

Estudio geomecánico para el diseño minero a cielo abierto del yacimiento de carbón en Rondón - Boyacá*

Fabio Andrés Lozano Montañez**

José William Ochoa***

Rafael Andrés Camacho****

Recibido: 9 de abril de 2012 Aprobado: 13 de junio de 2012

L'esprit Ingénieux Tunja - Colombia V 3 pp. 49 - 60 enero - diciembre 2012

Resumen

La empresa Carbones de Los Andes S.A. viene adelantando desde el año 2008 la fase de exploración de un yacimiento de carbón ubicado entre las veredas Granada y Sucre (sector Picaderas), en un área que fue concesionada por el Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas) donde el objetivo es hacer una minería a partir de las buenas prácticas y el cuidado ambiental, acudiendo para tal fin a la tecnología y el personal calificado que permita garantizar un desarrollo equilibrado y sostenible socio-ambientalmente. Para el desarrollo de la etapa definitiva de exploración se utilizaron 300 hectáreas donde se realizó una perforación dirigida de 310.25 m, con 30 grados de inclinación con respecto a la vertical con la cual se determinó litológicamente la composición del subsuelo y los parámetros geomecánicos. Establecida la columna estratigráfica del pozo y la clasificación del macizo rocoso se prosiguió a plantear un diseño de mina durante la investigación geológica, definiendo el yacimiento con todas sus características litológicas y estructurales estableciendo la estabilidad, diseño y sostenimiento de los taludes en el frente de explotación, parámetros que permitirán dar inicio a la explotación y avance del diseño minero a cielo abierto para posteriormente ser ejecutado. Con base en estos estudios tanto geológicos como geotécnicos realizados en los sondajes se proyectó una clasificación al macizo rocoso de acuerdo a sus características presentes, el cual indicó los parámetros geomecánicos y dinámicos en el frente de explotación para su posterior diseño a cielo abierto.

PALABRAS CLAVE: Concesión, diseño minero a cielo abierto, estratigrafía, exploración, reserva carbonífera.

Abstract

The company Carbones de los Andes S.A. has been carrying for 2008 years the exploration phase of a reservoir located between the villages of Granada and Sucre (Riding sector), in an area that was franchised by the Colombian Institute of Geology and Mining (Ingeominas) where the goal is to make a conscious mining from good practice and environmental care, attending to that effect to the technology and qualified personnel to guarantee a balanced and socially and environmentally sustainable. For the development of the final stage of exploration were used 300 hectares where there was a directional drilling of 310.25 m, with 30 degree inclination to the vertical which determined the composition of the subsurface lithology and geomechanical parameters, established stratigraphic column of the well and the rock mass classification was continued to pose a mine design for geological research, defining the site with all lithological and structural characteristics establishing stability, design and maintenance of slopes on the front operating parameters that will kick off the operation and progress of the open pit mine design for later be executed.

KEY WORDS: Concession, open pit mine design, Stratigraphy, Exploration, Drilling, Reservoir Carboniferous.

* Artículo de investigación, como producto final del proyecto de investigación del mismo nombre.

** Ing. Geólogo, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sogamoso, especialista en geotecnia vial y pavimentos, lozanofabin@hotmail.com

*** Ing. de Vías y Transportes, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, especialista en geotecnia vial y pavimentos, jwoh050@hotmail.com

**** Ing. Civil y especialista en geotecnia vial y pavimentos, sazu258@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

La minería a cielo abierto es una actividad industrial de alto impacto ambiental, social y cultural. Las condiciones geológicas y ambientales en el municipio de Rondón Boyacá han proporcionado la localización de un yacimiento carbonífero, el cual presenta características especiales, que los hace bastante atractivos para la explotación y comercialización del mismo.

El creciente interés por la explotación de carbón por parte de muy diversas compañías mineras en especial Carbones de Los andes S.A. se origina en la reciente creación de métodos rentables en función de los costos de producción, para la extracción de carbón. Es así como luego de una fase de exploración se efectuaron estudios geológicos de superficie y del subsuelo, mediante el cual se evaluó el yacimiento carbonífero obteniendo como resultado un cálculo de recursos representativo para el área de interés.

El presente estudio pretende dar soporte técnico de una etapa de exploración a una nueva fase de explotación. Para ello se centró en el desarrollo de varias actividades, las cuales comprenden en primer lugar la recolección de información, suficiente para el reconocimiento de la temática estudiada. Basados en esta información se practicaron las pruebas de laboratorio. Los resultados obtenidos se correlacionaron con los aspectos geológicos y geotécnicos presentes en la zona de trabajos, con lo cual se concluirán aquellos aspectos que brinden información eficaz en la evaluación del macizo rocoso. Así se definió la estabilidad, diseño y sostenimiento de los taludes en el frente de explotación, parámetros que permitirán dar inicio a la explotación y avance de minería a cielo abierto.

II. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en la fase de exploración del yacimiento de carbón en el municipio de Rondón, se encuentra definida por la consecución de una serie de etapas dependientes que establecen los procesos necesarios en el avance de exploración a explotación donde se precisan los estudios realizados tanto geológicos como geotécnicos desarrollados durante la perforación.

A. Primera etapa:

Se evaluó la información suministrada por la empresa Carbones de Los andes S.A., expresada por Renzoni (1981) y evaluada por Lozano Fabio (2008), donde se estableció un modelo geológico en 3D del yacimiento de carbón mediante el software Gemcom Surpac, cálculo primario de recursos.

B. Segunda etapa:

Con base en la evaluación geológica se proyectó una perforación dirigida de 310.25m, con extracción de núcleo corazonado, donde se evaluó el porcentaje de recuperación de la muestra. Se realizó la descripción litológica del sondaje, se obtuvieron parámetros geomecánicos y se extrajeron muestras para estudios geotécnicos.

1) Descripción litología.

Se desarrolló una columna estratigráfica del sondaje donde se determinan las características principales de las rocas presentes.

2) Parámetros geomecánicos.

Del sondaje se obtuvieron parámetros tales como, buzamiento real, nivel de ondulación de la muestra, RQD, sistemas de discontinuidades, abertura de la discontinuidad, espaciado, relleno y presencia de fallas.



3) Extracción de muestras.

Se extrajeron 24 muestras representativas de diferentes litologías para la realización de los ensayos de laboratorio que permitieron determinar los contenidos de humedad, límites de Atterberg, compresión simple en roca y contenido de materia orgánica.

C. Tercera etapa:

Clasificación del macizo rocoso, según la clasificación dada por ISRM (1981) expresado por González Vallejo, Luis (2002).

D. Cuarta etapa:

Clasificado el macizo rocoso se proyectó un diseño minero a cielo abierto, de acuerdo a la viabilidad y estructura presente en el yacimiento.

E. Quinta etapa:

Determinado el frente de explotación se diseñó un Open Pit según los análisis de laboratorio, proyectado en el programa Gemcom Surpac.

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

Evaluada la geología del yacimiento se encontró que la formación Guaduas, es la portadora de este depósito. Se proyectó el avance de una perforación dirigida con fines geotécnicos, para obtener la columna estratigráfica del sondeo y la valoración geotécnica descrita por González Vallejo, Luis (2002), por lo cual se proyecta el diseño minero.

A. Perforación dirigida:

Desarrollada la perforación dirigida de 310.25 m. con 30 grados de inclinación evaluada por Reyes Ítalo (1998), se obtuvo la columna estratigráfica clasificando el material como rocas sedimentarias detríticas como lodolitas, areniscas, cuarcita y orgánicas como el carbón y laminaciones de caliza.

B. Parámetros geomecánicos:

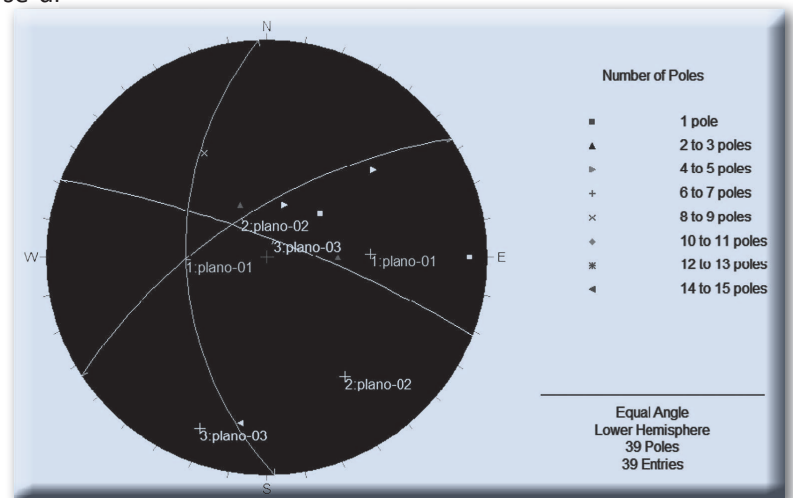
1) Número y orientación de familias de discontinuidades.

El comportamiento mecánico del macizo rocoso, su modelo de deformación y sus mecanismos de rotura están con-

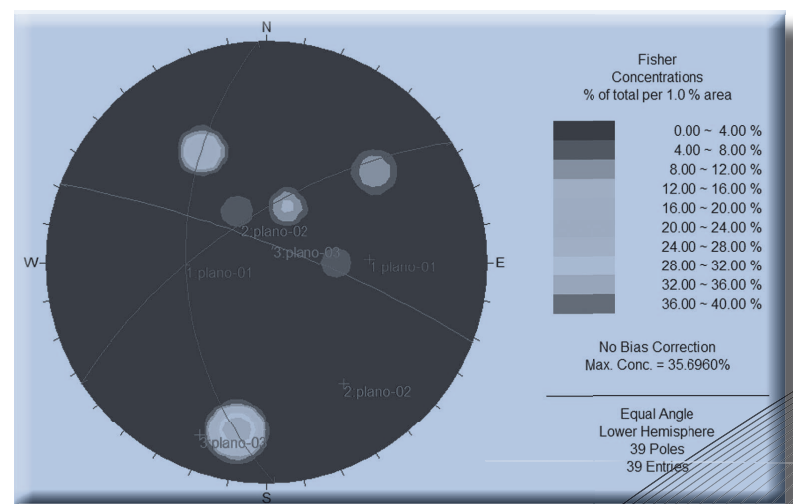
dicionados por el número de familias de discontinuidades. La orientación de las diferentes familias, con respecto a una obra puede determinar la estabilidad de la misma.

La intensidad o grado de fracturamiento y el tamaño de los bloques de matriz vienen dado por el número de familias de discontinuidades y por el espaciado de cada familia. Cada una de las familias queda caracterizada por su orientación y características de los planos. Berry y Reid (1993), plantean que la orientación de una familia se evalúa mediante la proyección estereográfica o la construcción de diagrama de Rosetas, diagrama de Polos, concentración y orientación de las familias, gracias a los datos obtenidos en perforación como se muestra en las figuras 1, 2, 3, 4.

FIGURA 1.
DIAGRAMA DE POLOS, SOFTWARE RESEARCH DIPS



Fuente: Roc science - Geomechanics software y research Dips, 15-06-2010.



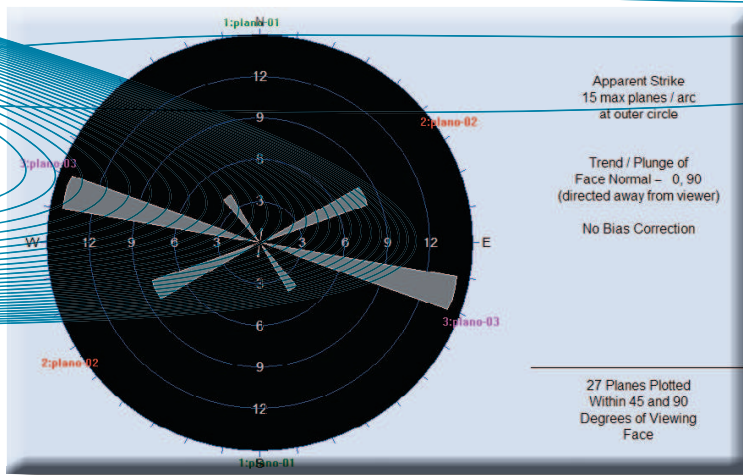


FIGURA 3. DIAGRAMA DE ROSETAS, SOFTWARE RESEARCH DIPS

Fuente: Roc science - Geomechanics software y research Dips, 15-06-2010.

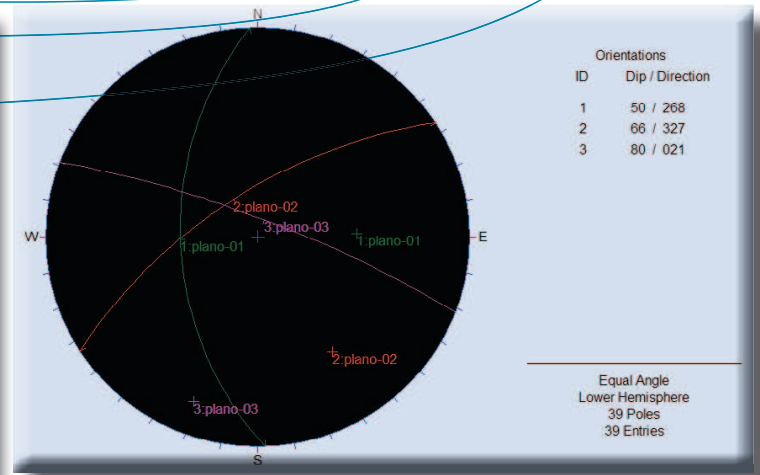


FIGURA 4. ORIENTACIÓN DE FAMILIAS, SOFTWARE RESEARCH DIPS

Fuente: Roc science - Geomechanics software y research Dips, 15-06-2010.

2) Espaciado.

El espaciado entre los planos de discontinuidades condiciona el tamaño de los bloques de matriz rocosa y por tanto define el papel que este tendrá en el comportamiento mecánico del macizo rocoso.

3) Rugosidad.

La descripción y medida de rugosidad tiene como principal finalidad la evaluación de la resistencia al corte de los planos. La rugosidad aumenta la resistencia al corte, que decrece con el aumento de la abertura y por lo general con el espesor del relleno.

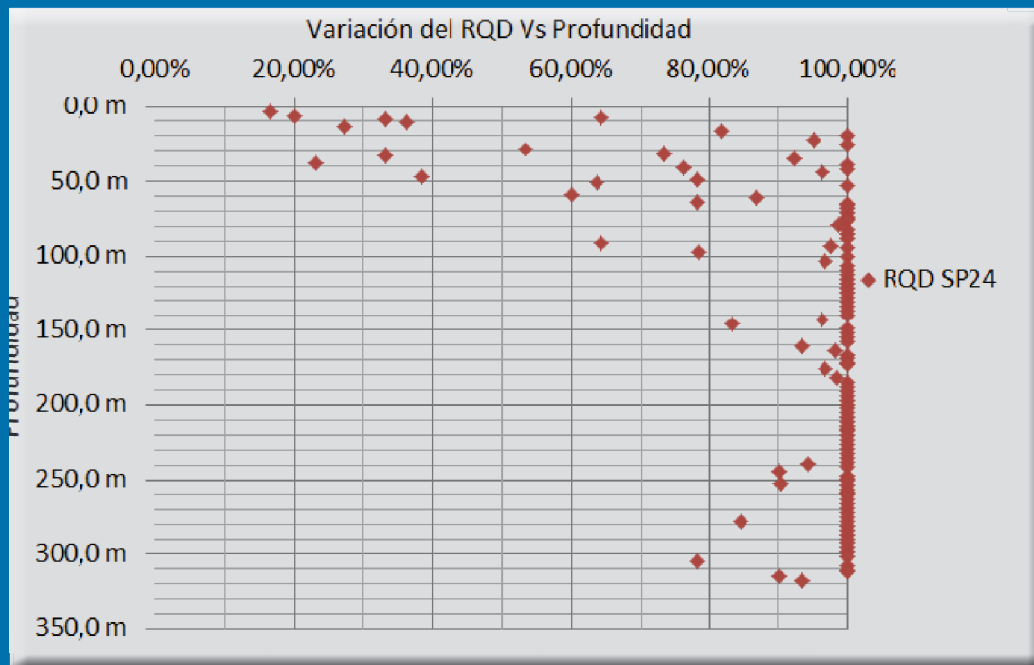
4) Abertura.

La abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes de las discontinuidades, parámetro muy variable en diferentes zonas de un mismo macizo rocoso. La influencia de la abertura en la resistencia al corte de la discontinuidad es significativa en discontinuidades muy cerradas.

5) Relleno.

Las discontinuidades pueden encontrarse rellenas de un material de naturaleza distinta a las rocas de las paredes. Existe gran variedad de materiales de relleno con propiedades fi-

FIGURA 5. DIAGRAMA DE RQD VS PROFUNDIDAD DE SONDAJE



Fuente: Roc science - Geomechanics software y research Dips, 15-06-2010.

sicas y mecánicas muy variables. La presencia de relleno gobierna el comportamiento de la discontinuidad. Debe tenerse en cuenta que si se trata de minerales blandos o alterados éstos pueden sufrir variaciones importantes en sus propiedades resistentes a corto plazo.

El macizo rocoso según ISRM se clasifica como un macizo muy bueno según el RQD de los datos obtenidos en la perforación figura 5.

IV. ANÁLISIS DE LABORATORIO

Según el desarrollo de la perforación se extrajeron 24 muestras inalteradas representativas de diferentes litologías. A partir de ellas se desarrollaron los ensayos de laboratorio como: contenido de humedad, límites de Atterberg y compresión simple en roca.

A. Contenido de Humedad:

Este ensayo se hizo para determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo, expresada en porcentaje (1) entre el peso del agua existente, en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas el cual fue expresado por Badillo Juárez y Rodríguez Rico (1977), o sea:

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{\text{Pérdida de agua} * 100}{\text{Peso muestra seca}} \quad (1)$$

B. Límites de Atterberg:

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizaron para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. Existen 4 estados de consistencia según su humedad, dados por Berry Peter (1993). Un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco.

Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

C. Compresión Simple

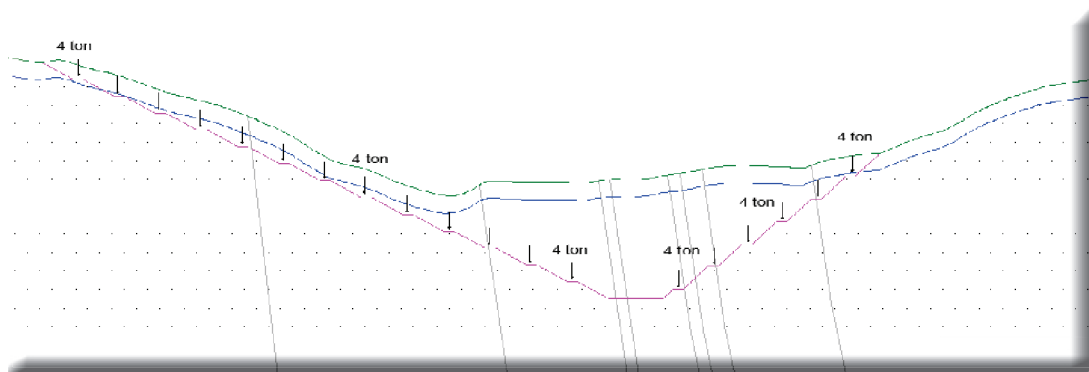
El ensayo de compresión simple determina la resistencia a la compresión no confinada en suelos cohesivos, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación expresado por Berry Peter (1993), Este método de ensayo da un valor aproximado de la resistencia de los suelos cohesivos en términos de esfuerzos totales.

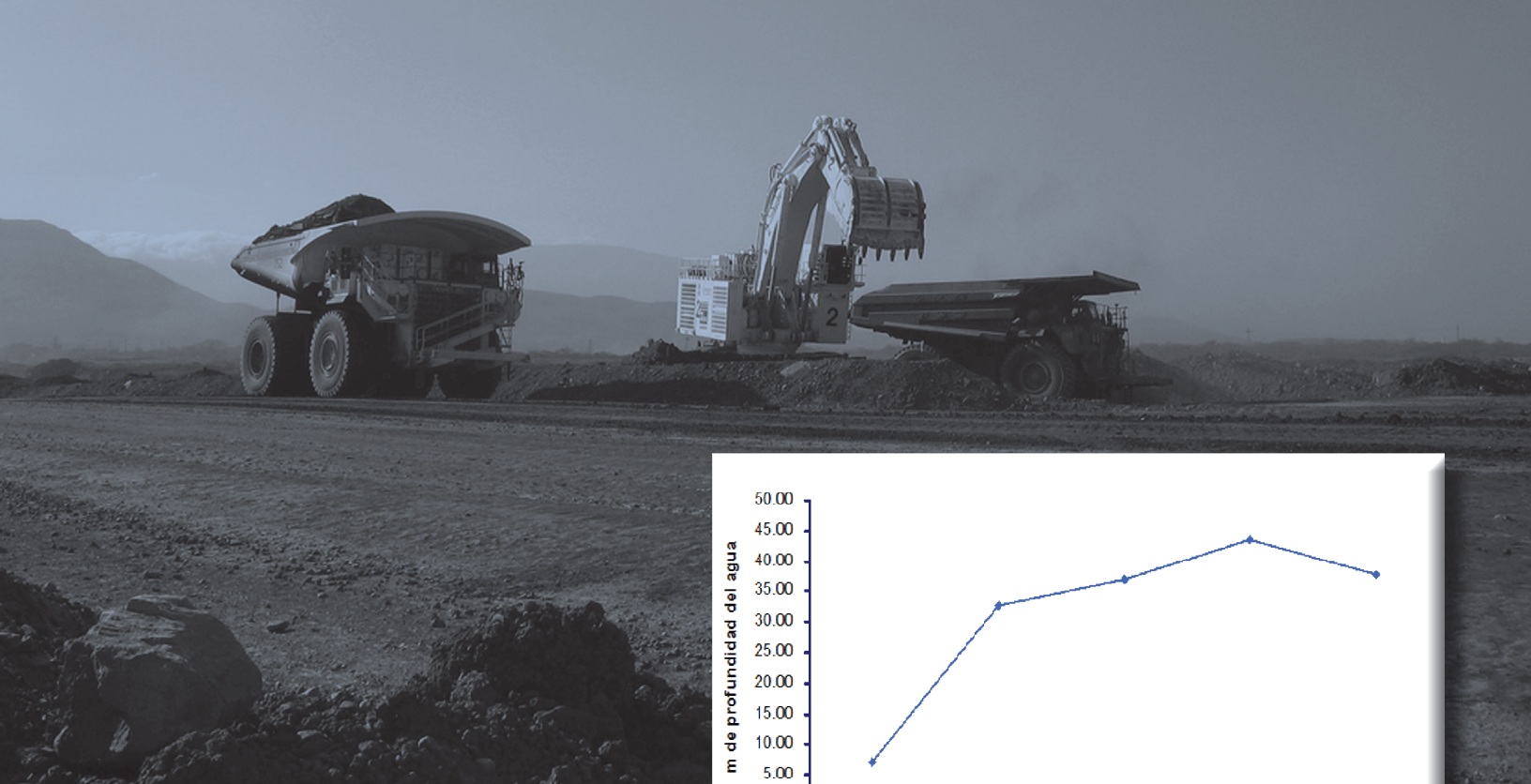
Los ensayos desarrollados por el laboratorio de suelos y pavimentos Gregorio Rojas y Cía. Ltda.

V. DISEÑO DE TALUDES

Se llevó a cabo la modelación geológica del yacimiento planteado, el cual se obtuvo a partir de los trabajos previos de investigación. Esta información se agrupó a partir del modelo geológico del yacimiento, las propiedades del macizo rocoso, las características hidrogeológicas de macizo, los efectos de la alteración de las rocas, los esfuerzos de la roca a profundidad y la estabilidad de los taludes, algunos parámetros descritos por Lozano Fabio (2008).

Los elementos de los taludes de la cantera son: profundidad o altura de explotación, los bancos, altura de banco, ángulo de talud del banco, carga, las bermas de transporte y de seguridad, ángulo de los bordes activo e inactivo de la explotación y el ángulo de culminación como se observa en la figura 6.





VI. CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LOS TALUDES.

La estabilidad de los taludes durante las actividades de explotación a cielo abierto tiene gran importancia para la seguridad y efectividad económica de la misma, por lo que debe ser considerada desde el inicio del proceso de diseño. Las recomendaciones para el control y eliminación de los riesgos son la adopción de un diseño adecuado de bancos y plataformas para retener los desprendimientos de materiales; determinación y mantenimiento adecuado de taludes; control en las proximidades del talud para reducir los daños en el macizo, y aplicación de sistemas de drenaje en los macizos para reducir las tensiones originadas por el agua.

VII. PROPIEDADES DEL MACIZO ROCOSO

Se tuvo en cuenta el problema que surge con la selección del tipo de modelo que caracteriza al macizo. Modelos continuos (homogéneos) o discontinuos (discretos). Es conveniente usar el criterio de falla de Hooke y Brown teniendo en cuenta los supuestos considerados en su evaluación y utilizar los cálculos retroactivos para verificar si los parámetros asumidos en el criterio de falla son correctos y eficaces, para la estabilidad en los taludes, descritos por Badillo Juárez y Rodríguez Rico (1977).

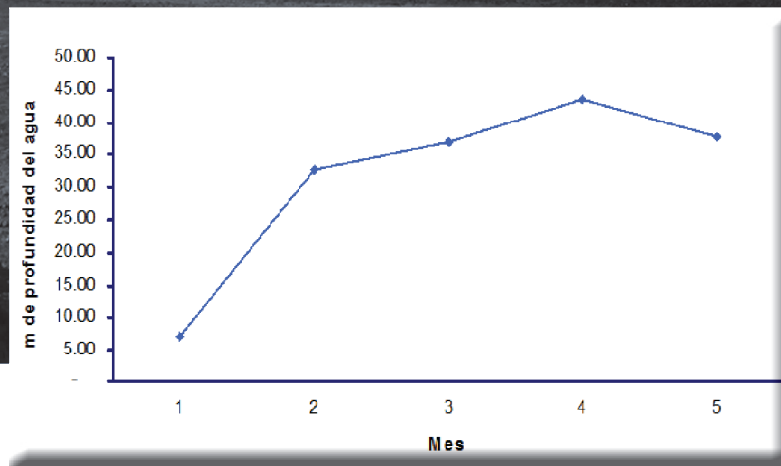


FIGURA 7. ESQUEMA GENERAL DE NIVEL FREÁTICO EN ZONAS DE INTERÉS.

Fuente: Los autores, 15-06-2010.

A. Presencia de Agua Subterránea

La presencia de agua subterránea en el yacimiento reduce las tensiones efectivas y consecuentemente la resistencia al corte de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso expresado por Parra Ximena (1992). La medición y el control de los niveles freáticos son importantes, para lo cual se lleva un control de los cuatro piezómetros ubicados en la zona de interés, donde se puede observar el comportamiento de los últimos 5 meses como se observa en la Figura 7 y donde representa un nivel freático de 40 m.

VIII. MODELAMIENTO DEL YACIMIENTO

De acuerdo a la perforación propuesta y a los resultados de los laboratorios se diseñó un frente de explotación con lo cual se procedió a montar un diseño minero a cielo abierto, donde se muestra esquemáticamente la representación de un Open Pit en el área de interés y donde se empieza a modelar la estructura del yacimiento el cual será la re-

presentación final en 3D, para su posterior ejecución.

Las herramientas a utilizar para la elaboración del proyecto tienen presente los parámetros obtenidos en el estudio geológico superficial y del subsuelo, proceso de 2 años de exploración, con lo cual se tomó la clasificación dada por ISRM 1981 expresado por González Vallejo, Luis (2002).

A. Caracterización del macizo rocoso en perforaciones:

Para la clasificación del macizo rocoso se tienen en cuentas varios parámetros tales como:

1) Número y orientación de familias de discontinuidades.

De acuerdo a la información obtenida en el sondeo se obtuvo la representación del diagrama de rosetas, concentraciones de polos, los cuales permite y representa la orientación de las familias de discontinuidades presentes de manera cuantitativa, con lo cual se obtienen 3 familias de discontinuidades presentes en el macizo rocoso como se observa en la Tabla I, con las siguientes características:

Tabla I
FAMILIAS DE DIACLASA ENCONTRADAS EN EL SONDAJE

DIRECCIÓN	AZIMUT
50	268
66	327
80	21

Fuente: Los autores, 15-06-2010

El macizo rocoso puede clasificarse por discontinuidades según el cuadro dado por ISRM 1981 para macizos rocosos, como se observa en la Tabla II, donde se clasifica el macizo de tipo VII, por tres familias de discontinuidades.

2) Espaciado.

El espaciado entre los planos de discontinuidades condiciona el tamaño de los bloques de matriz rocosa y por tanto, define el papel que éste tendrá en el comportamiento mecánico del macizo rocoso.

Tabla II
CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO POR DISCONTINUIDADES ISRM 1981

Tipo de macizo rocoso	Número de familias
I	Masivo, discontinuidades ocasionales
II	Una familia de discontinuidades
III	Una familia de discontinuidades más otras ocasionales
IV	Dos familias de discontinuidades
V	Dos familias de discontinuidades más otras ocasionales
VI	Tres familias de discontinuidades
VII	Tres familias de discontinuidades más otras ocasionales
VIII	Cuatro o más familias de discontinuidades
IX	Brechificado.

Fuente: González Vallejo, Luis. Ingeniería Geológica, 2002

El espaciado se define como la distancia entre dos planos de discontinuidades de una familia. Este valor se refiere al espaciado medio o modal de los valores medidos para las discontinuidades de una misma familia encontradas en perforación, según la clasificación de ISRM 1981 para macizo rocoso, como se observa en la Tabla III. Se clasifica el espaciado como la separación que va de 600 a 2.000 mm.

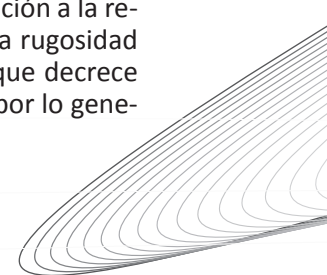
Tabla III
CLASIFICACIÓN DEL ESPACIADO, EN EL SONDAJE ISRM1981

Descripción	Espaciado
Extremadamente junto	< 20 mm
Muy junto	20-60 mm
Junto	60 - 200 mm
Moderadamente junto	200 - 600 mm
Separado	600 - 2.000 mm
Muy separado	2.000 - 6.000 mm
Extremadamente separado	> 6.000 mm

Fuente: González Vallejo, Luis. Ingeniería Geológica, 2002

3) Rugosidad.

La descripción y medida de rugosidad tiene como principal finalidad la evaluación a la resistencia al corte de los planos. La rugosidad aumenta la resistencia al corte, que decrece con el aumento de la abertura y por lo general con el espesor del relleno.



El término 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. Aquí se puede observar los perfiles de rugosidad, según la clasificación de ISRM 1981 para macizo rocoso, como se observa en la figura 8, Encontrados en perforación, como son ondulada y plana.

4) Abertura.

La abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes de las discontinuidades y en ocasiones no existe relleno. Estos parámetros son muy variados en diferentes zonas de un mismo macizo rocoso. La influencia de la abertura en la resistencia al corte de la discontinuidad es importante en discontinuidades muy cerradas. Esta clasificación se desarrolla según ISRM 1981 para macizos rocosos como se observa en la Tabla IV, con lo cual se clasifica, como una abertura abierta y moderadamente ancha.

Tabla IV

CLASIFICACIÓN DE ABERTURA ENCONTRADA EN EL SONDAJE ISRM 1981

Abertura	Descripción
< 0.1 mm	Muy cerrada
0.1 - 0.25 mm	Cerrada
0.25 - 0.5 mm	Parcialmente abierta
0.5 - 2.5 mm	Abierta
2.5 - 10 mm	Moderadamente ancha
> 10 mm	Ancha
1 - 10 cm	Muy ancha
10 - 100 cm	Extremadamente ancha
> 1 m	Cavernosa

Fuente: González Vallejo, Luis. Ingeniería Geológica, 2002.

5) Relleno.

Material de naturaleza distinta a las rocas de las paredes, el cual presenta propiedades físicas y mecánicas muy variables. La presencia de relleno gobierna el comportamiento de la discontinuidad. Debe tenerse en cuenta que si se trata de minerales blandos o alterados



FIGURA 8. SUPERFICIES, CLASIFICADAS POR ISRM 1981, 2002

Fuente: González Vallejo, Luis. Ingeniería Geológica, 2002

éstos pueden sufrir variaciones importantes en sus propiedades resistentes a corto plazo. Los materiales encontrados durante la perforación se clasifican como calcitas, arcillolitas y arcillolitas carbonosas.

6) Clasificación del macizo rocoso a partir de compresión simple en roca.

La clasificación del macizo rocoso está soportada en los ensayos de laboratorio los cuales determinan el comportamiento mecánico obtenido durante la perforación.

Según la clasificación de ISRM (1981) con respecto al macizo rocoso, se clasifica como un macizo rocoso blando como se observa en la Tabla V.

Tabla V

CLASIFICACIÓN DE ABERTURA ENCONTRADA EN EL SONDAJE ISRM 1981

Resistencia a la compresión simple	ISRM (1981)	Geological society of London (1970)	Bieniawski (1973)	Ejemplo
< 1	suelos			
1 - 5	Muy blanda	Blanda > 1.25	Muy baja	Sal, lutita; limolita, margas, toba, carbón.
5 - 12.5	Blanda	Moderadamente blanda		
12.5 - 25	Moderadamente dura	Moderadamente dura	Baja	Esquisto y pizarra.
25 - 50			Media	Rocas metamórficas esquistasas, mármol, granito, gneiss, arenisca, caliza.
50 - 100	Dura	Dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas duras arenisca muy cementada, caliza y dolomía.
100 - 200	Muy dura	Muy dura	Muy alta	Cuarcita, gabro basalto.
> 200				
> 250	Extremadamente dura	Extremadamente dura		

Fuente: González Vallejo, Luis. Ingeniería Geológica, 2002.

7) Clasificación del macizo rocoso según el RQD (Rock quality designation).

Según la clasificación de ISRM 1981, según los datos obtenidos en perforación se clasificó el macizo rocoso como un macizo muy bueno, según el RQD como se observa en la Tabla VI.

Tabla VI

CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL RQD ISRM 1981

RQD	Calidad
< 25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Media
75 - 90	Buena
90 - 100	Muy buena

Fuente: González Vallejo, Luis. Ingeniería Geológica, 2002.

A continuación se muestra un estereograma donde se aprecia la representación del porcentaje de recuperación obtenida en la perforación. El resultado obtenido en el desarrollo de la perforación determina un porcentaje de RQD entre 90 y 100% como se observa en la figura 5 donde se clarifica que el desarrollo del sondaje fue apto para la recuperación de mineral.

Tabla VII

OBTENCIÓN DE PHI Y COHESIÓN DE CADA UNO DE LOS MATERIALES

Nomenclatura-laboratorio	Cohesión	Phi	Litología
M-3	11 Kn/m	9.04 grados	Arcillolita
M-6	40 Kn/m ²	20.90 grados	Lodolita
M-9	35 Kn/m ²	19.07 grados	Limolita
M-12	24 Kn/m ²	14.57 grados	Limolita
M-15	92 Kn/m ²	38.0 grados	Arenisca
M-18	47 Kn/m ²	23.27 grados	Arcillolita
M-21	52 Kn/m ²	24.21 grados	Limolita
M-arenisca	92 Kn/m ²	40.0 grados	Arenisca

Fuente: González Vallejo, Luis. Ingeniería Geológica, 2002

8) Ensayos de laboratorio.

De acuerdo al sondaje realizado se extrajeron 24 muestras a las cuales se les desarrollaron los ensayos de laboratorio como contenido de humedad, compresión simple en roca, contenido de materia orgánica y límites de Atterberg.

9) Obtención de parámetros de suelos.

De los resultados obtenidos del ensayo de laboratorio de compresión simple en roca y mediante la utilización del software Roclab se obtuvo el phi y la cohesión de cada uno de los materiales encontrados como se muestra en la Tabla VII.

IX. DISEÑO DE TALUDES.

En el proceso de diseño de taludes se utilizó el programa Rocscience Slide v 5.0, para la modelación del frente de explotación a cielo abierto, la cual se proyectó con la conformación de taludes donde se logra la mayor extracción de mineral como se muestra en la figura 9.

Se toma una relación de talud de 20-5 (20m de altura y 5m de berma) con un ángulo de inclinación de 50 grados en flanco oriental y 35 grados en el flanco occidental, los cuales fueron evaluados en el software bajo las condiciones encontradas y con un factor de seguridad mayor a 1.0.

Para la evaluación de los taludes se desarrolló con el método Bishop simplificado para el frente de explotación. En la Figura 9, está la sección diseño del talud flanco occidental y flanco oriental, para el frente de explotación a cielo abierto.

Se presenta el modelo utilizado para el flanco occidental y el flanco oriental. La estabilidad de estos taludes se determina en condiciones actuales del terreno con un factor de seguridad mayor a 1.0, el cual es estable para las condiciones. De acuerdo a la modelación se tiene presente que en estas condiciones se hará necesario algunas intervenciones de obras para mejorar las situaciones de inestabilidad, que serán diseñadas en el proceso de desarrollo de minería a cielo abierto, figura 10 y figura 11. Se obtiene para el flanco occidental un Fs. de 1.156 en la zona más crítica y para el flanco oriental un Fs. de 1.048 en la zona más crítica.

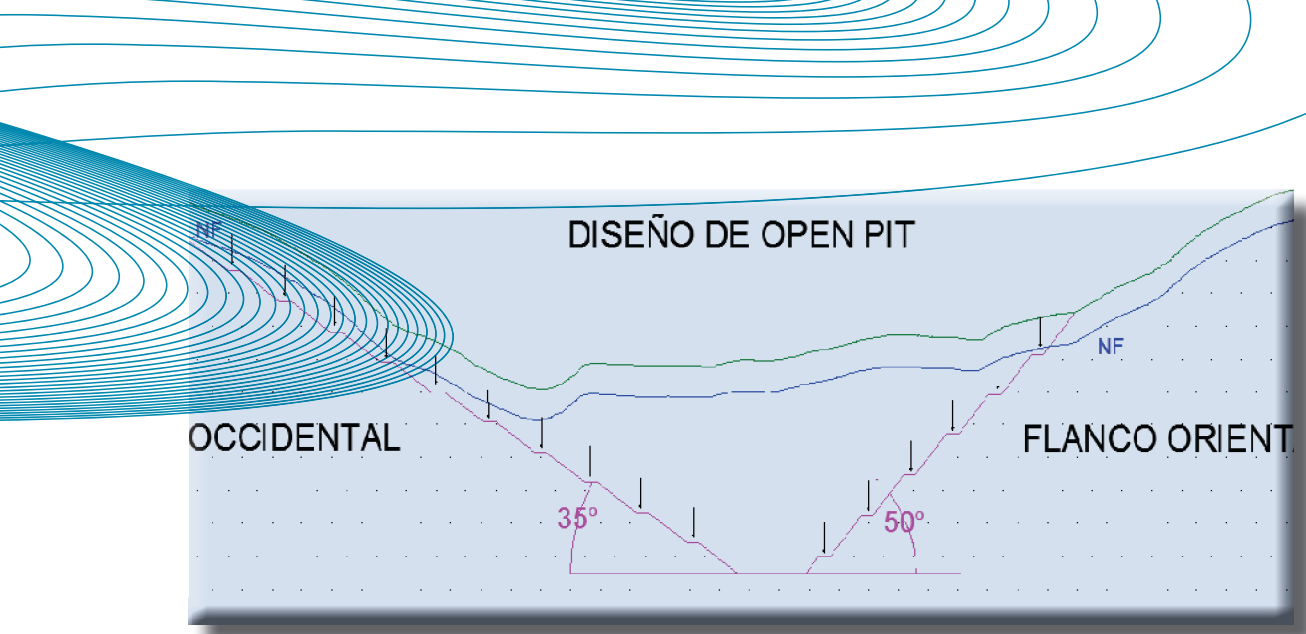
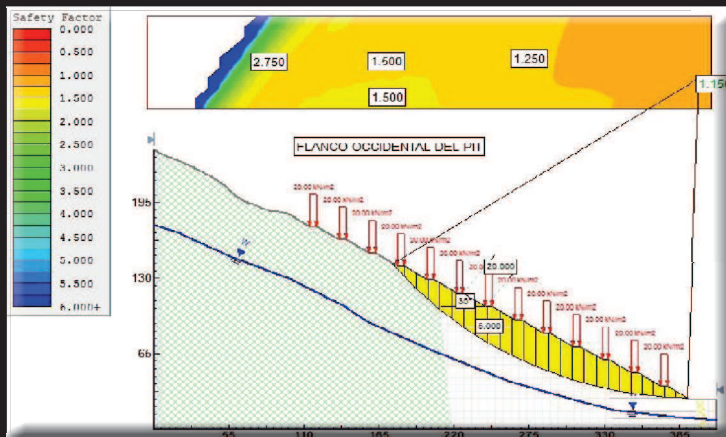


FIGURA 9. SECCIÓN TRANSVERSAL OPEN PIT
Fuente: Los autores, 20-06-2010

A. Flanco occidental y flanco oriental

De acuerdo a los estudios realizados y a las litologías presentes en estos flancos se ve la representación esquemática del frente de explotación.

FIGURA 10. SECCION DE TALUD FLANCO OCCIDENTAL.



Fuente: Los autores, 15-09-2010

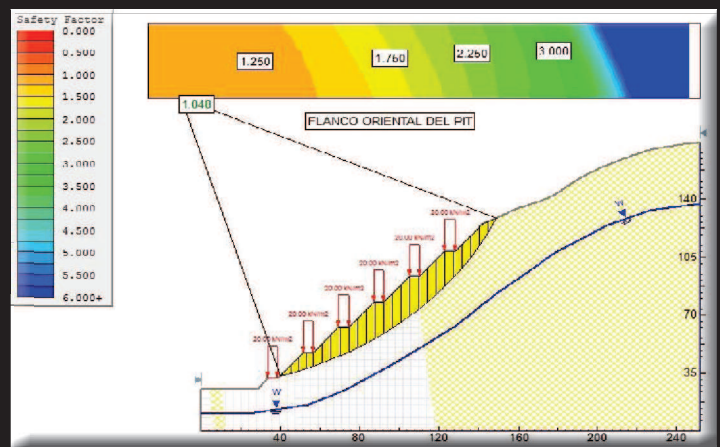


FIGURA 11. SECCION DE TALUD FLANCO ORIENTAL
Fuente: Los autores 15-09-2010

X. MODELAMIENTO

Evaluated these slopes we proceed to design the open-pit mining with the data obtained in the software Gemcom Surpac, which will give a better interpretation of the design seen in 3D.

A. Diseño del Open Pit:

For the design of the Open Pit we took the parameters established for each flank where in the western flank we worked the slopes with 35 degrees and the eastern flank with 50 degrees, being the height of the slope 20 m and the berm 5 m. With it we build the string as is observed in figure 11, where it can be lowered in depth 80 m. and extract the mineral. From it we build a DTM to give the representation of the Open Pit. Finished the design of the Open Pit we en-

The evaluation that was made to the western and eastern flanks where slopes were developed with a ratio of 20-5 and an angle of inclination of 35 degrees (western flank) and 50 degrees (eastern flank), where rocks such as lodolites, limolites, arcillolites and a small level of sand were found. For this it will be of vital importance the management of the water table level to be able to lower it. In the development of these slopes we added a minimum load of 20 kn/m² in each one of the berms, with which represents the best stability in the front of exploitation for this open-pit mining.

sambla con la topografía donde represente el posible diseño ya con la extracción de mineral, como se muestra en la figura 12.

XI. CONCLUSIONES

El proyecto minero pretende extraer material de carbón, y material de roca dura del subsuelo en un área de 300 hectáreas, con una profundidad de aproximadamente 80 metros. Lo anterior significa 68.000.000 millones de metros cúbicos de material de estéril para obtener cerca de 11.000.000 millones de toneladas de carbón. En términos absolutos se estima una producción de carbón por el año de 700.000 mil toneladas.

El proyecto minero pretende tener una duración de 15 años en su extracción de mineral a cielo abierto bajo las condiciones presentes del terreno en pro de desarrollar una buena actividad minera y minimizar el impacto ambiental que se generará en el municipio de Rondón con lo cual será trabajado con la comunidad donde se generarán 100 empleos

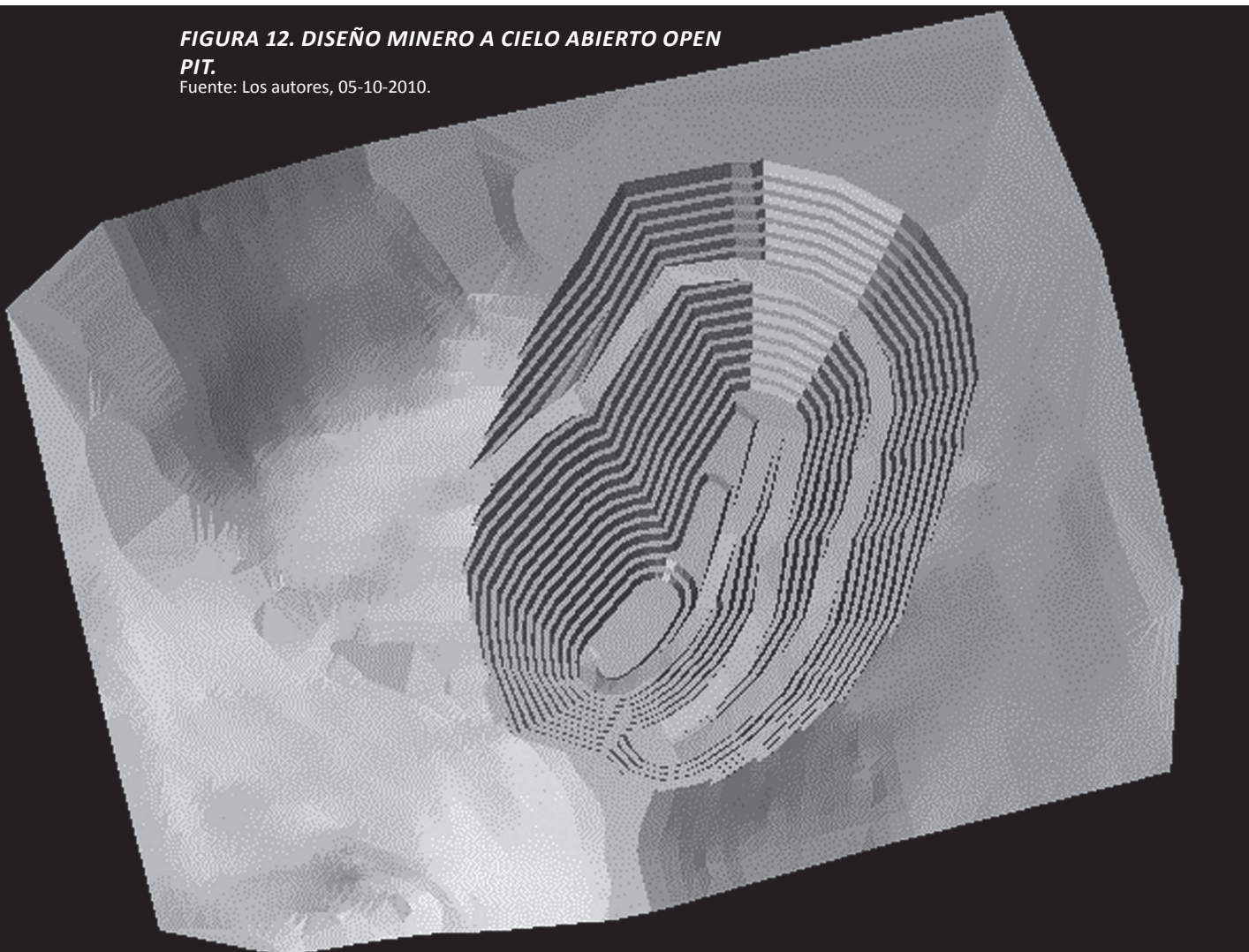
directos para el desarrollo ambiental de esta gran minería.

En el desarrollo e implementación del proyecto se evalúan programas geológicos, geotécnicos y ambientales para un buen desarrollo en la producción e implementación de la mina con lo cual se garantiza que el proyecto tenga una buena vida útil y eficaz en su explotación y comercialización del mineral de carbón.

En la actividad minera se pretende desarrollar un Open Pit, minería a cielo abierto con una relación de taludes 20-5 con ángulo de inclinación de 50 grados en el flanco oriental y 35 grados en el flanco occidental, por lo tanto nos arroja un factor de seguridad mayor a 1.0, proyectando algunos parámetros que nos influirán en el diseño minero como nivel freático y sismicidad, el cual nos brinda un sostenimiento y estabilidad al frente de explotación, este diseño nos permite predecir un buen sostenimiento para la extracción de nuestro mineral en busca de recuperar todo el carbón encontrado en el yacimiento.

FIGURA 12. DISEÑO MINERO A CIELO ABIERTO OPEN PIT.

Fuente: Los autores, 05-10-2010.



Una vez identificados los posibles impactos que provocará la planeación, instalación, operación, recuperación y rehabilitación del proyecto, se formulan las estrategias y mecanismos que contribuyan a prevenir, controlar, mitigar y compensar dichos efectos causados al entorno y al mismo tiempo se contribuye a la protección y funcionalidad del proyecto. El presente proyecto será fuente de desarrollo para el progreso integral de la sociedad

de la región mejorando su calidad de vida, la capacidad sostenible y responsable de los procesos productivos; busca promover la evolución positiva de las personas y de las instituciones sociales dentro del área de interés a través del tiempo, con ello se agrupa la población en su entorno, en busca de mejoramiento socioeconómico, educativo y cultural gracias a un proyecto minero apoyado por la comunidad.

XII. REFERENCIAS

Badillo Juárez y Rodríguez Rico (1977). Mecánica de suelos fundamentos, Editorial limusa, México.

Berry, Peter L. Reid David (1993). Mecánica de suelos, Editorial Mac. Graw Hill, Colombia.

González Vallejo, Luis (2002). Ingeniería geológica, Editorial Pearson educación, Madrid.

Lozano Fabio (2008). Exploración geológica preliminar del yacimiento de carbón en el área de contrato GCF-153 mediante perforaciones en el municipio de Rondón – Boyacá, Editorial Uptc, Sogamoso.

Parra Ximena (1992). Evaluación geotécnica de amenazas por deslizamientos y avalanchas en la localidad de Rondón – Boyacá, Editorial Uptc, Sogamoso.

Renzoni (1981). Geología del cuadrángulo j – 12, Boletín geológico, Editorial ingeominas, Bogotá.

Reyes Ítalo (1998). Estratimetría aplicada, Editorial Uptc, Tunja.