

**FICHA DE PRESENTACIÓN DE INFORME DE PRÁCTICA EMPRESARIAL
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO SEDE VALLEDUPAR**

PORTADA

**CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PRESENTE EN
EL BLOQUE 5 DEL SINCLINAL LA JAGUA, LA JAGUA DE IBIRICO - CESAR.**

Lowin David Díaz Borrego

FUNDACION UNIVERSITARIA DEL AREA ANDINA

INGENIERIAS Y CIENCIAS BASICAS

INGENIERÍA GEOLÓGICA

2017

CONTRAPORTADA

**CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PRESENTE EN
EL BLOQUE 5 DEL SINCLINAL LA JAGUA, LA JAGUA DE IBIRICO - CESAR.**

Autor: Lowin David Díaz Borrego

Director:

Hugo Nelson Ríos Arias (Geólogo de modelamiento mina la jagua)

Asesor:

**Juan Miguel Ortega Pérez (Ingeniero en minas Candidato a Magister en Ingeniería
Geotécnica y Geomecánica aplicada en Minería)**

**INFORME DE PRÁCTICA EMPRESARIAL PRESENTANDO COMO REQUISITO
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO GEOLOGO**

FUNDACION UNIVERSITARIA DEL AREA ANDINA

INGENIERIAS Y CIENCIAS BASICAS

INGENIERÍA GEOLÓGICA

2017

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a Dios por bendecirme y guiarme en cada logro cumplido.

A todo el personal de la mina La Jagua especialmente del área de Geología y Geotecnia, Dubier Cardona, Herman Uribe, Juan Serrano, Sandra Ruiz, Alejandro Valderrama y Hugo ríos el cual me dieron la oportunidad de crecer en el campo laboral y adquirir muchos conocimientos a partir de toda su experiencia, por toda su disposición y sus instrucciones, guiándome en la elaboración de este trabajo.

A la fundación universitaria del área andina, todos los profesores y el personal administrativo que de una u otra manera dieron su aporte para convertirme en un profesional comprometido con mi país. Al profesor Juan miguel ortega por brindarme su conocimiento y dedicación para llevar a cabo este proyecto.

A mi familia por apoyarme siempre y ser el soporte en cada paso que doy.

CONTENIDO

1.	PRESENTACION DE LA EMPRESA	7
1.1	ASPECTOS ESTRATEGICOS	7
	Misión.....	7
	Visión.....	7
1.2	Valores.....	7
1.3	ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	9
1.4	INFORME DE LA PRÁCTICA.....	10
2	PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN:	11
2.1	TITULO.....	11
2.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
2.3	JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA:	11
3	OBJETIVOS	12
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	12
3.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	12
4	MARCO DE REFERENCIA	13
4.1	MARCO DE ANTECEDENTES	13
4.2	MARCO TEORICO:	13
4.3	DESCRIPCION DE MACIZOS ROCOSOS	13
5	METODOLOGÍA.....	31
6	DESCRIPCION DE RESULTADOS:	32
7	CRONOGRAMA.....	44
8	LOGROS ALCANZADOS.....	45
9	CONCLUSIONES.....	46
10	RECOMENDACIONES	48
11	FUENTES DE INFORMACION.....	49

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Parámetros de las discontinuidades	20
Figura 2 Descripción de la rugosidad en las discontinuidades.	22

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Organigrama del área Geología y Geotecnia en la mina La Jagua.	9
Tabla 2. Clasificación RMR de la zona 1	32
Tabla 3. Clasificación RMR de la zona 2	33
Tabla 4. Clasificación RMR de la zona 3	34
Tabla 5. Clasificación RMR de la zona 4	35
Tabla 6. Clasificación RMR de la zona 5	36
Tabla 7. Clasificación RMR de la zona 6	37
Tabla 8. Clasificación RMR de la zona 7	38
Tabla 9. Clasificación RMR de la zona 8	39
Tabla 10. Clasificación RMR de la zona 9	40
Tabla 11. Clasificación RMR de la zona 10	41
Tabla 12. Clasificación RMR de la zona 11	42
Tabla 13. Clasificación RMR de la zona 12	43
Tabla 14 Cronograma de actividades	44
Tabla 15 Tabla de Logros	45

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación del tamaño de grano de las rocas	14
Cuadro 2. Descripción del grado de meteorización	15
Cuadro 3. Índice de estimación de dureza en campo.	17
Cuadro 4. Clasificación en base a la resistencia de la roca	18
Cuadro 5. Espaciamiento de las discontinuidades.....	21
Cuadro 6. Descripción de la Continuidad en las discontinuidades.....	21
Cuadro 7. Descripción de la abertura en las discontinuidades	23
Cuadro 8. Tipos de relleno en las discontinuidades.....	24
Cuadro 9. Descripción de filtraciones	24
Cuadro 10. Índice de calidad RMR	25
Cuadro 11. Parámetros de Resistencia a la compresión simple.....	26
Cuadro 12. Índice de calidad del R.Q.D.....	26
Cuadro 13. Descripción del espaciado en las discontinuidades.	27
Cuadro 14. Descripción del estado de las discontinuidades	27
Cuadro 15. Descripción de la presencia del agua en las discontinuidades	28
Cuadro 16. Descripción de orientación de discontinuidades	28
Cuadro 17. Índice de calidad SMR	29

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se analizarán las propiedades físicas, mecánicas y el comportamiento hidráulico del macizo rocoso presente en el sinclinal la Jagua, siendo este asimétrico con un buzamiento de 5° - 25° en su flanco oriental haciéndose mayor hacia el flanco occidental, alcanzando ángulos de hasta 53° . En esta estructura aflora el miembro medio de la Formación Los Cuervos que contiene los mantos de carbón que son extraídos por la mina La Jagua.

Las minas a cielo abierto son propensas a sufrir procesos geodinámicas como derrumbes, que pueden ser provocados ya sean por saturación, fallas geológicas o por la alteración de la matriz rocosa. Con el fin de contribuir a suplir estas necesidades se renovará la información geológica y mecánica de las rocas que componen el bloque 5 (sector actualmente en explotación) a través de la clasificación Geomecánica Rock Mass Rating propuesta por Bieniawski (1973), la cual aporta información de gran importancia para consolidar la estabilidad de la excavación minera, nos brinda las necesidades estimativas de sostenimiento para así evitar caída de rocas.

En la operación minera el proceso de voladura es muy importante y el cual se ve afectado por la naturaleza de las rocas, el espesor de los estratos y de sus propiedades como la resistencia, tenacidad, porosidad, entre otras, las cuales pueden presentar variaciones en todo el depósito. Sumado a la clasificación Geomecánica con este proyecto también se pretende correlacionar las velocidades de penetración de los estratos rocosos en la zona de estudio con la clasificación Geomecánica, para determinar nuevas resistencias que faciliten la eficacia al momento de fragmentar las rocas.

1. PRESENTACION DE LA EMPRESA

La Jagua, es una mina de carbón a cielo abierto ubicada en el municipio de La Jagua de Ibirico, que se compone de cinco títulos mineros, en poder de tres sociedades propiedad de Glencore: Carbones de La Jagua S.A. (CDJ) adquirida en 2005, Consorcio Minero Unido S.A. (CMU) adquirida en 2006 y Carbones El Tesoro S.A. (CET) adquirida en 2007, después de comprar la totalidad de estas operaciones, Glencore procedió a integrarlas en una sola, con la aprobación de las autoridades competentes. En la mina La Jagua se extrae un carbón térmico bajo en azufre y de alto contenido energético que es triturado y transportado por tractomulas hasta las instalaciones de manejo de carbón en la mina Calenturitas, donde es cargado en vagones de tren y transportado al puerto en Ciénaga, Magdalena, para posteriormente ser exportado a los mercados en Europa, América y Asia. Esta empresa en conjunto con la mina calenturitas, la operación ferroviaria y la operación portuaria puerto nuevo, conforman el grupo Prodeco, siendo este el tercer productor de carbón térmico de exportación en Colombia.

1.1 ASPECTOS ESTRATEGICOS

Misión. Contribuir con la viabilidad de la operación, previniendo, mitigando y compensando los impactos y riesgos sociales y ambientales de manera articulada con las diferentes áreas de la Compañía, para promover el desarrollo sostenible de las comunidades ubicadas en el área de influencia de nuestras operaciones, con el fin de mantener y fortalecer la licencia social para operar y crecer.

Visión. Ser reconocidos como aliados del desarrollo sostenible de las comunidades ubicadas en el área de influencia de nuestras operaciones y agentes del fortalecimiento institucional y social, por haber contribuido a mejorar los indicadores de desarrollo y promovido esfuerzo para el progreso de comunidades más vulnerable

1.2 Valores.

Seguridad. Nuestra máxima prioridad en el lugar de trabajo es proteger la salud y el bienestar de nuestra gente. Adoptamos un enfoque proactivo en las áreas de salud y seguridad. Por ello, nuestro objetivo es introducir mejoras continuas para evitar lesiones y enfermedades laborales

Espíritu empresarial. Nuestro enfoque fomenta en nuestra gente el más alto nivel de profesionalismo, responsabilidad personal y espíritu empresarial, pero sin poner en riesgo su seguridad y bienestar. Este aspecto es importante para nuestro éxito y para lograr los rendimientos superiores que pretendemos alcanzar para todos nuestros grupos de interés.

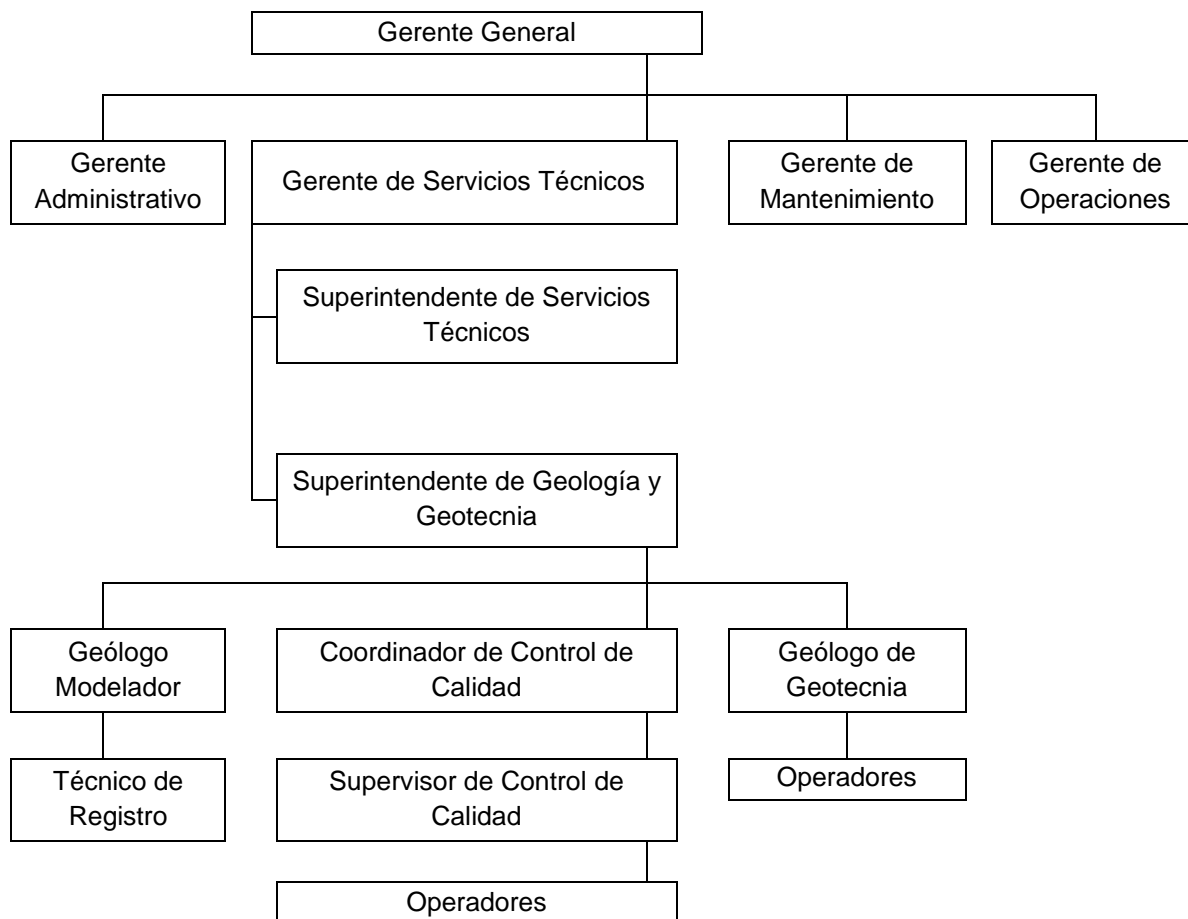
Simplicidad. Aspiramos a alcanzar nuestros objetivos principales de manera eficaz, con miras a conseguir rendimientos líderes en la industria, pero sin dejar de centrarnos en la excelencia, la calidad, la sostenibilidad y la mejora continua en todo lo que hacemos.

Responsabilidad. Reconocemos que nuestras actividades pueden repercutir en la sociedad y el medioambiente. Nos preocupamos enormemente por nuestro desempeño en lo que respecta a la protección del medioambiente, los derechos humanos, la salud y la seguridad.

Transparencia. Valoremos las relaciones y comunicación abiertas con nuestra gente, los clientes, los proveedores, los gobiernos y la sociedad en general, siempre basadas en la integridad, la cooperación, la transparencia y el beneficio mutuo.

1.3 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Tabla 1. Organigrama del área Geología y Geotecnia en la mina La Jagua.



Fuente: autor del proyecto

1.4 INFORME DE LA PRÁCTICA

El área de geología y geotecnia en la mina la jagua se encarga de la dirección y supervisión del control de calidad del carbón y de los taludes de la excavación minera. Durante los meses de práctica empresarial pude aprender de funciones que se realizan en la mina la jagua para la extracción del carbón como lo son:

- Supervisión en el descapote de los mantos del carbón
- Supervisión en la limpieza de los mantos del carbón
- Supervisión en la estandarización del área de apilamiento del carbón
- Supervisión en el cargue y acarreo del carbón
- Toma de registros geofísicos
- Toma de datos estructurales
- Medición del nivel del agua por medio de piezómetros

La mina la jagua también me brindo todas sus herramientas y el apoyo necesario para realizar actividades directas del proyecto como lo son:

- Descripción Geológica y geotécnica del macizo rocoso
- Toma de datos estructurales
- Calcular la resistencia a la compresión simple por medio de la máquina de carga puntual, a partir de muestras tomadas en campo
- Elaborar columnas estratigráficas de los interburden mediante el software autocad a partir de los datos obtenidos en campo
- Elaborar perfiles geológicos de los interburden mediante el software autocad a partir de los datos obtenidos en campo

2 PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN:

2.1 TITULO

CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO PRESENTE EN EL BLOQUE 5 DEL SINCLINAL LA JAGUA, LA JAGUA DE IBIRICO - CESAR.

2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La mina la jagua ejecuta su operación en una estructura geológica denominada como sinclinal la jagua. Esta presenta una secuencia de rocas sedimentarias que debido a su formación y eventos geológicos a la cual han estado sometidas presentan variaciones a lo largo del rumbo y buzamiento de la estructura como su composición litológica, resistencia, estratificación, estructuras sedimentarias y procesos posteriores de la depositación como fracturas, fallas, pliegues, entre otras. Todas estas variaciones generan inestabilidad en la excavación y afectan directamente los procesos de voladura, procedimiento en el cual se realiza la fragmentación de las rocas sin valor económico por medio de explosivos, generando inconvenientes reflejados en el material volado, afectando principalmente a la maquinaria y disminuyendo así la producción minera convirtiéndose en sobrecostos para la empresa.

2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA:

En el depósito de La Jagua para poder extraer los mantos de carbón se necesita remover una mayor proporción de capas de rocas sedimentarias que generan un gran costo para la empresa. Esto se lleva a cabo mediante la voladura, Para ejecutar este proceso se debe tener en cuenta las características geológicas y mecánicas que presentan los materiales rocosos, con esto podemos ajustar los diseños y controlar los efectos negativos que estos generan disminuyendo la calidad de la fragmentación. A medida se realizan las voladuras con el avance de la minería se afecta indirectamente a los materiales rocosos adyacentes, y además de esto se van presentando variaciones en las propiedades mecánicas, por lo que es de suma importancia la realización de una clasificación Geomecánica que ofrezca la información para mantener estable la excavación y evitar que se generen fallas o deslizamientos.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer parámetros de resistencia de los interburden en bloque 5 para los procesos de voladura en la mina la jagua.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar en campo la descripción de las rocas, resistencia y el comportamiento de discontinuidades en los diferentes interburden.
- Elaborar columnas estratigráficas para cada agrupación de interburden.
- Evaluar la resistencia a la compresión simple de los diferentes interburden, a partir de la realización de ensayos de carga puntual sobre muestras que se obtienen de cada estrato.
- Obtener información geológica y geotécnica de los pozos de exploración realizados en el bloque 5
- Interpretar registros geofísicos (sónico) para correlacionar con ensayos de campo.
- Clasificar geomecánicamente mediante el sistema RMR o rock mass rating (Bienawski 1973) y SMR del macizo rocoso presente en el área de estudio.
- Establecer correlación entre clasificación geomecánica y los tiempos de penetrabilidad en los diferentes interburden.

4 MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO DE ANTECEDENTES

Mina La Jagua:

“Recolección de información geotécnica para minas cdj, cet, cmu y calenturitas”,
Dubier Cardona López

Proyecto de grado:

“Caracterización geotecnia del macizo rocoso contenido en el sector explotado del sinclinal la jagua, municipio la jagua de ibirico-cesar”, Mauricio José Vásquez Pineda.

“Modelamiento de la falla la victoria en el sector cerro de piedra, proyecto la jagua, municipio de la jagua de ibirico-cesar”, Sandra Marcela Ruiz Castillo.

4.2 MARCO TEORICO:

DESCRIPCION DE MACIZOS ROCOSOS

Descripción Litológica:

Gonzales de Vallejo, 2004, sostiene que la identificación de una roca se establece a partir de su composición y de su textura o relaciones geométricas de sus minerales. A estos criterios descriptivos se unen las características genéticas, cuando estas pueden ser deducidas de la paragénesis mineral, composición química forma y estructural del yacimiento, y de las relaciones temporales y espaciales con otras rocas.⁵

Las observaciones más prácticas son:

- Composición mineralógica
- Forma y tamaño de los granos
- Color
- Dureza

Para la correcta observación de estas propiedades es necesario limpiar la roca, eliminando la capa superficial de alteración. Según el tipo de roca, otros aspectos que pueden ser determinados son la presencia o ausencia de exfoliación y la existencia de maclado o tipo de macla.⁵

Composición mineralógica. La Composición mineralógica permite clasificar litológicamente la roca. Los minerales más comunes que forman permite clasificar se pueden identificar a nivel de muestra con una lupa, si las dimensiones del mineral lo permiten. La identificación detallada de los minerales requiere un estudio petrográfico mediante láminas delgadas, que se realiza siempre que existan dudas en la identificación de los mismos. La identificación de la roca se completa definiendo el tamaño de grano y el color. En el cuadro 1 de clasificación de rocas para usos geotécnicos aparece el tamaño de grano como criterio de clasificación, adoptando las rocas sedimentarias una terminología específica en función de este parámetro.⁵

Tamaño de grano. El tamaño de grano hace referencia a las dimensiones medias de los minerales o fragmentos de roca que componen la matriz rocosa. La estimación del tamaño de grano se realiza normalmente de forma visual, con una regla o con la ayuda de comparadores de tamaño, en rocas de grano fino es útil la ayuda de una lupa de mano. El tamaño de las partículas que componen las rocas puede ser homogéneo (rocas equigranulares) o presentar variaciones importantes (heterogranulares).⁵

Los términos utilizados y los intervalos de tamaño reconocidos internacionalmente son los indicados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación del tamaño de grano de las rocas

Descripción	Tamaño de grano	Equivalencia con los tipos de suelos
Grano grueso	> 2 mm	Gravas
Grano medio	0,06 - 2 mm	Arenas
Grano fino	< 0,06 mm	Limos y arcillas

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004.⁵

Color. El color de una roca depende de los minerales que lo componen. Algunos minerales tienen un color distintivo, pero frecuentemente contienen sustancias o impurezas que lo modifican. El color se puede describir de forma semejante al de los suelos, dando un color principal seguido de uno secundario e indicando, por último, la intensidad que presenta (por ejemplo, granito gris verdoso claro). Existen cartas de colores que se emplean para la comparación, evitando así cualquier grado de subjetividad en la descripción. La observación debe realizarse sobre la roca fresca una vez retirada la capa superficial de alteración.⁵

Cuando la roca no ha sufrido procesos de alteración y presenta un color original y característico, se define como roca sana. Las variaciones de coloración de la roca en el afloramiento indican que el material rocoso ha sufrido procesos de meteorización. La variación en la coloración puede afectar a todos los minerales constituyentes o solo a algunos, aspecto que debe indicarse en la descripción.⁵

Meteorización. El grado de Meteorización de la roca es una observación importante en cuanto que condiciona de forma definitiva sus propiedades mecánicas. Según avanza el proceso de meteorización aumenta la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso. Al tiempo que disminuye su resistencia.⁵ La identificación del estrato o grado de meteorización de la matriz rocosa se puede realizar de forma sistemática a partir de las descripciones del Cuadro 2.

Cuadro 2. Descripción del grado de meteorización

Grado	Código	Tipo	Descripción
I	F	Fresco	No aparecen signos de meteorización
II	SW	Ligeramente meteorizado	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización
III	MW	Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del macizo rocoso y las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización.

IV	HW	Altamente meteorizado	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso.
V	CW	Completamente meteorizado	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso
VI	RS	Suelo residual	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo y la fábrica del material.

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004.⁵

Las condiciones climáticas son el principal agente en la meteorización, y el aspecto que ofrecen las rocas meteorizadas varía para las distintas regiones climáticas. Los distintos tipos de roca son afectados desigualmente por los procesos de meteorización, siendo estos más intensos cuanto mayor es el tiempo de exposición a los agentes atmosféricos.⁵

Resistencia. La resistencia de la matriz rocosa puede ser estimada en el afloramiento mediante índices de campo o a partir de correlaciones con datos proporcionados por sencillos ensayos de campo como el ensayo de carga puntual. Los índices de campo permiten una estimación del rango de resistencia de la roca. Los criterios para su identificación aparecen descritos en el cuadro 3, y deben ser aplicados sobre la roca una vez limpiada la capa de alteración superficial. Mediante los ensayos de capo se mide el esfuerzo que soporta una roca para determinadas deformaciones.⁵

Cuadro 3. Índice de estimación de dureza en campo.

Grado	Resistencia	Rango de resistencia UCS (MPa)	Descripción litológica
R0	Extremadamente débil	< 1	Fácilmente mellada y pulverizada con la uña; cortada y tallada con cuchillo; se fractura con presión manual ligera. Se desintegra con un solo golpe del martillo.
R1	Muy débil	01-05	Se mella y pulveriza fácilmente con un cuchillo o con presión ligera del pico del martillo. Se puede rallar con la uña. Se fractura con presión manual ligera a moderada.
R2	Débil	05-25	Se puede mellar hasta 2 mm de profundidad con el cuchillo con presión moderada a alta del pico del martillo. Se fractura con un golpe ligero del martillo o con presión manual alta.
R3	Moderadamente Dura	25 - 50	Se puede rallar con cuchillo o presión ligera a moderada de la punta del pico del martillo. Se fractura con un golpe moderado del martillo.
R4	Dura	50 - 100	Puede ser rallado con el cuchillo y con dificultad con el pico del martillo, usando fuerte presión. Se fractura con un golpe fuerte del martillo.
R5	Muy Dura	100 - 250	No se puede rallar con el cuchillo ni con el pico del martillo. Se fractura con repetidos golpes fuertes del martillo.
R6	Extremadamente Dura	>250	No se puede rallar con el cuchillo ni con el pico del martillo, se astilla con fuertes golpes del martillo de geólogo.

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004.⁵

A partir del ensayo de carga puntual o rotura entre puntas, PLT, podemos obtener un índice I_s , que puede ser correlacionado con la resistencia a la compresión simple y que se recomienda realizar varios análisis para calcular el valor cualquier tipo de roca. Para clasificar se deben tener en cuenta los criterios descritos en el siguiente cuadro.

Cuadro 4. Clasificación en base a la resistencia de la roca

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

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004.¹

La máquina de carga puntual o presa de Franklin es utilizada en muestras irregulares de diferentes formas y tamaños para obtener el índice de resistencia I_s , el cual es calculado con la siguiente ecuación:

$$I_s \text{ (MPa)} = (P \cdot 1000) / D_E^2$$

Donde:

P: es la resistencia pico expresada en kN.

$$D_E^2 = 4 \cdot A / \pi$$

A = W * D representa la mínima área de sección transversal de un plano a través del punto de contacto entre los platos

El valor de la resistencia a la compresión simple a partir del índice de carga puntual se calcula a través de la fórmula:

$$UCS = 23 \cdot I_s (50)$$

¹ GONZALEZ DE VALLEJO, L. I. Ingeniería Geológica, 2004.

Cuando trabajamos con muestras irregulares, para definir tipos de rocas es recomendable usar factores de corrección:

- La corrección por diámetro se realizó para las muestras que presentan un diámetro diferente a 50 mm a través de la fórmula:

$$I_{E(50)} = F * I_s \quad F = (D_E / 50)^{0.45}$$

- La corrección por forma se lleva a cabo realizando varios análisis de muestras del mismo tipo de roca con diferentes D_E .
- Se calculó el promedio del índice de carga puntual para cada estrato presente en el área de estudio, realizando 10 análisis medidos 5 en dirección paralela a los planos de debilidad y 5 perpendicular a los planos de debilidad.

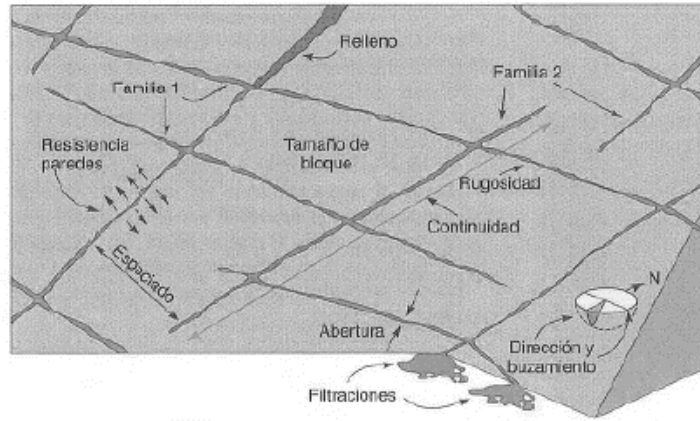
4.2.1.1 La resistencia a la compresión simple también puede ser calculada a través de la correlación con los registros geofísicos sísmicos, “David C. Oyler en el artículo ‘Correlation of Sonic travel time to the uniaxial compressive strength of U.S Coal measure rocks’ propone que la velocidad de onda p cada 20 segundos obtenido en el registro sísmico es correlacionable con la resistencia a la compresión simple de las rocas por medio de la siguiente ecuación: $UCS = 5785 * e^{-17374/VL2F}$ ”²

Descripción de discontinuidades:

Las discontinuidades son estructuras secundarias que condicionan las propiedades y los comportamientos de resistencia de los macizos rocosos. La resistencia al corte de las discontinuidades es el aspecto más importante en la determinación de la resistencia de los macizos rocosos fracturados, y para su estimación es necesario definir las características y propiedades de los planos de discontinuidad. Los parámetros como la rugosidad, resistencia a las paredes, apertura, relleno y filtraciones determinan el comportamiento mecánico y la resistencia al corte de las discontinuidades.⁷

² Citado por Vásquez, Mauricio. *Caracterización geotécnica del macizo rocoso contenido en el sector explotado del sinclinal la jagua, municipio de la jagua de ibirico, 2010.*

Figura 1 Parámetros de las discontinuidades



Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004.

Orientación. Las discontinuidades se presentan en familias con orientación y características más o menos homogéneas. La orientación relativa y el espaciado de las diferentes familias de un macizo rocoso definen la forma de los bloques que conforman el macizo. La orientación de una discontinuidad en el espacio queda definida por su dirección de buzamiento (dirección de la línea máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte) y por su buzamiento (inclinación respecto a la horizontal de dicha línea). Su medida se realiza mediante la brújula con clinómetro o con el diaclasiámetro.⁷

Espaciado. El espaciado entre los planos de discontinuidad condiciona el tamaño de los bloques de matriz rocosa. El espaciado se define como la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia, medida en la dirección perpendicular a dichos planos. Normalmente este valor se refiere al espaciado medio o modal de los valores medidos para las discontinuidades de una misma familia.⁷

Cuadro 5. Espaciamiento de las discontinuidades

Código	Descripción	Espaciamiento	Condición del macizo	Valoración
5	Muy separadas	> 2 m	Solido	20
4	Separadas	0,6 - 2 m	Masivo	15
3	Med. Separadas	0,2 - 0,6 m	Con bloques/ estratos	10
2	Próximas	0,06 - 0,2 m	Fracturado	8
1	Muy próximas	0,02 - 0,06 m	Muy fracturado	5

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004.

Continuidad o persistencia. La continuidad o persistencia de un plano de discontinuidad, es su extensión superficial, reducida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento. Es un parámetro de gran importancia pero de difícil cuantificación a partir de la observación de afloramientos, en los que normalmente se ven las trazas de los planos de discontinuidad según su buzamiento aparente. La medida de la continuidad se realiza con una cinta métrica. Si el afloramiento permite la observación tridimensional de los planos de discontinuidad, deberían medirse las longitudinales a lo largo de la dirección y del buzamiento.⁷

Por lo general, las discontinuidades como las fallas o los diques, suelen ser muy continuos, y representan los mayores planos de debilidad en el macizo rocoso, por lo que deben ser caracterizadas y descritas con especial atención.

Cuadro 6. Descripción de la Continuidad en las discontinuidades.

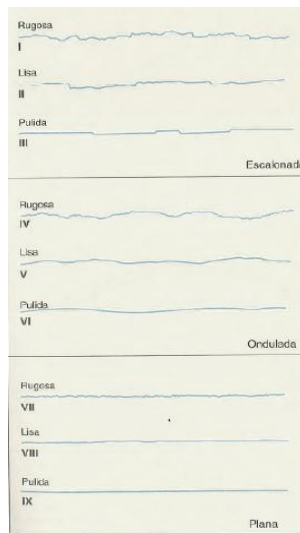
Código	Descripción	Continuidad
I	Muy baja continuidad	< 1m
II	Baja continuidad	1 - 3m
III	Continuidad media	3 - 10m
IV	Alta continuidad	10 - 20m
V	Muy alta continuidad	> 20m

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004.

Rugosidad. La descripción y medida de la rugosidad tiene como principal finalidad la resistencia al corte de los planos, que para las discontinuidades sin cohesión puede ser estimada a partir de datos de campo y expresiones empíricas, como se describe en la figura al final del apartado.⁷

El término de rugosidad se emplea en sentido amplio para hacer referencia tanto a la ondulación de las superficies de discontinuidad, como a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala de los planos de 1 y 2 grados. Orden respectivamente. La descripción de la rugosidad requiere, pues dos escalas de observación: una escala decimétrica y métrica para la ondulación de las superficies: superficies planas, aduladas o escalonadas y otra escala milimétrica y centimétrica para la rugosidad o irregularidad: superficies pulidas, lisas o rugosas.⁷

Figura 2 Descripción de la rugosidad en las discontinuidades.



Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004.

Abertura. Es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. Este parámetro puede ser muy variable en diferentes zonas de un mismo macizo rocoso: mientras que en superficie la abertura puede ser alta, esta se reduce con la profundidad, pudiendo llegar a cerrarse. Su medida se realiza directamente con una regla graduada en milímetros. Cuando la separación es muy pequeña se puede emplear un calibre que se introduce en la abertura. Debe indicarse si la abertura de una discontinuidad presenta variaciones, realizándose medidas a lo largo al menos de 3m. Las medidas han de realizarse para cada familia de discontinuidades, adoptando los valores medios más representativos de cada una de ellas.⁷

Cuadro 7. Descripción de la abertura en las discontinuidades

Código	Descripción	Abertura
VC	Muy cerradas	< 0,1mm
C	Cerradas	0,1 - 0,25mm
PO	Parcialmente abiertas	0,25 - 0,5mm
O	Abiertas	0,5 - 2,5mm
MW	Moderadamente ancha	2,5 - 10mm
W	Ancha	> 10mm
VW	Muy ancha	1 - 10cm
XW	Extremadamente ancha	10 - 100cm

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004.

Relleno. Es el material presente entre las paredes de las discontinuidades y de propiedades distintas a la de la roca, aunque algunas veces se presenta duro generalmente es más blando que el macizo rocoso generándole una disminución de su resistencia. Existe una gran cantidad de materiales de relleno con propiedades físicas y químicas diferentes, en el cuadro 7 de describen los tipos de relleno.³

³ GONZALEZ DE VALLEJO, L. I. Ingeniería Geológica, 2004.

Cuadro 8. Tipos de relleno en las discontinuidades

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

Fuente: Recolección de información Geotécnica para minas CDJ, CET, CMU Y Calenturitas, Dubier Cardona López 2008.⁸

4.2.1.1.1 Filtración. El agua en el interior de un macizo rocoso procede generalmente del flujo que circula por las discontinuidades.⁴

Cuadro 9. Descripción de filtraciones

Código	Descripción
1	Discontinuidad seca
2	Discontinuidad húmeda
3	Discontinuidad con goteo
4	Discontinuidad con flujo constante

Fuente: Recolección de información Geotécnica para minas CDJ, CET, CMU Y Calenturitas, Dubier Cardona López 2008.⁸

⁴ CARDONA L, DUBIER. Recolección de información Geotécnica para minas CDJ, CET, CMU Y Calenturitas, 2008.

CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO

El macizo rocoso presente en el Bloque 5 del sinclinal la jagua será clasificado geomecánicamente mediante el sistema establecido por bieniawski en 1989, que consta de un índice de calidad que sirve como guía para la elaboración de túneles, taludes y cimentaciones.

Esta clasificación se define como el índice de Rock Mass Rating (RMR) el cual fue propuesto por Z. T. Bieniawski en el año 1973 y posteriormente modificado en los años 1976, 1979. Para determinar el índice de calidad de RMR hay que tener en cuenta los siguientes parámetros:

- La resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa
- El RQD (Rock Quality Designation)
- Espaciado de las discontinuidades
- El estado de las discontinuidades
 - Abertura
 - Continuidad
 - Rugosidad
 - Alteración de la continuidad
 - Relleno de las discontinuidades
- La presencia del agua
- La orientación de las discontinuidades

El comportamiento de estos parámetros los macizos se calcula mediante el índice calidad de RMR el cual divide en 5 clases con una valoración entre 0 y 100. Esta se obtiene sumando los valores obtenidos de los 5 parámetros básicos.

Cuadro 10. Índice de calidad RMR

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Angulo de rozamiento
I	Muy buena	100-81	> 4 Kg/cm ²	> 45°
II	Buena	80-61	3 - 4 Kg/cm ²	35° - 45°
III	Media	60-41	2 - 3 Kg/cm ²	25° - 35°
IV	Mala	40-21	1 - 2 Kg/cm ²	15° - 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 Kg/cm ²	< 15°

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004.

A continuación se describen los parámetros para calcular el RMR con sus respectivas valoraciones:

- Parámetro de resistencia a la compresión simple

Cuadro 11. Parámetros de Resistencia a la compresión simple

Descripción	Resistencia a la compresión simple (MPa)	Ensayo de carga puntual (MPa)	Valoración
Extremadamente dura	> 250	> 10	15
Muy dura	100 - 250	04 - 10	12
Dura	50 - 100	2 - 4	7
Moderadamente dura	25 - 50	1 - 2	4
Blanda	5 - 25	< 1	2
Muy blanda	1 - 5		1
	< 1		0

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004.

- Parámetro de R.Q.D

Cuadro 12. Índice de calidad del R.Q.D.

Índice de calidad R.Q.D (%)	Calidad	Valoración
90 - 100	Excelente	20
75 - 90	Buena	17
50 - 75	Regular	13
25 - 50	Mala	8
0 - 25	Muy mala	3

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004.

- **Parámetro del espaciado**

Cuadro 13. Descripción del espaciado en las discontinuidades.

Código	Descripción	Espaciamiento	Condición del macizo	Valoración
5	Muy separadas	> 2 m	Solido	20
4	Separadas	0,6 - 2 m	Masivo	15
3	Med. Separadas	0,2 - 0,6 m	Con bloques /estratos	10
2	Próximas	0,06 - 0,2 m	Fracturado	8
1	Muy próximas	> 0,06 m	Muy fracturado	5

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004.

- **Parámetro del estado de las discontinuidades**

Cuadro 14. Descripción del estado de las discontinuidades

Descripción	Valoración
Superficies muy rugosas, de poca extensión, paredes de roca resistente	30
Superficies poco rugosas, apertura menor a 1 mm, paredes de roca resistente	25
Superficies poco rugosas, apertura menor a 1 mm, paredes de roca blanda	20
Superficies suaves o relleno de falla de 1 a 5 mm de espesor o apertura de 1 a 5 mm, las discontinuidades se extienden por varios metros	10
Discontinuidades abiertas, con relleno de falla de más de 5 mm de espesor o apertura de más de 5 mm, las discontinuidades se extienden por varios metros	0

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004.

- **Parámetro de la presencia del Agua**

Cuadro 15. Descripción de la presencia del agua en las discontinuidades

Filtración por cada 10m de longitud de túnel	Descripción	Valoración
Nulo	Seco	15
< 10 (L/min)	Apenas húmedo	10
10 - 25 (L/min)	Húmedo	7
25 - 125 (L/min)	Goteo	4
> 125 (L/min)	Flujo continuo	0

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004.

- **Parámetro de orientación de las discontinuidades**

Cuadro 16. Descripción de orientación de discontinuidades

Descripción	Valoración
Muy favorable	0
Favorable	-5
Medio	-25
Desfavorable	-50
Muy desfavorable	-60

Fuente: Ingeniería geológica, Luis I González de Vallejo 2004.

El Índice SMR (Slope Mass Rating) propuesto por romana (1985) para la clasificación de taludes se obtiene a partir del RMR básico sumando cuatro factores de corrección en función de la orientación de las juntas y un factor de excavación:

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

En el cuadro 17 se presenta la descripción del índice de calidad del SMR.

Cuadro 17. Índice de calidad SMR

Clase n°	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente inestable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Fuente: Servicios técnicos de mecánica de rocas

F1 depende del paralelismo entre el rumbo de las juntas y de la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja). Estos valores, establecidos empíricamente, se ajustan aproximadamente a la expresión:

$$F1 = (1 - \text{sen } a_j - a_s)^2$$

Donde:

a_j : buzamiento de la junta

a_s : buzamiento del talud

F2 depende del buzamiento de la junta en la rotura plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia a esfuerzo cortante de la junta. Varía entre 1,00 (para juntas con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para juntas con buzamiento inferior a 20°). Fue establecido empíricamente pero puede ajustarse aproximadamente según la relación:

$$F2 = (\text{tg}^2 b_j)^2$$

Donde:

b_j : buzamiento de la junta.

F2 vale 1,00 para las roturas por vuelco.

F3 refleja la relación entre los buzamientos de la junta y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por BIENIAWSKI en 1976 que son siempre negativos.

5 METODOLOGÍA

Para la elaboración de este proyecto se inició con una recopilación de información en campo, haciendo una detallada descripción geológica y geotécnica del macizo rocoso en el bloque 5 del sinclinal la jagua. El bloque fue dividido en 12 zonas describiendo aspectos como la matriz rocosa, su tamaño de grano, dureza, color, meteorización, resistencia, espesor, entre otras. Otro aspecto importante es la descripción de las discontinuidades donde se identifican la orientación, espaciado, continuidad, rugosidad, resistencia de las paredes, abertura, relleno y filtraciones.

La segunda etapa consistió en determinar la resistencia a la compresión simple a través de ensayos sobre muestras obtenidas en campo con la máquina de carga puntual.

Luego a partir de la información existente de estudios geológicos y exploratorios realizados en el sinclinal la jagua, se obtuvo información necesaria para ejecutar el proyecto como el R.Q.D y la resistencia a partir de registros sínicos calculados de los pozos de exploración realizados por la mina La Jagua en el bloque 5 y zonas aledañas.

La información de velocidades de penetración facilitada por el área de voladura de la mina La Jagua también fue de gran importancia, estas fueron comparadas con las resistencias obtenidas en campo, para poder establecer los parámetros de resistencia en cada uno de los interburden.

6 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS:

Una vez ajustada la información de los pozos de exploración con la obtenida en campo a continuación se realizara la clasificación geomecánica de Rock Mass Rating básico y a partir de este la clasificación Slope mass rating teniendo en cuenta como talud, la pared alta de la excavación en el bloque 5 que presenta un buzamiento de 63° y una dirección de buzamiento de 41°.

Zona 1 - Interburden M00-M03U: En la siguiente tabla se describen los parámetros con sus respectivos valores para realizar la clasificación geomecánica RMR.

Tabla 2. Clasificación RMR de la zona 1

Parámetro		Descripción	Valoración
UCS (MPa)		25 - 50	4
R.Q.D (%)		50 - 75	13
Espaciamiento		0.2 – 0.6m	10
Estado de las discontinuidades	Abertura	0,1 - 1mm	4
	Continuidad	1 - 3m	4
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
	Relleno	Sin relleno	6
	Alteración	Ligeramente alterada	5
Infiltración		Seca	15
RMR básico			64

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo con la clasificación del RMR la zona 1 se considera de clase 2 o calidad buena con una cohesión de 300 a 400 KPa y un ángulo de fricción de 35° - 45°.

$$SMR = 64 + (1 \times 1 \times (-25)) + 0 = 39$$

De acuerdo con la clasificación del SMR la zona 1 se define como Mala de clase # IV, macizo inestable con juntas o grandes cuñas.

Zona 2 - Interburden M03U-M05:

En la siguiente tabla se describen los parámetros con sus respectivos valores para realizar la clasificación geomecánica RMR.

Tabla 3. Clasificación RMR de la zona 2

Parámetro		Descripción	Valoración
UCS (MPa)		50 – 100	7
R.Q.D (%)		75 – 90	17
Espaciamiento		0.2 – 0.6m	10
Estado de las discontinuidades	Abertura	0,1 - 1mm	4
	Continuidad	3 – 10m	2
	Rugosidad	Rugosa	5
	Relleno	Sin relleno	6
	Alteración	Ligeramente alterada	5
Infiltración		Seca	15
RMR básico			71

Fuente: Autor del proyecto.

De acuerdo con la clasificación del RMR la zona 2 se considera de clase 2 o calidad buena con una cohesión de 300 a 400 KPa y un ángulo de fricción de 35° - 45°.

$$SMR = 71 + (0.7 \times 1 \times (-25)) + 0 = 53.5$$

De acuerdo con la clasificación del SMR la zona 2 se define como Normal o Regular de clase # 3, macizo parcialmente estable con algunas juntas o muchas cuñas.

Zona 3 - Interburden M05-M15:

En la siguiente tabla se describen los parámetros con sus respectivos valores para realizar la clasificación geomecánica RMR.

Tabla 4. Clasificación RMR dela zona 3

Parámetro		Descripción	Valoración
UCS (MPa)		50 – 100	7
R.Q.D (%)		75 – 90	17
Espaciamiento		0.06 – 0.2m	8
Estado de las discontinuidades	Abertura	0,1 - 1mm	4
	Continuidad	3 – 10m	2
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
	Relleno	Sin relleno	6
	Alteración	Ligeramente alterada	5
Infiltración		Seca	15
RMR básico			67

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo con la clasificación del RMR la zona 3 se considera de clase 2, calidad buena con una cohesión de 300 a 400 KPa y un ángulo de fricción de 35° - 45°.

$$\text{SMR} = 67 + (0.15 \times 1 \times (-25)) + 0 = 63.25$$

De acuerdo con la clasificación del SMR la zona 3 se define como Buena de clase # II, macizo estable con algunos bloques.

Zona 4 - Interburden M15-M25:

En la siguiente tabla se describen los parámetros con sus respectivos valores para realizar la clasificación geomecánica RMR.

Tabla 5. Clasificación RMR dela zona 4

Parámetro		Descripción	Valoración
UCS (MPa)		25 – 50	4
R.Q.D (%)		75 – 90	17
Espaciamiento		0.06 – 0.2m	8
Estado de las discontinuidades	Abertura	0,1 - 1mm	4
	Continuidad	1 – 3m	4
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
	Relleno	Sin relleno	6
	Alteración	Ligeramente alterada	5
Infiltración		Seca	15
RMR básico			66

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo con la clasificación del RMR la zona 4 se considera de clase 2 o calidad buena con una cohesión de 300 a 400 KPa y un ángulo de fricción de 35° - 45°.

$$\text{SMR} = 62 + (0.7 \times 1 \times (-25)) + 0 = 44.5$$

De acuerdo con la clasificación del SMR la zona 4 se define como Regular de clase # III, macizo parcialmente estable con algunas juntas o muchas cuñas.

Zona 5 - Interburden M25-M35:

En la siguiente tabla se describen los parámetros con sus respectivos valores para realizar la clasificación geomecánica RMR.

Tabla 6. Clasificación RMR de la zona 5

Parámetro		Descripción	Valoración
UCS (MPa)		25 – 50	4
R.Q.D (%)		50 - 75	13
Espaciamiento		0.06 – 0.02m	8
Estado de las discontinuidades	Abertura	0,1 - 1mm	4
	Continuidad	1 - 3m	4
	Rugosidad	Rugosa	5
	Relleno	Sin relleno	6
	Alteración	Ligeramente alterada	5
Infiltración		Seca	15
RMR básico			64

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo con la clasificación del RMR la zona 5 se considera de clase 2 o calidad buena con una cohesión de 300 a 400 KPa y un ángulo de fricción de 35° - 45°.

$$\text{SMR} = 64 + (0.7 \times 1 \times (-25)) + 0 = 46.5$$

De acuerdo con la clasificación del SMR la zona 5 se define como Normal o Regular de clase # III, macizo parcialmente estable con algunas juntas o muchas cuñas.

Zona 6 - Interburden M35-M45:

En la siguiente tabla se describen los parámetros con sus respectivos valores para realizar la clasificación geomecánica RMR.

Tabla 7. Clasificación RMR de la zona 6

Parámetro		Descripción	Valoración
UCS (MPa)		50 – 100	7
R.Q.D (%)		75 – 90	17
Espaciamiento		0.6 – 2m	10
Estado de las discontinuidades	Abertura	0,1 - 1mm	4
	Continuidad	3 – 10m	2
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
	Relleno	Sin relleno	6
	Alteración	Ligeramente alterada	5
Infiltración		Seca	15
RMR básico			69

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo con la clasificación del RMR la zona 6 se considera de clase 2 o calidad buena con una cohesión de 300 a 400 KPa y un ángulo de fricción de 35° - 45°.

$$\text{SMR} = 69 + (0.85 \times 1 \times (-25)) + 0 = 47.75$$

De acuerdo con la clasificación del SMR la zona 6 se define como Normal o Regular de clase # III, macizo parcialmente estable con algunas juntas o muchas cuñas.

Zona 7 - Interburden M00-M03U:

En la siguiente tabla se describen los parámetros con sus respectivos valores para realizar la clasificación geomecánica RMR.

Tabla 8. Clasificación RMR de la zona 7

Parámetro		Descripción	Valoración
UCS (MPa)		25 - 50	4
R.Q.D (%)		50 – 75	13
Espaciamiento		0.2 – 0.6m	10
Estado de las discontinuidades	Abertura	0.1-1mm	4
	Continuidad	1 – 3m	4
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
	Relleno	Sin relleno	6
	Alteración	Ligeramente alterada	5
Infiltración		Seca	15
RMR básico			64

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo con la clasificación RMR la zona 7 se considera de clase 2 o calidad buena con una cohesión de 300 a 400 KPa y un ángulo de fricción de 35° - 45°.

$$SMR = 64 + (1 \times 1 \times (-25)) + 0 = 39$$

De acuerdo con la clasificación del SMR la zona 7 se define como Mala de clase # IV, macizo inestable con juntas o grandes cuñas.

Zona 8 - Interburden M03U-M05:

En la siguiente tabla se describen los parámetros con sus respectivos valores para realizar la clasificación geomecánica RMR.

Tabla 9. Clasificación RMR de la zona 8

Parámetro		Descripción	Valoración
UCS (MPa)		25 – 50	4
R.Q.D (%)		50 – 75	13
Espaciamiento		0.2 – 0.6m	10
Estado de las discontinuidades	Abertura	0.1 – 1m	4
	Continuidad	1 – 3m	4
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
	Relleno	Sin relleno	6
	Alteración	Ligeramente alterada	5
Infiltración		Seca	15
RMR básico			64

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo con la clasificación del RMR la zona 8 se considera de clase 2 o calidad buena con una cohesión de 300 a 400 KPa y un ángulo de fricción de 35° - 45°.

$$\mathbf{SMR} = 64 + (0.85 \times 1 \times (0)) + 0 = 64$$

De acuerdo con la clasificación del SMR la zona 8 se define como Buena de clase # 2, macizo estable con algunos bloques.

Zona 9 - Interburden M05-M15:

En la siguiente tabla se describen los parámetros con sus respectivos valores para realizar la clasificación geomecánica RMR.

Tabla 10. Clasificación RMR de la zona 9

Parámetro		Descripción	Valoración
UCS (MPa)		50 – 100	7
R.Q.D (%)		75 – 90	17
Espaciamiento		02 – 0.6m	10
Estado de las discontinuidades	Abertura	0.1 – 1mm	4
	Continuidad	3 – 10m	2
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
	Relleno	Sin relleno	6
	Alteración	Ligeramente alterada	5
Infiltración		Seca	15
RMR básico			69

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo con la clasificación del RMR la zona 9 se considera de clase 2 o calidad buena con una cohesión de 300 a 400 KPa y un ángulo de fricción de 35° - 45°.

$$\text{SMR} = 69 + (0.15 \times 1 \times (-6)) + 0 = 68.1$$

De acuerdo con la clasificación del SMR la zona 9 se define como Buena de clase # II, macizo estable con algunos bloques.

Zona 10 - Interburden M15-M25:

En la siguiente tabla se describen los parámetros con sus respectivos valores para realizar la clasificación geomecánica RMR.

Tabla 11. Clasificación RMR de la zona 10

Parámetro		Descripción	Valoración
UCS (MPa)		25 – 50	4
R.Q.D (%)		75 - 90	17
Espaciamiento		0.2 – 0.6m	10
Estado de las discontinuidades	Abertura	01 – 1mm	4
	Continuidad	1 – 3m	4
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
	Relleno	Sin relleno	6
	Alteración	Ligeramente alterada	5
Infiltración		Seca	15
RMR			68

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo con la clasificación del RMR la zona 10 se considera de clase 2 o calidad buena con una cohesión de 300 a 400 KPa y un ángulo de fricción de 35° - 45°.

$$\text{SMR} = 68 + (0.15 \times 1 \times (-6)) + 0 = 67.1$$

De acuerdo con la clasificación del SMR la zona 10 se define como Buena de clase # II, macizo estable con algunos bloques.

Zona 11 - Interburden M25-M35:

En la siguiente tabla se describen los parámetros con sus respectivos valores para realizar la clasificación geomecánica RMR.

Tabla 12. Clasificación RMR de la zona 11

Parámetro		Descripción	Valoración
UCS (MPa)		50 – 100	7
R.Q.D (%)		50 - 75	13
Espaciamiento		0.2 – 0.6m	10
Estado de las discontinuidades	Abertura	0.1 – 1m	4
	Continuidad	3 – 10m	2
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	4
	Relleno	Sin relleno	6
	Alteración	Ligeramente alterada	5
Infiltración		Seca	15
RMR básico			66

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo con la clasificación RMR la zona 11 se considera de clase 2 o calidad buena con una cohesión de 300 a 400 KPa y un ángulo de fricción de 35° - 45°.

$$\text{SMR} = 66 + (0.7 \times 1 \times (-25)) + 0 = 48.5$$

De acuerdo con la clasificación del SMR la zona 11 se define como Normal o Regular de clase # III, macizo parcialmente estable con algunas juntas o muchas cuñas.

Zona 12 - Interburden M35-M45:

En la siguiente tabla se describen los parámetros con sus respectivos valores para realizar la clasificación geomecánica RMR.

Tabla 13. Clasificación RMR de la zona 12

Parámetro		Descripción	Valoración
UCS (MPa)		50 – 100	7
R.Q.D (%)		75 - 90	17
Espaciamiento		0.2 – 0.6m	10
Estado de las discontinuidades	Abertura	1 – 5mm	1
	Continuidad	3 – 10m	2
	Rugosidad	Rugosa	5
	Relleno	Sin relleno	6
	Alteración	Ligeramente alterada	5
Infiltración		Seca	15
RMR básico			68

Fuente: Autor del proyecto

De acuerdo con la clasificación del RMR la zona 12 se considera de clase 2 o calidad buena con una cohesión de 300 a 400 KPa y un ángulo de fricción de 35° - 45°.

$$\text{SMR} = 68 + (0.4 \times 1 \times (0)) + 0 = 68$$

De acuerdo con la clasificación del SMR la zona 12 se define como Buena de clase # II, macizo estable con algunos bloques.

7 CRONOGRAMA.

Tabla 14 Cronograma de actividades

NOMBRE DE LA TAREA	DURACION (días)	DESDE	HASTA
Reconocimiento de la empresa	2	03/03/2016	04/03/2016
Recopilación de información existente	2	03/03/2016	04/03/2016
Descripción Geológico - Estructural y toma de muestras en campo	65	07/03/2016	03/06/2016
Generación de base de datos	95	07/03/2016	15/07/2016
Realización de ensayos de carga puntual	30	30/05/2016	08/07/2016
Interpretación de registros Geofísicos	15	27/06/2016	15/07/2016
Elaboración de columnas estratigráficas	7	19/07/2016	22/07/2016
Clasificación Geomecánica de zonas en el bloque 5	7	25/07/2016	29/07/2016
Correlación del proyecto con la información de penetrabilidad	15	01/08/2016	19/08/2016
Análisis y conclusión de resultados	11	22/08/2016	01/09/2016

Fuente: Autor del proyecto

8 LOGROS ALCANZADOS.

Tabla 15 Tabla de Logros

Objetivos fijados	% de cumplimiento
Realizar en campo la descripción de las rocas, resistencia y el comportamiento de discontinuidades en los diferentes interburden.	100%
Elaborar columnas estratigráficas para cada agrupación de interburden.	100%
Evaluar la resistencia a la compresión simple de los diferentes interburden, a partir de la realización de ensayos de carga puntual sobre muestras que se obtienen de cada estrato.	100%
Obtener información geológica y geotécnica de los pozos de exploración realizados en el bloque 5	100%
Interpretar registros geofísicos (sónico) para correlacionar con ensayos de campo.	100%
Clasificar geomecánicamente mediante el sistema RMR o rock mass rating (Bienawski 1973) y SMR del macizo rocoso presente en el área de estudio.	100%
Establecer correlación entre clasificación geomecánica y los tiempos de penetrabilidad en los diferentes interburden.	100%

Fuente: Autor del proyecto

9 CONCLUSIONES

- La zona de estudio fue dividida en 12 zonas para ser caracterizada geomecánicamente a partir del SMR (Slope Mass Rating) en lo que se obtuvo que las zonas 3, 8, 9, 10 y 12 fueron las de mayores calidades clasificadas como buenas de clase II, donde se presenta un macizo estable con algunos bloques. Las zonas 2, 4, 5, 6 y 11 fueron clasificadas como regulares de clase III, un macizo parcialmente estable con algunas juntas o muchas cuñas y las zonas de menores condiciones fueron las 1 y 7 clasificadas como malas de clase IV, un macizo inestable con juntas o grandes cuñas.
- las zonas 3 y 9 pertenecen al interburden entre los mantos de carbón M05 – M15 y fue el único en clasificarse como bueno en cada uno de los flancos del sinclinal la jagua, por lo que es la zona más estable en el bloque 5.
- Se definieron 4 resistencias a partir de la velocidad de penetración y la resistencia a la compresión simple de los interburden del bloque 5:

Resistencia	UCS (MPa)
Muy dura	> 120
Dura	80 - 120
Media	50 - 80
Suave	< 50

- Teniendo en cuenta las litologías que conforman los interburden y sus respectivos espesores, con base en las nuevas resistencias se definieron durezas para cada interburden del bloque lo cual es un gran aporte para los procesos de voladura de la empresa.

Interburden	Descripción
IB M00 - M01	Resistencia suave para los dos flancos del sinclinal
IB M01 - M02U	Resistencia suave en el flanco oriental y media hacia el flanco occidental
IB M02U - M03U	Resistencia media en el flanco oriental y suave hacia el flanco occidental

IB M03U - M03A	Resistencia suave para cada uno de los flancos
IB M03A - M04	Resistencia entre la zona de transición media y suave en el flanco oriental y resistencia media en el flanco occidental
IB M04 - M05	Resistencia media en el flanco oriental y suave en el flanco occidental
IB M05 - M08	Resistencia que varía de suave a media en el flanco oriental y una resistencia media en el flanco occidental
IB M08 - M10	Resistencia media en el flanco oriental y una resistencia dura en el flanco occidental
IB M10 - M15	Resistencia media en el flanco oriental y una resistencia que varía de dura a media en el flanco occidental
IB M15 - M20	Resistencia media en el flanco oriental y dura en el flanco occidental
IB M20 - M25	Resistencia media en el flanco oriental y una resistencia que varía de suave a media en el flanco occidental
IB M25 - M28	Resistencia media en el flanco oriental y dura en el flanco occidental
IB M28 - M30	Presenta una resistencia suave en el flanco oriental y media en el flanco occidental
IB M30 - M35	Resistencia suave para los dos flancos del sinclinal
IB M35 - M40	Resistencia suave para los dos flancos del sinclinal
IB M40 - M45	Resistencia que varía de suave a media en el flanco oriental y media en el flanco occidental

Los interburden M08-M10 y M25-M28 al pasar de una resistencia media a dura entre los flancos del sinclinal podrían generar inconvenientes en los procesos de minado.

10 RECOMENDACIONES

- En época de invierno las operaciones mineras ejecutadas cerca de las zonas 1 y 7 realizarlas con precaución y realizar análisis de estabilidad en esta zona, ya que fueron clasificadas según el SMR como malas de clase IV y estas pertenecen al interburden entre los mantos de carbón M00-M03U lo que sería el eje del sinclinal, que generalmente presentan flujos constantes de agua y disminuirían las condiciones del macizo.
- Realizar ensayos con las resistencias generadas de este trabajo, donde sí se obtienen resultados positivos se podrá actualizar y aportar una mejora en la calidad de los procesos de voladura.
- Modelar las velocidades de penetración en todos los interburden para definir nuevos rangos con mejor precisión de resistencia y caracterizar las resistencias suaves el cual la información fue un poco escasa.
- Corroborar que se tengan en cuenta las variaciones laterales de resistencia en los diferentes interburden para llevar a cabo los procesos de voladuras.

11 FUENTES DE INFORMACION

- HERNÁNDEZ, M, 2003. Memoria explicativa de la geología de la Plancha 48 La Jagua de Ibirico. INGEOMINAS.
- GONZALEZ DE VALLEJO, L. I, 2004. Ingeniería Geológica.
- ESTEVEZ, Y.; QUINTERO, D, 2008. Determinación del ambiente de depósito de la formación los cuervos miembro medio, aplicado a la variabilidad en la calidad del carbón y a las asociaciones litofaciales obtenidas de los núcleos de perforación, en el sector del hatillo, la loma – cesar. Tesis de grado.
- CORPOCESAR; IDEAM, 2006. Aprovechamiento y protección del agua subterránea en las ecoregiones de los valles de los ríos cesar y Magdalena departamento del cesar.
- MINERAL COPR SAS, 2008. Interpretación geológica y geofísica del bloque 081 082 área carbonífera al suroeste de la jagua subcuenca del cesar (departamento del cesar)
- GONZALEZ DE VALLEJO, L; RODRIGUEZ ORTIZ, J. Manual de Ingeniería Geológica.
- VASQUEZ, M. Caracterización geotécnica del macizo rocoso contenido en el sector explotado del sinclinal la jagua, municipio de la jagua de ibirico
- ARIAS, A.; MORALES, C. 1999. Mapa geológico generalizado del departamento del cesar. INGEOMINAS. Memoria explicative.
- COLMENARES ET AL., 2007. Evolución geohistórica de la sierra nevada de santa marta. INGEOMINAS.
- ASTM D5878-00, STANDARS GUIDE FOR USING ROCK-MASS CLASIFICACION SYSTEMS FOR ENGINEERING PURPOSES.
- DE PORTA, J., 1974. Lexique stratigraphique international. Amerique latine, colombie (deuxime partie).

- CIMADEVILA, A. 2008. Proyecto de excavación y sostenimiento del túnel camijanes. Tesis de grado.
- GEOESTUDIOS LTDA. 2006. Cartografía geológica Cuenca cesar – Ranchería. Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH.
- CARBONES DEL CARIBE LTDA. Informe Final de Geología e Ingeniería Asociada.
- DUQUE, G. 2003. Manual de Geología para ingenieros.
- DIAZ, L. ET AL. 2015. Proyecto cartográfico de la geología correspondiente al corregimiento de mariangola y aguas blanca cesar.
- RAMIREZ, A. 2008. Caracterización geológica de la formación los cuervos en el campo de cupiagua. Tesis de grado.
- MONTERO, O. Caracterización geológica de macizos rocosos. Unal.
- CARDONA, D. 2008. Recolección de información geotécnica para minas cdj, cet, cmu y calenturitas.
- CARBONES DE LA JAGUA S.A., 2007. Informe final de exploración (IFE). La Jagua de Ibirico.
- GEOMINAS INGENIEROS S.A, 1995. Estudio geotécnico integrales norte y sur. La Jagua de Ibirico.
- TUCKER, M. Sedimentary rocks in the field, third edition.
- Ruiz, S. 2011. Modelamiento de la falla la victoria en el sector cerro de piedra, proyecto la jagua, municipio de la jagua de ibirico-cesar. Tesis de grado
- BELANDIA, N.; BONGIORNO, F. 2012. Clasificaciones geomecánica de los macizos rocosos segun: bieniawski, barton, hoek y brown, romana.