

INTERPRETACIÓN Y LITOCORRELACIÓN DE LA
SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA DEL ÁREA ANNEX,
MINA CERREJÓN, A PARTIR DE ANÁLISIS DE REGISTROS
GEOFÍSICOS Y DATOS ESTRUCTURALES LEVANTADOS EN CAMPO.

AREANDINA
Fundación Universitaria del Área Andina

**INTERPRETACIÓN Y LITOCORRELACIÓN DE LA SECUENCIA
ESTRATIGRÁFICA DEL ÁREA ANNEX, MINA CERREJÓN, A PARTIR DE
ANÁLISIS DE REGISTROS GEOFÍSICOS Y DATOS ESTRUCTURALES
LEVANTADOS EN CAMPO**

**LEIDY LORENA BAQUERO GUTIÉRREZ
201110010399**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
VALLEDUPAR
2017**

**INTERPRETACIÓN Y LITOCORRELACIÓN DE LA SECUENCIA
ESTRATIGRÁFICA DEL ÁREA ANNEX, MINA CERREJÓN, A PARTIR DE
ANÁLISIS DE REGISTROS GEOFÍSICOS Y DATOS ESTRUCTURALES
LEVANTADOS EN CAMPO**

**LEIDY LORENA BAQUERO GUTIÉRREZ
201110010399**

**Informe de pasantía realizada en la mina Carbones del Cerrejón Ltd, para
optar al título de Ingeniero Geólogo**

**Director de Pasantías
Wilson Mendoza Carreño**

**Asesor Temático
Elías Rojas Martínez**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
VALLEDUPAR
2017**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Valledupar, 02de Mayo de 2017

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus más sinceros agradecimientos primordialmente a Dios, por ser mi guía y mi fortaleza en cada paso de mi vida. A mis padres y hermanos por creer en mí y darme todo su apoyo durante la carrera.

A mi tutor temático Elías Rojas (Geólogo), quien siempre estuvo dispuesto a colaborarme y a compartir sus conocimientos a lo largo del desarrollo de este informe.

A Carbones del Cerrejón Ltd, al señor Luis Germán Hoyos y a Don Germán Hernández por la oportunidad que me brindaron. Al equipo de Geología y Exploración, especialmente a Wilson Mendoza, Fedor Tapias y Ramón Daza, por su recibimiento asistencial, colaboración y disposición para la orientación en el cumplimiento de mis pasantías. Por último a mis amigos Mayra Beleño, Danitza Mendoza, Jairo Figueredo y Luis Naranjo quienes siempre estuvieron dispuestas a ofrecerme su colaboración de una u otra manera.

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	12
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
NOMENCLATURA	16
1. INTRODUCCIÓN	17
CAPITULO I: ¿QUIENES SON?	18
2. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA	19
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	19
2.2 RESEÑA HISTÓRICA	19
2.3 OPERACIÓN INTEGRADA	21
3. INFORME DE FUNCIONES	23
3.1 RESULTADOS ESPERADOS	23
CAPITULO II: PROPUESTA DE LA PASANTÍA	24
4. JUSTIFICACIÓN	25
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	26
5.1 DESCRIPCIÓN	26
5.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	26
6. OBJETIVOS	27
6.1 GENERAL	27
6.2 ESPECÍFICOS	27
7. MARCO DE REFERENCIA	28
7.1 ANTECEDENTES	28
7.2 MARCO TEÓRICO	30
7.2.1 Registros Geofísicos	30
7.3.1 Estratigrafía	32
7.3.2 Geología regional	33

7.3.3 Geología Local	38
7.4 TECTÓNICA	38
CAPITULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA	40
8. TIPO DE INVESTIGACIÓN	41
8.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	41
8.2 METODOLOGÍA	41
8.2.1 Fase Inicial	42
8.2.2 Fase de recolección y procesamiento	42
8.2.3 Fase de interpretación y resultados	42
8.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	43
8.4 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA MUESTRA	43
8.5 INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	43
9. GENERALIDADES	44
9.1 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	44
9.2 CLIMA	46
9.3ECONOMÍA	46
10. CONTEXTO LOCAL	47
10.1 ESTRATIGRAFÍA	47
10.2 FORMACIÓN CERREJÓN	47
10.3 FORMACIÓN TABACO	53
11. CONTEXTO ESTRUCTURAL	60
11.1 FALLA CERREJÓN	60
11.2 FALLA RANCHERÍA	60
12. GENERACIÓN DEL “CLINKER”	62
12.1 QUE ES EL “CLINKER”?	62
12.2 ZONA DE CLINKER	63
12.3 LOCALIZACIÓN DEL CLINKER Y TRAZAS DE CARBÓN	66
13. LÍNEAS SÍSMICAS Y CONSTRUCCIÓN DE PERFILES	67
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	72

BIBLIOGRAFÍA	73
REFERENCIASBIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS	76

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Informe de funciones	23
Tabla 2. Puntos de cierre del polígono de la zona cartografiada.	45
Tabla 3. Datos estructurales, coordenadas y litología.	52
Tabla 4. Datos estructurales ANEXX010417.	55
Tabla 5. Localización de los cuerpos de Clinker, mantos de carbón, espesores y profundidad.	63

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Proceso productivo del carbón	22
Figura 2. Perfil tipo de un registro geofísico.	30
Figura 3. Registro geofísico de gamma natural	31
Figura 4. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca Cesar-Ranchería.	33
Figura 5. Mapa geológico regional.	34
Figura 6. Contexto tectónico de la cuenca Cesar-Ranchería	39
Figura 7. Plan de desarrollo del informe.	41
Figura 8. Localización del área de estudio.	44
Figura 9. Localización del área de Annex con sus respectivos puntos de cierre del polígono, en el depósito carbonífero del Cerrejón.	45
Figura 10. Sección estratigráfica de la Formación Cerrejón dividida en sus tres miembros.	49
Figura 11. Afloramiento en el área de Annex. Azimut 162°	50
Figura 12. Muestra extraída del afloramiento correspondiente a una lodolita.	51
Figura 13. Familia de Diaclasa en dirección NE.	51
Figura 14. Columna estratigráfica en el punto ANEXX122116.	52
Figura 15. Afloramiento de la Formación Tabaco (ANEXX010417).	54
Figura 16. Muestra extraída del afloramiento, según Folk (1974) texturalmente la roca se clasifica como Arenisca conglomerática.	54
Figura 17. Afloramiento (2) ANEXX010417, con un contacto entre el depósito aluvial, arenisca blanca y arcillolita.	56
Figura 18. Depósito Aluvial (Da) en la parte superior y en la inferior se observa una arenisca blanca.	56
Figura 19. Muestra extraída del afloramiento, según Folk (1974) la roca se clasifica texturalmente como Arenisca.	57
Figura 20. Afloramiento de la Arcillolita en el sector de Annex.	57
Figura 21. Muestra extraída del afloramiento correspondiente a una arcillolita.	58
Figura 22. Diaclasamiento con direcciones predominantes hacia el NE.	58
Figura 23. Columna estratigráfica levantada en el punto ANEXX010417.	59
Figura 24. Ubicación de la Falla Cerrejón.	60
Figura 25. Ubicación de la Falla Ranchería.	61
Figura 26. Muestra de Clinker.	63
Figura 27. Zona de Clinker asociada a la quema del manto 135.	64
Figura 28. Límite entre el Clinker y la traza de Carbón (Manto 135).	64

Figura 29. Traza de Carbón A (Manto 135).	65
Figura 30. Traza de Carbón B (Manto 135).	65
Figura 31. Traza de Carbón C (Manto 135).	66
Figura 32. Localización de las trazas de carbón, zona de Clinker y diaclasamiento.	66
Figura 33. Localización de líneas sísmicas en Annex.	67
Figura 34. Línea sísmica 01 en el sector de Annex.	68
Figura 35. Línea sísmica 03 en el sector de Annex.	69
Figura 36. Línea sísmica 05 en el sector de Annex.	70

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Registro geofísico de Dipmeter.	76
Anexo B. Registro geofísicos de Densidad.	77
Anexo C. Registro geofísico de Gamma Ray.	78
Anexo D. Registro geofísico de Caliper.	79

GLOSARIO

AFLORAMIENTO: superficie donde tiene lugar un roca en la superficie de la Tierra. La unidad rocosa puede ser un estrato, una intrusión ígnea o cualquier otro cuerpo.

BUZAMIENTO: ángulo que un plano de estratificación y otra superficie sobre o en una roca hace con la horizontal.

CARBÓN: mineral de color negro formado básicamente por carbono y empleado como fuente calorífico.

CORRELACIÓN: establecimiento de correspondencia en carácter y posición estratigráfica entre dos unidades geológicas.

CLINKER: roca pirometamórfica formada por la alteración térmica extrema de lodolitas y areniscas durante la combustión natural de los mantos de carbón. Es un material poroso con una alta dureza y tonalidad roja.

FORMACIÓN: unidad litoestratigráfica fundamental. Cuerpo de rocas identificado por sus características litológicas y posición estratigráfica.

FALLA: fractura del terreno con desplazamiento relativo de las partes separadas.

FALLA INVERSA: falla en la que el bloque colgante se desplaza hacia arriba del bloque yacente. Asociados a este generalmente se observan pliegues de arrastre.

GRUPO: unidad litoestratigráfica de rango mayor que comprende dos, o más, formaciones adyacentes.

MANTO: yacimiento mineral de forma tabular que puede ser o no horizontal, generalmente confinado en un horizonte estratigráfico.

MODELO GEOLÓGICO: representación matemática geoespacial de un depósito mineral con intereses económicos, que tiene un sentido predictivo de las propiedades geológicas (calidad, volumen y estructura) de este en el subsuelo.

POZO: un pozo refiere a cualquier perforación del suelo, generalmente de vertical y de forma cilíndrica, diseñada con el objeto de hallar y extraer fluido combustible, agua subterránea, o simplemente para obtener información del subsuelo.

PLACA TECTÓNICA: es una gran capa de roca sólida, de forma irregular y generalmente compuesta de material oceánico y continental.

PLEGAMIENTO: proceso que se da en la corteza terrestre por el movimiento de rocas sometidas a una presión lateral y que ocasiona la formación de pliegues.

REGISTRO GEOFÍSICO DE POZO: son técnicas geofísicas in situ que consisten en una serie de mediciones obtenidas por una sonda con varios sensores o antenas transmisoras y receptoras que se introduce en una perforación, para determinar las curvas de cada parámetro que se desea conocer. Los hay de varios tipos, se destacan el de Densidad, Gamma Ray, Dipmeter, Caliper y Resistividad.

RUMBO: se refiere al ángulo que forma una línea comprendida en un plano horizontal con otra tomada como referencia, normalmente la línea geográfica Norte-Sur.

SECCIONES GEOLÓGICA: representa la configuración de estructuras y formaciones generalmente en una vista en un plano vertical, son utilizadas para resolver problemas estratigráficos y estructurales y sirven como ilustraciones finales de un modelo geológico elaborado.

UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA: volumen de materiales diferenciado por sus características litológicas.

RESUMEN

La evolución diaria de la minería requiere del conocimiento detallado de la geología y de un modelo estructural del depósito de carbón de manera que se logre cuantificar de un modo preciso el recurso de este mineral, para así contar con la ayuda de diversos tipos de mapas geológicos, secciones geológicas y una planeación minera.

Para mejor la estimación de recursos y reservas de carbón en el nuevo depósito carbonífero de Annex, la cual está localizada en el municipio de Barrancas entre el sector más occidental de la Serranía del Perijá y el límite oriental de la Cuenca Cesar-Ranchería en el departamento de La Guajira. Es necesario contar con una interpretación geológica y estructural mediante una nueva recopilación de la información básica ya existente, de modo que se determine la continuidad de los mantos, espesor, profundidad, hacer el uso de los registros geofísicos, toma de datos estructurales, afloramientos y levantamientos de secuencias estratigráficas.

El Clinker es una roca pirometamórfica formada por la alteración térmica extrema de lodolitas y areniscas durante la combustión natural de los mantos de carbón. Las áreas de Clinker en el Cerrejón están controladas estructuralmente por las discontinuidades tectónicas asociadas a los sistemas de fallas del cinturón Cerrejón-Ranchería y a los plegamientos del sector, producidos conjuntamente durante las etapas recientes de la orogenia Andina. Se identificó un área de Clinker localizada en el área de Annex. Se trata de un cuerpo alargado que sigue la dirección del rumbo del manto de carbón 135, alcanzando 50m de espesor y una profundidad de penetración hasta de 7m. Estos parámetros varían de acuerdo al control estructural en cada sector del depósito carbonífero.

La realización de este trabajo aportara una interpretación geológica y estructural, paso clave para la construcción de un nuevo modelo geológico y determinar zona de Clinker.

Palabras clave: Carbón; Mantos; Registros Geofísicos; Clinker; Pirometamórfica; Cuenca Cesar- Ranchería; Serranía de Perijá.

ABSTRACT

The daily evolution of the mining requires the detailed knowledge of the geology and a structural model of the coal deposit so that it is possible to quantify the mineral resource in a precise way, in order to have the help of various types of geological maps, Geological sections and mining planning.

To better estimate the resources and reserves of coal in the new coal deposit of Annex, this is located in the municipality of Barrancas between the westernmost section of the Serranía Del Perijá and the eastern boundary of the Cesar-Ranchería basin in the department of La Guajira. It is necessary to have a geological and structural interpretation through a new compilation of the existing basic information, so as to determine the continuity of the mantles, thickness, depth, make use of the geophysical records, structural data collection, outcrops and Stratigraphic sequence surveys.

Clinker is a pyrometamorphic rock formed by the extreme thermal alteration of lodolites and sandstones during the natural combustion of coal mantles. The Clinker areas in the Cerrejón are structurally controlled by the tectonic discontinuities associated with the Cerrejón-Ranchería belt failure systems and the sector folds, produced jointly during the recent stages of Andean orogeny. A Clinker area located in the Annex area is identified. It is an elongated body that follows the direction of the course of the coal mantle 135, reaching 50m of thickness and a depth of penetration up to 7m. These parameters vary according to the structural control in each sector of the coal deposit.

The realization of this work will provide a geological and structural interpretation, a key step for the construction of a new geological model and determine the Clinker zone.

Keywords: Coal; Mantles; Geophysical Records; Clinker; Pyrometamorphic; Cesar-Rancheria Basin; Serranía de Perijá.

NOMENCLATURA

cm	Centímetros
E	Este
Fm	Formación
Km	Kilómetros
M	Metros
Mts	Metros
Mt	Millones de Toneladas
N	Norte
NE	Noreste
NW	Noroeste
S	Sur
SE	Sureste
SW	Suroeste
t	Toneladas
W	Oeste
°C	(Temperatura en) Grados centígrados
°	Grados
%	Porcentaje

1. INTRODUCCIÓN

El carbón es el combustible fósil más abundante en la naturaleza con 984.453 Mt en reservas mundiales medidas a finales del 2003, de los cuales 52,7% son carbones antracíticos y bituminosos y el 47,3% sub-bituminosos y lignitos [Cerrejón, 2003]¹. Colombia es el país con mayores reservas de carbón en América Latina, cuenta con recursos potenciales de 16.992 Millones de toneladas (Mt); por otra parte, es el sexto exportador de carbón en el mundo, con una participación de 6,3% equivalentes a 50 Mt anuales de carbón y el depósito carbonífero del Cerrejón participa en un 50% de dichas exportaciones siendo hoy en día una de las minas de carbón a cielo abierto más grande del mundo.

El depósito carbonífero del Cerrejón se encuentra ubicado en el departamento de la Guajira, en la parte nororiental de Colombia, América del Sur, en la zona sur del departamento de la Guajira, corresponde a la cuenca del Cesar-Ranchería, limitado al noroeste por la Sierra Nevada de Santa Marta y al sureste por la falla del Cerrejón, que a su vez bordea al noroeste la Serranía de Perijá.

Dentro de este depósito carbonífero se encuentra el área de Annex, es un nuevo bloque de exploración que hace parte del cinturón de deformación Cesar-Ranchería, es una zona afectada por plegamientos, las fallas Ranchería y Oca. Se han realizado perforaciones con el fin de actualizar y mejorar el modelo geológico, razón por la cual se decide dar comienzo a un estudio litológico, estructural y estratigráfico en esta área, mediante una recolección de datos estructurales, estratigráficos y de las correlaciones entre los registros geofísicos y litológicos de las perforaciones efectuadas, de forma que pueda servir para validar y/o mejorar el modelo geológico de la zona.

Las áreas de Clinker y los fenómenos de combustión espontánea del carbón en afloramiento representan zonas de inestabilidad geológica que dificultan el desarrollo de la operación minera ya que no ofrecen garantías geotécnicas dadas las características físicas que adquiere la roca adyacente al someterse a las altas temperaturas alcanzadas durante la combustión del manto y porque representa una reducción en las toneladas de carbón explotable.

El presente proyecto contiene la interpretación y litocorrelación de la secuencia estratigráfica del área Annex de minería de Carbones del Cerrejón Ltda. Paso clave para construir una nueva versión que permita actualizar el modelo geológico de esta área que contribuya con el desarrollo minero.

¹ CERREJÓN. Disponible en la página <www.cerrejon.com/site/>

CAPITULO I: ¿QUIENES SON?



2. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Cerrejón es una de las operaciones minera de exportación de carbón a cielo abierto más grandes del mundo, un importante actor de la economía en Colombia y motor de La Guajira, región en la que concentra su actividad productiva. Integra la exploración, extracción, transporte, embarque y exportación de carbón de diversas calidades.

Visión

Ser el productor y exportador de carbón líder a nivel mundial y un aliado clave para el progreso y desarrollo sostenible de La Guajira.

Misión

Producir y exportar carbón de manera eficiente, confiable y rentable, cumpliendo con los más altos estándares en seguridad, salud, medio ambiente y ética empresarial, contribuyendo al progreso de nuestra gente, las comunidades vecinas y La Guajira.

2.2 RESEÑA HISTÓRICA

○ 1970-1979

1975: El Gobierno colombiano invita a 17 firmas a participar en la licitación para la explotación de 32.000 ha que actualmente componen el Cerrejón Zona Norte. Sólo cinco de estas compañías se presentaron y únicamente tres cumplieron con los requisitos: Intercor, filial de Exxon, fue la escogida.

1976: Carbones de Colombia S.A. (Carbocol) e Intercor, después de un concurso internacional, firmaron en el mes de diciembre un contrato de asociación por 33 años para desarrollar las reservas carboníferas de El Cerrejón Zona Norte. Este contrato contempla tres etapas: exploración (1977-1980), construcción (1981-1986) y producción (1986-2009). En enero de 1999 se firmó un acuerdo con el Estado colombiano para extender la última etapa por 25 años más, hasta 2034.

1977: Se realizan 202 estudios durante el período de exploración.

1980: Se obtienen los resultados de los estudios geológicos y de factibilidad y se firma la declaratoria de comercialidad de Cerrejón Zona Norte.

○ **1980-1989**

1983: El gobierno nacional otorgó en concesión a Carbocol unas zonas de playa y terrenos de bajamar en Bahía Portete y autorizó la construcción y operación de un puerto privado para la explotación y exportación del carbón y todos aquellos productos necesarios de infraestructura de los proyectos carboníferos. Comienza la etapa de minería anticipada. La primera fase de Mushaisa, la unidad residencial de Cerrejón en La Mina, entra en funcionamiento ofreciendo servicio para 500 personas. En noviembre se le da el nombre de Puerto Bolívar al más importante puerto carbonífero de América Latina que contaría con un canal dragado de cuatro km. de longitud, 19 m de profundidad y 225 m de ancho, con capacidad inicial para recibir barcos de hasta 180.000 t. de peso muerto.

1984: Se realiza el primer viaje de 150 km. del tren minero de trocha ancha, transportando 8.500 t. de carbón desde La Mina hasta Puerto Bolívar.

1985: Se hace el primer embarque anticipado de carbón con 33.000 t, enviado en el buque Giovanni, con destino a Dinamarca.

1986: El 26 de febrero el buque BulkVenturer transporta 23.000 t. de carbón, realizando el primer zarpe del muelle en Puerto Bolívar. Después de seis años, y con una inversión de 3.000 millones de dólares, se finalizó la etapa de construcción y montaje de las instalaciones e infraestructura de El Cerrejón Zona Norte que dio inicio a la operación de minería en gran escala.

1987: Se inicia el retrolleado del área norte del tajo, cumpliendo así con los programas y compromisos adquiridos para la protección del medio ambiente.

1988-1990: La firma comercial Testing & Engineering certifica la calidad del carbón colombiano exportado.

○ **1990-1999**

1991-1992: Se ponen en marcha los programas de mejoramiento continuo y el de recuperación y protección de la cuenca alta y media del río Ranchería.

1995: Cerrejón cumplió una década de exportaciones con un acumulado histórico de 100 millones de toneladas de carbón; se removieron 80.3 millones de BCMs. Intercor realizó esta actividad con un promedio anual de 4.500 trabajadores directos y 3.500 indirectos.

1996-1997: Se inician las operaciones en las nuevas áreas de minería.

1998-1999: Se firma el acuerdo que establece las bases para el acceso a la infraestructura férrea por parte de terceros y se extiende el contrato de asociación por 25 años más.

○ **2000 hasta la fecha**

2000-2001: Se inauguró la ampliación de la infraestructura del complejo. Se vendió la participación de Carbocol en el Cerrejón Zona Norte (50%), al consorcio integrado por dos subsidiarias de Billiton Company, una subsidiaria de Anglo American y una subsidiaria de Glencore que conforman la Sociedad Cerrejón Zona Norte S.A.

2001: El carbón ocupa el segundo renglón de exportación de Colombia.

2002: En febrero, subsidiarias de Anglo American, BHPBilliton y Glencore adquieren el 50% restante de Cerrejón Zona Norte, mediante la compra de la participación de Exxon Mobil en Intercor, convirtiéndose así en dueños únicos por partes iguales de Carbones del Cerrejón Limited, Cerrejón, cuyos accionistas son subsidiarias de las tres compañías antes mencionadas.

2006: Glencore vende su participación a la empresa europea stratapl, cuyas subsidiarias son actualmente propietarias de Cerrejón junto con subsidiarias de BHPBilliton y Anglo American. Las oficinas principales de Cerrejón se trasladan de Barranquilla a Bogotá.

2008: Se constituye el Sistema de Fundaciones Cerrejón.

2010: Alcanzamos un acumulado de exportación de 444.9 millones de toneladas de carbón y nos ubicamos entre las 10 empresas más grandes del país.

2.3 OPERACIÓN INTEGRADA

La operación de extracción de carbón en Cerrejón se desarrolla bajo los más altos estándares de seguridad y de calidad con el compromiso de entregar al mercado internacional un producto de bajo contenido de ceniza y azufre, generando así un menor impacto sobre las personas y el medio ambiente.

La fortaleza de la operación de Cerrejón es la integración de los procesos productivos mina-ferrocarril-puerto, como se puede observar en la figura 1, lo que garantiza mayor eficiencia en el conjunto de la operación y menor impacto sobre el medio ambiente.

Figura 1.Proceso productivo del carbón



Fuente: Cerrejón.

3. INFORME DE FUNCIONES

En la tabla 1 se observan las actividades realizadas durante los 6 meses de las pasantías.

Tabla 1. Informe de funciones

Actividades	Período:															
	Mes:1				Mes:2				Mes:3				Mes:4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Recopilación de información bibliográfica	■	■	■													
Análisis de secciones			■	■	■	■	■									
Correlación de mantos en los pozos exploratorios								■	■	■						
Toma de datos estructurales y descripción de afloramiento	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Actividades	Período:															
	Mes:5				Mes:6											
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6						
Interpretación litológica, estructural y estratigráfica		■	■	■	■	■										
Entrega de informe final								■	■	■	■					

Fuente: Autor.

3.1 RESULTADOS ESPERADOS

Este informe es el resultado de una labor realizada durante un periodo de seis meses que respondía a las prioridades de la Superintendencia de Geología y Exploración de Carbones del Cerrejón Ltd., y que consistió en una interpretación y litocorrelación de la secuencia estratigráfica del área Annex, paso clave para construir una nueva versión que permita actualizar el modelo geológico de esta área que contribuya con el desarrollo minero.

CAPITULO II: PROPUESTA DE LA PASANTÍA

INTERPRETACIÓN Y LITOCORRELACIÓN DE LA SECUENCIA
ESTRATIGRÁFICA DEL ÁREA ANNEX, MINA CERREJÓN, A PARTIR DE
ANÁLISIS DE REGISTROS GEOFÍSICOS Y DATOS ESTRUCTURALES
LEVANTADOS EN CAMPO.

4. JUSTIFICACIÓN

El área de Annex en la cuenca de Río Ranchería en la media Guajira y propiedad de Carbones del Cerrejón Ltd. Es necesario el mejoramiento de la interpretación geológica-estructural preexistente del depósito en esta área, con el fin de dar una confiabilidad a los planes mineros y que la rentabilidad planeada del depósito sea la esperada. Por lo tanto se hace necesario realizar una interpretación y litocorrelación de la secuencia sedimentaria y estructural del área, que permitan mejorar el modelo geológico actual, que sirva para realizar los cálculos y planes necesarios para la explotación de este yacimiento; además identificar y delimitar las zonas afectadas por el fenómeno de combustión espontánea o áreas de Clinker.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

5.1 DESCRIPCIÓN

Cerrejón es una multinacional dedicada a las operaciones mineras de exportación y explotación de carbón a cielo abierto más grande del mundo, un importante actor de la economía en Colombia y motor de La Guajira; requiere de una continua exploración de nuevas áreas de minería de manera que se garantice la continuidad y calidad de la explotación.

Dentro de este depósito carbonífero se encuentra el área de Annex, donde se realizan trabajos de descapote de adecuaciones de carreteras para iniciar las labores de explotación carbonífera, localizada en el municipio de Barrancas limitado al Este por la Serranía del Perijá y al Noroccidente por el arroyo Cerrejón en el departamento de La Guajira, afectado por las fallas Cerrejón y Ranchería; y a su vez un moderado grado de plegamientos.

El bloque Annex se encuentra en una fase temprana de exploración, por lo que se hace necesario obtener información geológica de campo para realizar la interpretación geológica – estructural y así adquirir mayor información; con el fin de poder alimentar y actualizar el modelo del bloque. Adicionalmente, identificar y localizar las zonas de Clinker, áreas de mucha importancia debido a que son sectores con ausencia del mineral por combustión.

5.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Se requiere validar el modelo geológico actual correspondiente al área de Annex, con el fin de dar mayor confiabilidad a los planes mineros en esta área del depósito carbonífero.

6. OBJETIVOS

6.1 GENERAL

Interpretar y correlacionar litoestratigráficamente la secuencia sedimentaria en el área Annex, mina Cerrejón, a partir de análisis de registros geofísico y datos estructurales levantados en campo, proporcionando mayor conocimiento del yacimiento y confiabilidad al modelo geológico.

6.2 ESPECÍFICOS

Recolectar datos estructurales y describir afloramientos mediante trabajos en campo, para realizar la respectiva interpretación y litocorrelación del área de estudio.

- Interpretar los análisis de registros geofísicos de pozos levantados en el área de estudio, con el fin de identificar la profundidad, espesor de los mantos de carbón y continuidad, para su posterior correlación.
- Identificar y delimitar trazas de Clinker (zonas donde se ha quemado el carbón in situ en el pasado geológico) que se encuentran asociadas en el área de Annex.
- Determinar la secuencia estratigráfica del área de estudio estableciendo cambios faciales verticales y horizontales si se presentan, para la generación de la columna estratigráfica del sector.

7. MARCO DE REFERENCIA

7.1 ANTECEDENTES

CARTOGRAFÍA DE LAS ZONAS DE “CLINKER” EN LAS ÁREAS DE MINERÍA DE LA MINA EL CERREJÓN. Albania, Guajira.

Contiene la cartografía geológica de las áreas de “*clinker*” para toda el área de minería de Carbones del Cerrejón Ltd. La cartografía realizada es de mucha importancia para el desarrollo del plan de factibilidad de la compañía o de planeación a futuro, ya que permite tener información veraz acerca de las reales reservas de carbón, debido a que localiza las zonas con ausencia del mineral por combustión y además porque determina la viabilidad y las medidas a adoptar para el frente de avance minero.²

Este documento fue de gran importancia, ya que fue una guía para poder organizar las ideas y la información obtenida acerca de las zonas de Clinker halladas en la zona de Annex.

EXPLORACIÓN GEOLÓGICA DEL PIT ANNEX Y LAS ZONAS CIRCUNDANTES EN EL PIEDEMONTES DE LA SERRANÍA DEL PERIJÁ.

Este estudio de exploración geológico-estructural del futuro Pit Annex en la cuenca de Río Ranchería en la media Guajira y propiedad de Carbones del Cerrejón Ltda., se realizó entre los meses de Octubre y Noviembre de 2007, haciendo énfasis especialmente en el análisis de estructuras geológicas mayores y en la delimitación del depósito de Carbón de la Formación Cerrejón.³

Durante el primer semestre del año 2007 se realizó una campaña exploratoria en un sector ubicado 14km al SSW del área de estudio. En este proyecto denominado: Cartografía geológica del área del piedemonte en zona de Campo Alegre se identificó la Falla Cerrejón en los límites entre la cuenca del Río Ranchería y la Serranía del Perijá en la cuenca del Río Palomino y abrió una ventana al entendimiento de la geología del límite oriental de la cuenca iniciada por Oppenheimer hace varias décadas. A raíz de este estudio se identificó la necesidad de conocer en detalle la geología de la Cuenca del Ranchería hacia la parte oriental en los límites con la Serranía del Perijá, en especial en las áreas de

²CANDELA, Sol Ángel., QUINTERO, Jhon. Cartografía de las zonas de “CLINKER” en las áreas de minería de la mina el Cerrejón. Albania, La Guajira, 2004 p.109

³ SÁNCHEZ, Carlos. Exploración geológica del Pit Annex y las zonas circundantes en el Piedemonte de la Serranía del Perijá, 2007 p.48

futura expansión de la mina donde aún no se tiene un modelo geológico-estructural del depósito de Carbón.

La exploración geológica en superficie se realizó a partir de la recolección de datos estructurales y litológicos en el sector de Annex, Annex Extensión y los límites nororientales de la Cuenca del Ranchería hacia el piedemonte de la Serranía del Perijá. Estos datos se analizaron junto con tres líneas sísmicas realizadas hace varios años y con perforaciones corazonadas y no corazonadas ejecutadas en el sector de Annex y que no permitían por sí solas el entendimiento de la estratigrafía y la geología estructural del área.

Este documento también fue de vital importancia, ya que fue una guía para poder organizar y llevar a cabo este informe.

REVISIÓN DE LA INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA ESTRUCTURAL DE LAS ÁREAS ANNEX Y BRUNO EN EL DÉPOSITO CARBONÍFERO DEL CERREJÓN EN EL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA.

Son nuevos bloques de exploración que hacen parte del cinturón de deformación Cesar-Ranchería y Oca. Se realizó este estudio mediante una serie de perforaciones con el fin de actualizar y mejorar el modelo geológico, mapeo estructural de la superficie geológica y una estimación de los recursos. Con el fin de obtener una interpretación geológica estructural de la Formación Cerrejón en estas aéreas.⁴

Este documento fue de gran importancia porque en él se logró obtener una guía para el desarrollo de este informe, ya que es una investigación muy similar al tema de interpretación y litocorrelación de la secuencia estratigráfica del área de Annex.

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES CINEMÁTICOS, MINA CERREJÓN, GUAJIRA-COLOMBIA.

Está dado como un estudio geológico-estructural zona que aparte de contar con una densa y valiosa información geológica de utilidad para el conocimiento del depósito de Carbones del Cerrejón reúne las condiciones de seguridad que le permiten ser estudiada. El trabajo se basa en la generación de un análisis cualitativo y cuantitativo de la geología y génesis de deformación del área la cual se encuentra al NW una de las principales estructural geológicas del depósito.⁵

⁴ GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el deposito carbonifero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

⁵ MARTÍNEZ, Edgar. Cartografía geológica e interpretación de indicadores cinemáticos, mina Cerrejón, La Guajira-Colombia, 2012 p.75

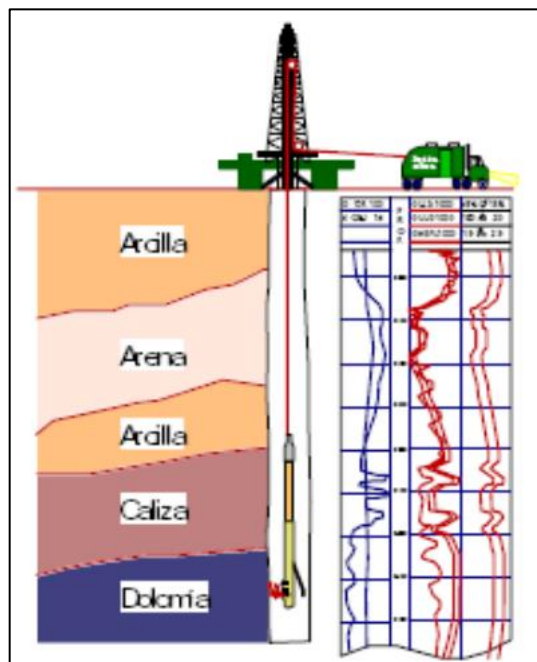
Es importante tener en cuenta que este estudio le dará a la compañía no solo un agregado en conocimientos académicos si no que a su vez brindara soporte en el mejoramiento de Modelos Geológicos del Depósito ayudando a prever las ocurrencias geológicas de un área próxima a explotar.

7.2 MARCO TEÓRICO

7.2.1 Registros Geofísicos

Es de gran importancia la realización de estudios de registros geofísicos de pozo, para determinar las curvas de cada parámetro que se desea conocer en la formación y son obtenidas por una o varias sondas con uno o varios sensores que se introducen en un pozo; como se puede observar en la figura 2 un perfil de los registros geofísicos.

Figura 2. Perfil tipo de un registro geofísico.



Fuente: Tomado de CoCo (Comunidades Colaborativas) Cerrejón (2010).

Dentro de las aplicaciones más importantes se encuentran:

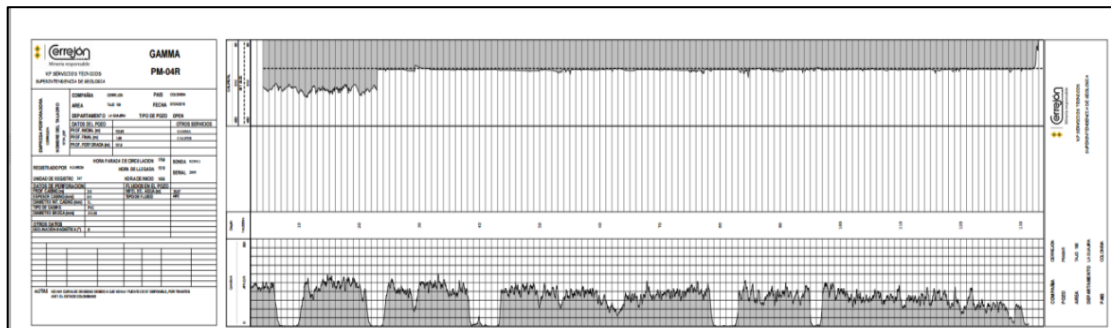
- Profundidad del pozo.
- Litología.
- Resistividad real.
- Densidad.
- Porosidad.

- Verticalidad de la perforación.
- Determinación y dirección del buzamiento.
- Medición del diámetro del agujero.

Estas aplicaciones se logran identificar por medio de las curvas densidad, Gamma Natural, Gamma Ray, Registro Sónico, Resistividad, Densidad, Susceptibilidad Magnética, Dipmeter y Caliper, las cuales son generalidades de los registros geofísicos usados en la mina Carbones del Cerrejón.

A continuación se definen cada uno de estos registros nombrados anteriormente y en la figura 3, se observa un ejemplo de un registro geofísico, llamado Gamma Natural.

Figura 3.Registro geofísico de gamma natural



Fuente: Cerrejón

Gamma Natural: es un método para medir naturalmente la radiactividad de las rocas o sedimentos en un pozo. En las formaciones sedimentarias el registro normalmente refleja el contenido de arcilla de las formaciones porque los elementos radiactivos tienden a concentrarse en las arcillas y lutitas.

Gamma Ray: son aquellos en los que se registran ondas de alta emisión de energía radiactiva, las rocas emiten diferentes cantidades y espectros de radiación gamma. En particular las lutitas por el contenido de potasio radiactivo de las arcillas y por su capacidad de intercambio catiónico que hace que absorban uranio y torio. Se observa un ejemplo de este tipo de registro, **ver Anexo C.**

Registro Densidad: son aquellos que mide la densidad de la formación y la relaciona con la porosidad, la cual consiste en una fuente radiactiva, colocada en la parte inferior de la sonda; esta fuente emite rayos gamma hacia la formación, que son como partículas de alta velocidad que chocan con los electrones en la formación. Se observa un ejemplo de este tipo de registro, **ver Anexo B.**

Registro Sónico: la herramienta usada para la toma del registro sónico, es la sonda sónica, la cual consiste en un transmisor que emite pulsos sónicos de alta frecuencia que se transmiten a través del fluido y de las formaciones.

Registro de Susceptibilidad Magnética: [DAVID, Firth. 1999]⁶ se basa en los principios de inducción electromagnética. Se compone de un transmisor y un receptor equilibrado, configurado de modo que la señal de acoplamiento del transmisor se cancele cuando la herramienta este en un ambiente homogéneo. La proximidad de materiales magnéticos produce desequilibrios mutuos cuyas magnitudes dependen en parte de la susceptibilidad magnética de la formación, en los cuales se ven reflejados en la curva reportada.

Registro de Dipmeter: proporciona cuatro mediciones de microresistividad focalizadas que ayudan a obtener la orientación, buzamiento de la estratificación y la trayectoria del pozo. Análisis de los patrones generados por buzamientos sucesivos proporcionan información importante acerca de los ambientes sedimentarios y estructurales. Se observa un ejemplo de este tipo de registro, **ver Anexo A.**

Registro de Resistividad: [REEVES, Wireline. 1999]⁷ en los registros convencionales de resistividad se envían corrientes a la formación a través de unos electrodos y se miden los potenciales eléctricos. La medición de estos potenciales permite determinar las resistividades.

Registro Caliper: [REEVES, Wireline. 1999]⁸ la herramienta es un brazo mecánico con una punta endurecida que es abierto e impulsado con un resorte cuando corre hacia arriba dentro del pozo. Como el diámetro de la perforación varia, el brazo se mueve dentro y fuera, causando cambios en la resistencia dentro de la resistencia variable a la cual está conectado mecánicamente. Se observa un ejemplo de este tipo de registro, **ver Anexo D.**

7.3 MARCO GEOLÓGICO

7.3.1 Estratigrafía

Esta región es geológicamente muy heterogénea presentándose desde rocas sedimentarias marinas y continentales, hasta rocas ígneas intrusivas, extrusivas y piroclásticas de distintas edades, afectadas en mayor o menos escala por

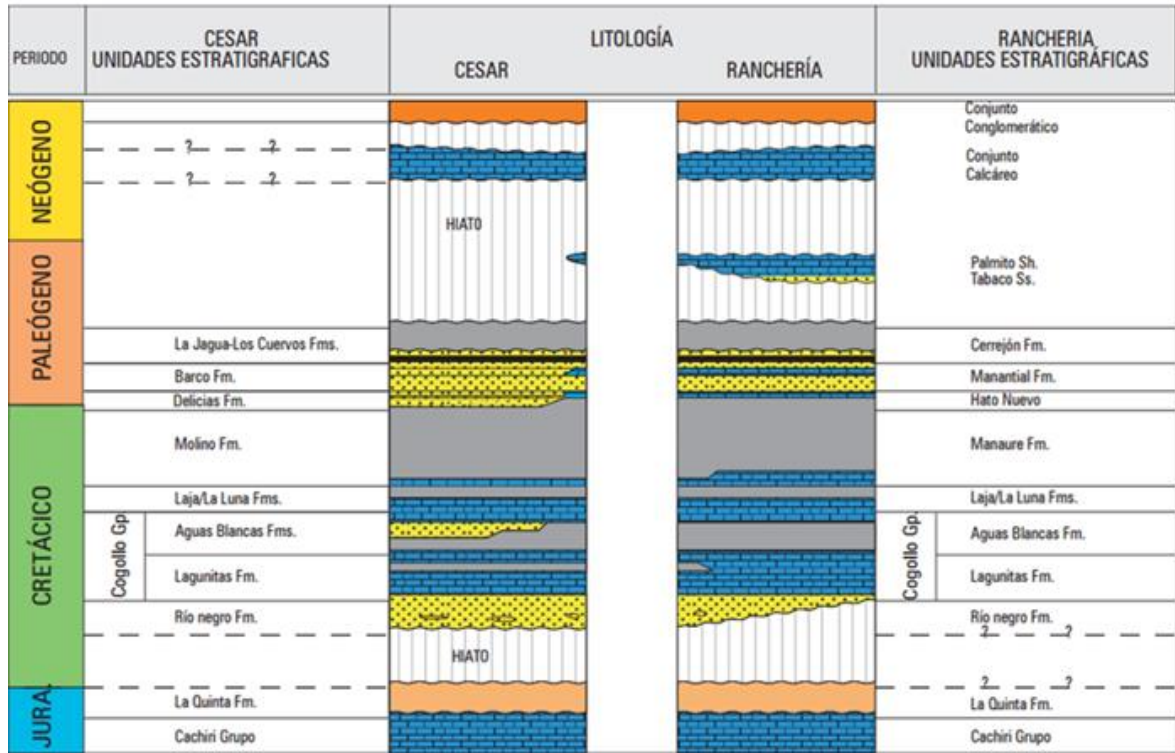
⁶DAVID, Firth. Registros geofísicos con densidad, 1999 p.76

⁷REEVES, Wireline. Registros geofísicos con densidad, 1999 p.76

⁸REEVES, Wireline. Registros geofísicos con densidad, 1999 p.76

movimientos tectónicos. En la figura 4, se observa la columna estratigráfica de la Cuenca Cesar-Ranchería.

Figura 4.Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca Cesar-Ranchería.



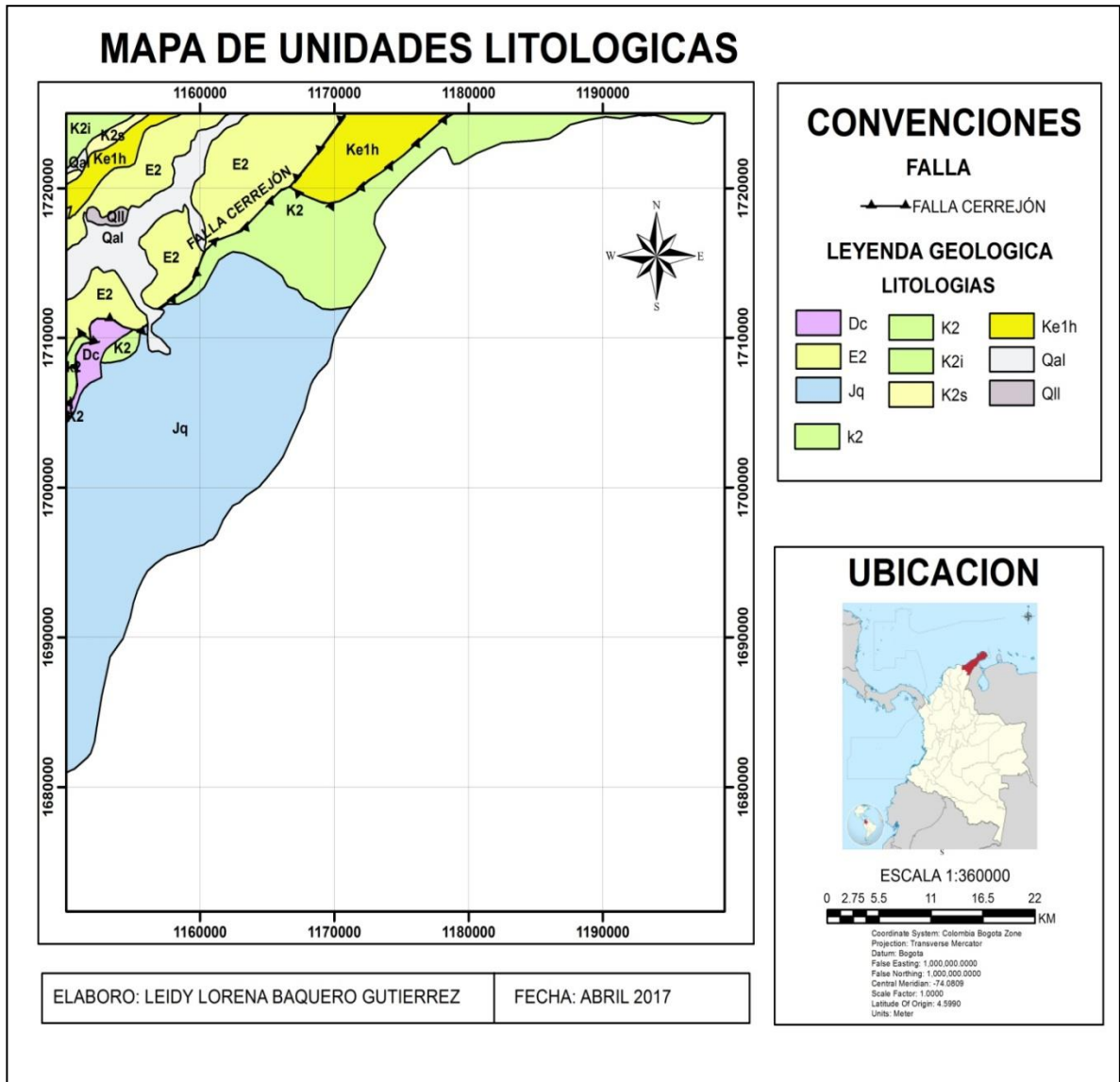
Volcanoclasticos
 Calizas
 Areniscas
 Shales
 Conglomerados
 Carbones

Fuente: Open Round Colombia - Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). Cesar-Ranchería 2010.

7.3.2 Geología regional

En la figura 5, se muestra el mapa geológico regional donde se observan las Unidades: Formación La Quinta (Jq), Formación Río Negro (K_{1r}), Grupo Cogollo (K_{1c}), Formación La Luna (K_{2l}), Formación Hatonuevo (KE_{1h}), Formación Manantial, Formación Cerrejón (Tc) y por último la Formación Tabaco (Tt); las cuales serán descritas a continuación.

Figura 5. Mapa geológico regional.



Fuente: Autor.

- **Triásico-Jurásico**

Formación La Quinta (Jq)

Es una secuencia de limolitas y areniscas finas de color rojo, macizas, con laminación plano paralela a ligeramente ondulada con venas de calcita y manifestaciones de malaquita. Esta unidad es atravesada por diques de rocas

volcánicas oscuras pero hacia el tope pueden observarse tobas líticas de color claro [GÓMEZ, Xavier 2011]⁹.

Esta unidad se considera formada en un ambiente marino entre el Triásico superior y el Jurásico inferior; y tiene un espesor que varía de 2300m en la localidad tipo en los andes de Mérida en Venezuela y 3000m cerca al municipio de Manaure en la baja Guajira. Ha sido correlacionada con las Formaciones Guatapurí en la Sierra Nevada de Santa Marta, Bocas y Jordán en la Serranía del Perijá y a Saldaña en el Valle del Magdalena [GÓMEZ, Xavier 2011]¹⁰.

- **Cretácico (Inferior)**

Formación Río Negro (K_{1r})

Esta unidad detrítica representa la base del Cretáceo para este sector de la Serranía del Perijá y para la parte norte de la misma en Venezuela. Conformada por arcosas de grano grueso poco cementadas, con granos subangulares y presencia local de óxidos de hierro que le dan un color rojizo; areniscas conglomeráticas y conglomerados con clastos subangulares a subredondeados de cuarzo en una matriz de arenas gruesas dispuestas en capas delgadas [GÓMEZ, Xavier 2011]¹¹.

Esta unidad se considera de ambiente continental a marino transgresivo y tiene un espesor promedio de 3000m en la sección tipo localizada en la Serranía del Perijá en Venezuela, con variaciones considerables hacia el departamento del Cesar hasta alcanzar un espesor de 203m [SÁNCHEZ, Carlos 2007]¹², depositada discordantemente sobre la Formación La Quinta entre el Barremiano y el Aptiano inferior.

- **Cretácico (Medio)**

Grupo Cogollo (K_{1c})

Es una potente sucesión de calizas grises azulosas y grises oscuras dispuestas en capas medianas a gruesas con variaciones a areniscas y lodolitas calcáreas con intercalaciones ocasionales de lutitas carbonosas y abundante contenido de fauna

⁹GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el deposito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

¹⁰GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el deposito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

¹¹GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el deposito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

¹²SÁNCHEZ, Carlos. Exploración geológica del Pit Annex y las zonas circundantes en el Piedemonte de la Serranía del Perijá, 2007 p.48

fósil [GÓMEZ, Xavier 2011]¹³. La descripción y división de la secuencia en Cogollo inferior y Cogollo superior por parte de Miller (1960) llevó a Govea & Dueñas (1975) a subdividir el cogollo superior en dos Formaciones [Arias, Alfonso & Morales Carlos. 1999]¹⁴.

- Formación Lagunitas (Base): Conformada por calizas fosilíferas intercaladas con arcillolitas y lutitas calcáreas.
 - Formación Aguas Blancas (Techo): Compuesta por una sucesión de calizas nodulares fosilíferas intercaladas con lutitas carbonosas, areniscas de grano fino y calizas neríticas. El contacto inferior es discordante con la formación Rio Negro.
- **Cretácico (Superior)**

Formación La Luna (K₂l)

Secuencia sedimentaria compuesta por lutitas carbonosas, limolitas, arcillolitas, calizas negras, areniscas calcáreas y cintas de chert alternadas en la parte superior con calizas granulares. Los afloramientos de esta formación se encuentran principalmente hacia el departamento del Cesar en el Valle Medio del Magdalena. Esta sucesión de rocas de ambiente marino tiene un espesor aproximado de 18 0m y según dataciones palinológicas y paleontológicas corresponde a sedimentación cretácica entre el Turoniano y el Santoniano[SÁNCHEZ, Carlo 2007]¹⁵. El contacto inferior con el Grupo Cogollo es concordante a gradacional.

Formación Molino (K₂m)

Sucesión de lutitas grises calcáreas a lutitas negras, areniscas de grano fino, limolitas y calizas con abundantes microfósiles y cuyos contactos superior e inferior son considerados como transicionales. Esta secuencia de rocas de ambiente marino fue depositada en el Campaniano [GÓMEZ, Xavier 2011]¹⁶.

- **Paleoceno Inferior - Medio**

Formación Hatonuevo (KE1h)

¹³GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el deposito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

¹⁴Arias, Alfonso & Morales Carlos. Memoria explicativa, 1999 p.89

¹⁵SÁNCHEZ, Carlos. Exploración geológica del Pit Annex y las zonas circundantes en el Piedemonte de la Serranía del Perijá, 2007 p.48

¹⁶GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el deposito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

[SÁNCHEZ, Carlos 2007]¹⁷ en la cuenca del río Ranchería la describe como una serie clástica de lodolitas arcillosas micáceas de color café claro, areniscas subarcólicas de grano fino micáceas de color café claro y arcillolitas arenosas grises. La parte superior de la secuencia tiene una alternancia de lodolitas arcillosas amarillas con arenas calcáreas de grano fino, alcanzando un espesor de 200m. Descansa en contacto transicional sobre la Formación Molino.

Formación Manantial

Secuencia de Areniscas calcáreas de grano fino, lutitas rojizas y calizas fosilíferas grises y pardas. Es muy común la intercalación de limolitas de color verdegrisáceo. Es considerada del Paleoceno inferior por los fósiles contenidos y su origen está ligado a un ambiente continental. El contacto inferior con la Formación Hatonuevo es inconforme mientras que el contacto con la Formación Cerrejón (Suprayacente) es transicional. El espesor es de 300m [GÓMEZ, Xavier 2011]¹⁸.

- **Paleoceno Superior**

Formación Cerrejón (Tc)

Es una secuencia de areniscas feldespáticas y líticas, textural, interestratificadas con lutitas carbonosas y mantos de carbón de gran espesor que indican ciclos de sedimentación más o menos homogéneos dentro de una cuenca transarco de alta subsidencia y que gradan hacia la base cuarzoarenitas y subarcólicas calcáreas con altos contenidos de glauconita en la Formación Manantial [SÁNCHEZ, Carlos 2007]¹⁹. Los diferentes ambientes de sedimentación propuestos para la Formación Cerrejón en el Paleoceno superior son:

- [SÁNCHEZ, Carlos 2007]²⁰, los sedimentos de la Formación Cerrejón fueron depositados en un ambiente de llanuras de marea cronológica y geográficamente afectados por una regresión marina.
- Un delta progradante con sus facies subacuosas y subareales gradando a ambientes continentales [SÁNCHEZ, Carlos 2007]²¹.

¹⁷SÁNCHEZ, Carlos. Exploración geológica del Pit Annex y las zonas circundantes en el Piedemonte de la Serranía del Perijá, 2007 p.48

¹⁸GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el depósito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

¹⁹SÁNCHEZ, Carlos. Exploración geológica del Pit Annex y las zonas circundantes en el Piedemonte de la Serranía del Perijá, 2007 p.48

²⁰SÁNCHEZ, Carlos. Exploración geológica del Pit Annex y las zonas circundantes en el Piedemonte de la Serranía del Perijá, 2007 p.48

²¹SÁNCHEZ, Carlos. Exploración geológica del Pit Annex y las zonas circundantes en el Piedemonte de la Serranía del Perijá, 2007 p.48

Sin embargo, algunos geólogos que han estudiado parte de la Formación, consideran que es una secuencia sedimentaria no marina pero afectada, según algunos niveles con fauna marina reportados, por las variaciones eustáticas al final del Paleoceno. El contacto inferior de la Formación Cerrejón con la Formación Manantial es gradacional y va hasta el momento en el que se encuentra la primera manifestación de carbón; el contacto superior con la suprayacente Formación Tabaco es discordante.

- **Eoceno**

Formación Tabaco (Tt)

Es una secuencia de Areniscas, Areniscas conglomeráticas y conglomerados claros con abundantes fragmentos de chert y cuarzo lechoso que se disponen en paquetes de gran espesor. El ambiente de formación se considera fluvial de corrientes trenzadas y su edad según estudios palinomórficos es Paleoceno tardío a Eoceno temprano [GÓMEZ, Xavier 2011]²².

7.3.3 Geología Local

La geología que actualmente presenta el área de Annex (mina el Cerrejón, Guajira), ha sido el resultado de largos procesos de cambios estructurales, litológicos y ambientales. Está constituido por un conjunto de rocas sedimentarias que son nombradas como la Formación Cerrejón (Oppenheim, 1941) y Formación Tabaco por (Lamus et al, 2006). [GÓMEZ, Xavier 2011]²³.

7.4 TECTÓNICA

Actualmente la esquina NW de Sudamérica se encuentra bajo la acción de esfuerzos y la presencia de deformaciones provenientes de la interacción dada entre las placas litosféricas; Sudamérica, Nazca y Caribe [Prada, Andrés. 2012]²⁴.

La unión de estas tres placas tectónicas Nazca, Caribe y Sudamericana (figura 6), define la geometría de la cuenca Cesar- Ranchería dentro de la cual se halla localizado el depósito de carbón de la Formación Cerrejón de edad Paleoceno Superior, siendo esta una cuenca asimétrica que presenta sus mayores espesores

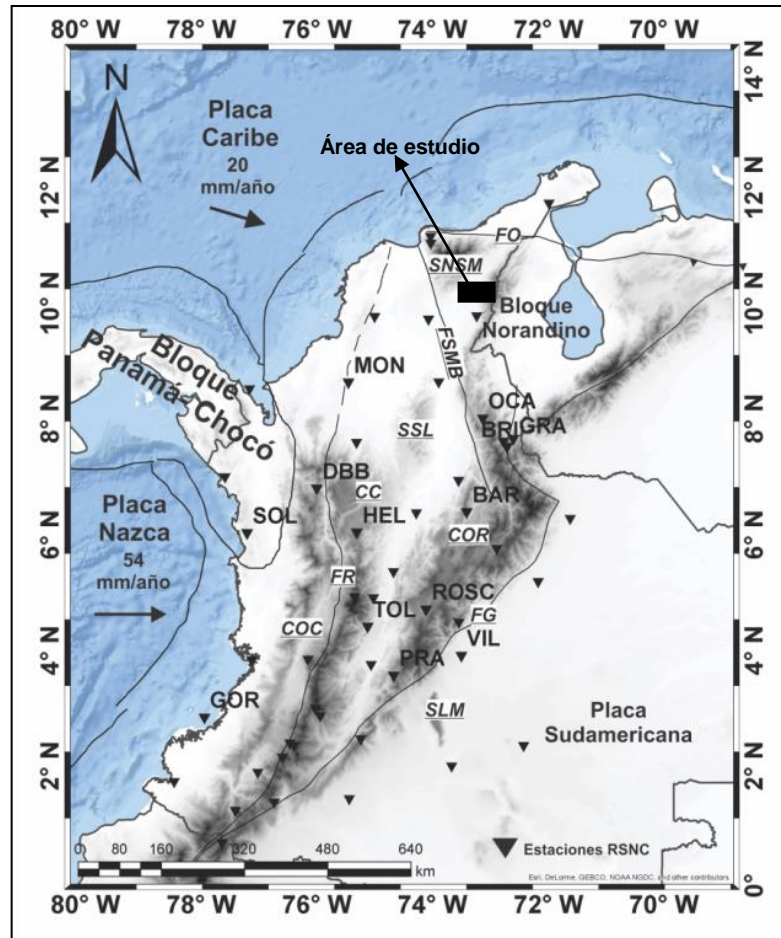
²²GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el depósito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

²³GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el depósito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

²⁴PRADA, Andrés. Cartografía geológica e interpretación de indicadores cinemáticos de la pared baja del tajo tabaco uno, mina Cerrejón, Guajira-Colombia, 2012 p.72

hacia él SE de la misma [Prada, Andrés. 2012]²⁵, se caracteriza por la presencia de rocas altamente plegadas las cuales a escala general se encuentran cortadas por fallas que presentan sentido al NE con la presencia además de convergencia en sentido NW, se sugiere que su expresión fisiográfica es el resultado de un levantamiento ocurrió en el Neógeno que se dio en la región [Prada, Andrés. 2012]²⁶.

Figura 6. Contexto tectónico de la cuenca Cesar-Ranchería



Fuente: Tomado y modificado de SIATA.²⁷

²⁵PRADA, Andrés. Cartografía geológica e interpretación de indicadores cinemáticos de la pared baja del tajo tabaco uno, mina Cerrejón, Guajira-Colombia, 2012 p.72

²⁶PRADA, Andrés. Cartografía geológica e interpretación de indicadores cinemáticos de la pared baja del tajo tabaco uno, mina Cerrejón, Guajira-Colombia, 2012 p.72

²⁷SIATA. Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá.

CAPITULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA

INTERPRETACIÓN Y LITOCORRELACIÓN DE LA SECUENCIA
ESTRATIGRÁFICA DEL ÁREA ANNEX, MINA CERREJÓN, A PARTIR DE
ANÁLISIS DE REGISTROS GEOFÍSICOS Y DATOS ESTRUCTURALES
LEVANTADOS EN CAMPO.

8. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El desarrollo del presente trabajo de investigación es mixto, ya que implica la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, y así como su integración y discusión conjunta. Se requiere tomar datos estructurales presentes en el área de Annex, realizar la lectura mediante la correlación e interpretación, cuya información será llevada bajo la interpretación del autor.

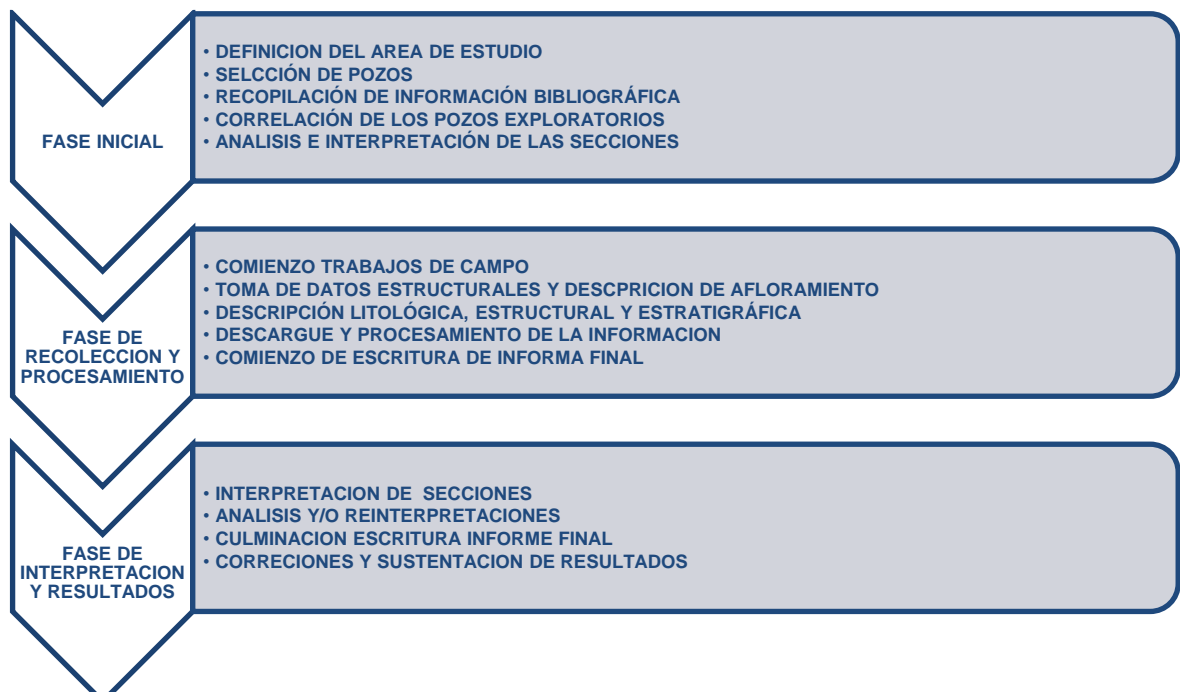
8.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación en la cual se trabajara es la de geología económica.

8.2 METODOLOGÍA

En búsqueda del cumplimiento de los objetivos estipulados en esta investigación se implementó la siguiente metodología. Durante los seis (6) meses de duración de las prácticas empresariales. Esta metodología fue dividida en tres fases (fase inicial, fase de recolección y procesamiento y la fase de interpretación y resultados) dentro de las cuales se nombra y agrupan las tareas a realizar (ver figura 7).

Figura 7. Plan de desarrollo del informe.



Fuente: Autor.

8.2.1 Fase Inicial

Comprende primeramente la selección y enfoque del informe, todo cuanto reúna la contextualización del mismo (delimitación del área y búsqueda del equipo de apoyo; tutores y ayuda Geológica respectivamente). Por otra parte se tuvieron en cuenta en esta fase las etapas de entrenamiento y conocimiento de protocolos de seguridad dentro de áreas de mina.

La selección del área de estudio se hizo teniendo en cuenta las necesidades de la compañía, la cual quería darle continuidad a una nueva interpretación y litocorrelación de la secuencia estratigráfica del área Annex, para la elaboración de un nuevo modelo geológico. Sumado a esto se contó con la disponibilidad de un Director de Proyecto en la Universidad. Se dio comienzo a la búsqueda de antecedentes y a la lectura de la documentación bibliográfica (informe, secciones, fotografías) disponibles, y por último se comprende la selección de 18 pozos exploratorios y la construcción de 3 secciones geológicas, con el fin de obtener rasgos estructurales si lo hay, como pliegues o fallas y poder observar características estratigráficas.

8.2.2 Fase de recolección y procesamiento

Esta fase comprendió la verificación de permisos y acceso al área de estudio y la entrega del equipo geológico (Brújula, Martillo, GPS).

En la etapa de campo se lleva a cabo un control geológico a partir de la adquisición de información estructural (datos de rumbo y buzamiento), además descripciones de los afloramientos, toma de zona de Clinker, levantamientos de columnas estratigráficas, fotografías, toma de muestras.

Finalizada esta fase, se procedió a un trabajo de oficina el que consistió la escritura del proyecto y con la ayuda de los geólogos la descarga de la información del GPS que organiza toda la información de datos estructurales, trazas de Clinker y ubicación.

8.2.3 Fase de interpretación y resultados

Se da como la fase final el análisis e interpretación de la información; además se hicieron las respectivas descripciones de los afloramientos, muestra de rocas, columnas estratigráficas y las zonas de Clinker.

Se generaron 3 secciones geológicas, que permitieron obtener relaciones de carácter espacial en superficie y en profundidad, conocer el tipo de estructura, espesor y propagación de los mantos de carbón. Por último, se presentaron los

resultados obtenidos, las correcciones pertinentes y se da la socialización de resultados a la Fundación Universitaria del Área Andina.

8.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Es un depósito carbonífero localizado en la zona norte de la Serranía del Perijá hacia el Valle Medio del río Ranchería en el piedemonte NW de está. Jurisdicción del municipio de Barrancas departamento de La Guajira y se ubica entre los corregimientos de Roque, Tamaquito, Patilla, Sierra Azul y Chancleta.

8.4 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Se tomaron 4 muestras en la zona de estudio, las cuales fueron muestra de Clinker, Arenisca conglomerática, Lodolita, y una muestra de Arcillolita. A las cuales se les hizo su respectiva descripción.

8.5 INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

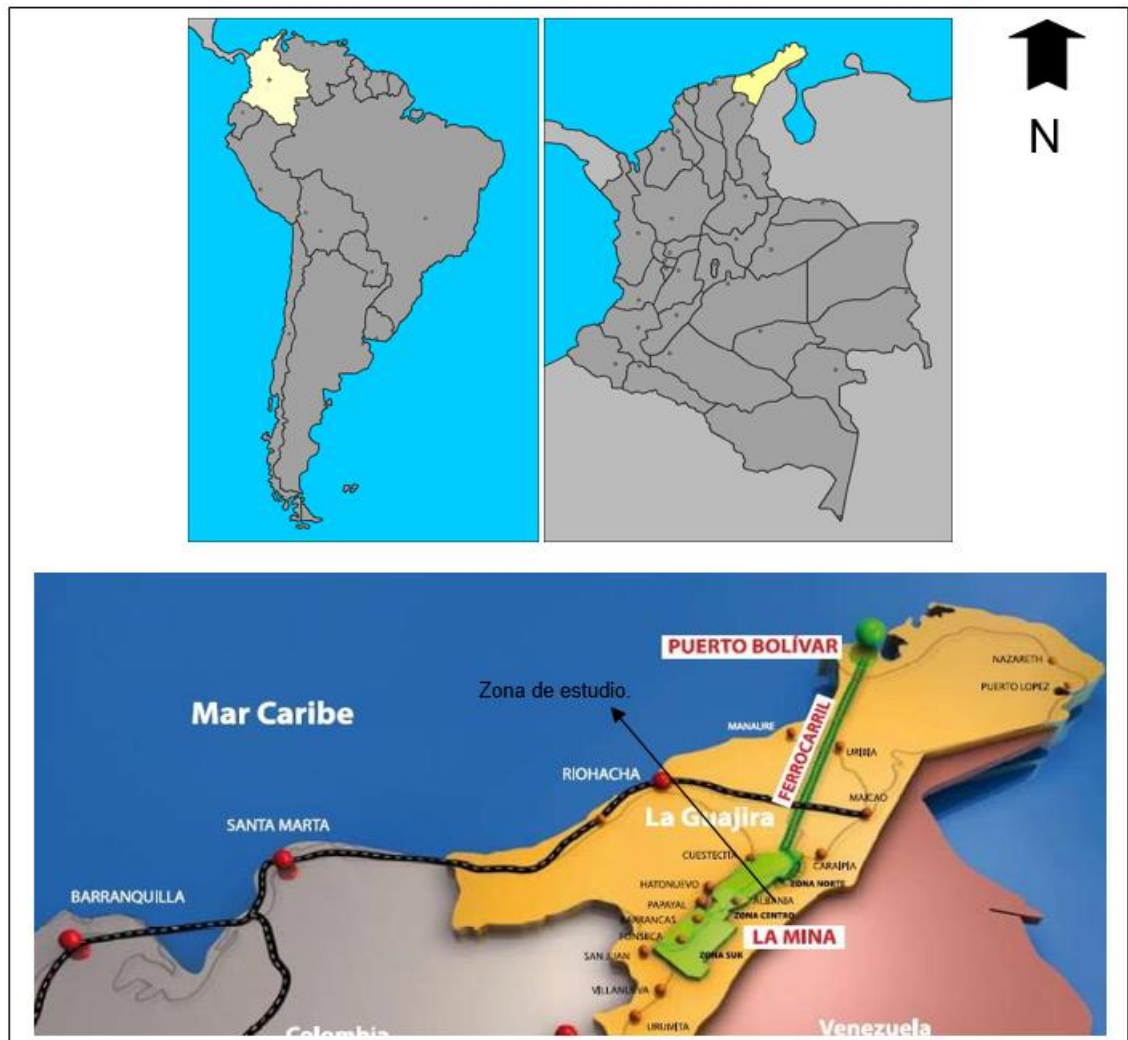
Equipo geológico Brújula, Martillo, GPS, Bolsas plásticas y cámara.

9. GENERALIDADES

9.1 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El área de estudio se encuentra localizada en la zona norte de la Serranía del Perijá hacia el Valle Medio del Río Ranchería en el piedemonte NW de la Serranía. La zona es jurisdicción del municipio de Barrancas departamento de la Guajira y se ubica entre los corregimientos de Patilla, Chancleta, Roche, Tamaquito y Sierra Azul (figura 8).

Figura 8. Localización del área de estudio.



Fuente: Tomado y modificado de Maps of Colombia.

El área se limita por el polígono encerrado en las siguientes coordenadas planas (Tabla 2).

Tabla 2. Puntos de cierre del polígono de la zona cartografiada.

Punto	Coordenadas	
	N	E
1	1.712.615	1.153.240
2	1.709.152	1.156.700
3	1.716.236	1.63.728
4	1.719.644	1.160.288

Fuente: Autor.

El acceso al área se realiza desde el municipio de Barrancas por la vía nacional hasta el corregimiento de Patilla o desde la mina por el acceso sur (Patilla Nueve-Nueve) tomando la vía nacional hacia el mismo corregimiento. Desde este punto se continúa hacia el este cubriendo la zona comprendida entre la vía Patilla-Chancleta-Roche al oeste, el Cerro Cerrejón al Sur, el piedemonte de la Serranía del Perijá al este y la Quebrada La Chercha al norte. En la figura 9 se observa la localización del área de Annex.

Figura 9. Localización del área de Annex con sus respectivos puntos de cierre del polígono, en el depósito carbonífero del Cerrejón.



Fuente: Cerrejón.

9.2 CLIMA

El promedio de temperatura en La Guajira es de 27°C y 30°C, con máximas de hasta 45°C. En la parte montañosa la temperatura mínima llega hasta los 3°C. Hay sólo lluvias entre septiembre y diciembre. El clima de La Guajira ha generado una vegetación muy típica, con arbustos espinosos y cactus. Es la zona más seca de Colombia [GOZZO, Alfonso. 2015]²⁸.

9.3 ECONOMÍA

La economía de La Guajira depende actualmente en primer lugar de la minería. Se destacan la explotación de sal marina (en Manaure), carbón (en Cerrejón) y gas natural (en los pozos de Chuchupa y Ballenas). El turismo es un renglón importante por los parques naturales que posee el Departamento. Tiene importancia la agricultura (ajonjolí, arroz, sorgo, algodón, yuca, caña de azúcar y tabaco) y la ganadería, especialmente la caprina [GOZZO, Alfonso. 2015]²⁹.

²⁸GOZZO, Alfonso. La Guajira, 2015 p.4

²⁹GOZZO, Alfonso. La Guajira, 2015 p.4

10. CONTEXTO LOCAL

10.1 ESTRATIGRAFÍA

A continuación se describen las unidades geológicas aflorantes en el área de Annex. Para este propósito se presentan los datos más relevantes encontrados en los afloramientos y se hará una breve descripción de cada una de ellas.

10.2 FORMACIÓN CERREJÓN

Origen del nombre: el nombre de Formación Cerrejón fue introducido inicialmente por Oppenheim (1941). Van der Hammen (1958) cree que el autor del nombre puede ser Notestein, de acuerdo con un informe inédito que data de 1929 (de Porta, 1974). El nombre se deriva del cerro Cerrejón, en el borde occidental de la serranía de Perijá.³⁰

Litología:[GÓMEX, Xavier. 2011]³¹ su composición litológica consiste esencialmente de litoarenistas grises claras a oscuras, arcillolitas, limolitas grises y shales grises a negros con abundantes mantos de carbón.

Posición Estratigráfica: la Formación Cerrejón, suprayace concordantemente con la Formación Manantial, siendo el contacto de tipo transicional a través de una calcoarenita. El contacto superior es discordante con la Formación Tabaco [GÓMEX, Xavier. 2011].³²

Espesor: Aproximadamente 1000m (Cerrejón, 2008).

Edad: la edad de esta formación es Paleoceno Tardío [GÓMEX, Xavier. 2011].³³

Ambiente de Depósito: Depositadas en un ambiente deltáico, subacuático, donde los sedimentos continentales y marinos se entrelazan en un número de cuencas o lagunas comunicadas entre sí, con el nivel de sus aguas gobernado por las oscilaciones del nivel del mar [GÓMEX, Xavier. 2011].³⁴

³⁰GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el depósito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

³¹GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el depósito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

³²GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el depósito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

³³GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el depósito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

³⁴GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el depósito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

Se presenta como la Formación litoestratigráficas más representativa del proyecto ya que esta contiene la zona de campo y por ende la estructura sobre la cual se enfoca esta investigación. Esta Formación se ha dividido en tres miembros: inferior, medio y superior (figura 10).

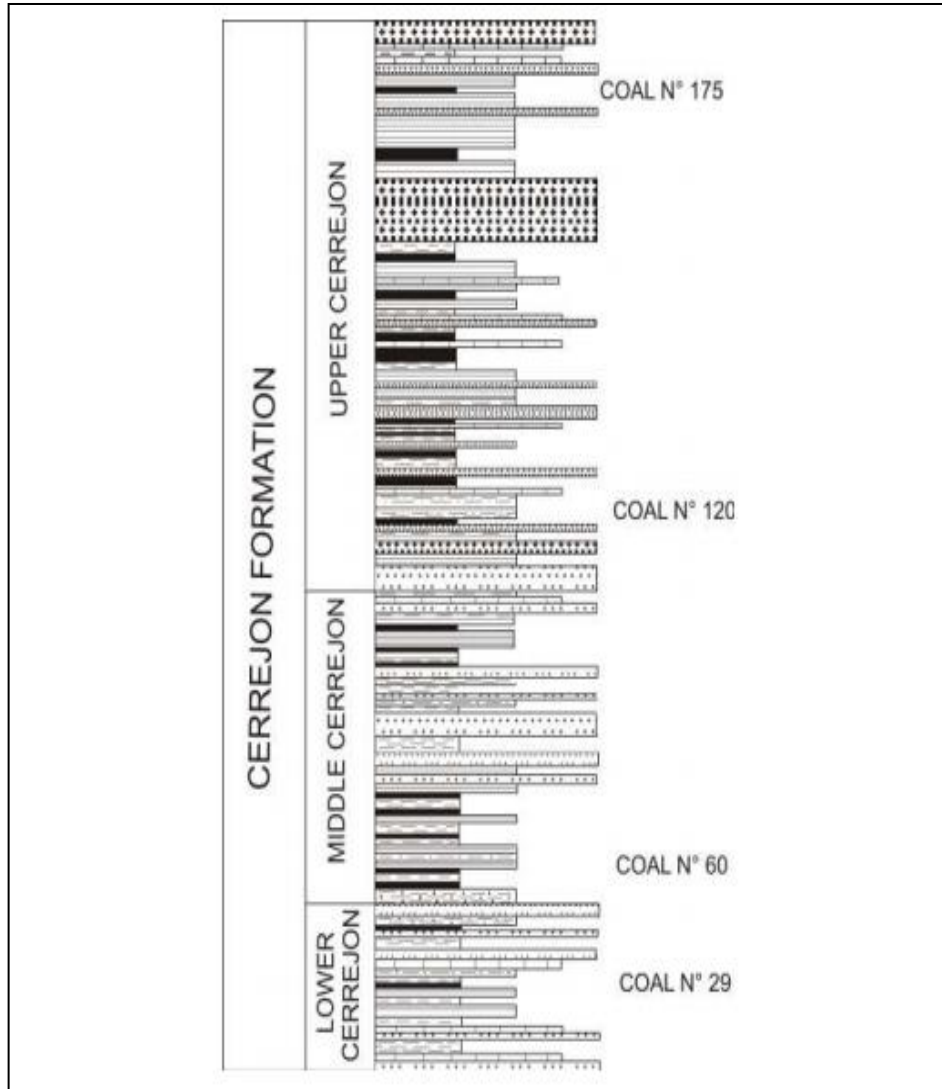
- El primer miembro y miembro inferior que consiste de shales negros fosilíferos y arcillolitas negras laminadas con delgadas laminaciones lenticulares de arenisca y cuarzo y la presencia de areniscas de laminación flaser. Todas estas capas subyaciendo y/o suprayaciendo mantos de carbón [PRADA, Andrés. 2012].³⁵
- El segundo o miembro medio se compone de lodolitas pobremente bioturbadas y areniscas con laminación flaser y heterolítica restos de plantas dispersos y comunes secuencias tanto grano crecientes como decrecientes [PRADA, Andrés. 2012].³⁶
- Por último el miembro superior se encuentra dominado por lodolitas y limolitas de grano muy fino, macizas, lenticulares, bioturbadas con abundantes restos de plantas que se intercalan por areniscas macizas con estratificación cruzada de gruesa a muy gruesa [PRADA, Andrés. 2012].³⁷

³⁵PRADA, Andrés. Cartografía geológica e interpretación de indicadores cinemáticos de la pared baja del tajo tabaco uno, mina Cerrejón, Guajira-Colombia, 2012 p.72

³⁶PRADA, Andrés. Cartografía geológica e interpretación de indicadores cinemáticos de la pared baja del tajo tabaco uno, mina Cerrejón, Guajira-Colombia, 2012 p.72

³⁷PRADA, Andrés. Cartografía geológica e interpretación de indicadores cinemáticos de la pared baja del tajo tabaco uno, mina Cerrejón, Guajira-Colombia, 2012 p.72

Figura 10. Sección estratigráfica de la Formación Cerrejón dividida en sus tres miembros.



Fuente: Geological Field-Trips Colombia, 1980-1989.³⁸

Afloramientos

Los afloramientos de esta unidad corresponde a una composición litológica consiste esencialmente de lodolita gris clara a oscura y trazas de carbón de hasta 1m de espesor.

³⁸ SIERRA, Jessyka. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el depósito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira. 2010 p.16

Los mejores afloramientos se hallan en la parte NE, en donde se puede levantar una columna estratigráfica de aproximadamente 12mts de largo por 50mts de ancho.

El primer afloramiento ANEXX122116, se ubicó sobre la vía de acceso para ingresar a la zona de Annex. Se sitúa hacia el margen derecho de esta, en sentido NW con respecto al Cerro Cerrejón. En el que se tomaron datos de coordenadas E1156215, 225/N1712546, 675; geomorfológicamente es una zona de altos relieves y el afloramiento se encuentra sobre expuesta en bastante vegetación hacia la parte del techo, con un ancho de 50m aproximadamente y 12m de alto. La superficie de meteorización se observa en la parte del centro, como se puede observar en la figura 11. Hacia la parte izquierda se encuentra una zona de Clinker (figura 11).

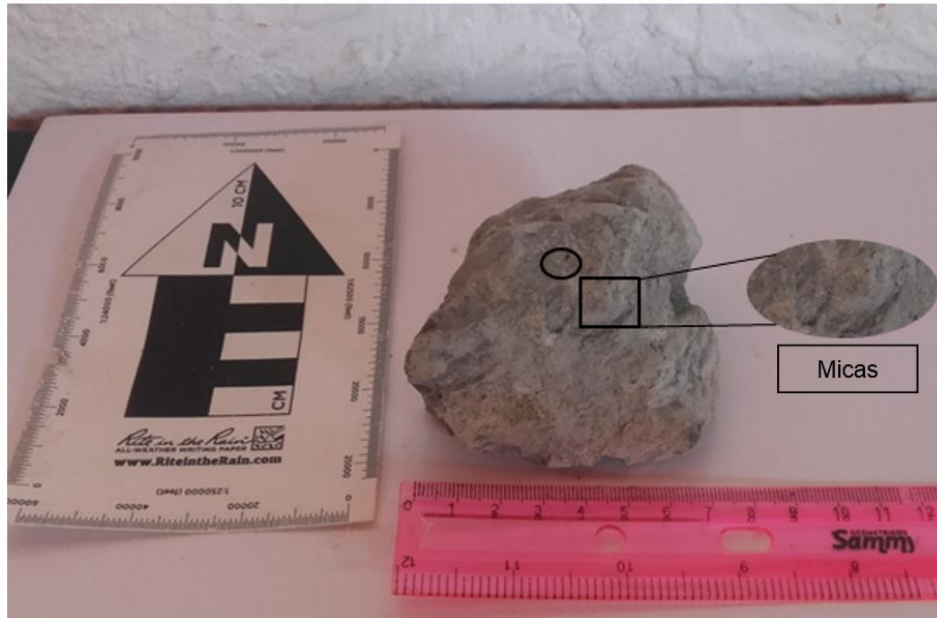
Muestra extraída del afloramiento (figura 12), correspondiente a una lodolita, con un tono grisáceo y un color gris medio, presencia de micas, se le observan pequeñas laminaciones carbonosas con 2° grados de buzamiento aproximadamente, matriz arcillosa, tamaño de grano fino y por último la muestra se encuentra seca.

Figura 11. Afloramiento en el área de Annex. Azimut 162°



Fuente: Autor.

Figura 12. Muestra extraída del afloramiento correspondiente a una lodolita.



Fuente: Autor.

Como se puede observar en la figura 13 se tomaron datos estructurales con una dirección NE, localizados en el primer afloramiento de la Formación Cerrejón. En la tabla 3, se muestran los respectivos datos, coordenadas y la litología encontrada.

Figura 13. Familia de Diaclasa en dirección NE.



Fuente: Autor.

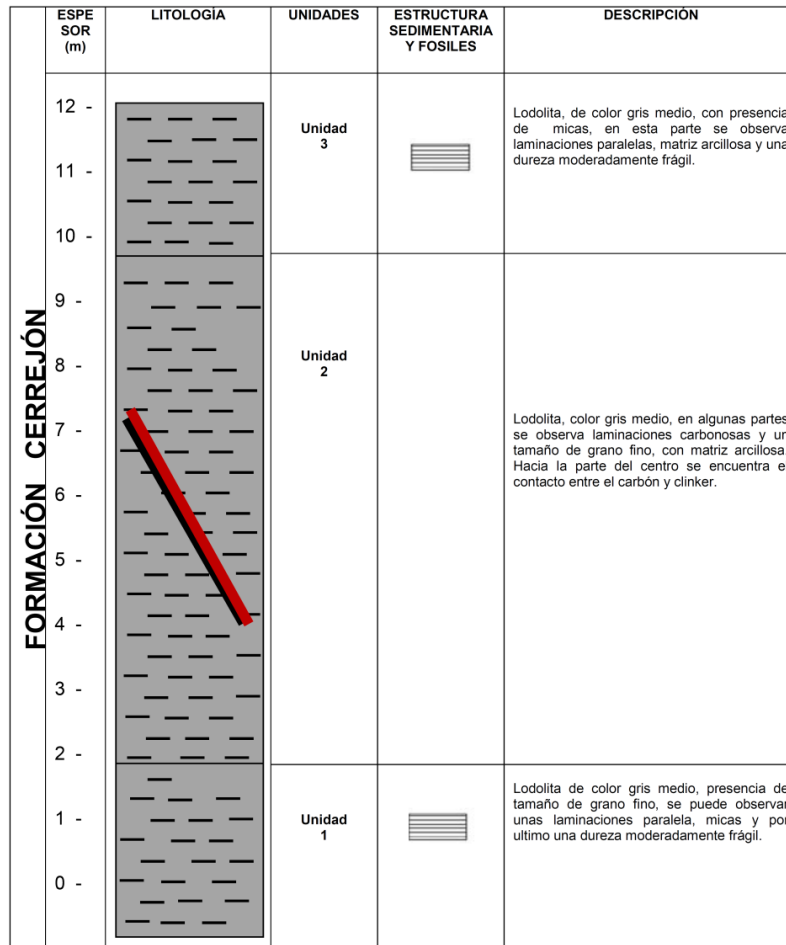
Tabla 3.Datos estructurales, coordenadas y litología.

BOREID	BOREID1	Easting	Northing	GPS_Height	Tajo	Litología
VPANEX01	N72°E/67°SE	1158329,63	1714579,62	129,32	Annex	Lodolita
VPANEX02	N85°E/58°SE	1158337,81	1714650,90	129,45	Annex	Lodolita
ANEXX122116	N60°E/39°SE	1156215,210	1712546,660	129,60	Annex	Lodolita
ANEXX122117	N65°E/39°SE	1156203,413	1712560,927	129,40	Annex	Lodolita

Fuente: Autor.

Se encuentra al NE del afloramiento, una columna estratigráfica en el punto ANEXX122116, como se puede observar en la figura 14, levantada en campo E1156210, 215/ N1712540, 660. En donde se puede observar cada una de sus respectivas descripciones.

Figura 14.Columna estratigráfica en el punto ANEXX122116.



Fuente: Autor.

10.3 FORMACIÓN TABACO

Origen del nombre: constituida por un conjunto de areniscas cuarzosas muy friables, amarillas y rojizas, de grano grueso a conglomerático, con estratificación cruzada, que alteran con niveles de conglomerados y delgadas intercalaciones arcillosas [GÓMEZ, Xavier. 2011]³⁹.

Posición Estratigráfica: suprayace discordantemente la Formación Cerrejón, su contacto superior es conforme y está marcado por un nivel de caliza, muy porosa y friable [GÓMEZ, Xavier. 2011]⁴⁰.

Espesor: máximo de 75 m [GÓMEZ, Xavier. 2011]⁴¹.

Edad: [GÓMEZ, Xavier. 2011]⁴², utilizando asociaciones de palinomorfos indica que la edad de la formación es Paleoceno Medio a tardío.

Ambiente de Depósito: depositado en un ambiente fluvial de corrientes anastomosadas [GÓMEZ, Xavier. 2011]⁴³.

Afloramientos

Los afloramientos de esta unidad corresponde a una composición litológica consiste esencialmente de rocas sedimentarias, las cuales son Areniscas conglomeráticas, Arcillolitas, Arenisca blanca. Se hallan en la parte NE, en donde se puede encontrar afloramientos de aproximadamente 10mts de largo por 40mts de ancho.

Afloramiento (1)

Este afloramiento se encuentra ubicado al margen izquierdo de la vía sobre la parte alta, la cual se utiliza para ingresar a la zona de Annex., en donde se puede observar está Formación ANEX010417, a su alrededor se encuentra poca vegetación. En el que se tomaron datos de coordenadas **E1156215, 225 / N 1712546,675**; se presenta moderadamente meteorizado en la parte del techo, con

³⁹GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el deposito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

⁴⁰GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el deposito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

⁴¹GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el deposito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

⁴²GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el deposito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

⁴³GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el deposito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29

una tonalidad amarillenta a blancuzca, como se puede observar en la figura 15. Estructuralmente el afloramiento no presenta familia de diaclasas.

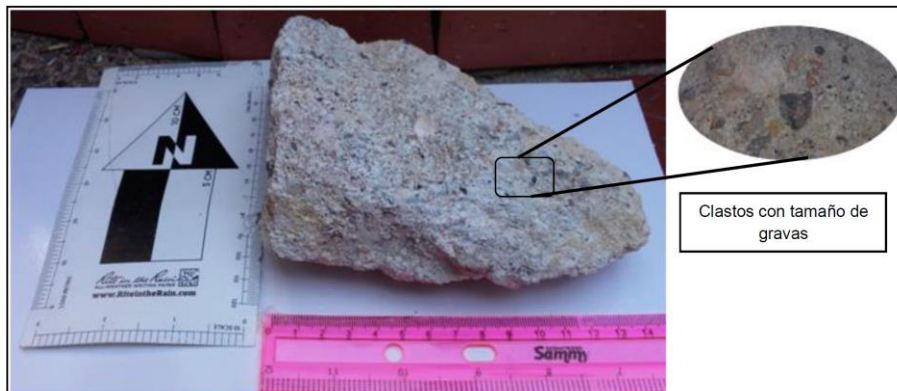
Según Folk (1974)⁴⁴, la roca se clasifica como una Arenisca conglomerática (figura 16), de color amarillenta clara, con presencia de clastos subangulosos, con cemento silíceo, que ayuda al endurecimiento de la roca, adicionalmente presenta matriz arcillosa. Se encuentra compuesta principalmente por 10% de Feldespato con alteración argílica, 50% de cuarzo y 40% de Fragmentos líticos con tamaños que oscilan entre 5mm a 2 cm.

Figura 15. Afloramiento de la Formación Tabaco (ANEXX010417).



Fuente: Autor.

Figura 16. Muestra extraída del afloramiento, según Folk (1974) texturalmente la roca se clasifica como Arenisca conglomerática.



Fuente: Autor.

⁴⁴Folk, 1974. Petrology of sedimentary rocks. 2002 p.100

Afloramiento (2)

Se presenta un afloramiento llamado ANEXX010417, con coordenadas de E1154110, 111 / N1711223, 452; presenta un contacto entre el depósito aluvial, arenisca blanca y arcillolita, como se puede observar en la figura 17. Con dimensiones de 40mts de ancho por 10mts de alto aproximadamente, hacia el NE en el área de Annex, su vegetación es abundante hacia el techo.

Se deja apreciar en la parte superior un depósito aluvial (figura 18), con fragmentos de roca redondeadas a sub-redondeada, en una escala de color rojizo.

Según Folk (1974)⁴⁵, la roca se clasifica texturalmente como arenisca, presenta un color blanco, como se puede observar en la parte inferior del afloramiento (figura 18). Está constituida principalmente por un 20% de Feldespato potásico, 5% de Fragmentos líticos, 75% de Cuarzo y minerales accesorios como las micas y óxidos de hierro. Además contiene granos de tipo de arena de media a fina, cemento silicios y una dureza moderadamente débil (Figura 19).

Y por último hacia los lados izquierdo y derecho es posible apreciar una arcillolita (figura 20), poco consolidada. Con un tono amarillo pálido (2.5Y8/3) según Munsell⁴⁶, presencia de micas, una dureza débil (figura 21).

En la tabla 4 y figura 22, se observa un diaclasamiento con direcciones predominantes hacia el NE:

Tabla 4.Datos estructurales ANEXX010417.

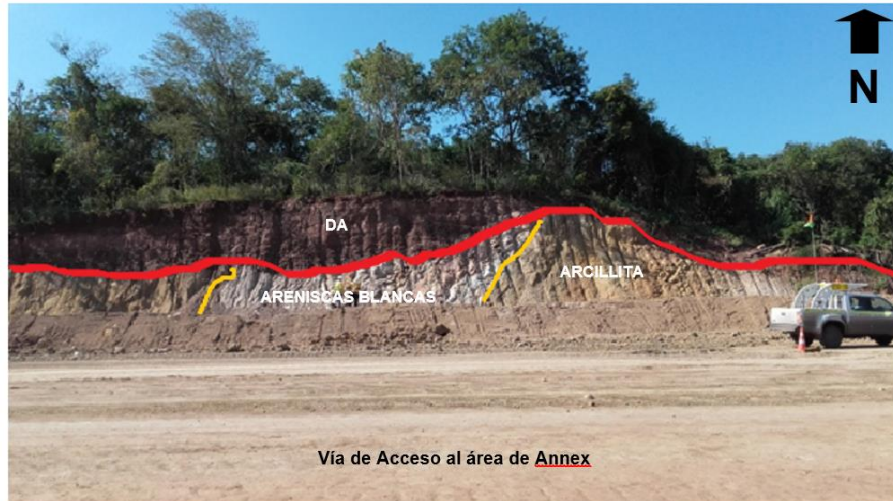
BOREID	BOREID1	Tajo	Detalle
ANEXX010417	N79°E/31°SE	Annex	Arenisca
ANEXX010417	N15°E/38°SE	Annex	Arenisca

Fuente: Autor.

⁴⁵Folk, 1974. Petrology of sedimentary rocks. 2002 p.100

⁴⁶ BRIGGS, David. The Dimensions of Colour, 2012 p.8

Figura 17. Afloramiento (2) ANEX010417, con un contacto entre el depósito aluvial, arenisca blanca y arcillolita.



Fuente: Autor.

Figura 18. Depósito Aluvial (Da) en la parte superior y en la inferior se observa una arenisca blanca.



Fuente: Autor.

Figura 19. Muestra extraída del afloramiento, según Folk (1974) la roca se clasifica texturalmente como Arenisca.



Fuente: Autor.

Figura 20. Afloramiento de la Arcillolita en el sector de Annex.



Fuente: Autor.

Figura 21. Muestra extraída del afloramiento correspondiente a una arcillolita.



Fuente: Autor.

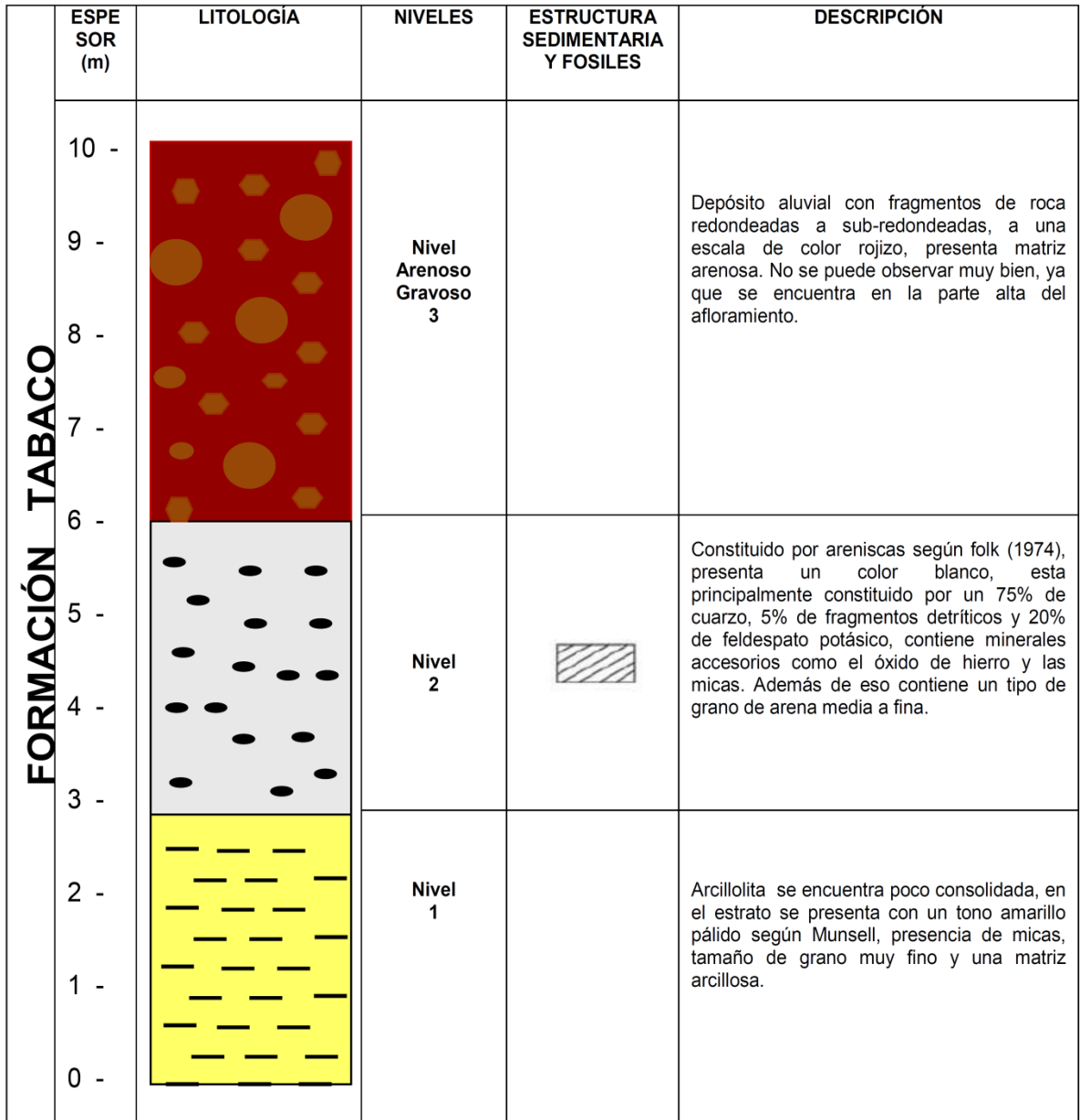
Figura 22. Diaclasamiento con direcciones predominantes hacia el NE.



Fuente: Autor.

En la figura 23, se presenta la columna estratigráfica levantada en el punto ANEXX010417, con coordenadas de **E1154110, 106 / N1711223, 445**.

Figura 23.Columna estratigráfica levantada en el punto ANEXX010417.



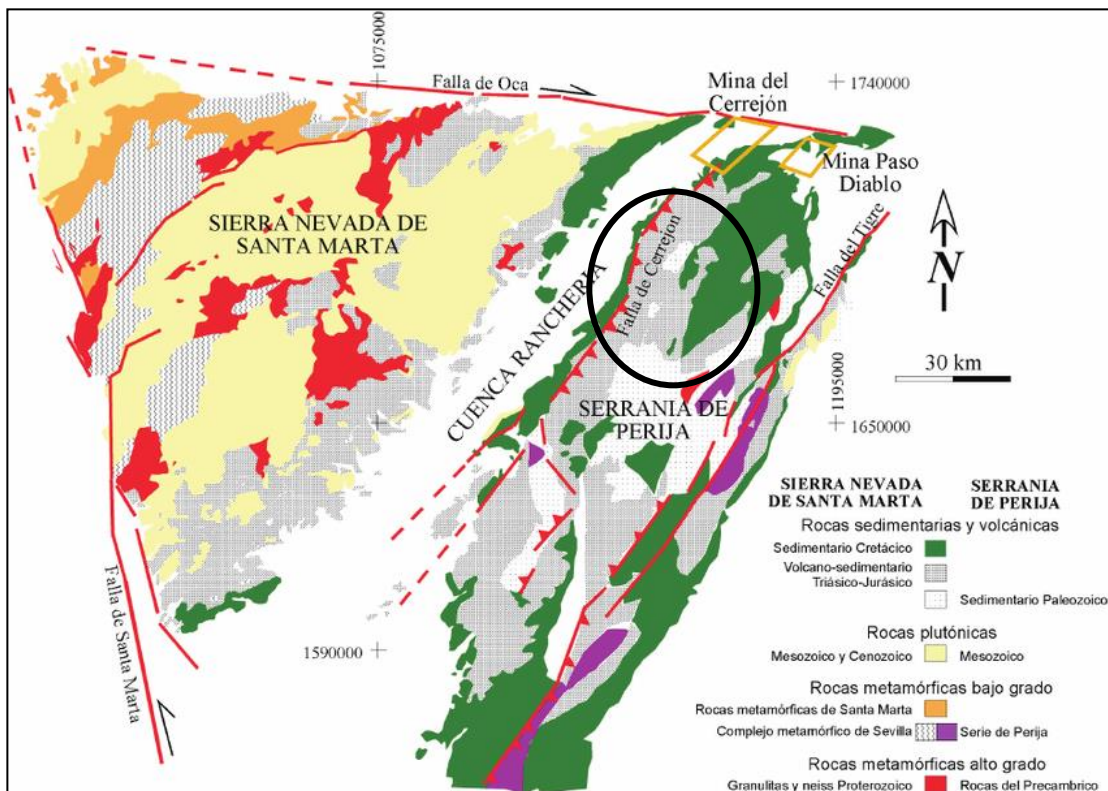
Fuente: Autor.

11. CONTEXTO ESTRUCTURAL

11.1 FALLA CERREJÓN

No se pudo hallar en campo un afloramiento de la Falla Cerrejón en el cual se pudiesen tomar datos estructurales para comprobar la cinemática de la estructura. A pesar de esto, en el punto ANEXX122116, se observa un afloramiento en dirección NW, que muestra las lodolitas (grises) y la presencia de clinker de la Formación Cerrejón; y hacia el NE muestra el cambio entre las areniscas blancas y conglomeráticas de la Formación Tabaco, pero no se encuentra ningún indicador cinemático que evidencie la existencia de esta estructura. En la figura 24 se puede observar la ubicación de la Falla Cerrejón en el contexto regional.

Figura 24. Ubicación de la Falla Cerrejón.



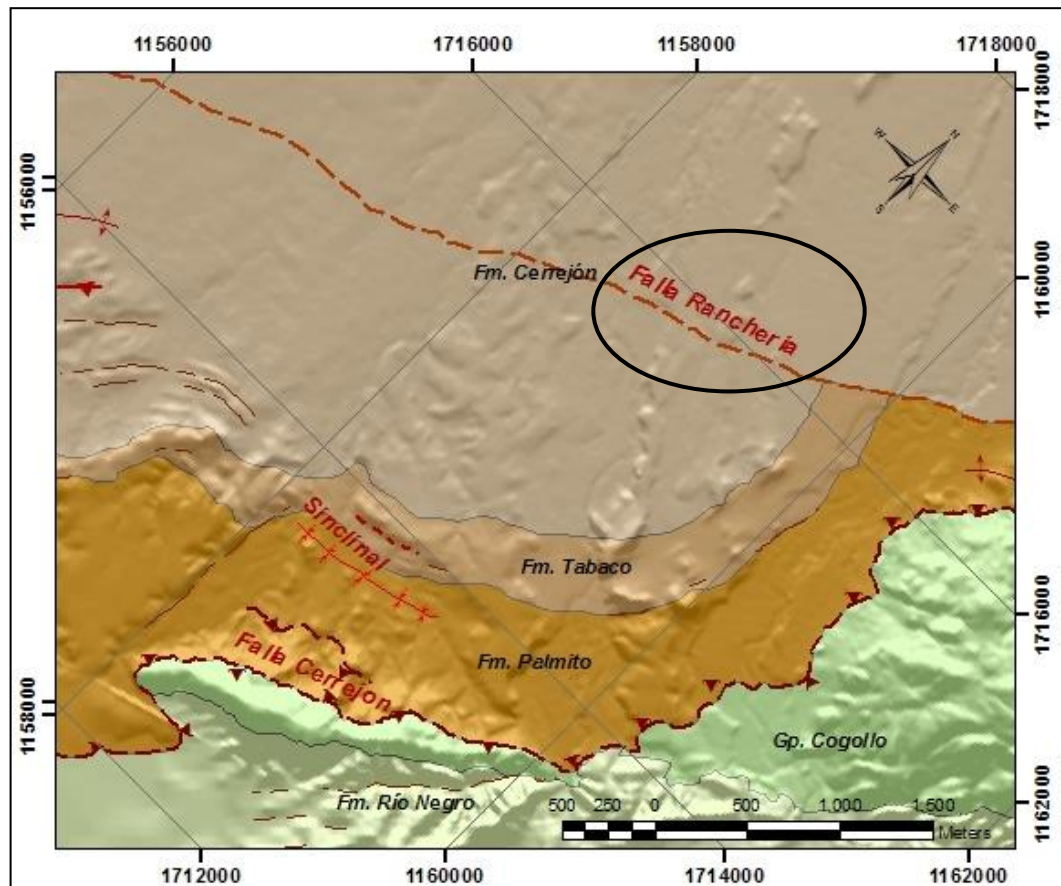
Fuente: Cerrejón.

11.2 FALLA RANCHERÍA

Dentro de la literatura existente no se tiene una definición formal de la Falla Ranchería en este sector de la cuenca del Río Ranchería. Pero tampoco se pudo

evidenciar en campo un afloramiento de esta dicha falla. A partir de la observación de las bases de datos del Cerrejón en las cuales se deduce la existencia de una falla de rumbo con desplazamiento lateral izquierdo en la cual el desplazamiento horizontal está alrededor de 6,3km, según [SIERRA, Jessyka. 2010]⁴⁷. En la figura 25 se puede observar donde se encuentra ubicada la Falla Ranchería.

Figura 25.Ubicación de la Falla Ranchería.



Fuente: Cerrejón.

⁴⁷ SIERRA, Jessyka. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el depósito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira. 2010 p.16

12. GENERACIÓN DEL “CLINKER”

Localizar las áreas de “Clinker”, es importante porque permite definir el plan de avance minero dado su potencial impacto geotécnico, también porque permite estimar las reales reservas de carbón del depósito, ya que representan zonas de carbón reducidas a cenizas.

Estas áreas se forman como resultado de la combustión in situ de los mantos de carbón en áreas donde el oxígeno ha sido introducido al sistema por discontinuidades tectónicas o por su exposición en superficie, quemando y reduciendo la roca adyacente, liberándola de materia volátil, enrojeciéndola, silicificándola, caolinizándola y concentrando los minerales metálicos alrededor de la combustión, lo que permite definir la geometría y dimensiones o extensión del cuerpo, utilizando métodos indirectos como los aeromagnéticos.⁴⁸

12.1 QUE ES EL “CLINKER”?

Es una roca metamórfica denominada más exactamente como pirometamórfica, resultado de la alteración térmica de lodolitas, shales o areniscas quemadas y fundidas durante la combustión espontánea del carbón, que alcanza normalmente temperaturas de 1000 °C a una presión que no supera los 100MPa (aproximadamente 987 atm)⁴⁹.

Es un material caolinizado y silicificado altamente poroso y permeable, muy fracturado, duro y frágil, principalmente de color rojo, aunque también puede ser naranja, rosado y negro; que incluye porcelanita (arcillolita gris sinterizada) y brechas fundidas y soldadas. En la siguiente figura 26, se observa una muestra de mano del Clinker tomada en campo⁵⁰.

⁴⁸CANDELA, Sol Ángel., QUINTERO, Jhon. Cartografía de las zonas de “CLINKER” en las áreas de minería de la mina el Cerrejón. Albania, La Guajira, 2004 p.109

⁴⁹CANDELA, Sol Ángel., QUINTERO, Jhon. Cartografía de las zonas de “CLINKER” en las áreas de minería de la mina el Cerrejón. Albania, La Guajira, 2004 p.109

⁵⁰CANDELA, Sol Ángel., QUINTERO, Jhon. Cartografía de las zonas de “CLINKER” en las áreas de minería de la mina el Cerrejón. Albania, La Guajira, 2004 p.109

Figura 26. Muestra de Clinker.



Fuente: Autor.

12.2 ZONA DE CLINKER

De acuerdo a su ubicación se identificó 1 zona principal de “Clinker”, asociado a determinado manto A, B y C, el cual corresponde al 135 (Tabla 5). Esta área corresponde a la zona de Annex.

Tabla 5. Localización de los cuerpos de Clinker, mantos de carbón, espesores y profundidad.

Localización “Clinker”	Manto	Espesor	Profundidad
ANNEX	135 (A)	13cm	4m
	135 (B)	50m	6m
	135 (C)	40m	7m

Fuente: Autor.

La concentración más importante se encontró hacia el extremo NE en el área de Annex con coordenadas **E** 1156203,893/**N** 1712560, 198, encontrando en el primer afloramiento de la Formación Cerrejón este cuerpo. La zona de “Clinker” tiene una dirección **N65°E/39°SE**, asociada a la quema del manto 135, como se puede observar en la figura 27. Además existe un límite con el mantón de carbón 135 (figura 28).

Se clasificaron tres tipos de trazas A, B y C:

Traza A: va de 13cm aproximadamente y una profundidad de extensión de 4m, la cual va en dirección NE (figura 29).

Traza B: esta traza va en dirección NW, con respecto al Cerro Cerrejón, que va de 50cm aproximadamente, con una propagación de 6m (figura 30).

Traza C: a unos 7m vuelve aparecer la misma traza de carbón, pero esta última tiene un espesor de 40 cm aproximadamente, alcanza una profundidad de 7m (figura 31).

Figura 27. Zona de Clinker asociada a la quema del manto 135.



Fuente: Autor.

Figura 28. Límite entre el Clinker y la traza de Carbón (Manto 135).



Fuente: Autor.

Figura 29. Traza de Carbón A (Manto 135).



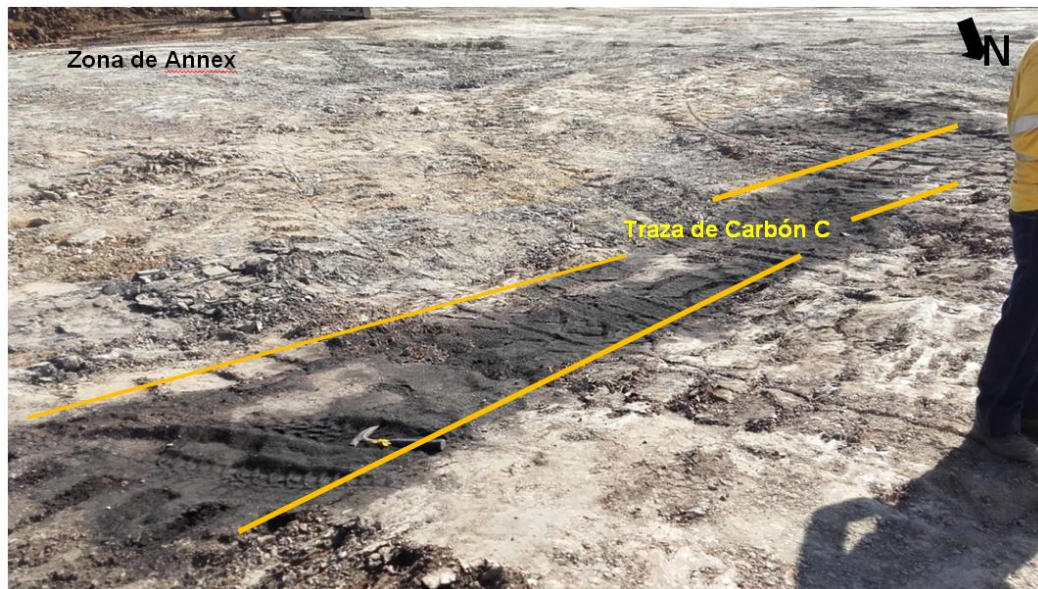
Fuente: Autor.

Figura 30. Traza de Carbón B (Manto 135).



Fuente: Autor.

Figura 31. Trazas de Carbón C (Manto 135).

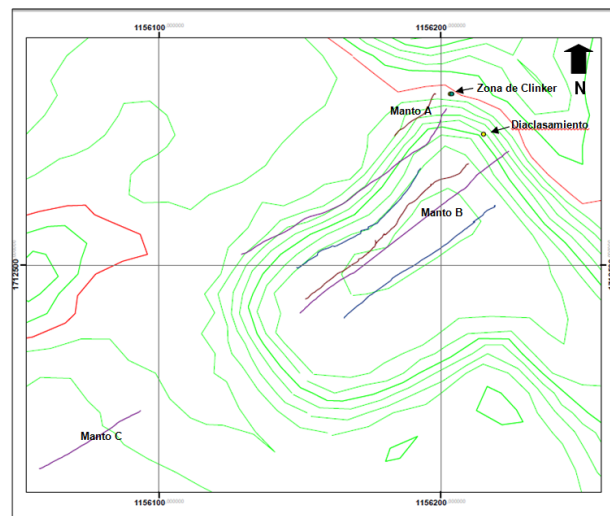


Fuente: Autor.

12.3 LOCALIZACIÓN DEL CLINKER Y TRAZAS DE CARBÓN

A continuación en la figura 32, se muestra un mapa de la zona de Annex con la ubicación de las trazas de carbón del manto 135 (A, B y C) tomadas en campo y nombradas anteriormente. Además se observa la zona de Clinker y el diaclasamiento encontrado en el primer afloramiento de la Formación Cerrejón.

Figura 32. Localización de las trazas de carbón, zona de Clinker y diaclasamiento.

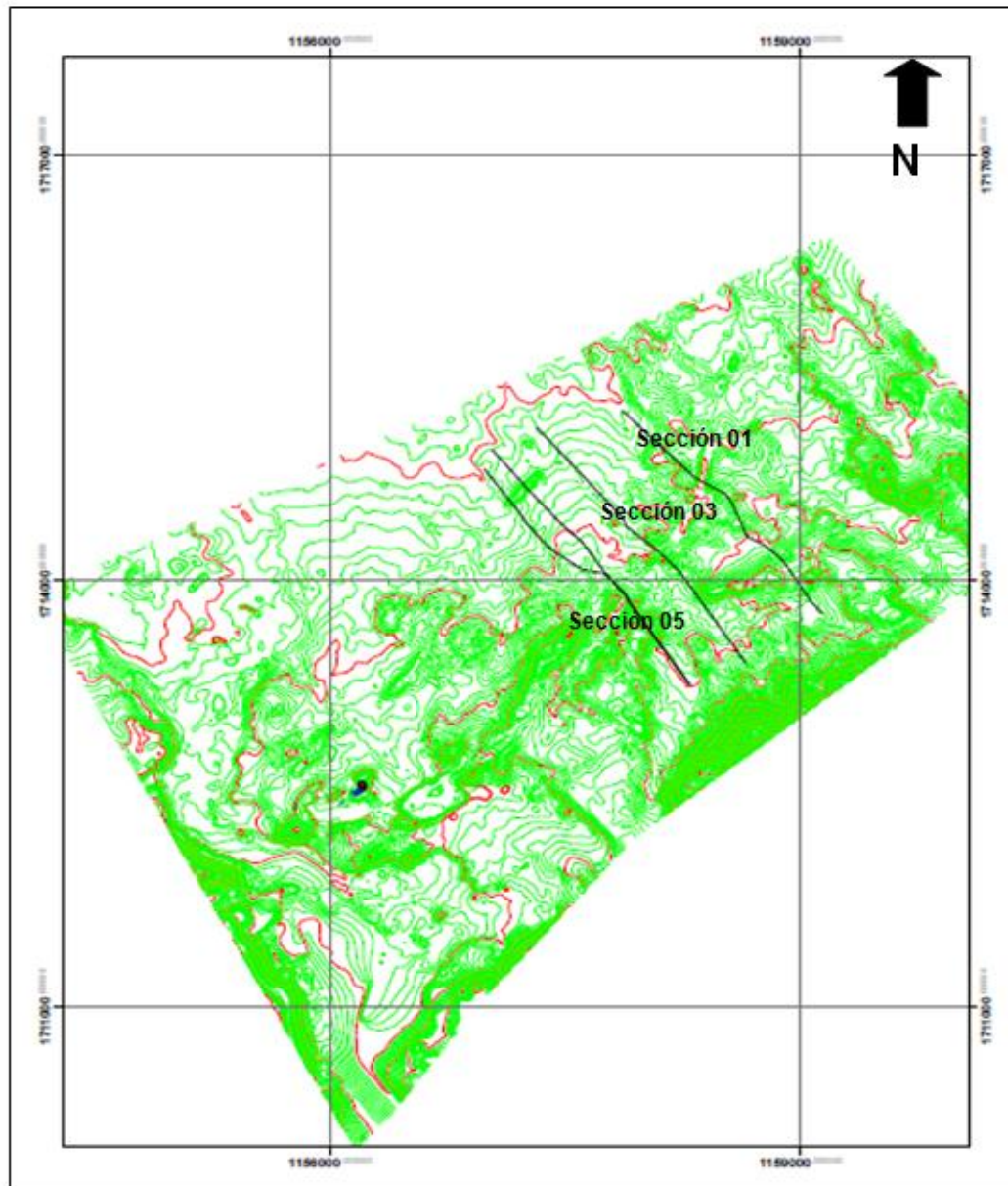


Fuente: Autor.

13. LÍNEAS SÍSMICAS Y CONSTRUCCIÓN DE PERFILES

Se cuenta con tres líneas sísmicas para la zona de Annex. En la figura 33 se observa la localización de estas, las cuales fueron tomadas pozo a pozo en dirección NE-SW, realizándole las respectivas descripciones.

Figura 33. Localización de líneas sísmicas en Annex.



Fuente: Autor.

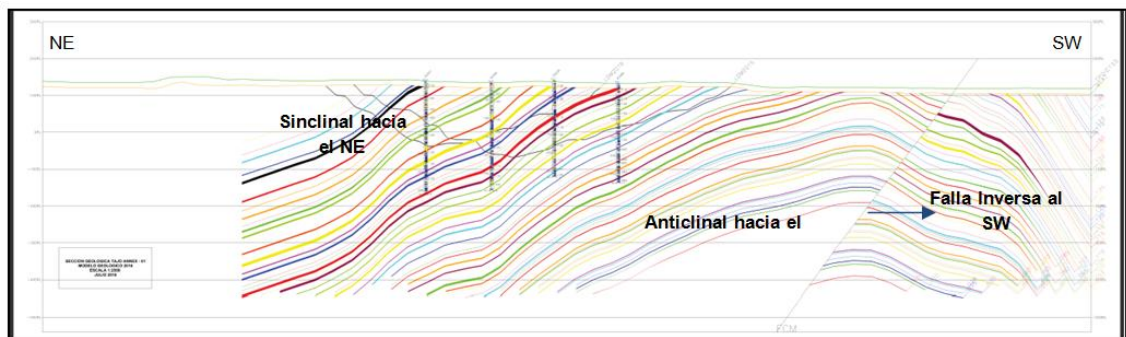
Línea sísmica 01

La sección geológica 01 es presentada desde el NE hacia el SW, con 4 pozos exploratorios (00297-00384-00036-00388) y una profundidad de 300m aproximadamente. Se observa la existencia de una estructura tipo anticlinal (figura 33) con vergencia al SW que termina en una zona de falla inversa. Del lado izquierdo de la línea en dirección NE, se alcanza a insinuar un tipo de estructura sinclinal.

Se utilizan 3 tipos de líneas en la sección, las cuales son de topografía, el avance minero y meteorización. Los mantos de carbón tienen un buzamiento aproximado de 50° hacia NW y su respectiva continuidad lateral. Los de mayor espesor son los mantos 130, 115, 110 son encontrados a una profundidad entre 200 y 250.

Hacia la parte del techo se encuentra una litología constituida por lodolita, la cual hace parte de la Formación Cerrejón, seguida de la secuencia a unos 230m, de profundidad se observa una intercalación con lodolita arenosa y hacia la base arenisca (figura 34).

Figura 34. Línea sísmica 01 en el sector de Annex.



Fuente: Autor.

Línea Sísmica 03

En la sección 03 existen tres tipos de líneas, una con el avance minero, topografía y por último una de meteorización que se observa a los 15m de profundidad de estos pozos.

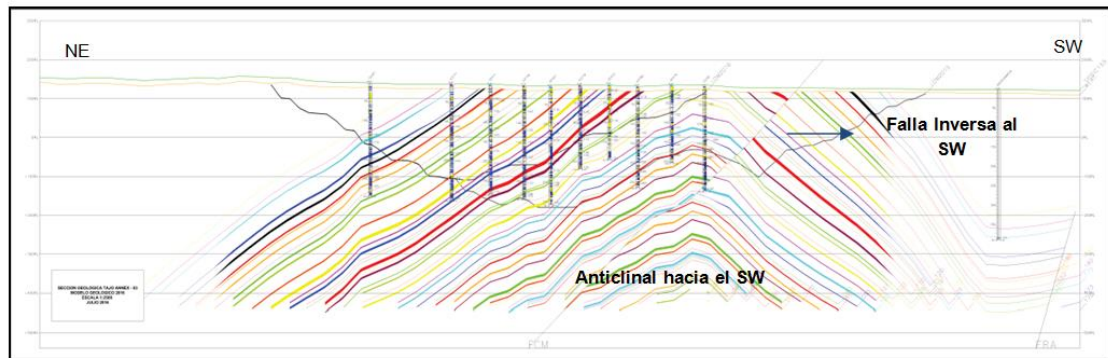
Se puede observar una estructura de tipo anticlinal con vergencia hacia el SW. Con 11 pozos exploratorios (02461, 03777, 02471, 03778, 02497, 03779, 02453, 03780, 02476, 03781, ANEXDUMMY20) y su mayor profundidad es de 306m aproximadamente.

Los mantos de carbón tienen un buzamiento aproximado de 46° en dirección NE. Al mismo tiempo son afectados por la presencia de una falla inversa localizada al flanco SW, en la que se pueden ver afectados los mantos ya sea la continuidad lateral, el buzamiento o el espesor. Como se puede observar en la figura 35.

La secuencia de los mantos de carbón tiene una continuidad lateral, hacia la parte del centro con un espesor mayor en los mantos 175, 173, 130, 115, 110, 100 son encontrados a una profundidad entre 150m y 260m. En los últimos 4 pozos exploratorios no se observa la continuidad de estos ya que es afectado por el anticlinal que se puede observar en la sección 03 y en el primer pozos pasa el mismo caso pero este es afectado por el sinclinal que se encuentra en dirección NE.

Hacia la parte del techo se encuentran lodolita de la Formación Cerrejón, siguiendo la secuencia hacia la parte media se observa una intercalación de base a techo, de lodolita y arenisca lodosa y hacia la base de estos pozos se concluyen una arenisca.

Figura 35. Línea sísmica 03 en el sector de Annex.



Fuente: Autor.

Línea sísmica 05

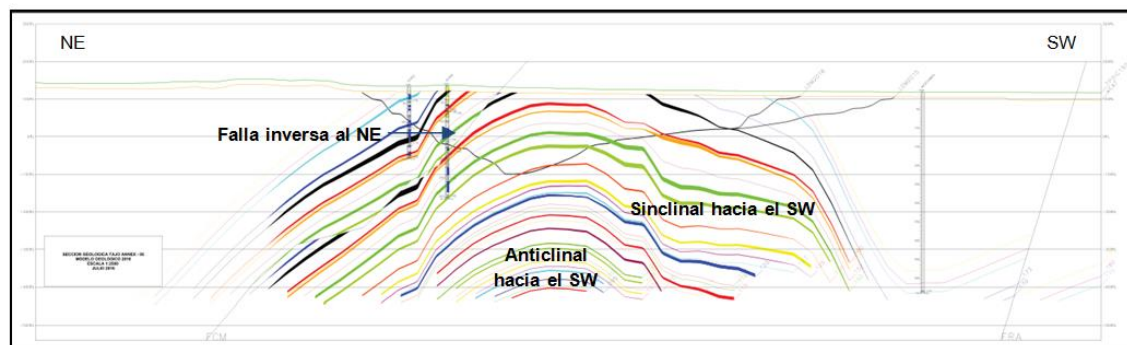
La sección geológica 05 es presentada desde el NE hacia el SW, con 3 pozos exploratorios (002502-00390-ANEXDUMMY5) y su mayor profundidad es de 300m aproximadamente. Se observa la existencia de una estructura de tipo anticlinal con vergencia al SW. Del lado izquierdo de la sección en dirección SW, se alcanza a insinuar la forma de un sinclinal y del lado derecho comienza en una zona de falla inversa buzante al NE.

Los mantos de carbón que se encuentran del lado NE, son afectados por la falla inversa en dirección NE, ya que no sigue la continuidad lateral o el espesor de los mantos. A los 130m de profundidad se cuenta con un gran espesor en el manto 170, 160, 168 y con su respectiva continuidad lateral.

A unos 20m de profundidad se encuentra el meteorizado, siguiendo la secuencia a unos 30m se observa lodolita de la Formación Cerrejón. Hacia la parte media es intercalado de base a techo una arenisca lodosa y a la base completamente arenisca.

Hacia el SW se encuentra el pozo ANEXDUMMY5, en el que no se pudo recolectar ningún tipo de información, ni de correlación con los demás pozos nombrados anteriormente, ya que al momento de hacer su respectivo registro geofísico el pozo se encontraba derrumbado, figura 36.

Figura 36. Línea sísmica 05 en el sector de Annex.



Fuente: Autor.

CONCLUSIONES

La interpretación geológica y litocorrelación de la secuencia carbonífera de la Formación Cerrejón en el área de Annex, contribuyo al mejoramiento del actual modelo que se tiene para esta zona, a partir de análisis de registros geofísicos de pozos levantados en campo (profundidad, espesor, continuidad de los mantos de carbón) y datos estructurales.

La complejidad en la parte estructural aumenta en sentido NE-SW debido a que está afectado por cierto tipos de pliegues y la cercanía de fallas. Esto se ve reflejado en la desaparición de ciertos mantos en algunos pozos exploratorios y altos grados de buzamiento. Además se pudo determinar con la revisión de las interpretaciones de las líneas sísmicas se obtuvo la continuidad de los mantos de carbón, su respectiva profundidad y que tan grande eran los espesores de carbón en el área de Annex, ya que esta herramienta es muy útil a la hora de conocer la geología estructural en el subsuelo.

A pesar de que no se pudo observar un plano de falla en campo, se comprobó a través de las secciones del modelo geológico que ha sido retroalimentado anteriormente por líneas sísmicas que existe un anticlinal en la zona de Annex, el cual es un pliegue de arrastre producido por el movimiento inverso de la Falla Ranchería, ya que esta es la que más afecta a esta zona y esta puede estar involucrada en los paquetes de roca de la Formación Cerrejón y la Formación Tabaco.

Los cuerpos de Clinker en el Cerrejón están asociados a zonas de elevada complejidad estructural, principalmente junto a fallas, ya que las discontinuidades tectónicas permiten la alimentación de oxígeno a profundidad. Facilitando la oxidación y posterior autocalentamiento del carbón. Se identificó una zona de Clinker concentrada al NE, asociado a determinado manto A, B y C, el cual corresponde a la quema del manto 135. Su mayor espesor en superficie es de 50m aproximadamente y una propagación en profundidad que oscila entre 7m en dirección NE.

RECOMENDACIONES

- El desarrollo de esta nueva correlación propone una retroalimentación en el modelo geológico, debe ser ajustado de acuerdo a la información obtenida en campo.
- Realizar más perforaciones que clarifiquen y aporten información en la realización del modelo geológico, ya que la falta de información de pozos es una limitante en la determinación exacta de las estructuras en el área de Annex.
- Realizar un monitoreo en campo en el que se recolecte datos físicos (Rumbo y Buzamiento), para poder determinar con exactitud zonas de falla.
- La elaboración de más líneas sísmicas para poder determinar la parte estructural de la zona de Annex o realizar más perforaciones a lo largo de estas.
- Realizar una investigación que permita determinar cuáles son las causas para que solo determinados mantos de carbón de la Formación Cerrejón estén asociados a los fenómenos de combustión y a las áreas de Clinker y así poder tomar las medidas que permitan mitigar esta situación.

BIBLIOGRAFÍA

A.TABOADA, C. DIMATE Y A.FUENZALIDA. Sismotectónica de Colombia: deformación continental activa y subducción. 1998. 37p.

CEDIEL, F; MOJICA, J. &MACÍA, C. Las Formaciones Luisa, Payandé, Saldaña. Sus columnas estratigráficas características. Geología Norandina 3:11-19. (1981).

DAVIDSON, G., Y LOWE, S. Magnetic Modeling of Clinker Zones at Carbones del Cerrejón, Colombia. Geology and Reserves, Volume 10: Geophysics. Separata Feasibility Study, Expansion to 9 MTPA. (2000).

GOVEA, C. &DUEÑAS, E. Informe geológico preliminar de la Cuenca del Cesar. ECOPETROL. Informe 390.1975. 37p. Bogotá.

GEOLOGY AND RESERVES. Technical Support Document. Carbones Del Cerrejón Feasibility Study, Expansion to 9 MTPA. Colombia. (2000). 217 p.

INGEOMINAS. Mapa geológico generalizado del departamento del Cesar. Memoria explicativa. INGEOMINA. 1999. 89p. Bogotá.

INGETEC. Cartografía geológica del área del piedemonte en zona de Campoalegre. Carbones del Cerrejón LLC, informe interno. 2007. 241p. La Mina.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Compendio, tesis y otros trabajos de grado. Quinta actualización. Bogotá: ICONTEC, 2002. Leche entera pasteurizada. Bogotá: ICONTEC, 1998, 5p. : il. (NTC 506).

FIERRO, J., Y LLORENTE A. Consideraciones ambientales acerca del proyecto carbonífero el Cerrejón, operado por las empresas BHPBilliton, Angloamerican y Xstrata en la Guajira. (2016). 20p.

LAMUS, F.; BAYONA, G.; CAICEDO, J. &TCHEGLIAKOVA, N. Análisis de procedencia de la sucesión Paleocena en el sector norte de la cuenca Cesar-Ranchería. Implicaciones en los modelos tectónicos de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá. Carbones del Cerrejón LLC, informe interno. 2006. 10p. La Mina.

PÁGINA DE CARBONES DEL CERREJÓN <<http://www.cerrejon.com/site/>>

SIERRA ROMERO, Jessyka. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el depósito Carbonífero de Cerrejón en el departamento de la Guajira. 2010. 16p.

SMITH, M. Geological Report – Clinker Zones. CarbonesDelCerrejón, Feasibility Study, Volume 3: Geology and Reserves. Colombia. (2000). 24p.

SUMMARY REPORT. CarbonesDelCerrejón Feasibility Study, Expansion to 9 MTPA, Section 5. Colombia. (2000). 70p.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CERREJÓN. Disponible en la página <www.cerrejon.com/site/>

CANDELA, Sol Ángel., QUINTERO, Jhon. Cartografía de las zonas de “CLINKER” en las áreas de minería de la mina el Cerrejón. Albania, La Guajira, 2004 p.109.

SÁNCHEZ, Carlos. Exploración geológica del pitAnnexy las zonas circundantes en el Piedemonte de la Serranía del Perijá, 2007 p.48.

GÓMEZ, Xavier. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el depósito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, 2011 p.29.

MARTÍNEZ, Edgar. Cartografía geológica e interpretación de indicadores cinemáticos, mina cerrejón, La Guajira-Colombia, 2012 p.75.

DAVID, Firth. Registros geofísicos con densidad, 1999 p.76.

REEVES, Wireline. Registros geofísicos con densidad, 1999 p.76.

Arias, Alfonso & Morales Carlos. Memoria explicativa, 1999 p.89.

PRADA, Andrés. Cartografía geológica e interpretación de indicadores cinemáticos de la pared baja del tajo tabaco uno, mina Cerrejón, Guajira-Colombia, 2012 p.72.

SIATA. Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá.

GOZZO, Alfonso. La Guajira, 2015 p.4.

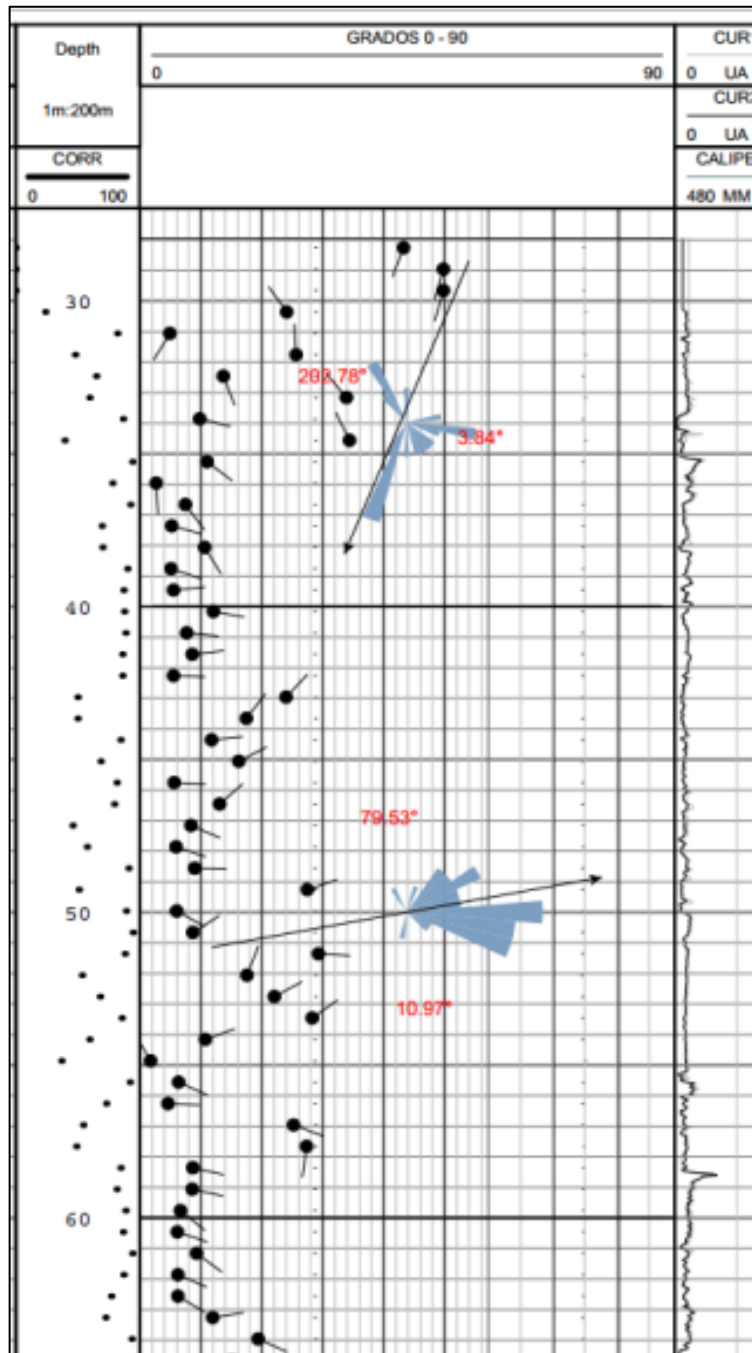
Folk, 1974. Petrology of sedimentary rocks. 2002 p.100.

BRIGGS, David. The Dimensions of Colour., 2012 p.8.

SIERRA, Jessyka. Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el depósito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira. 2010 p.16.

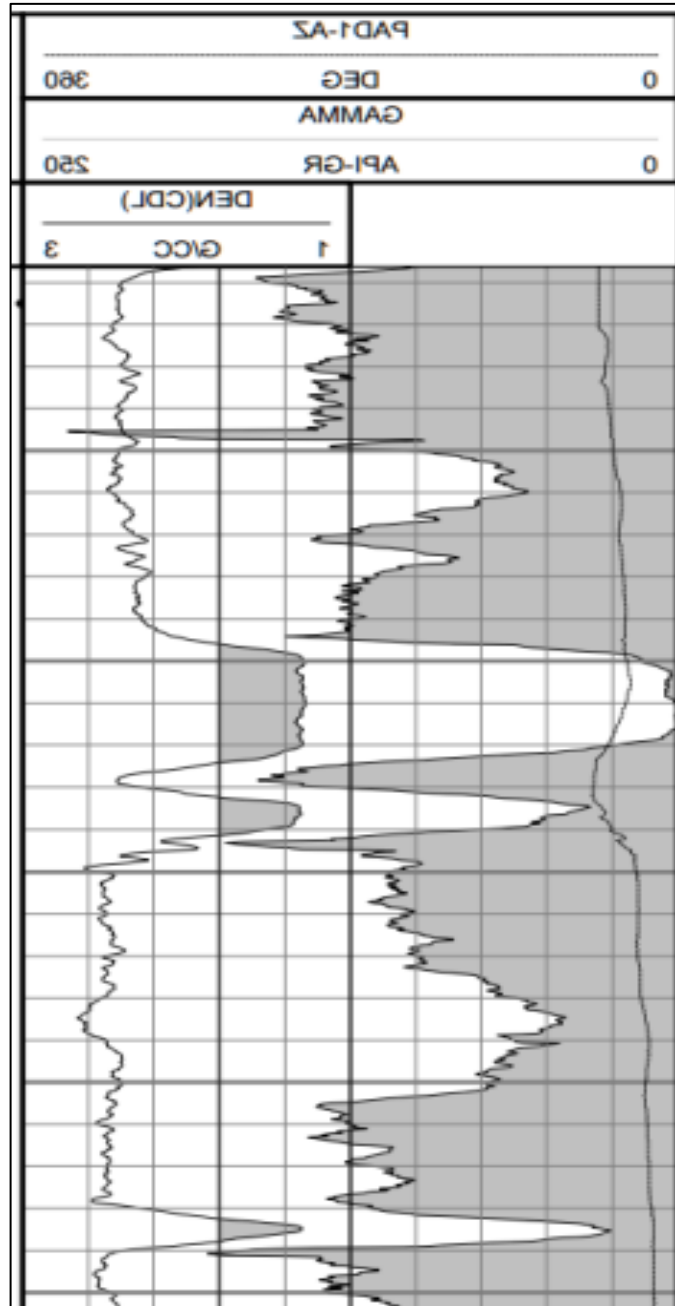
ANEXOS

Anexo A. Registro geofísico de Dipmeter.



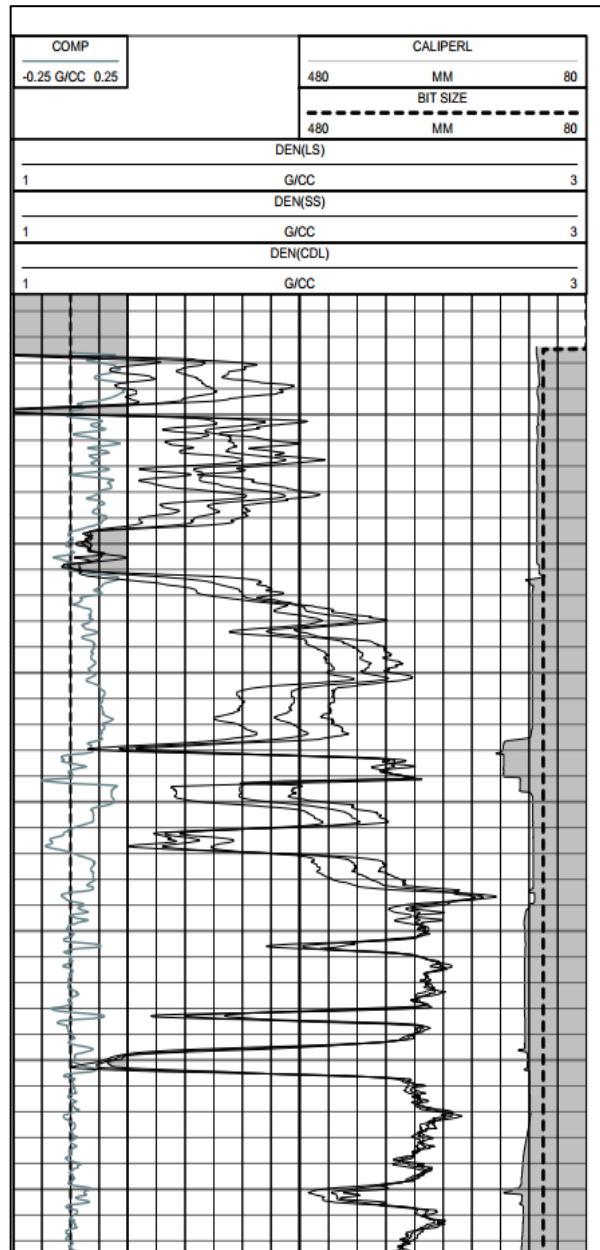
Fuente: Cerrejón.

Anexo B. Registro geofísicos de Densidad.



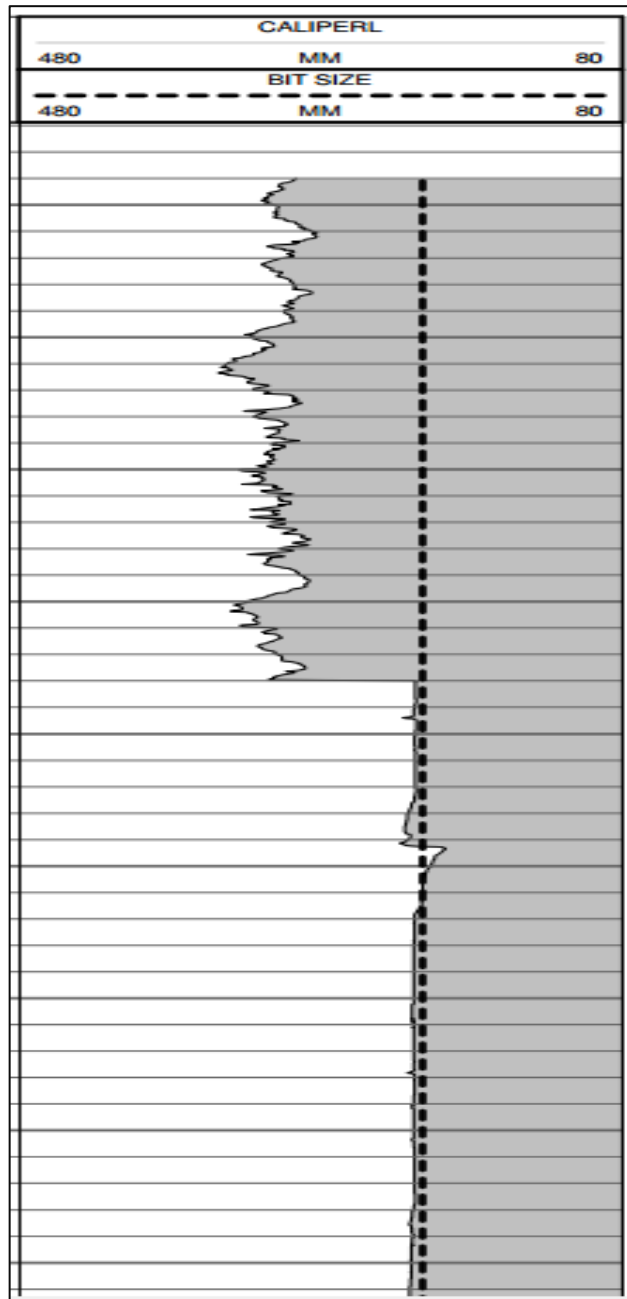
Fuente: Cerrejón.

Anexo C. Registro geofísico de Gamma Ray.



Fuente: Cerrejón.

Anexo D. Registro geofísico de Caliper.



Fuente: Cerrejón.