

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE PRE-EXPLOTACIÓN DEL SECTOR SUR, ÁREA SUR DE CARICHUANO DE LA MINA PASO DIABLO, CARBONES DEL GUASARE S.A., ESTADO ZULIA.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br Mercado B,  
David Alexander  
Para optar al Título  
de Ingeniero en Minas

Caracas, 2008

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE PRE-EXPLOTACIÓN DEL SECTOR SUR, ÁREA SUR DE CARICHUANO DE LA MINA PASO DIABLO, CARBONES DEL GUASARE S.A., ESTADO ZULIA**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Aleida Arevalo  
CO-TUTOR ACADÉMICO: Prof. Miguel Castillejo

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Mercado B  
David M  
Para optar al Título de Ingeniero en Minas

Caracas, 2008

Caracas, octubre de 2008

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller David Mercado, titulado:

**“Estudio de factibilidad de pre-explotación del Sector Sur, área Sur de Carichuano de La Mina Paso Diablo, Carbones del Guasare S.A., estado Zulia.”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero en Minas, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. José Luis De Abreu  
Jurado

Prof. Aurora Piña  
Jurado

Prof. Aleida Arévalo  
Tutor Académico

Prof. Miguel Castillejo  
Co-Tutor Académico

## DEDICATORIA

*Le dedico este trabajo a:*

*Mi querida madre, por su apoyo incondicional, por su amor y por su fuerza y espíritu inagotable para salir adelante.*

*A mi padre, por su ímpetu de trabajo y carácter para no abandonar las metas,*

*A mis hermanos, por su apoyo en todos los momentos de mi vida, ...*

*... y muy especialmente a Gaby (Gabriela Pérez), compañera en la facultad y fuera de ella, por su amistad incondicional y sincera, persona que siempre me apoyó con su compañía.*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme el equilibrio, la calma y sabiduría para afrontar las adversidades y cumplir mis metas.

A mis padres, por cumplir a cabalidad con la tarea asignada por Díos.

A mis hermanos por el apoyo incondicional y desmedido.

A la Universidad Central de Venezuela por permitirme estar en sus espacios como estudiante y dar tanto para mi desarrollo como profesional.

A Carbones del Guasare S.A., por su apoyo económico y técnico, necesario para mi crecimiento como profesional en la Ingeniería Minera.

A Vrotnesky Cediél, José Gregorio Paredes, Juan Cárdenas, Donald Espinoza, Nestor Rodriguez y Guillermo Olivares, ingenieros de Carbones del Guasare, S.A.; y al personal de perforación y voladura, por su apoyo en el trabajo realizado en la mina.

A mis profesores de la Universidad, mi tutora y muy especialmente al Prof. Miguel Castillejo y a la Prof. Alba Castillo, por el apoyo brindado y los conocimientos transmitidos.

A mis amigas Gabi (Gabriela Pérez), Nohe (Jineth Nohely Paredes), Karla (Karla Briceño), Anaska (Anaska Cordoba), Fiordaliza y María Elena (Madre de Nohe), por su consejos y acompañarme en todo momento.

A mi profesora de física de 9° Ledys Paz y al profesor de la misma materia en 4<sup>to</sup> año Franklin, por su apoyo en mi cumplimiento de mis metas y su dedicación más allá de una materia de bachillerato.

A todos aquellos que, de una u otra manera ayudaron en el logro de ésta meta.

**Mercado B. David A.**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE PRE-EXPLOTACIÓN DEL SECTOR SUR, ÁREA SUR DE CARICHUANO, MINA PASO DIABLO, CARBONES DEL GUASARE S.A., ESTADO ZULIA**

**Tutor Académico: Prof. Aleida Arévalo.**

**Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Geología, Minas y Geofísica,**

**Departamento de minas Año, 2008 pag. (156).**

**Palabras Claves:** Factibilidad, pre-explotación, estudio, carbón, minería, guasare, paso diablo

**Resumen**

La Mina Paso Diablo, ubicada al norte del estado Zulia (Venezuela) se encuentra en la fase de producción en el Sector Norte. Para el año 2009 se espera explotar el Sector Sur, para la cual se estudió la factibilidad una pre-explotar éste, para facilitar la planificación a largo y mediano plazo. Para el estudio se consideró un escenario base de producción de carbón y de capacidad de remoción de estéril, y un escenario de incremento de capacidad de estéril en los años 2013 y 2014 de 27.000 M.mcb en total, adelantando la compra de los equipos de reemplazo entre los años 2012 y 2013. Para ambos casos se realizaron secuencias de explotación, a través del método de los bloques, con las cuales se generaron las topografías finales para el año 2013. Además de la evaluación de secuencia, se realizó una evaluación económica. Los datos de costos fueron tomados de históricos de la Mina Paso Diablo entre 1999 y 2009, utilizándose los costos totales de mina. Como resultado se obtuvo la distribución de volumen por año, con los respectivos costos de operación y la inversión, con lo cual se reportó un incremento de 12.501 M\$ Sobre los costos totales del proyecto, lo que equivale a 1,35 %. La alternativa de incremento de capacidad fue tomada como factible por la comparación de esta sobre los costos del proyecto y en el supuesto de existir otras opciones de explotar área de la mina.

## TABLA DE CONTENIDO

DEICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTO .....	5
TABLA DE CONTENIDO .....	7
ÍNDICE DE FIGURAS .....	12
ÍNDICE DE TABLAS.....	15
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES.....</b>	<b>17</b>
1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2.- JUSTIFICACIÓN.....	19
1.3.- OBJETIVOS.....	20
1.3.1. Objetivo General .....	20
1.3.2. Objetivos Específicos.....	20
1.4.- ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
1.5.- LIMITACIONES.....	21
1.6.- MARCO METODOLÓGICO .....	21
1.6.1.- TIPO DE INVESTIGACIÓN: .....	21
1.6.2.- DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
1.6.3.- POBLACIÓN Y MUESTRA .....	22
1.6.3.- METODOLOGÍA .....	22
1.6.4.- TÉCNICAS, MATERIALES E INSTRUMENTOS .....	23
<b>CAPITULO II: DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO .....</b>	<b>25</b>
2.1.- UBICACIÓN.....	26
2.2.- CICLO DE PRODUCCIÓN.....	27
2.3.- GEOLOGÍA REGIONAL.....	29
2.3.1- Formación Marcelina: TERCIARIO –Paleoceno (tomado de Léxico Estratigráfico).....	29
2.3.2.- Formación Misoa: TERCIARIO –Eoceno (tomado de Léxico Estratigráfico).....	29

2.3.3.- Formación Guasare: Terciario – Paleoceno (tomado de Lécico Estratigráfico).....	30
2.4.- GEOLOGÍA LOCAL.....	30
<b>CAPITULO III: BASES CONCEPTUALES .....</b>	<b>32</b>
3.1.- EVALUACIÓN DE YACIMIENTOS .....	33
3.1.1.- Clasificación de reservas.....	33
3.1.1.1 Clasificación USBM/USGS.....	34
3.1.1.2. Clasificación APEO.....	34
3.1.1.3. Clasificación Australiana IMM/AMIC.....	34
3.1.1.4 Clasificación de reservas para carbón.....	35
3.1.2. Clasificación de yacimiento de acuerdo a su geometria .....	36
3.1.2.1. Por su forma:.....	36
3.1.2.2. Ponencia de Mineral: .....	36
3.1.2.3. Inclinación: .....	37
3.1.2.4.- Profundidad desde la base: .....	37
3.1.2.5. Distribución de leyes: .....	37
3.1.3.- Modelaje de yacimiento .....	38
3.1.3.1 Métodos clásicos.....	39
3.1.3.2. Métodos actuales .....	42
3.1.3.3. Modelo económico.....	48
3.2. CARBÓN MINERAL .....	50
3.2.1. - Definición .....	50
3.2.2.- Formación del carbón mineral .....	52
3.2.3.- Rango de los carbones minerales .....	53
3.2.4. - Principales usos del carbón.....	56
3.3. EXPLOTACIONES A CIELO ABIERTO .....	60
3.3.1.- Operaciones en minería a cielo abierto (MCA) .....	60
3.3.1.1. Operaciones Unitarias .....	61
3.3.1.2. Operaciones Auxiliares .....	61



<b>CAPITULO IV: ANÁLISIS DEL YACIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE OPERACIONES .....</b>	<b>96</b>
4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL LA MINA PASO DIABLO .....	97
4.1.1. descripción del yacimiento .....	97
4.1.1.1.  ÁREA NORTE DE CARICHUANO .....	99
4.1.1.2.  VALLE DEL CAÑO CARICHUANO .....	99
4.1.1.3.  ÁREA SUR DE CARICHUANO .....	100
4.1.2 parámetros de diseño de mina .....	101
4.1.2. Operaciones de carga y acarreo .....	103
4.2. MODELADO DEL YACIMIENTO Y MÉTODO DE CÁLCULO DE RESERVA APLICADO .....	107
4.2.1  Software utilizado.....	107
4.2.2.  Método de los poligonos .....	107
<b>CAPITULO V: CÁLCULOS Y RESULTADOS .....</b>	<b>113</b>
5.1. CONSIDERACIONES BÁSICAS E INICIO DE EXCAVACIÓN .....	114
5.1.1 Inicio de la excavación por el área Norte de Carichuano.....	115
5.1.2 Inicio de la excavación por el valle del caño Carichuano .....	116
5.1.3 inicio de la excavación por el área sur de caño carichuano.....	118
5.2. ESTIMACIÓN DE COSTOS.....	120
5.3. EVALUACIÓN DE PRE-EXPLORACIÓN .....	123
5.3.1. Evaluación de la secuencia en el sector sur, sólo con la capacidad asignada. ....	124
5.3.2 Evaluación de la pre-explotación con incremento de la capacidad de producción de estéril.....	126
3.4.-  COSTOS PRESENTES .....	132
<b>CAPITULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>133</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>136</b>
CONCLUSIONES.....	137

RECOMENDACIONES .....	138
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>139</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>142</b>
ANEXO A: CLASIFICACIÓN DE YACIMIENTOS.....	143
ANEXO B: SECCIONES GEOLÓGICAS .....	146
ANEXO C: PERFILES DE ACARREO .....	152
ANEXO C: UBICACIÓN DE ESCOMBRERAS.....	155
ANEXO C: UBICACIÓN DE ESCOMBRERAS.....	156

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: UBICACIÓN RELATIVA DE LA MINA PASO DIABLO .....	26
A) .....	26
B).....	27
FIGURA 2.2: CICLO DE PRODUCCIÓN DE LA MINA PASO DIABLO.....	28
FIGURA 2.3: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL YACIMIENTO EXPLOTADO EN LA MINA PASO DIABLO .....	31
FIGURA 3.1: CLASIFICACIÓN DE RESERVAS DE LA USBM/USGS .....	34
FIGURA 3.2: CLASIFICACIÓN DE RESERVAS DE ACUERDO A LA AUSTRALIANA IMM/AMIC .....	35
FIGURA 3.3: ETAPAS EN LA ESTIMACIÓN DE RESERVAS EXPLOTABLES	38
FIGURA 3.4: MODELO DE LAS SECCIONES .....	40
FIGURA 3.5: MÉTODO DE LOS TRIÁNGULOS .....	41
FIGURA 3.6: GEOMETRÍA DEL MÉTODO DE LOS POLÍGONOS.....	42
FIGURA 3.7: MODELO DE CAPAS .....	46
FIGURA 3.8: ELEMENTOS DE UN MODELO DE SÓLIDOS.....	47
FIGURA 3.9: PROCESO E FORMACIÓN DEL CARBÓN.....	51
FIGURA 3.10: PERIODOS DE FORMACIÓN DEL CARBÓN .....	53
FIGURA 3.11: LOCALIZACIÓN DE LAS ÁREAS CARBONÍFERAS DE VENEZUELA.....	59
FIGURA 3.12: ESQUEMA GENERAL DE LAS PALAS P&H.....	63
FIGURA 3.13: ESQUEMA GENERAL DE UNA PALA HIDRÁULICA DE CARGA FRONTAL .....	64
FIGURA 3.14: ESQUEMA DE TRABAJO PARA LA RH 200 FRONTAL .....	65
FIGURA 3.15: ESQUEMA DE TRABAJO PARA LA RH 200 RETRO .....	66
FIGURA 3.16: ESQUEMA GENERAL DE UN CARGADOR FRONTAL.....	67
FIGURA 3.17: CAMIONES ROQUEROS CAT 793 .....	69
FIGURA 3.18: TRACTORES CAT D11.....	74
FIGURA 3.19: MOTONIVELADORA 16H CATERPILLAR.....	75

FIGURA 3.20: CAPACIDAD DE INFLUIR EN LOS COSTOS EN LAS FASES DE GESTACIÓN DE UN PROYECTO .....	76
FIGURA 3.21: COMPORTAMIENTO DE FLUJO DE CAJA EN PROYECTO MINERO .....	82
FIGURA 3.22: CÁLCULO DE FLUJO DE CAJA .....	83
FIGURA 4.1: SECTORES DE LA MINA PASO DIABLO .....	98
FIGURA 4.2: MANTOS EXPLOTABLES EN EL SECTOR SUR DE LA MINA PASO DIABLO .....	99
FIGURA 4.3: PERFIL LONGITUDINAL DEL SECTOR SUR .....	100
FIGURA 4.4: PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA MINA PASO DIABLO .....	103
FIGURA 4.5: ESQUEMA GENERAL DE ESTÁNDAR DE LA MINA PASO DIABLO.....	104
FIGURA 4.6: REPORTE GENERADO POR MINCOM IMPORTADO A EXCEL .....	109
FIGURA 5.7: BLOQUES ELABORADOS PARA EL CÁLCULO DE RESERVA Y MODELADO DEL YACIMIENTO.....	110
FIGURA 4.8: FORMATO DE HOJA DE CALCULO UTILIZA EN LA EVALUACIÓN DE SECUENCIAS .....	112
FIGURA 5.1: TOPOGRAFÍA FINAL PARA EL AÑO 2013 APERTURA DE FOSA POR EL ÁREA NORTE DE CARICHUANO.....	117
FIGURA 5.2: PRODUCCIÓN DE CARBÓN PARA LA ALTERNATIVA DE INICIO DE EXCAVACIÓN POR EL ÁREA SUR DE CARICHUANO .....	118
FIGURA 5.3: TOPOGRAFÍA FINAL PARA EL AÑO 2012 EN LA CUAL NO SE CUMPLE CON LA PRODUCCIÓN REQUERIDA DE LA MINA .....	119
FIGURA 5.4: TOPOGRAFÍA FINAL PARA EL AÑO 2013 CONSIDERANDO COMPRA ADELANTADA DE EQUIPOS .....	130
FIGURA 5.5: COMPORTAMIENTO DE LOS COSTOS PARA LAS ALTERNITAS DE PRE-EXPLOTACIÓN.....	131
FIGURA 5.6: RELACIÓN DE REMOCIÓN PARA LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS .....	131

FIGURA B-1: PERFIL DE ACARREO PARA LOS PRIMEROS NIVELES 180 A 150 DEL ÁREA NORTE DE CARICHUANO (PRIMER AÑO DE EXPLOTACIÓN) .....	153
TABLA B-2: PERFILES DE ACARREO PARA HASTA EL NIVEL 75 (SEGUNDO AÑO) .....	154
FIGURA B-3: PERFIL DE ACARREO PARA NIVELES INFERIORES AL 75 Y 240 (TERCER AÑO DE EXPLOTACIÓN).....	155

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1: CLASIFICACIÓN DE LOS CARBONES DE ACUERDO A SU PODER CALORÍFICO.....	54
TABLA 3.2: ESPECIFICACIONES DE LA PALA RH 200 -FRONTAL.....	65
TABLA 3.3: CARACTERÍSTICAS DE LOS CARGADORES FRONTALES.....	67
TABLA 3.4: ESPECIFICACIONES DE LOS CAMIONES CAT 793.....	69
TABLA 3.5: ESPECIFICACIONES DEL TRACTOR DE CADENAS.....	74
TABLA 3.6: ESPECIFICACIONES DE LA MOTONIVELADORA 16H CATERPILLAR.....	75
TABLA 4.1: DISTRIBUCIÓN DE VOLÚMENES POR ÁREA .....	101
TABLA 4.2: PARÁMETROS DE DISEÑO DEL LA MINA PASO DIABLO .....	102
TABLA 4.3. FLOTA ACTUAL DE LA MINA PASO DIABLO.....	106
TABLA 4.4: CAPACIDAD UTILIZADA EN CÁLCULO PARA LA MINA PASO DIABLO.....	106
TABLA 4.5: PRODUCTIVIDADES DE ESTÉRIL DE LA MINA PASO DIABLO .....	107
TABLA 5.1: CAPACIDAD DE LA MINA PASO DIABLO POR PERÍODO .....	115
TABLA 5.2: CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE ESTÉRIL DE LA MINA PASO DIABLO.....	115
TABLA 5.3: REQUERIMIENTOS DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN DE LA MINA PASO DIABLO (M.TON) .....	115
TABLA 5.4: COSTOS EN \$/H PARA LAS PALAS ECLÉCTICAS Y CAMIONES CAT 793.....	120
TABLA 5.5: COSTOS EN \$/H PARA EL AÑO 2002 DE PALAS ELÉCTRICAS Y TRACTORES D11R.....	121
TABLA 6.6: COSTOS POR ACTIVIDAD EN LA MINA PASO DIABLO PARA EL AÑO 2000 .....	121
TABLA 5.7: HISTÓRICO DE COSTOS DE LA MINA PASO DIABLO.....	121

TABLA 5.8: RESUMEN DE HISTÓRICOS ANUALES DE INFLACIÓN Y DÓLAR.....	122
TABLA 5.8: COSTOS ESTIMADOS DE LA MINA PASO DIABLO PARA EL AÑO 2008.....	123
TABLA 5.9: COSTOS ESTIMADOS UTILIZADO EN CÁLCULO DE COSTOS DE MINA.....	123
TABLA 5.10: DISTRIBUCIÓN DE VOLÚMENES PARA LA EVALUACIÓN CON LA CAPACIDAD ASIGNADA AL SECTOR SUR.....	124
TABLA 5.11: COSTOS ESTIMADOS (M\$) PARA LA EVALUACIÓN CON LA CAPACIDAD ASIGNADA AL SUR.....	125
TABLA 5.13: CRONOGRAMA DE COMPRA DE EQUIPOS DE REEMPLAZO.....	127
TABLA 5.14: VIDA ÚTIL DE LAS PALAS Y CAMIONES DE LA MINA PASO DIABLO.....	127
TABLA 5.15: DISTRIBUCIÓN DE VOLÚMENES PARA EL INCREMENTO DE CAPACIDAD.....	128
TABLA 5.16: COSTOS ESTIMADOS (M\$) PARA EL INCREMENTO DE CAPACIDAD.....	129
TABLA 5.12: COSTOS TOTALES PRESENTES PARA LAS ALTERNATIVAS EVALUADAS.....	132

# **CAPITULO I: GENERALIDADES**

## **1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los depósitos minerales generalmente están divididos en mineral útil y estéril. Dependiendo del tipo del tipo de yacimientos minerales, las proporciones en las cuales se encuentran éstos componentes pueden ser variadas. En el caso de los aquellos asociados a rocas sedimentarias, en particular para el carbón, las relaciones de sobre carga puede ser muy elevadas incluso mayores de 20:1 y no comportarse de manera uniforme.

Las distribuciones irregulares de relación de remoción dificultan el cumplimiento de la producción en el tiempo, es decir, al tener periodos con grandes volúmenes de material estéril y poco mineral; o por el contrario, poco estéril y gran cantidad de mineral que no puede ser comercializado en dicho periodo y debe ser depositado en pilas de remanejo, lo cual implica un costo adicional.

Por otro lado, desde el punto de vista de cálculo de reservas minerales, la relación de remoción influye de forma directa y decisiva (a demás de las posibilidades técnicas que el yacimiento en sí permita) en el volumen de mineral que puede ser económicamente explotable. De esta manera, para elevadas relaciones de remoción y baja capacidad de producción, el yacimiento se vuelve poco atractivo económicamente. Bajas relaciones de sobre carga y elevada capacidad productiva, la extracción del mineral resulta rentable.

La empresa Carbones del Guasare S.A., en sus inicios realizo la extracción del carbón de forma simultánea con el desarrollo (o remoción del recubrimiento). En estos casos los requerimientos de producción forzaban a desarrollar aquellas zonas en las cuales la relación de remoción fuera baja, dejando gran cantidad de mineral en aquellas con relaciones de remoción elevadas, disminuyendo de esta manera la reserva económicamente extraíble y obteniendo una geometría de la mina con grandes desniveles que complican en gran medida las operaciones.

Para el 2010 se espera explotar el **Sector Sur** de la Mina Paso Diablo. Esta será una explotación de carbón a cielo abierto la cual, debido a condiciones propias de la formación, posee un elevado volumen de material estéril a remover antes de extraer los mantos más superficiales, lo cual le confiere una distribución de relación de remoción alta para los primeros niveles y baja para los últimos, aunque en promedio es la aceptable bajo las condiciones actuales de precios y costos.

A la luz de esta situación, se desea evaluar la factibilidad económica de la inversión en un pre-desarrollo en la Mina Sur, determinando una configuración geométrica que permita desarrollar en el tiempo una explotación con una relación de remoción baja y constante en el resto del yacimiento aprovechando al máximo las reservas de mineral. Esta tesis incluye la determinación de la secuencia de exploración óptima a determinados periodos, basada en un diseño final de mina (*pit Shell*) base y la evaluación económica de la cantidad de equipos requeridos para lograr tal fin, en caso de que sea necesario.

## **1.2.- JUSTIFICACIÓN**

La disminución de las reservas mineras en zonas ya explotadas debido al abandono de algunas partes de los depósitos en las cuales, las elevadas relaciones de remoción hace no viable la explotación, justificando la necesidad de optimizar las secuencias que permitan a un aumento de éstas y que sea factible técnica y económicamente.

La realización de esta investigación establecerá las bases técnicas para la toma de decisión en cuanto a inversión a corto y mediano plazo en la adquisición de equipos, en caso del pre-explotar el Sector Sur y otras áreas sea factible.

Durante el estudio es necesaria la evaluación del minado del depósito. La Gerencia de Planificación y la Gerencia de Producción resultarán beneficiadas al conocer de forma más precisa los posibles desarrollos y costos asociados a éstos, permitiendo organizar mejor a corto y mediano plazo el avance de la mina.

En general, este trabajo permitirá una mejor planificación a largo plazo con lo cual se optimiza la producción de la mina e incide de forma directa en los costos de producción y en el capital.

### **1.3.- OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Estudiar de factibilidad de pre-explotar del Sector Sur, área Sur de Carichuano de la Mina Paso Diablo, Carbones del Guasare S.A., estado Zulia.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar las operación y productividades de los equipos actuales de carga, acarreo y auxiliares de Mina Paso Diablo.
- Analizar el modelo geológico actual de la zona de estudio.
- Determinar de secuencias de explotación óptima.
- Estimar de equipo de carga, acarreo y auxiliares.
- Calcular de la inversión en función de los equipos.
- Definir de factibilidad técnico-económica.

### **1.4.- ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

Basado en un diseño del talud final, la investigación determinará de forma estimada la configuración de la mina antes de extraer la primera tonelada de carbón del área Sur de Carichuano, cantidad de equipo requeridos para tal fin, estimación de la inversión que implica la adquisición de éstos (en caso de que sea necesario) y

tiempo invertido en la remoción del estéril; utilizando para esto registros de productividades y costos de la Mina Paso Diablo.

### **1.5.- LIMITACIONES**

Las limitaciones de la investigación fueron principalmente, la información actualizada de costos.

### **1.6.- MARCO METODOLÓGICO**

#### **1.6.1.- TIPO DE INVESTIGACIÓN:**

La investigación realizada es de explicativa – prospectiva. Explicativa, ya que no solo se describe el yacimiento para la realización de cálculos de secuencia de explotación, sino que plantean dos (2) alternativas: un plan base, establecido a unas capacidades actuales de la Mina Paso Diablo, y una alternativa producto de la compra adelantada de equipos de reemplazo. Luego, dichas alternativas son explicadas para justificar la toma de decisión (conclusión).

Es del tipo prospectiva por que es un estudio a largo plazo que aún no se ha iniciado, ubicado entre el año 2009 y 2022.

#### **1.6.2.- DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

Es del tipo experimental, ya que se manipula la pre-explotación como variable independiente a través de sus distintas dimensiones, por medio de la secuencia de explotación y capacidades de remoción de estéril de la mina, para evaluar su influencia sobre la factibilidad de inversión.

### **1.6.3.- POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población de estudio esta constituida por la mina paso diablo, la cual se encuentra limitada por el Río Guasare al norte y el Caño Norte al sur. La población esta representada por el Sector Sur de dicha mina, el cual se esta limitado por el caño Paso Diablo y el Caño Norte.

### **1.6.3.- METODOLOGÍA**

Para lograr los objetivos planteados, se llevó a cabo la siguiente metodología:

En primer lugar, se realizó una recopilación bibliográfica de los aspectos de explotación, económicos y de inversión para los proyectos mineros, principalmente aquellos relacionados con la metodología de evaluación de secuencia.

En segundo, se realizó un recorrido por el área de mina actual, para analizar las operaciones de los equipos en mina, enfocando la forma de operación en las palas eléctricas e hidráulicas y los camiones CAT 793, la geometría de ésta y la forma de avance.

Tercero, se realizó un entrenamiento en el software minero MINCON para poder utilizar la herramienta con fines de evaluación. Este entrenamiento tuvo una duración de una 1 semana, tiempo en cual manejó la creación de proyectos, las herramientas básicas de edición, cálculos de reserva y triangulaciones, y demás herramientas y procedimientos para el desarrollo de la tesis.

Cuarto, se ubicaron los planos actualizados de topografía, diseño final de mina y el modelo geológico del Sector Sur, elaborados por la superintendencia de planificación a largo plazo de Carbones del Guasare, S.A.; para ser analizados en funcion de las necesidades del proyecto.

Quinto, se realizaron secciones geológicas: siete (7) en sentido perpendicular al rumbo de las capas y uno en dirección longitudinal de la traza de la mina. Estas secciones fueron analizadas, para identificar en el yacimiento las áreas de altos volúmenes de estéril.

Sexto, al estar reconocido el depósito, se procedió a modelarlo mediante bloques en 3D. Los detalles de la elaboración de los bloques se presentan en capítulo IV.

Octavo, se elaboraron las secuencias de explotación, considerando los aspectos de cumplimiento de las metas de explotación y criterios geométricos de avance de la mina.

Noveno, se recolectó la data de costos asociada a los equipos de carga, acarreo, tractores y motoniveladoras, así como los costos globales de mina. Esta información fue resumida y analizada, para luego seleccionar la más confiable de acuerdo a los alcances de la investigación. Posteriormente, se calcularon los costos a utilizar para las alternativas de inversión.

Por último, se resumió toda la información: planos, tablas, gráfica entre otros, en un cuerpo de texto.

#### **1.6.4.- TÉCNICAS, MATERIALES E INSTRUMENTOS**

Debido a que el estudio realizado es a largo plazo, como instrumentos se utilizaron principalmente dos (2) herramientas informáticas: software de modelaje minero MINCOM y hojas de cálculos en Microsoft Excel. La primera es una herramienta que permite modelar el yacimiento, realizar secciones geológicas, evaluaciones de reserva, generación de planos y visualizaciones en 3D. La segunda, permite realizar las evaluaciones de secuencia, mediante una base de datos generada en evaluaciones en MINCOM e importadas a dicha hoja de cálculo. Además, en todos los cálculos económicos y demás necesarios fueron elaborados en esta misma hoja.

Cabe destacar que la mayor parte de la información se encuentra en registros digitales, e históricos de producción y costos manejados por la empresa, para usos de planificación.

Adicionalmente, para la corroboración de datos suministrados para su extrapolación, se realizaron visitas a las áreas actuales de mina.

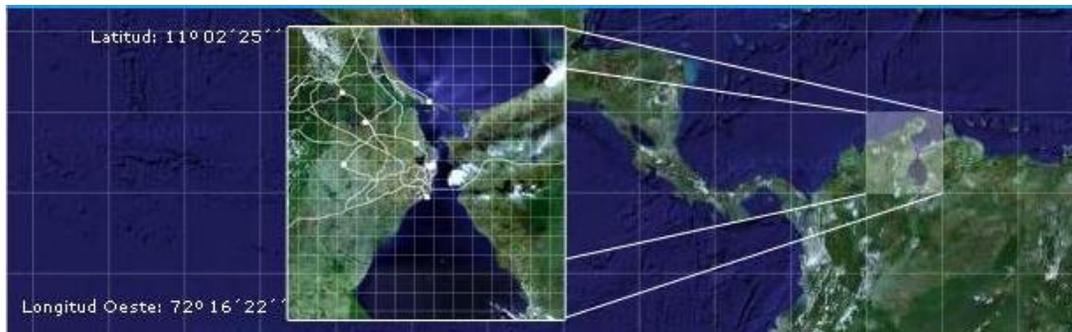
## **CAPITULO II: DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO**

## 2.1.- UBICACIÓN

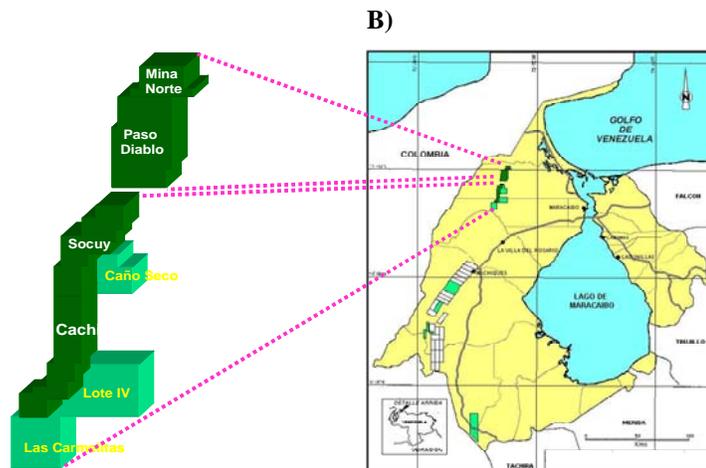
La Mina Paso Diablo se encuentra ubicada en la parte nor - oeste del estado Zulia (figuras 2.1-A y 2.1-B) específicamente en el Municipio Mara a 110 Km de la ciudad de Maracaibo. El acceso a la misma se realiza a través de una carretera pavimentada Maracaibo - Carrasquero (la cual es utilizada también para trasportar el carbón de la mina al puerto de embarque en Santa Cruz de Mara), Maracaibo – La Mireya y Maracaibo - Campamento General Wenceslao Briceño Méndez, que conducen hasta las instalaciones de la mina.

**FIGURA 2.1: UBICACIÓN RELATIVA DE LA MINA PASO DIABLO**

A)



Fuente: página Web de Carbones del Guasare S.A., [http: www.guasare.com](http://www.guasare.com), Febrero (2007)



*Fuente: Mina Paso Diablo, febrero 2007*

## 2.2.- CICLO DE PRODUCCIÓN

El ciclo completo de las operaciones se inicia con el desmonte en las nuevas áreas de explotación y culmina con la puesta del carbón en los barcos que lo envían a Europa, Estados Unidos ó Suramérica (figura 2.2).

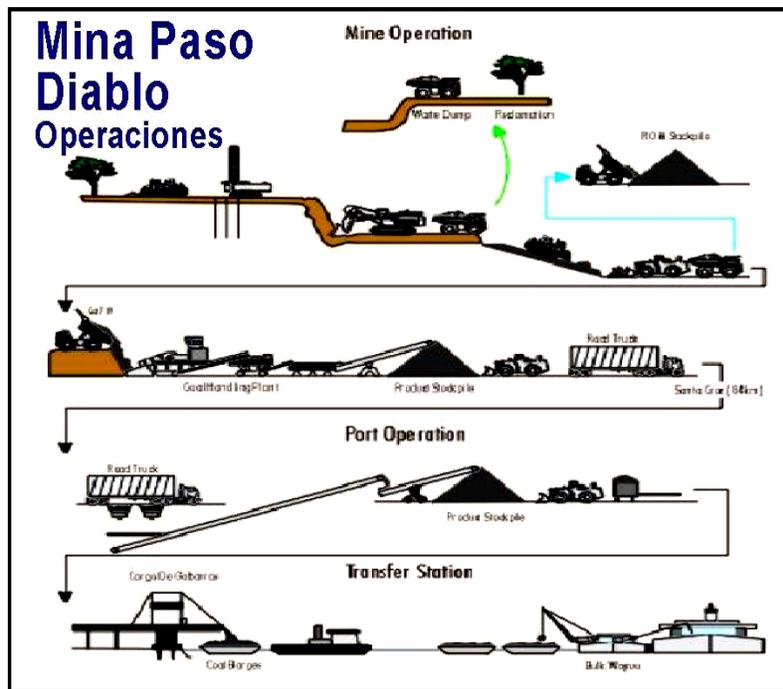
Una vez ubicada la zona de explotación, se inicia la remoción de la capa vegetal para tener acceso a la roca estéril que recubre el carbón. Ésta es almacenada para ser reutilizada en la fase de reforestación. Luego, por medio de tractor, se preparan las vías y terrazas para el acceso de las perforadoras, las cuales realizarán el patrón de perforación para su consecutiva carga de explosivo. Al detonarse las cargas, se obtiene roca fragmentada con un tamaño adecuado para ser cargada con palas eléctricas, hidráulicas y retroexcavadoras. Al remover el material estéril, el carbón se encuentra descubierto.

El carbón descubierto es escarificado a un tamaño manejable para un cargador frontal. Como se puede observar, se obtienen dos (2) materiales de los frentes de explotación: el estéril, que es enviado en camiones roqueros a la escombrera; y el carbón que se envía a una planta de trituración ó a pilas de remanejo (éstas últimas en caso de exceder la capacidad de la trituradora o no tener la calidad requerida para el momento).

Una vez triturado, el carbón es enviado por cintas transportadoras a tres (3) pilas radiales de almacenamiento de acuerdo a sus calidades y granulometrías. Al realizar las mezclas necesarias y determinar que tipo de carbón se enviará al puerto, se carga en camiones (de transporte externo) y es llevado a través de la carretera Maracaibo - Carrasquero hasta el puerto de embarque en Santa Cruz de Mara. En éste último se descarga de manera lateral en tolvas para luego ser apilado.

De la pila de almacenamiento pasa a una cinta transportadora que descarga en una gabarra que luego, lo trasporta al punto de anclaje de los barcos, los carga y el carbón es enviado a los clientes.

**FIGURA 2.2: CICLO DE PRODUCCIÓN DE LA MINA PASO DIABLO**



Fuente: Mina Paso Diablo, agosto 2007

## **2.3.- GEOLOGÍA REGIONAL**

Las concesiones otorgadas para la explotación de carbón, se encuentran geológicamente localizadas en tres (3) formaciones: *Formación Marcelina*, *Formación Misoa* y *Formación Guasare*.

### **2.3.1- FORMACIÓN MARCELINA: TERCIARIO –PALEOCENO (TOMADO DE LÉXICO ESTRATIGRÁFICO)**

La Formación Marcelina consiste en intercalación de areniscas, lutitas, lutitas arenosas y capas de carbón. En la base de la unidad, las areniscas son macizas, gruesas, de color gris claro y localmente calcáreas. Más arriba se hacen delgadas, están intercaladas con lutitas color gris y presentan planos de estratificación con mica y carbón.

El carbón es de tipo sub-bituminoso a bituminoso, y se presenta principalmente hacia la base de la formación, en capas de 2 hasta 10 m de espesor.

En la sección tipo, la Formación Marcelina tiene alrededor de 610 m de espesor. En el río Socuy, el espesor es de unos 550 m. Key indica 265 m en el subsuelo del campo Alturitas. Ruíz muestra un espesor de 550 m en sondeos de la mina Paso Diablo, al sur de la localidad tipo. En el campo Alpuf, al noreste de Machiques, Perijá, la formación tiene un espesor promedio de 137 m

### **2.3.2.- FORMACIÓN MISOA: TERCIARIO –EOCENO (TOMADO DE LÉXICO ESTRATIGRÁFICO)**

Las areniscas presentan tamaños variados de grano, pero en general, son de grano fino y gradan a limolitas y luego a lutitas. Son generalmente auras, micáceas, frecuentemente carbonáceas y generalmente bien estratificadas a macizas. Se presentan en unidades compuestas, con espesores normales de varias decenas de metros, las cuales localmente se agregan para totalizar espesores de centenares de metros, formando serranías pronunciadas.

Las lutitas tienen composición variable, casi siempre son micáceas, arenosas a limolíticas, con abundantes estratos delgados, estrías y películas de arena, limo y material carbonáceo (incluyendo restos de hojas), que les den un aspecto laminado con estructura "flaser". Se presentan tanto en forma de intercalaciones menores en las unidades compuestas de arenisca-limolita, como en secuencias que alcanzan varios centenares de metros de espesor, entre complejos de areniscas.

Las calizas son escasas y se presentan en la base de la formación, son de color gris a gris azulado, duras, con espesores de menos de un metro a varios metros, arenosas, gradando a areniscas calcáreas.

### **2.3.3.- FORMACIÓN GUASARE: TERCIARIO – PALEOCENO (TOMADO DE LÉXICO ESTRATIGRÁFICO)**

En los afloramientos de los ríos Guasare, Socuy y Cachirí, la formación consiste en calizas pardo grisáceo a gris amarillento o gris, generalmente glauconíticas. Algunas capas son ricas en restos de Ostrea y Venezuela. Intercaladas con las calizas, se presentan lutitas y limolitas grises a parduscas y areniscas grises, calcáreas y glauconíticas. En el subsuelo del campo Alturitas, Key señala que la litología consiste principalmente en lutitas gris oscuro, arenosas, macizas o laminadas, areniscas marrón claro, calcáreas y glauconíticas, limolitas y arcilitas grises con esférulas de limolita, y en menor proporción caliza arenosa gris y algunas capas muy delgadas de carbón: esta litología es representativa de la transición lateral, a los sedimentos deltaicos del Grupo Orocué.

En cuanto al espesor, es de unos 120 m (incompleto). En el río Cachirí es de 390 m, y en el río Socuy, de 370 m. En el subsuelo de Alturitas, Key menciona de 165 a 193 m.

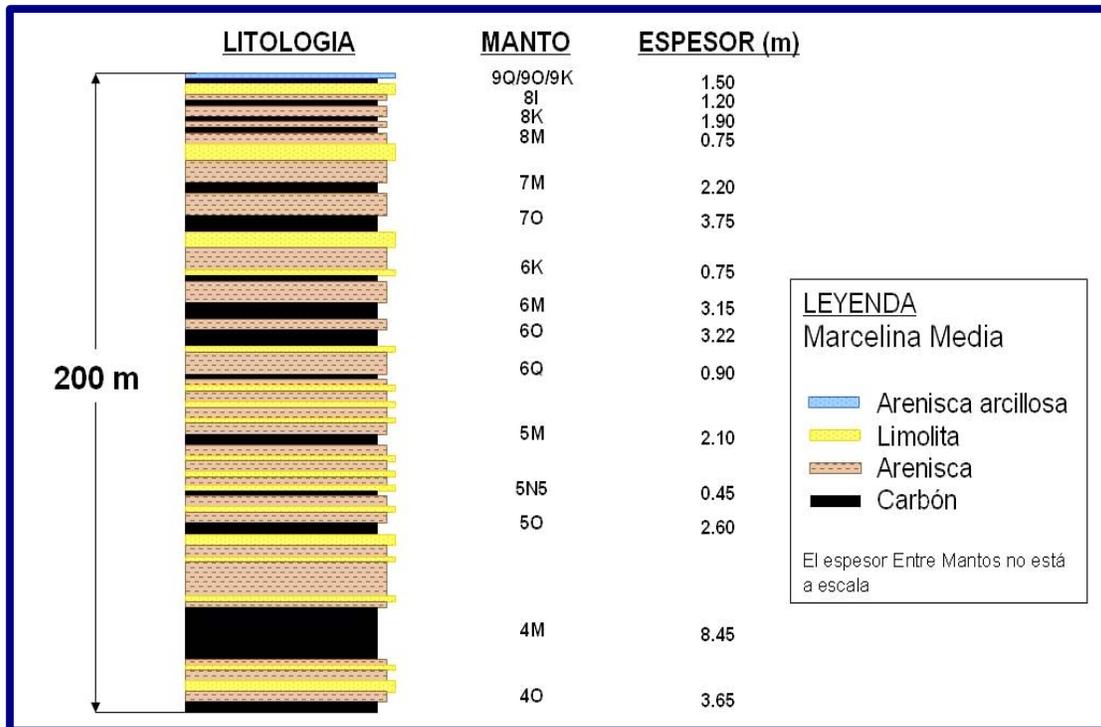
### **2.4.- GEOLOGÍA LOCAL**

En la zona de explotación actual correspondiente al área Nor-Oeste, los Aceitunos y Transición. El área futura a explotar se encuentra el grupo de los mantos del uno (1) al

nueve (9). Estos a su vez presentan variación por cada número dependiendo de la continuidad de las capas. La figura 2.3 muestra los espesores de mantos de carbón correspondiente al grupo de los superiores (cuyos extremos son el 4Φ y el 9K ).

Los mantos inferiores, que corresponden a los grupos que van del 3 al 1, no son contemplados dentro de la explotación. Estos afloran hacia el oeste del área de concesión.

**FIGURA 2.3: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL YACIMIENTO EXPLOTADO EN LA MINA PASO DIABLO**



Fuente: Mina Paso Diablo, agosto 2008

## **CAPITULO III: BASES CONCEPTUALES**

### 3.1.- EVALUACIÓN DE YACIMIENTOS

Previo a cualquier explotación minera, se encuentra la evaluación del depósito. Esta información sirve como base para la toma de decisión de la explotación, el diseño de la mina, su calidad para la venta, las reservas totales del yacimiento, secuencias de explotación, entre otros aspectos de interés.

En los siguientes párrafos se presenta la clasificación de los yacimientos, así como también la metodología básica para el cálculo de reserva. Debido a que el método de los bloques mineros y los perfiles son los más utilizados, se profundizará sobre éstos.

#### 3.1.1.- CLASIFICACIÓN DE RESERVAS

La clasificación de las “reservas”, o discriminar entre un “depósito” o un “yacimiento” es un asunto que varios investigadores han tratado de descifrar. Varios son los factores que influyen en estas clasificaciones e incluye: tipo de mineral, morfología del yacimiento, calidad, precisión de estudios geológicos, precio con el cual se cotiza en el mercado, tecnologías, entre otros que de una u otra manera inciden el e valor del yacimiento.

Si bien, las características del depósito, concentración de especies minerales y demás características puede ser constante en muchos años (sin considerar procesos de erosión, tectónica, etc.); las condiciones de mercado y las tecnologías de extracción y beneficio de mineral no lo son. Es por esto que, lo que hoy puede ser sólo un depósito mineral, en algunos años se puede convertir en reserva y viceversa.

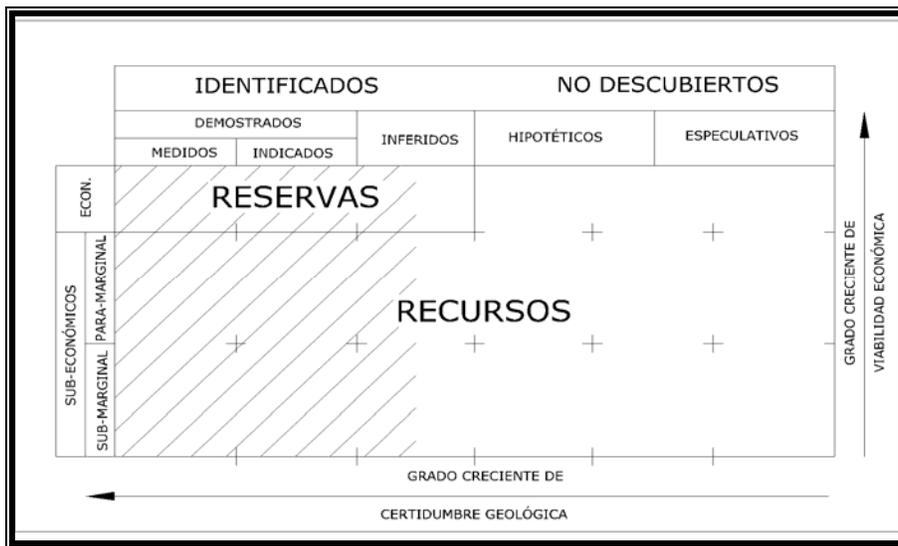
En base a lo anterior, se puede decir que **reserva** es aquel mineral, que bajo condiciones de concentración mineral, morfología, tecnologías de explotación y beneficio, y precio del mercado, es económicamente rentable su extracción. Por otro lado, los **recursos** son todos aquellos minerales que se encuentran en el subsuelo.

A continuación se presenta una serie de clasificaciones de reserva:

### 3.1.1.1 Clasificación USBM/USGS

Se considera una de las clasificaciones más completas. Se basada en la propuesta por McKelvey en 1972 (ANNELS, 1991) y considera dos (2) factores principales: el conocimiento geológico del depósito y la factibilidad económica. En la figura 3.1 se muestra las distintas categorías y los aspectos considerados.

**FIGURA 3.1: CLASIFICACIÓN DE RESERVAS DE LA USBM/USGS**



Fuente: Tomado del Mineral Deposit Evaluation. Department of Geology, 1991.

### 3.1.1.2. Clasificación APEO

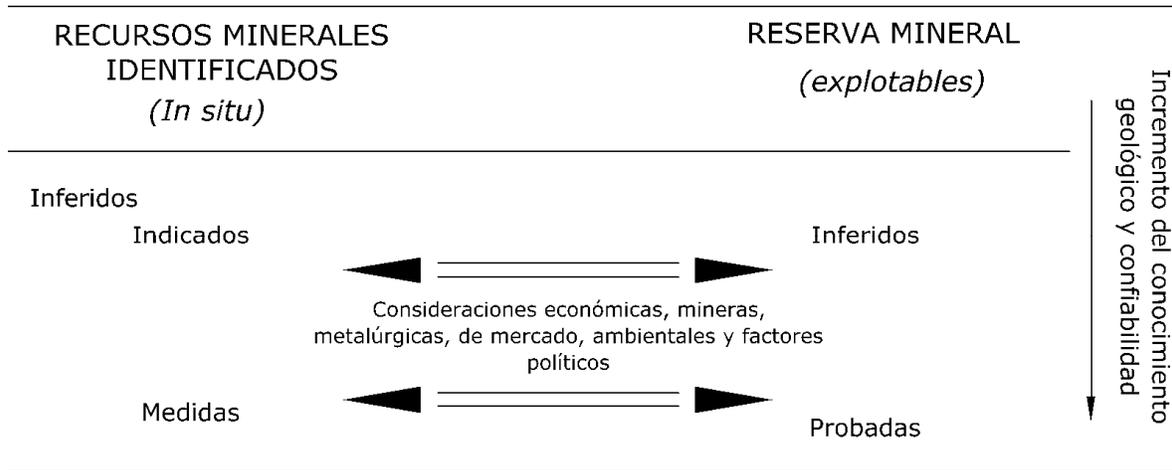
De sus siglas en ingles la *Association of Professional Engineers of Province of Notario (APEO)* propone una simplificación de recursos y reservas estableciendo conceptos básicos. En el ANEXO A se presentan a detalle estos conceptos.

### 3.1.1.3. Clasificación Australiana IMM/AMIC

La *Australasian of Professional Institution of Mining and Matallurgy (AIMM)* y *Australian Mining Industry Council (AMIC)* proponen un esquema simplificado de

recursos y reservas como se muestra en la figura 3.2, restringiendo más los posibles campos, con los cual, un depósito lo mantiene en recurso hasta que no se realicen los estudios necesarios.

**FIGURA 3.2: CLASIFICACIÓN DE RESERVAS DE ACUERDO A LA AUSTRALIANA IMM/AMIC**



Fente: Tomado del Mineral Deposit Evaluation. Department of Geology, 1991.

### 3.1.1.4 Clasificación de reservas para carbón

Esta clasificación es basada en *Code for Calculating Resource and Reserves* por el comité *Coalfield Geology of New South* y a sido aceptada por por la *Australian Minerals and Energy Council (AMEC)*. Para esta clasificación se establecen las siguientes definiciones:

1. **Los recursos de carbón** son todos aquellos potencialmente utilizables para el momento y son definidos en un área, basados en una serie de puntos de observación y extrapolación de dichos puntos. El carbón potencialmente utilizable es aquel que puede venderse directamente de mina o que puede ser procesado para darle la calidad necesaria para ser comercializado en el momento o con tecnologías futuras.

2. **Las reservas de carbón** son aquellas partes de los recursos de carbón con suficiente información de detalle o que permita de in Studio y planificación de mina que permita extraerlo.
3. **Un punto de observación** es una intersección, una localización conocida, un afloramiento de un estrato de carbón, que proveen suficiente información por uno o más de los siguientes métodos:
  - a. Observación, medición y testificación de superficies o estratos expuestos.
  - b. Observación, medición y testificación de un cuerpo mineral.
  - c. Observación y testificación de cortes, usando métodos de prospección geofísica como *down hole*.

### **3.1.2. CLASIFICACIÓN DE YACIMIENTOS DE ACUERDO A SU GEOMETRIA**

Los yacimientos en base a su geometría se clasifican en:

#### **3.1.2.1. Por su forma:**

- Equidimensional o masivo: todas las dimensiones son similares en cualquier dirección.
- Tabular: dos de las dimensiones son mayores que la tercera.
- Irregular: las dimensiones varían a distancias muy pequeñas.

#### **3.1.2.2. Ponencia de Mineral:**

- Estrecho (<10 m)
- Intermedio (10m-30m)

- Potente (30m-100m)
- Muy Potente (>100m)

### **3.1.2.3. Inclinación:**

- Tumbado (<20°)
- Intermedio (20°-55°)
- Inclinado (>55°)

### **3.1.2.4.- Profundidad desde la base:**

- Superficial.
- Intermedio.
- Profundo.

### **3.1.2.5. Distribución de leyes:**

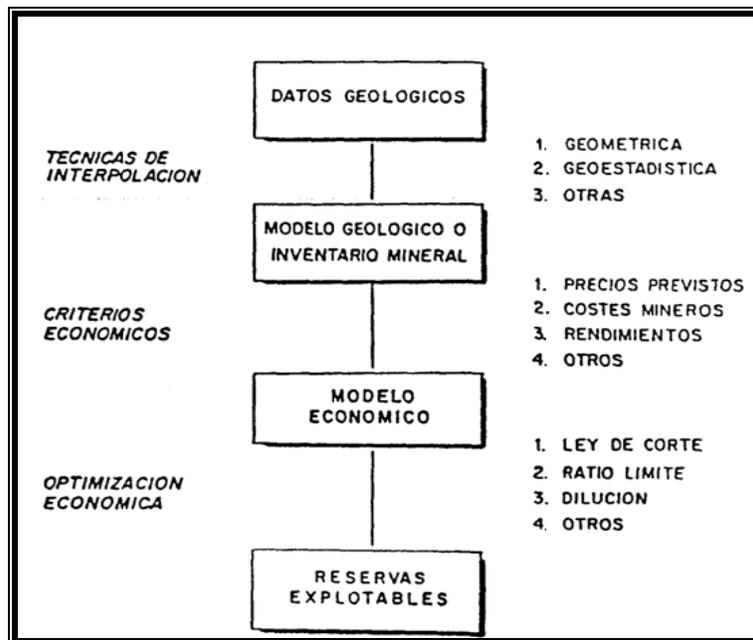
- Uniforme: la ley del yacimiento se mantiene prácticamente constante en cualquier punto de este.
- Gradual o diseminado: las leyes tienen una distribución zonal, identificándose cambios graduales de un punto a otro.
- Errático: no existe una relación entre las leyes, ya estas cambian radicalmente de unos puntos a otros en distancias muy pequeñas.

### 3.1.3.- MODELAJE DE YACIMIENTO

De acuerdo JIMENO (1992), en la primera etapa de evaluación de reserva se crea el modelo geológico del yacimiento, pasando a continuación por el modelo económico del mismo, como se observa en la figura 3.3. Ambos modelos son del tipo numérico.

La finalidad de modelo geológico es recoger la información básica y reflejar la realidad del mismo. Para su realización, se obtienen los datos parciales constituidos por muestras o informaciones procedentes de distas técnicas de investigación: calicatas, sondeos, labores mineras, métodos geofísicos, etc. El paso siguiente consiste en sintetizar los datos particulares en un solo ente, el modelo del yacimiento, utilizando diversos métodos de estimación.

FIGURA 3.3: ETAPAS EN LA ESTIMACIÓN DE RESERVAS EXPLOTABLES



Fuente: JIMENO, 1997

La generación del modelo debe ser independiente de las tecnologías utilizadas para la extracción. También, debe tomarse en cuenta que, el grado de detalle y la complejidad del

modelo dependerán de la envergadura del proyecto. El modelo también debe estar en la capacidad de ser actualizado continuamente.

En la clasificación de los modelos se emplea dos (2) conceptos (JIMENO, 1997):

Un primer concepto es el modelo geométrico del yacimiento, que implica la manera de discretizarlo, es decir, como es posible aproximarse a la geometría del yacimiento a través de formas geométricas sencillas.

Un segundo concepto es de función de extensión. Se denomina **función de extensión** a las técnicas o funciones matemáticas que se utilizan para estimar valores en puntos que se encuentran alrededor de una muestra.

En función de estos se tienen dos (2) clasificaciones para los modelos geológicos (JIMENO, 1996): clásicos y actuales.

### 3.1.3.1 Métodos clásicos

#### **Modelos de secciones**

El yacimiento se divide en bloques, cada uno se divide en secciones contiguas. El método de cálculo es el siguiente:

Se calcula el área de cada sección  $A_i$  (Figura 3.4).

Se calcula la ley media de cada una de las secciones a partir de los valores obtenidos en cada uno de los sondeos que atraviesan cada sección, ponderándolas por el área de influencia.

La ley media de cada sondeo se obtiene ponderando las leyes de cada testigo por su longitud.

Se calcula en volumen y el tonelaje de cada bloque. El procedimiento más sencillo es de calcular por medio de las siguientes fórmulas:

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} L_1; \quad T = \frac{A_1 + A_2}{2} L_1 \tau$$

Donde:

V= Volumen del bloque entre dos secciones.

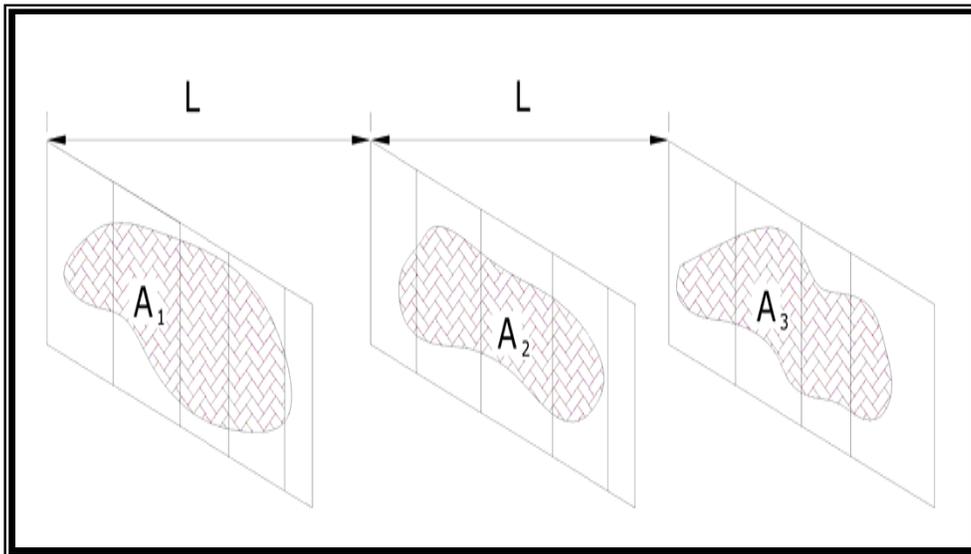
T= Peso del bloque.

$L_1$ =Distancia entre las secciones.

$\tau$  = Densidad media del mineral.

$A_1, A_2$  = Área de las secciones contiguas que delimitan el bloque.

**FIGURA 3.4: MODELO DE LAS SECCIONES**

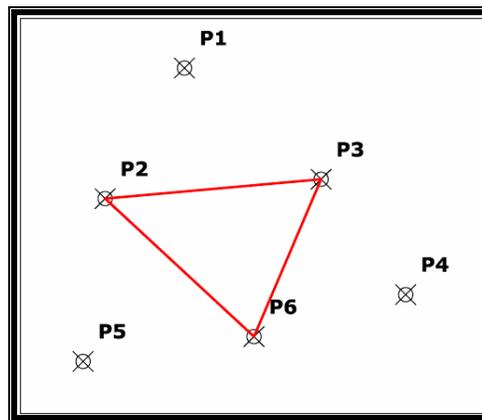


Fuente: *Elaboración propia*

### Modelo por triángulos

Se basa en unir los sondeos o datos mediante líneas rectas formando un mallado triangular (figura 3.5). Cada triángulo es la base de un prisma imaginario con una potencia determinada. La ley de cada prisma se calcula como la media aritmética de las leyes medias en los tres (3) sondeos de los vértices del triángulo, o como la ley media ponderada por la potencia de las tres (3) muestras.

**FIGURA 3.5: MÉTODO DE LOS TRIÁNGULOS**

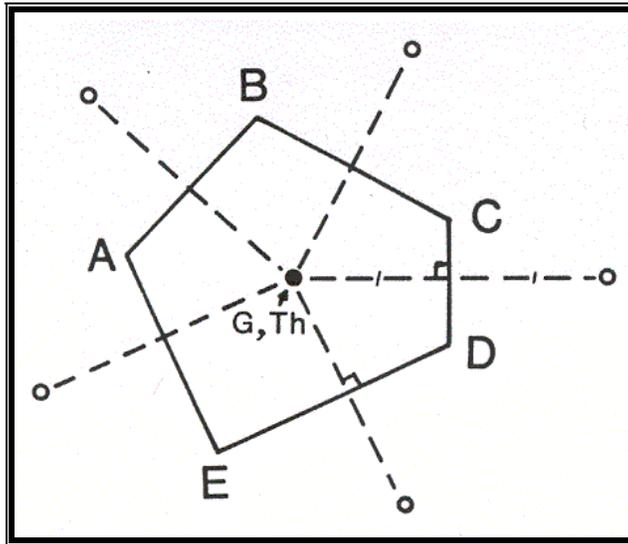


*Fuente: Elaboración Propia*

### Modelo de polígonos

Cada polígono de influencia queda definido por las mediatrices trazadas sobre los segmentos que unen los sondeos próximos (Figura 3.6). Tanto el espesor como la ley mineral de cada polígono se consideran constantes dentro de cada polígono e iguales e iguales a la ley y la potencia del polígono correspondiente.

**FIGURA 3.6: GEOMETRÍA DEL MÉTODO DE LOS POLÍGONOS**



Fuente: JIMENO, 1997

### 3.1.3.2. Métodos actuales

#### ✚ Modelos de bloques

El depósito se suele discretizar con paralelepípedos iguales en toda el área, aunque existen variaciones dentro de esta modalidad, con bloques paralelepípedos con dos dimensiones variables que mantienen constante normalmente la tercera que es vertical y coincide con la altura de banco.

El primer tipo de modelo fue utilizado por a comienzos de los años 60 por Kennecott Copper Corporación en un depósito de pórfido cuprífero masivo. Presenta algunas ventajas como son la adaptación de los métodos de optimización de los límites finales de la corta y su naturaleza sistemática que permite almacenar más información de la disponible en un momento dado. El segundo tipo de modelo se desarrolló en 1968 cuando surgió la necesidad de englobar numerosos bloques regulares de estéril contiguos en uno solo.

Cada bloque contiene toda la información necesaria para la fase de desarrollo de un proyecto, litología-mineralogía, contenidos de metales, calidades en el caso de carbón y rocas industriales, contenido de contaminantes, datos hidrológicos, entre otros.

La determinación de las dimensiones óptimas del bloque principalmente de:

- Variabilidad de las leyes.
- Continuidad geológica de la mineralización.
- Tamaño de la muestra y espaciamiento entre ellas.
- Capacidad de equipos mineros.
- Taludes de diseño de la explotación.
- Límites propios del ordenador.

Cada bloque debe contener la información necesaria en la fase de desarrollo de un proyecto, litología-mineralogía, contenido de metales, calidades en caso de carbón y rocas industriales, contenido de contaminantes, parámetros geomecánicos, datos hidrológicos, etc.

La determinación de la dimensión óptima del bloque dependen principalmente de:

- Variabilidad de las leyes.
- Continuidad geológica de la mineralización.
- Tamaño de las muestras y espaciamiento entre ellas.

- Capacidad de los equipos mineros.
- Taludes de diseño de la explotación.
- Límites propios del computador.

Las principales fases para conseguir la representación tridimensional de un yacimiento por modelo de bloques son:

Se parte de una red de sondeos, no necesariamente regular, referenciado con sus coordenadas de localización  $(x,y)$  respecto a un origen. Cada sondeo recoge los datos de las formaciones geológicas atravesadas según el eje vertical y los atributos de las mismas (los sondeos también pueden ser inclinados).

Se divide el yacimiento por planos horizontales equidistantes, poniendo la información de los sondeos en tramos coincidentes con la separación entre planos. Dicha separación suele tomarse igual la altura de banco.

Sobre cada plano horizontal se traza una malla regular y en cada vértice de la misma (centro de un paralelogramo) se estiman los atributos de la mineralización.

Cada bloque tridimensional está localizado por las coordenadas espaciales representadas por los índices correspondientes a su posición según los ejes OX, OY y OZ. Cada bloque está definido por la sección plana equivalente a la abertura de la malla y a la altura que es igual a la diferencia de cotas preestablecidas. Así pues, una variación discreta de los datos de un bloque se traduce, así mismo, en otra variación de la distribución espacial de los contenidos del yacimiento, y por consiguiente el yacimiento mineral pasa a ser representado en la memoria del computador por los valores discretos del tipo  $T(x,y,z)$ .

A diferencia del método de los polígonos, el paso de la base de datos de los sondeos al modelo ya no es biunívoca, a cada sondeo de un polígono y viceversa, por el contrario

para cada bloque hay que decidir que información intervendrá en la asignación de los valores o atributos, e incluso si debe contener cierta información.

Este modelo se desarrolló en un principio para describir las distribuciones espaciales de valores numéricos (leyes, etc.). Últimamente se ha utilizado para modelizar las formas de las unidades geológicas y las superficies de contacto entre ellas. El problema que surge normalmente es que el tamaño del bloque surge normalmente es que el tamaño del bloque óptimo para cada dos tareas (distribución de leyes y modelización de formas) es diferente. El detalle requerido en la modelización de formas no es necesario en la evaluación de leyes e introduce un número adicional de cálculo. De lo que se concluye es que este modelo se debe usar exclusivamente para describir la distribución espacial de los valores numéricos. Para la modelización de superficies y formas se debe emplear el modelo de sólidos tridimensionales (3D).

Una mejora que se ha conseguido en el método es que los bloques sean de tamaño variable. De esta manera se ahorra cantidad de memoria masiva en el computador y al mismo tiempo se aceleran los procesos de cálculo, ya que no se necesita leer tantos datos. La manera en la cual se realizan los bloques variables es la agrupación de varios adyacentes entre sí y con características homogéneas. Para esta agrupación se utilizan dos tipos de estructuras: árboles cuaternarios y en 3-D árboles octales.

Esta estructura de bloques es del tipo recursivo. El área o volumen inicial (según se esté en 2 o 3 dimensiones) se divide en cuatro u ocho cuadrantes y así sucesivamente hasta llegar al tamaño deseado del bloque. De este modo se obtendrán bloques de diferente tamaño según la homogeneidad y distribución de las leyes.

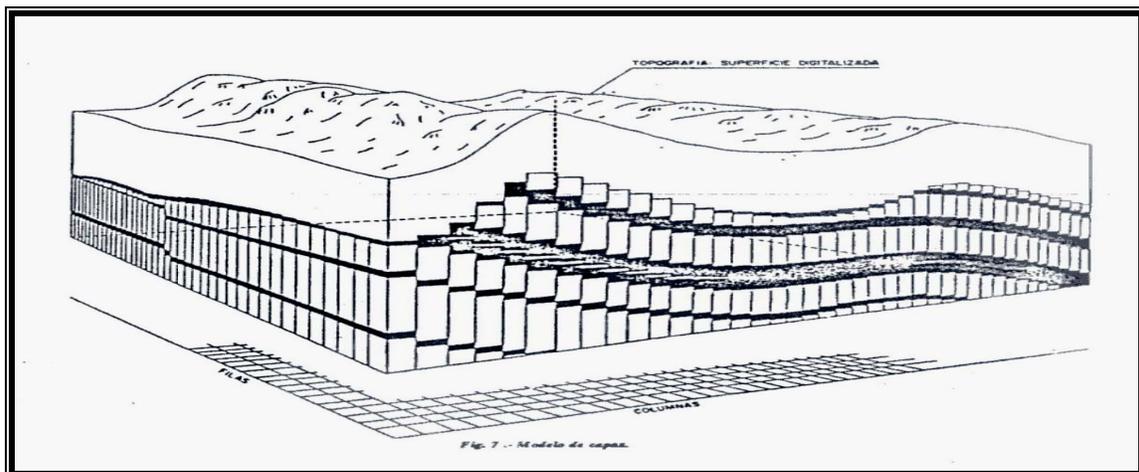
### **Modelo de capas**

En las décadas pasadas, con la crisis de la energía y el consiguiente realce de la minería de carbón surgió la necesidad de evaluar las explotaciones de yacimientos estratiformes a los que el modelo de bloque se adaptaba mal.

Los modelos de capas, de mallas, o bloques de altura variable (Figura 3.7) permite presentar o modelizar paquetes de estratos guardando las condiciones de interrelación (que no se corten las capas, que los niveles mineralizados pasen por los sondeos, etc.) de una forma rápida y flexible.

En los modelos de capas solo se precisa la información asociada a cada par de coordenadas (x,y) de una malla superpuesta en la superficie del yacimiento. Cada uno de estos puntos almacenará la información de cada capa: su situación en profundidad, el espesor, calidades, estéril asociado, etc.

**FIGURA 3.7: MODELO DE CAPAS**

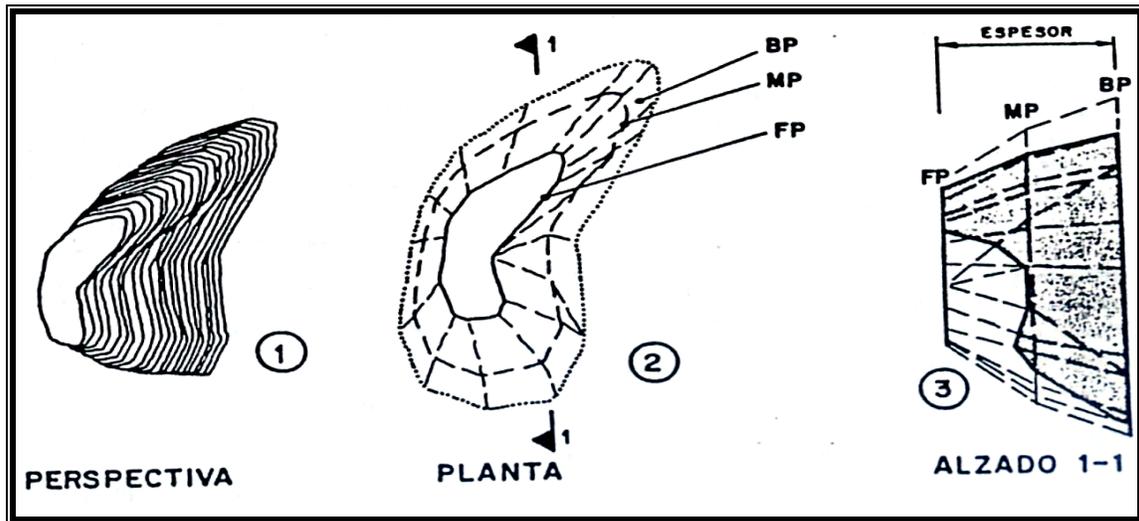


Fuente: JIMENO, 1997

#### **Modelo de sólidos tridimensionales**

En este modelo se toma se tomo independientemente cada uno de los sólidos presentes, es decir, el cuerpo mineralizado (masa mineral, filón, etc.) los huecos de las labores mineras (galerías, cámaras, etc.) y se dividen, en ves de una malla rectangular de cubos, como en el modelo de bloques, en rebanadas.

FIGURA 3.8: ELEMENTOS DE UN MODELO DE SÓLIDOS



Fuente: JIMENO, 1997

Cada uno de los elementos tridimensionales (Figura 3.8-2) se maneja independientemente de los otros, es decir, se define en un espacio mediante un sistema de coordenadas locales arbitraria en un espacio 3D (tres dimensiones). El usuario determina la orientación usando un plano de referencia (VP, *View Plane*) para cada elemento. Cada rebanada esta defina por tres polígonos situados en planos paralelos y espaciados una determinada magnitud. En primer lugar se define el plano medio (MP, *Mid-Plane*). El siguiente paso es interpolar este plano con los planos medio de las dos rebanadas contiguas mediante un plano delantero (FP, *Fore-Plane*) y un plano trasero (BP, *Back-Plane*). El FP y el BP se unen mediante rectas al MP, de manera que la superficie del elemento se represente mediante un conjunto de caras triangulares, cuadrangulares o poligonales planas (Figura 3.8-2 y 3.8-3). La definición de las poligonales del elemento se realiza en sistema de coordenadas locales referido a un plano de referencia, VP, que se almacena con cada elemento.

Al yuxtaponer todas las rebanadas e que se ha dividido uno de los cuerpos este queda representado mediante un superficie poliédrica.

### 3.1.3.3. Modelo económico

Una vez construido el modelo geológico se procede a su conversión en modelo económico. Para su realización es preciso aplicar una amplia serie de criterios técnicos y económicos basados en distintas disciplinas de la ingeniería y con el único objetivo de responder: ¿Cuál es la cantidad de reserva recuperable, el valor contenido de mineral, y el costo de extracción de del mismo en el momento actual y futuro con los datos previstos?

Después de estimar el contenido mineral de cada unidad volumétrica que intervienen en la modelización geológica se incorporan distintos factores, entre los que cabe destacar los siguientes:

#### **Dilución**

La dilución en minas a cielo abierto es generalmente de dos (2) tipos: la primera, debida al contacto del estéril o mineral marginal con el mineral rico, y, la segunda, la provocada por el estéril interior. En minas subterráneas, además se puede ocurrir dilución por hundimiento incontrolado de los hastiales o rocas adyacentes.

El porcentaje de dilución es un coeficiente experimental y tiene doble efecto en la explotación, ya que por un lado, baja la ley del mineral producido y, por el otro, aumenta el tonelaje recuperado.

#### **Recuperación minera**

Dependiendo de las condiciones del terreno, método y sistema de explotación, geometría del yacimiento y riqueza del material, una producción de esta no puede extraerse por distintas razones, por ejemplo, en minas donde debe abandonarse parcial o definitivamente mineral en el macizo de protección, la pérdida de carbón por limpieza de los hastiales, etc.

### **Cotos de explotación**

Los costos de explotación deben establecerse a partir del método de laboreo, geometría de la mina, secuencia de avance, tipo de maquinaria empleada y situación espacial del bloque.

El coste de las operaciones de arranque, carga y trituración pueden variarse de acuerdo con los parámetros geomecánicos de los materiales que contiene cada bloque y costos de transporte pueden calcularse con más detalle estimándolos para cada uno de los niveles de explotación.

Dado que el transporte es la partida más importante, desde el punto de vista de los costos, deberá prestársele la máxima atención. Un procedimiento puede constituir, en minas a cielo abierto, en calcular los costos básicos del metro cúbico o toneladas de material para una longitud de transporte dada con una pendiente específica.

### **Costos de tratamiento y recuperación mineralúrgica**

Los costos de tratamiento también pueden imputarse al mineral contenido en cada bloque del modelo, pero ello obliga a tener en cuenta las recuperaciones mineralúrgicas de plantas y leyes de los concentrados que se pueden obtener. Si éstas últimas se mantienen constantes con unos valores medio para cada mineral pueden emplearse expresiones sencillas para estimar las recuperaciones en planta.

### **Valor del mineral contenido**

La asignación del valor de la sustancia vendible a cada uno de los bloques del modelo es una de las tareas más complejas de realizar, ya que las vidas de las minas superan los 15 o 20 años, y las proyecciones de los precios de venta basados en proyecciones de datos históricos conllevan a un alto nivel de incertidumbre. Algo similar se puede decir con los costos de mina. En general, se suele tomar la cotización del momento de estudio.

### Ley de corte

Sirve para distinguir del mineral explotable económicamente del que no lo es, pudiendo ser éste último mineral pobre o estéril. Al margen del método elegido para el cálculo de éste parámetro, algunos aspectos conviene destacar.

Tiene un carácter dinámico, pues depende no solo de factores geológicos y tecnológicos sino incluso de económicos que son cambiantes con el tiempo.

En determinados yacimientos, una disminución aritmética de la ley de corte puede provocar un aumento geométrico o exponencial de las reservas explotables. Este hecho puede influir en la forma decisiva en la determinación del ritmo de producción.

En operaciones en marcha, una regla sencilla y práctica para estimar la ley de corte consiste en medir la ley de los estériles rechazados en la planta, ya que por debajo de esa ley también saldrán con la misma al no ser recuperables en el tratamiento mineralúrgico.

## **3.2. CARBÓN MINERAL**

### **3.2.1. - DEFINICIÓN**

El carbón es una sustancia mineral combustible, sólida, de color negro a negro castaño, formado por la descomposición parcial de la materia vegetal enterrada, sin acceso de aire, por influencia de la humedad, y en muchos casos, por aumento de la presión y la temperatura.

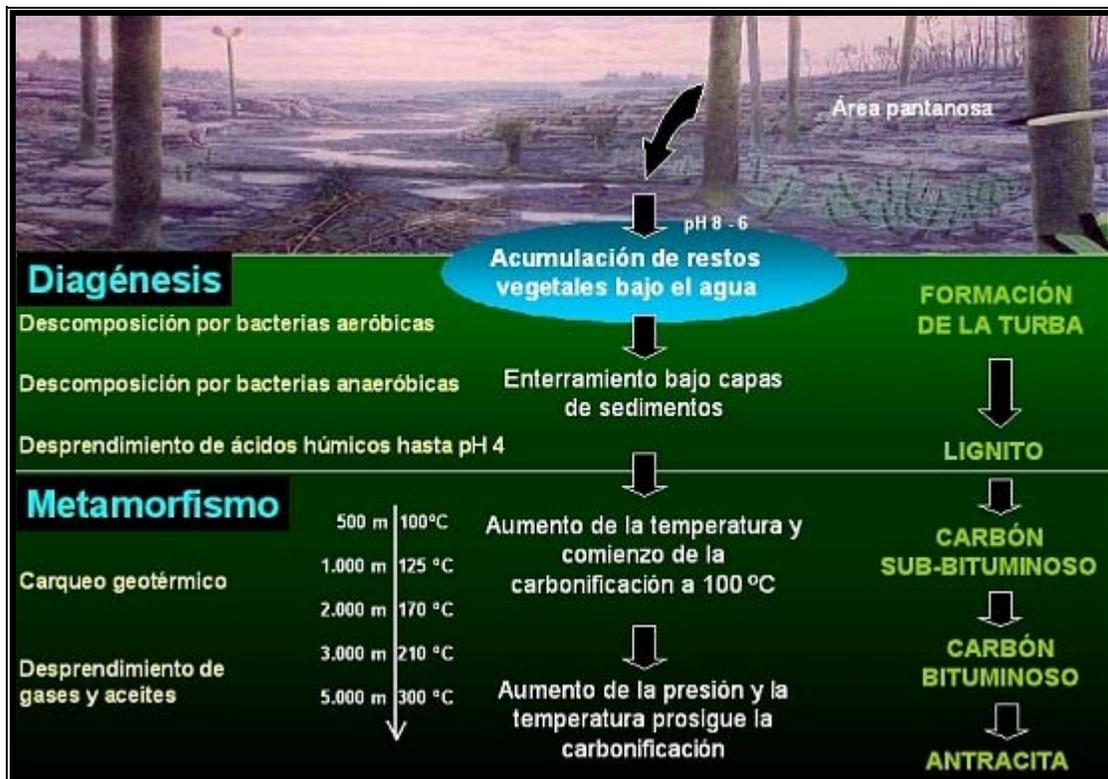
La **carbonificación** es el proceso geológico de formación de materiales con contenido creciente en carbono (turbas y carbones minerales) a partir de materiales orgánicos que se encuentran en la corteza terrestre por transformación gradual a temperaturas moderadas (alrededor de 250 °C) y a alta presión. La carbonificación es un proceso de deshidrogenación incompleta, con una cinética muchísimo más lenta que la de la

carbonización (eliminación de los volátiles de la materia orgánica por calentamiento en ausencia de aire).

La carbonificación no es una fosilización ya que en el caso de la fosilización la materia orgánica se sustituye gradualmente por materia mineral mientras que en el caso de la carbonización el carbón mineral resultante sigue siendo un compuesto orgánico.

En la carbonificación existen dos grandes etapas (figura 3.9): la diagénesis, en la que tiene lugar descomposición de la materia orgánica por las bacterias hasta formar la turba y el metamorfismo en el que se continúa la carbonificación por la acción del calor y la presión.

**FIGURA 3.9: PROCESO E FORMACIÓN DEL CARBÓN**



Fuente: Tomado de "El carbón mineral", [http://www.oviedo.es/personales/carbon/carbon\\_mineral/carbon%20mineral.htm](http://www.oviedo.es/personales/carbon/carbon_mineral/carbon%20mineral.htm), septiembre del 2008.

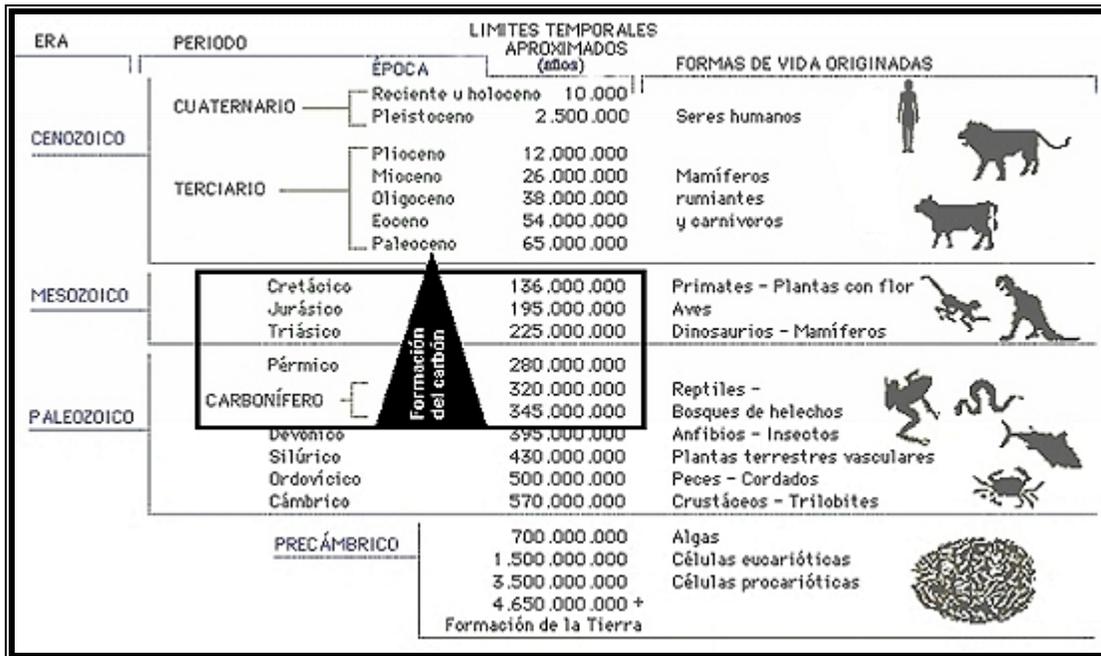
Durante la diagénesis ocurren procesos de descomposición de la materia orgánica debido al ataque de las bacterias aeróbicas, lo que sucede cuando los restos vegetales están cubiertos parcialmente por agua, o a poca profundidad, donde aún hay oxígeno para que puedan existir estas bacterias. Durante esta etapa se produce una reducción de volumen de hasta un 50%. Una vez que las bacterias consumen todo el oxígeno esta etapa finaliza y comienza la descomposición de la materia orgánica restante por las bacterias anaeróbicas. En esta etapa continúa la descomposición de la materia orgánica produciéndose ácidos húmicos, los cuales van acidificando el medio hasta llegar a un pH 4, en el cual mueren las bacterias anaeróbicas. De esta forma se forma la turba sobre la cual se van depositando más restos vegetales que a su vez forman más turba, lo que hace que la temperatura de las capas inferiores vaya aumentando comenzando las transformaciones por metamorfismo cuando la temperatura alcanza los 100 °C.

Con el transcurso de miles de años, más acumulaciones de turba y sedimentos van enterrando cada vez más el carbón mineral que se está formando. Debido al aumento de la temperatura y la presión, el carbón mineral va evolucionando desde el lignito hasta la antracita, liberándose gases, sustancias volátiles y aceites, y enriqueciéndose cada vez más en carbono.

### **3.2.2.- FORMACIÓN DEL CARBÓN MINERAL**

La gran mayoría de los depósitos de carbón mineral se formaron durante el período geológico del Carbonífero, como se muestra en la figura 3.10. Otros depósitos importantes se formaron durante el Pérmico. Existen también depósitos, menos abundantes pero significantes, formados durante el Triásico y el Jurásico y en menor cantidad en el Cretácico.

**FIGURA 3.10: PERIODOS DE FORMACIÓN DEL CARBÓN**



Fuente: Tomado del "El carbón mineral", [http://www.oviedo.es/personales/carbon/carbon\\_mineral/carbon%20mineral.htm](http://www.oviedo.es/personales/carbon/carbon_mineral/carbon%20mineral.htm), septiembre del 2008.

### 3.2.3.- RANGO DE LOS CARBONES MINERALES

Existen diferentes tipos de carbones minerales en función del grado de carbonificación que haya experimentado la materia vegetal que originó el carbón. Estos van desde la turba, que es el menos evolucionado y en que la materia vegetal muestra poca alteración, hasta la antracita, que es el carbón mineral con una mayor evolución.

La evolución depende de la edad del carbón, así como de la profundidad y condiciones de presión, temperatura, entorno, etc. en las cuales la materia vegetal evolucionó hasta formar el carbón mineral. El rango de un carbón mineral se determina en función de criterios tales como su contenido en materia volátil, contenido en carbono fijo, humedad, poder calorífico etc. Así, a mayor rango, mayor es el contenido en carbono fijo y mayor el poder calorífico, mientras que disminuyen su humedad natural y la cantidad de materia volátil. Existen varias clasificaciones de los carbones según su rango. Una de las más

utilizadas divide a los carbones de mayor a menor rango en: **antracita**, **bituminoso bajo en volátiles**, **bituminoso medio en volátiles**, **bituminoso alto en volátiles**, **sub-bituminoso**, **lignito** y **turba**. La **hulla** es un carbón mineral de tipo bituminoso medio y alto en volátiles. En cuanto a los parámetros de rango estos también pueden variar de una clasificación a otra, aunque unos valores promedio podrían ser los que se muestran en la tabla 3.1.

**TABLA 3.1: CLASIFICACIÓN DE LOS CARBONES DE ACUERDO A SU PODER CALORÍFICO**

RANGO		C fijo (%)	Humedad (%)	Materia Volátil (%)	Poder calorífico (MJ/kg)
Antracita		86 - 98	< 3	< 5	23 -33
Bituminoso (Hulla) (bajo, medio y alto en volátiles)		45 - 86	5 - 10	10 - 30	24-35
Sub-bituminoso		35 - 45	15 - 30	30 - 40	20-21
Lignito		25 - 42	40 - 60	40 - 50	10-20
Turba		< 25			


  
 mayor contenido en C fijo, mayor poder calorífico  
**AUMENTO DEL RANGO**  
 menor humedad, menor contenido en materia volátil

Fuente: Tomado del "El carbón mineral", [http://www.oviedo.es/personales/carbon/carbon\\_mineral/carbon%20mineral.htm](http://www.oviedo.es/personales/carbon/carbon_mineral/carbon%20mineral.htm), septiembre del 2008.

### **Antracita**

Las antracitas datan de los periodos Carbonífero y Pérmico de la era primaria, hace unos 250 millones de años. Es el carbón mineral de más alto rango y el que presenta mayor contenido en carbono. Sin embargo, su poder calorífico es, en general, inferior al de los carbones bituminosos debido a su bajo contenido en materia volátil. La antracita presenta una ignición difícil, pero arde dando una llama azul corta y sin apenas humos. La antracita presenta una mayor dureza, densidad y brillo que el carbón bituminoso.

### **Carbón Bituminoso**

Existen carbones bituminosos que datan de los periodos Jurásico, Triásico, Pérmico y Carbonífero. Es un carbón mineral denso de color negro o marrón oscuro, se utiliza para su combustión en centrales térmicas y para la producción de coque metalúrgico. La hulla pertenece a este tipo de carbón bituminoso, con contenidos alto y medio en volátiles.

### **Carbón Sub-Bituminoso**

Estos carbones presentan propiedades intermedias entre las del lignito y los carbones bituminosos. Normalmente se utilizan en centrales térmicas para la producción de energía.

### **Lignito**

Es de rango inferior al de los carbones sub-bituminosos, y por lo general, presenta un color marrón oscuro por lo que se les denomina a veces lignitos pardos. Se usan principalmente en la producción de energía en centrales térmicas. Una variedad de Lignito muy particular es el azabache, que es muy apreciado en joyería y considerado como una piedra semipreciosa.

### **Turba**

La turba es un material orgánico compacto, de color pardo oscuro y rico en carbono. La formación de turba constituye la primera etapa del proceso por el que la vegetación se transforma en carbón mineral. Se forma como resultado de la putrefacción y

carbonización parciales de la vegetación en el agua ácida de las turberas. La formación de una turbera es relativamente lenta como consecuencia de una escasa actividad microbiana, debida a la acidez del agua o la baja concentración de oxígeno. El paso de los años va produciendo una acumulación de turba que puede alcanzar varios metros de espesor, a un ritmo de crecimiento que se calcula de entre medio y diez centímetros cada cien años. En estado fresco alcanza hasta un 98% de humedad, pero una vez desecada puede usarse como combustible. La turba también se usa en jardinería para mejorar suelos por su capacidad de retención de agua.

#### **3.2.4. - PRINCIPALES USOS DEL CARBÓN**

Algunos historiadores creen que el carbón comenzó a utilizarse comercialmente en China. Hay indicios de una mina situada en el noroeste de China que suministraba carbón para fundiciones de cobre y para la fabricación de monedas hacia el año 1000 AC. Una de las primeras referencias al carbón fue realizada por el filósofo griego Aristóteles, que hacía referencia a una roca similar al carbón vegetal. Se han encontrado restos de carbón entre las ruinas romanas en Inglaterra, lo que indica que los romanos utilizaban la energía del carbón desde antes del 400 DC.

En las crónicas de la Edad Media se habla de la extracción de carbón en Europa, e incluso del comercio internacional desde las costas inglesas hacia Bélgica. Fue durante la revolución industrial en los siglos XVIII y XIX cuando aumentó la demanda de carbón. Las mejoras en el motor de vapor de James Watt, patentado en 1769, fueron las responsables principales del crecimiento del uso del carbón.

La historia de la extracción y el uso del carbón está totalmente vinculada a la de la revolución industrial: la producción de acero, el ferrocarril y los barcos a vapor. El carbón también se utilizó para producir gas para iluminar muchas ciudades, lo que se denominó el “gas ciudad”. Este proceso de gasificación vio el crecimiento del uso de la luz de gas en zonas metropolitanas a comienzos del siglo XIX, especialmente en Londres. El uso del gas de carbón en la iluminación de las calles acabó siendo sustituido tras la irrupción de

la era industrial. Con el desarrollo de la energía eléctrica en el siglo XIX, el futuro del carbón fue acercándose a la generación de electricidad. La primera central eléctrica de combustión de carbón mineral, desarrollada por Thomas Edison, entró en funcionamiento en Nueva York en 1882, proporcionando electricidad a las luces domésticas.

La gran mayoría de los carbones minerales se destinan a la producción de energía eléctrica en centrales térmicas. También se utiliza como combustible para la producción de energía térmica en hornos, calefacciones, etc. Sin embargo este uso ha venido perdiendo importancia debido a la utilización de otro tipo de combustibles, como los derivados del petróleo o los derivados de la biomasa.

Otro de los usos mayoritarios de los carbones, especialmente de la hulla y carbones bituminosos (carbones coquizables), es la producción de coque metalúrgico, usado para la obtención de arrabio en el alto horno y en otras industrias metalúrgicas. Durante el proceso de coquización también se obtiene, además del coque, la brea de alquitrán de hulla. Una gran parte de las breas son utilizadas, junto con el coque de petróleo, en la producción de electrodos para la industria del aluminio y electrodos para hornos de arco eléctrico. Las breas de alquitrán de hulla también pueden ser usadas como precursores del grafito sintético, fibras de carbono y materiales compuestos C/C.

Algunos productos químicos pueden producirse a partir de subproductos obtenidos durante la coquización como la creosota, la naftalina, el fenol y el benceno. El gas de amoníaco recuperado de los hornos de coque se utiliza para fabricar sales de amoníaco, ácido nítrico y fertilizantes agrícolas. La gasificación de algunos carbones minerales da lugar a la producción de distintos tipos de gases que pueden utilizarse como combustible o en la fabricación de diversos compuestos químicos.

En ciertos países el carbón se convierte en combustibles líquidos, a este proceso se le denomina licuefacción. El combustible líquido puede refinarse para producir combustible de transporte y otros productos similares a los derivados del petróleo, como plásticos y

disolventes. Existen dos métodos principales de licuefacción: la licuefacción directa de carbón, en la que el carbón se convierte en combustible líquido en un único proceso y la licuefacción indirecta de carbón, en la que el carbón primero se gasifica y después se convierte en líquido.

Por otro lado, los carbones no coquizables (o los coquizables cuando se les eliminan sus propiedades plásticas mediante un proceso de oxidación) pueden someterse a procesos de carbonización/activación, obteniéndose carbón activo. Aunque no de forma mayoritaria, el carbón mineral también puede usarse en muchas otras aplicaciones, como por ejemplo la fabricación de espumas de carbono.

En Venezuela, a partir de la década de los 80 cuando comienza a figurar en el mercado internacional de carbón, no obstante de poseer grandes recursos carboníferos ubicados en áreas relativamente fácil de acceso.

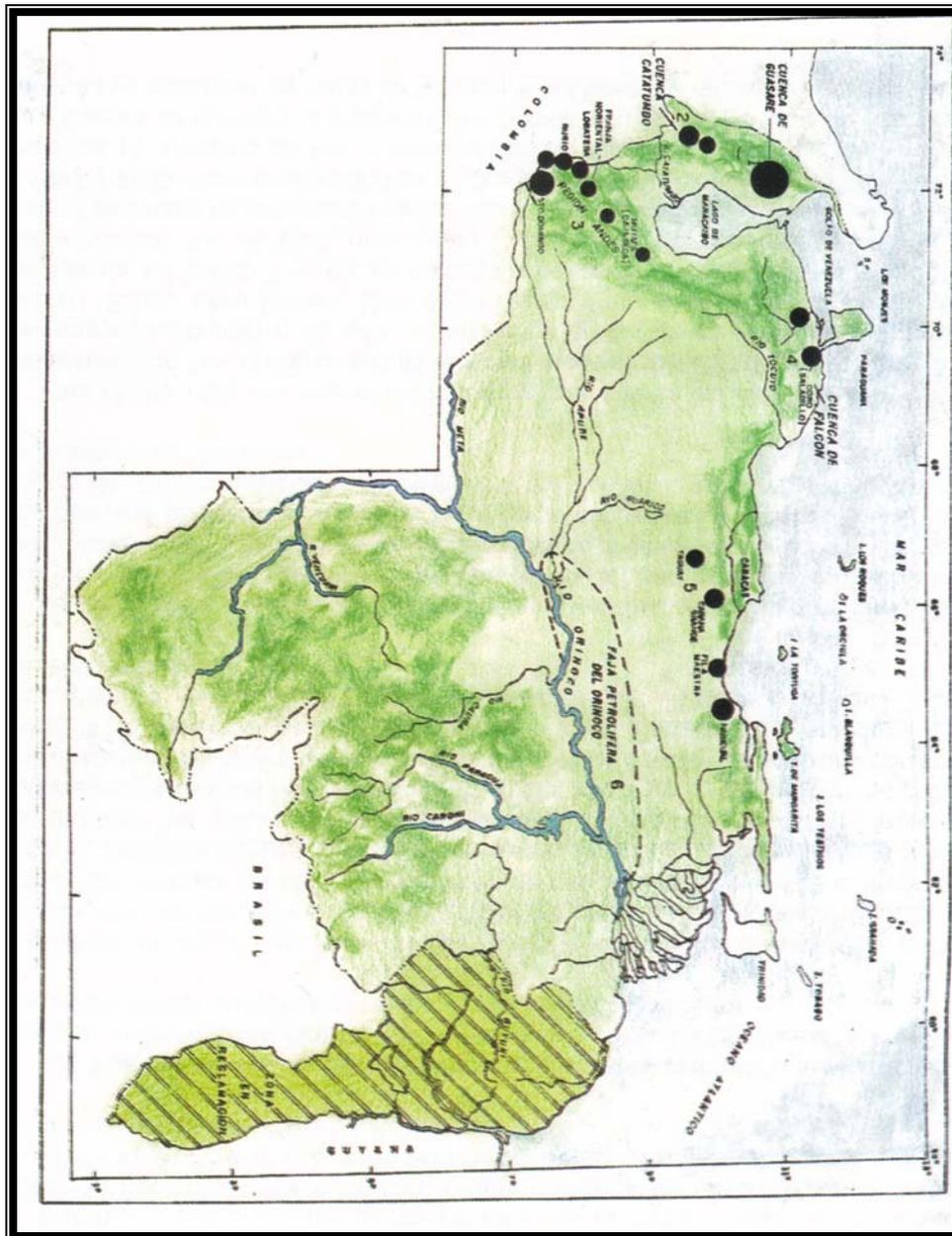
Durante la primera mitad de los 90, se adelantan importantes estudios de prospección geológica que confirman el alto potencial de reserva así como también la excelente cantidad para uso termoeléctrico como para aplicaciones especiales, particularmente en la tecnología del PCI.

Los nuevos resultados obtenidos en las diferentes campañas exploratorias motivaron a inversionistas extrajeros nacionales e internacionales a canalizar esfuerzos en expandir reservas y en evaluar nuevos yacimientos nunca antes encontrados.

Las provincias geológicas en las cuales están ubicados los depósitos de carbón de Venezuela son las siguientes (figura 3.11): Región Carbonífera de la Sierra de Perija (estado Zulia), donde se encuentran los mayores yacimientos del país, asociados a Sedimentos del Paleógeno; Cordillera de los Andes meridionales y centrales (estados Táchira y Mérida) donde también han sido localizados importantes yacimientos de éste recurso en el Paleógeno y algunas en el Neógeno; Serranía Septentrional del estado Falcón, en la cual los estudios exploratorios de los últimos años han permitidos delimitar

recursos carboníferos de importancia en rocas del Neógeno (Mioceno); La Zona Carbonífera Piemontina Centro Oriental ( estados Aragua, Guarico, Miranda y Anzuategui), en rocas de edades Oligoceno Terminal-Mioceno inferior.

**FIGURA 3.11: LOCALIZACIÓN DE LAS ÁREAS CARBONÍFERAS DE VENEZUELA**



Fuente: Tomado de "Carbón, una nueva alternativa de inversión en Venezuela, MIM 1996.

Las secuencias carboníferas se formaron originalmente en las cuencas de Maracaibo, Falcón y oriental de Venezuela. Actualmente se encuentran en áreas cordilleranas por inversión tectónica de una parte de las mismas durante el Neógeno. Es importante destacar, que los recursos carboníferos de mayor volumen se encuentran en el subsuelo en la faja petrolífera del Orinoco asociados a sedimentos del Neógeno en la parte meridional de la cuenca oriental de Venezuela.

Para el año 1994 los recursos carboníferos potenciales del país son cercanos a los 10.000 TM., de los cuales un 40% son reservas identificadas e inferidas. Un 90% de los recursos carboníferos del país, se encuentran en la cuenca del Guasare, prospectos de Cachirí, Socuy, Mina Norte y Mina Paso Diablo. Para el año 1995 la producción de carbón fue de 4.410.800 TM., de los cuales Carbones del Guasare, S.A. (CARBOZULIA), produjo 4.042.300 TM., es decir, más del 90% de la producción nacional.

### **3.3. EXPLOTACIONES A CIELO ABIERTO**

Las explotaciones mineras se dividen en dos grandes grupos: minería a cielo abierto (MCA) y minería subterránea, atendiendo a la ubicación de la extracción con respecto a la superficie. El carbón, es una mineral factible de explotar por ambos métodos, sin embargo, debido a lo amplio y complejo que es cada método, y a que el aplicado en la Mina Paso Diablo es del tipo MCA, se abordará solo este último.

#### **3.3.1.- OPERACIONES EN MINERIA A CIELO ABIERTO (MCA)**

Las operaciones en MCA se dividen en dos (2), las que influyen de forma directa en extracción de mineral conocidas como **Operaciones unitarias**; y las necesarias para mantener en buen funcionamiento la mina llamadas **operaciones Auxiliares**.

### 3.3.1.1. Operaciones Unitarias

Las operaciones unitarias son:

Arranque → Carga → Acarreo → Vertido

El arranque se clasifica en **directo** cuando la dureza del material permite realizarlo con tractor o directamente con el equipo de carga, e **indirecto** o **por voladura** cuando se trabaja en material rocoso altamente competente que requiera la perforación y carga de explosivo para lograr la fragmentación adecuada del material.

La carga puede ser realizada por palas eléctricas, cargadores frontales, retroexcavadoras para ciclos discontinuos. Para estos mismos ciclos, el acarreo y vertido se realiza a través de camiones roqueros.

Cuando más de una de las operaciones antes mencionadas son realizadas por un mismo equipo, se habla de operaciones continuas. Tal es el caso de materiales blandos en los cuales el arranque y la carga son realizados por una retroexcavadora, con lo cual el diagrama queda de la siguiente manera:

Arranque + Carga → Acarreo → Vertido

El caso de las rotopalas, el ciclo completo es realizado por la misma maquinaria:

Arranque + Carga + Acarreo + Vertido

### 3.3.1.2. Operaciones Auxiliares

Se encuentran dentro del ciclo de producción pero realizando labores diferentes a la de carga y acarreo (labores de irrigación para el control de polvo, limpieza y arreglo de frente y vías, conformación de terrazas, desmonte, entre otras). Aunque estas no

pertenecen al eje central de la extracción, son muy importantes para mantener la eficiencia de la mina tanto en productividad como en seguridad.

### **3.3.2 .- EQUIPOS DE MCA**

Existe una gran variedad de equipos aplicables a la MCA. Los mas utilizado en la actualidad en canteras, minería de metálicos y carbón son del tipo discontinuo principalmente combinaciones Pala-Camión.

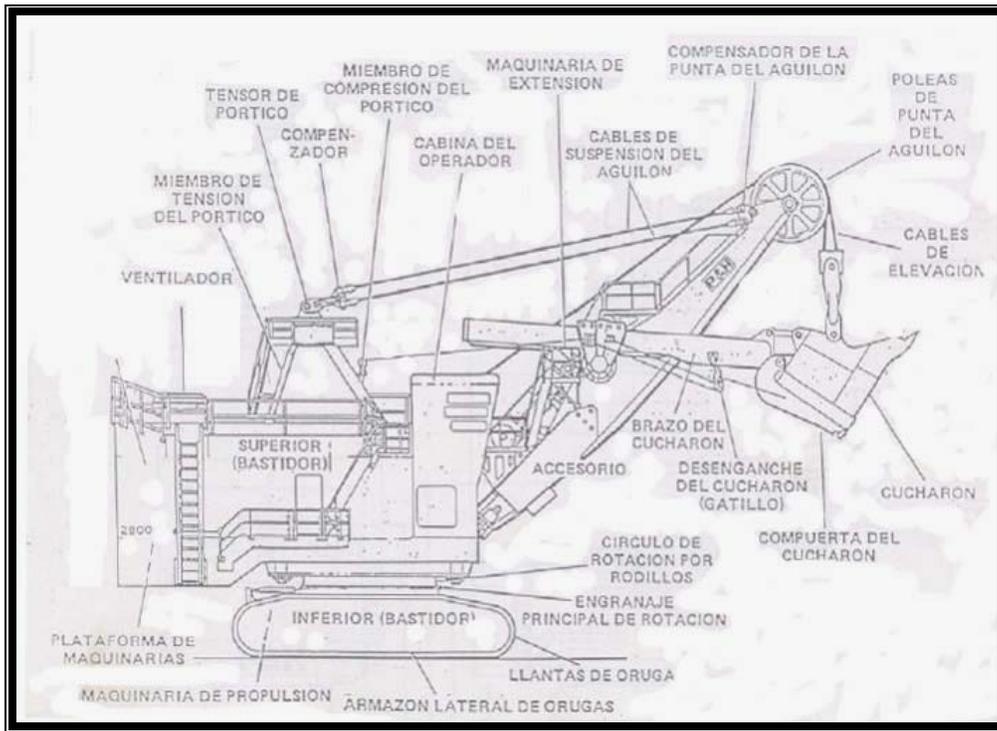
#### **3.3.2.1. Palas y Cargadores**

Corresponde a los equipos de carga y su diferencia radica en la forma de operación y en el tamaño del equipo. Dentro de estos equipos se tiene: las palas eléctricas, las palas hidráulicas, las retroexcavadoras y los cargadores frontales.

##### **Palas P&H**

Son equipos de grandes producción muy utilizados en minería metálica y de carbón. Posee cables para la extensión y elevación del balde (Figura 3.12). Su capacidad en general es mayor a la de las palas mecánicas, pero su sistema de cableado las hace un poco menos versátiles. Son equipo de alta disponibilidad mecánica y buena penetración en roca.

**FIGURA 3.12: ESQUEMA GENERAL DE LAS PALAS P&H**



Fuente: Material de apoyo, Laboreo a Cielo Abierto, UCV 2006.

### 🚧 Palas hidráulicas

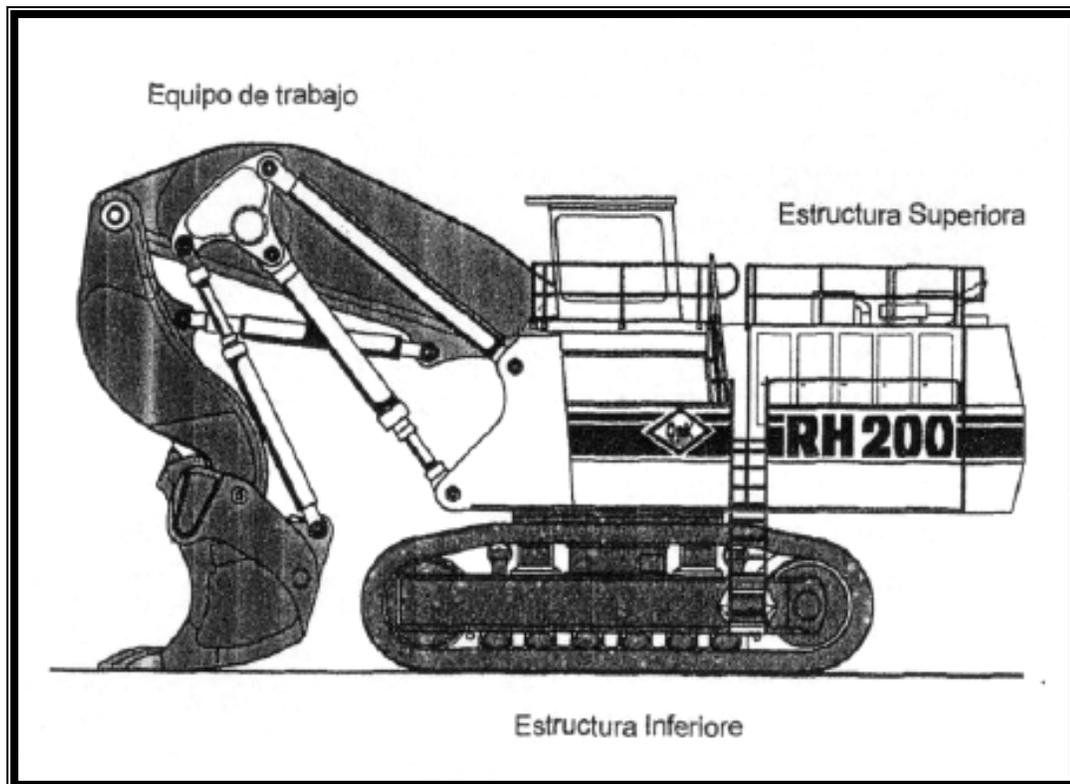
Las palas hidráulicas no varían significativamente en cuanto a estructura. Para las palas O&K, la máquina se puede dividir en tres grandes partes (Figura 3.13):

**Estructura Inferior:** la cual permite el movimiento de traslación de la máquina.

**Estructura Superior:** en la cual se encuentra el motor y los equipos generadores de potencia.

**Equipo de trabajo:** corresponde la pluma, el mango, el balde, el *tri-power* en los equipos frontales y todos los cilindros de accionamiento.

**FIGURA 3.13: ESQUEMA GENERAL DE UNA PALA HIDRÁULICA DE CARGA FRONTAL**



*Fuente: Material de apoyo, Laboreo a Cielo Abierto, UCV 2006.*

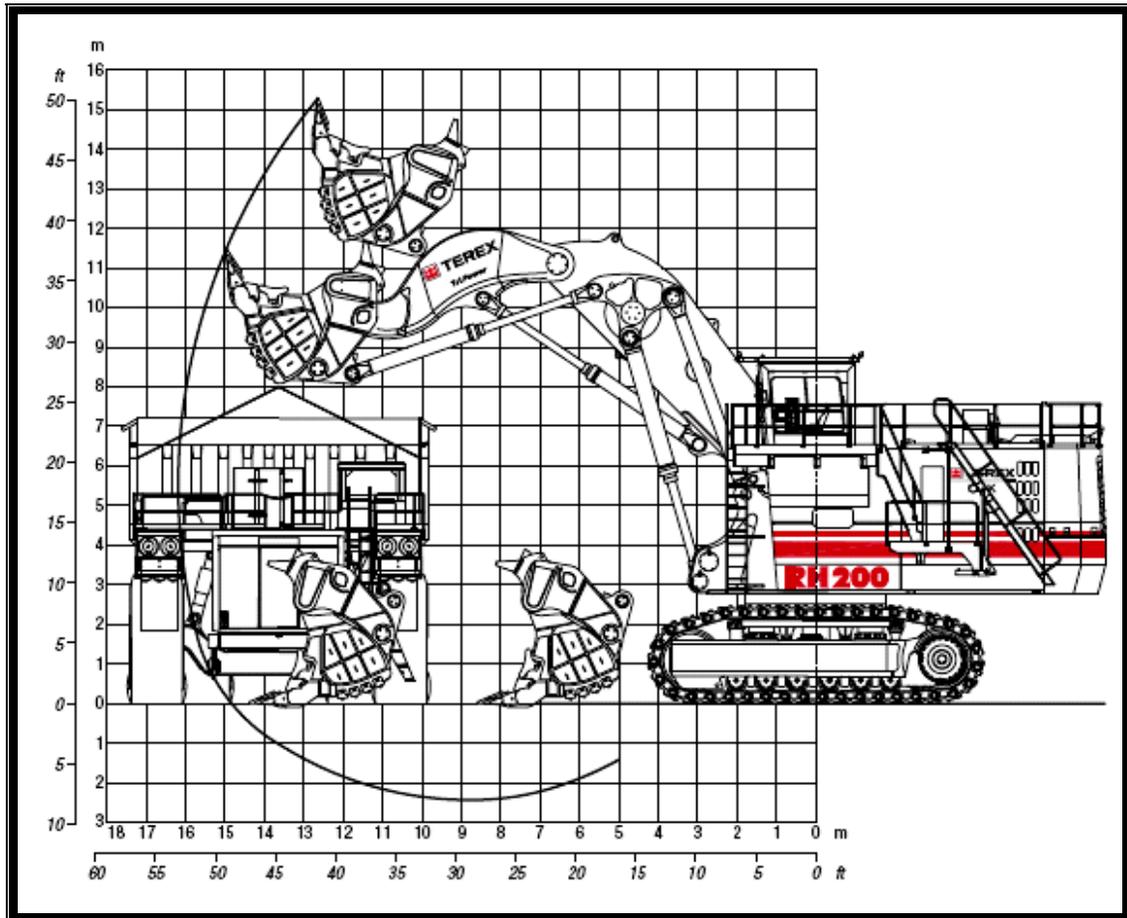
Son equipos de gran envergadura muy versátiles para minas con grandes volúmenes de material. En las figuras 3.14 y 3.15 Se presentan un esquema de funcionamiento para la RH200. En la tabla 3.2 se muestran las especificaciones de capacidad y potencia.

**TABLA # 3.2: ESPECIFICACIONES DE LA PALA RH 200 -FRONTAL**

<b>General Data</b>		
<b>Operating weight</b>		
Face shovel	525 t	579 sht
Backhoe	537 t	592 sht
<b>Engine output</b>		
SAE J 1995	1,880 kW	2,520 HP
<b>Standard bucket capacity</b>		
Face shovel (SAE 2:1)	26.0 m <sup>3</sup>	34.0 yd <sup>3</sup>
Backhoe (SAE 1:1)	28.0 m <sup>3</sup>	36.6 yd <sup>3</sup>

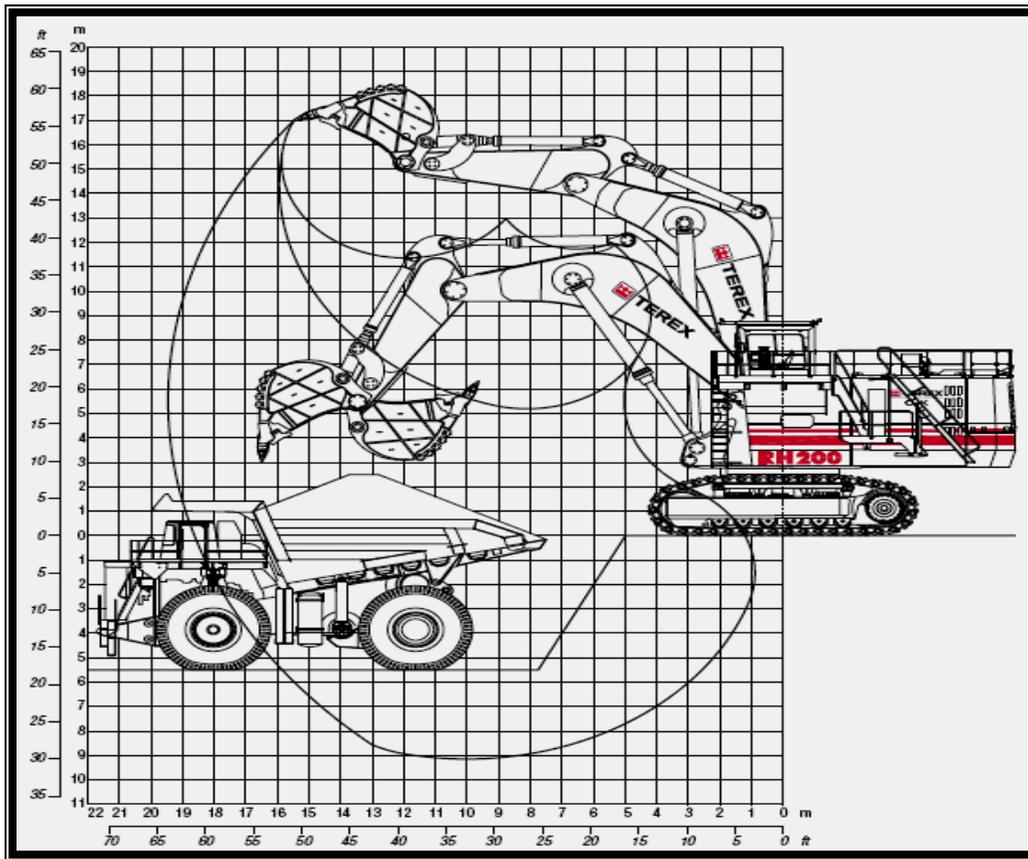
Fuente:Manual Hydraulic Mining Excavator, junio 200).

**FIGURA 3.14: ESQUEMA DE TRABAJO PARA LA RH 200 FRONTAL**



Fuente: Hydraulic Mining Excavator junio, 2008.

**FIGURA 3.15: ESQUEMA DE TRABAJO PARA LA RH 200 RETRO**

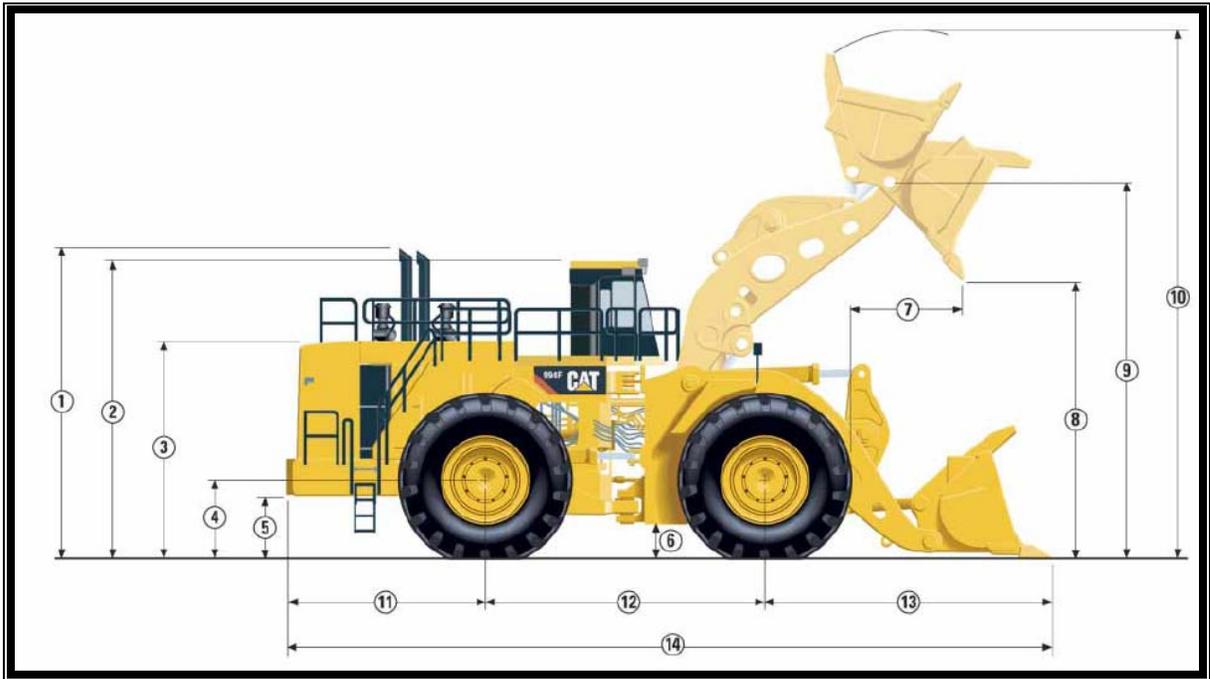


Fuente: Hydraulic Mining Excavator | RH 200, junio 2008.

### **🚧 Cargadores frontales**

Son equipos de carga muy versátiles, debido a que su sistema de rodamiento puede ser de neumáticos. Sus capacidades son variadas, e incluso los más grandes tienen la misma capacidad de las palas hidráulicas tipo RH 200. En la figura 3.16 se muestran sus dimensiones principales. En la tabla 3.3 se muestran las capacidades establecidas por el fabricante para un Caterpillar 994.

**FIGURA 3.16: ESQUEMA GENERAL DE UN CARGADOR FRONTAL**



Fuente: Caterpillar, Cargador de ruedas 994F, junio 2008.

**TABLA 3.3: CARACTERÍSTICAS DE LOS CARGADORES FRONTALES**

	Standard*	High Lift**	Super High Lift***
	53.5/85-57 tires	53.5/85-57 tires	58/85-57 tires
Height to Top of Exhaust Stacks	6988 mm (22.9 ft)	6988 mm (22.9 ft)	6747 mm (22.1 ft)
Height to Top of ROPS/FOPS	6736 mm (22.1 ft)	6736 mm (22.1 ft)	6494 mm (21.3 ft)
Height to Top of Hood	4833 mm (15.9 ft)	4833 mm (15.9 ft)	4591 mm (15.1 ft)
Height to Center of Axle	1829 mm (6 ft)	1829 mm (6 ft)	1587 mm (5.2 ft)
Bumper Clearance	1474 mm (4.8 ft)	1474 mm (4.8 ft)	1232 mm (4 ft)
Ground Clearance	811 mm (2.7 ft)	811 mm (2.7 ft)	569 mm (1.9 ft)
Reach at Maximum Lift/Dump	2309 mm (7.6 ft)	2764 mm (9.1 ft)	3400 mm (11.2 ft)
Clearance at Maximum Lift/Dump	5578 mm (18.3 ft)	6024 mm (19.8 ft)	7296 mm (23.9 ft)
Bucket Pivot at Maximum Lift	8140 mm (26.7 ft)	8479 mm (27.8 ft)	10 058 mm (33 ft)
Overall Height – Bucket Raised	10 933 mm (35.9 ft)	10 643 mm (34.9 ft)	14 372 mm (47.2 ft)
Length – Rear Axle to Bumper	4557 mm (15.0 ft)	4557 mm (15.0 ft)	4557 mm (15.0 ft)
Wheel Base Length	6400 mm (21.0 ft)	6400 mm (21.0 ft)	6400 mm (21.0 ft)
Length – Front Axle to Bucket Tip	5920 mm (19.4 ft)	6564 mm (21.5 ft)	8569 mm (28.1 ft)
Overall Length	16 877 mm (55.4 ft)	17 521 mm (57.5 ft)	19 526 mm (64.1 ft)

\* Standard machine equipped with 19 m<sup>3</sup> (24.5 yd<sup>3</sup>) 222 in bucket.

\*\* High Lift machine equipped with 18 m<sup>3</sup> (23.5 yd<sup>3</sup>) 245 in bucket.

\*\*\* Super High Lift machine equipped with 36 m<sup>3</sup> (47 yd<sup>3</sup>) 256 in bucket.

Fuente: Caterpillar, Cargador de ruedas 994F, junio 2008.

### Otros equipos de Carga

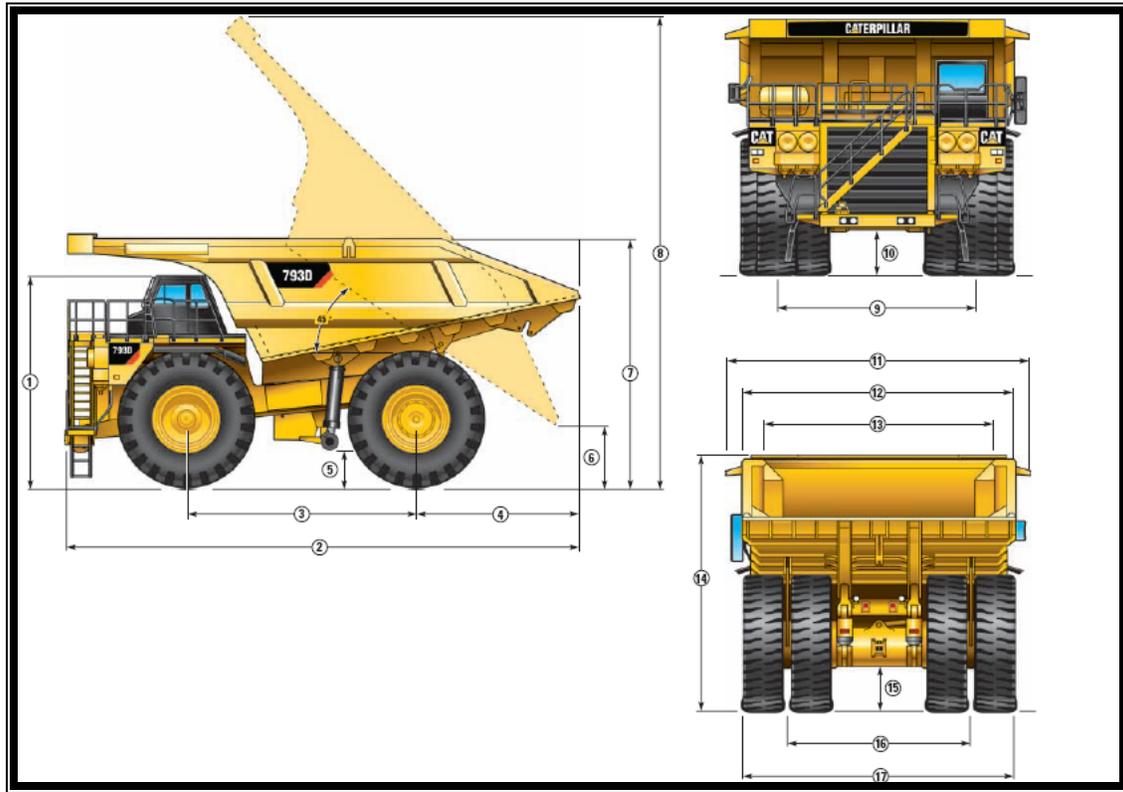
Existen variedad de equipos de carga, además de los ya estudiados, tales como:

- **Dragalinas:** Se mueven paralelas al banco. Las más grandes pueden excavar materiales altamente competentes.
- **Excavadora de cucharón de almeja:** El cucharón de almeja es muy versátil, adaptándose a la mayoría de las excavaciones. Se usa mucho en alimentación de tolvas.
- **Retroexcavadora:** Su funcionamiento es igual al de la pala retro pero su capacidad es menor y adicionalmente dispone de otra pala más pequeña. Es usada con frecuencia en obras subterráneas.

#### **3.3.2.2. Camiones**

Para escoger los camiones debe tomarse en cuenta varios factores, uno de ellos, por supuesto, es si la mina es a cielo abierto o subterránea; otros son los tiempos de viaje, distancias a recorrer, relaciones torque vs. velocidades, carga y descarga. Para ello se cuenta con programas de computación que pueden relacionar todos estos datos y dar como resultado el vehículo apropiado. La figura 3.17 ilustra el camión 793 Caterpillar, así como también las especificaciones técnicas de capacidad y potencias.

**FIGURA 3.17: CAMIONES ROQUEROS CAT 793**



Fuente: Caterpillar, 793D Mining Truck, junio 2008.

**TABLA 3.4: ESPECIFICACIONES DE LOS CAMIONES CAT 793**

1	Height to Top of ROPS	5584 mm	18 ft 4 in	14	Front Canopy Height	6494 mm	21 ft 4 in
2	Overall Length	12 862 mm	42 ft 3 in	15	Rear Axle Clearance	1128 mm	3 ft 8 in
3	Wheelbase	5905 mm	19 ft 5 in	16	Centerline Rear Dual Tire Width	4963 mm	16 ft 3 in
4	Rear Axle to Tail	3772 mm	12 ft 5 in	17	Overall Tire Width	7605 mm	24 ft 11 in
5	Ground Clearance	1005 mm	3 ft 4 in				
6	Dump Clearance	1364 mm	4 ft 6 in				
7	Loading Height – Empty	5871 mm	19 ft 4 in				
8	Overall Height – Body Raised	13 113 mm	43 ft 1 in				
9	Centerline Front Tire Width	5610 mm	18 ft 5 in				
10	Engine Guard Clearance	1294 mm	4 ft 3 in				
11	Overall Canopy Width	7680 mm	25 ft 3 in				
12	Outside Body Width	6940 mm	22 ft 10 in				
13	Inside Body Width	6500 mm	21 ft 4 in				

Fuente: Especificaciones Cat 793, 2008.

Los equipos de transporte o de acarreo deben ser seleccionados en primer lugar según el uso que le dará, camiones utilizados en minas subterráneas son, como hemos de suponer, menos altos que los usados a cielo abierto, son muy versátiles, el vagón va separado del tractor y poseen doble mando. A parte de este criterio de selección se debe tomar en cuenta otros como: la capacidad de hacer máximo uso del equipo sobre cualquier variedad de aplicaciones en las cuales debiera ser utilizado, las posibles restricciones sobre el espacio de maniobrabilidad, posibles restricciones en la existencia de puentes y/o caminos angostos, los grados de compatibilidad entre los equipos a utilizar en la producción de la mina, los efectos extremos de carga y descarga, etc.

Es importante señalar que en minas con galerías amplias, es posible usar equipos específicos para minas a cielo abierto, otro dato importante es que cuando la distancia entre el centro de producción y/o explotación y los centros de beneficios, son bastante largas (más de 4 Km.).

Existen varios tipos de camiones, de los cuales se nombran:

**Tipo convencional (Volteo):** el cual tiene la batea montada encima del chasis del camión, y los hay de dos ejes y tres ejes.

**Tipo tractor-trailer (Rockers):** en el cual la batea va separada del tractor, y los hay con tractores de un eje y dos ejes.

**Descarga lateral (Tipo tractor-trailer).**

**Descarga Inferior o de fondo:** este consiste de un tractor acoplado a una batea con compuertas de piso o en el fondo de la misma.

Para la escogencia del camión deben considerarse los siguientes factores:

- Manejo del Material.

- Tipo y naturaleza del material.
- Peso del material y capacidad real.
- Porcentaje de engrosamiento o compactación.
- Rutas: Longitud del camino a recorrer así como las pendientes.
- Radios de giros de las curvas del camino.
- Amplitud de los caminos.
- Tipo de superficie.
- Localización de paradas.
- Descarga del Material:
- Puntos de descarga.
- Tamaños y tipos de trituradores
- Capacidad por hora de los trituradores.
- Sitios de apilamiento de material.
- Condiciones Atmosféricas:
- Rango de temperatura del aire ambiental.
- Condiciones de andes y/o lluvia.

- Condiciones de humedad.
- Altitud
- Velocidades Límites de los equipos de carga.
- Facilidades en las Operaciones de carga:
- Tipo y poder de los shovel, dragalinas, palas, etc.
- Tiempos de carga, capacidad de carga.
- Producción que se requiere.
- Tiempo: números de días operativos por año. Números de turno y horas por día operativas

### **3.3.2.3. Equipos auxiliares**

Como se dijo anteriormente, se encuentran dentro del ciclo de producción, pero en actividades diferentes a las de carga y acarreo, las cuales son las que permiten establecer el ritmo de producción. Los equipos auxiliares tratados en este punto son:

- Tractores (Bulldozer)
- Moto niveladoras (Motor Grades)
- Moto traíllas

#### **Tractores (Bulldozer)**

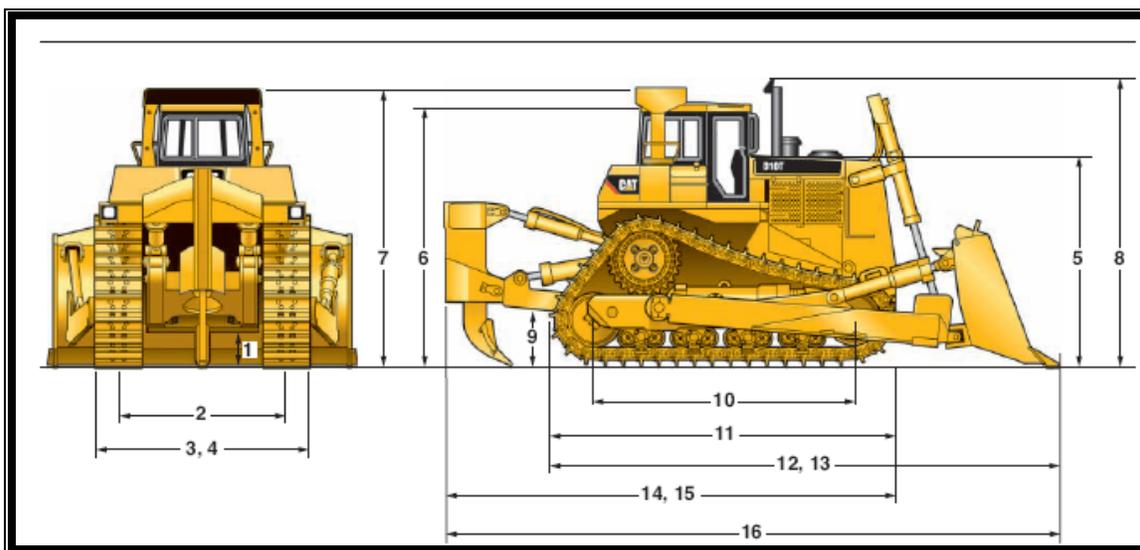
Son utilizados como una alternativa para el arranque del material en minería de superficie. El trabajo a realizar dependerá del tipo de hoja topadora que utilice. Pueden

ser de neumáticos o de orugas. En la figura 3.18 y la tabla 3.5 se muestra un tractor de cadenas (orugas) Caterpillar.

Los tractores tienen los siguientes usos en la actividad minera:

- Desmonte o despalme del recubrimiento del mineral.
- Construcción y mantenimiento de vías de acceso.
- Desarrollo y mantenimiento de escombreras.
- Remoción de capa vegetal.
- Construcción de drenajes.
- Mantenimiento de los frentes de excavación.
- Empuje de mineral.
- Rellenos sanitarios.
- Movimiento de cables y accesorios del equipo pesado.

**FIGURA 3.18: TRACTORES CAT D11**



Fuente: Caterpillar, Tractor de cadenas 10T, junio 2008.

**TABLA # 3.5: ESPECIFICACIONES DEL TRACTOR DE CADENAS**

1	Ground Clearance	615 mm	24 in	10	Length of Track on Ground	3855 mm	152 in
2	Track Gauge	2.5 m	100 in	11	Length Basic Tractor with Drawbar	5331 mm	17.5 ft
3	Width without Trunnions (Standard Shoe)	3160 mm	10.4 ft	12	Length with SU-blade	7500 mm	24.6 ft
4	Width Over Trunnions	3716 mm	12.2 ft	13	Length with U-blade	7754 mm	25.4 ft
5	Height (Stripped Top)	3222 mm	10.6 ft	14	Length with Single-Shank Ripper	7091 mm	23.3 ft
6	Height (FOPS Cab)	4078 mm	13.4 ft	15	Length with Multi-Shank Ripper	7048 mm	23.1 ft
7	Height (ROPS/Canopy)	4340 mm	14.2 ft	16	Overall Length (SU-Blade/SS Ripper)	9260 mm	30.4 ft
8	Height (Top of Stack)	4543 mm	14.9 ft				
9	Drawbar Height (Center of Clevis)	779 mm	31 in				

Fuente: Caterpillar, Tractor de cadenas 10T, junio 2008.

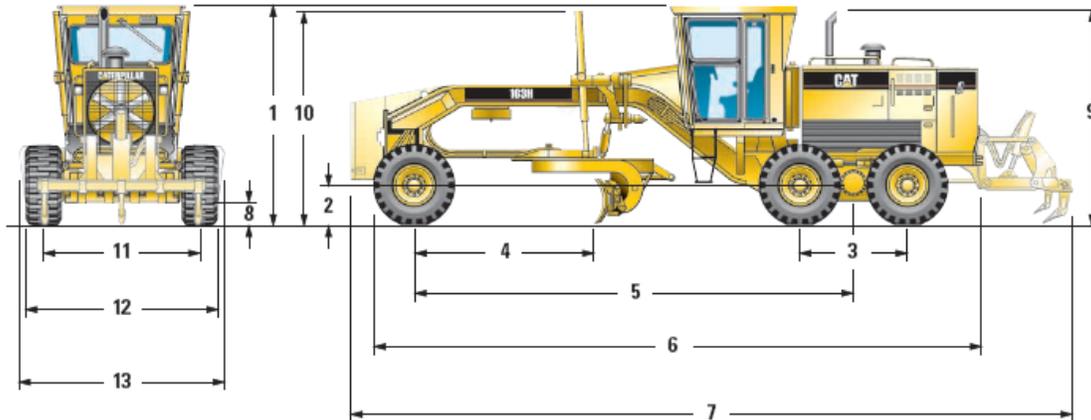
### **Moto niveladoras**

Las tareas asignadas a este equipo en minería son principalmente:

- Mantenimiento de vías, escombreras y frente.
- Construcción y limpieza de cunetas.
- Limpieza de nieve.

- Acondicionamiento de frente.

**FIGURA 3.19: MOTONIVELADORA 16H CATERPILLAR**



**TABLA # 3.6: ESPECIFICACIONES DE LA MOTONIVELADORA 16H CATERPILLAR**

1	Height - low profile cab	3131 mm	123 in	7	Length - counterweight to ripper	10 097 mm	398 in
	- high profile cab	3356 mm	132 in	8	Ground clearance at trans. case	344 mm	13.5 in
	- no cab	3103 mm	122.2 in	9	Height to exhaust stack	3103 mm	122.2 in
2	Height to axle	600 mm	23.6 in	10	Height to top of cylinders	3028 mm	119.2 in
3	Length - between tandem axles	1523 mm	60 in	11	Width - tire center lines	2091 mm	82.3 in
4	Length - front axle to moldboard	2518 mm	99.1 in	12	Width - outside rear tires	2457 mm	96.7 in
5	Length - front axle to mid tandem	6169 mm	243 in	13	Width - outside front tires	2553 mm	100.5 in
6	Length - front tire to	8713 mm	343 in				

Fuente: Caterpillar, *Moto Grader*, junio 2008.

### 3.4 ANÁLISIS DE PROYECTOS MINEROS Y CÁLCULO DE INVERSIÓN

Antes de que exista un proyecto minero como tal y tenga vida propia, como una explotación, de pasar por la fase de comprobación de su viabilidad (JIEMENO, 1997). Esta fase se conoce en la teoría general de proyectos como **Fase de estudios previos**, en la cual se realizan las investigaciones, estudios, cálculos e informes necesarios para poder tomar la dedición en cuanto a la ejecución del proyecto.

Los estudios generalmente se concentran en cuatro aspectos fundamentales: técnicos, económicos, ambientales y comerciales, o cualquier combinación de éstos; por lo cual la

factibilidad requerirá varios estudios para verificar la factibilidad de cada uno de estos aspectos.

Los estudios tienen las características de ser abordados de lo más general a lo más detallado, debido a que cada estudio representa un costo importante y cada paso debe justificar realizar el siguiente. Así mismo, deben tener una orientación económica fuerte, ya que han de servir de apoyo para una evaluación económica y financiera. Igualmente, el tiempo que se dedique al estudio debe ser considerado, por que si bien mientras más se dedique a conocer sobre lo que se investiga, más recursos se requieren y mayor tiempo tardará en ejecutarse el proyecto.

Los costos se ven afectados en función de la fase en la cual se encuentra el proyecto. En la figura 3.20 se ilustra la influencia de los costos en las fases del proyecto.

**FIGURA 3.20: CAPACIDAD DE INFLUIR EN LOS COSTOS EN LAS FASES DE GESTACIÓN DE UN PROYECTO**



Fuente: Tomado de Estudios de Viabilidad de Proyectos Mineros de inversión, 1997.

### **3.4.1.- CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE LOS PROYECTOS MINEROS**

Los negocios mineros se caracterizan por un conjunto de aspectos particulares que le configuran en el ambiente económico con una problemática de valoración única. De acuerdo a JIMENO (1997), las características de un proyecto minero son:

#### **3.4.1.1 Agotamiento de los recursos**

Es factor que marca la diferencia en otras actividades económica, ya que los yacimientos tienen un volumen limitado y su vida dependerá del ritmo de producción, es decir, cada tonelada que extrae de la mina, significa una tonelada menos del recurso y por consiguiente menor tiempo de vida al proyecto. Esto se debe a que son formados por procesos geológicos, con lo que la velocidad de de génesis es muy inferior a la velocidad de consumo.

#### **3.4.1.2 Situación de los yacimientos y periodos de desarrollo de los proyectos.**

Debido a la distribución espacial de los depósitos, aleatoria y caprichosa, los minerales deben extraerse en aquellos lugares donde se han formado, que en ocasiones son áreas remotas, alejados y poco accesibles que implican un elevado coste de infraestructura y de transporte de productos vendibles.

Una vez determinada la localización exacta de yacimiento, se requieren bastantes años de intenso esfuerzo para desarrollar y llegar a producir la cantidad de mineral prevista o productos de forma continua. Los periodos de producción pueden durar desde varios años hasta décadas, dependiendo de los métodos de explotación, del tratamiento mineralúrgico, tamaño y localización del yacimiento, complejidad de los trámites oficiales, entre otros.

#### **3.4.1.3. Demanda de Capital**

La magnitud de capital que requiere un proyecto minero es, por lo general, extremadamente grande. Varía según el tipo de mineral o producto, el método de explotación, la capacidad de la mina, localización y otros parámetros. Solo la

infraestructura para las minas en lugares remotos puede suponer algunos cientos o miles de millones de pesetas. Incluso, algunas explotaciones de metales preciosos, que emplean poca mano de obra, precisan importantes cantidades de capital.

Esa fuerte demanda de capital da como resultado unos costos estructurales únicos en la industria. Los costos medios totales de producción, que incluyen costos fijos y costos variables por unidad de productos, son frecuentemente menor que los costos marginales para la misma unidad.

#### **3.4.1.4. Riesgo económico**

A demás de los riesgos evidentes asociados a la intensidad de capital y a de los plazos de maduración de los proyectos, los proyectos mineros incluyen otros motivos de riesgo económico, algunos controlables por el inversor y otros no. En general, estos riesgos se pueden subdividir en: riesgo geológico, riesgos operativos, riesgos económicos y riesgos políticos.

Por parte del yacimiento, el riesgo proviene de que al ser la evaluación del mismo un proceso largo y costoso, se realizan las estimaciones llegando a un compromiso entre la información y el coste de la misma, lo que implica que el grado de imprecisión en parámetros tales como reserva y leyes sean muchos mas altos que los de las partidas del negocio.

Los riesgos técnicos se han reducido notablemente en los últimos años y su incidencia se a minimizado a través de una mayor mecanización y automatización de las instalaciones, y una mejora en la seguridad de las mismas.

En el ámbito económico no se puede decir lo mismo. Por un lado, las condiciones del mercado son cada vez más difícil de prever y presentan fuertes fluctuaciones en plazos cortos, lo que unido a los importantes desembolsos de capital y a los largos periodos de preproducción en los nuevos proyectos configuran a estos con un alto riesgo.

Por último, están los riesgos políticos que deben ser valorados preferentemente por aquellas compañías que intentan desarrollar proyectos en países extranjeros en vías de desarrollo.

#### **3.4.1.5 Indestructibilidad de los productos**

Otro aspecto diferenciador de la industria minera se basa en el hecho de que muchos metales son indestructibles. La consecuencia inmediata es una producción secundaria creciente, en detrimento de la aportación del mercado primario. El reciclado tiene numerosas ventajas económicas, debido a menor cantidad de energía, menores costos de obtención, menor contaminación ambiental, entre otras.

#### **3.4.1.6 Incidencia en el ambiente**

El despertar universal de la conciencia por el medio ambiente, que surgió en la década de los años setenta, al detectarse en los países más desarrollados que el bienestar económico iba acompañado de unas secuelas no deseadas en la naturaleza y difícilmente aceptable por la poblaciones, se a traducido en una normativa que obliga la recuperación de los terrenos y a la adopción de medidas para minimizar los impactos.

#### **3.4.2.- MODELO ECONÓMICO DE LOS PROYECTOS MINEROS**

Los proyectos mineros de inversión están constituidos por un conjunto de activos que se complementan formando una unidad global para conseguir el mismo fin. Dentro de las empresas como sistemas de flujos de fondos; los fondos llegan a la empresa, se invierten, generan nuevos fondos.

El movimiento de fondos o modelo económico es base de la evaluación económica mde los proyectos de inversión. Dicho movimiento a su vez, se basa en un conjunto de previsiones relativas al mercado *producción y precios*, como a la propia empresa *costos, amortizaciones, impuestos*. En la medida en que estos estudios se ajusten a la realidad, el modelo económico previsto también se ajustará a la realidad y la evaluación económica será válida.

### 3.4.3.- CONCEPTO DE INVERSIÓN EN LA EMPRESA

En toda actividad empresarial, se entiende por inversión la adquisición de activos fijos, es decir, la adquisición de bienes que implica la inmovilización de fondos durante un período de tiempo, normalmente superior a un año; este plazo es arbitrario, aunque de uso casi general, al objeto de disminuir la inversión de las adquisiciones de activos circulantes o empleo de fondos con menores periodos de realización y, por tanto, con expectativas de de generación de de ingresos acorto plazo.

### 3.4.4 .- TIPOS DE INVERSIONES EN MINERÍA

Las exigencias de la rentabilidad en minería difieren según las distintas características de inversión. Por tanto, es lógico pensar en una clasificación de éstas, como fase previa al análisis y toma de decisión.

Los tipos de inversión que pueden distinguirse en el sector minero son fundamentalmente:

**Adquisición de una propiedad minera desarrollada o no.** Si la propiedad no está desarrollada, pero se dispone de toda la información del yacimiento, será preciso la elaboración de un proyecto que contemple todas las instalaciones y proceso para poner la mina en marcha. Si por el contrario, el yacimiento ya se esta explotando se tratará de simular el movimiento de fondos durante el resto de la vida que le quede a la mina, valorando todos los activos existentes y determinando la rentabilidad de la inversión.

**Investigación para descubrir posibles yacimientos o ampliar el volumen de reserva existente.** Se trata de inversiones caracterizadas por un alto riesgo, cuya justificación se basa en las expectativas de encontrar o identificar nuevas masa de mineral con vistas a explotar.

**Desarrollo y construcción de nuevas minas.** Es el típico caso para poner en marcha un proceso productivo. Se partirá del conocimiento del depósito mineral, avalado por las

investigaciones llevadas a cabo, y se realizará todo un conjunto de estudios previos o de apoyo que justificarán la consecución de trabajos de ingeniería en inversión en la preparación de la mina, construcción de las instalaciones e infraestructura.

**Ampliación de operaciones existentes.** Con estas inversiones se pretende aumentar la capacidad productiva de las explotaciones. En este caso el riesgo económico suele ser inferior al de las otras inversiones, pues se posee un mayor conocimiento del depósito, de las características del mineral, del proceso de extracción y tratamiento, del mercado, etc.

**Mejora de métodos de y procesos de producción.** Van destinadas a mejorar las líneas de proceso y sistemas de producción ya existentes, con vistas a aumentar los rendimientos y disminuir los costos de producción, así como la mejora de la calidad y revalorización de algunos productos obtenidos.

**Sustitución de equipos.** Son aquellos destinados a la compra de nuevos equipos que desarrollarán funciones de otros ya existentes dentro del proceso de producción.

**Alquiles de equipos o propiedades.** Completan la adquisición de activos necesarios para llevar a cabo la explotación minera. En ocasiones también se le imputan a los costos de explotación.

**Contratación de servicios.** Estos servicios suelen ser, los necesarios para adquirir una tecnología de la que carece la propia empresa, sobre todo en las primeras etapas del desarrollo de los proyectos.

#### **3.4.5.- PERFIL DE UN PROYECTO DE INVERSIÓN**

Toda inversión origina una corriente de flujo de fondos a lo largo del tiempo que sirve para definirla, como se muestra en la figura 3.21. Cuando se trata de la elección de dos o

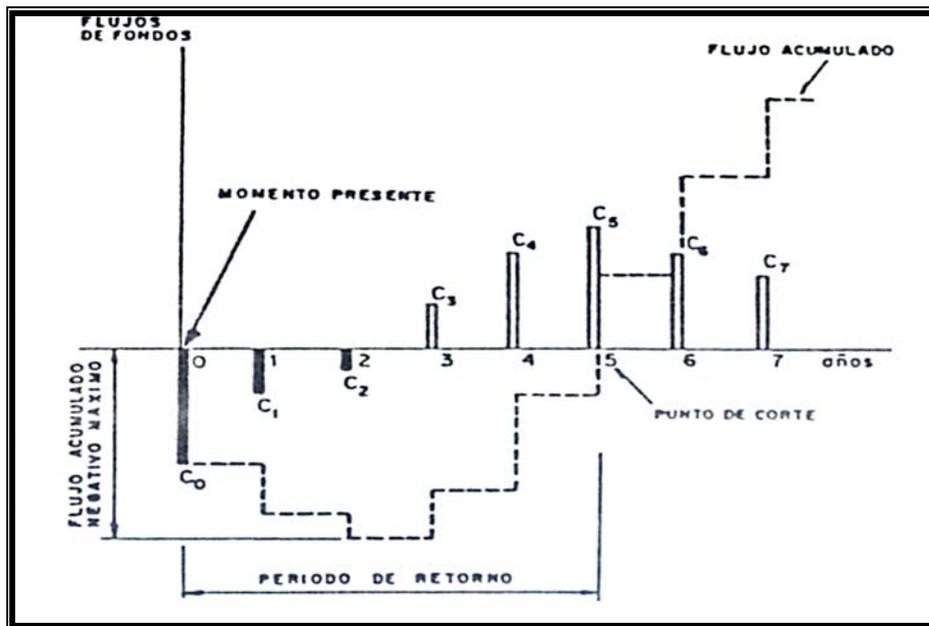
más proyectos alternativos, el análisis económico permite una comparación sintética de las respectivas corrientes de fondos, extrayendo de unos indicadores adecuados.

Los parámetros básicos que caracterizan el perfil de un proyecto de inversión, con vista a su evaluación económica, y sin considerar financiamiento, son:

- Flujo de caja
- La dimensión
- El horizonte temporal

La inversión que se realiza en un proyecto genera en cada año de su vida un conjunto de ingresos y egresos, que dan lugar al balance general del ejercicio de cada año. La diferencia entre estos ingresos y egresos, que puede ser positiva o negativa como movimiento de fondos, **flujo de caja o cash-flow** del proyecto.

FIGURA 3.21: COMPORTAMIENTO DE FLUJO DE CAJA EN PROYECTO MINERO



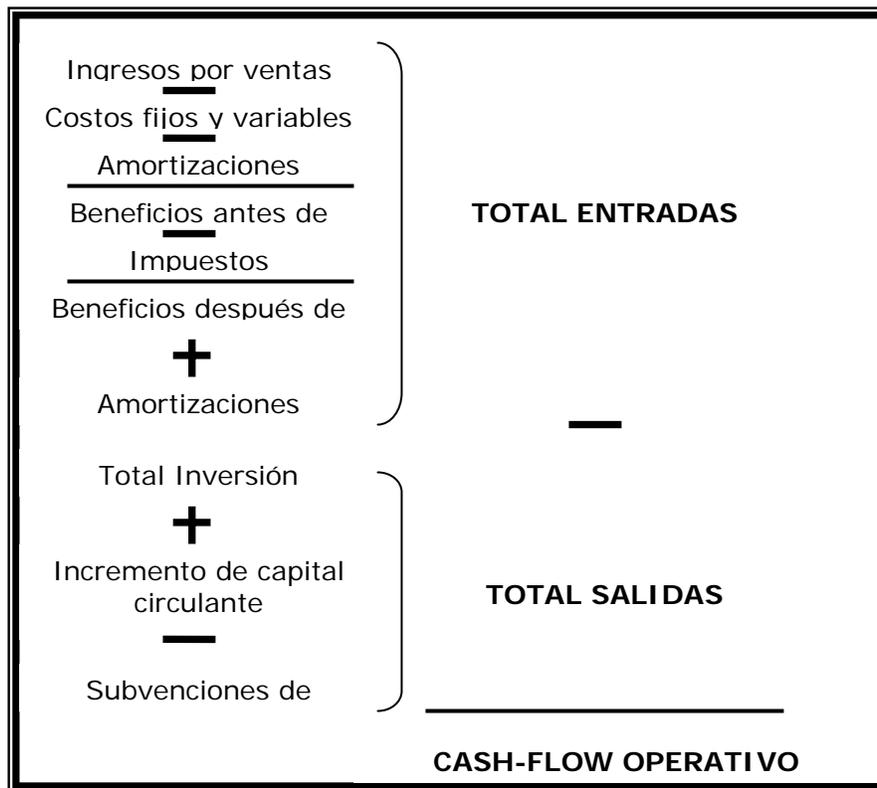
Fuente: Tomado de Estudios de Viabilidad de Proyectos Mineros de inversión, 1997.

El cálculo de movimientos de fondos de un proyecto requiere la determinación, período a período, de las partidas de inversiones en inmovilizado, capital circulante, beneficios, amortizaciones, impuestos, etc., tal como se refleja en la figura 3.22.

Conviene destacar que se denomina **movimiento de fondos o *cash-flow operativo*** es un concepto distinto a ***cash-flow*** (beneficio más amortización). El *cash-flow* representa los fondos generados por el proyecto en cada año, mientras que el movimiento de fondos refleja los fondos que proyecto devuelve efectivamente al inversor, pudiendo disponer de ellos libremente.

Al conjunto de *cash-flow* anuales correspondientes a una inversión, normalmente se le designa como *cash-flow* de la inversión.

**FIGURA 3.22: CÁLCULO DE FLUJO DE CAJA**



Fuente: Tomado de Estudios de Viabilidad de Proyectos Mineros de inversión, 1997.

### **3.4.6. FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS INGRESOS**

En un proyecto minero, los ingresos están formados por las vetas de los principales productos procedentes de la explotación y de algunos coproductos o subproductos que pueden producirse de forma continua o episódica. Así pues, los ingresos generados por la producción minera dependen de la cantidad física y de los precios unitarios de los productos principales, productos o subproductos.

A continuación se examinan los factores principales que influyen sobre los ingresos totales.

#### **3.4.6.1. Factores técnicos que influyen en la producción**

##### **Dilución y recuperación**

Fijados los parámetros que determinan el grado de reserva económica, a la hora de estudiar su explotación, hay que tener en cuenta que ningún método racional que permita el aprovechamiento y la recuperación de la totalidad de reserva. Corresponde al laboreo de minas y mineralurgia establecer los grados de recuperación que pueden esperarse, de acuerdo a los métodos seleccionados.

##### **Perdidas de tratamiento mineral**

Solo en raras ocasiones un mineral puede utilizarse o comercializarse tal y como se presenta en la naturaleza. Lo más normal es que del “todo-uno” o “zafra” sufra un proceso más o menos complejo con el objeto de:

Enriquecerlo, aumentando su contenido en el metal o sustancia(s) objeto de explotación.

Clasificación por tamaño, de acuerdo con las exigencias y necesidades de mercado.

Conseguir una separación diferencial de distintos productos cuando la índole de minerales de partida y de condiciones comerciales así lo aconsejan.

Son muy variados los procesos de tratamiento a que puede someterse un mineral, pasando desde los más simples, como son la trituración y clasificación a los más complicados como flotación y separación magnética; en cualquier caso, siempre hay que contar con una pérdida de las sustancias objeto explotación que dependerá tanto de la naturaleza del propio mineral como las características del proceso aplicado.

#### **3.4.6.2. Pérdidas en la manipulación y transporte**

Las pérdidas por manipulación y transporte varían con la índole de tales operaciones y, por supuesto, con las características del producto. En algunos casos pueden llegar hasta el 4 o 5%, lo que supone una reducción nada desdeñable. Para los presupuestos del proyecto, bastará, en el principio, con el asesoramiento de empresas especializadas en este tipo de operaciones.

#### **3.4.7. COSTOS DE OPORTUNIDAD**

La evaluación económica de un proyecto de inversión mediante la determinación de los fondos generados menos los fondos absorbidos, requiere una estimación del coste de utilización de los activos involucrados en el proyecto. Para ello, es indispensable considerar las alternativas reales existentes para la utilización de dichos activos.

En este sentido, los únicos costos aplicados en el análisis económico son los costos de oportunidad, entendiéndolo como tal la máxima remuneración real a la que se puede optar para el activo incorporado en el proyecto. Es decir, la decisión de invertir en el proyecto implica el sacrificio de los ingresos que hubieran podido obtener en otras aplicaciones de estos mismos recursos. Por tanto, el costo de oportunidad es el mayor beneficio sacrificado.

Es evidente que en aquellos activos que se obtienen mediante alquiler o compra en un mercado abierto, el costo de oportunidad coincide con el pago realizado.

La situación problemática para la determinación del costo de oportunidad se presenta cuando los factores productivos son propiedad de la empresa, con lo que su valoración debe realizarse teniendo en cuenta que se trata de un bien susceptible a tener utilidades alternativas. Así, en el caso de la utilización de bienes o de instalaciones procedente de otros sistemas, su costo se debe estimar en función de los ingresos que producirían de su utilización, venta, alquiler o cualquier otra forma de aprovechamiento.

### **3.4.8. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS PROYECTOS MINEROS**

El análisis económico de un proyecto de inversión tiene por objeto el estudio de la evolución de los resultados de la empresa y la rentabilidad de los capitales empleados.

La evolución económica constituye una herramienta muy importante para la toma de decisiones, aunque no exclusiva, ya esta debe considerar los aspectos técnicos, de mercado, de riesgo y ambientales.

El análisis económico se efectúa manejando el modelo económico del proyecto, que está constituido por la sujeción temporal de flujos de fondos (positivos o negativos) que determinan el posible atractivo económico del proyecto. Para que el análisis económico sea completo es preciso considerar el valor temporal del dinero, dada la ocurrencia de flujos de caja en distintos períodos.

#### **3.4.8.1. CONCEPTOS BÁSICOS**

El marco teórico está estructurado en dos áreas principales de la minería: la economía minera y el estudio de proyectos, y el área de explotaciones mineras. A continuación se exponen los conceptos fundamentales aplicados a estas áreas.

##### **Economía minera**

Es la aplicación de los conceptos y principios económicos a la extracción minera. Las condiciones de aplicación de las dichas teorías se ven particularizadas debido a que los proyectos mineros presentan características especiales, las cuales son:

- Los recursos minerales son del tipo no renovable, por lo cual tienen una vida establecida en función de las reservas y ritmo de producción.
- La ubicación aleatoria de los depósitos con respecto a la infraestructura básica y servicios. En otras palabras, el desarrollo de la mina debe realizarse en el lugar donde se encuentra el mineral.
- El capital a invertir para el inicio del proyecto es elevado.

### **Capital**

El capital es factor de producción constituido por inmuebles, maquinaria o instalaciones de cualquier género, que, en colaboración con otros factores, principalmente el trabajo y bienes intermedios, se destina a la producción de bienes de consumo. Es la cantidad de recursos, bienes y valores disponibles para satisfacer una necesidad o llevar a cabo una actividad definida y generar un beneficio económico o ganancia particular.

### **Costos**

El término "costo" tiene las acepciones básicas:

La suma de esfuerzos y recursos que se han invertido para producir una cosa.

Lo que es sacrificado o desplazado en el lugar de la cosa elegida.

El primer concepto expresa los factores técnicos de la producción y se le llama costo de inversión, y el segundo manifiesta las posibles consecuencias económicas y se le conoce por costo de sustitución.

La contabilidad de costos consiste en una serie de procedimientos tendientes a determinar el costo de un producto y de las distintas actividades que se requieren para su fabricación y venta, así como para planear y medir la ejecución del trabajo.

### Clasificación de los costos

De acuerdo a MARTINEZ (2008), los costos tienen varias clasificaciones en las cuáles están:

Estos han sido clasificados en concordancia con:

1. La naturaleza de las operaciones de fabricación
2. La fecha o método de cálculo
3. La función del negocio de que se trata
4. Las clases de negocios a que se refieren
5. Los aspectos económicos involucrados

**Costos humanos y costos monetarios:** Los costos monetarios reciben en contabilidad el nombre de costos reales o incurridos. El costo de un satisfactor será igual a la suma de lo gastado para producirlo.

**Costo Escasez:** El costo es un aspecto de la escasez. Los bienes que tienen mayor costo son los más escasos; los bienes más costosos son los que alcanzan el mayor precio. "Para esta noción del costo la única hipótesis esencial es la escasez de los medios de producción."

**Costo Unitario:** Puede medirse en función de su producción y distribución. Este costo es el que sirve para valuar las existencias que aparecen en el balance general y estado de pérdidas y ganancias en los renglones de los inventarios de producción en proceso y productos terminados. También puede medirse en relación con la posibilidad de aplicar directa o indirectamente a la unidad los gastos incurridos.

**Costo de distribución:** Comprende los gastos de venta, propaganda, transporte, cobranza, financiación y gastos generales. Tiene la característica de ser una deducción directa de los ingresos que no se acumula en los libros al costo de la unidad producida.

**Costo directo:** Los que pueden identificarse específicamente en la unidad.

**Costos indirectos:** No puede identificarse en la unidad.

**Costos Fijos:** Se supone permanecen con el mismo importe para la capacidad normal de la fábrica.

**Costos Variables:** Cambian más o menos directamente de acuerdo con el cambio en el volumen de producción.

**Costos SemivARIABLES:** Cambian según las fluctuaciones en el volumen, pero gradualmente y no directamente.

De acuerdo con la Universidad Regiomontana, la clasificación es:

De acuerdo con la función en la que se incurren: Costos de producción, Costos de distribución o venta, Costos de administración

De acuerdo con su identificación a una actividad, departamento o producto: Costos directos, Costos indirectos

De acuerdo con el tiempo en que fueron calculados: Costos históricos, Costos predeterminados

De acuerdo con el tiempo en que se cargan o se enfrentan a los ingresos: Costos de periodo, Costos del producto

De acuerdo con la autoridad que se tenga sobre la ocurrencia de un costo: Costos controlables y Costos no controlables

De acuerdo con su comportamiento: Costos variables, Costos fijos discretos fijos o Costos semivariables a semifijos

De acuerdo con su importancia para la toma de decisiones: Costos relevantes Costos irrelevantes

De acuerdo con el tipo de sacrificio en que se ha incurrido: Costo desembolsable, Costo de oportunidad

De acuerdo con el cambio originado por un aumento o disminución en la actividad; Costos diferenciales para un aumento o disminución en la actividades Costos incrementales

### **Interés**

Cantidad adicional de unidades monetarias, que por la suma actual o presente debe entregarse o recibirse en el futuro, al fin de un lapso convenido. También se puede definir como la renta que se paga por utilizar un dinero ajeno, o bien en que se gana al invertir determinada cantidad de dinero.

### **Tipo de interés**

Cuando la cantidad adicional de unidades monetarias, es directamente proporcional a la suma actual o presente, a la tasa de interés por periodos (en términos de porcentaje) y al número de periodos que forma el lapso, pero sin incorporarla o descargarla de la suma actual o presente al final de cada periodo, considerando que ésta se conserva constante, se dice que el **interés es simple**.

Cuando la cantidad adicional de unidades monetarias, es directamente proporcional a la suma actual o presente, a la tasa de interés por periodos (en términos de porcentaje) y al

numero de periodos que forma el lapso, pero incorporarla o sustrayéndola de la suma actual o presente al final de cada periodo, considerando que ésta se conserva constante, se dice que el **interés es compuesto**. En este caso en ambas formas de pago se habla de interés sobre saldos deudores.

#### **3.4.8.1. Valor temporal del dinero**

Para realizar un correcto análisis de flujos de caja de un proyecto, es preciso tener en cuenta el valor cronológico del dinero. El origen de éste concepto estriba en que el dinero tiene un costo de utilización significativo. Por un lado, dicho costo se puede expresar en distintas formas de intereses que hay que desembolsar si no ha sido prestado, o bien como el coste de oportunidad equivalente a los intereses que se obtendrían de otras aplicaciones.

Por consiguiente, dado un cierto capital, se podrá disponer de él, incurriendo en un costo de oportunidad, o por el contrario, ceder su uso durante un período de tiempo, recibiendo a cambio unos intereses por la falta de disponibilidad de dicho capital.

Habitualmente se trabaja con una tasa de interés que se expresa como un porcentaje del capital y que se refiere a cierto período de tiempo.

#### **3.4.8.2. Factores de actualización**

En términos matemáticos sencillos, si se considera una cantidad monetaria “P”, y un interés en tanto por ciento “i”, al final de “n” años el dinero disponible “F” será:

$$F = P(1 + i)^n$$

Al realizar la operación inversa resultará que una cantidad “F” depositada dentro de “n” años tiene hoy para una tasa de actualización “i” un valor actual de “P” igual a:

$$P = \frac{F}{(1 + i)^n}$$

Si se supone una serie uniforme de imposiciones con un mismo importe “A” efectuadas al final de cada año, con una tasa de actualización “i” el valor futuro de esa serie resultará, tras diversas operaciones, igual a:

$$F = A \frac{[(1+i)^n - 1]}{i}$$

El valor actual correspondiente se obtiene de dividir la expresión anterior entre  $(1+i)^n$ :

$$F = A \frac{[(1+i)^n - 1]}{i(1+i)^n}$$

Las expresiones anteriores permiten establecer las seis relaciones posibles entre “P, F, y A”, que representan los factores de actualización.

### 3.4.8.3. Tasa de actualización

Los flujos de caja de cualquier proyecto que se analice se deben actualizar con un tipo de tasa que debe ser igual a la **rentabilidad mínima aceptable (RMA)**. De esta forma, al actualizar dichos flujos, el proyecto sería aceptable según que el valor actualizado neto total sea positivo o negativo.

En condiciones de capital disponible para invertir limitado, que es caso más frecuente, la RMA equivale a la rentabilidad del proyecto más atractivo pendiente de financiar dentro de la cartera de proyecto que la empresa posee.

### 3.4.9. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Para llevar a cabo la valoración económica de los proyectos existen diferentes métodos que pueden clasificarse en dos grandes grupos, según tengan en cuenta o no el valor temporal del dinero., en métodos estáticos y métodos dinámicos.

### 3.4.9.1. Métodos estáticos

El No consideran el factor tiempo. El más utilizado es conocido como **Periodo de Retorno (PR) o “Payback time.”**. Se trata de calcular el número de años que son necesarios para recuperar la cantidad de dinero invertida en el proyecto. Para ello se suma algebraicamente los flujos de caja positivos de los diferentes períodos hasta llegar a aquel que iguala la cantidad monetaria invertida.

### 3.4.9.2. Métodos dinámicos

Este grupo de métodos tiene como características fundamental que toman en cuenta el momento en que se produce cada flujo de caja. Siempre es preferible percibir una suma de dinero hoy que mañana.

A continuación se presentan estos métodos:

#### **a) Valor Actualizado Neto ó Valor Presente Neto (VPN)**

El valor actualizado se calcula deduciendo del valor actual de flujos de cajas de explotación el coste de la inversión. Su formula es:

$$VPN = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+i)^n} - C_0$$

Siendo:

$C_0$  = Coste Inicial de la Inversión

$C_i$  = Fondos positivos netos correspondientes al año  $i$

$i$  = Tipo de interés o de RMA

$n$  = Número de años

El hecho de que que l proyecto tenga un VPN positivo, significa que la inversión en el mismo resulta más ventajosa que en la mejor de las otras oportunidades, pues el patrimonio experimento un crecimiento. En el caso de varias opciones con VPN positivo, la más atractiva será la que numéricamente sea mayor siempre y cuando los niveles de inversión sean similares.

#### **b) Tasa Interna de Retorno (TIR)**

La tasa interna de retorno de un proyecto, también llamada “Internal Rate of Return” es aquel valor de la tasa de actualización que hace igual a cero el flujo de los fondos acumulado actualizado al final de la vida del proyecto. Se trata de hallar el valor de “i” para el cual se cumple:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+i)^n} - C_0 = 0$$

El TIR puede definirse como la tasa a la que se remuneran los fondos invertidos en el proyecto, de manera que, al final de la vida del mismo se hallan recuperado dichos fondos y los intereses producidos cada año por el saldo acumulado pendiente de la recuperación.

El TIR tiene dos ventajas fundamentales: mide el atractivo económico de los proyectos con un indicador fácil de comprender y juzgar y permite ordenar los proyectos los proyectos según su rentabilidad, independientemente del taño de los mismos.

#### **c) Ratio de Valor Actual (RVA)**

En ocasiones se emplea como indicador de rendimiento de una inversión el resultado de la relación el VPN con la inversión inicial. Esto es:

$$RVA = \frac{VPN}{I}$$

Siendo:

VPN = Valor presente neto

I = Valor actualizado de la inversión requerida

Como el RVA y el VPN tienen el mismo signo, para que un proyecto sea económicamente aceptable es preciso que  $RVA > 0$ .

Este criterio resulta sencillo de manejar, pero presenta el inconveniente de no ser comparable con los tipos de interés o tasas de rentabilidad manejadas habitualmente.

#### **3.4.10 TRATAMIENTO DE LA INFLACIÓN**

La inflación tiene una influencia muy importante sobre los resultados económicos de cualquier proyecto, por lo que técnico analista debe estar en condiciones de tener en cuenta en la toma de decisiones los efectos de inflacionarios y de escala de precios. Se entiende por inflación una elevación persistente del nivel general de precios de un sistema económico. Ésta se determina por un índice de precios de un conjunto representativo de bienes y servicios.

Por escalatoria se define la elevación persistente del precio de un bien concreto, además del efecto de la inflación, a otros factores del bien en cuestión.

## **CAPITULO IV: ANÁLISIS DEL YACIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE OPERACIONES**

Debido a que varios de los datos utilizados para la realización de la investigación fueron tomados de históricos de productividades y criterios establecidos en base a la experiencia de los planificadores de la mina, se presentan a continuación una descripción general del yacimiento, operaciones y de más aspectos necesarios para el entendimiento y justificación de los cálculos realizados.

#### **4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL LA MINA PASO DIABLO**

El área de mina se encuentra limitada al norte por el Río Guasare, al sur por El Caño Norte, al este por el corredor de falla y al oeste por la intersección del piso del manto 4Φ con la topografía. Para fines de planificación de mina, se encuentra dividida en dos grandes sectores: Norte y Sur, cuyo límite es el caño Paso Diablo como se muestra en la figura 4.1.

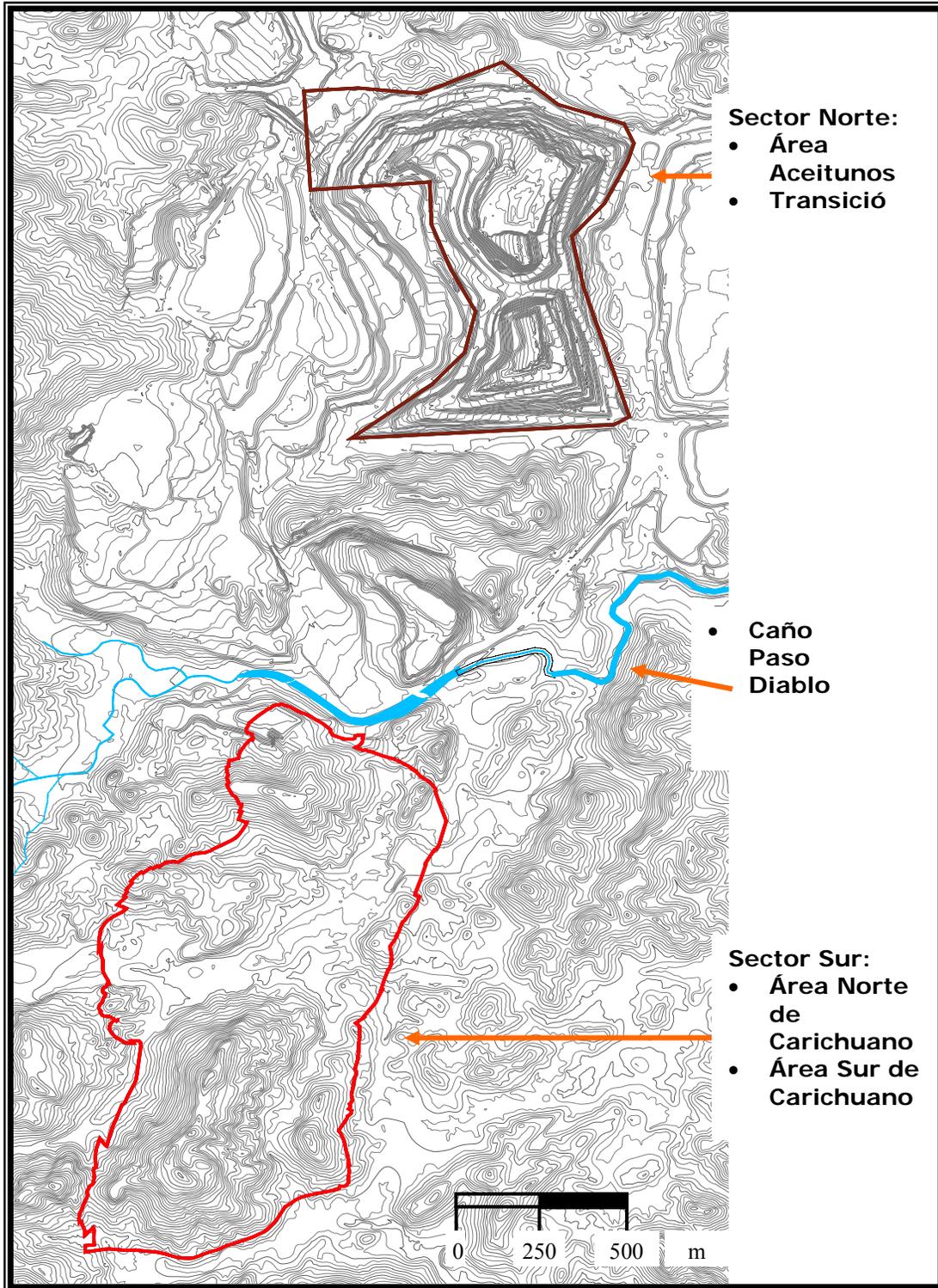
En la actualidad, las operaciones se encuentran concentradas en el Sector Norte en las áreas de Transición y Nor-Oeste. Toda la producción de carbón es extraída de éstas, ya que el Sector Sur no ha sido intervenido.

##### **4.1.1. DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO**

El yacimiento está formado por grupos de mantos de carbón cuyo rumbo preferencial es N 10° W y buzamiento al este. Es un depósito con un comportamiento en promedio uniforme, con presencia de importante fallamiento en el área de Transición y en el valle del Caño Carichuano (en el sector de estudio). Los grupos explotados y a explotar en Sector Sur y Norte están constituido por los grupos superiores que comprenden los grupos del 4 al 9 (Figura 4.2). Los grupos inferiores que van del 3 al 1, y se encuentran profundos y no son incluidos dentro del diseño de mina.

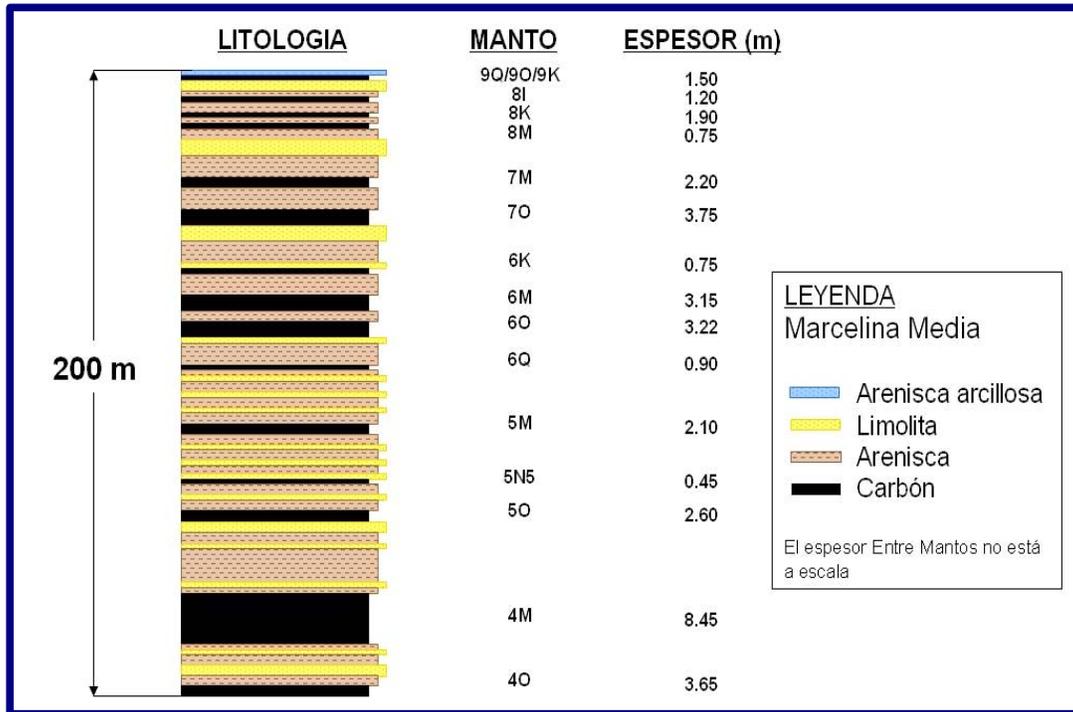
Desde el punto de vista de clasificación de yacimientos, de acuerdo al *USBM/USGS*, el tipo de reservas son probadas, ya que el grado de conocimiento que se posee es elevado, proveniente de geología de superficie y una malla de perforación menor 100x100m.

**FIGURA 4.1: SECTORES DE LA MINA PASO DIABLO**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA 4.2: MANTOS EXPLOTABLES EN EL SECTOR SUR DE LA MINA PASO DIABLO**



Fuente: Mina Paso Diablo, 2007.

En cuanto a relación de remoción (RR) el Sector Sur es de 5,64:1 en promedio; sin embargo, se pueden distinguir tres (3) áreas con diferencias significativas de RR (Figura 4.3), las cuales son:

#### 4.1.1.1. ÁREA NORTE DE CARICHUANO

En el área Norte del Caño Carichuano, observando las secciones geológicas elaboradas por medio del software *MINCOM* (ANEXO B) la cota máxima de la topografía es de 180 m y los mantos de carbón se encuentran a partir del nivel 135 a 120. Aunque los mantos son bastante continuos, es por debajo del nivel 90 en donde se encuentran la mayoría de estos.

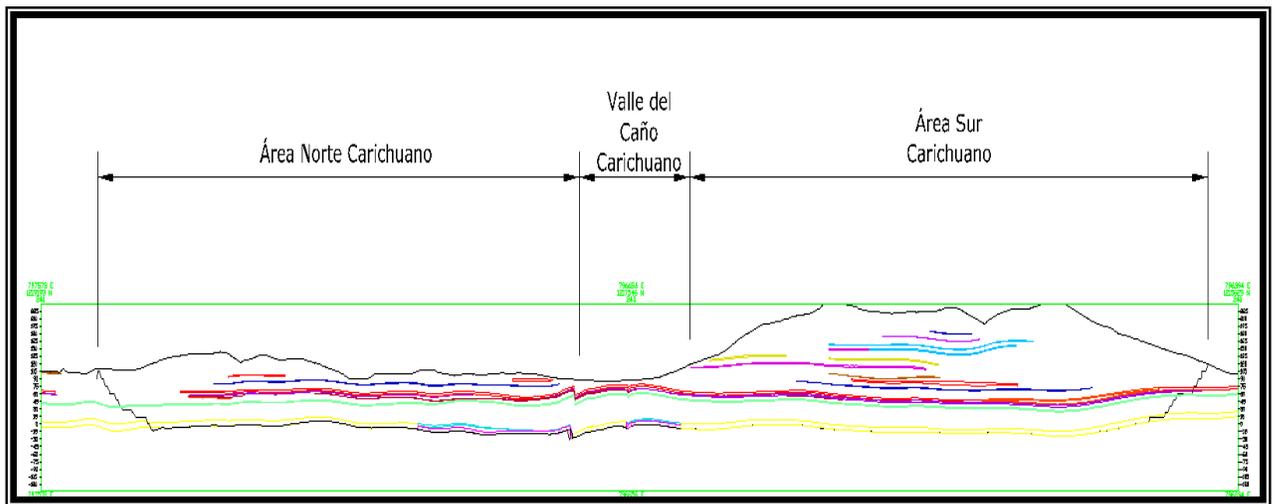
#### 4.1.1.2. VALLE DEL CAÑO CARICHUANO

En esta zona se encuentran los mantos muy cercanos a la superficie, lo que le confiere una RR carga muy baja.

#### 4.1.1.3. ÁREA SUR DE CARICHUANO

Esta área presenta una elevada relación de remoción. La cota máxima de la topografía es de 245 msnm y los mantos de carbón se encuentran por debajo del nivel 180. A demás, por razones geomorfológicas, en la zona localizada más hacia el sur-este los mantos fueron meteorizados y su calidad es pobre, por lo cual son descartadas del modelo como mantos explotables.

FIGURA 4.3: PERFIL LONGITUDINAL DEL SECTOR SUR



Fuente: *Elaboración Propia*

Para efectos de esta investigación, el yacimiento fue dividido en dos (2) áreas: la que se encuentra al norte del Caño Carichuano y la localizada al sur de éste. En cuanto a los bloques, el límite está representado por el lado sur del panel PA0014. En la tabla 4.1 se resume los volúmenes de estéril y carbón de cada una de éstas.

**TABLA 4.1: DISTRIBUCIÓN DE VOLÚMENES POR ÁREA**

Área	Estéril (M.mcb)	Carbón (M.tn)	RR
Norte de Carichuano	202.260	38.034	5,33:1
Sur de Carichuano	261.255	44.280	5.90:1

Fuente: elaboración propia

#### **4.1.2 PARÁMETROS DE DISEÑO DE MINA**

En 1997, *Golders Associates* estableció los parámetros geotécnicos de la Mina Paso Diablo los cuales se usaron como base de diseño para paredes, taludes y escombreras. La Tabla 4.2 muestra éstos parámetros.

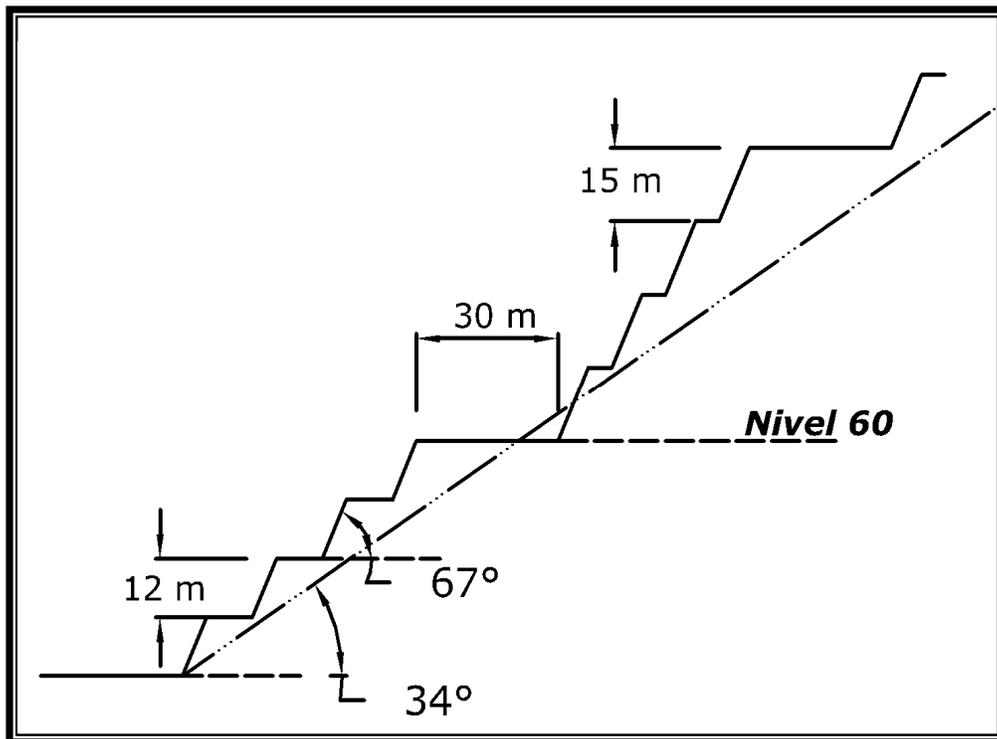
En la figura 4.4 se puede observar los parámetros mostrados en la tabla 5.2. Esta geometría permite inscribir vías en las paredes, además de proteger los taludes por desprendimientos de bloques, ya que estos quedan apilados en las bermas de 30 m.

**TABLA 4.2: PARÁMETROS DE DISEÑO DEL LA MINA PASO DIABLO**

Altura de banco por encima del Nivel 60	15 m
Altura de banco por debajo del Nivel 60	12 m
Angulo de talud banco de trabajo	67°
Angulo general talud pared alta	34°
Angulo general talud pared baja	30°
Angulo general talud escombreras externas	17°
Angulo general talud escombreras Internas	24°
Angulo de reposo material suelto	36°
Densidad del material en banco (insitu) t/mcb	2.40
Densidad del material suelto t/mcb	1.66
Densidad carbón en banco t/mcb	1.25
Densidad carbón suelto	0.95
Factor de compactación material suelto	1.3

Fuente: Plan Mina Paso Diablo Sector Sur, 2006.

**FIGURA 4.4: PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA MINA PASO DIABLO**



Fuente: Elaboración Propia

#### **4.1.2. OPERACIONES DE CARGA Y ACARREO**

El esquema básico de trabajo establecido en función de la orientación de los mantos de carbón es en dirección Norte-Sur y Este-Oeste. Este esquema es conocido como “**estándar de mina**”, el cual permite acceder a los mantos de carbón en dirección contraria al buzamiento y de las capas, de manera de extraer un producto más limpio.

Previo al desmonte y en la dirección antes planteada, se inicia el destape de los mantos de carbón. El estéril asociado a éstos se clasifica en cuatro (4) tipos (Figura 4.5):

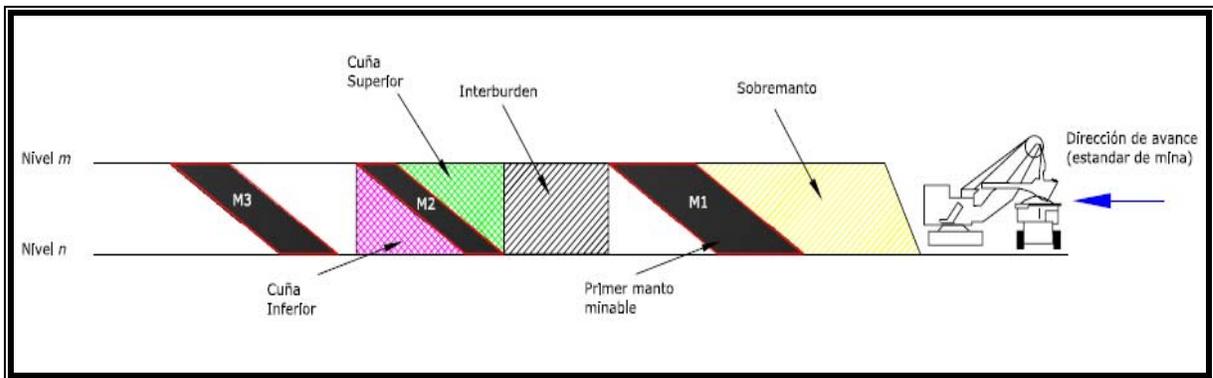
**Sobremanto (*overburden*)**: el cual corresponde al primer material extraído antes de llegar al primer manto de carbón.

**Cuña Superior**, el cual corresponde a material estéril que se encuentra por encima del carbón dentro de un mismo nivel.

**Cuña Inferior:** el cual corresponde al material estéril que se encuentra por debajo del manto en un mismo nivel.

**Entremanto (*Interburden*):** el cual corresponde a aquel material que se encuentra entre cuña inferior y cuña superior de dos mantos contiguos.

**FIGURA 4.5: ESQUEMA GENERAL DE ESTÁNDAR DE LA MINA PASO DIABLO**



*Fuente: Elaboración Propia*

Esta clasificación facilita la planificación de los equipos para la remoción del estéril. Así se tiene que, para el sobremanto y el entremanto (principalmente el localizado entre los mantos 5M, 5O, 4M y 4O), los equipos adecuados son las palas eléctricas, debido a su alta productividad y facilidad de operación en frentes amplios. Para la remoción de material en las cuñas, se utilizan equipos más versátiles y selectivos como las palas hidráulicas y retroexcavadoras.

Las palas eléctricas en particular pueden aumentar su producción en el sobremanto del Sector Sur. La geología de la zona establece que en este sector la diferencia de cota desde la superficie al primer manto explotable es de por lo menos 45 m en el área Norte Carichuano y de 65 m en el área Sur de Carihuano. En este caso las paradas por cambio de frente o destape de carbón no afectarán por lo menos en tres (3) o cuatro (4) niveles al

avance de la pala. A demás, bajo estas condiciones, la altura de banco se puede aumentar a 18 m haciendo más productivos a dichos equipos. **Estas condiciones favorecen la pre-explotación, principalmente en el área Sur de Carichuano.**

La limpieza de los mantos se realiza con tractores y la carga del carbón se efectúa con cargadores CAT 994.

El acarreo del estéril se realiza con dos (2) tipos de camiones, CAT 789 y CAT 793, con tolva diseñada para este tipo de material. Los puntos de deposición de estéril son dos (2): escombreras internas y escombreras externas. Los perfiles de acarreo varían dependiendo de la ubicación del frente con respecto a la mina. En condiciones ideales, la escombrera que mayor uso debe tener es la interna por razones ambientales y operativas.

Las escombreras ubicadas al este del depósito alojarán el material que se encuentra en los niveles más altos (180 al norte y 240 al sur), mientras que en los niveles más bajos (a partir del 90 aproximadamente) el bote se concentraría principalmente en la escombrera interna.

En cuanto al acarreo del carbón, éste se realiza igualmente con camiones CAT 789 y CAT 793, sólo que las tolvas de éstos están diseñadas para trasportar este tipo de material y su uso en estéril produciría daños sobre las mismas. Por otra parte, el uso de de la disponibilidad de estos equipos, al igual que la de los cargadores CAT 994 es baja, ya que están restringidos sólo a carbón, el cual su producción no es continua en comparación con la de estéril.

Actualmente, en el sector norte el desarrollo de la mina implica grandes perfiles de acarreo debido a que no se ha maximizado el desarrollo de la escombrera interna y se deposita material desde niveles por debajo del nivel -32 hasta niveles superiores al 120. Esta condición limita la productividad de los equipos de acarreo pudiendo no ser suficiente la flota actual para satisfacer las productividades de los equipos de carga. Las secuencias de explotación realizadas en el Sector Sur persiguen disminuir esta condición.

La flota con la que dispone la Mina Paso Diablo en la actualidad para realizar las actividades de remoción de estéril se presenta en la tabla 4.3. Con estos equipo la **capacidad de remoción de estéril** es de aproximadamente **44.000 M.mcb** anuales. Sin embargo, para el año 2009 se espera reemplazar todos los camiones Cat 789 por Cat 793, aumentando de esta manera a 50.014 M.mcb de estéril. Para fines de cálculos, se trabajó con la capacidad mostrada en la tabla 4.4, la cual fue establecida por Superintendencia de planificación a largo plazo.

**TABLA 4.3. FLOTA ACTUAL DE LA MINA PASO DIABLO**

<b>EQUPOS</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>PALAS P&amp;H</b>	<b>3</b>
<b>PALAS O&amp;K RH200</b>	<b>3</b>
<b>CARGADORES CAT 994</b>	<b>3</b>
<b>CAMIONES CAT 789B</b>	<b>9</b>
<b>CAMIONES CAT 793C</b>	<b>17</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**TABLA 4.4: CAPACIDAD UTILIZADA EN CÁLCULO PARA LA MINA PASO DIABLO**

<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
Estéri (M.mcb)	44.834	44.814	50.061	50.104
Carbón (M.tn)	6.800	7.100	7.500	8.000
RR	6.59	6.31	6.67	6.26

*Fuente: Superintendencia de Planificación a Largo Plazo, Carbones del Guasare, S.A., febrero 2008.*

Para actividades de pre-explotación, los equipos ideales son las palas P&H debido a sus altas productividades. A modo de comparación, en la tabla 4.5 se muestran las productividades estimadas para los equipos de carga de acuerdo al Plan Quinquenal 2006.

**TABLA 4.5: PRODUCTIVIDADES DE ESTÉRIL DE LA MINA PASO DIABLO**

PRODUCTIVIDAD DE ESTERIL POR FLOTA DE CARGA (MCB/H)					
FLOTA	2007	2008	2009	2010	2011
P&H	1519	1519	1550	1550	1550
O&K	1033	1031	1026	1040	1040
994	839	839	842	841	842

*Plan Quinquenal 2006, Mina Paso Diablo.*

En resumen, la flota de equipos utilizados en la Mina Paso Diablo está destinada para cada material y bajo condiciones específicas para lograr altos rendimientos. En función de esto, sus productividades varían si la planificación es la adecuada al igual que la secuencia de avance de la mina.

## **4.2. MODELADO DEL YACIMIENTO Y MÉTODO DE CÁLCULO DE RESERVA APLICADO**

### **4.2.1 SOFTWARE UTILIZADO**

Para la elaboración de los cálculos se utilizó una herramienta informática de modelaje minero, la cual permite realizar cálculos de volúmenes, secciones geológicas y demás mediciones y cálculos necesarios para la planificación de mina.

*MINCOM* es un software minero el cual esta compuesto por un sistema integrado 3D CAD, dividido en módulos para cada área de la minaría: *Open Cut* para el cálculo de volúmenes, *Stramodel* para el modelaje del yacimiento, *Drill & Blast* para la parte de perforación y voladura, entre otros. Los módulos utilizados en este trabajo fueron el *Stratmodel* y el *Open Cut*.

### **4.2.2. MÉTODO DE LOS POLIGONOS**

El método de cálculo de reserva utilizado fue el de los bloques en 3D. Se definió una malla donde a cada bloque se le asignó un área de 120x120m aproximadamente y espesor

la altura de banco o nivel. Dicha malla se orientó en dirección al rumbo de los mantos de carbón (Figura 4.7). La nomenclatura utilizada fue **PA0130**, donde:

“**PA**” significa “Área del Polígono” (del término en inglés *Poligon Area*) y,

**0130**, la numeración indica el número del polígono que le corresponde en dicho nivel.

El mallado se construyó de del mismo tamaño para cada nivel. Luego, en **MINCOM** se realizo el cálculo de reserva. El programa de manera automática selecciona los polígonos que se encuentran limitados entre las superficies de evaluación.

Los datos de estrada al software son:

**Superficie Tope:** la cual estaba representada por la topografía base ó el nivel anterior al cual se estaba calculando.

**La superficie Lateral:** la estaba representada por el diseño final de mina.

**La superficie Base:** constituida por el nivel del polígono calculado.

Los resultados arrojados (un reporte en formato de textos .txt) fueron importados al una hoja de cálculo, obteniéndose la tabla mostrada en la figura 4.6.

Los datos obtenidos son:

**Zona:** el sector en el cual se realizó el cálculo de reserva.

**Bloque:** el bloque sobre el cual se realizó el cálculo.

**Nivel:** en el cual esta ubicado el bloque.

**Overburden:** sobremano asociado al bloque.

**Interburden:** interburden asociado al bloque.

**Underburden, Parting, LossVol:** los cuales son parámetros no utilizados dentro del cálculo.

**Totalburden:** el estéril total asociado al bloque.

**Mass:** el carbón asociado al bloque

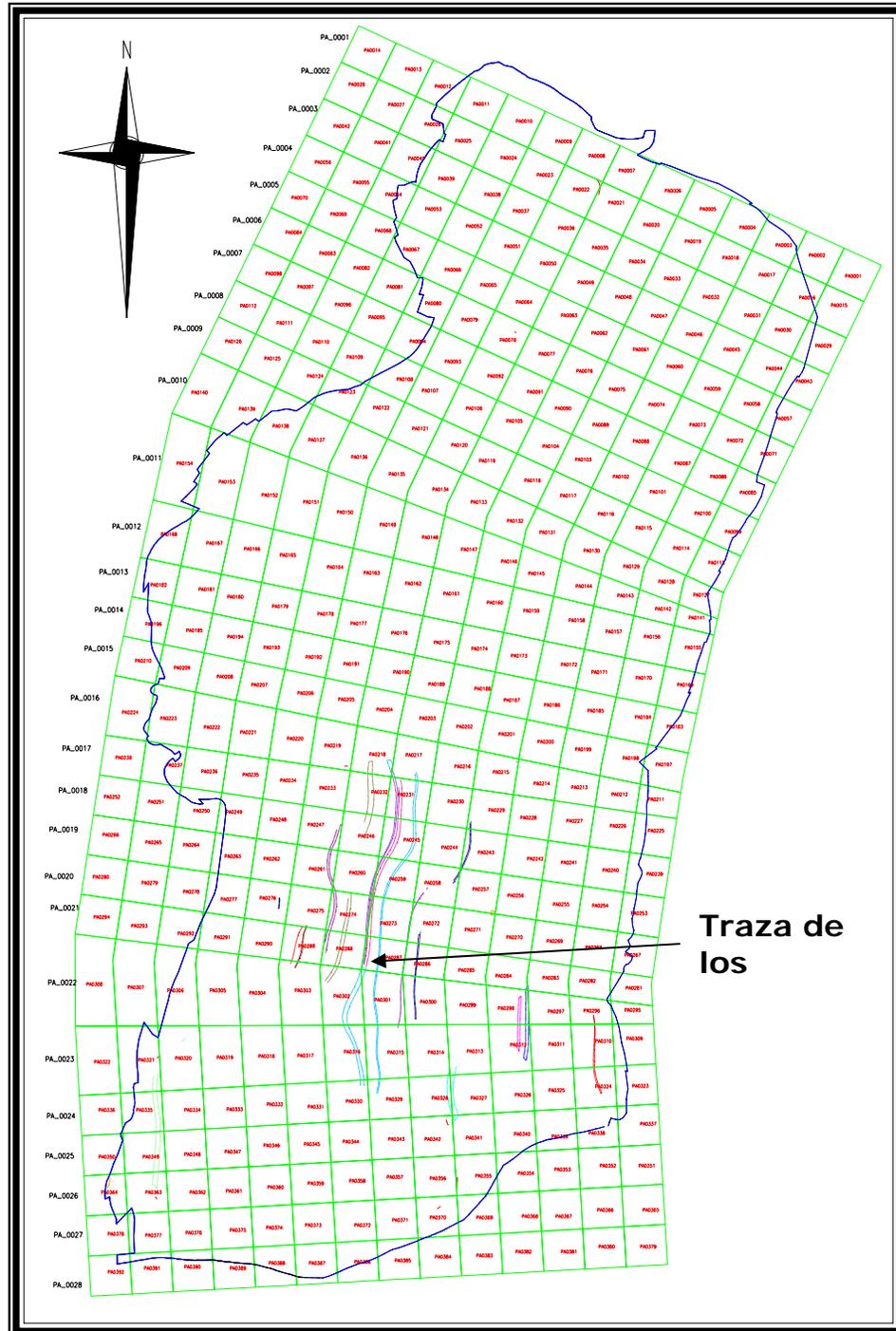
El resto de los parámetros están asociados a la calidad del carbón.

**FIGURA 4.6: REPORTE GENERADO POR MINCOM IMPORTADO A EXCEL**

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	ZONA	BLOQUE	NIVEL	Overburd	Intriburd	Undrburd	Parting	LossVol	Totalburd	Mass	ASH%	SUL%	BTU
185	SUR	PA0275	P165	141,60178	0	0	0	0	137,43439	0	-	-	-
186	SUR	PA0286	P165	47,69613	0	0	0	0	46,29242	0	-	-	-
187	SUR	PA0287	P165	186,03682	0,033753373	0	0	0,00427	180,59872	0,01767364	17,64855	1,02148	10516,26298
188	SUR	PA0288	P165	162,41421	25,17143395	0	0	0,67382	182,73875	3,73199952	9,65178	1,23331	11868,24811
189	SUR	PA0289	P165	126,75093	3,909075433	0	0	0,19602	127,01067	1,15478163	13,29114	0,99326	11288,04675
190	SUR	PA0300	P165	18,16783	0	0	0	0	17,63314	0	-	-	-
191	SUR	PA0301	P165	257,79315	11,30954376	0	0	0,7935	261,9764	3,34606268	17,8351	1,03006	10485,51186
192	SUR	PA0302	P165	126,16480	187,9794704	0	0	1,87242	306,77132	8,51024081	15,9276	1,08081	10805,07842
193	SUR	PA0303	P165	214,58511	114,7063987	0	0	1,20284	320,80318	7,02582193	9,26065	1,24681	11941,10223
194	SUR	PA0304	P165	187,24186	0	0	0	0	181,73127	0	-	-	-
195	SUR	PA0305	P165	24,19004	0	0	0	0	23,47812	0	-	-	-
196	SUR	PA0314	P165	<b>66,58823</b>	0	0	0	0	64,62852	0	-	-	-
197	SUR	PA0315	P165	<b>284,67345</b>	0	0	0	0	276,29541	0	-	-	-
198	SUR	PA0316	P165	297,54448	9,958254862	0	0	0,32225	298,77507	2,20279285	8,738	1,24536	12035,9764
199	SUR	PA0317	P165	115,93088	194,8079963	0	0	1,73676	303,33048	11,8575525	8,17546	1,22125	12138,17874
200	SUR	PA0318	P165	332,56041	0	0	0	0	322,77304	0	-	-	-

Fuente: Elaboración Propia.

**FIGURA 5.7: BLOQUES ELABORADOS PARA EL CÁLCULO DE RESERVA Y MODELADO DEL YACIMIENTO**



Fuente: Elaboración Propia.

Para la elaboración de las secuencias, se utilizó un formato de hoja de cálculo utilizada por la superintendencia de planificación a Corto Plazo, la cual sirve para las evaluaciones mensuales. Ésta se encuentra programada para enlazar cada bloque de la data para elaboración de las secuencias de explotación. Para esto, se la asignó un número a cada bloque denominado “Paso”, de esta manera cada bloque contiene sólo una identidad. Luego, se van adicionando bloques o “*pasos*” de forma lógica con un desarrollo minero, hasta completar cada periodo evaluado (en este caso anuales).

En la figura 5.8 se muestra la hoja de cálculo con la columna de datos de entrada (pasos) y los valores de salida.

**FIGURA 4.8: FORMATO DE HOJA DE CALCULO UTILIZA EN LA EVALUACIÓN DE SECUENCIAS**

	A	C	D	E	F	G	J	K	X
11		<b>META</b>	<b>LLEVA</b>	<b>META</b>	3.738	8.664			
14		<b>ESTERIL</b>	50017.02	50.104	M.M.C.B.	<b>FALTA EN</b>			
15		<b>CARBON</b>	7993.31	8.000	M.t	<b>CARBON</b>			
16									
17					<b>SECUENCIA = PLAN DE MINA SUR</b>				
19					<b>REALIZADO = PLANIFICACION DE MINA</b>				
20	<b>PASO</b>	<b>AREA</b>	<b>TIPO</b>	<b>bloqu</b>	<b>Nivel</b>	<b>Overbur</b>	<b>Totalbur</b>	<b>Mas</b>	
21	167	SUR	SUR	PA0231	P165	221,0	221,0		
22	168	SUR	SUR	PA0232	P165	144,9	144,9		
23	169	SUR	SUR	PA0233	P165	5,7	5,7		
24	170	SUR	SUR	PA0243	P165	41,8	41,8		
25	171	SUR	SUR	PA0244	P165	172,4	172,4		
26	172	SUR	SUR	PA0245	P165	222,5	222,5		
27	173	SUR	SUR	PA0246	P165	221,5	221,5		
28	174	SUR	SUR	PA0247	P165	93,6	93,6		
29	175	SUR	SUR	PA0257	P165	5,4	5,4		
30	176	SUR	SUR	PA0258	P165	169,2	169,2		
31	177	SUR	SUR	PA0259	P165	222,5	222,5		

Dato de entrada o paso

Valores de salida

Fuente: Elaboración Propia.

Como solución de evaluación de secuencia, se obtiene una hoja de cálculo, en la cual están reflejados los volúmenes de carbón y estéril por cada año.

## **CAPITULO V: CÁLCULOS Y RESULTADOS**

## 5.1. CONSIDERACIONES BÁSICAS E INICIO DE EXCAVACIÓN

Las premisas con las cuales parte este trabajo son las siguientes:

1. La permisería ambiental se encuentra aprobada.
2. Los aspectos técnicos de servicios tales como electricidad y vialidad, obras de drenajes necesarias para la explotación están concluidas o no afectan el avance de la mina.
3. Las obras de desvío del Caño Carichuano se encuentran ejecutadas o no afectan el avance de la mina.
4. Las secuencias sólo consideran estéril y toneladas de carbón, ya que el modelo geológico requiere mayor detalle en cuanto a parámetros de calidad.
5. Los diseños de mina y escombreras son los adecuados en cuanto a capacidad y ubicación.
6. Aunque las secuencias se observan hasta el final de la mina, sólo se presentan las topografías finales para hasta el año 2013.
7. Las vías para el acarreo de estéril se muestran en el ANEXO C.

Por otro lado, para efectos de éste trabajo se considera **pre-explotación** al período(s) en el cual la mina se removiéndose estéril sin producción de carbón en un área determinada. Dicha área puede ser la mina como un todo ó una parte de ésta.

Para el desarrollo de la investigación se estableció un escenario base bajo la capacidad máxima de producción de la Mina Paso Diablo, planteado en la tabla 5.1., sobre el cual se realizaron varias secuencias de explotación. Esta capacidad se encuentra distribuida entre los dos sectores: Norte y Sur de acuerdo a las tablas 5.2. y 5.3. Nótese que esta capacidad permanece constante a partir del año 2012, lo cual indica que la flota camiones ha sido reemplazada por completo.

**TABLA 5.1: CAPACIDAD DE LA MINA PASO DIABLO POR PERÍODO**

<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Estéril	44.834	44.814	50.061	50.104	50.104	50.104
Carbón	6.800	7.100	7.500	50.104	50.104	8.000
RR	6.59	6.31	6.67	6.26	6.26	6.26

**TABLA 5.2: CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE ESTÉRIL DE LA MINA PASO DIABLO**

<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Paso Diablo Norte	42.842	25.616	11.937	3.799	0	0
Paso Diablo Sur	1.992	19.198	38.124	46.305	50.104	50.104
<b>Total</b>	<b>44.834</b>	<b>44.814</b>	<b>50.061</b>	<b>50.104</b>	<b>50.104</b>	<b>50.104</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

**TABLA 5.3: REQUERIMIENTOS DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN DE LA MINA PASO DIABLO (M.TON)**

<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Carbón SN(*)	6.800	7.100	4.520	1.753	0	0
Carbón SS(**)	0	0	2.980	6.247	8.000	8.000
<b>Total</b>	<b>6.800</b>	<b>7.100</b>	<b>7.500</b>	<b>8.000</b>	<b>8.000</b>	<b>8.000</b>

*\*Sector Norte, \*\*Sector Sur. Fuente: elaboración Propia*

Como opciones de inicio de la mina para la elaboración de las secuencias, se estudiaron tres (3) alternativas:

1. Inicio de la excavación por el área Norte de Carichuano.
2. Inicio de la excavación por el valle del Caño Carichuano.
3. Apertura de fosa por el área Sur de Carichuano.

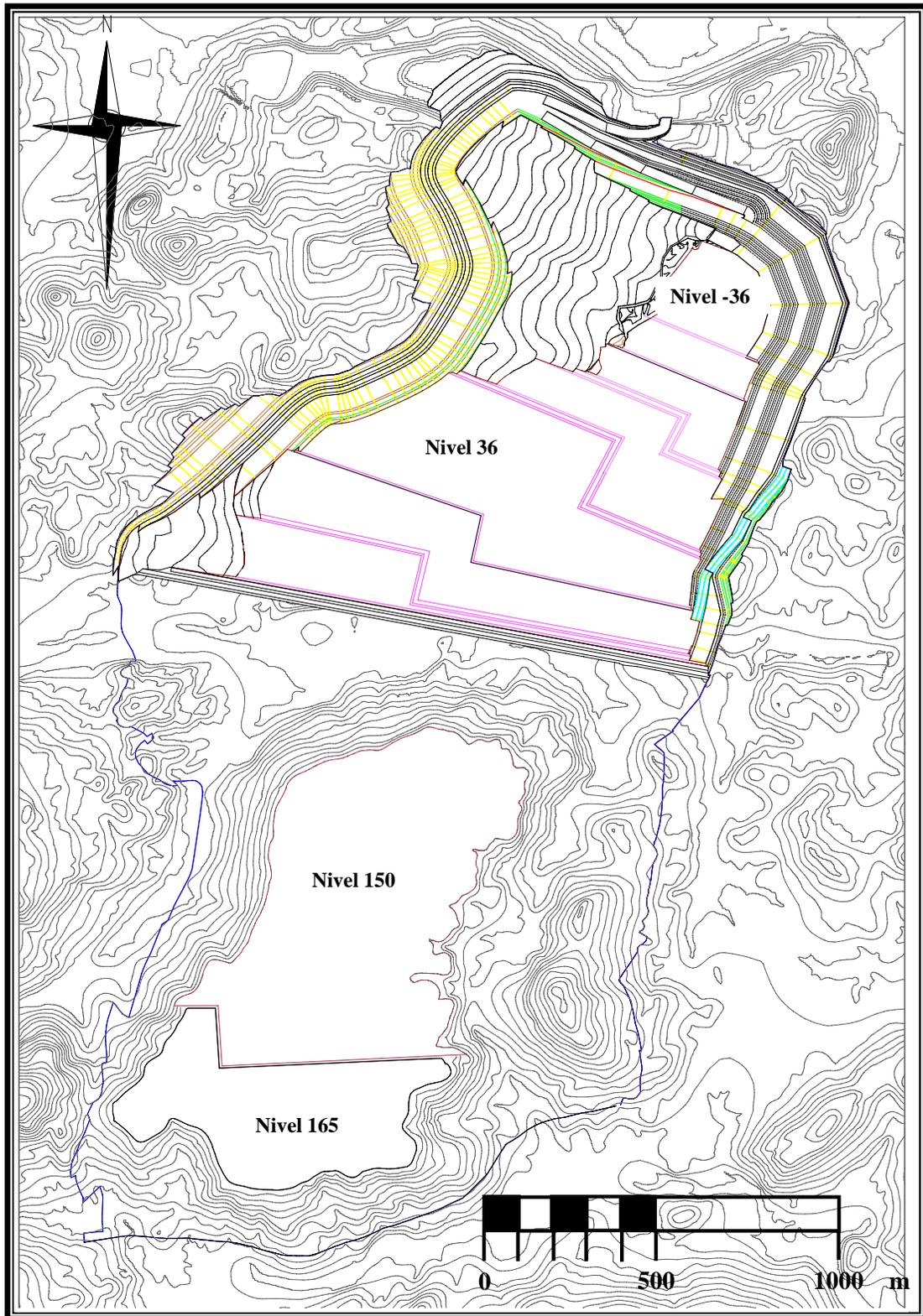
#### **5.1.1 INICIO DE LA EXCAVACIÓN POR EL ÁREA NORTE DE CARICHUANO.**

Esta opción presenta una adecuada geometría de mina (figura 5.1): varios frentes de extracción necesarios para la elaboración de las mezclas del producto, ángulo de talud de trabajo relativamente bajo, anchos operativos amplios para la maniobra de los equipos y cumple con las metas de producción.

### **5.1.2 INICIO DE LA EXCAVACIÓN POR EL VALLE DEL CAÑO CARICHUANO**

Esta opción fue descartada, ya que, aunque los mantos de carbón se encuentran muy cerca de la superficie, el avance de la escombrera interna sería limitado por avanzar en forma de “cuña”, condición observada el Sector Norte. Por otro lado, el ángulo general de ésta sería bajo hasta no apoyarse sobre ambas paredes (la pared baja en el lado oeste y la pared alta en el lados este del diseño final de mina), lo cual le adjudica inestabilidad y baja capacidad.

**FIGURA 5.1: TOPOGRAFÍA FINAL PARA EL AÑO 2013 APERTURA DE FOSA POR EL ÁREA NORTE DE CARICHUANO**



Fuente: Elaboración Propia

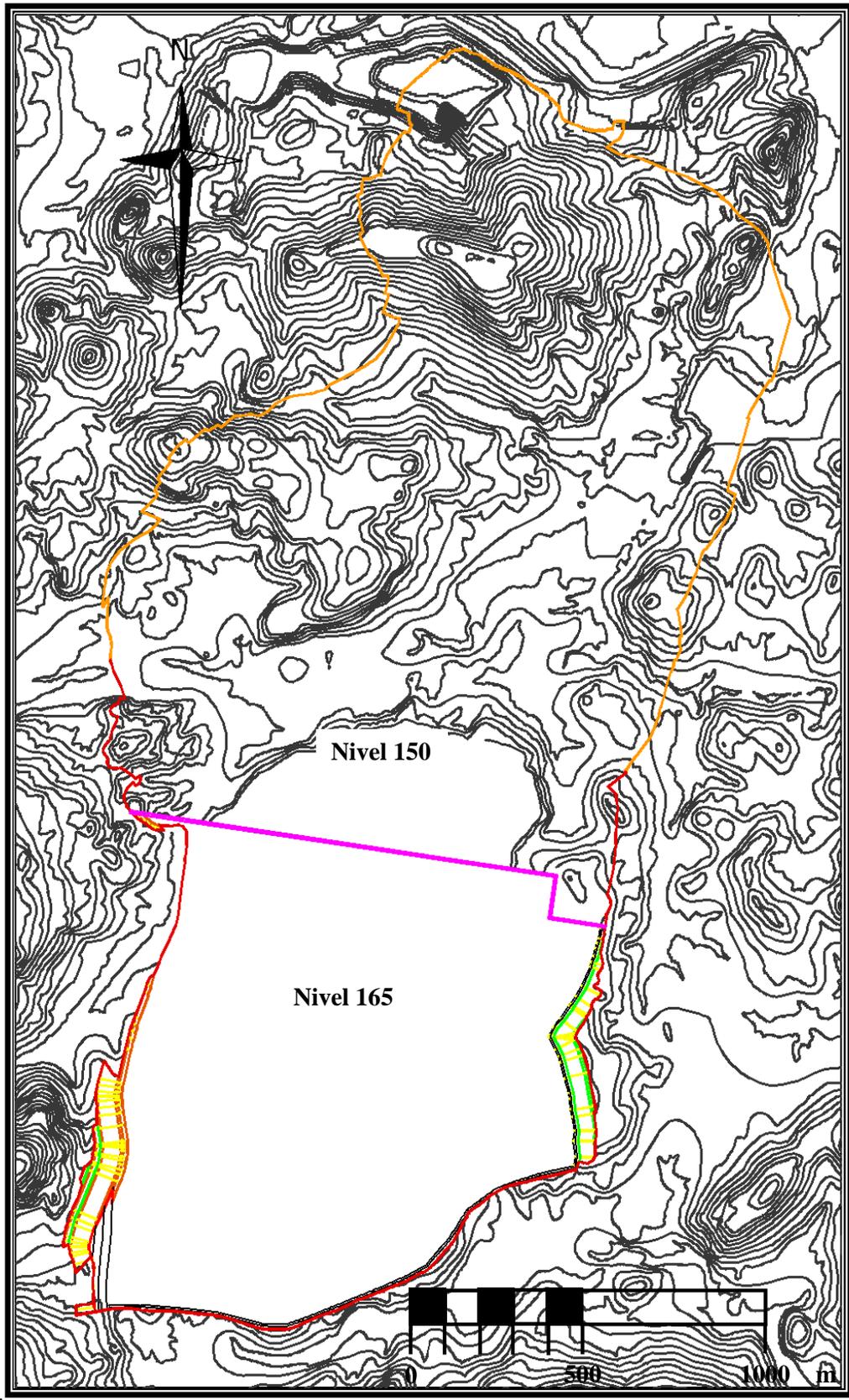
### 5.1.3 INICIO DE LA EXCAVACIÓN POR EL ÁREA SUR DE CAÑO CARICHUANO

En esta opción la gran cantidad de sobremanto asociado al carbón no permite cumplir los requerimientos de producción. En la figura 5.2 se muestran los resultados de la evaluación. La figura 5.3 muestra la topografía final hasta el año 2013.

**FIGURA 5.2: PRODUCCIÓN DE CARBÓN PARA LA ALTERNATIVA DE INICIO DE EXCAVACIÓN POR EL ÁREA SUR DE CARICHUANO**



FIGURA 5.3: TOPOGRAFÍA FINAL PARA EL AÑO 2012 EN LA CUAL NO SE CUMPLE CON LA PRODUCCIÓN REQUERIDA DE LA MINA



## 5.2. ESTIMACIÓN DE COSTOS

Previo al cálculo de volumen se realizó la estimación de los costos de la mina. Más adelante se mostrará tanto los volúmenes de estéril removidos así como las toneladas de carbón producidas por período de la explotación, con los costos asociados.

Los datos de costos suministrada por la Mina Paso Diablo para el desarrollo de este trabajo son de dos (2) tipos:

**1) Considerando sólo los equipos.** En este caso, los costos están discriminados por:

**Unidad de equipo:** siendo este el costo de cada equipo de la Mina Paso Diablo. Cada equipo de la mina lleva un reporte de costos, el cual maneja la Gerencia de Mantenimiento. En la tabla 5.4 se muestran los costes entre los años 2002 – 2005 para las palas eléctricas y los camiones CAT 793 (cada quipo se identifica con un número).

**TABLA 5.4: COSTOS EN \$/H PARA LAS PALAS ECLÉCTICAS Y CAMIONES CAT 793**

Año	PALA		CAMIONES CAT 793			
	2051	2052	3139	3140	3141	3142
2002	327,30	284,56	21,72	18,03	98,79	17,54
2003	286,52	181,14	31,42	53,74	39,28	35,4
2004	504,68	352,77	50,69	32,94	44,94	88,29
2005	239,64	324,11	87,33	128,95	100,55	64,23

*Fuente: Gerencia de Administración y Finanzas, Carbones del Guasare, S.A. (2006).*

**Por unidad de flota:** corresponde al costo unitario por flota de camiones, palas eléctricas, tractores, motoniveladoras, entre otras. En la tabla 5.5 se muestran los costos para la flota de palas eléctricas y los tractores CAT D11R.

**TABLA 5.5: COSTOS EN \$/H PARA EL AÑO 2002 DE PALAS ELÉCTRICAS Y TRACTORES D11R**

FLOTA	CANTIDAD DE EQUIPOS	COSTO
Palas P&H 2800XPA	2	305,93
Tractores CAT D11R	6	53,75

Fuente: Gerencia de Administración y Finanzas, Carbones del Guasare, S.A. (2006).

2) **Costo por actividad:** correspondiente al costo de actividad ejecutada en la mina (Perforación, carga, acarreo y servicios). En la tabla 5.6. se muestran los costos de actividades para el año 2000.

**TABLA 6.6: COSTOS POR ACTIVIDAD EN LA MINA PASO DIABLO PARA EL AÑO 2000**

ACTIVIDAD	COSTO	
Estéril	\$/m3	1,33
Carbón de Mina	\$/ton	0,81
Carbón de las Pilas de Remanejo		0,32
Trituración de Carbón		0,33
Carga de Carbón (Apiladores)		0,24
Servicios de Producción		0,63
Dispatch		0,03
Gerencia de Producción		0,01
Ingeniería		0,30
Administración		0,93

Fuente: Gerencia de Administración y Finanzas, Carbones del Guasare, S.A. (2006).

Para el caso de los valores anuales de costos de equipos, los datos suministrados son del 2002 hasta el 2005; y para los costos totales de mina, el registro disponible es de 1999 hasta el 2005.

Debido a que la evaluación económica contempla los costos totales de mina, se utilizó el segundo reporte de datos de costos como se muestra en la tabla 5.7.

**TABLA 5.7: HISTÓRICO DE COSTOS DE LA MINA PASO DIABLO**

Año	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>COSTO TOTAL DE MINA (\$/ton)</b>	11,25	10,13	11,54	11,08	11,09	11,04	13,68

Fuente: Gerencia de Administración y Finanzas, Carbones del Guasare, S.A.

El comportamiento de los costos hasta el 2005 presenta pocas variaciones. Para el año 2005 se observa un incremento, lo cual coincide con la regulación del dólar. En la tabla 6.7 se observa el año para el cual inicia la regulación de ésta moneda extranjera.

**TABLA # 5.8: RESUMEN DE HISTÓRICOS ANUALES DE INFLACIÓN Y DÓLAR**

AÑO	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999
(*) Dólar	2.150,00	2.150,00	2.109,84	1.885,49	1.608,63	1.160,95	723,67	679,93	605,70
(**)Inflación	22,46%	16,98%	14,36%	19,19%	27,08%	31,20%	12,30%	13,40%	20,03%

Fuente: (\*) BCV, Tipo de cambio <http://mipagina.cantv.net/jbhuerta/inflacion.htm>. (\*\*) LA Inflación en Venezuela, (<http://mipagina.cantv.net/jbhuerta/inflacion.htm>).

El costo estimado total de mina se estableció con un 36% de incremento sobre el promedio del 1999 al 2005, para contrarrestar los efectos inflacionarios, así por ejemplo se tiene que, para el estéril, el costo para el año 2008 es de:

$$C_{2008} = \text{Promedio}_{1999-2005} \times 1,36 = 1,34 \times 1,36 = 1,83\$ / m^3$$

Donde:

$C_{2008}$  = Costo del estéril estimado para el 2008.

$\text{Promedio}_{1999-2005}$  = Promedio de los costos de estéril entre los años 1999 y 2005.

De igual manera, se calculó para el resto de las actividades, arrojando la siguiente tabla:

**TABLA #5.8: COSTOS ESTIMADOS DE LA MINA PASO DIABLO PARA EL AÑO 2008**

ACTIVIDAD	COSTO	
Estéril	\$/m3	1,83
Carbón de Mina	\$/ton	1,14
Carbón de las Pilas de Remanejo		0,32
Trituración de Carbón		0,63
Carga de Carbón (Apiladores)		0,36
Servicios de Producción		0,91
Dispatch		0,04
Gerencia de Producción		0,14
Ingeniería		0,82
Administración		1,56

Fuente: Gerencia de Administración y Finanzas, Carbones del Guasare, S.A.

Es importante destacar que se requiere un registro de costos posteriores al año 2005 para observar el comportamiento de los mismos que permita, proyectarlos con mayor precisión.

En base a lo antes planteado, se presenta en la tabla 5.9 los costos estimados para los cálculos, los cual fueron clasificados en tres grupos: carbón, estéril y otros costos.

**TABLA 5.9: COSTOS ESTIMADOS UTILIZADO EN CÁLCULO DE COSTOS DE MINA**

COSTO TOTAL DE ESTÉRIL (\$/m <sup>3</sup> )	1,83
COSTO TOTAL DE CARBÓN (\$/ton)	2,45
OTROS COSTOS (\$/ton)	3,48
COSTO TOTAL DE MINA (\$/m <sup>3</sup> )	2,55

Fuente: Elaboración Propia

Los costos antes mostrados se consideraron constantes en toda la vida del Sector Sur, debido que en los registrados entre el 1999 y el 2005 no presentaron variaciones significativas, a excepción del 2005.

### 5.3. EVALUACIÓN DE PRE-EXPLOTACIÓN

Para la evaluación de la pre-explotación y explotación, se plantearon dos (2) alternativas:

- Evaluar la secuencia en el Sector Sur, sólo con la capacidad de estéril y los requerimientos de producción de carbón asignados para éste, la cual al inicio

de éste capítulo se denominó como **plan base**, bajo el cual se va a comparar la segunda alternativa.

- Incrementar la capacidad de remoción de estéril en períodos específicos adelantando la compra de los equipos de reemplazo.

### 5.3.1. EVALUACIÓN DE LA SECUENCIA EN EL SECTOR SUR, SÓLO CON LA CAPACIDAD ASIGNADA.

La evaluación de la secuencia de explotación arrojó como resultados la distribución de volúmenes de estéril y cantidad de carbón explotado el cual se muestran en la tabla 5.10. En esta secuencia se establece el desarrollo de frentes simultáneos en las dos (2) áreas del Sector Sur.

**TABLA 5.10: DISTRIBUCIÓN DE VOLÚMENES PARA LA EVALUACIÓN CON LA CAPACIDAD ASIGNADA AL SECTOR SUR**

ESTÉRIL (Mmcb)														
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PDN	42.842	25.616	11.937	3.799	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PDS-NC	1.992	19.198	31.332	35.403	32.408	30.104	30.000	22.184	0	0	0	0	0	0
PDS-SC	0	0	6.792	10.903	17.697	20.000	20.194	28.682	47.000	47.000	32.095	18.726	10.527	1.640
<i>Total</i>	<i>44.834</i>	<i>44.814</i>	<i>50.061</i>	<i>50.104</i>	<i>50.104</i>	<i>50.104</i>	<i>50.194</i>	<i>50.866</i>	<i>47.000</i>	<i>47.000</i>	<i>32.095</i>	<i>18.726</i>	<i>10.527</i>	<i>1.640</i>
CARBÓN (Mtn)														
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PDN	6.800	7.100	4.520	1.753	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PDS-NC	0	0	2.980	6.247	8.000	7.200	7.000	6.607	0	0	0	0	0	0
PDS-SC	0	0	0	0	0	800	1.000	1.393	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	1.087
<i>Total</i>	<i>6.800</i>	<i>7.100</i>	<i>7.500</i>	<i>8.000</i>	<i>1.087</i>									
<i>RR</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>12,79</i>	<i>7,41</i>	<i>6,26</i>	<i>6,26</i>	<i>6,27</i>	<i>6,36</i>	<i>5,88</i>	<i>5,88</i>	<i>4,01</i>	<i>2,34</i>	<i>1,32</i>	<i>1,51</i>

*Fuente: Elaboración Propia*

En la tabla:

PDN: Paso Diablo, Sector Norte.

PDS-NC: Paso Diablo Sector Sur, área Norte de Carichuano.

PDS-SC: Paso Diablo Sur, área Sur de Carichuano.

RR: Relación de Remoción.

La topografía final para el 2013 de esta evaluación, corresponde con la mostrada en la figura 5.1 del párrafo anterior.

Los costos se calcularon como el producto del costo unitario del material, por la cantidad extraída en cada período. Así se tiene que para el 2009:

$$\text{Estéril} = (42.842 + 1992 + 0)M.mcb = 44.834M.mcb$$

$$\text{Carbón} = (6.800 + 0 + 0)M.tn = 6.800M.tn$$

$$\text{Costo}_{\text{Estéril}} = 1,83\$/m^3$$

$$\text{Costo}_{\text{Carbón}} = 2,45\$/tn$$

$$\text{Otros}_{\text{Costos}} = 3,48\$/tn$$

$$\text{Costo}_{\text{Total}} = \text{Costo}_{\text{Estéril}} * \text{Estéril} + (\text{Costo}_{\text{Carbón}} + \text{Otros}_{\text{Costos}}) * \text{Carbón}$$

$$\text{Costo}_{\text{Total}} = 1,83 \frac{\$}{mcb} * 44.834M.mcb + (2,45 \frac{\$}{tn} + 3,48 \frac{\$}{tn}) * 6.800M.tn$$

$$\text{Costo}_{\text{Total}} = \$122.373M$$

En la tabla 5.11 se muestran los demás costos para los años de la mina.

**TABLA 5.11: COSTOS ESTIMADOS (M\$) PARA LA EVALUACIÓN CON LA CAPACIDAD ASIGNADA AL SUR**

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CE	82.046	82.010	91.612	91.690	91.690	91.690	91.855	93.085	86.010	86.010	58.734	34.268	19.264	3.002
OC	23.667	24.711	26.103	27.843	27.843	27.843	27.843	27.843	27.843	27.843	27.843	27.843	27.843	3.783
CM	122.373	124.115	136.090	139.134	139.134	139.134	139.298	140.528	133.453	133.453	106.177	81.712	66.707	9.448

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla:

CE: Costo de Estéril

CC: Costo de Carbón

OC: Otros Costos

CM: Costos de Minería

Los costos reflejados en la tabla 5.8 incluyen el Sector Norte y el Sector Sur.

### 5.3.2 EVALUACIÓN DE LA PRE-EXPLOTACIÓN CON INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE ESTÉRIL.

En este escenario se establece un incremento de la capacidad de extracción de estéril en dos (2) períodos de la vida de la mina: 2013 y 2014. Para esto se utilizó dos palas eléctricas bajo los siguientes parámetros:

**TABLA 5.12: PARÁMETROS DE PRODUCTIVIDAD DE LAS PALAS ELÉCTRICAS**

Equipo	Pala P&H 2800XPA
Capacidad	36 m <sup>3</sup>
Productividad	1550 mcb/h
Días de operación de la mina	363.5 Días/año
(*)Disponibilidad Física	80%
(*)Uso de la Disponibilidad	85%

Fuente: Elaboración Propia. (\*) Valor fijado por la superintendencia de planificación a corto plazo.

La producción anual calculada en base a los parámetros antes mostrados es de:

$$P = 1550 \frac{mcb}{h} * 363,5 \frac{Días}{año} * 24 \frac{h}{Días} * 0,80 * 0,85$$

$$P = 9.195M.mcb$$

Donde  $P$  es la producción anual. Los factores de disponibilidad física y uso de la disponibilidad incluyen las horas por cambio de turno, almuerzo, lluvia y demás factores que afectan la producción de los equipos. Como valor de producción se tomará 9.000 M.mcb.

La primera pala iniciaría operaciones en el año 2013 para remover 9.000 M.mcb de estéril, la segunda se sumaría en el año 2014 para remover entre ambas 18.000 Mmcb. Los equipos de acarreo necesarios para cumplir los requerimientos de producción de las palas serán adquiridos de acuerdo al plan de compra de quipos.

En la tabla 5.13 se muestra el cronograma de compra actual de equipos y el propuesto. Se establece un año como tiempo para los trámites de compra, transporte de equipos y ensamblaje.

**TABLA #5.13: CRONOGRAMA DE COMPRA DE EQUIPOS DE REEMPLAZO**

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Compra según plan de CAT 793								1		4				
Compra según adelanto de CAT 793.				5										
Compra según plan de palas P&H							1	1						
Compra según adelanto de palas P&H				1	1									

Fuente: Superintendencia de Planificación a Largo Plazo, Carbones del Guasare, S.A.

Si bien, se esta adelantando la adquisición de equipos, estos no se ven afectados en cuanto a su vida útil, ya que, en caso de que se utilicen en el resto de la vida de la mina, éstos todavía no cumplirían su tiempo operativo. En la tabla 5.14 Se muestra la vida útil de las palas eléctricas.

**TABLA #5.14: VIDA ÚTIL DE LAS PALAS Y CAMIONES DE LA MINA PASO DIABLO**

Equipo	(*)Vida Útil (horas)	Horas Trabajadas (año)	Vida Útil (años)
P&H	120.000	5.661	21
793	67.000	5.550	12

Fuente: Elaboración propia .(\*) Datos tomados del Plan Quinquenal 2007-2011, Mana Paso Diablo, Febrero del 2007.

Las horas operativas de la tabla anterior fueron establecidas como un promedio de las proyectadas entre los años 2008 y 2011 del Plan Quinquenal 2007-2011 de la Mina Paso Diablo.

A Continuación, la tabla 5.10 muestra la distribución de volúmenes para la segunda alternativa.

**TABLA 5.15: DISTRIBUCIÓN DE VOLÚMENES PARA EL INCREMENTO DE CAPACIDAD**

ESTÉRIL (Mmcb)														
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PDN	42.842	25.616	11.937	3.799	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PDS-NC	1.992	19.198	38.124	46.306	47.000	47.000	3.000	0	0	0	0	0	0	0
PS-SC	0	0	0	0	9.000	18.000	45.000	43.000	43.000	43.000	29.120	16.160	11.975	3.000
<i>Total</i>	<i>44.834</i>	<i>44.814</i>	<i>50.061</i>	<i>50.105</i>	<i>56.000</i>	<i>65.000</i>	<i>48.000</i>	<i>43.000</i>	<i>43.000</i>	<i>43.000</i>	<i>29.120</i>	<i>16.160</i>	<i>11.975</i>	<i>3.000</i>
CARBÓN (Mtn)														
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
SN	6.800	7.100	4.520	1.753	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS -NC	0	0	2.980	6.247	8.000	8.000	7.600	5.207	0	0	0	0	0	0
SS-SC	0	0	0	0	0	0	400	2.793	8.000	8.000	8.000	8.000	7.000	2.087
<i>Total</i>	<i>6.800</i>	<i>7.100</i>	<i>7.500</i>	<i>8.000</i>	<i>7.000</i>	<i>2.087</i>								
<i>RR</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>12,79</i>	<i>7,41</i>	<i>7,00</i>	<i>8,13</i>	<i>6,00</i>	<i>5,38</i>	<i>5,38</i>	<i>5,38</i>	<i>3,64</i>	<i>2,02</i>	<i>1,71</i>	<i>1,44</i>

*Fuente: Elaboración Propia*

Como se puede observar en la tabla anterior, en el Sector Norte y en el área Norte de Carichuano se encuentra concentrada toda la capacidad de remoción de estéril y producción de carbón de la mina hasta el año 2012.

Entre los años 2013 y 2014 se remueven 27.000 M.mcb en el área Sur de Carichuano lo que corresponde a los años de pre-explotación. Para el año 2015 inicia la extracción de carbón en esta área, culminado así la fase de pre-explotación e iniciando la fase de explotación.

Esta secuencia de explotación permite:

- Acceder rápidamente a los mantos de carbón en el área Norte de Carichuano.

- Acceder rápidamente al fondo de la mina (piso del 40) para optimizar el uso de la escombrera interna.

De esta manera, mientras el área Norte de Carichuano se encuentra en la fase de producción, el área Sur de Carichuano se encuentra en la **fase de pre-explotación**.

En la tabla 5.16 Se muestran los costos asociados a la distribución de volúmenes antes mostrada, calculados bajo el mismo esquema de costos de la primera alternativa.

**TABLA 5.16: COSTOS ESTIMADOS (M\$) PARA EL INCREMENTO DE CAPACIDAD**

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
CE	82.046	82.010	91.612	91.692	102.480	118.950	87.840	78.690	78.690	78.690	53.290	29.573	21.914	5.490
CC	16.660	17.395	18.375	19.600	19.600	19.600	19.600	19.600	19.600	19.600	19.600	19.600	17.150	5.113
OC	23.667	24.711	26.103	27.843	27.843	27.843	27.843	27.843	27.843	27.843	27.843	27.843	27.843	3.783
<i>CM</i>	<i>122.373</i>	<i>124.115</i>	<i>136.090</i>	<i>139.135</i>	<i>149.923</i>	<i>166.393</i>	<i>135.283</i>	<i>126.133</i>	<i>126.133</i>	<i>126.133</i>	<i>100.733</i>	<i>77.016</i>	<i>66.908</i>	<i>14.386</i>

*Fuente: Elaboración Propia*

En la figura 5.4 se muestra la topografía final para el año 2013 en base a la secuencia de bloques elaborada. En esta se observa una pared que avanza en dirección norte-sur de acuerdo al estándar de mina. Esta geometría ofrece anchos de terraza lo suficiente amplios para colocar dos equipos en un mismo nivel, y se pueda realizar la maniobra de manera segura. Las operaciones en el área Sur de Carichuano no presentarían inconvenientes, ya que se observan terrazas amplias lo cual facilita la apertura de frentes de explotación.

En la zona del valle del Caño Carichuano, también permite la apertura de frentes, además de presentar una relación sobre carga baja, ya que los mantos se encuentran cerca de la superficie.

**FIGURA 5.4: TOPOGRAFÍA FINAL PARA EL AÑO 2013 CONSIDERANDO COMPRA  
ADELANTADA DE EQUIPOS**



*Fuente: Elaboración Propia*

En las gráficas 5.5 y 5.6 se muestran los costos para cada alternativa, así como la relación de remoción.

**FIGURA 5.5: COMPORTAMIENTO DE LOS COSTOS PARA LAS ALTERNATIVAS DE PRE-EXPLOTACIÓN**



Fuente: Elaboración Propia

**FIGURA 5.6: RELACIÓN DE REMOCIÓN PARA LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS**



Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.- COSTOS PRESENTES

Para la evaluación de los costos presentes se utilizó una tasa de descuento de 10% anual. Utilizando la ecuación de actualización de capital:

$$CP_i = C_i \left( \frac{1}{(i+1)^n} \right)$$

Donde:

$CP_i$  = Costo Presente.

$C_i$  = Costo en el período evaluado.

$i$  = Tasa de interés o descuento.

$n$  = Período de evaluación.

El costo total se calcula como la suma de todos los costos presentes de acuerdo a la ecuación:

$$CP = \sum_i^N CP_i$$

Donde:

$CP$  = Costo Total de proyecto.

$N$  = La vida útil de la mina.

En la tabla 5.12 se muestran los costos totales.

**TABLA 5.12: COSTOS TOTALES PRESENTES PARA LAS ALTERNATIVAS EVALUADAS**

CP (M\$)	Plan Base	923.908	1,35 %
	Adelanto de Compra	936.410	

Fuente: Elaboración Propia

## **CAPITULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Estudiando las distintas alternativas anteriormente planteadas, se puede observar algunos aspectos:

Aunque la relación de remoción general del depósito es baja (5,63:1) el comportamiento del estéril es discontinuo, lo cual dificulta el inicio de la excavación.

La geometría de la mina se desarrolla en dos (2) frentes simultáneos, condición establecida en ambos casos (figuras 5.1 Y 5.4). Esta condición limita la producción/rendimiento y la repuesta de los equipos auxiliares y servicios de mina al aumentar las distancias entre frentes. Con esto, el tiempo de respuesta es mucho menor.

De las dos (2) opciones planteadas (explotar bajo la capacidad asignada e incrementar la capacidad con el adelanto en la compra de los equipos de reemplazo), la segunda permite aprovechar de manera más eficiente el uso de las escombreras externas, ya que serán utilizadas sólo para la apertura de fosa.

La capacidad asignada al Sector Sur para realizar la pre-explotación es suficiente para cumplir las metas de producción, sin embargo, la construcción de obras necesarias para el desarrollo de mina, tales como desvío de caños deben ser estudiadas más detalle para la opción de no realizar pre-explotación.

Aunque es posible cumplir con los requerimientos de producción, la geometría final de la mina para el quinto (5°) período de explotación se encuentra con un desbalance importante de masa (un desnivel de 200 m).

El incremento de capacidad de pre-explotación ofrece una geometría de mina con un balance favorable de masas. Se observa una pare por el centro de la fosa (figura 5.4), pero el área sur de Carichuano se encuentra a nivel 150, lo cual deja sólo dos (2) niveles entre el avance del norte.

El comportamiento de la relación de remoción no permanece uniforme (Figura 5.6). En el caso de la primera alternativa, las variaciones de ésta son bajas ( $\Delta = 0,22$ ) en los periodos de explotación comprendido entre el 2013 y 2018, luego, por efecto de

agotamiento de reserva y debido a que en la parte baja del depósito (por debajo del nivel 000) la continuidad de los carbones es mucho mayor; ésta disminuye hasta 1,51:1. Para el segundo caso la relación de remoción presenta variaciones más significativas, debido a que se extrajo un volumen de estéril en los años 2013 y 2014, los cual se traduce en una disminución en los años sucesivos.

El comportamiento de la inversión presenta una marcada diferencia (Tabla 5.9). Para la primera opción, el desembolso de dinero se realizada de forma gradual en tres (3) años: 2016, 2017 y 2018. Para la segunda opción, la inversión por periodo es mucho mayor, ya que se realiza en sólo dos (2) años y de manera consecutiva (2011 y 2012).

La diferencia de costos presentes para ambas alternativas de inversión es de 12.501.000 \$, lo que representa un 1,35 % de los costos totales del proyecto. Esto se debe al momento en el cual se realiza la inversión. Sin embargo, comparado con los costos totales del proyecto, este valor se puede considerar bajo.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

En función de los cálculos realizados y de análisis del trabajo se pueden obtener las siguientes conclusiones.

La pre-explotación es factible siempre que existan otras áreas potencialmente explotables, en donde se pueda utilizar la capacidad disponible de remoción de estéril los últimos períodos de la mina.

Los costos son bajos, comparado con los costos totales del proyecto.

Aunque la pre-explotación aumenta los costos totales, los beneficios aportados en la planificación de mina al mediano y corto plazo compensan dicha inversión/gasto, además de generar oportunidad de incrementar reservas al disponer de mayor capacidad en un largo período de vida de la mina.

Además, dentro de la mina Paso Diablo existen otras áreas con reservas potenciales (Área Planeta), muy susceptibles a cambios de precios de ventas. Una pre-explotación en mediano plazo aumentaría la factibilidad de asignar capacidad a este sector para iniciar su pre-explotación. Sin embargo, debe realizarse un estudio más detallado para este caso.

Del histórico de costos, se observa que estos han aumentado sustancialmente en los últimos años, esto adiciona una incertidumbre a la inversión. De continuar esta tendencia, los precios de equipos proyectados posiblemente pueden ser mayores, con lo cual, invertir antes conllevaría a reducir la inversión.

Incertidumbre de inversión

Por último, debe realizarse estudios mas detallado de los equipos de acarreo, ya que estos pueden ser los limitantes del cumplimiento de las metas de producción.

## **RECOMENDACIONES**

Debido a los alcances de ésta investigación, se recomienda:

Elaborar la evaluación de los bloques con un modelo más actualizado.

Estudiar con mayor detalle la capacidad de los equipos de acarreo, ya que pueden ser una restricción de la producción global de la mina.

Realizar el estudio con datos de costos actualizado (años 2006 al 2008) para observar el comportamiento de los costos y la inflación para ser más precisos en la estimación de los costos de mina.

Incluir en la evaluación la utilidad de las ventas mina, para comparar éstas con la ganancia y de esta forma tomar la decisión en base a ésta comparación.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ANNELS., Alwyn E (1991). Mineral Deposit Evaluation. Department of Geology, University of Wales, Cardif. Editorial: Chapman-New York.

BANCO CENTRAL DE VENEZUELA (2008). Tipo de transferencia de cambio. [Hoja de datos en línea]. Disponible en: <http://www.bcv.org.ve/blanksite/c2/indicadores.asp> [Consulta: 2008, Julio 22].

CARBONES DEL GUASARE, S.A. (2007). Plan Quinquenal 2007-2011, Mina Paso Diablo. Maracaibo,. Superintendencia de Planificación de Largo plazo. Maracaibo, estado Zulia –Venezuela.

CARBONES DEL GUASARE, S.A. (2006). Plan Preliminar Mina Paso Diablo, Sector Sur. Maracaibo. Superintendencia de Planificación de Largo plazo. Maracaibo, estado Zulia –Venezuela.

CATERPILLAR, (2008). Cargador de ruedas 994F. [Especificaciones en línea]. Disponible: <http://latinamerica.cat.com/cmms/images/C420020.pdf>. [Consulta: junio 24].

CATERPILLAR, (2008). 793D Mining Truck. [Especificaciones en línea]. Disponible: <http://www.cat.com/cmms/images/C354837.pdf>. [Consulta: junio 24].

CATERPILLAR, (2008). Tractor de cadenas 10T. [Especificaciones en línea]. Disponible: <http://latinamerica.cat.com/cmms/images/C155527.pdf> . [Consulta: junio 24].

CATERPILLAR, (2008). Motor Grader. [Especificaciones en línea]. Disponible: <http://www.cat.com/cmms/images/C214519.pdf> . [Consulta: junio 24].

HUERTA P, José B (2008). La Inflación en Venezuela. [Artículo en línea] Disponible: <http://mipagina.cantv.net/jbhuerta/inflacion.htm>. [Consulta: agosto 30].

JIMENO, Carlos L (1997). Estudios de Viabilidad de Proyectos Mineros de inversión INSTITUTO GEOMINERO DE ESPAÑA (1997). Madrid, España.

MARTINEZ, Lisas (2008). Definición y clasificación de costos. [Trabajo en línea]. UNAPEC, Santo Domingo-República Dominicana. Disponible: [http://pdf.rincondelvago.com/costos\\_4.html](http://pdf.rincondelvago.com/costos_4.html), [Consulta: febrero 24].

SOCIETY MININ ENGINEERING, (1992). Mining Handbook. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado.

TEREX (2008). Hydraulic Mining Excavator. Manual de especificaciones [Especificaciones en línea]. Disponible: <http://www.terex.com/attachment.php?action=LAUNCH&nav=prod&id=0a801c668349abf548f192947596ab49> [Consulta:2008, Junio 24].

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL LIBERTADOR (2006). Manual De Trabajos de Grado, Especialización, Maestría y Tesis Doctorales. 4ta Edición, Caracas-Venezuela.

UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR. Formación del Carbón. [Presentación en línea].Disponible: [http://www.ps.usb.ve/archivo\\_academico/Para%20enviar%20\(1\).pdf](http://www.ps.usb.ve/archivo_academico/Para%20enviar%20(1).pdf) [Consulta: 2008, julio 01].