

# VIABILIDAD DE LA EXTRACCIÓN DE CARBONES A CIELO ABIERTO. CASO MINA LA MARGARITA

## OPEN PIT COAL EXPLOTATION VIABILITY. MARGARITA MINE CASE OF STUDY

JULIA VELOZA

*Ing. Minas y Metalurgia, Ing. Producción Carbones la Francia. jutavefa@yahoo.com*

JORGE MOLINA

*Ing. Minas y Metalurgia, Profesor Universidad Nacional. jmmolina@unalmed.edu.co*

HUMBERTO MEJIA

*Ing. Minas y Metalurgia, Gerente Mina La Margarita. jrvg@epm.net.co*

Recibido para revisar 25 de Junio de 2005, aceptado 1 de Noviembre de 2005, versión final 14 de Marzo de 2006

**RESUMEN:** Este artículo analiza la viabilidad, planeamiento y diseño de una nueva explotación a cielo abierto de carbón en la mina La Margarita S.A., con recursos carboníferos superficiales calculados en 440.139,7 ton. Se logró dimensionar, diseñar y evaluar económicamente con tres diferentes métodos de explotación: Cortas, Contorno y Terrazas. Para el método de Cortas el Valor Presente Neto (VPN) fue de 817,5 de Contorno 518,5 y Terrazas 645,2 dado en millones de pesos (\$) colombianos corrientes del 2004 y la Tasa Interna de Retorno (TIR) para Cortas: 78,33%, Contorno 34,0% y Terrazas 38,62. Estos indicadores sirvieron para seleccionar el método de Cortas, el cual fue ajustado con cierto detalle, ya que fue necesario trabajar conjuntamente dos frentes para hacerlo viable. Como valor agregado para el proyecto se hizo una evaluación general ambiental, que es de vital importancia para la explotación. Se dan recomendaciones para minimizar los impactos más importantes tales como la flora, fauna, aire, suelo, aguas. De cada una de ellas se plantean medidas ya sean de mitigación, control o prevención. Se espera que este trabajo sirva como soporte técnico – económico para el desarrollo de una nueva extracción de carbón a cielo abierto dentro de la mina La Margarita.

**PALABRAS CLAVE:** Viabilidad, Explotación, Cielo abierto, Carbón, Mina La Margarita.

**ABSTRACT:** This paper provides an analysis of financial viability, planning and design for the new coal open pit exploitation for “La Margarita” mine, with coal-resources estimated on 440.139,7 ton. Dimension, design and economic evaluation was possible by three exploitation methods: (Multiple bench, Open Cast contour, and Terraces). Net Present Values (NVP) were calculated: \$C 817,5; \$C 518,5 and \$C 645,2 respectively for each method (given in million current Colombian pesos \$. \$C 2380 are equivalent to \$US 1) and Rate of Return (ROR) 78,33%; 34,0% and 38,62% respectively for each method. These indicators served as a parameter to choose the multiple bench method, which should be recalculated because it was necessary to work jointly with two pits and making feasible the project. In addition a general environmental evaluation was done, which is vital for the exploitation. Important impacts on the flower, animals, air, water were found, and measures of control, prevention and mitigation were stated. It is expected that this paper can be useful as a technical-economical support for the development of the open pit exploitation in the Margarita Mine

**KEY WORDS:** Viability, Exploitation, Open pit, Coal, “La Margarita” mine.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde nuestros ancestros la minería en nuestro país ha tenido gran relevancia como labor

dedicada al progreso y sostenimiento económico. Es por ello que cuando se encuentra un prospecto mineral interesante y se quiere explotar, requiere de un estudio de diseño y planeamiento que de una manera adecuada reúna actividades tales como estudios ingenieriles, correlaciones, establecer costos, etc., que deben ser llevadas a feliz termino.

Teniendo en cuenta todos estos parámetros, el propósito de este trabajo es mostrar un ejemplo claro sobre la viabilidad técnico- económica de un proyecto minero, en este caso para el carbón, y dar algunas recomendaciones de procedimiento las cuales faciliten las tareas de diseño, planeamiento y medio ambiente de la mina, minimizando de esta manera pérdidas de tiempo por malas interpretaciones técnico económicas del yacimiento que conllevan a decisiones erróneas.

## 2. GENERALIDADES

En Colombia, La Mina la Margarita se encuentra ubicada al noreste del casco urbano del municipio de Titiribí, en la vereda El Bosque, a 45 Km de Medellín; tiene una extensión de 220.5376,5 ha. A la zona de interés se llega tomando la vía conocida como la Troncal del Café, hasta el corregimiento de Titiribí denominado La Albania, de allí se toma la carretera al casco urbano de dicho municipio por un tramo de 3 Km para desviarse luego a la derecha por la vía que conduce al trapiche de la mina La Margarita (Figura 1).



**Figura 1:** Localización de la mina La Margarita,  
**Figure 1:** Margarita mine localization.

El relieve del área de estudio es principalmente ondulado con pendientes moderadas, especialmente en aquellos sitios donde afloran las rocas sedimentarias y depósitos coluviales. Este relieve contrasta con las fuertes pendientes que se desarrollan hacia el Sur y Occidente del área, en los terrenos con presencia de pórfidos andesíticos y rocas ígneas dioríticas, respectivamente. Las alturas varían entre 940 y 1040 msnm.

El área de estudio se caracteriza por tener una temperatura promedio de 28 °C y una precipitación media de 2.000 mm, que determinan junto con la altura, una zona de vida tipo Bosque Húmedo Premontano (bh – PM). Las especies más comunes son la guadua, el matarratón (utilizado principalmente como cerca viva), el aguacatillo, yarumos, piñones, caña brava, pomos, eucaliptos, etc.

Los terrenos de la zona de interés están dedicados básicamente al pastoreo de ganadería extensiva. También es posible observar algunos pequeños lotes sembrados con productos de pan coger (yuca, plátano, productos de alimento diario).

### 2.1 Geología regional

El área de estudio pertenece a la Formación Amagá, ubicada dentro de la Cuenca de la Sinifaná haciendo parte del Valle Interandino del Cauca. La cual está constituida por las unidades litológicas:

#### 2.1.1 Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central (Pez)

Incluyen todas las rocas metamórficas que constituyen la parte norte de la Cordillera Central. En general se trata de rocas de metamorfismo de grado bajo a grado medio, representadas por pizarras, filitas, esquistos y cuarcitas, entre otras. Estas unidades, en su mayoría, se presentan como un conjunto de cuerpos alargados, siguiendo un tren estructural Norte-Sur dominante en la región. El contacto de las unidades metamórficas con las rocas de la Formación Amagá es generalmente de tipo fallado.

### **2.1.2 Diorita de Pueblito (Kd)**

Se denomina así a un cuerpo ígneo de más de 57 Km de extensión, constituido por una roca holocristalina, fanerítica de grano medio a grueso y con un color gris verdoso. Está compuesto esencialmente por plagioclasa, minerales ferromagnesianos cloritizados y poco cuarzo. En la región se observan hacia el oriente y por fuera del área de estudio, hacia el río Amagá.

### **2.1.3 Formación Amagá (Ts)**

Se ha denominado así a un conjunto de rocas sedimentarias inter-estratificadas de origen continental, las cuales reposan discordantemente sobre rocas ígneas y metamórficas, y que afloran hacia la parte norte de la depresión del Río Cauca, con unas disposiciones regionales Norte-Sur y ubicadas entre los departamentos de Caldas y Antioquia. La edad ha sido catalogada como Oligoceno temprano – Mioceno temprano. Geológicamente, la Formación Amagá se subdivide en tres miembros, así:

#### **2.1.3.1 Miembro Inferior (Tsi)**

Se caracteriza por tener conglomerados polimícticos compuestos por cuarzo, cuarcitas y esquistos silíceos negros. Areniscas intercaladas, grueso-granulares, de colores claros. Su edad es Oligoceno temprano.

#### **2.1.3.2 Miembro Medio (Tsm)**

El Miembro Medio de la Formación Amagá se caracteriza a escala regional por no presentar conglomerados y es el de mayor relevancia en la región por su contenido carbonífero.

#### **2.1.3.3 Miembro Superior (Tss)**

Su principal característica es presentarse como una secuencia monótona de areniscas azulosas, posiblemente debido a la ausencia de material carbonoso y arcillolitas de color gris, masivas, localmente asociadas a pequeñas láminas de yeso. Este Miembro presenta muy esporádicamente mantos de carbón y carece de conglomerados.

## **2.2 Geología Local**

En el área del estudio se distinguen al menos una unidad morfológica característica de las rocas sedimentarias que se inclinan hacia el NE y NW, según los flancos del Sinclinal El Corcovado.

Los procesos geotécnicos predominantes son la reptación, subsidencia por minería antigua, deslizamientos, desplomes y socavación lateral, esta última observada principalmente en las quebradas La Mica, Monte Abajo, Las Mellizas y demás drenajes presentes en la zona de estudio. Las tendencias de estratificación dominantes varían de acuerdo con la ubicación de esta respecto a la estructura geológica presente. Así, en el flanco occidental del Sinclinal El Corcovado las tendencias de la estratificación están dentro del rango N8°-25°E, buzando 15°-35° al Este. En el flanco oriental la estratificación varía de acuerdo con las estructuras de pliegue presentes en el flanco occidental del sinclinal El Corcovado: N20° W/70°W y N15W/65°E en los flancos del pliegue sinclinal y N30W/30°SW y N15W/65° E en el anticlinal. Los mantos de la columna estratigráfica presente son, de piso a techo, los siguientes:

Las principales estructuras dúctiles que se encuentran en el área son:

### **2.2.1 Sinclinal El Corcovado**

Es un sinclinal abierto asimétrico, en el que el flanco occidental tiene una tendencia general de 30°-35° al Este, mientras que el flanco oriental tiene tendencia N20°W con buzamientos generales de 72°-85° al Oeste.

En el flanco oriental del sinclinal es posible observar dos estructuras sinclinal y anticlinal, así:

#### **2.2.1.1 Pliegue sinclinal**

Es un pliegue asimétrico cerrado que esta afectando los mantos inferiores del paquete carbonífero: Su flanco oriental tiene una estructura N10°-20°W buzante 70°-75° al oeste mientras que el flanco occidental tiene una estructura N 15-20 W buzando entre 60° y 65° al oriente. En el eje del sinclinal se observa el afloramiento de los mantos denominados como las Mellizas.

#### **2.2.1.2 Pliegue anticlinal**

Su flanco oriental es el mismo flanco occidental del sinclinal anteriormente descrito (N15°-20°W/ 60°-65°). El flanco oriental tiene una estructura N30°W con buzamientos de 30°-45° al oeste, el cual esta afectando los mantos superiores de la secuencia carbonífera. Se asume un eje fallado en el que el flanco occidental bajó y el oriental

subió, pues en campo se observa los mantos La Grande y la Cenizosa en una distancia inferior a los veinte metros (19.17 m). En el perfil B-B' se observa la estructura geológica presente en el área. (Fig. 2)

### 2.2.2 Fallas

El área esta afectada por varias fallas de carácter regional (las Ánimas, La Cascajosa y La Zarzala) algunas de ellas poniendo en contacto las diferentes unidades litológicas presentes. En el sector del estudio, se infiere una falla de

carácter local que ha sido denominada la falla de La Mica.

**Falla la Mica:** Se ha denominado así a una estructura de falla inferida que estaría afectando el eje del anticlinal observado en el flanco oriental del sinclinal El Corcovado. Se asume como una falla normal que bajó el flanco oriental y subió el flanco occidental, donde el plano de ésta coincide con el eje del anticlinal.

**Tabla 1.** Descripción de los mantos presentes en la columna estratigráfica  
**Table 1.** Coal seam description in the stratigraphic sequence

MANTO	ESPESOR	DISTANCIA ESTRATIGRÁFICA	OBSERVACIONES
Aguja 1	1,8 m	6,2 m	
Aguja 2	1,0 m	1,14 m	
Aguja 3	1,3m	4,75 m	
Aguja 4	1,3m	17,5 m	
La Solapuda	1,9 m	9,4 m	Intercalación de 20 cm
La Grande	1,7 m	25-27 m	Intercalación de 30 cm
Las Mellizas (1)	1,6 m	6,0 – 8,0 m	
Las Mellizas (2)	2,2 m	5,0 – 8,0 m	
La Cenizosa	5,0 m	8,4 – 13,5 m	
La Mejía	1,1 m	10,6 m	
La Regular	1,6 m		

*Fuente: Geología mina La Margarita S.A*

### 3. CÁLCULO DE RECURSOS CARBONÍFEROS

Las características del depósito y las reservas se determinaron por correlación de los mantos aflorados en la carretera que se desarrolló alrededor del la zona de interés y una trinchera en la cresta de la montaña. La correlación se logró por medio de los datos adquiridos en el levantamiento en campo de la columna estratigráfica y de la bibliografía encontrada de la zona. Corroborando así, las distancias estratigráficas entre los mantos de carbón encontrados, sus espesores y los comportamientos geológicos. De igual manera la continuidad de los mantos fue determinada con apiques, excavaciones en los alrededores de la zona de explotación y afloramientos en las

quebradas La Mica y Monte Abajo, las cuales bordean la zona de estudio.

Para efectos de cálculo, no se optó por algún método en especial ya que algunas cosas no aplicaban al caso en particular. Sin embargo, se tuvo en cuenta los parámetros establecidos por Minercol. Se trazaron cuatro cortes en el área de estudio: A-A', B-B', C-C', D-D' (Anexo A), de los cuales se escogió el perfil B-B' por incluir todos los mantos descritos en la columna estratigráfica y estar ubicado hacia el centro del área de estudio. Lo cual facilitó los cálculos para tomar un valor promedio del radio de influencia, que es tomado como la distancia que hay entre corte y corte y que además abarca los límites del área de estudio. Lo que determinó que dicho radio era de 159,27m:

Posterior a determinar el radio de influencia, el perfil B-B' se dividió en una cuadrícula de 20 m x 20 m, lo que permitió el cálculo por cuadrantes, categorizando los mantos y estéril incluidos por cuadrante, a fin de determinar las reservas de mineral de interés (Figura 2).

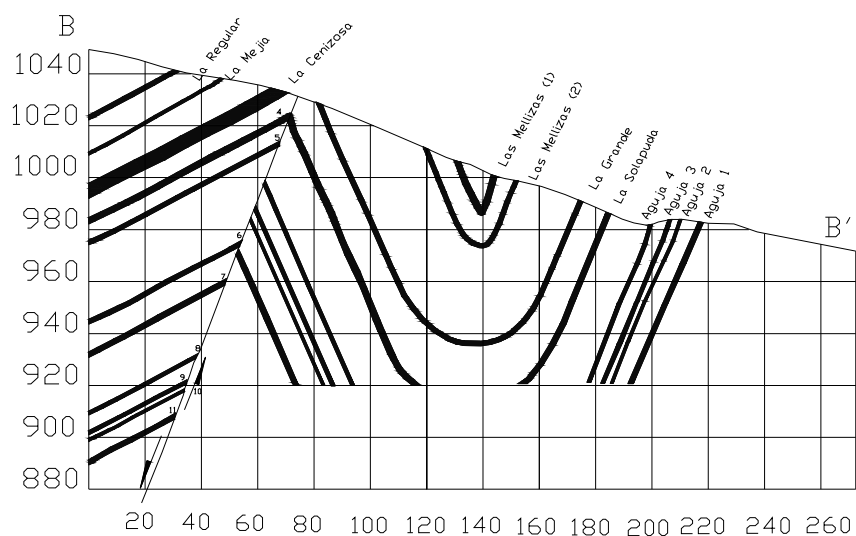
De lo que se obtuvo 440.139,7 ton aproximadas de recurso carbonífero, 2.454.555 m<sup>3</sup> de estéril, obteniendo una razón de descapote de 5,6 m<sup>3</sup>/ton, permitiendo el planteamiento de tres métodos de explotación aplicables al depósito.

#### 4. ASPECTOS MINEROS

La selección de los métodos de explotación se hizo de acuerdo con el que fuera más conveniente tanto topográfica como técnicamente, sin embargo es de gran relevancia tener en cuenta el Radio Límite de la explotación, pues si alguno de los métodos propuesto llega a superarla en su Radio Global ( $R_L < R_G$ ) el proyecto sería inviable, por tanto se calcula  $R_L$  inicialmente:

##### 4.1 Radio Límite

La determinación de  $R_L$  está dada por la relación de estéril a mineral que el precio de venta del mineral será capaz de pagar y está dado por:



**Figura 2.** Perfil B – B' con cuadrícula de 20 m X 20 m utilizada para calcular reservas del depósito.

**Figure 2.** Profile B – B' with 20 m X 20 m grid used to estimate reserves

$$R_L = \frac{\text{Precio de venta} - \text{costos de extracción mineral}}{\text{costo de extracción de estéril}}$$

$$\frac{\$ 2.700.000.000}{36.000 \text{ ton}} = \$75.000 / \text{ton}$$

Los precios de venta relacionados a continuación son datos reales y actuales para 2005 y con los cuales se fija un precio ponderado por tonelada a fin de determinar el precio de venta para la  $R_L$  (tabla 2):

Para calcular el precio de venta tomamos las ganancias anuales y las dividimos por el total de toneladas a extraer anualmente, así:

Acorde con la experiencia en la explotación dentro de la mina, se estima un costo de extracción de \$2.400.000.000 para una producción de 36.000 ton de carbón que son equivalentes a 30.000 m<sup>3</sup> y un movimiento de 168.000 m<sup>3</sup> de estéril, para un total de 198.000 m<sup>3</sup> anuales. Los costos promedio de estéril serán:

$$\frac{\$2.400.000.000}{198.000 \text{ m}^3} = \$ 12.121 / \text{m}^3$$

La ton de carbón equivale a 0.83 m<sup>3</sup> (1 ton / 1,2 ton/m<sup>3</sup>) por ende el precio por tonelada de carbón es:

$$\$12.121/\text{m}^3 * 0.83 \text{ m}^3 = \$10.060/ \text{ton}$$

Por tanto:

$$R_L = \frac{\$75.000/ \text{ton} - \$10.060 / \text{ton}}{\$12.121 / \text{m}^3}$$

$$R_L = \frac{\$64.940/ \text{ton}}{\$12.121/\text{m}^3} = 5,4 \text{ m}^3/ \text{ton}$$

Ésta  $R_L$  determina hasta donde es posible explotar económicamente en profundidad independiente del método de explotación.

Teniendo en cuenta que, se encontraron todos los mantos de la columna estratigráfica en la zona de interés y que de igual manera todos son minables y se tendrán en cuenta para la explotación. Se plantean tres métodos de explotación aplicables a las características del depósito, los cuales fueron: Cortas, Contorno, Terrazas.

**Tabla 2.** Relación de Ingresos por ventas anuales

**Table2.** Annual selling income data

<b>PRODUCTO</b>	<b>(ton/Año)</b>	<b>Precio (\$/ton)</b>	<b>Ventas anuales por producto (\$)</b>
<b>RIPIO</b> < 1½ "	25.200	60.000	1.512.000.000
<b>ALMENDRA</b> 1½ - 2 "	6.480	110.000	712.800.000
<b>GRANULADO</b> 2½ - 4½"	2.880	110.000	316.800.000
<b>COCINA</b> 5 - 6 "	1.440	110.000	158.400.000
<b>Total ton de carbón</b>	<b>36.000</b>	<b>Total ventas (\$)</b>	<b>2.700.000.000</b>

#### 4.2 Método de cortas

Se definirán como explotaciones a cielo abierto tridimensionales (con profundidad importante) con un gran número de bancos descendentes, de masas de rocas o de minerales que por su estructura o buzamiento obligan a una profundización, la cual exigirá la extracción de materiales estériles, tanto interiores como exteriores al depósito, y que tendrán que ser depositados en unos vertederos exteriores al propio hueco, por quedar siempre mineral en el fondo.

#### 4.3 Método de Contorno

Es el método que combina la explotación por descubierta con transferencia de estéril, con una situación a media ladera propia del método de terrazas, aunque con pocos bancos. Se emplea, fundamentalmente en la extracción de carbones, fosfatos o ambientes sedimentarios que afloran

en zonas de colinas sinuosas.

#### 4.4 Método de terrazas

Se aplica a yacimientos en las laderas de las montañas que permitirá un escalonamiento por un banqueo descendente hasta el valle, con una reducción de los problemas de estabilidad de techo y con una más fácil salida de mineral a un nivel inferior, pero con una mayor dificultad de encontrar los vertederos y de efectuar una correcta recuperación del entorno a menos que se programara por medio de una transferencia lateral y se dividiera la secuencia de explotación en módulos muy compactos.

Calculando para cada uno de ellos la razón de descapote global, reservas explotables, costos

directos los cuales son aquellos que dependen de la producción y los indirectos que son aquellos

que no dependen de la producción, indicadores económicos VPN y TIR (tabla 3)

**Tabla 3.** Comparación de métodos de explotación, costos y reservas a fin de seleccionar el mejor método  
**Table 3.** Exploitation methods, costs and reserves comparison in order to select the best method

MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	VPN (millones \$)	TIR (%)	R.D (m <sup>3</sup> /ton)	RESERVAS EXTRAIBLES (ton)	COSTOS DE PRODUCCIÓN (millones \$) /año
CORTAS	PIT 1: - 229,5	-13,93	P1: 5,6	85.945,7	2.198.
	PIT 2: 715,2	807,14	P2: 2,8	11.592,6	1.958.
CONTORNO	518,5	34,00	7,1	327.170,5	2.245.
TERRAZAS	645,2	38,68	7,4	384.615,7	2.259.

Dado que no se podía deducir claramente los indicadores económicos del método de Cortas se replantea el método.

## 5. SELECCIÓN DEL MÉTODO

La selección del método de explotación resume de manera concreta la viabilidad del proyecto, por eso se describe brevemente la forma de explotación en cada uno de los métodos planteados y se resume en la Tabla 4 los respectivos índices económicos para hacer su selección.

### 5.1 Método de Cortas

Este método se replantea empalmado dos pit. Dado que, explotando un solo pit la razón de descapote se calculó en 10,4:1, lo que es significativamente superior respecto a los otros métodos de explotación. El proyecto tendría una vida útil de 5 años en los que se inicia la explotación con el Pit 2 ya que tiene la razón de descapote más baja, 2.8 m<sup>3</sup>/ton lo que nos dará liquidez para el momento en que se empiece a explotar el Pit 1.

El primer año se explotaría el 60% de la producción planeada (36.000 ton) del pit 2, el segundo año el 100%, el tercero 50% de pit 1 y 50% de pit 2, el cuarto 100% de pit 1 y en el último año 90% de Pit 1, lo que arrojó la siguiente información:

### 5.2 Método de Contorno

El proyecto tendría una vida útil de 9 años. El primer año se explotaría el 60% de la producción planeada (36.000 ton) del segundo año al octavo año, se plantea extraer el 100% de la producción planeada y el noveno año el 60% de la producción.

### 5.3 Método de Terrazas

El proyecto tendría una vida útil de 10 años. El primer año se explotaría el 70% de la producción planeada (36.000 ton) del segundo año al décimo año, se plantea extraer el 100% de la producción planeada.

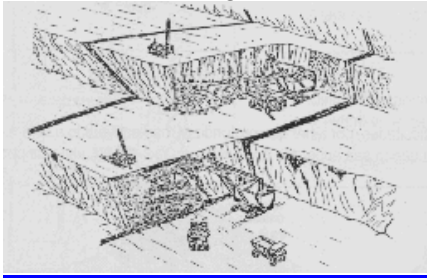
**Tabla 4.** Comparación de indicadores financieros para seleccionar el mejor método de explotación  
**Table 4.** Financial indicators comparison in order to select the best Exploitation methods

MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	VPN (millones \$)	TIR (%)
CORTAS	857,00	78,33
CONTORNO	518,50	34,00
TERRAZAS	645,20	38,68

Como se observa mediante la estrategia de desarrollar un empalme entre los dos pit, los indicadores económicos mejoran ostensiblemente, lo que indica que es un proyecto rentable.

Los parámetros de selección son básicamente el VPN y la TIR, de la tabla 4 podemos deducir que la mejor selección es el método de Cortas por

tener los valores más altos en ambos parámetros, el cual se observa en la figura 3.



**Figura 3.** Esquema general del proceso de explotación por cortas

**Figure 3.** General scheme of exploitation process by multiple bench

**Fuente:** ORTIZ, 1984.

## 6. MÉTODO SELECCIONADO

A pesar que este método tiene el pit 1 con una Razón de descapote superior a la límite, (5,4 m<sup>3</sup>/ton) lo que eventualmente podría ser poco factible económicamente, se decide trabajar con empalme de producción. Lo que trae las siguientes implicaciones:

- Razón de descapote: 4,0 m<sup>3</sup>/ Ton para el año 3.
- Utilización de otra excavadora (Komatsu PC 200 – 7)
- Vida útil del proyecto: 5,5 años

Como se dijo inicialmente, este trabajo es un estudio de viabilidad, que pretende mostrar dentro de los aspectos más relevantes en la zona de interés, la viabilidad del proyecto. Por tal motivo, los aspectos de diseño y evaluación ambiental son tenidos en cuenta de la manera más correcta posible sin entrar en detalles de rigurosidad.

Para el diseño del pit fue necesario conocer algunas características de la roca a nivel geotécnico por lo que se calcula el Índice de calidad de roca RQD mediante tablas, los cuales proporcionaban parámetros de clasificación tales como resistencia de la matriz rocosa la cual lo clasifica como una roca de compresión simple de 50 a 100 Mpa, rugosidad suave, en cuanto a agua se refiere se clasifica como húmedo. De acuerdo con los valores y características encontradas, el depósito se clasifica en roca muy desfavorable

ya que obtenía un puntaje de 29. De acuerdo con la orientación y su corrección pudimos determinar que la roca tiene una calidad muy mala ya que los mantos tienen un buzamiento general entre 45 – 57° con lo cual se puede concluir que en relación con el RMR pertenece a clase IV, donde sus características son: tiempo de mantenimiento y longitud es de 30 minutos y 1 m en vano, su cohesión es < 1 Kp/cm<sup>2</sup>.

Las características principales en cuanto al diseño son:

- Altura de banco: 4,5 m, calculada de acuerdo a la altura de brazo de la maquinaria (Komatsu PC 200-7).
- Ángulo de banco: 60°, determinada teniendo en cuenta el ángulo de reposo del material.
- Ángulo talud final: 23° según ángulo de reposo de estéril
- Profundidad Pit final: pit 1: cota 960, Pit 2: cota 1000, determinada económicamente
- Área botadero 1: 10.529 m<sup>2</sup>
- Área botadero 2: 19.338 m<sup>2</sup>

En cuanto a las vías se tuvo en cuenta la geometría del depósito, el método de explotación aplicado, la maquinaria de acarreo para la cual se determinó una pendiente de 8%; diseñadas con el método de trazado en zig – zag por encima del talud, que será diseñado sobre los foot wall. Se obtuvo que:

- Bermas: 5,4 m
- Ancho de banqueteta: 1,2 m
- Pendiente de pista: 8%
- Distancia horizontal de recorrido de volquetas: 56,25 m
- Longitud de pista en planta: 225 m

El planeamiento fue determinado mediante producción anual por manto, lo nos garantiza la producción durante toda la vida del depósito de manera constante.

Se plantea y estima cualitativa y económicamente los componentes ambientales tales como el biótico, abiótico y social dentro de



diferentes actividades tales como construcción y montaje, arranque, transporte y almacenamiento y cierre de mina. Lo que se conoce como una matriz causa – acción (ver Tabla 5).

La matriz causa-acción de la tabla 5 facilita la proposición de medios de mitigación sobre el ambiente. Estos son:

### 6.1 Medidas para el impacto sobre la atmósfera (Aire)

- A. Riego periódico de la vía principal de acceso y de las vías internas.
- B. Barreras vegetales.

### 6.2 Medidas para el impacto sobre el suelo.

- A. Manejo del descapote.
- B. Manejo de estériles (diseño botadero).

### 6.3 Medidas para el impacto sobre flora y fauna.

Revegetalización de taludes y botadero mediante restauración progresiva. La cual tiene dos alternativas:

Alternativa 1: con semillas.

Alternativa 2: comprando suelo.

Lo que implicaría que para el proyecto se puede tener dos posibles costos:

Alternativa 1:

<b>Costo Total \$ / año</b>	\$220'000.000
-----------------------------	---------------

Alternativa 2:

<b>Costo Total \$/ año</b>	\$370.000.000
----------------------------	---------------

Con estos elementos se debe elaborar un Plan de Manejo Ambiental para la zona de explotación.

## 7. CONCLUSIONES

El Miembro medio, de la Cuenca Carbonífera de Antioquia, se caracteriza por contener mantos de carbón económicamente explotables, que de piso a techo se han denominado:

- Aguja Uno
- Aguja Dos
- Aguja Tres
- Aguja Cuatro
- La Solapuda
- La Grande
- Las Mellizas
- La Cenizosa
- La Mejía
- La Regular

El área de la mina La Margarita está afectada al menos por tres estructuras de pliegue:

- Sinclinal el Corcovado
- Pliegue anticlinal (asociado al flanco oriental del sinclinal El Corcovado), el cual afecta principalmente los mantos superiores de la columna estratigráfica, y
- se observan al menos dos estructuras de falla:
- Falla La Cascajosa que al oriente del área pone en contacto las rocas sedimentarias de La Formación Amagá con rocas ígneas dioríticas (Diorita de Pueblito)
- Falla La Mica que esta afectando localmente el Miembro Medio de la Formación Amagá y el eje anticlinal.

El cálculo de recursos, determinadas por correlación, se hizo mediante levantamiento en campo de la columna estratigráfica, corroborada con bibliografía de la zona y cuatro cortes A – A', B – B', C – C' y D – D', de la zona de interés, escogiendo el corte B – B' por contener todos los mantos correspondientes a la columna estratigráfica de la zona y estar ubicado en cercanías al centro del depósito de la zona de interés. Con un radio de influencia de 159.3 m la cual es una medida ponderada de las distancias entre los cortes, se determinó que dentro del área de interés hay un total de 440.139,7 ton de recursos carboníferos.

**Tabla 5.** Matriz de causa – acción  
**Table 5.** Cause – Action Matrix

IMPACTOS POTENCIALES		ACTIVIDADES		ACTIVIDADES, OBRAS Y TRABAJOS DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO																
				CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE			ARRANQUE			TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE			CIERRE Y ABANDONO							
				Construcción de edificaciones	Construcción de patios de acopio	Adecuación de vías externas e internas	Construcción de líneas de transmisión	Infraestructura de servicios públicos	Perforación y voladura	Remoción de estériles	Extracción de mineral	Cargue	Transporte	Patios de acipio	Disposición de escombros	Frentes mineros	Infraestructuras			
COMPONENTE AMBIENTAL	ABIÓTICO	Cambios en la calidad físico-química del agua																		
		Afectación de la dinámica de aguas superficiales		●	●				●	●				●	●					
		Afectación de la dinámica de aguas subterráneas							●	●										
		Sedimentación de cuerpos de agua																		
		Emisión de material particulado y de gases		●	●				●	●	●	●	●	●	●					
		Generación de ruidos		●	●				●	●	●	●	●	●	●					
		Remoción en masa y pérdida del suelo		●	●				●	●	●		●							
		Activación de procesos erosivos			●				●	●										
		Contaminación del suelo									●	●								
	BIÓTICO	Hundimiento del terreno																		
		Movimiento del macizo rocoso							●	●										
		Remoción y pérdida de cobertura vegetal		●	●				●	●				●						
		Afectación de comunidades faunísticas		●	●				●	●	●	●	●	●	●					
		Generación de expectativas		●	●				●	●	●	●	●	●	●					
		Generación de empleo		●	●				●	●	●	●	●	●	●					
		SOCIAL	Cambios en el uso del suelo		●	●				●	●			●	●					
			Afectación del patrimonio cultural																	
			Modificación del paisaje		●	●				●	●			●	●					
Afectación de la infraestructura pública y privada																				
		Incremento del uso de bienes y servicios		●	●				●	●	●	●		●						

Calculada la cantidad total de recursos carboníferos y el volumen de estéril 2'454.555 m<sup>3</sup> se determina la razón de descapote del depósito la cual es 5,6 m<sup>3</sup>/ ton.

Acorde con la experiencia dentro de la explotación a cielo abierto, desarrollada en este momento por la empresa mina La Margarita S.A., se calcula el precio de m<sup>3</sup> de estéril lo que arrojó un valor de \$12.121, y un precio por tonelada de \$10.060.

Se plantean tres métodos de explotación aplicables a las características del depósito, los cuales fueron: Cortas, Contorno, Terrazas.

**Tabla 6.** Indicadores financieros para seleccionar el mejor método de explotación

**Table 6.** Financial indicators in order to select the best exploitation methods

MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	VPN	TIR
CORTAS	PIT 1: -229,5	-13,93
	PIT 2: 715,2	807,14
CONTORNO	518,5	34,00
TERRAZAS	645,2	38,68

Para cada método se calculó dos indicadores financieros que se presentan en la tabla 6, que sirvieron para seleccionar el mejor método. Por ende fue posible afinar más el diseño del

método de cortas, de tal manera que se garantice producción y continuidad para el proyecto. En la tabla 7 se presentan los principales indicadores técnicos y financieros.

**Tabla 7.** Indicadores técnicos y financieros de los métodos de explotación  
**Table 7.** Exploitation methods technical and financial indicators

MÉTODO	R.D (m <sup>3</sup> /Ton)	RESERVAS EXPLOTABLES (Ton)	COSTOS DE PRODUCCIÓN (millones \$)	VPN (millones \$)	TIR (%)
CORTAS	P1: 5,6	85.945,7	1.544.353.404	817,5	78,33
	P2: 2,8	111.592,6	1.314.673.404		
CONTORNO	7,1	327.170,5	2.245.824.438	518,5	34,00
TERRAZAS	7,4	384.615,7	2.259.621.442	645,2	38,62

Las características principales en cuanto al diseño son:

- Altura de banco: 4,5 m
- Ángulo de banco: 60°
- Ángulo talud final: 23°
- Profundidad pit final: pit 1: cota 960, Pit 2: cota 1000
- Área botadero 1: 10.529,2615 m<sup>2</sup>
- Área botadero 2: 19.338,1031 m<sup>2</sup>

El planeamiento fue determinado por explotación lineal, de tal manera que la producción relacionada es anual por toneladas por manto que se extrae, lo que nos garantiza que la producción durante toda la vida del depósito de manera constante.

Los principales impactos ambientales que afectan la zona son: flora, fauna, disposición de estériles, aguas. Para los cuales se plantean sugerencias tales como reforestación, riego en vías para control de material particulado, barreras vegetales, etc.

## REFERENCIAS

- [1] BUSTILLO, R. Manuel y LÓPEZ, Carlos J. Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras. Madrid: s.n., 1997.
- [2] CASTAÑO, V. Jesús Antonio, Prefactibilidad de explotación a Cielo Abierto en Carbones San Fernando S.A. Medellín: 1988, Trabajo Dirigido de Grado. (Ingeniero de Minas

y Metalurgia); Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.

[3] COLOMBIA. MINERCOL, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, Guía Ambiental, Carbón Minería a Cielo Abierto. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, 2001.

[4] COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Guía Minero Ambiental, Explotación. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, 2004.

[5] DE LA CRUZ, M. Héctor. Mecánica de Rocas aplicada a la Minería metálica subterránea. Ciudad: Editorial, s.f.

[6] ECOCARBON, Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas de Carbón, ECOCARBON. Amagá: Biblioteca Ecocarbon, 1995.

[7] ESCOBAR, Andrés. Informe Geología Cielo Abierto para mina la Margarita S.A. Medellín: 2004.

[8] ESTUPIÑAN S, Luís Alberto y ACOSTA G, Oscar Javier. Cálculo de Factores de Seguridad en Taludes y Canteras. Medellín: 2004, Trabajo Dirigido de Grado. (Ingeniero de Minas y Metalurgia); Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.

- [9] EXPLOTACIONES A CIELO ABIERTO. En: Industria minera. No. 217 (1984); p. 23 – 32.
- [10] GENTRY, Donald W. y O'NEIL, Thomas. Mining Engineering Handbook. Mine Feasibility Studies: Chapter 6.2. Costs and Estimation. Chapter 6.3. Ciudad: Editorial, 1984.
- [11] GONZÁLEZ, Humberto. Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina) del mapa Geológico de Colombia (Informe 1760). Santa fe de Bogotá: INGEOMINAS, 1978.
- [12] GROSSE, Emil. El Terciario Carbonífero de Antioquia. Berlín: J.J. Agustín, Gluckstadt y Hamburg, 1926.
- [13] INGEOMINAS, Memorias del Mapa Geológico de Colombia. Bogotá: INGEOMINAS, 1988.
- [14] LAZARTE, D. José S. Controles en la Estabilidad de Taludes en Minas a Cielo Abierto. En: Minería. No.150 (1978); p. 24 – 31.
- [15] LONDOÑO, M. Néstor Darío y URIBE R, Nelson de Jesús. Diseño de una explotación de Carbón a Cielo Abierto. Medellín: 1991, Trabajo Dirigido de Grado. (Ingeniero de Minas y Metalurgia); Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.
- [16] MAQUINARIA. [En línea]. New York: Cerrejón, s.f. <[www.komatsu.com](http://www.komatsu.com)> [Consulta: Dic. 2004].
- [17] MAQUINARIA. [En línea]. Santiago de Chile: Cerro Alto, s.f. <[www.cerroalto.cl/main.php](http://www.cerroalto.cl/main.php)> [Consulta: Sep. 2004].
- [18] MAQUINARIA. [En línea]. s.p.i. <[www.cat.com](http://www.cat.com)> [Consulta: Ene. 2005].
- [19] MÉTODO DE EXPLOTACIÓN. [En línea]. Guajira: Cerrejón, s.f. <[www.cerrejoncoal.com](http://www.cerrejoncoal.com)> [Consulta: Nov. 2004].
- [20] MÉTODO DE EXPLOTACIÓN. [En línea]. Guajira: Cerrejón, s.f. <[www.cerrejoncoal.com](http://www.cerrejoncoal.com)> [Consulta: Nov. 2004].
- [21]-----, Normatización de Recursos y Reservas de Carbón en Antioquia. Medellín: Muysquin Consultoria, Documento Inédito, 1995. 110 p.
- [22] ORTIZ, U. Fernando Pla. Fundamento de Laboreo de Minas. Ciudad: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Minas, 1994.
- [23] SUÁREZ, D. Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, 1998