, realizando cartografía y litoestratigrafía a detalle, determinación de patrones de fracturamiento, para los sectores de la mina Montecristo en el Municipio de Cucunubá (Cundinamarca), Mina Paloblanco – Alicante del Municipio de Tausa (Cundinamarca) y Mina Altiplano – Cerros de los Municipios de Raquira y Samacá (Boyacá).

### 1.2.2. ESPECIFICOS

- Elaboración de la cartografía de las minas mencionadas a escala 1:2000 y 1:5000.
- Levantamiento de columnas estratigráficas a detalle escala 1:200.
- Determinación de los patrones de fracturamiento para las minas Montecristo y Paloblanco – Alicante, realizando un levantamiento a detalle de los datos estructurales de diaclasamiento en superficie y al interior de los trabajos mineros.
- Seguimiento permanente del avance de las galerías y transversales con el fin de mantener un control del comportamiento estructural del desarrollo minero.
- Sentar las bases para unos primeros trabajos sobre mecánica de rocas para determinar las características geomecánicas de los respaldos y mantos de carbón en las zonas explotadas por la empresa.

### 1.3. LOCALIZACIÓN

El trabajo realizado para la empresa COLMINAS S.A., con el fin de suministrar datos para el futuro desarrollo minero a gran escala, se efectuó en tres bloques de importancia fundamental para el desarrollo de la minería subterránea de carbones coquizables del altiplano Cundiboyacense. Estos tres bloques corresponden a: a) Bloque Paloblanco – Alicante, b) Bloque Montecristo y c) Bloque Altiplano – Sipri. Ver figura 1.



**Figura 1:** Mapa de localización de los bloques trabajados, dentro del área carbonífera del sinclinal Checua – Lenguazaque.

a) El Bloque Paloblanco – Alicante se halla Localizado en la Vereda Paloblanco -Rasgatá del Municipio de Tausa (Cundinamarca) a unos 40 Kilómetros al Noreste de la Ciudad de Bogotá, a 20 minutos en vehículo de la Vía que conduce de la Ciudad de Zapaquirá a la Ciudad de Ubaté (Ver figura 1). El área se enmarca dentro de la plancha topográfica del

IGAC N° 209 – I – D Escala 1:25000, dentro de la plancha Topográfica del IGAC N° 209 - I - D – 3 Escala 1:10000.

La empresa tiene concesión sobre dos áreas, que juntas conforman el bloque, cada una conteniendo las Minas Alicante (La Chaparra) y Paloblanco (Ver anexo 5). El polígono de explotación de la Mina Alicante, entregada en contrato No. 2631T por MINERCOL a la empresa CONMAR con un área de 325.0 mts<sup>2</sup>, se encuentra entre la Coordenadas:

PA:	Y = 1020388.7400 m	X = 1064504.7400 m	Z = 3101.97 m
1	: Y = 1020532.0040 m	X = 1064340.0010 m	
2	: Y = 1019986.0020 m	X = 1064070.0050 m	
3	: Y = 1019693.9970 m	X = 1064533.9970 m	
4	: Y = 1020236.0010 m	X = 1064809.9950 m	

El polígono de explotación de la Mina Paloblanco, legalizada por medio del Contrato de Concesión No. 1793, cuenta con un área de 1300 mts<sup>2</sup>, se encuentra entre las coordenadas (Ver anexo 5):

1	: Y = 1019008.9623 m	X = 1063000.0770 m
2	: Y = 1018314.3040 m	X = 1063719.4168 m
3	: Y = 1019249.4457 m	X = 1064622.4727 m
4	: Y = 1019944.1040 m	X = 1063903.1329 m

b) El bloque Montecristo se halla localizada en la Vereda Pueblo Viejo del Municipio de Cucunubá a unos 10 Kilómetros al Sureste de la Ciudad de Ubaté (Cundinamarca). La vía que conduce al ramal que lleva a la minas Montecristo es la que se dirige de Ubaté a Chocontá (Cundinamarca), posteriormente se desvía un tramo de 3 Km en carretera destapada (Ver figura 1). COLMINAS S.A. posee el área de concesión 1926-T que abarca

aproximadamente 1.4 Km<sup>2</sup>. Ubicada en las planchas N° 209 - II – A Escala 1:25000 y N° 209 – II – A - 3 Escala 1:10000 entre las coordenadas (Ver anexo 3):

1	: Y = 1070475.000 m	X = 1030725.000 m	Z = 2650.00 m
2	: Y = 1070204.077 m	X = 1030377.735 m	
3	: Y = 1070279.783 m	X = 1030292.075 m	
4	: Y = 1070317.050 m	X = 1030341.590 m	
5	: Y = 1070359.477 m	X = 1030299.164 m	
6	: Y = 1070502.234 m	X = 1030492.090 m	
7	: Y = 1070986.548 m	X = 1030135.196 m	
8	: Y = 1071537.733 m	X = 1030882.783 m	
9	: Y = 1071376.962 m	X = 1031001.747 m	
10	: Y = 1070960.586 m	X = 1030439.097 m	
11	: Y = 1070935.506 m	X = 1030605.598 m	
12	: Y = 1070842.000 m	X = 1029943.000 m	

C) El bloque Altiplano – Sipri se encuentra localizado en la zona rural de los municipios de Ráquira y Samacá (Boyacá) respectivamente, a 15 minutos de camino en vehículo de la vía que transita de la Población de Guachetá a la Población de Samacá. Esta vía es conocida como la troncal del Carbón (Ver figura 1). El bloque está conformado por las Minas Altiplano (Lote Sabanetas), localizada en la vereda Firita Arriba (Ráquira), la Mina Cerros y el lote Santa Barbara, localizadas en la vereda Loma Redonda (Samacá). El trabajo se efectuó con levantamiento topográfico propio de la empresa ubicado entre las coordenadas:

Y = 1'093.000 m	X = 1'051.500 m	Z = 2850 m
Y = 1'096.000 m	X = 1'054.500 m	

#### **1.4. ESTUDIOS ANTERIORES**

Dentro de los principales trabajos que han sido realizados para el área de trabajo se encuentran: Clasificación Internacional de los Carbones de Checua – Lenguazaque, Ingeominas, 1977; Evaluación de Reservas de Carbón en siete Zonas de Colombia, Ingeominas 1981; Caracterización de Carbones Colombianos Zona Checua – Lenguazaque, Ingeominas 1992; Patrones de Fracturamiento en la Formación Guaduas Sinclinal Checua – Lenguazaque y su relación con los yacimientos de Gas Asociado en Mantos de Carbón, Vélez y Rueda, UIS 1999, Gas asociado a mantos de carbón de la formación Guaduas en el Sinclinal Checua – Lenguazaque, Díez Sánchez, M., Páez Martínez, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 1999

La empresa basa sus estudios y su proyección de inversiones en el trabajo “Cartografía Geológica, Caracterización Calculo de reservas para los Carbones pertenecientes al nivel Ktg2 y Ktg3 de la Formación Guaduas sobre el Flanco Occidental del Sinclinal Checua - Lenguazaque entre los Municipios de Raquira y Samacá (Boyacá)”, Suescún J., Ramos Díaz V. A.

#### **1.5. METODOLOGÍA.**

- Revisión bibliográfica de trabajos realizados y de los mapas geológicos para el área de trabajo.
- Recolección de planchas topográficas.
- Levantamiento a detalle de la geología, estratigrafía a escala 1:200 y toma sistemática de datos estructurales del área de la mina Montecristo.
- Levantamiento a detalle de la geología, estratigrafía a escala 1:200 y toma sistemática de datos estructurales del área de la mina Paloblanco - Alicante.
- Levantamiento a detalle de la geología y estratigrafía a escala 1:200 del área de la minas Altiplano y cerros.

## 2. MARCO GEOLÓGICO.

### 2.1. TECTÓNICA.

Las características estructurales de la Cordillera Oriental son:

- La Cordillera Oriental es una cadena montañosa con transporte tectónico dirigido, uno cabalgando hacia la cuenca de los Llanos y otro cabalgando hacia la cuenca del valle medio del Magdalena<sup>1</sup>.
- Tiene dos estilos de deformación. El primero es un basamento plegado y un cinturón de cabalgamiento caracterizado por un bajo ángulo de fallas cabalgantes y fallas – rampa anticlinales que afectan las rocas desde el Jurásico al terciario. El segundo estilo está caracterizado por un basamento que involucra fallas inversas, muchas de las cuales tienen un alto ángulo de buzamiento (Ibid).
- La estructura del basamento está caracterizada por grabens del Jurásico al Neocomiano, algunos de los cuales fueron invertidos en el Plioceno – Pleistoceno (Ibid).
- El basamento involucra fallas inversas substituidas recientemente por fallas de cabalgamiento formadas paralelas a los planos de estratificación. Algunas fallas son invertidas a fallas normales (Ibid).
- El acortamiento fue aproximadamente del 40 % (105 kilómetros aproximadamente, según reconstrucciones palinspáticas de Dengo y Covey, 1993), con marcado efecto sobre la cubierta sedimentaria relativo al efecto sobre el basamento(Ibid).

---

<sup>1</sup> DENGO, C., COVEY, M. Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: Implications for Traps Styles and Regional Tectonics. AAPG Bulletin. Vol 77, No. 8. Agosto de 1993.

Estructuralmente el sector sur de la Sabana de Bogotá, está caracterizado por una disposición en échelon de pares anticlinales y sinclinales que varía de 5 a 15 Km y 1.5 a 5 Km de amplitud. La sabana de Bogotá es un sinclinorio complejo de forma irregular caracterizada por cabalgamiento con rumbos NNE – SSW, cabalgamientos menores de vergencia oriental, fallas de transferencia de rumbo WE<sup>1</sup>.

Estructuralmente el área de trabajo sobre la Formación Guaduas está ubicada en el Flanco Occidental del Sinclinal de Checua Lenguaque para los sectores de Paloblanco – Alicante y Montecristo. Más al norte se denomina Sinclinal de Guachetá. El sinclinal de Checua – Lenguaque es una estructura asimétrica, que presenta una dirección general de N 45° E, el cual se extiende por más de 60 kilómetros, y se desarrolla desde el borde norte de la Sabana de Bogotá hasta el valle de Samacá donde pierde la continuidad por acción de las fallas. Su flanco oriental se encuentra más inclinado que el occidental y casi invertido<sup>2</sup>. El Sinclinal Checua – Lenguaque se enmarca dentro del Mapa Geológico K- 11 Zipaquirá Escala 1:100000 y el Sinclinal de Guachetá dentro del Mapa Geológico 190 -Chiquinquirá Escala 1:100000.

Se presentan en el área una serie de fallas transversales que cortan la secuencia a partir de la misma formación Guadalupe, evidenciado tanto por aspectos morfológicos superficiales como en muchos casos por los avances mineros subterráneos, que dan una certeza muy alta del comportamiento tectónico. Estas fallas transversales son muy importantes a la hora del desarrollo y avance de los niveles dentro de las minas pues ellas delimitan los bloques y determinan en una u otra medida la cantidad de mineral a extraer.

---

<sup>1</sup> SARMIENTO PEREZ, G. Estratigrafía, Palinología y Paleoecología de la Formación Guaduas. Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas. Ingeominas. No. 20. Santa Fé de Bogotá. 1994.

<sup>2</sup> PEREZ, F., VALDERRAMA, G., BLANCO, G., GONZALES, L., GARCIA, F. Caracterización de Carbones Colombianos Zona Checua – Lenguaque. Boletín Geológico. Vol 28, No. 2. Ingeominas. Bogotá. 1987.

También se presentan fallas longitudinales como es el caso de la falla regional de Piedras Gordas para el sector de Altiplano – Sipri, que también determinan los bloques para el avance de las galerías y túneles.

## **2.2. GEOMORFOLOGÍA.**

El sector de Paloblanco – Alicante manifiesta un relieve suavizado. Presenta una capa vegetal potentísima de más de 1 metro de espesor en todo el área, limitando los afloramientos rocosos que a la postre son muy escasos. La vegetación no es muy abundante. Los paquetes de areniscas poseen menor espesor en este sector, que los encontrados para el Bloque Montecristo.

En el sector de Montecristo la vegetación es bastante reducida y los agentes atmosféricos generan un proceso erosivo más intenso. Los paquetes arenosos definen altos topográficos de pendiente moderada.

En el sector de Altiplano – Sipri se presenta un clima de Páramo. El sector es muy utilizado para la siembra de árboles maderables como el eucalipto. En este sitio los paquetes arenosos más competentes definen altos topográficos de pendientes moderadas entre los 30 y 45 grados. Se puede observar dentro del bloque algunos procesos menores de fenómenos de remoción en masa, más específicamente de reptación. En ciertos sitios esta reptación o ‘creep’, genera un aparente adelgazamiento superficial de los mantos de carbón.

Las fuertes pendientes estructurales y los escarpes formados por la arenisca Tierna del Grupo Guadalupe, sirven de Guía para seguir el tren General de la estructura. Es muy común encontrar subsidencias superficiales debido a desplomes de roca internos generados por las galerías dejadas por la intensiva actividad minera más superficial.

### **2.3. MARCO ESTRATIGRÁFICO.**

Las áreas de trabajo se encuentran localizados en la zona axial meridional de la Cordillera Oriental (C.O.), que tiene como basamento rocas metasedimentarias Paleozoicas y una gruesa secuencia de sedimentitas de rift del Jurásico y Cretácico inferior. Sobre este basamento se encuentra los sedimentos marinos del Cretácico superior y localmente depósitos preservados clásticos Terciarios que cubrieron la totalidad de la región de la Cordillera Oriental<sup>1</sup>.

La secuencia de importancia económica y la cual aflora en la zona esta comprendida por la parte superior de la Formación Guadalupe como límite inferior, la Formación Guaduas como unidad carbonífera y la arenisca de la Formación Cacho como límite superior, las cuales registran el último evento regresivo del mar cretácico (Ver figura N° 2). Al observar esta secuencia se encuentra un progresivo cambio de ambientes sedimentarios que evoluciona en sentido vertical desde mar somero e isla de barrera a laguna costera, llanura intermareal, pantanos costeros, lagos, canales de ríos y llanura aluviales<sup>2</sup>.

La estratigrafía que se realizó básicamente fue de las unidades carboníferas que pertenecen a los miembros Ktg1, Ktg2 y Ktg3 de la Formación Guaduas, ubicados en el flanco NW del sinclinal Checua - Lenguazaque, hasta el valle de Samacá.

#### **2.3.1. GRUPO GUADALUPE.**

Redefinida por Renzoni (1968), dividió el Grupo Guadalupe de base a techo en las unidades Formación Arenisca Dura, Formación Plaeners, Formación Labor y los Pinos y

---

<sup>1</sup> DENGÓ, C., COVEY, M. Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: Implications for Traps Styles and Regional Tectonics. AAPG Bulletin. Vol 77, No. 8. Agosto de 1993.

<sup>2</sup> SARMIENTO PEREZ, G. Estratigrafía, Palinología y Paleoecología de la Formación Guaduas. Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas. Ingeominas. No. 20. Santa Fé de Bogotá. 1994.

Tierna. De las tres unidades litológicas de Renzoni el Guadalupe Inferior y Superior son de litología esencialmente arenítica limolítica, mientras que el Guadalupe medio es predominantemente lodolítico limolítico. Edad Coniaciano Superior – Maastrichtiano Inferior, sus sedimentos se depositaron en una zona de frente costero y de planicie intermareal (Ibid).

- Formación Arenisca Dura. Está compuesta de un conjunto de areniscas cuarzosas de grano fino a medio de color gris a amarillo, friables con algunas intercalaciones de arcillolitas en la parte superior. Su contacto con la formación Plaeners es concordante y su espesor es de 150 metros<sup>1</sup>.
- Formación Plaeners. Definida por Hubach, E. (1933 en: Julivert 1968), se le atribuye una edad del Maestrichtiano Inferior (Etayo – Serna, 1964); está compuesta por capas delgadas de limolita, liditas y chert, Sus contacto con las formaciones Labor y Los Pinos es concordante, su espesor es de 70 metros (Ibid).
- Formación Arenisca Labor y Los Pinos. Definida por Ujueta G. (1961), Pérez, G y Salazar, A. (1973). Está conformada por bancos gruesos de areniscas cuarzosa de grano fino, blancas que conforman el miembro Labor y lutitas negras intercaladas con areniscas cuarzosa característica de los Pinos.
- Formación Arenisca Tierna. Definida por Hubach E. (1933), Pérez, G y Salazar, A. (1973). Está compuesta por areniscas cuarzosas de color gris claro, grano fino a medio, friables intercaladas con delgadas capas de lodolitas y limolitas silíceas. Su contacto con la formación Guaduas es concordante. Y su espesor es de 90 metros (Ibid).

---

<sup>1</sup> ULLOA, C., ACOSTA, J. Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Cundinamarca. Escala: 1: 250000. Ingeominas. Bogotá. 1997.

### 2.3.2. FORMACIÓN GUADUAS.

Edad Maastrichtiano Superior – Paleoceno Inferior (Vander Hammer, 1957) en (Ulloa y Rodríguez, 1979).

El término fue adoptado por la ubicación de la secuencia tipo en la población de Guaduas y el término fue asignado por HETTNER (1892), definiendo una secuencia de arcillolitas multicolor intercaladas con limolitas y areniscas en la región de Guaduas Cundinamarca. Hubach (1957), redefine la unidad y la determina como Formación Guaduas, ubicando la sección tipo en Guatavita. La importancia fundamental de la formación Guaduas es la apreciable cantidad de mantos de carbón asociados a su litología compuesta predominantemente por lodolitas. Nigrinis (1975), establece una división de la Formación Guaduas con el fin de definir los niveles por sus características litológicas y morfológicas. (Figura 2).

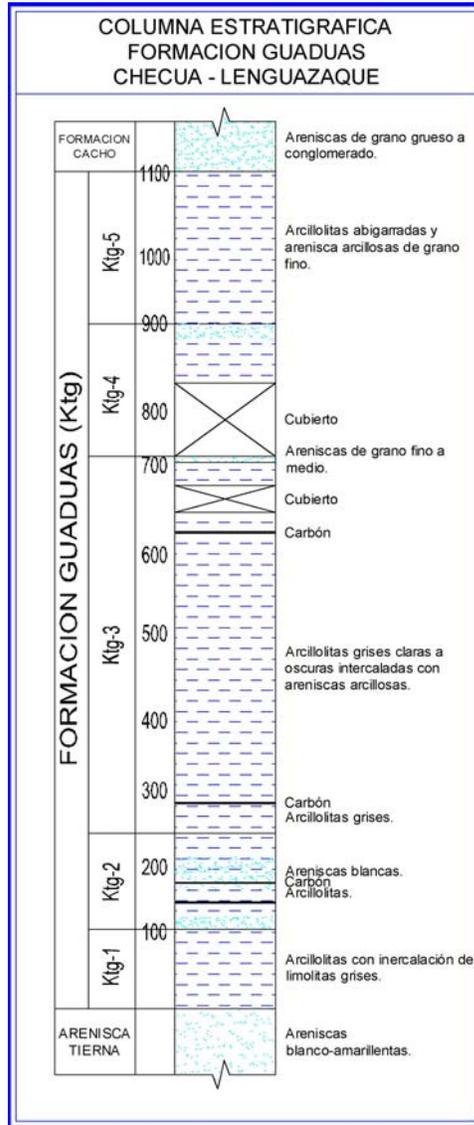
Laverde divide la Formación Guaduas en ocho conjuntos litológicos y Sarmiento (1992) en 9 segmentos teniendo en cuenta sus características morfológicas, que coinciden con sus relaciones genéticas.

Descripción de niveles de acuerdo a la división de Nigrinis:

- Nivel Ktg 1. Va desde el tope de la arenisca Tierna hasta la base de la Arenisca La Guía, su espesor varía entre 115 0 140 m. Es una sucesión de arcillolitas grises claras y oscuras con intercalación de limolitas masivas con alto grado de oxidación, presenta unas cintas de carbón de poca importancia económica por su espesor menor a 60cm<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> SARMIENTO PEREZ, G. Estratigrafía, Palinología y Paleoecología de la Formación Guaduas. Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas. Ingeominas. No. 20. Santa Fé de Bogotá. 1994.



**Figura N° 2:** Columna estratigráfica generalizada para la Formación Guaduas.

- Nivel Ktg 2. Arenisca La Guía, con espesor variable de 140 a 300 m, son areniscas de color blanco, cuarzosas de grano fino a medio, presentan geometría tabular y en algunos casos lenticulares en esta unidad se encuentran las primeras capas explotables de carbón interestratificadas (Ibid).

- Nivel Ktg 3. Va desde el tope de la Arenisca La Guía hasta la base de la Arenisca Lajosa, esta secuencia esta caracterizada por tener una intercalación de arcillolitas abigarradas grises, arcillolitas masivas con nódulos sideríticos, también se encuentran intercalados con limolitas masivas oxidadas y areniscas blancas de grano grueso a medio, cuarzosa (Ibid).
- Nivel Ktg 4 Arenisca la Lajosa, arenisca de grano grueso a medio de color blanco, cuarzosa, geometría tabular, buena calibración, friables y presentan mala cementación, espesor de 100 a 150 m, los mantos de carbón que se presentan son un número más pequeño que en la unidad anterior (Ibid).

FORMACION		HUBACH (1957)	NIGRINIS et al (1975)	LAVERDE (1979)
Areniscas de Cacho				Conjunto 1.
FORMACIÓN GUADUAS	Arcillolitas abigarradas	Miembro Superior	Ktg 5	Conjuntos 2,3,4 y 5.
	Arenisca la Lajosa		Ktg 4	Conjunto 6.
	Nivel arcilloso con carbones	Miembro Medio	Ktg 3	Conjunto 7.
	Arenisca la Guía		Ktg 2	Conjunto 8.
	Nivel arcilloso inferior	Miembro Inferior	Ktg 1	Conjunto 9.
Arenisca Tierna				Conjunto 10.

**Figura N° 3:** Correspondencia de las subdivisiones de la Formación Guaduas. Fuente: Estratigrafía, Palinología y Paleoecología de la Formación Guaduas.

- Nivel Ktg 5 Va desde el tope de la Arenisca La Lajosa hasta la base de la arenisca del Cacho, intercalación de arcillolitas masivas grises, limolitas oxidadas con capas de areniscas de grano medio a fino de color blanco, cuarzosa (Ibid).

### 2.3.3. FORMACIÓN CACHO

Definido el nombre por Scheibe, (1918), y definido por Hubach, E. (1957), está compuesta por areniscas cuarzosas de grano grueso, blancas- amarillentas con estratificación cruzada algo conglomeráticas con intercalaciones arcillolita, con espesor promedio 300 m, su contacto con la formación Bogotá es concordante y el ambiente de depositación es fluvial(Ibid).

### 2.3.4. CUATERNARIOS

- Depósito Aluvial (Qa). Los sedimentos recientes, en su mayor parte corresponden a acumulaciones en áreas grandes, acumulaciones en áreas pequeñas y delgados espesores que se han depositado en el fondo de valles profundos de algunos ríos y quebradas.
- Depósito de Coluvión (Qc). Constituidos principalmente por acumulaciones producidas por acción de movimientos tectónicos como fallas, compuestos por bloques subangulares a angulares dentro de materiales lodosos, arcillosos y arenosos con muy mala selección en una disposición amorfa que incluye en ocasiones restos de escombros. Su composición depende de las rocas adyacentes de donde proviene producto del colapsamiento de las rocas fracturadas, por desplazamiento de los bloques.

### **3. RESULTADOS.**

#### **3.1. CARTOGRAFIA GEOLÓGICA.**

Para elaborar la cartografía geológica de los tres bloques trabajados, se utilizó la descripción efectuada por Pérez et al, debido a la practicidad con que trabaja la Formación Guaduas, en el informe presentado a Ingeominas; “Caracterización de Carbones Colombianos Zona Checua – Lenguaque” de 1987, en donde se basa en los 5 niveles definidos por Nigrinis para la formación, en función de la presencia de las areniscas La Guía y La Lajosa, que ostentan, entre una y otra, diferencias en cuanto al color, cementación y depositación de óxidos. En la descripción realizada por Sarmiento, en; “Estratigrafía, Palinología y Paleoecología de la Formación Guaduas”, se establecen 9 segmentos, división más compleja y entramada, aunque excelentemente descrita y con muchos detalles de importancia en cuanto a la descripción litológica e interpretación ambiental de los segmentos, y en cuanto a la ubicación de los mantos de carbón.

Las areniscas La Guía y La Lajosa, como se comentaba en capítulo anterior, son claramente identificables geomorfológicamente por ser altos topográficos en toda la región. Estos altos topográficos se utilizan como guía para seguir los diferentes niveles y por ende los paquetes de carbón que puedan estar presentes.

Realizado el trabajo de campo, se procede a hacer el levantamiento estratigráfico en detalle, cubriendo la mayor cantidad posible de columna con importancia para Colminas. Con los primeros trazos de los límites geológicos y con los espesores estratigráficos se establecen unas demarcaciones entre niveles, que permiten definir los contactos, y con la información obtenida de los datos de afloramiento, se precisan las trazas de los mantos de carbón que a la postre nos servirán para establecer las reservas probadas dentro de cada bloque.

Las fallas son de suma importancia pues la determinación de ellas nos permite establecer cuál es la continuidad de los mantos y si es viable la extracción cuando se alcancen, además de planear con algún grado de certeza, cuál es la inversión necesaria para sobrepasarlas.

### 3.1.1. BLOQUE ALTIPLANO – SIPRI.

En este bloque se trabajó con un plano a escala 1:5000 (Ver anexo 1). El trabajo consistió en delimitar el contacto con la Formación Guadalupe y los niveles en que se divide la Formación Guaduas (Niveles Ktg1, Ktg2, Ktg3 y Ktg4), así como los límites de los depósitos cuaternarios, y en definir las trazas de las fallas y de los mantos de carbón.

El bloque está dividido básicamente en tres sub-bloques definidos por fallas, cada uno de los cuales presenta características distintas desde el aspecto estructural; El bloque occidental donde se ubica la Mina Altiplano, en la cual se extrae carbón de los mantos 2 (Tesoro) y 4 - 5 (Aliso – Milagro), tiene algunos plegamientos y pinchamientos de carbón, que no revisten mayor problema sobre la explotación del carbón. La secuencia en este sector es de menor espesor con respecto a los 2 otros sub-bloques y presenta los cuaternarios aluvial y coluvial de mayor espesor de todo el bloque, sin afectar de mayor consideración la explotación de carbón, pues se sitúan afloramientos que permiten establecer la ubicación de los mantos. El sub-bloque centro, definido por las fallas 1 y 2, está más cubierto por los cuaternarios y los afloramientos son escasos, lo que hace difícil determinar el comportamiento estructural, aunque se cree que la continuidad de los mantos es buena por la información obtenida de los trabajadores mineros. El sub-bloque oriental donde se encuentra el sector de Cebollas y Sipri, presenta una complejidad estructural bastante dramática; los plegamientos de tipo chevron (Ver foto N° 1) y las pequeñas estructuras sinclinales-anticlinales son permanentes y generan en los mantos, pérdidas, saltos, engrosamientos y adelgazamientos repentinos, que hace extremadamente difícil la correlación de mantos. Esta complejidad estructural es causada por la compresión generada

en la acción de las fallas 2 y 3 que chocan contra la falla de cabalgamiento regional Piedras Gordas, falla cartografiada por el Geólogo Italo Reyes (Ver Anexo 1).



**Fotografía N° 1:** Pliegues sobre paquetes de areniscas del Nivel Ktg3. Se nota el intenso plegamiento debido a los altos esfuerzos de este sector limitado por múltiples fallas (ver anexo 1). En este sector encontramos fuertes pliegues de tipo king o chevron. Dirección N15°W.

Existe una variación en espesores notable de bloque a bloque, en donde se observa que de oeste a este el espesor de la columna se va haciendo más espeso.

La arenisca Tierna del Grupo Guadalupe forma algunos escarpes, que en el caso de este bloque no son los mayores altos topográficos, pero sirven como guía para la determinación del tren general de la estructura y la dirección de las fallas. Sobre esta arenisca se estableció un dato promedio de N 60° E/ 45° SE.

Sobre el Grupo Guadalupe se encuentra en contacto neto concordante el nivel Ktg1, con un espesor promedio de 140 metros estratigráficos (Ver fotografía N° 4). El nivel Ktg2 presenta un espesor promedio de 720 metros, aunque para el sub-bloque oriental este

espesor se estimó en uno 600 metros debido al intenso replegamiento que acorta la secuencia.

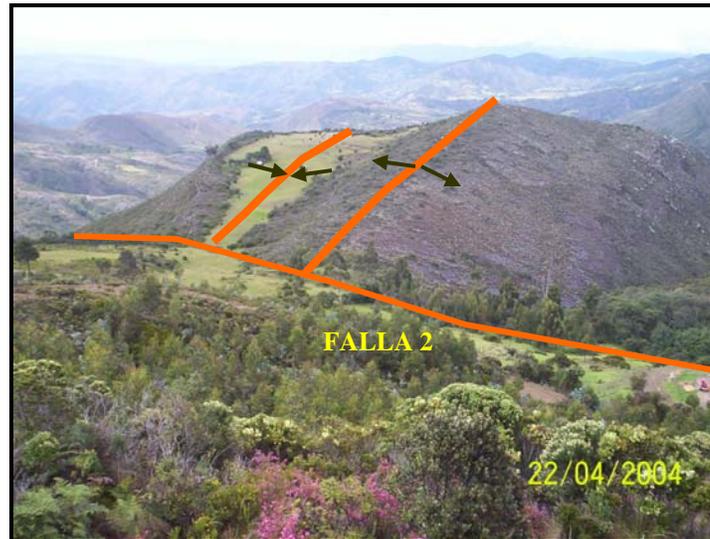


**Fotografía N° 2:** Panorámica del sub-bloque oriental donde se observa los altos topográficos formados por las rocas duras de la arenisca La Guía, que definen los niveles que conforman el Guaduas y el trazo de la falla numerada como 2. Dir: Nor- este.

El nivel Ktg3 tiene un espesor estimado en 450 metros. Para todo el bloque se estableció un dato de dirección promedio de  $N 70^{\circ} E / 45^{\circ} SE$ , debido a que las variaciones en cuanto a cambio de rumbo son prácticamente insignificantes y en cuanto a buzamiento muy localizadas en los pliegues.

Tenemos 4 fallas transversales de importancia y una falla longitudinal cabalgante de carácter regional, que limitan totalmente el bloque. Todas las fallas cortan de manera limpia la secuencia sin generar mayor trauma estructural a excepción del bloque oriental. Hacia el oeste tenemos la falla de Sabanetas de movimiento sinextral y dirigida  $58^{\circ}$  hacia el nor-oeste; hacia el centro y limitando el sub-bloque occidental tenemos la falla numerada como N° 1 de movimiento dextral y con orientación  $45^{\circ}$  hacia el nor-oeste; posteriormente tenemos la falla numerada como N° 2 de tipo sinextral y orientada  $5^{\circ}$  al nor-este. Estas dos

últimas fallas limitan el sub-bloque central dándole forma de cuña y levantándolo con respecto a los sub-bloques adyacentes, generando un leve basculamiento.



**Fotografía N° 3:** Estructura sinclinal-anticlinal generada por los altos esfuerzos en el sector de SIPRI – CEBOLLAS, formada sobre los bancos arenosos de la arenisca Tierna del Grupo Guadalupe ( Municipio de Samacá).

Por ultimo tenemos la falla N° 3 con orientación hacia el nor-este  $25^\circ$  y a al cual no se le determinó su movimiento. Sobre La falla Piedras Gordas de carácter cabalgante regional, que tiene una vergencia hacia el nor-oeste y una orientación de  $50^\circ$  hacia el nor-este, chocan todas las fallas transversales.

### 3.1.2. BLOQUE MONTECRISTO.

Para este bloque se trabajó con el mapa topográfico a escala 1:2000 (Ver anexo 3), ajustando el ya existente y ampliando la información contenida en él. Se delimitó el contacto con la Formación Guadalupe, los contactos entre los niveles Ktg1, 2 y 3, y los

limites de los cuaternarios aluviales y coluviales y posteriormente se establecieron las trazas de los mantos de carbón.

Sobre la Formación Guadalupe tenemos un escarpe perteneciente a la arenisca tierna, con dirección de N45°E y un buzamiento de 45° SE. El nivel Ktg1, suprayace concordantemente la Arenisca Tierna, y se encuentra cubierto por el cuaternario aluvial producto de la acción producida por la Quebrada la Gallinacera y por el cuaternario coluvial generado en los movimientos en masa producidos por la acción de las Fallas Higuieritas y Cucuana.

En cambio transicional concordante suprayacen al nivel Ktg1 los niveles Ktg2 y Ktg3, que se encuentran afectados por la acción de las fallas anteriormente mencionadas, generando cambios de dirección considerables que van de los N 45° E / 40° -50° SE en el sub-bloque sur, a los N 10° W/ 70-80° NE cerca de la zona de la Falla Higuieritas y que cambian a N 60° E/ 40° SE en el sub-bloque norte. Este bloque norte se halla ubicado entre las fallas Higuieritas y Cucuana. Estas dos Fallas actúan en forma de tijera, y generan hacia el nor-oeste del sector un fuerte plegamiento formando puntos de inflexión sobre las capas del nivel Ktg2. La falla Cucuana es cortada por la Falla Higuieritas, por lo que esta vendría siendo más joven geológicamente. En los sitios de ruptura se pueden claramente ver los “ganchos” o zonas de inflexión de la falla producidos al momento de la liberación de esfuerzos.

La falla Higuieritas superficialmente se evidencia de manera clara sobre las capas de las areniscas cretácicas de la formación Guadalupe y llega hasta las areniscas terciarias de la formación Cacho, según la información obtenida de las fotografías aéreas y el trabajo de campo. Es una falla de bajo ángulo, entre 17° y 25°, que tiene vergencia hacia el nor-este y presenta una dirección de 30° en promedio hacia el nor-oeste, por lo que corta las capas transversalmente. Esta falla tiene su mayor influencia superficialmente ya que bajo tierra su acción es atenuada llegando al punto de provocar drásticas deformaciones o rompimiento

de muy poco desplazamiento, por lo que se cree que a poca profundidad puede desaparecer. En los trabajos de minería se pueden ver muy claramente los espejos de falla sobre los planos de estratificación de los respaldos de los mantos de carbón. Tiene un movimiento de tipo sinextral e inverso, dando la característica de una falla de tipo cabalgante y se cree que debido a su bajo ángulo, a profundidad pueda navegar a través de los planos de estratificación. Esta zona tiene algunas fallas satélites pequeñas y muy localizadas, que en el proceso de acomodación de bloques, generan desplazamientos contrarios a lo que se ha determinado como el desplazamiento de la falla principal. Esto ha provocado una serie de problemas de estabilidad dentro de las galerías para la extracción de carbón.

La falla Higueritas aunque es de muy bajo ángulo y no provoca un abrupto salto de los mantos de carbón, ha provocado serios problemas en el avance de las galerías debido a que hacia el norte la falla corta la Quebrada la Gallinacera, produciendo una gran afluencia de agua hacia los socavones. Esta afluencia de agua es incrementada por los cuaternarios, que son una importante zona de recarga, pues cubren los mantos hacia el sector norte. En la zona de falla se adelgazan los mantos y se provocan problemas sobre el avance de las galerías por los altos esfuerzos liberados, impidiendo en ocasiones, continuar con el avance de la explotación.

La falla Cucuana es una falla muy poco conocida pues la explotación realizada hacia este sector ha sido muy reducida por la presencia de un cuaternario de importancia, aunque se encuentra cartografiada en los mapas elaborados por Ecocarbón. Según estudios de prospección geofísica con geoelectrónica, la falla presenta un alto buzamiento, entre  $70^{\circ}$  –  $80^{\circ}$ , en dirección nor-este y presenta un fuerte salto que genera la conclusión de esterilidad carbonífera total, hacia el nor-este del área. Sobre este aspecto este informe no pretende ser concluyente hasta que no se utilicen métodos adecuados de prospección y se desarrolle una minería a mayor escala, aunque sea esta exploratoria. Pero según lo trabajado se puede inferir una falla con un salto leve y un buzamiento entre  $40^{\circ}$  y  $50^{\circ}$  en dirección nor-este, con

una dirección de 85° hacia el nor-oeste y que presenta un movimiento dextral de tipo inverso.

De acuerdo a la planimetría tendríamos para el nivel Ktg1 un espesor promedio de 50 metros estratigráficos, para el Ktg2 un espesor promedio de 170 metros y para el Ktg3 un espesor promedio de 306 metros estratigráficos.

### 3.1.3. BLOQUE PALOBLANCO – ALICANTE.

En este bloque trabajamos con un mapa escala 1:5000, sobre el que se elaboró completamente la geología (Ver anexo 5). Al igual que en los anteriores bloques el trabajo consistió en definir el contacto con la formación Guadalupe y los límites de los niveles de la formación Guaduas, así como marcar los trazos de las fallas y los mantos de carbón.

El bloque está dividido básicamente en tres sub-bloques (definidos por fallas transversales) de importancia desde el punto de vista minero, numerados como sub-bloques 1, 2 y 3, de oeste a este respectivamente. La mina Paloblanco se ubica en el numero 1, y en ella se extrae carbón de los manto 1 y 3. Tiene rumbos de N 65° E buzando 60° SE. Los límites son; al occidente la falla transversal N° 1 sinextral, de orientación norte – sur, buzante al noroeste; al oriente la falla N° 3 de orientación 28° nor – oeste y de movimiento dextral, buzante hacia el sur - oeste. Esta ultima falla choca hacia el sur, en inmediaciones de la Hacienda Paloblanco, con la N° 2 que es una falla que corta al sub-bloque por el centro, de movimiento sinextral, buzante hacia el nor - este y que parece ser la falla principal. Por las fracturas se puede inferir que la más antigua es la falla N° 2 seguida de la N° 3 y por ultimo la N° 1. Estas fallas están perfectamente identificadas tanto en superficie como en los trabajos de minería, siendo la numero 1 la que presenta el mayor salto hasta el punto de que trabajos mineros antiguos fueron abandonados por la acción de esta falla. Los números 2 y 3, por sus buzamientos, en profundidad confluyen y tienden a formar una cuña.

El bloque N° 2 o central esta limitado por la falla numero 3 al oeste y la falla numero 4 al este. Tiene orientación de las capas de N 50° E / 48° SE. La falla 4 tiene un movimiento dextral, con orientación sur norte variando a NW hacia la parte superior del mapa, y está definida por trabajos de fotogeología, información de trabajadores mineros y prospección geoelectrica, por lo que se estima que tiene un salto entre 50 y 100 metros.

La falla 4 corta la falla 5 que tiene una orientación general 70° nor oeste, variante hacia el nor – oeste en el sector superior del mapa. El bloque 3 esta definido por la falla 4 y el limite de la concesión de explotación (ver anexo 5). Tiene orientación estructural entre N 80° E / 70° SE. En este bloque se explotan los mantos 5 o Veta Grande y 7 o Veta Chica, además del 1 y 4 por parte de otras empresas. Sobre este sector tenemos un lineamiento orientado este – oeste, considerado como una zona de flexión sin rotura, que ha generado gran cantidad de problemas sobre el avance de las galerías en el manto 5, llegando al punto de abandonar tambores de desarrollo o explotación debido a los derrumbes de roca presentados. La falla 5 tiene un movimiento dextral, y está fuertemente flexionada y cortada por la falla numero 4.

Por planimetría tendríamos espesores de; 136 metros para el nivel Ktg1, 189 metros para el nivel Ktg2, 225 metros para el nivel Ktg3 y 350 metros para el nivel Ktg4.

### **3.2. ESTRATIGRAFÍA**

La estratigrafía realizada para la empresa Colminas S.A., se basó en columnas estratigráficas propias del yacimiento, muy específicas y particulares para cada bloque, donde se evidencian variaciones en espesores y diferentes combinaciones litológicas. Estas variaciones generan en parte confusiones en cuanto al numero y ubicación posible de mantos explotables, que ha llevado a que en cada bloque los mantos de carbón sean numerados o llamados de forma diferente, en función básicamente de la experiencia y conocimiento de los trabajadores mineros. Es por esta razón que se elabora una geología

ajustada a las realidades de cada sector, con el objetivo de determinar claramente la posible cantidad de carbón a extraer de las capas que sean determinadas como rentables.

Dado que el objetivo de la empresa en este momento es optimizar las formas de extracción del mineral, los espesores entre manto y manto son muy importantes para la planificación de los trabajos, dentro del esquema de desarrollo minero a mayor escala. Este planeamiento incluye, para los distintos bloques, una serie de galerías que cortan perpendicularmente la estratificación de la formación y por ende los diferentes mantos, con el fin mejorar los métodos, el proceso y el ciclo de transporte de extracción del carbón. Al conocer las distancias estratigráficas entre capa y capa de carbón se pueden determinar pisos para las galerías, capas con mejores condiciones geomecánicas y la posibilidad de establecer los costos de la construcción de los túneles en función de la cantidad de roca a excavar.

Para no entrar en detalles acerca de la litoestratigrafía, el informe se remite a una descripción muy superficial de la secuencia, a excepción de detalles que no se hallan encontrado en los trabajos realizados para el área.

### 3.2.1. BLOQUE ALTIPLANO - SIPRI

En este bloque se levantó una columna estratigráfica muy completa, pues se comenzó desde el Nivel 1 o Ktg1, límite con la Formación Guadalupe. Esta secuencia, perteneciente a la formación Guaduas, es la más espesa de los tres bloques trabajados, situación corroborada con los mapas geológicos elaborados por Ecocarbón para todo el sector del Sinclinal de Checua – Lenguazaque (Ver anexo 2, Columna Bloque Altiplano Sipri).

Se construyó una columna de 944 metros desde la base de la formación, hasta aproximadamente el límite superior del tercer nivel de la Formación o Nivel Ktg3. El Nivel Ktg1 cuenta con un espesor de 136 metros de una secuencia compuesta por unos Shales gris oscuro que progresa a una arcillolitas limosas de color gris a pardo, siempre con la

presencia de paquetes tabulares de arcillolitas y limolitas limoníticas, y nódulos sideríticos. Como ya es un echo bien estudiado el nivel Ktg1 es inerte en cuanto al contenido de capas de carbón.

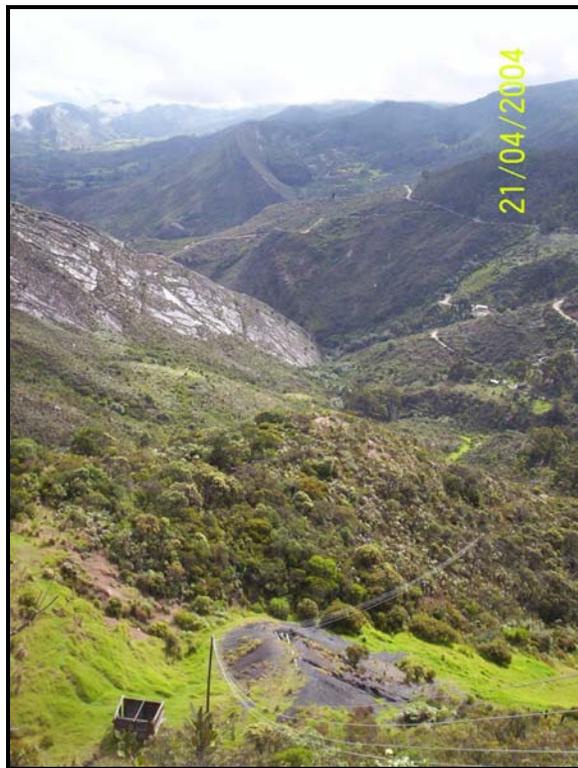


**Fotografía 4:** Nivel 1 de la formación Guaduas. Sobre la Quebrada Los Buitres que marca el contacto entre el escarpe formado por las Rocas Cretácicas de la Formación Arenisca Tierna del Grupo Guadalupe y las Rocas Cretácicas – Terciarias del Nivel Ktg1 de la Formación Guaduas. Se observa el color oscuro de los shales intercalados con arcillolitas limoníticas características propias de este nivel.

El nivel Ktg2 es considerado desde el momento en que aparece un paquete de limolitas que contiene el primer estrato de arenisca, hasta un grueso paquete de areniscas considerado como los últimos niveles de la arenisca la Guía y los primeros de la arenisca la Lajosa. Este

nivel tiene un espesor estimado en 713 metros, que es una cifra considerablemente grande comparada con los estándares propuestos en el informe para el Ingeominas de Pérez, et al, en su caracterización de carbones de la Zona Checua – Lenguazaque, en donde se habla de un promedio de 300 metros.

La secuencia esta compuesta por una sucesión de arcillolitas grises o carbonosas con contenidos de hojas fósiles y limolitas, e intercalaciones de areniscas. El nivel Ktg2 presenta 8 mantos explotables llamados en orden ascendente estratigráfico como: La Cisquera, Tesoro, Tesorito, Aliso, Milagro, Las Gemelas, El Rubí y Bocatoma.



**Fotografía N° 5:** Se observa el escarpe típico de la Formación arenisca tierna del grupo Guadalupe.

Foto tomada sobre la arenisca la Guía, Nivel Ktg2, en donde se puede ver trabajos antiguos del sector conocido como SIPRI, sector más oriental de esta área de trabajo.

Dir: N 50° E.

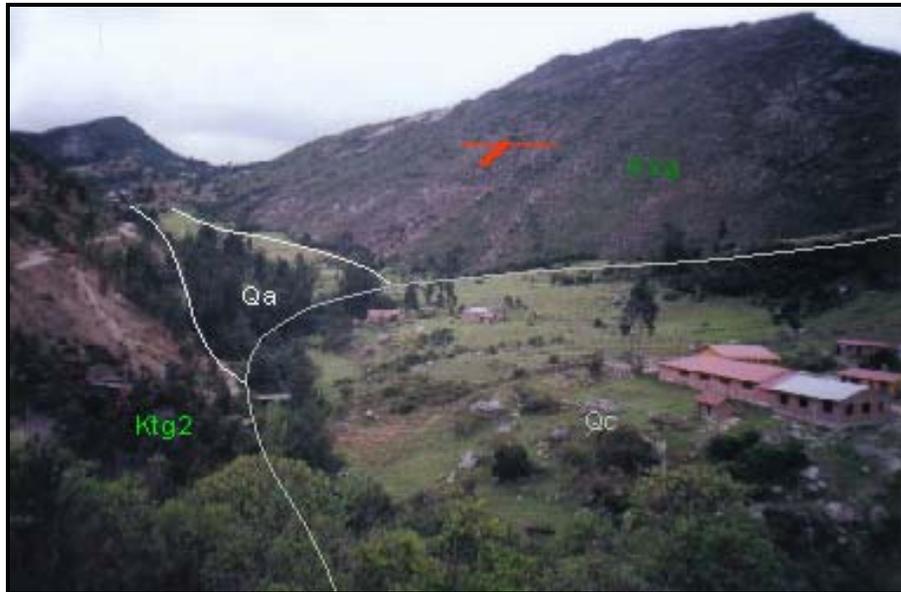
Para este sector no se encontró el manto N° 8 llamado Consuelo en las columnas generalizadas del Ingeominas, debido a sectores donde la columna estaba totalmente cubierta. Los mantos están considerados como coquizables en su totalidad. También presenta aproximadamente 20 cintillas de carbón entre los 10 y 40 cm de espesor.

El Nivel Ktg3 establece su límite inferior desde el paquete de areniscas donde aparecen los últimos niveles de la arenisca la Guía que es blanca a gris clara, bien cementada maciza, y los primeros de la arenisca La Lajosa de color gris más oscuro, tiene más baja cementación y presenta oxidación zonificada de las discontinuidades hacia dentro, dando la impresión de la formación de costras o concreciones. De este nivel se levantaron solo 96 metros estratigráficos de un espesor posible de 450 metros, según el mapa geológico elaborado para el área. El Ktg3 presenta características más lutíticas que el nivel Ktg2, pues predominan las arcillolitas ricas en materia orgánica y los shales carbonosos, así como el contenido de cintillas de carbón que se hace más frecuente. Los paquetes de arenisca se reducen al mínimo o a lentecitos dentro de los estratos más limolíticos. La secuencia levantada solo presenta un nivel interesante de 65 cm de espesor considerado como el manto N° 10 o el manto El Depósito, aunque, por lo observado en el trabajo de campo, hacia el límite superior los mantos de carbón se hacen más espesos y se horizontalizan, beneficiando el proceso de extracción y transporte. En estos 123 metros de secuencia se encontraron un número aproximado de 15 cintillas de carbón.

El bloque tiene una particularidad, pues por los procesos tectónicos los mantos tienden a adelgazarse o a formar bolsas, sobre todo en cercanías a las fallas que cortan la secuencia, especialmente en el sector de Sipri, lo que genera gran cantidad de problemas a la hora del avance de las galerías y a la hora de la prospección y el planeamiento minero.

### 3.2.2. BLOQUE MONTECRISTO

En el bloque Montecristo se levantó una columna estratigráfica de 280 metros correspondiente al nivel Ktg2 y parte del Ktg3. Se omitió el trabajo sobre el nivel Ktg1, pues este sector se encuentra muy cubierto por cuaternarios coluviales muy espesos, además de ser inerte en cuanto al contenido de carbón (ver Anexo 4, Columna Bloque Montecristo).



**Fotografía N° 6:** Escarpe formado por las areniscas del Grupo Guadalupe. Al pie tenemos los depósitos aluviales y coluviales que cubren el primer nivel de la Formación Guaduas (Ktg1). Dir: EW.

Del nivel Ktg2 se levantaron 165.13 metros, definidos a partir de la aparición de los primeros niveles de arenisca y cintillas de carbón. Encontramos una sucesión de arcillolitas y limolitas laminadas en estratificación plana paralela a lenticular en bandas claras (limos) y oscuras (Lodolitas arcillosas), intercaladas con paquetes tabulares de arenisca blanca cuarzosa bien cementada pertenecientes a la arenisca conocida como la Guía. También se

observó un nivel calcáreo de 15 centímetros con estructuras en cono a la base y el tope. Este nivel calcáreo coincide con un estrato que según Pérez, et.al, observó hacia el sector de la Pluma, a unos 2 kilómetros hacia el sur – oeste, y que describe como una limolita calcárea con restos vegetales.



**Fotografía N° 7:** Secuencia sobre el nivel 2 de la Formación Guaduas. Podemos observar la estratificación plana paralela y la forma lenticular de algunos paquetes más competentes que intercalan las lodolitas. Dir: N- W.

En este nivel tenemos 5 mantos considerados como explotables que son en orden ascendente estratigráfico: Manto 1 o La doce, Manto 2 o La Once, Manto 3 o La diez, Manto 4 y Manto 5, que presentan unos espesores entre los 1.00 y 1.20 metros, de características coquizables. Además se pueden encontrar 3 cintillas de carbón de espesores entre los 0.20 y 0.30 metros. Los trabajadores mineros han llamado tradicionalmente los mantos de carbón de arriba abajo, por lo que el manto número 1 correspondiente a lo que en la literatura se conoce como el Manto La Cisquera, sea llamado o numerado la 12 por ser él

ultimo paquete de carbón explotable encontrado en el área. La empresa explota el Manto 1, que a pesar de haber estado sometido durante varios años a una explotación intensiva, deja buenos resultados relativamente en cuanto al número de toneladas mes que se extraen de este paquete. Por la información recolectada en campo para el área, se conoce que se han realizado trabajos muy artesanales en la explotación de los mantos 2 y 3 por lo que se cree que son potencialmente viables para planear una extracción del carbón contenido en estos 2 paquetes.

Del nivel Ktg3 se levantaron 114 metros, definidos a partir de la aparición de los primeros niveles de la arenisca la Lajosa caracterizada por su color más grisáceo y menor cementación que la arenisca la Guía y por poseer un mayor grado de contenido de depositación de óxidos. Para este nivel 3 tenemos una sucesión de arcillolitas abigarradas preferencialmente de estratificación plana paralela o lenticular, en ocasiones fisiles y carbonosas, intercaladas con paquetes de limolitas. Los estratos de arenisca se reducen drásticamente apareciendo de forma muy esporádica. Encontramos para la secuencia levantada un total de 6 mantos de carbón explotables, enumerados como Manto 6, 7, 8, 9, 10 y 11, que oscilan entre los 1 y 1.50 metros de espesor, considerados como coquizables. El número de cintas de carbón se hace mayor por lo que tenemos 6 con espesores entre los 0.20 y 0.30 metros. La empresa extrae material de los mantos 8 y 9, pero que en este informe son numerados como el 9 y 10, por la presencia de un manto de 0.85 metros por encima del Manto 7.

### 3.2.3. BLOQUE PALOBLANCO – ALICANTE.

Para este bloque se levantaron 165 metros de secuencia litológica considerando solo el nivel Ktg2, debido a que el nivel Ktg1 es inerte en cuanto al contenido carbonífero y el Ktg3 se encuentra cubierto en su casi totalidad, además de no ser explotado para el sector (Ver anexo 6, Columna del Bloque Paloblanco – Alicante). Como se explicaba anteriormente, el sitio presenta muy pocos afloramientos y la capa vegetal que cubre la

zona es bastante espesa por lo que el trabajo de levantamiento se obtuvo de escasa información.



**Fotografía N° 8:** Paquetes tabulares de arenisca La Lajosa, mostrando formas lenticulares y ondulitas de corriente para base y techo, así como colores amarillentos por la depositación de óxidos. Dir: N- E.

La secuencia levantada corresponde a una sucesión de arcillolitas y limolitas en estratificación lenticular con intercalaciones de paquetes tabulares de areniscas. Para el área tenemos 7 mantos de carbón explotables denominados de abajo a arriba: Manto 1, 2, 3, 4, 5 o Veta Grande, 6 y 7 o Veta Chica, considerados todos como coquizables. Las cintas de carbón están prácticamente ausentes. La empresa explota el Manto 1 en Paloblanco y los Mantos 5 y 7 en Alicante, el resto de mantos están en términos generales completamente vírgenes a excepción de algunos trabajos muy antiguos realizados, que según informaciones de habitantes del área, fueron abandonados por la presencia de las fallas y de un gran contenido de agua que sale de los mantos.

### **3.3. CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA.**

Para correlacionar las columnas elaboradas para cada bloque se tomó como datum el Manto de carbón N° 1 o La Cisquera, pues es un paquete que tiene una muy buena continuidad lateral, perfectamente explicada en términos del ambiente de sedimentación en que fueron formados los primeros niveles de carbón pues se depositaron en una isla barrera en zonas pantanosas, a su vez los niveles superiores fueron depositados en un ambiente fluvial lo que puede provocar una variación debida a cambios en la paleotopografía y podríamos en consecuencia tener pinchamientos en los mantos de carbón. Los niveles arenosos también nos sirven como guía para determinar la posición y el numero de mantos que puedan hallarse en un sitio específico cualquiera. Para realizar la correlación se ha llamado a cada uno de los mantos de carbón como 1, 2, 3, 4 etc. y las arenisca se han llamado a, b, c, d, etc (Ver Anexo 7).

En general la continuidad de los mantos es buena, se mantienen en su forma tabular a excepción del sector de altiplano en donde se tiene una tendencia a formar bolsas, y los engrosamientos y adelgazamientos son frecuentes.

Las columnas de Paloblanco y Montecristo tienen una fuerte similitud y las variaciones son pequeñas. El numero de mantos se mantiene y su continuidad se puede asumir como constante, así como el espesor. La columna en Paloblanco – Alicante es menor y la tendencia es que los mantos son un poco más gruesos y los paquetes de arenisca son de menor grosor pero de mayor frecuencia, presentándose algunos pinchamientos hacia el nor – este de poca importancia. Las variaciones litológicas en medio de los paquetes de arenisca son variados, en donde la tendencia es que los arcillolitas se vayan pinchando y progradando a limolitas sea de un lado hacia otro. La secuencia en Montecristo tiene paquetes de arenisca mucho mas espesos y la predominancia de las arcillolitas es mayor.

Hacia el nor este en el sector de Sipri la correlación se hace un poco más difícil pues el nivel Ktg2 se engruesa de una forma dramática. La continuidad de los mantos se puede

seguir con relativa facilidad pero las variaciones son notables. La tendencia es que los mantos de carbón se encuentran generalmente en 2 paquetes con alguna intercalación de arcillolita; por ejemplo los mantos 2 y 3 están separados por 4.5 metros de arcillolitas. El manto 4 de Paloblanco – Alicante y Montecristo se puede correlacionar en Altiplano directamente con una cintilla de carbón de 0.40 metros ubicada debajo de los dos paquetes arenosos llamados b y c (ver anexo 7). El manto 6 o gemelas se puede correlacionar con el 6 de Paloblanco y Montecristo tomando en cuenta que en Altiplano son dos paquetes con intercalación de arcillolita. El manto 9 o Bocatoma también presenta esta característica y es correlacionado con el 9 de Montecristo y Paloblanco. Los paquetes arenosos también se pueden seguir pero el espesor en Altiplano es mucho menor que el encontrado para Montecristo y así mismo la secuencia es mucho mas arcillosa.

Es de anotar que la secuencia en el Bloque Altiplano – Sipri, como se ha mencionado con anterioridad, es mucho mayor comparada con las secuencia de los bloques Paloblanco y Montecristo y la cantidad de cintillas encontradas es mucho mayor que para los otros bloques, por lo que existe la posibilidad de que haya otros mantos viables económicamente.

La variación con la columna generalizada de Ingeominas no es mucha y para el trabajo en Altiplano se tomó en cuenta la nomenclatura y las distancias estratigráficas para hacer el levantamiento. Por esto para este informe no se establece una correlación con la columna de Ingeominas pues la comparación se lleva a cabo entre los bloques para determinar continuidades antes que establecer nomenclatura.

### **3.4. PATRONES DE FRACTURAMIENTO.**

Una roseta de diaclasas es un diagrama sencillo que permite visualizar las direcciones de los rumbos generales de estructuras tabulares y de planos tectónicos (Diaclasas, Fallas). En este tipo de diagrama no hay información sobre el manto o la dirección de inclinación. En conclusión, se puede describir este diagrama como un histograma redondo, lo cual significa

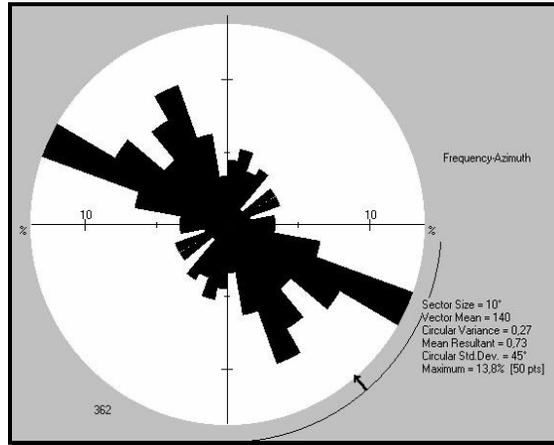
que los rangos de rumbo se ubican al margen del círculo desde arriba (Norte o 0°), hacia abajo (Sur o 180°) en sentido de las manecillas del reloj. La cantidad de los datos con respecto de un rango se encuentran en el eje desde el centro (como 0%) hacia la margen (como 100%). Solamente es necesario calcular la mitad de los rangos (medio círculo) porque el rumbo es un elemento bidireccional y automáticamente cubre el rango opuesto, es decir el rango de diferencia de 180° (lado opuesto) se marca igualmente.

Una proyección estereográfica permite representar un plano inclinado. Para cada plano solo hay una perpendicular a él, llamado polo del plano que, se puede representar en una red estereográfica polar equiareal de Lambert- Schmidt (con graduación polar), la cual permite contar la densidad de polos y está marcada en intervalos de 2°.

Las siguientes figuras fueron elaboradas en el programa Georient 7.2, aunque con el fin de comprobar los resultados, inicialmente se habían construido a mano. Se construyeron los diagramas rosetas y de polos, dividiendo la zona en bloques limitados por fallas que pueden estar marcando un sub-ambiente tectónico específico.

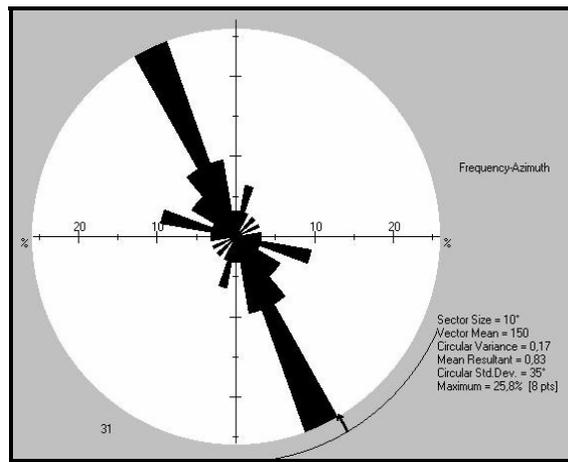
#### 3.4.1. BLOQUE PALOBLANCO – ALICANTE.

Elaboramos un diagrama de todo el sector, con 362 datos tomados en mina y superficie para hacer una observación general, que nos da como resultado un vector principal en dirección 140° con un máximo de 50 puntos correspondiente al 13.8% del total de puntos (Ver figura N° 4).



**Figura N° 4 :** Diagrama roseta correspondiente al área total del Bloque Paloblanco – Alicante.

Sobre superficie se tomaron un total de 31 datos que nos da como resultado un diagrama con un vector principal en la dirección de azimut 150°, con máximo de 8 puntos correspondiendo al 25% (Ver figura N° 5).

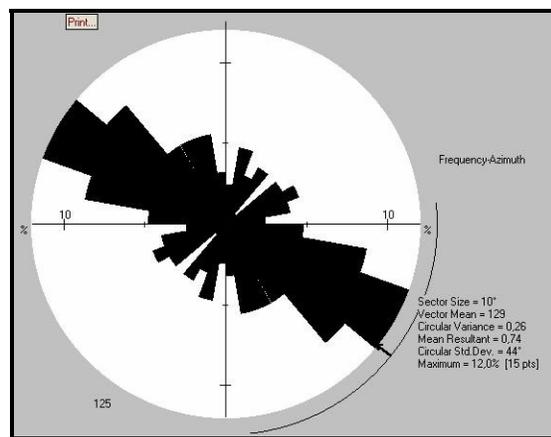


**Figura N° 5 :** Diagrama roseta correspondiente al área total de la superficie del Bloque Paloblanco – Alicante.

Entre las minas Alicante y Paloblanco se presentan una serie de fallas de salto considerable que determinan 2 zonas;

- Zona Paloblanco:

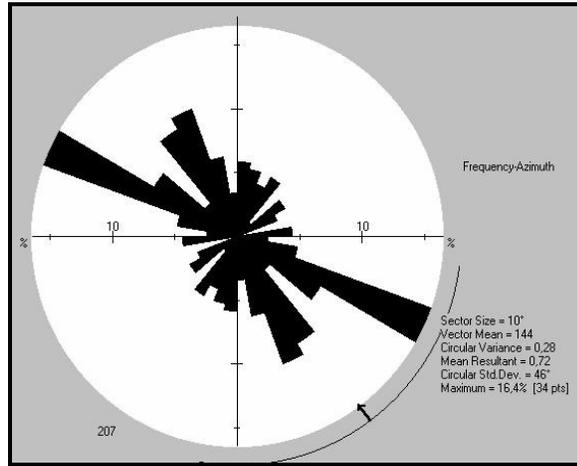
Para esta zona se recogieron un total de 125 datos, tomados tanto en superficie como en mina. El resultado del diagrama nos muestra una dirección del vector principal de azimut  $129^\circ$ , aproximadamente perpendicular al tren general de la estructura en el sinclinal Checua – Lenguazaque, con un máximo de 15 puntos correspondiendo al 12.0% del total de datos (Ver figura 6).



**Figura N° 6 :** Diagrama roseta correspondiente al área de la Zona Paloblanco.

- Zona Alicante:

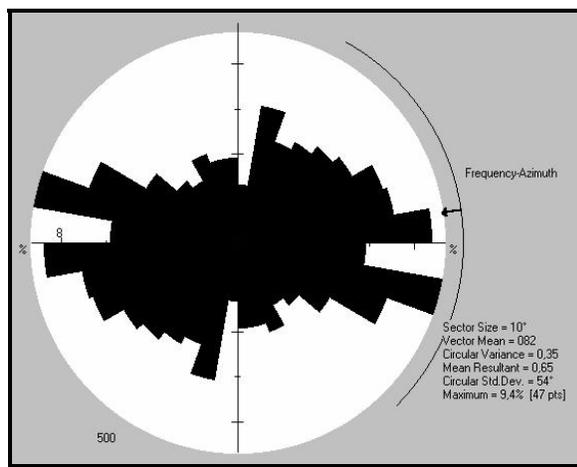
Con un total de 207 datos, el sector de Alicante nos muestra un diagrama con un vector principal de orientación azimut  $144^\circ$ , con un máximo de 34 puntos correspondientes al 16.4% del total de datos (Ver figura 7).



**Figura N° 7:** Diagrama roseta correspondiente al área de la zona Alicante.

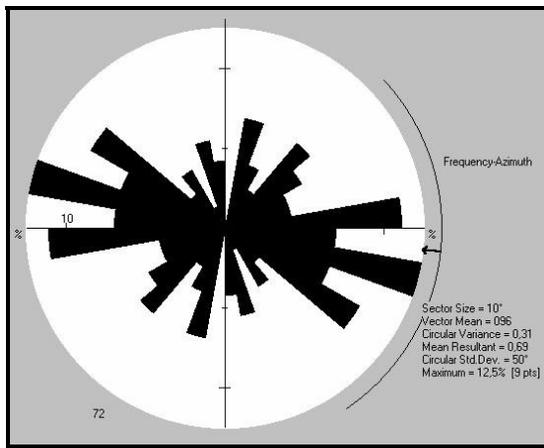
### 3.4.2. BLOQUE MONTECRISTO.

Para este sector se tomaron un total de 500 diaclasas que nos arrojaron un diagrama con un vector principal en dirección de azimut  $82^\circ$ , con un máximo de 47 puntos correspondiente al 9.4% del total de datos (Ver figura 8).



**Figura N° 8:** Diagrama roseta correspondiente al área total del Bloque Montecristo.

Superficialmente se recogieron un total de 72 diaclasas que nos dieron como resultado un diagrama rosa con un vector principal de dirección azimut  $96^\circ$ , correspondiendo a 9 puntos que equivalen al 12.5% (Ver figura 9).

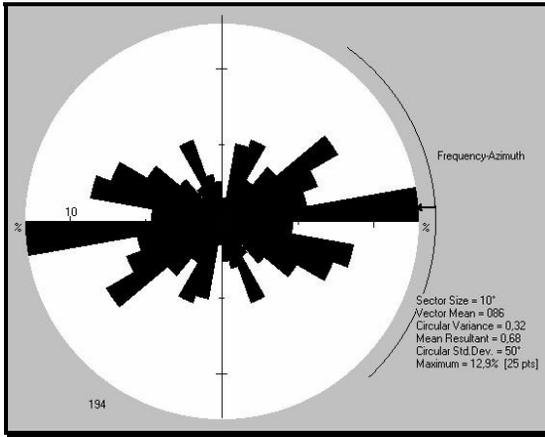


**Figura N° 9:** Diagrama roseta correspondiente al área superficial total del Bloque Montecristo.

El bloque Montecristo presenta algunas complejidades estructurales que determinan básicamente la división del bloque en 2 nuevos bloques o sectores, separados por una falla normal convergente al nor-este y con un buzamiento entre los  $18^\circ$  y  $25^\circ$ . A estos bloques se les ha denominado bloque norte y bloque sur.

- Bloque Norte:

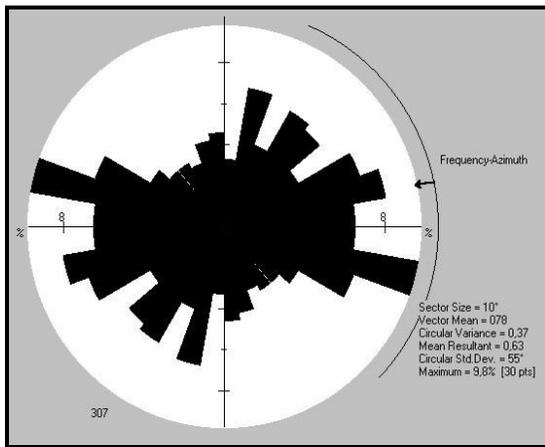
Sobre este bloque se tomaron 194 datos que corresponden a los niveles norte de la mina manto 1 así como algunos datos tomados en afloramientos. El vector principal del diagrama roseta nos indica un azimut de  $86^\circ$ , con 25 puntos que equivale al 12.9% del total (Ver figura 10).



**Figura N° 10:** Diagrama roseta correspondiente al área del Bloque Norte en Montecristo.

- Bloque Sur:

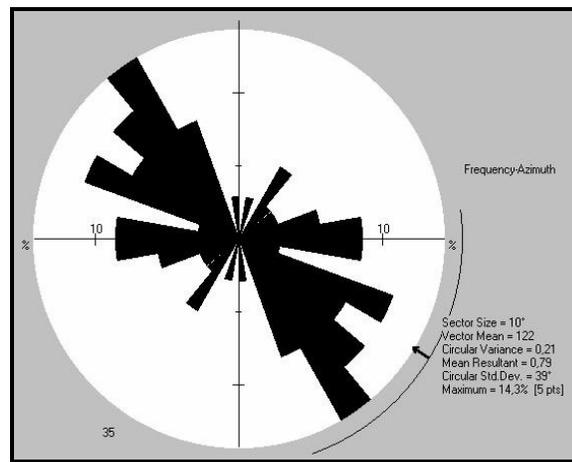
Sobre el bloque sur se tomó un total de 308 diaclasas, que corresponden al levantamiento estructural realizado sobre, los niveles sur de la mina Manto 1, la mina Manto 7, la transversal de la mina Manto 1 y datos de afloramiento. El diagrama rosa nos indica un vector principal de azimut  $78^\circ$ , correspondiente a 30 puntos que equivalen al 9.8% del total de datos (Ver figura 11).



**Figura N° 11:** Diagrama roseta correspondiente al área del Bloque Sur de Montecristo.

Hacia el sur de la mina Montecristo se tomaron datos sobre una transversal de una compañía explotadora de carbón vecina, propiedad del señor Raúl Gómez, en donde el comportamiento estructural es muy homogéneo y no existe fallamiento importante cercano, por lo que los datos de diaclasamiento nos pueden dar una idea importante del comportamiento general de la estructura principal, que en este caso es el sinclinal de Checua – Lenguazaque.

El total de datos recolectado fue de 35, que nos dió como resultado un diagrama de rosetas con un vector principal de azimut  $122^\circ$ , con un total de 5 puntos correspondiente al 14.3% del total (Ver figura 12).



**Figura N° 12:** Diagrama roseta correspondiente al área de la Cruzada la 12.

### 3.4.3. ANÁLISIS DE DIAGRAMAS ROSETAS.

Como información general se puede decir que las diaclasas tanto en el sector de Paloblanco como en Alicante no presentan rellenos, solo en algunos casos depositación de óxidos, esporádicamente abiertas, en aberturas que no sobrepasan los 1.5 cms. En areniscas de los niveles guía se presenta, en algunas ocasiones, una depositación zonificada de óxidos al interior de las diaclasas. Superficies lisas, ligeramente rugosas en algunas familias,

presencia esporádica de estrías de falla. Se presenta flujo de agua, en especial donde se existen debilidades estructurales. La continuidad es muy limitada; la mayoría de familias no se pueden seguir de las capas de carbón a los respaldos arcillosos.

El origen del fracturamiento para las diaclasas encontradas en los carbones y en los respaldos en el área, pueden ser producto de:

- Fallas y zonas de cizalla.
- Sets de diaclasas relacionadas a compresión o extensión.
- Fracturamiento natural del carbón.
- Fracturas inducidas en la mina.

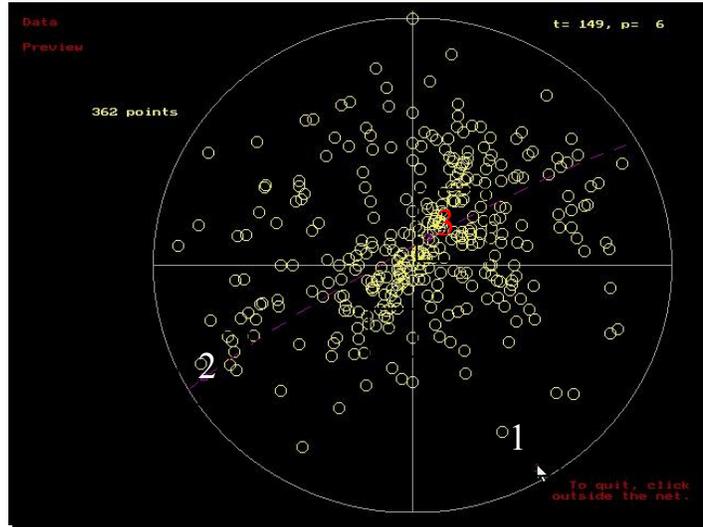
#### 3.4.4. RESULTADOS

- Bloque Alicante – Paloblanco.

Con los resultados de los diagramas para el bloque Alicante – Paloblanco podemos ver que el vector principal, orientación del principal set de diaclasas, se encuentra entre los 130° y 145°, que corresponde a una dirección perpendicular a la estructura general del sinclinal Checua – Lenguazaque, que oscila entre los N 50° E en Paloblanco y los N 65° E en Alicante.

De acuerdo al programa Splot, para el bloque Alicante – Paloblanco tenemos unos esfuerzos en las direcciones:

- |  |           |          |
|--|-----------|----------|
| ▪ $\sigma_1 = N 60^\circ E / 6^\circ S E$  | $t = 150$ | $p = 6$  |
| ▪ $\sigma_2 = N 59^\circ W / 8^\circ S W$  | $t = 241$ | $p = 8$  |
| ▪ $\sigma_3 = N 63^\circ W / 80^\circ N E$ | $t = 27$  | $p = 80$ |



**Figura N° 13:** Diagramas de polos para las diaclasas totales del Bloque Alicante - Paloblanco.

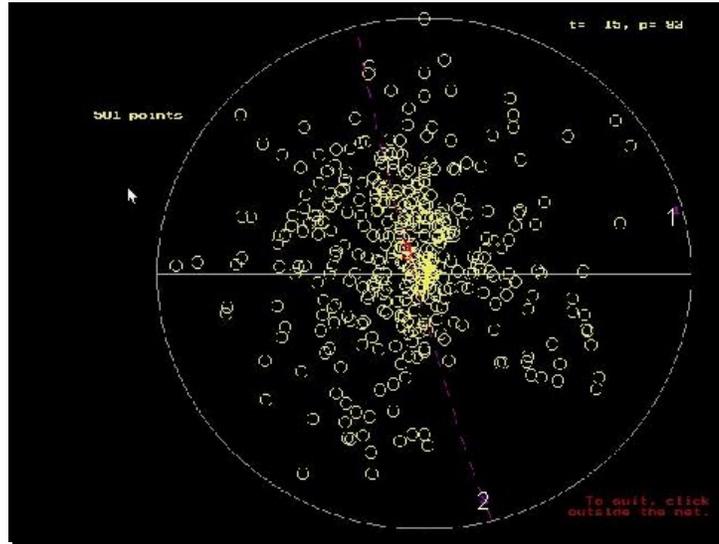
Que nos indica un esfuerzo  $\sigma_1$  perpendicular al tren general de la estructura y de carácter subhorizontal. Un  $\sigma_2$  también subhorizontal y un  $\sigma_3$  de carácter verticalizado.

- Bloque Montecristo.

En cuanto al bloque Montecristo observamos como el vector principal nos da una orientación ubicada entre los  $80^\circ$  y  $90^\circ$ , que corresponde a una disposición oblicua a la dirección del tren general en este sector, propio a los  $N 45^\circ E$ .

Para los esfuerzos tenemos:

- |  |           |          |
|--|-----------|----------|
| ▪ $\sigma_1 = N 51^\circ W / 3^\circ N E$  | $t = 75$  | $p = 3$  |
| ▪ $\sigma_2 = N 76^\circ E / 9^\circ S E$  | $t = 166$ | $p = 9$  |
| ▪ $\sigma_3 = N 50^\circ E / 79^\circ N W$ | $t = 320$ | $p = 79$ |



**Figura N° 14:** Diagrama de polos para las diaclasas totales del Bloque Montecristo.

La transversal vecina, “Cruzada la 12”, nos da una idea del esfuerzo principal en el área, pues como se decía anteriormente este sector es muy homogéneo estructuralmente. Para este punto específico, tenemos un vector principal en dirección  $122^\circ$ , perpendicular a la estructura general  $N 45^\circ E$ .

Con estos resultados se puede determinar que el diaclasamiento encontrado en el bloque Montecristo se debe al fallamiento local, mientras que el diaclasamiento encontrado en Alicante – Paloblanco se debe al régimen tectónico regional de carácter compresivo.

#### **4. MECANICA DE ROCAS.**

##### **MARCO TEORICO.**

El propósito principal de este capítulo es dejar unas primeras bases teóricas acerca de la mecánica de rocas con el fin de que la empresa COLMINAS S.A. pueda a corto plazo comenzar un proceso de caracterización geomecánica de los respaldos y mantos de carbón para mejorar los sistemas de sostenimiento de la galerías, en este nuevo desarrollo de la minería mejor tecnificada.

La roca es uno de los más antiguos materiales de construcción y sin embargo uno de los menos entendidos. Como material ingenieril, la roca es variable; los materiales de las rocas poseen todas las clases de comportamientos mecánicos. La roca difiere significativamente de muchos otros materiales con los cuales construimos por poseer muchas fortalezas y debilidades que a la vez tienden a interrumpir la continuidad del material y a dividirlo en dominios de diferentes tipo. La roca común exhibe así muchos planos de debilidad que son esencialmente una colección de bloques estrechamente ajustados en un mosaico de 3 dimensiones. En las rocas discontinuas asumimos que los movimientos de puntos dentro de bloques individuales se derivan principalmente de los movimientos del cuerpo rígido del sistema bloque, aceptado esto para rocas duras (granito, cuarcita, neis, caliza, pizarra, etc.). Para rocas blandas las deformaciones son tan importantes como la rotación y translación interbloque. El macizo rocoso usual encontrado en trabajos de excavación se sitúa en alguna parte entre los extremos considerados<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> GOODMAN, RICHARD E., GEN-HUA SHI. Block Theory and its application to Rock Engineering. Prentice – Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. USA. 1985.

#### **4.1. MACIZO ROCOSO**

Una excavación subterránea es una estructura de gran complejidad y las únicas herramientas de las que dispone el proyectista para ayudarse en su empresa son unos modelos extraordinariamente simplificados sobre algunos de los fenómenos que se conjugan para lograr la estabilidad de la excavación (Ibid).

El diseño de excavaciones subterráneas es, en gran medida, el diseño de los sistemas subterráneos de los sistemas de ademado. Estos pueden abarcar desde esfuerzo cero, hasta el uso de recubrimiento total de concreto lanzado y con anclas o cables tensados (Ibid).

El propósito principal de cualquier diseño de excavación es utilizar la roca misma como material estructural principal. En su estado inalterado o cuando se someten a esfuerzos de compresión, la mayoría de las rocas duras son mucho más resistentes que el concreto y muchas alcanzan el mismo grado de resistencia que el acero (Ibid).

Las clasificaciones geomecánicas se han convertido en una herramienta universal para el prediseño de obras subterráneas y de todo tipo. En el caso de los túneles son también la herramienta básica de control geológico, completando y ayudando a interpretar los resultados de la instrumentación de la obra. Además cada vez es mas frecuente el uso de las clasificaciones (básicas) para la descripción de macizos rocosos antes de considerar las cuestiones de anteproyecto de obras concretas (Ibid).

La clasificación mas útil de las excavaciones subterráneas se refiere al grado de estabilidad que se exige de la roca que circunda una excavación. Barton , Lien y Lunde, en 1974, proponen las siguiente categorías<sup>1</sup>:

---

<sup>1</sup> HOEK, D., E.T. BROWN. Excavaciones Subterráneas en Roca. Mc Graw-Hill, USA. 1980.

- A. Minas provisionales.
- B. Tiros verticales.
- C. Minas permanentes, túneles de conducción de aguas, túneles de exploración, galerías y cortes parciales de grandes excavaciones.
- D. Cámaras de almacenamiento, plantas de tratamiento de aguas, túneles para ferrocarriles, pozos de oscilación y túneles de acceso en proyectos hidráulicos.
- E. Casas de maquinas subterráneas, túneles grandes para carreteras o ferrocarril, refugios, portales y cruces de túneles.
- F. Estaciones núcleo-eléctricas subterráneas, estaciones de trenes, instalaciones deportivas y publicas, fabricas subterráneas.

La estabilidad en el diseño de taludes en roca se expresa desde el punto de vista del factor de seguridad.

La caracterización apropiada de los macizos rocosos, además de ser la base para el diseño de las obras, contribuye a la optimización del método constructivo, da vía al mejoramiento del macizo (anclajes, inyecciones, drenaje) y permite la programación de observaciones durante el funcionamiento de las obras. Una interpretación exacta de la geología es prerequisite esencial para un diseño lógico (Ibid).

Cuatro fuentes principales de inestabilidad se identifican en el proceso de las excavaciones en roca (Ibid):

- a) La inestabilidad ocasionada por una geología estructural adversa.
- b) La inestabilidad debida a esfuerzos exagerados en la roca también.
- c) La inestabilidad debida a la meteorización y/o expansiones.

d) La inestabilidad debida a presiones o flujo excesivo de aguas subterráneas.

En cuanto a lo que tiene que ver con la clasificación del macizo rocoso a continuación se presenta una compilación muy sucinta de los tipos de roca que se tiene en cuenta para el diseño de excavaciones subterráneas.

En 1946, Terzagui propuso un sistema muy sencillo de clasificación de roca para calcular las cargas que deben soportar los marcos de acero en los túneles. En su artículo procede con la definición de tuneleo como sigue (Ibid):

- Roca Inalterada. Sin fisuras ni ramaleos. Rompe a través de la roca sana.
- Roca estratificada. Constituida por capas unitarias.
- Roca medianamente fisurada. Los bloques presentan fisuras y ramaleos pero están íntimamente embonados.
- Roca agrietada. Roca químicamente inalterada cuyos bloques están separados unos de otros.
- Roca triturada. Apariencia de ser un producto triturado.
- Roca comprimida. Compuesto de un elevado número de partículas sub-microscópicas.
- Roca expansiva. Roca con capacidad de esponjamiento.

#### 4.1.1. INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA. ROCK QUALITY DESIGNATION (RQD).

En 1964 Deere, propuso un índice cualitativo de la calidad de la roca basado en la recuperación de núcleos con perforación de diamante. Se llama el sistema de Rock Quality Designation (RQD) (Ver figura 15). Se define como el porcentaje de núcleos que se recuperan en piezas enteras de 100 mm o más, del largo total del barreno (Ibid). Por lo tanto

$RQD(\%) = 100 * \text{Longitud de los núcleos mayores de } 100\text{mm} / \text{largo del barreno.}$

Esta normalmente aceptado que el RQD se establece en núcleos de cuando menos de 50 mm de diámetro, recuperados con una perforadora de diamante de doble barril.

<b>R Q D</b>	<b>Calidad de la Roca</b>
Menor a 25 %	Muy mala
25 – 50 %	Mala
50 – 75 %	Regular
75 – 90 %	Buena
90 - 100 %	Muy buena

**Figura 15:** Clasificación RQD. Tomado de HOEK, D., E.T. BROWN. Excavaciones Subterráneas en Roca.

El criterio de refuerzos del RQD tiene limitaciones en el caso de que haya fracturas con rellenos de arcillas o material meteorizado. Tampoco toma en cuenta otros factores como la orientación de las juntas (Ibid).

Los dos sistemas mas conocidos para la clasificación de roca son de Bieniawski RMR (1973, 1989) y Barton Q (1974). Los dos sistemas incorporan parámetros de geología, geometría y de diseño de ingeniería para llegar a un valor cuantitativo de la calidad de la masa rocosa (Ibid).

Los parámetros usados en las distintas clasificaciones no son muy diferentes. Dichos parámetros se resumen en la figura 16. En ambas los parámetros asociados con la naturaleza y disposición de las juntas tienen influencias del orden del 60%. Pero sin

embargo, las distintas maneras de enfocar las valoraciones cuantitativas pueden aumentar la divergencia entre clasificaciones (Ibid).

PARAMETRO	RMR	Q
Resistencia de la matriz	Compresión simple.	-
Fracturación	RQD – Espaciamiento.	RQD – N° de familias
Estado de las juntas	Rugosidad, Continuidad, apertura. Relleno, meteorización de bordes.	Rugosidad Contacto tras esfuerzo cortante, relleno, meteorización de bordes.
Agua subterránea	Flujo en túneles o razón de presiones intersticiales o condiciones generales	Flujo en túneles, presiones intersticiales
Estado tensional	-	Nivel de tensiones relativo a compresión simple

**Figura 16 :** Parámetros de la Clasificación RMR y Q. Tomado de ROMANA RUIZ, M., SERÓN GAÑEZ, J. Formatos Normalizados para la toma de datos de campo a usar en las clasificaciones geomecánicas RMR, Q y SMR.

#### 4.2. BLOQUE CRITICO

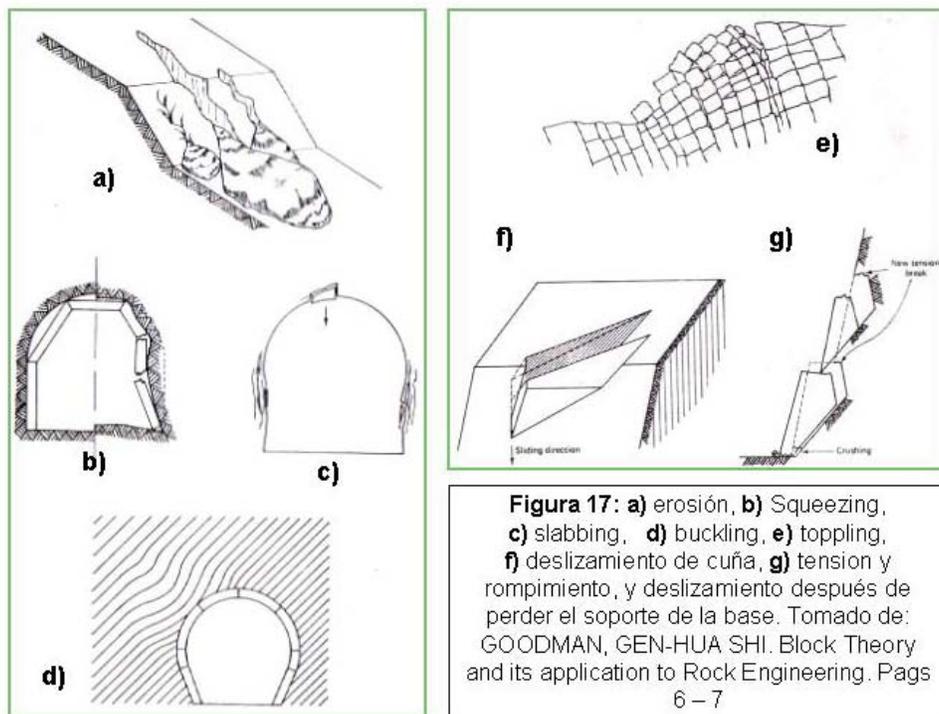
La teoría del bloque puede ser aplicada para explicar fabricas, observadas en rocas en cual caso los planos de discontinuidad son fisuras y microfallas. La forma interior de una galería subterránea, por ejemplo, las diaclasas individuales paralelas a la estratificación, o de sets en otras aptitudes espaciales, puede controlar el resultado del trabajo (Opus. Cit.).

La teoría del bloque fue desarrollada por Richard Goodman y Gen-hua Shi en su libro “Teoría del Bloque y su Aplicación a la Ingeniería de Roca” de 1985, aplica para todo tipo

de excavaciones, ya sean estas permanentes, como túneles para vías, abastecimientos de agua o excavaciones temporales. La teoría relaciona el movimiento de las diaclasas que son liberadas por las superficies artificiales a ser excavadas. El modo de falla envuelve el movimiento de bloque de roca (Opus. Cit.).

#### 4.2.1. MODOS DE FALLA.

Las excavaciones subterráneas son más estables que las superficiales, pero las rocas en espacio confinado fallan de forma más compleja, pues pueden incluir violentos rompimientos de roca, dado esto por las mismas realidades geológicas donde se experimenta el sobre-rompimiento localizado. El estrés tangencial alrededor de la apertura tiende a detener el movimiento de bloques, actuando como un factor estabilizante, de echo usualmente la ausencia de continua compresión, permite la ruptura más que la presencia de esfuerzos de elevada magnitud (Opus. Cit.).



En rocas estratificadas, relativamente débiles o moderadas o aún en profundidades poco profundas y rocas duras a grandes profundidades, el crecimiento de la ruptura puede socavar porciones de las excavaciones y provocar fallas locales. En la ausencia de una estructura geológica gobernante, nuevas rupturas tienden a desarrollarse paralelas a la superficie de excavación Figura 17 c. Las excavaciones en rocas regularmente estratificadas presentan modos de fallas debido a flexión de las capas, figura 17 d. El movimiento de un primer bloque crea el espacio dentro del cual bloques previamente restringidos pueden entonces avanzar. Así una falla puede ocurrir retrogresivamente, a veces rápidamente. Muchas fallas de excavaciones de roca son desarrolladas por el movimiento de un simple bloque previamente definido por intersecciones de juntas (Opus. Cit.).

El ingeniero puede trabajar con muchas condiciones de la roca si los datos geológicos son adecuadamente incorporados dentro del proceso de diseño (Opus. Cit.).

#### 4.2.2. SUPOSICIONES DE LA TEORÍA DEL BLOQUE.

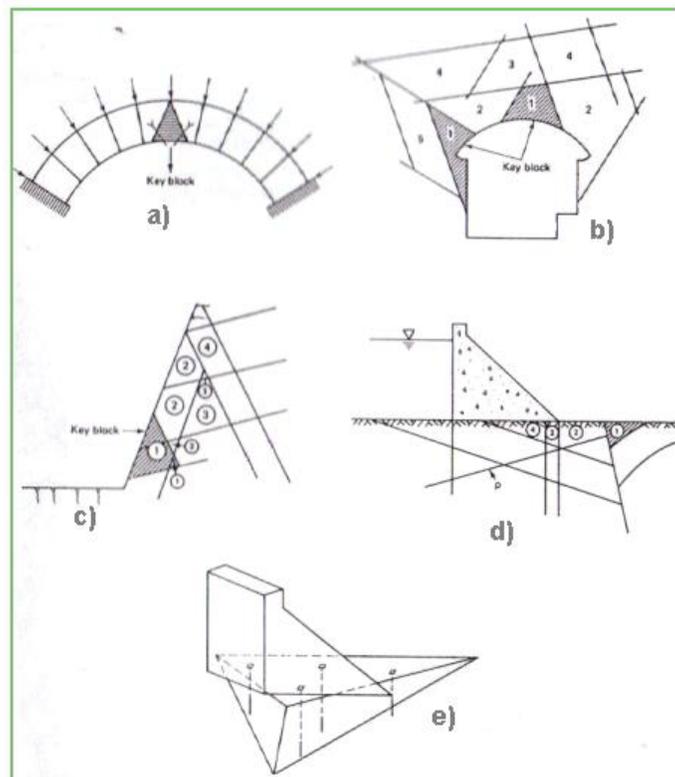
La teoría del bloque está limitada a encontrar los bloques críticos creados por la intersección de discontinuidades en un macizo rocoso excavado a lo largo de superficies definidas (Opus. Cit.).

1. Todas las superficies de juntas son asumidas como perfectamente planares.
2. Las superficies de diaclasa serán asumidas como extendidas a través de todo el volumen de interés. Las discontinuidades no terminan dentro de la región de un bloque (Keyblock). Los bloques son completamente definidos por superficies de juntas preexistentes.
3. Los bloques definidos por el sistema de caras de juntas son asumidos como rígidas. La deformación y distorsión del bloque no es tomada en cuenta.

4. Las discontinuidades y las superficies de excavación son asumidas a ser determinadas como parámetros de entrada. Si el set de orientaciones de diaclasas es muy disperso, alguna tendencia tiene que ser tomada como representativa.

#### 4.2.3. EL SISTEMA KEYBLOCK.

El objetivo de la teoría del bloque es encontrar y describir el bloque mas critico alrededor de una excavación. La teoría del bloque se desarrolla sobre las bases de la información geométrica derivada de la geología estructural y cálculos de equilibrio usando estática sencilla (Opus. Cit.).

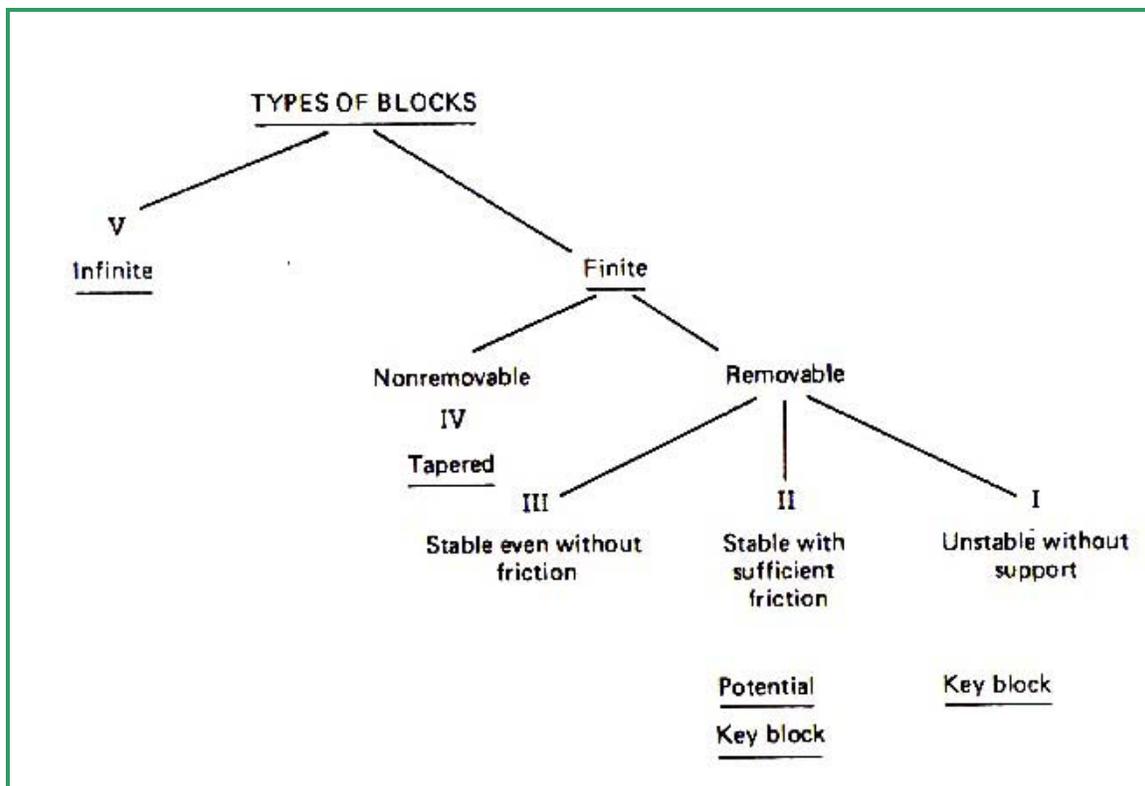


**Figura N° 18:** Key Blocks en: a) arco, b) una camara bajo tierra, c) superficie de corte, d) y e) fundaciones. Tomado de GOODMAN, RICHARD E., GEN-HUA SHI. Block Theory and its application to Rock Engineering. Pag 20.

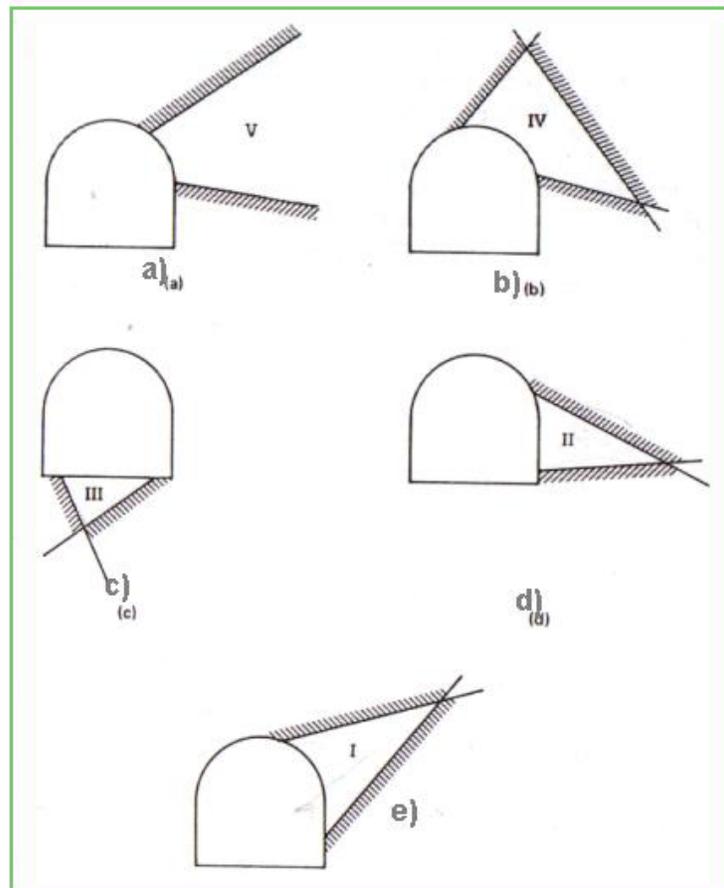
Las intersecciones de numerosos sets de diaclasas crean bloques de forma y termino irregular en el cuerpo del macizo rocoso; Entonces cuando la excavación es echa, muchos bloques son formados con las superficies de la galería. Algunos no se pueden mover dentro del espacio libre pero otros están en posición de moverse y provocar que otros previamente restringidos sean liberados (Ibid).

La figura 20, muestra los posible Keyblocks formado sobre la excavación.

Un Keyblock (Bloque llave) es potencialmente critico para la estabilidad de una excavación ya que por definición es finito, removible y potencialmente inestable (Ibid).



**Figura N° 19:** Tipos de bloque. Tomado de GOODMAN, RICHARD E., GEN-HUA SHI. Block Theory and its application to Rock Engineering. Pag 99.



**Figura N° 20:** Tipos de Bloque: a) infinito, b) restringido, c) estable, d) Keyblock potencial, e) Keyblock.

### 4.3. APLICACIONES DE LOS DIAGRAMAS POLARES EQUIAREALES

Las aplicaciones de los diagramas polares equiareales, apoyados en ocasiones con investigaciones complementarias utilizando la red estereográfica de Wulf, son numerosas, pero las más frecuentes en estudios geológicos y geotécnicos, son las siguientes:

- Determinación cualitativa de posibles esfuerzos residuales Sigma  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$ , aplicables en túneles, taludes y entre otras, en investigaciones de correlación e interpretación tectónicas.
- Diagramas polares de frecuencia de fracturamiento convencionales o modificados, denominados diagramas estructurales o mecánicos, aplicables en túneles y taludes.
- Diagramas polares “hidráulicos” de frecuencia de discontinuidades estructurales, utilizables en túneles, taludes, presas y embalses, fundaciones de obras civiles e investigaciones con la hidráulica de rocas.
- Análisis preliminares sobre estabilidad de taludes con superficies potenciales de deslizamiento planar, diedrico o por volcamiento.
- Diagramas polares equiareales de discontinuidades estructurales encontradas en pozos o en paredes de túneles.

Todo muestreo estadístico confiable, se requiere de muestreo numeroso, bien distribuido espacialmente e imparcial que, con una practica geológica acertada, se adquieren dichos criterios.

#### 4.3.1. ESFUERZOS TECTONICOS RESIDUALES POTENCIALES

Los diagramas polares de frecuencia estadística tienen, en el caso particular del estudio de discontinuidades estructurales del tipo fracturas y diaclasas, usos de gran interés tanto geológico como geotécnico.

- Relación tectónica entre las fracturas y diaclasas analizadas y las fallas más importantes de la región.
- Selección de las disposiciones estructurales con mayor frecuencia en la zona, pudiéndose definir frecuencia local o puntual y frecuencia regional o generalizada.
- Relación de las fracturas y diaclasas analizadas con las obras civiles o mineras proyectadas.

Fracturas de paso lento: Hacen ángulo entre  $0^\circ$  y  $30^\circ$  con el eje del túnel.

Fracturas de paso normal: Hacen ángulo entre  $30^\circ$  y  $60^\circ$  con el eje del túnel.

Fracturas de paso rápido: Hacen ángulo entre  $60^\circ$  y  $90^\circ$  con el eje del túnel.

#### **4.4. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA CARACTERIZACION GEOMECÁNICAS DE ARCILLAS Y CARBONES.**

En esta parte del capítulo se permite sugerir una serie de ensayos de laboratorio necesarios para una correcta caracterización geomecánica, de acuerdo a algunas asesorías que se obtuvieron de parte de profesores cátedra y de planta de la Universidad Nacional de Colombia, en especial del Dr. Jorge Puerto.

La roca es una mezcla de minerales diferentes, puede definirse como una sustancia técnica, heterogénea, alotrópica (anisotrópica) y granular que se presenta naturalmente. Las rocas no son cuerpos compactos, son discontinuos cruzados por microfisuras y poros, superficies de estratificación, separación, clivajes, etc., esto hace que las rocas tengan propiedades mecánicas diferentes según la dirección de estudio<sup>1</sup>.

Estamos pues frente a una sustancia de una complejidad tal, que hablar de un valor único para clasificarla sería tan inocuo como falso. Por esto las características físicas y mecánicas de un material rocoso, es un problema estadístico. Una o dos mediciones sobre muestras al azar son completamente insensatas. Deben estudiarse varias muestras del mismo material (Ibid).

El propósito al especificar un procedimiento de ensayo es asegurar la selección de un grupo adecuado de especímenes proveniente, cada uno de tipos de roca de diferente

---

<sup>1</sup> DE LA CRUZ CORREA ARROYAVE, A. Caracterización de Rocas Ensayos de Laboratorio. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia.

comportamiento físico o mecánico que constituyan una parte esencial de una estructura o de un modelo, o que estén relacionados con un proyecto de investigación. En una exploración minera, el procedimiento de ensayo debe encaminarse directamente a evaluar las propiedades de la roca que eventualmente conformará el techo, el piso, las paredes, los pilares u otras partes específicas de la estructura (Ibid).

#### 4.4.1. ENSAYOS

Los ensayos son los recomendados por The comisión on Testing Methods, de la I.S.R.M. (International Society for Rock Mechanics) (Ibid).

Estos ensayos fueron sugeridos en las consultas realizadas en la universidad nacional, con el fin de que la empresa se vaya adentrando en el tema de la mecánica de rocas, para sustentar con investigación los proyectos de gran envergadura que se pretenden realizar.

Existen 2 parámetros que se necesitan conocer para saber el comportamiento de la roca que va a estar sometida a los esfuerzos. Estos 2 parámetros son el  $\phi$  y el  $C$ , que son el ángulo de fricción interna y el coeficiente de cohesión, respectivamente. Con estos 2 parámetros se puede predecir en que punto podría producirse la fractura del macizo rocoso en función de un área mínima necesaria para el trabajo minero a mediana y gran escala.

Existen 2 ensayos claves a la hora de conocer el comportamiento geomecánico de las rocas; el ensayo de compresión simple nos da como resultado  $\sigma_c$ , que es la máxima resistencia a la compresión que puede soportar la roca y que nos determina cuanta es la máxima cantidad de esfuerzo que puede soportar la roca sana antes de su ruptura.

El ensayo de corte directo se utiliza con el fin de obtener los 2 parámetros mencionados,  $\phi$  y  $C$ . Para obtener unos resultados satisfactorios es necesario la realización de 3 ensayos como mínimo del mismo punto, ya que con 2 puntos se puede dibujar la recta, pero con 3

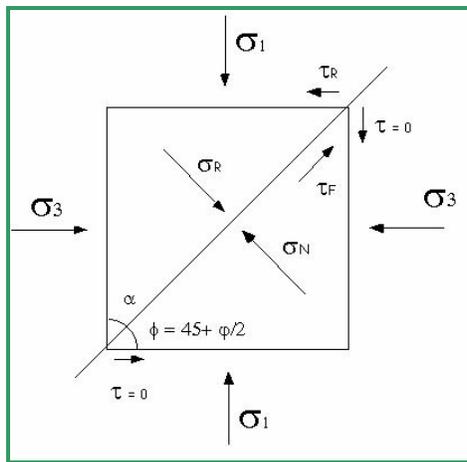
tenemos algo de certeza del trazo de esta recta. En la figura 22 vemos la recta definida por la ecuación de equilibrio:

$$\tau_R - \sigma_R \tan\phi = C$$

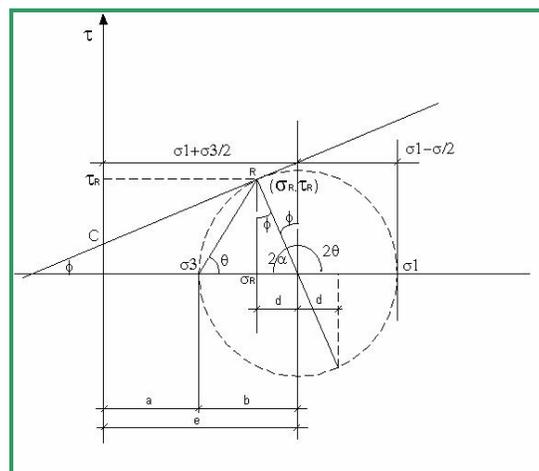
donde

$\tau_R$  = esfuerzo total

$\tau_F$  = esfuerzo cortante =  $\sigma_R \tan\phi$



**Figura N° 21:** Diagrama de esfuerzos sobre un cuerpo rígido de forma cuadrada, visto en 2 dimensiones.



**Figura N° 22:** Envolvente de Mohr. El material se fractura cuando el círculo de Mohr es tangente a la línea envolvente.

- Compresión Simple

El objetivo de este ensayo es medir la resistencia a la compresión uniaxial de un núcleo de roca. El ensayo tiene como objetivo principal la caracterización de un núcleo de roca intacta (Ibid).

El diámetro debe estar relacionado con el tamaño de grano más grande presente en la roca, mediante una relación de por lo menos 10: 1. Los núcleos no deben ser almacenados por un tiempo no mayor de 30 días, de tal forma que se preserve el contenido de humedad natural tan inmodificable como sea posible y ensayarlos en esa condición (Ibid).

- Humedad.

Este ensayo está encaminado a medir la masa de agua presente en una muestra de roca, como porcentaje de su masa seca al horno (Ibid).

La humedad se calcula de la siguiente manera:

$$\omega = \frac{\text{masa del agua en los poros, } M_w}{\text{masa de los granos, } M_s} \times 100\% = \frac{(B-C)/C-A}{C-A} \times 100$$

Se obtiene el contenido de humedad con una precisión de 0.1% expresando si corresponde a la humedad in – situ, caso en el cual se deben tener muchas precauciones para retener el agua durante el muestreo y almacenamiento (Ibid).

- Expansión y Desleimiento – Durabilidad.

Los materiales rocosos, con un alto porcentaje de arcilla, son propensos a expandirse, perder resistencia, ablandarse o desintegrarse cuando se exponen por un corto tiempo a los procesos de meteorización (desgaste o alteración por agentes atmosféricos) de naturaleza

humedecimiento – secado. Estos ensayos simulan los procesos naturales de humedecimiento y secado (Ibid).

Expansión para un espécimen radialmente confinado sometido a una sobrecarga axial: Este ensayo tiene como objetivo medir la deformación axial por expansión desarrollada cuando un espécimen de roca intacta sumergido en agua, y en una condición de confinamiento radial, es encuentra sometido a una presión axial constante o sobrecarga. El índice de la deformación por expansión se calcula de la siguiente manera (Ibid).

$$\text{Índice de deformación por expansión confinada} = (d/L) * 100\%$$

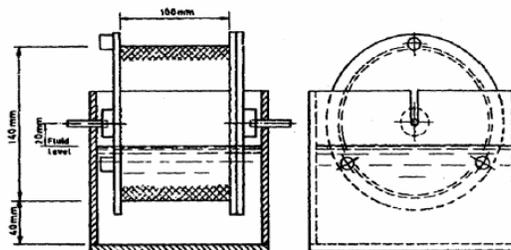
Donde:

d : desplazamiento máximo por expansión registrado durante el ensayo.

L : espesor inicial del espécimen.

Desleimiento – Durabilidad: Este ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia de una muestra de roca al ablandamiento y desintegración cuando se somete a dos ciclos patrones de humedecimiento – secado (Ibid).

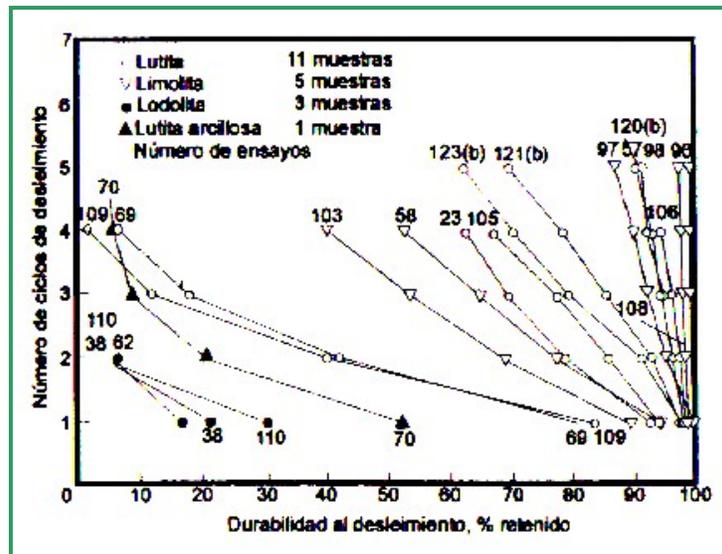
El equipo para realizar la prueba consiste de un cilindro o tambor de ensayo de longitud no obstruida de 100 mm y un diámetro de 140 mm. El tambor debe soportar una temperatura de 105° C y mantener su forma durante su uso (Ver figura 23) (Ibid).



**Figura N° 23:** Equipo utilizado para ensayos de desleimiento – durabilidad. Tomado de DE LA CRUZ CORREA ARROYAVE, A. Caracterización de Rocas Ensayos de Laboratorio. Pag 76.

El índice de desleimiento – durabilidad, se calcula como la relación en porcentaje de las masas secas de las muestras final a inicial, de la siguiente manera (Ibid):

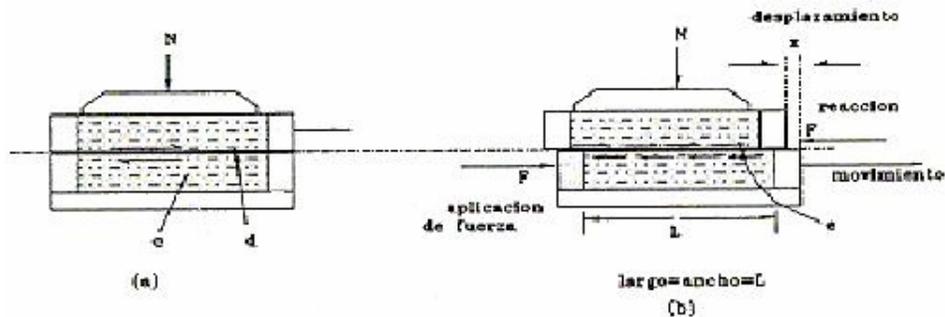
$$\text{Índice de desleimiento – durabilidad, } I_{d2} = (C - D / A - D) * 100\%.$$



**Figura N° 24:** Influencia del numero de ciclos de desleimiento en el ensayo desleimiento – durabilidad. Tomado de DE LA CRUZ CORREA ARROYAVE, A. Caracterización de Rocas Ensayos de Laboratorio. Pag 78.

- Resistencia al Corte.

El ensayo de corte directo, induce la ocurrencia de una falla a través de un plano de localización predeterminado. Sobre este plano actúan dos fuerzas (o esfuerzos): un esfuerzo normal debido a una carga vertical ( $P_v$ ) aplicada externamente y un esfuerzo cortante debido a la aplicación de una carga horizontal ( $P_h$ ) (Ibid).



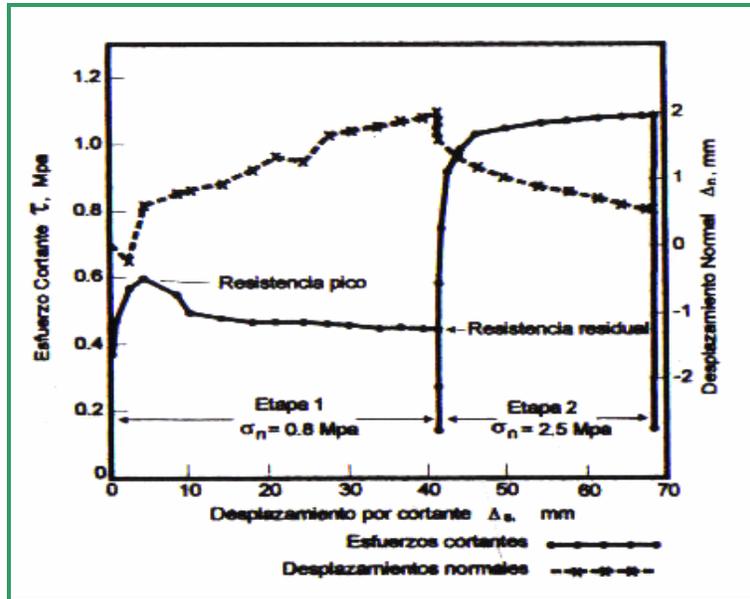
**Figura N°25:** Equipo utilizado para el ensayo de Corte Directo. Tomado de DE LA CRUZ CORREA ARROYAVE, A. Caracterización de Rocas Ensayos de Laboratorio. Pag 152.

Este ensayo mide las resistencias al corte directo pico y residual como una función del esfuerzo normal al plano de corte (Ibid).

Los planos de cizalladura deben coincidir preferiblemente con un plano de debilidad en la roca, por ejemplo una diaclasa, un plano de estratificación, de esquistosidad o de clivaje, o con la interfase entresuelo y roca o concreto y roca (Ver figura 25) (Ibid). La explicación de esta condición se debe al hecho de que el macizo no tiene la tendencia a romperse por donde la roca es sana, sino por donde existe discontinuidad como puede ser una diaclasa, fractura, o plano de estratificación, foliación o clivaje.

La determinación de la resistencia al corte debe comprender preferiblemente como mínimo 3 ensayos sobre el mismo horizonte de prueba con cada espécimen a diferente esfuerzo normal constante. Con esto se obtienen 3 puntos suficientes para graficar una recta (Ibid).

La resistencia al corte pico es el esfuerzo cortante máximo en la curva esfuerzo de corte – desplazamiento por corte. La resistencia al corte residual es el esfuerzo cortante que no se remonta nuevamente o donde el material falla por resistencia al corte; se observa con incremento del desplazamiento por corte. La resistencia al corte es el resultado de la resistencia a la fricción que se produce en los puntos de contacto entre partículas dependiendo solo de la magnitud de los esfuerzos efectivos (Ibid).



**Figura N° 26:** Gráficos Esfuerzo cortante – desplazamiento. Tomado de DE LA CRUZ CORREA ARROYAVE, A. Caracterización de Rocas Ensayos de Laboratorio. Pag 157.

Se grafica la curva de consolidación, el tiempo  $t_{100}$  para completar la consolidación primaria, se determina al construir tangentes (Ibid).

Esfuerzo normal:  $\sigma_n = P_n / A$

Esfuerzo cortante:  $\tau = P_s / A$

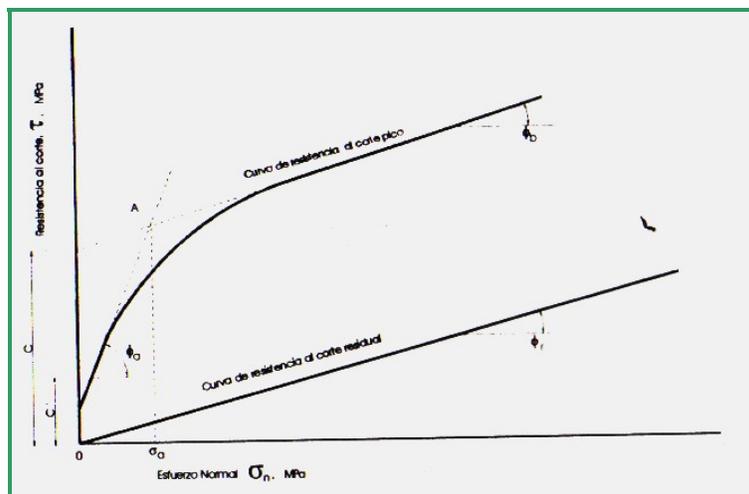
$P_s$  : carga total de corte.

$P_n$  : carga total normal.

$A$  : área sobrepuesta de la superficie de corte (corregida para tener en cuenta el desplazamiento por corte).

Las curvas esfuerzo de corte (o carga de corte) y desplazamiento normal versus desplazamiento de corte, (ver figura 26), para mostrar el esfuerzo normal nominal y cualquier cambio del esfuerzo normal durante el corte. Los valores de resistencia al corte pico y residual, los esfuerzos normales y los desplazamientos normales y de corte a los cuales estos se presentan, se obtiene a partir de dicha figura (Ibid).

Las curvas de resistencia al corte residual y pico versus esfuerzo normal, a partir de los resultados combinados para todos los especímenes ensayados. Los parámetros de resistencia al corte  $\phi_a$ ,  $\phi_b$ ,  $\phi_r$ ,  $C'$  y  $C$  se extraen a partir de esto gráficos, tal como se indica en la figura 27 (Ibid).



**Figura N° 27:** Grafico Esfuerzo cortante – Esfuerzo normal. Tomado de DE LA CRUZ CORREA ARROYAVE, A. Caracterización de Rocas Ensayos de Laboratorio. Pag 159.

## CONCLUSIONES

Los paquetes arenosos son muy importantes en el ámbito del Carbón por que ellos permiten diferenciar niveles y contactos para poder establecer la ubicación de los mantos. Es así como la arenisca Tierna Del Grupo Guadalupe es utilizada para determinar el tren general de la estructura del sinclinal. Las areniscas de la Guía y la Lajosa son utilizadas para determinar la ubicación de los mantos así como los estilos estructurales locales.

Las fallas que afectan los distintos bloque son de tipo transversal, es decir que cortan la secuencia perpendicularmente a la estratificación. Estas fallas en general presentan pequeños saltos y los mantos de carbón son fáciles de reencontrar, pero se debe utilizar toda la información disponible para evitar avances en direcciones erróneas.

El sistema de diaclasas de Montecristo nos muestra eventos tectónicos particulares para el sitio de características bimodales, posteriores a los esfuerzos generados en la formación de la estructura sinclinal. Caso contrario los diagramas rosetas elaborados para el bloque Paloblanco – Alicante nos muestran una diaclasas que responden a los esfuerzos generados en la formación de la estructura general. Esto es importante a la hora de la caracterización del macizo rocoso para elaborar sistemas de ademado para las galerías.

La correlación estratigráfica nos muestra que la continuidad de los mantos es buena dato muy importante para la minería tomando en cuenta que esta correlación se centró en el nivel basal de la formación Guaduas por encontrarse allí el punto de interés.

La tectónica para el bloque Sipri – Cebollas es mucha más complicada que en los otros 2 bloques y puede generar problemas en cuanto al contenido de carbón existente y en cuanto al comportamiento geomecánico.

La secuencia en el bloque Altiplano – Sipri es anómala en cuanto a los estándares propuestos en las columnas generalizadas. Esto puede deberse a complejidades estructurales o a engrosamiento de carácter estratigráfico.

## **RECOMENDACIONES**

Se deben utilizar métodos de prospección geofísica más adecuados que permitan una certeza geológica mayor, como aberturas de pozos con recuperación de testigos y disparo de líneas sísmicas, dado que la geoelectrica, que actualmente se encuentra en uso en la empresa, no está arrojando los resultados óptimos para la prospección geológica, pues se demostró en el trabajo de campo que hay bastantes imprecisiones en aspectos vitales de la minería.

Se debe crear formalmente el departamento de Geología en donde los geólogos puedan realizar su trabajo con autonomía y en donde se le presten las herramientas necesarias para el buen procesamiento de los datos disponibles obtenidos de los estudios geofísicos, el trabajo de campo directo y los recopilados en diferentes trabajos anteriores.

El modelo geológico se debe elaborar antes de emprender trabajos de minería a mayor escala con el fin de reducir posibles sobrecostos e inconvenientes innecesarios.

Se debe continuar con el proceso de extracción de núcleos para la caracterización geomecánica teniendo en cuenta tomar muestras en los sitios indicados de acuerdo a las necesidades de la minería a desarrollar.

La toma de núcleos y del sistema de diaclasado del macizo rocoso deber ser sistemática para la caracterización geomecánica, con el objetivo de llevar un control permanente de los cambios a que estén sujetos los avances de las galerías.

Implementar estudios hidrogeológicos para reducir el impacto sobre la minas de las aguas de infiltración y de los acuíferos, como es el caso de la Mina Manto 1 en el Bloque Montecristo y la Mina Paloblanco del Bloque Paloblanco.

Se deben replantear el calculo de reservas del Sub-bloque Sipri-Cebollas haciendo un trabajo de prospección mucho mas profundo debido a la complejidad tectónica observada, además de que el sector se encuentra fuertemente explotado.

El bloque Montecristo esta ampliamente explotado pero el potencial es bueno a profundidad, por lo que se debe planear minería a mayor escala con el objetivo de hacer extracción a altas profundidades.

## BIBLIOGRAFIA

Combustibles Fósiles. <http://www.mineranet.com.ar/elsuelo.asp>

CRUZ, L. E. Manual para descripción de rocas sedimentarias en campo. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2000.

DE PORTA J. (1974) Lexique Stratigraphique International, Vol. V, Amerique Latine, Fasc. 4b Colombie (deuxieme partie), tertiaire et Quaternaire. C N R S París: 648p.

DE LA CRUZ CORREA ARROYAVE, A. Caracterización de Rocas Ensayos de Laboratorio. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. Bogota, Colombia.

DENGO, C., COVEY, M. Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: Implications for Traps Styles and Regional Tectonics. AAPG Bulletin. Vol 77, No. 8. Agosto de 1993.

DIEZ SANCHEZ, M., PAEZ MARTINEZ, L. Gas asociado a mantos de carbón de la formación Guaduas en el Sinclinal Checua – Lenguazaque. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 1999.

FABRE, A. La subsidencia de la cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y el Terciario inferior. Geología Norandina N° 8. Diciembre de 1983.

GOODMAN, RICHARD E., GEN-HUA SHI. Block Theory and its application to Rock Engineering. Prentice – Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. USA. 1985.

HOEK, D., E.T. BROWN. Excavaciones Subterráneas en Roca. Mc Graw-Hill, USA. 1980.

INGEOMINAS (1988) Mapa geológico de Colombia. Esc. 1:1.500.000.

JULIVERT M. (1968). Lexique Stratigraphique International. Vol. V, Fasc. 4a (Premiere Partie). Paris: 641p.

RUEDA, E., VELEZ, M. B. Patrones de fracturamiento en la formación Guaduas, Sinclinal Checua – Lenguazaque y su relación con los yacimientos de gas asociado en mantos de carbón. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.1999.

McLAUGHLIN, D., ARCE, M. Mapa Geológico del Cuadrángulo K – 11 ZIPAQUIRÁ. Ingeominas. Bogotá. 1975.

PEREZ, F., VALDERRAMA, G., BLANCO, G., GONZALES, L., GARCIA, F. Caracterización de Carbones Colombianos Zona Checua – Lenguazaque. Boletín Geológico. Vol 28, No. 2. Ingeominas. Bogotá. 1987.

ROMANA RUIZ, M., SERÓN GAÑEZ, J. Formatos Normalizados para la toma de datos de campo a usar en las clasificaciones geomecánicas RMR, Q y SMR. Universidad Politécnica de Valencia. <http://empresa.arrakis.es/sfmr/formatos.Normalizados.pdf>

SARMIENTO PEREZ, G. Estratigrafía, Palinología y Paleoecología de la Formación Guaduas. Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas. Ingeominas. No. 20. Santa Fé de Bogotá. 1994.

SUESCUN J., RAMOS DIAZ V. A. Cartografía Geológica, Caracterización Calculo de reservas para los Carbones pertenecientes al nivel Ktg 2 y Ktg 3 de la Formación Guaduas sobre el Flanco Occidental del Sinclinal Checua - Lenguazaque entre los Municipios de Raquira y Samacá (Boyacá). Tesis de Grado. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso. 2001.

TOUSSAINT J.F. Evolución Geológica de Colombia: Precámbrico, Paleozoico, Mesozoico, Cenozoico. Universidad Nacional de Colombia.

ULLOA, C., RODRÍGUEZ, E. Mapa Geológico de la plancha 190 CHIQUINQUIRÁ. Escala 1:100000. Ingeominas. Bogotá. 1982.

ULLOA, C., ACOSTA, J. Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Cundinamarca. Escala: 1: 250000. Ingeominas. Bogotá. 1997.