

2

Sistema de Clasificación

R Recursos Reservas



ECOCARBON

EMPRESA COLOMBIANA DE CARBÓN LTDA.

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

2

SISTEMA DE CLASIFICACION DE
RECURSOS Y RESERVAS DE CARBON

La versión inicial de este sistema de clasificación, fue desarrollado
por la firma Muysquin Consultoría Ltda. en Abril de 1995,
por contrato para ECOCARBON





CONTENIDO

Resumen	3
Introducción	3
El Sistema de Clasificación	7
Guia General para la Evaluación	15
Conclusiones y Recomendaciones	20
Bibliografía	21



RESUMEN

En el presente trabajo se propone un sistema de clasificación de recursos y reservas de carbón en Colombia. El ordenamiento de las diferentes categorías se hace de acuerdo con el grado de certeza geológica y el grado de seguridad técnica y económica. Se entiende por "recursos", únicamente volúmenes de carbón; se define como "reservas básicas", aquellos volúmenes de carbón que, a nivel de apreciación inicial, son potencialmente aprovechables; como "reservas disponibles", aquella parte de las reservas básicas medidas e indicadas que un estudio de pre-factibilidad coloca en los grados de aprovechamiento pre-económico y pre-marginal; y como "reservas explotables", aquella porción de las reservas básicas medidas que un estudio de factibilidad indica como económicamente extraíbles al momento de la clasificación. Para el propósito, se expresan conceptos, se dan definiciones, se fijan parámetros y se sugiere un procedimiento metodológico para facilitar la uniformización de las evaluaciones.

INTRODUCCION

OBJETIVO

El objetivo del trabajo es la definición de un sistema de clasificación que permita ordenar los recursos y reservas de carbón en Colombia, según el grado de certeza de la información geológica disponible y según el grado de seguridad técnica y económica del aprovechamiento de esos mismos recursos.

Este objetivo se justifica a la luz de la situación que se ha venido verificando en la realización de los estudios de evaluación de recursos y reservas de los yacimientos de carbón, tanto en sus aspectos geológicos como en los técnicos y económicos. Las diferentes clasificaciones utilizadas, con una nomenclatura tan abundante en sinonimias y homonimias y con el uso personalizado de las mismas, han llegado a impedir que los resultados de un trabajo pudieran ser

plenamente comparados con los de otros trabajos.

Este cuadro se vuelve aún más complejo si se considera que CARBOCOL y ECOCARBON han venido realizando su actividad exploratoria y de evaluación de yacimientos por contratos con firmas consultoras nacionales y extranjeras, las cuales han utilizado diferentes parámetros para la clasificación o, a veces, interpretaciones personales sobre sistemas de clasificación ampliamente difundidos. Es claro que esta situación sólo se obvia al crear una definición precisa de los términos aplicables a la realidad colombiana, al aceptar el firme convencimiento de la utilidad común en la adopción de criterios y normas y, finalmente, al exigir el cumplimiento de estos reglamentos. Todo esto pretende mermar el juicio personal del evaluador en la aplicación de métodos y en la interpretación de datos para evaluar un yacimiento.

METODOLOGIA

Los conceptos sobre la clasificación aquí propuesta se basan en el cuidadoso análisis de la literatura internacional sobre recursos y reservas, en el examen de los estudios de pre-factibilidad y factibilidad sobre algunos yacimientos de carbón colombianos y en amplias discusiones con geólogos e ingenieros de minas de la División de Análisis de Reservas de ECOCARBON. Esto permitió sopesar los diversos criterios, parámetros y metodologías, que constituyen el marco conceptual del presente trabajo, y adoptar aquellos que van a satisfacer la concepción y el desarrollo de esta clasificación.

Los trabajos consultados sobre exploración de yacimientos se presentan en la Bibliografía.

En cuanto a comparaciones entre los datos obtenidos durante la exploración de un yacimiento con aquellos conseguidos en su explotación, se pudo disponer de la información geológico-minera autorizada por ACERIAS PAZ DEL RIO S.A. y de la



de CARBOCOL y ECOCARBON, que son, en realidad, las únicas fuentes de información cierta sobre la cual se puede contar para fijar los valores límites de algunos parámetros.

Al analizar la información existente sobre la ordenación de normas y procedimientos, se hizo una selección de propuestas de clasificación (las de: Wood, et al., 1983; Hughes, J.D., et al., 1989; Kelter, D., 1991), que son acordes con la idea fundamental de concebir una clasificación de recursos que introduzca los factores conceptuales básicos: certeza geológica, seguridad técnica y económica, densidad de información proporcional a la complejidad geológica. Por tal razón se tomó la clasificación sistemática y las categorías de los recursos, establecidas por el USGS (1976. Wood et al, 1983) de acuerdo con la cantidad de la información geológica disponible y obtenidas con base en criterios físicos y químicos; solamente se han introducido cambios en los parámetros clasificatorios. Esta idea se ha unido a la propuesta de calificar el grado de aprovechamiento del recurso (económico o marginal versus pre-económico o pre-marginal), mediante la ponderación de la información técnica y económica disponible, es decir mediante el nivel de los estudios técnico-económicos realizados: (1) apreciación inicial, (2) pre-factibilidad, (3) factibilidad. En esta forma, el grado de seguridad en la evaluación económica del recurso se mide por lo profundo y exhaustivo de investigaciones económicas, conducidas por etapas que son las normalmente recorridas en la evaluación económica de un depósito mineral (Kelter, D., 1991; Wellmer, F.W., 1992).

En cuanto a los estudios exploratorios llevados a cabo en yacimientos colombianos, la literatura nacional ha contribuido a orientar especialmente el problema de la certeza geológica, que se basa en la distancia entre puntos de información; casi todos los consultores arriba mencionados han tenido que establecer un valor a este parámetro de acuerdo a la complejidad geológica que cada uno de ellos apreciaba en la respectiva área. Todas estas distancias, que se citan en

el capítulo "Análisis de los Valores Límites", son propuestas más que soluciones comprobadas para poder fijar este valor. Lo mismo puede decirse para todos los demás valores límites: espesor, calidad, profundidad en minería subterránea y a cielo abierto. En todo caso, en la asignación de valores para la distancia entre puntos de información se ha tomado en cuenta, de manera apreciativa, la complejidad geológica de las regiones carboníferas colombianas.

Las experiencias mineras vividas en el país por CARBOCOL-ECOCARBON y por ACERIAS PAZ DEL RIO, han sido básicas para la determinación de valores límites a los parámetros de distancia entre puntos de información, profundidad en minería subterránea y a cielo abierto, espesor de los mantos de carbón y calidad (véase: Análisis de los Valores Límites).

En este sistema de clasificación se sigue la recomendación de establecer que la lógica secuencia de etapas entre la exploración del depósito y la evaluación del yacimiento de carbón se lleve a cabo de acuerdo a procedimientos unificados (Wellmer, F.W., 1992); de esta manera se espera lograr la uniformidad en los resultados de la evaluación y la normalización de la terminología.

La mayor parte del texto, explicativo de este Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas de Carbón, consiste de definiciones de categorías y términos geológicos y mineros, expuestos en forma de glosario, donde la definición del término es seguida por la descripción de los criterios conducentes a la misma definición y por los parámetros que limitan el significado del término.

Este sistema de clasificación pretende ser un avance en el esfuerzo de establecer una vía de comunicación a nivel nacional e internacional, dirigido a proveer reglas homologadas que conduzcan a cifras de recursos y reservas que puedan ser entendidas, comparadas e integradas en estudios de envergadura nacional e internacional. Y aspira, desde luego, a obtener el reconocimiento internacional.



ANTECEDENTES

En Colombia, con anterioridad al año de 1973, las reservas minerales de una región o de un yacimiento determinado se clasificaban o se agrupaban usando una serie de vocablos muy imprecisos, tales como seguras, positivas, ciertas, a la vista, probadas, semi-probadas, probables, posibles, geológicas; esto causaba una gran confusión en cuanto al verdadero significado de tales calificativos o en cuanto al simple uso de la palabra "reservas". Aun en años muy recientes, con base en criterios muy sutiles, se han introducido términos como reservas "diseñadas" y "arrancables" y hasta reservas "hipotético-económicas".

La razón para esta confusión radicaba en que los conceptos básicos sobre la materia y la terminología usada no tenían el mismo significado para todo el mundo. Las discrepancias se debían en gran parte a diferencias de criterios en el uso de tales términos; además, toda evaluación de esta índole conllevaba un cierto grado de incertidumbre, ya que dependía mucho de la experiencia y el juicio del evaluador. En realidad, en la fijación de las reservas se aplicaban dos puntos de vista: el del geólogo y el del economista. El primero debía primar al comenzar la exploración del yacimiento y el segundo debía ser el que se adoptara cuando se trataba de estudiar la factibilidad económica de la explotación. Los puntos de vista del geólogo y los del economista se veían diferentes y a menudo se pudo creer que eran antagónicos, cuando en realidad eran y son complementarios. Tratándose de un prospecto comercial, el evaluador debe tener en cuenta ambos enfoques. En efecto, durante la exploración, tiene que formular y comprobar una serie de hipótesis e interpretaciones, que constituyen un complicado conjunto de incertidumbres llamado la "incógnita geológica de la evaluación". Además, en la estimación del tonelaje que se puede extraer económicamente, el evaluador debe tomar en consideración la localización del yacimiento, la infraestructura, el transporte, la minería, la técnica aplicable a su aprovechamiento, los precios y condiciones del mercado, para resolver sólo algunos de los interrogantes que constituyen la

"incógnita económica".

Ante este cúmulo de confusiones e incertidumbres que se verificaban también a nivel internacional, las Naciones Unidas recomendaron, en 1969, un sistema internacional de clasificación de los recursos minerales y una serie de definiciones sobre la terminología aconsejada, para tratar que todo el mundo hablara el mismo idioma y agrupara los estimativos de acuerdo con su grado de certeza (Blondel, F., Lasky, S.G., 1969). Estas sugerencias se venían a añadir a aquellas que provenían de Norteamérica y de Europa, donde se tenían la mismas dificultades.

En 1976, el "United States Geological Survey" y el "U.S. Bureau of Mines" adoptaron la filosofía y la terminología que aparecen en los documentos oficiales del U.S. Geological Survey: Professional Paper 820, de 1973, y Bulletin 1450-B, de 1976. Tales publicaciones explican los detalles del sistema. Pero, en general, tal sistema, si bien acierta en dar una clasificación según la componente del grado de certeza geológica, y en discriminar los recursos en económicos, marginales y sub-económicos, no logra ofrecer una medida del grado de seguridad económica.

A partir de esa época, el USGS vino introduciendo mejoras a esta metodología, llegando a desarrollar y publicar, en el año de 1983, un glosario, junto con un sistema de clasificación de referencia, capaz de proporcionar estimativos de los recursos del carbón, pero siguió siendo impreciso en ofrecer una medida de seguridad a la determinación del grado de aprovechamiento.

En el año de 1989, el Geological Survey of Canada introdujo la idea de fijar los criterios definitorios de las diferentes categorías de recursos y reservas, en función de la complejidad geológica de una región. Esta idea deriva de la necesidad de balancear la densidad de los puntos de información con la intensidad de los cambios estratigráficos y estructurales sufridos por las rocas de una región. Este concepto es sumamente importante para el



medio geológico del territorio nacional, aunque se tenga que aclarar que aquí la información geológica no es tan detallada para permitir la clara discriminación de los niveles de complejidad de todas las áreas, como en el caso de Canadá.

Se llega así al año de 1991, cuando Dietmar Kelter, del Instituto Federal para las Geociencias y los Recursos Naturales de Hannover, partiendo de la necesidad de obtener una medida de la confiabilidad de la evaluación técnica y económica, introdujo un nuevo criterio en la clasificación de los carbones: el grado de seguridad técnica y económica, que mide la cantidad y la profundidad de las investigaciones técnico-económicas acometidas, a través de la existencia o menos de estudios de pre-factibilidad y de factibilidad. El trabajo de Kelter, sin embargo, se limita a dar las definiciones sobre la componente de la seguridad económica, dejando abiertos algunos interrogantes sobre el significado económico de las categorías indicadas e inferidas. En efecto, este último sistema de clasificación:

1. presenta como reservas extraíbles también las cantidades de carbón colocadas en la categoría de indicadas. Esto contradice la misma conclusión de ese autor de que los estudios de factibilidad se deben llevar a cabo solamente sobre las reservas medidas (Kelter, D., 1991:358 y fig.6). En realidad, se trata de cantidades sólo potencialmente aprovechables (pre-económicas), sobre las cuales el mismo autor dice: "... so that normally no reserves figures will be stated ..." (ibidem).

2. incluye entre las reservas, recursos que son apenas inferidos, enfatizando que "No reserves figures will be stated in this class." (ibidem).

Aquí en Colombia, en 1979, INGEOMINAS produjo un documento (Durán, R., et al., 1979:15), donde expresa el siguiente concepto: "El incremento del mercado internacional del carbón ha obligado a buscar una clasificación internacional para este material. Hasta hace pocos años, los distintos países productores de carbón

tenían, y aún conservan, sus propios sistemas de clasificación, lo cual ha conducido a diferentes terminologías para describir carbones similares o idénticos, creando naturalmente una confusión en la evaluación y comparación en el mercado internacional". En 1981, produjo otro documento (Durán, R., et al., 1981:20), donde manifiesta que sigue "muy de cerca la filosofía, los conceptos y la terminología acordados conjuntamente por el U.S. Bureau of Mines y el U.S. Geological Survey en 1973".

Se llega así, a nivel nacional, a las investigaciones conducidas por CARBOCOL y por ECOCARBON en El Cerrejón y en otras partes del país. Adquirida la obligación de evaluar la disponibilidad geológica del carbón, estas dos entidades acometieron estudios sobre las zonas carboníferas de interés, aplicando los criterios de evaluación más modernos y las técnicas más avanzadas. En esta actividad, no obstante que las firmas consultoras evaluarán los yacimientos siguiendo los criterios y las normas del sistema de clasificación norteamericano, la falta de una aplicación rígida de éste condujo a formulaciones personales y terminologías propias en la evaluación de las reservas de los yacimientos.

Esta disparidad es particularmente notoria a nivel de evaluación técnica y económica, donde la terminología abusa de sinónimos y homónimos, lo cual resalta la insuficiencia de los sistemas de clasificación de recursos y reservas propuestos en el exterior. A este respecto, las normas norteamericanas (Wood, et al., 1983) son demasiado generalizadas, sin contar que la certeza geológica es definida por valores de distancias entre puntos de información, demasiado altos para permitir el adecuado conocimiento de los yacimientos colombianos.

Esta situación indujo a ECOCARBON a promover la redacción de un Sistema de Clasificación que, partiendo de las condiciones geológicas presentes en el territorio nacional, comulgara con las principales ideas internacionales y permitiera la comunicación con los



geólogos, ingenieros de minas e inversionistas nacionales y extranjeros.

De tal forma se llega a la presentación de este trabajo, dirigido a geólogos, ingenieros de minas y de especialidades afines, que propone un sistema de clasificación, revisado y actualizado, basado en los conceptos del Coal Association of Canada, del Gesellschaft Deutscher Metallhütten und Bergleute de Hannover y del United States Geological Survey, modificados en el sentido de que se han organizado categorías de recursos, discriminadas según grados de certidumbre tanto geológica como económica, las cuales *miden el progresivo avance de la evaluación de un proyecto minero hacia un objetivo pre-establecido y específico.*

EL SISTEMA DE CLASIFICACION

Reuniendo y complementando las ideas hasta aquí expuestas, este sistema de clasificación emplea conceptos mediante los cuales los carbones son dispuestos en categorías de recursos y reservas concebidas sobre las bases de la certeza geológica de su existencia y la factibilidad económica de su recuperación. Esta idea está plasmada en una disposición de las categorías según las coordenadas X y Y (Figura 1). Sobre la coordenada de las X, de derecha a izquierda, se colocan las categorías que significan el incremento de la certeza geológica, mientras que, sobre la coordenada de las Y está representado, de abajo hacia arriba, el incremento de los conocimientos técnicos y económicos obtenidos sobre un yacimiento de carbón mediante la realización de estudios de pre-factibilidad y de factibilidad.

Como en el caso de otros sistemas de clasificación el incremento de la certeza geológica se expresa mediante los términos "especulativo", "hipotético", "inferido", "indicado" y "medido", cuyo significado radica en que representan volúmenes determinados por puntos de información

más o menos distantes; en último análisis, la densidad de la información define la certeza geológica (véase: Glosario).

Se usa el término de complejidad geológica para hacer referencia, de manera apreciativa, a la frecuencia de los cambios estratigráficos verticales y horizontales y a la intensidad de las deformaciones y dislocaciones sufridas por las capas de una región. En este sistema de clasificación se propone que la cantidad de puntos de información sea mayor por unidad de área, con respecto a otros sistemas. Se ha llegado a esta determinación después de analizar la situación geológica de las unidades carboníferas en el territorio nacional que, sin llegar a una complejidad extrema, sí requiere de una adecuada red de puntos, si se desea asegurar un cierto grado de conocimiento. Además, se consideraron los resultados de la experiencia minera y la opinión de la consultoría, que tienden a reducir las distancias entre puntos de medición en aras de mitigar el riesgo geológico en la evaluación (véase: Análisis de los Valores Límites). Por consiguiente, desde el punto de vista de la certeza geológica, las categorías de recursos y reservas quedan definidas de la siguiente manera:

- A. "Medidas"; los puntos de información distan hasta 500m, el uno del otro; esto equivale a una influencia de hasta 250m contados a partir de un punto de información.
- B. "Indicadas"; los puntos de información distan entre 500 y 1.500m, el uno del otro; esto equivale a una influencia de hasta 500m comprendida entre los 250m y los 750m contados a partir de un punto de información.
- C. "Inferidas"; los puntos de información distan entre 1.500 y 4.500m, el uno del otro; esto equivale a una influencia de hasta 1.500m comprendida entre los 750m y los 2.250m, contados a partir de un punto de información.
- D. "Hipotéticas"; los puntos de información son distantes más de 4.500m, entre sí.



E. “Especulativas”; no hay puntos de información o son sumamente distantes.

El incremento de los conocimientos técnicos y económicos, que está representado sobre la coordenada de las Y (Figura 1), se expresa mediante los términos “recursos”, “reservas básicas”, “reservas disponibles” y “reservas explotables”, los dos últimos con su respectivo grado de aprovechamiento. Estos términos indican volúmenes de carbón, que van adquiriendo, mediante diferentes niveles de estudios de evaluación técnico-económica, un significado económico más preciso y confiable.

Al principio, antes de acometer cualquier tipo de evaluación económica, el evaluador cuenta únicamente con volúmenes de carbón que, en este sistema de clasificación, se han colocado dentro de la categoría de “recursos”, ya discriminados de acuerdo al grado de certeza geológica alcanzado con la exploración. En esta categoría se han colocado todas las capas de carbón que ocurren en un área, excluyéndose aquellas de espesor inferior a los 0,40m y aquellas localizadas a profundidades superiores a los 1.200 metros (véase: Análisis de los Valores Límites).

El evaluador, al momento de tomar en consideración el aprovechamiento de los volúmenes de carbón, está obligado a llevar a término una primera apreciación sobre el valor económico de estos recursos; tal apreciación inicial no puede ser diferente a la de una simple aceptación y aplicación de valores límites derivantes de la comparación con situaciones mineras patrones, imperantes en una región. Es así que se llega, en este sistema, a la definición de la categoría “reservas básicas”, que representan los volúmenes de carbón con que se cuenta para un eventual aprovechamiento económico. Para calcularlos, se han establecido unos valores límites en cuanto a espesor, profundidad, profundidad de la explotación, desnivel, calidad y rango se refiere, cuyos valores se darán y justificarán en el aparte “Análisis de los Valores Límites”.

Cabe anotar que con el progresivo avance

de la evaluación económica no solamente se persigue incrementar el grado de seguridad técnica y económica, sino que se debe procurar que los volúmenes de carbón adquieran un grado siempre mayor de certeza geológica para que la evaluación económica misma tenga significado y cumpla con sus objetivos. Por esto, la categoría de inferidas tiene importancia en el nivel de apreciación inicial, por cuanto señala, junto con las categorías medidas e indicadas, el potencial en carbón de un yacimiento; pero su bajo grado de certeza geológica no permite tomarla en consideración al momento de llevar a cabo el estudio de pre-factibilidad.

Para identificar de forma tangible la oportunidad de la inversión en un proyecto minero, es necesario aclarar la relación entre las reservas básicas y el objetivo prefijado al proyecto, actividad que se cumple con el estudio de pre-factibilidad. Es precisamente con el análisis de las reservas básicas, que se escogen aquellas cantidades cuyo grado de certeza geológica garantiza un volumen suficiente de carbón para el alcance exitoso del objetivo del proyecto. Este volumen de carbón, subdividido en los grados de aprovechamiento pre-económico y pre-marginal, se define aquí como “reservas disponibles”. En consecuencia, justo para otorgar una mayor certeza geológica al esfuerzo de incrementar la seguridad técnica y económica, se ha establecido que sólo las reservas básicas medidas e indicadas entren a constituir las reservas disponibles, pero, en una predeterminada proporción (medidas: >60%; indicadas: <40%); esto equivale a decir que los puntos de medición no deben estar alejados los unos de los otros por distancias superiores a tres veces la distancia establecida para el cálculo de las reservas básicas medidas. Naturalmente el estudio de pre-factibilidad no es un paso obligatorio dentro de la secuencia de niveles de evaluación económica, sino apenas una opción sobre la cual debe existir una decisión; es completamente viable pasar de la apreciación inicial al estudio de factibilidad.

El estudio de factibilidad es la evaluación de un proyecto que habilita para tomar la decisión definitiva sobre el proyecto mismo.



El estudio de factibilidad debe suministrar una base técnica, económica y comercial para tomar la decisión sobre inversiones a realizarse en un proyecto minero-industrial. La optimización en la búsqueda de este objetivo tiene que sustentarse sobre una cantidad de reservas que tengan el más alto grado de certeza geológica. Es por esta razón que, para llevar a cabo el cálculo de las reservas explotables, en este sistema de clasificación se tienen en cuenta solamente las reservas básicas medidas.

El sistema propone que se elimine la importancia hasta ahora atribuida al concepto "subeconómico", por cuanto aquella parte del recurso (medido, indicado e inferido) que se descarte por su espesor demasiado delgado, o demasiado profundo para la minería subterránea y para la minería a cielo abierto, o que vaya a constituir las pérdidas de explotación, o que por cualquier otro motivo no reúna los criterios para entrar en la categoría de la "reserva básica", queda dentro de los recursos, en la categoría de los recursos restantes, después de explicar claramente los criterios y parámetros que condujeron a tal determinación.

Fuera de las categorías que aparecen en el formato (Figura 1), el sistema de clasificación tiene prevista la definición y la posibilidad de cuantificar los recursos pertenecientes a las categorías adicionales antes mencionadas; a saber:

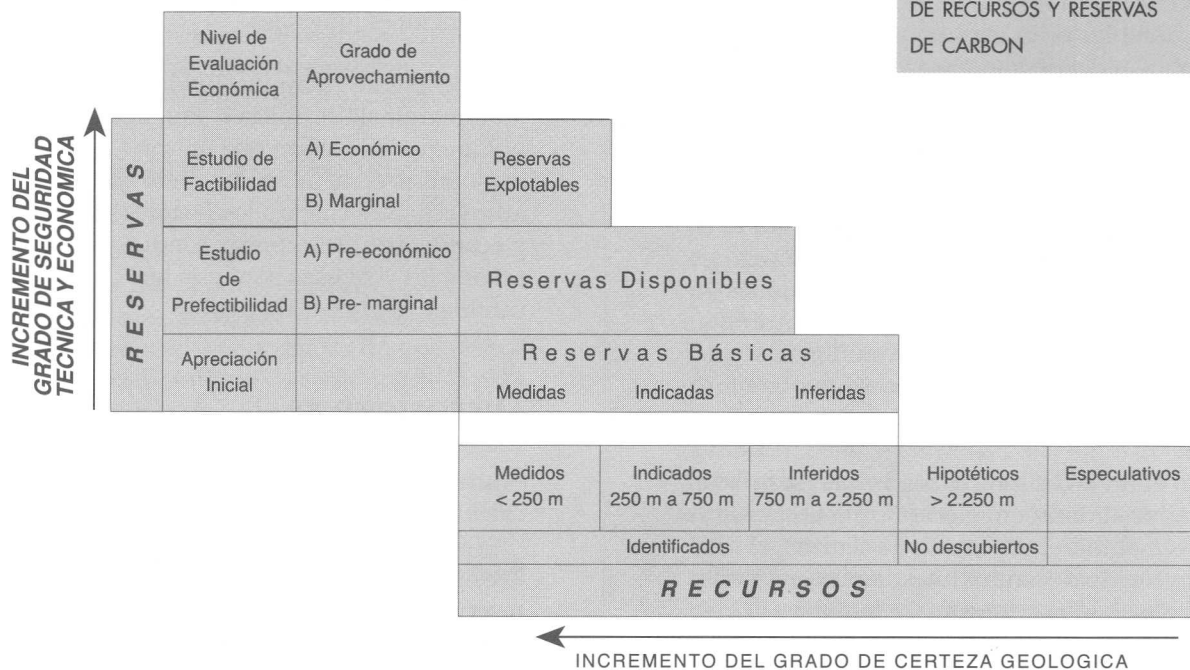
1. los recursos restringidos, es decir, aquella parte de cualquier categoría de recursos cuya producción es prohibida por leyes y reglamentos.
2. las reservas agotadas, es decir, las cantidades de carbón que han sido explotadas, más las pérdidas de explotación.

CRITERIOS DE CLASIFICACION

La clasificación del carbón en recursos y reservas depende de la certeza geológica de su existencia y de la seguridad técnica y económica de su extracción (Figura 1).

El grado de la certeza geológica

El conocimiento geológico del carbón se establece mediante las interrelaciones de:





1. Conceptos, ideas y modelos sobre patrones sedimentarios, y
2. Características estructurales relativas a deformaciones y dislocaciones de los mantos, que definen su distribución espacial.

La comprensión de las modalidades de interrelación de estos dos elementos produce aquella configuración tridimensional que asegura la existencia y la continuidad de las capas de carbón con su calidad. Así, la confiabilidad de la información geológica se obtiene gracias a la claridad en las correlaciones entre capas de carbón y entre las rocas supra y subyacentes.

Pero, el grado de certeza geológica, se mide mediante la adopción de valores para el factor que la experiencia en las exploraciones nacionales y la literatura geológica internacional (Wood et alii, op. cit.) han fijado en su valor definitorio: la distancia entre los puntos de información donde se ha medido y muestreado el carbón.

El grado de seguridad técnica y económica

Siguiendo una propuesta recién publicada (Kelter, D., 1991), la seguridad técnica y económica de la extracción del recurso es función del detalle y perfección con que se ha realizado el estudio económico, detalle que normal y convencionalmente se manifiesta, en el ámbito internacional, mediante los diferentes "niveles de evaluación técnico-económica". El grado de seguridad técnica y económica se va a medir por tanto mediante el nivel de los estudios conducidos a término: (a) apreciación inicial; (b) estudio de pre-factibilidad; (c) estudio de factibilidad (Figura 1).

En el nivel de apreciación inicial, se aplican valores límites en relación con el espesor de los mantos, el contenido de cenizas, el contenido de azufre total, la profundidad y el desnivel máximos (para minería subterránea) y la profundidad de la explotación (para minería a tajo abierto)

con el fin de ascender los recursos a la categoría de reservas básicas. Estos valores se tratarán en el aparte "Análisis de los Valores Límites". En cuanto a la relación estéril/carbón, los trabajos de naturaleza económica sobre el carbón, muestran claramente la tendencia a considerar este factor sólo a partir del nivel de pre-factibilidad económica.

El incremento del grado de seguridad técnica y económica conduce también a definir diferentes grados de aprovechamiento de las reservas: económico/marginal versus pre-económico/pre-marginal. Los factores que se toman en cuenta para establecer estas diferencias son los siguientes:

1. factores físicos y químicos, como la distancia entre puntos de información, el espesor de los mantos y del estéril, la profundidad, la extensión superficial, la calidad y el rango del carbón;
2. variables económicas tales como el precio del carbón, los sistemas de explotación, los costos en equipos mineros utilizados, laborales, de procesamiento, del transporte, en impuestos, en tasas de interés, la demanda y el suministro de carbón;
3. leyes ambientales, restricciones, disposiciones judiciales.

El concepto de "marginal" y de "pre-marginal" se aplica a aquellos volúmenes de carbón que no son explotables en el momento, pero que son aprovechables cuando los factores técnicos y económicos alcancen las condiciones favorables previstas para que tal cantidad se vuelva explotable.

DISPOSICIONES

Fijados los criterios, el sistema de clasificación establece normas para:

1. asignar las cifras a las categorías de reservas y de recursos medidos, indicados, inferidos e hipotéticos, con base en las áreas de influencia de los puntos de medición, en



espesores y en profundidades de los mantos (según sus diferentes rangos y calidades);

2. determinar las reservas básicas, las cuales hacen parte de los recursos identificados, pero ya ligadas a consideraciones económicas aunque iniciales (Figuras 1, 2);

3. determinar las reservas disponibles, resultantes de las reservas básicas medidas más las indicadas, con base en los estudios técnicos y económicos realizados a nivel de pre-factibilidad (Figura 2);

4. calcular las reservas explotables, en cuanto cantidades económicamente aprovechables en el presente, y partiendo únicamente de las reservas básicas medidas (Figuras 1, 2);

5. diferenciar las reservas marginales, en cuanto extraíbles con utilidades en el futuro, al verificarse cambios menores de naturaleza técnica y económica.

Para aclarar al lector la relaciones conceptuales entre cada una de las categorías y su jerarquía, así como para ilustrar la categorización de acuerdo con las definiciones y criterios aplicados, en este sistema de clasificación se incluye un esquema que indica la distribución de las diferentes categorías de recursos y reservas. La figura 2 presenta este esquema.

ANÁLISIS DE LOS VALORES

LÍMITES

A lo largo del próximo capítulo (**Definiciones relativas al sistema de clasificación**) se van a dar las definiciones de una gran cantidad de términos de la más variada naturaleza; algunos de estos, especialmente los referentes a las categorías de recursos y de reservas básicas, se enuncian con base en valores límites que se han obtenidos de la experiencia minera nacional, y por comparación con situaciones similares pertenecientes a la literatura internacional. Para llevar a cabo esta actividad se ha tenido presente tanto la

literatura internacional ya mencionada, como los numerosos estudios que sobre diferentes yacimientos de carbón han sido ejecutados, bajo encargo de CARBOCOL y de ECOCARBON, por compañías de consultoría públicas y privadas, nacionales y extranjeras. Estos estudios conforman un abanico de experiencias geológicas y de opciones técnicas que han enriquecido la base cultural de este trabajo.

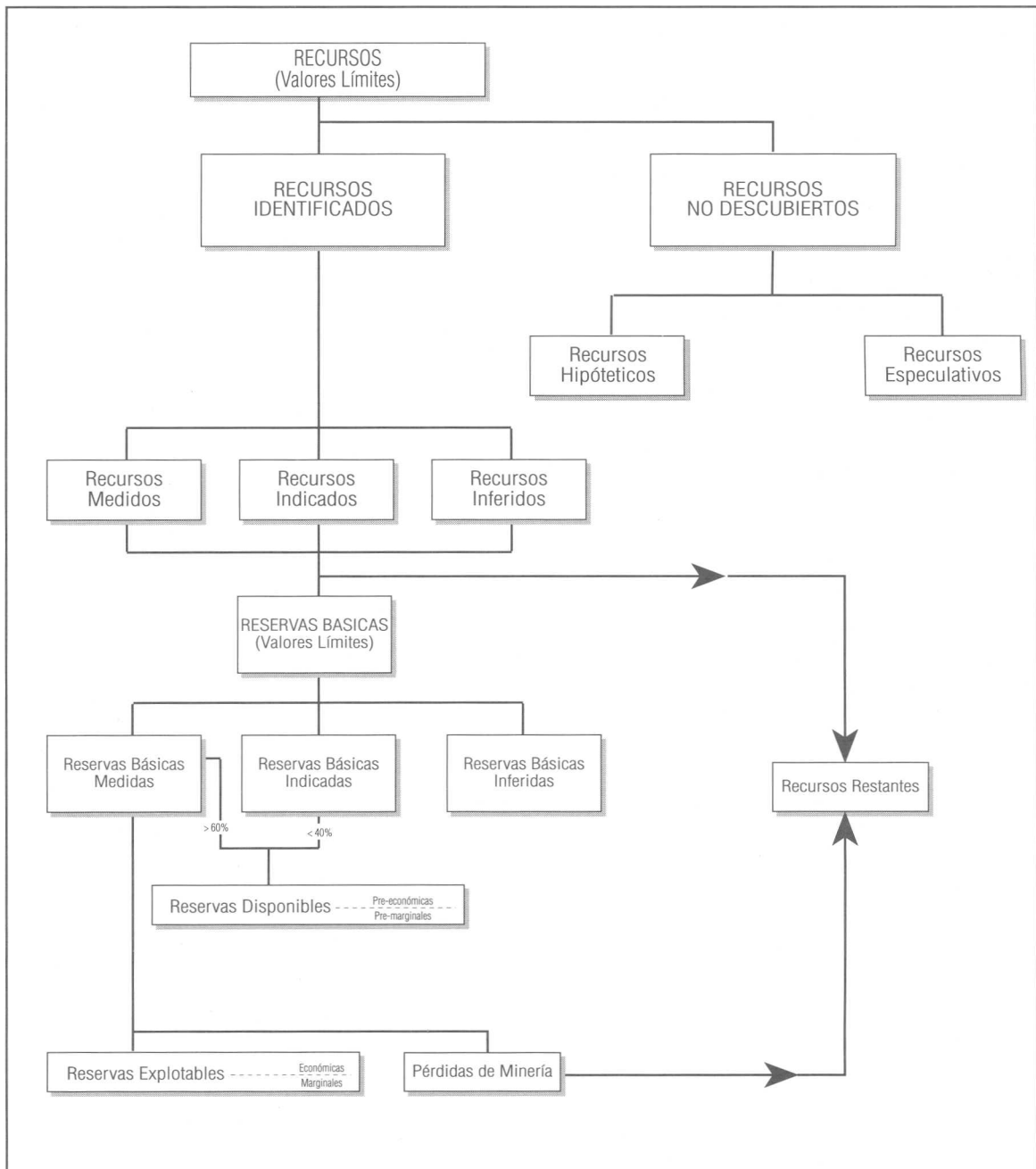
Calidad: Entre todos los valores límites que se puedan considerar para que un carbón entre o no a participar en los cálculos de reservas básicas, el contenido de cenizas y de azufre son los más significativos; se ha establecido que el contenido de cenizas debe ser inferior al 33% y el de azufre total debe ser inferior al 3% para toda clase de carbón (tabla 1). Los datos suministrados por ECOCARBON (Rodríguez, E., 1995) con respecto a las cenizas, indican que a lo largo del país se tienen los siguientes valores promedios: 7 a 8,30% en Guajira, 5,61% en La Loma, 5,28% en La Jagua, 10,32% en Calenturitas, 17,0% en San Jorge, 13,40% en Paipa, 10,19% en Cundinamarca, 8,67% en Antioquia, y 26,62% en el Valle; dado que los valores máximos van del 11,35% al 41,29%, excepto en el Valle donde se explota carbón impuro de hasta 50,34%, el valor propuesto del 33% encaja bien con estas características.

En cuanto al azufre, los valores promedios son de 0,70% en Guajira, 0,59% en La Loma, 0,62% en La Jagua, 0,72% en Calenturitas, 1,50% en San Jorge, 3,44% en Paipa, 0,84% en Cundinamarca, 0,51% en Antioquia y 2,87% en el Valle; los valores máximos van del 0,84% al 7,05%; por lo tanto el valor escogido del 3% cubre el promedio general de los carbones y sólo excluye los picos más notorios. Para el caso de los carbones coquizables, Durán, et alii (1981:14) fijan el contenido máximo de cenizas en 12%.

Desnivel: La diferencia de cota, hacia abajo, entre el nivel de base de una mina subterránea y la cota del manto de carbón (a lo largo de la cual la extracción del carbón es en contra de la gravedad), se fija, para el cálculo de las reservas básicas, en 300m (tabla 1). Esto, naturalmente, siempre y cuando no se sobrepase el otro valor



FIGURA 2
ORDEN DE LAS CATEGORIAS





límite representado por la profundidad (entre el manto y la superficie) de 600m. Los trabajos llevados a cabo por la consultoría (Enamdimsa, 1978; Procarbón, 1985b) confirman este valor máximo para el desnivel.

Distancia desde los puntos de medición: Las categorías de "medido", "indicado", "inferido" e "hipotético" se definen mediante distancias máximas contadas a partir del punto de medición más cercano. Estos valores se han fijado en 250m, en 750m, en 2.250m y >2.250m, respectivamente (véase: Sistema de Clasificación).

Los valores derivan de haber constatado que la totalidad de las exploraciones que se han conducido, aquí en Colombia, con la idea de pasar seguidamente a la

explotación, son muy conservadoras en cuanto a estas distancias se refiere.

En la literatura geológica internacional (Hughes et al., 1989) se han hecho intentos para fijar las distancias entre puntos de medición en función de la complejidad estratigráfica y estructural de un área. A nivel comparativo, de acuerdo a la descripción que los autores anteriores hacen de sus modelos, la deformación de los yacimientos colombianos conocidos se puede aproximar a la que se ha definido como "moderada" y "compleja" (op. cit.: tabla 5). En particular, se pueden considerar los yacimientos de la Costa Atlántica como moderadamente deformados, los de las cordilleras Central y Oriental como marcadamente deformados y los de la Cordillera Occidental como intensamente deformados.

TABLA No. 1.

Valores Límites para el Cálculo de los Recursos y las Reservas Básicas

VALORES LIMITES									
	ESPESOR EN METROS		CALIDAD		DISTANCIA MAXIMA ENTRE PUNTOS	PROFUNDIDAD MAXIMA INFORMACION EN METROS	PROFUNDIDAD MAXIMA TAJO EN METROS	DESNIVEL MAXIMO EN METROS	COMPLEJIDAD GEOLOGICA EN METROS
	(1)	(2)	CZ%	S%					
Recursos Medidos	≥ 0,4	≥ 0,75	≤ 50		500	1200			Moderada
Recursos Indicados	≥ 0,4	≥ 0,75	≤ 50		1500	1200			
Recursos Inferido	≥ 0,4	≥ 0,75	≤ 50		4500	1200			
Recursos Medidos	≥ 0,4	≥ 0,75	≤ 50		300 a 500	1200			Marcada
Recursos Indicados	≥ 0,4	≥ 0,75	≤ 50		900 a 1500	1200			
Recursos Inferido	≥ 0,4	≥ 0,75	≤ 50		2700 a 4500	1200			
Recursos Medidos	≥ 0,4	≥ 0,75	≤ 50		300	1200			Intensa
Recursos Indicados	≥ 0,4	≥ 0,75	≤ 50		900	1200			
Recursos Inferido	≥ 0,4	≥ 0,75	≤ 50		2700	1200			
APRECIACION INICIAL									
Reservas Básicas Med.	≥ 0,6	≥ 1,5	≤ 33	≤ 3	500	600	300	300	Moderada
Reservas Básicas Ind.	≥ 0,6	≥ 1,5	≤ 33	≤ 3	1.500	600	300	300	
Reservas Básicas Inf.	≥ 0,6	≥ 1,5	≤ 33	≤ 3	4.500	600	300	300	
Reservas Básicas Med.	≥ 0,6	≥ 1,5	≤ 33	≤ 3	300 a 500	600	300	300	Marcada
Reservas Básicas Ind.	≥ 0,6	≥ 1,5	≤ 33	≤ 3	900 a 1.500	600	300	300	
Reservas Básicas Inf.	≥ 0,6	≥ 1,5	≤ 33	≤ 3	2.700 a 4.500	600	300	300	
Reservas Básicas Med.	≥ 0,6	≥ 1,5	≤ 33	≤ 3	300	600	300	300	Intensa
Reservas Básicas Ind.	≥ 0,6	≥ 1,5	≤ 33	≤ 3	900	600	300	300	
Reservas Básicas Inf.	≥ 0,6	≥ 1,5	≤ 33	≤ 3	2.700	600	300	300	

(1) Para el caso de carbón antracítico, bituminoso y sub-bituminoso
 (2) Para el caso del carbón lignítico



Del análisis de estos ejemplos, se sugieren para la exploración de áreas marcadamente deformadas e intensamente deformadas, distancias del orden entre 150 y 250m, para la categoría de "medido". Para la categoría de "indicado", distancias comprendidas entre 450 y 750m y, para la categoría de "inferido", distancias entre 1.350m y 2.250m (véase: tabla 1 y Glosario).

Por consiguiente, puede considerarse que la distancia de comprobación (o de influencia) de un punto de información de hasta 250m es una distancia equilibrada para hacer la evaluación de las reservas medidas de nuestros yacimientos, si se tiene en cuenta la variabilidad de los parámetros físicos y químicos, por no hablar de la complejidad tectónica.

En cuanto a la distancia de comprobación de un punto de medición, hay que considerar un último factor, que es la inclinación de las capas. Cuando ésta supera los 25°, la distancia horizontal medida entre puntos de información, al ser proyectada sobre la cuelga, se traduce en una longitud inclinada que supera bastante la distancia establecida de 250m. Por consiguiente, en yacimientos con mantos de carbón inclinados más de 25°, las líneas de puntos de perforación, normales al rumbo de las capas, deben quedar programadas a una distancia de 500m una de otra, como máximo; mientras que, sobre cada línea, los puntos van localizados cada 500m x cos θ , donde θ es la inclinación de las capas.

Espesor de los mantos de carbón: Se establece el espesor de $\geq 0,40$ m, como valor límite para considerar, dentro de los recursos, los carbones antracíticos, bituminosos y sub-bituminosos (tabla 1); de esta manera, toda capa de carbón de espesor inferior se considera una cinta. Este valor proviene del conocimiento de que se está explotando carbón de 0,40m en el Valle del Cauca y en Santander, aunque en condiciones geológicas y económicas particulares, de validez únicamente local. Para el lignito, se toma el valor límite de $\geq 0,75$ m, de Wood et alii (1983), no habiendo ejemplos en el país. Para establecer el límite inferior de espesor del

carbón en las reservas básicas, es decir a nivel de apreciación inicial, se ha escogido el valor de $\geq 0,60$ m. Este también es un valor que proviene de ejemplos ya más numerosos a lo largo y ancho del país. Los diferentes estudios llevados a cabo en Colombia por firmas consultoras (Enamdinsa, 1978; Procarbón, 1985a, Procarbón, 1985b; Geominas, et al., 1991; Consorcio Geominas-Naci, 1985) confirman el valor del espesor (0,60m) arriba citado. Cabe anotar que otros estudios exigen valores entre 0,70m y 1,00m (B.G.R., Carbocol, 1985; Kopex, Carbocol, 1991; Cobrapi, 1980; Carbones del Caribe, 1979). Para el lignito se establece el mismo valor límite de $\geq 1,50$ m propuesto por Wood et al., (ob. cit.).

Por el contrario, a nivel de pre-factibilidad y de factibilidad, serán los estudios técnicos y económicos los que fijarán el espesor mínimo de los mantos en las reservas disponibles y en las reservas explotables, respectivamente.

Intercalaciones estériles: Se refieren a cualquier roca diferente a carbón, dentro de un manto de carbón. Según el espesor que tengan, serán separables o no. Los estériles no separables se pueden aceptar siempre y cuando el carbón extraído contenga menos del 33% en peso de cenizas. En todo caso, serán los estudios técnicos y económicos a nivel de pre-factibilidad y de factibilidad los que fijarán el espesor mínimo para establecer como separable una intercalación.

Profundidad (sensu stricto): La distancia vertical máxima posible, hasta la cual es todavía técnica y económicamente factible extraer, con métodos de minería subterránea, un manto de carbón, es un factor de economía minera muy ligado a condiciones locales y temporales. El valor de 1.800m tomado como límite para los cálculos de recursos por Wood et al., (1983), se ha modificado a 1.200m, considerándose que este valor es más cercano a la situación minera colombiana, que hasta hoy día ha alcanzado apenas los 900 metros de profundidad (tabla 1). De esta forma se descartan las evidencias traídas por la industria petrolera que señala carbón a profundidades mucho mayores. El valor de



600m, aplicado como límite para el cálculo de las reservas básicas, deriva, por el contrario, de datos de minería subterránea obtenidos en la mina La Chapa de Acerías Paz del Río; aquí los problemas de ingeniería causados por la sobrecarga y a la profundidad de 500m, especialmente en las vías de transporte del carbón, se reflejan en un incremento de costos, por lo cual se fija el valor límite de este parámetro en 600m.

Profundidad de la explotación (o del tajo): A nivel de apreciación inicial, para los cálculos de reservas básicas en proyectos de minería a cielo abierto, se toman los 300m (tabla 1) como valor límite de la profundidad de la explotación. No se tiene sino dos ejemplos: el de El Descanso (Geominas et al., 1991), cuyo límite corresponde al arriba citado, y el de El Cerrejón Zona Norte, con 270m.

Nota final: Todos estos “valores límites” han sido propuestos con la intención de seleccionar, del volumen de carbón calculado como recurso, una primera porción que, en una apreciación inicial, tiene algún valor económico, y con la de descartar las partes sin interés para la operación minera de la actualidad. Con el incremento de la seguridad técnica y económica, los valores límites no son más tenidos en cuenta, dado que, a nivel de pre-factibilidad y de factibilidad, el espesor de los mantos de carbón, la profundidad de la explotación (para minería a tajo abierto), la profundidad (sensu stricto), el desnivel y la calidad tendrán valores que los mismos estudios, proyecto por proyecto, expresarán de acuerdo con el objetivo económico específico establecido (para estas definiciones, véase: Glosario).

GUIA GENERAL PARA LA EVALUACION

Las siguientes guías generales tienen el fin de dar instrucciones para uniformar los métodos de evaluación y de categorización de los recursos de carbón.

CALCULO DE LOS RECURSOS DE CARBON

Luego de determinar el área carbonífera, el espesor promedio del manto y la densidad del carbón se procede al cálculo de los recursos. Las cifras se obtienen con la siguiente fórmula:

$$a \times e \times d / \cos \varnothing = t$$

a = área

e = promedio ponderado del espesor del manto

d = densidad del carbón (gravedad específica verdadera)

\varnothing = inclinación del manto

t = toneladas

Para el caso en que se conozcan la cuelga promedio y la longitud en el rumbo del manto, la fórmula es la siguiente:

$$c \times l \times e \times d = t$$

c = promedio de la cuelga

l = longitud en el rumbo del manto

CARTOGRAFIA DE LOS MANTOS DE CARBON

Para documentar los cálculos de los recursos de carbón debe prepararse un mapa de cada manto, en cada bloque, sector, o área conocidos. El mapa de un manto de carbón debe mostrar: (1) la cuadrícula de coordenadas planas y puntos geográficos de referencia; (2) la traza del manto; (3) todos los puntos donde se hicieron medidas de espesor y se tomaron muestras de carbón: afloramientos, destapes, trincheras, explotaciones, perforaciones y puntos bajo tierra; (4) los buzamientos; (5) las cotas de todos los puntos de medición y de los sitios de interés; (6) los rasgos estructurales que afectan el carbón, como ejes de plegamientos y fallas; (7) las líneas de los cortes geológicos; (8) las áreas donde el carbón tiene intercalaciones o no existe por erosión o por no depósito; (9) los contornos estructurales trazados sobre el piso del manto; (10) las líneas isópacas del carbón, las líneas isócoras del estéril y las líneas de



isotenos; (11) las áreas correspondientes a las diferentes categorías de los recursos; (12) los límites de propiedad de la mina; (13) los límites de áreas de título minero (aporte, licencia, concesión); (14) los límites del municipio, del departamento y nacionales; (15) los límites de parques nacionales, bosques, resguardos, bases militares y, en general, de áreas conocidas como ambiental o legalmente restringidas a la minería.

Los mantos de carbón pueden ser muy numerosos en algunas áreas; en lo posible, para cada manto, se deben elaborar el mapa o los mapas correspondientes. Una vez trazada el área correspondiente a cada categoría específica de recurso, se evalúan las cantidades de carbón determinando la extensión del área, el espesor promedio, la profundidad y el rango del carbón en cada una de estas áreas.

En cuanto a escalas de mapas y cortes se refiere, hay que tener presente que la evaluación de recursos requiere la representación gráfica, precisa, de puntos de medición siempre más frecuentes cuanto más alto es el grado de certeza geológica buscado. Por lo tanto, se recomienda representar:

- ◆ a escala 1:25.000, o más grande, la información correspondiente al nivel de recurso en sus distintas categorías, dado que se trata de la etapa inicial de las investigaciones geológicas, con puntos de información aún distantes;
- ◆ a escala 1:10.000, o más grande, la información correspondiente al nivel de reservas básicas;
- ◆ a escala 1:5.000, o más grande, la información correspondiente al nivel de reservas disponibles.
- ◆ a escala 1:2.000, o más grande, la información correspondiente al nivel de reservas explotables.

DEFINICION DE LAS AREAS DE CALCULO

En este aparte se presentará un ejemplo para ilustrar los métodos teóricos a utilizarse en la definición de las áreas donde se van a calcular los recursos y reservas de carbón dentro de una determinada categoría (áreas de certeza geológica).

El primer método es el propuesto por Wood et al., (1983). Las áreas correspondientes a las categorías de "medido", "indicado", "inferido" e "hipotético" se obtienen trazando los círculos o los arcos con origen en los puntos de medición, utilizando las distancias establecidas. La figura 3, adoptada de Wood et al., (1983, Figura 10), muestra cómo definir las áreas en el caso de un yacimiento donde un manto de carbón ha sido cartografiado y medido en 5 puntos. Adicionalmente, se dispone de la información proveniente de una mina y de varios pozos. Utilizando los radios con origen en los puntos de medición, se construyen los arcos a las distintas distancias de acuerdo a los criterios establecidos para las distintas categorías de recursos (Wood et al., 1983:40,42).

Uno de los inconvenientes para calcular los recursos de carbón, se tiene en aquellas áreas en donde las capas son moderadas a marcadamente inclinadas ($>15^\circ$), o son muy deformadas. Se puede proceder de dos maneras para el cálculo del tonelaje: 1) considerando los círculos de influencia apoyados sobre la superficie del manto; 2) midiendo las áreas de los círculos, en planta. En el primer caso, el área medida es la superficie del carbón y la cifra obtenida es la real. En el segundo caso, las cantidades calculadas van divididas por el coseno del ángulo de inclinación de la capa para obtener el tonelaje efectivo (Wood et al., 1983:40,42); (Figura 20). El problema radica en la representación gráfica de las áreas de influencia, puesto que hay que dibujarlas deformadas geométricamente en forma de elipses, debido al ángulo de inclinación del manto de carbón, lo que hace complicado al lector "captar" los límites de las áreas reales en ambos casos.



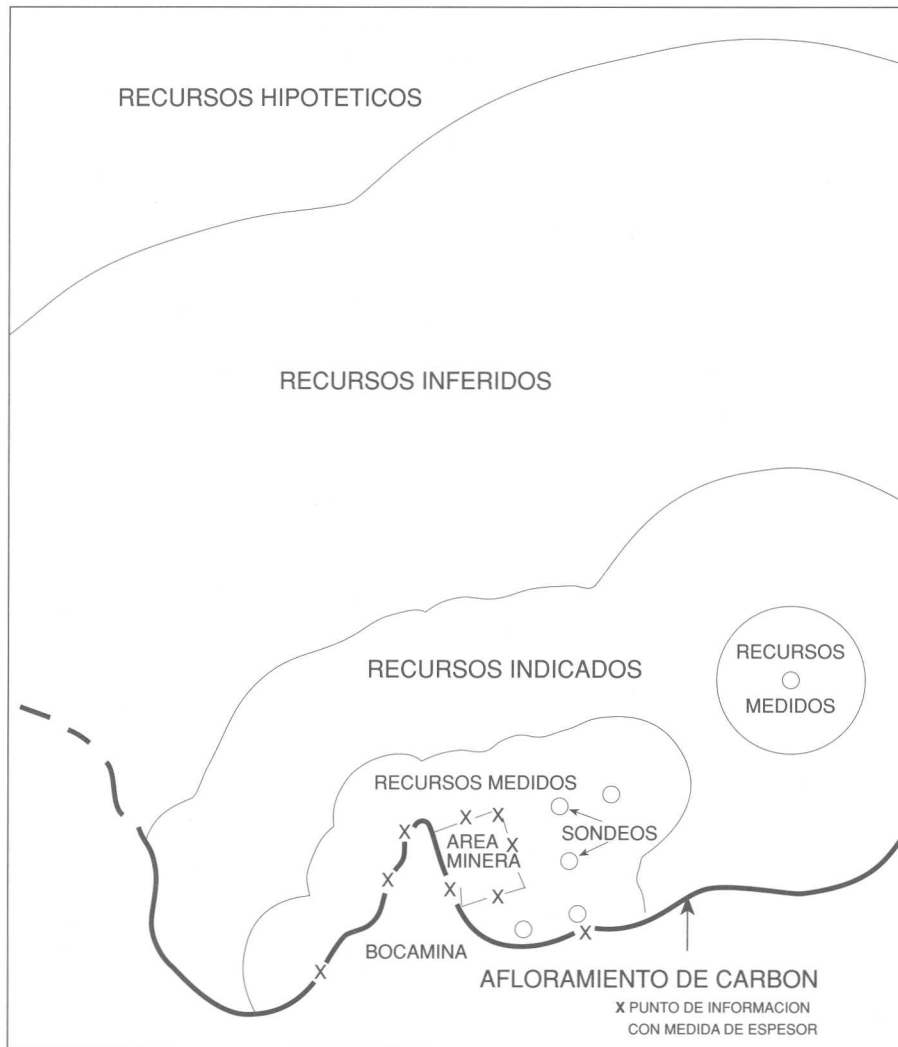
Error de estimación: Es la diferencia entre el valor estimado y el valor exacto. Por valor estimado se consideran las toneladas calculadas para cualquier categoría de recursos en el proceso de evaluación previa, y por valor exacto se entiende el tonelaje

realmente existente, comprobado después de la explotación. Se expresa como error absoluto (o sea la diferencia en más o en menos), o como error relativo (cociente entre el error absoluto y el valor exacto, por ciento).

FIGURA 3

DEFINICION DE LAS AREAS DE CONFIBILIDAD DE LOS RECURSOS A PARTIR DE LOS PUNTOS DE MEDICION SOBRE EL AFLORAMIENTO, COMPLEMENTADOS POR DATOS PROVENIENTES DE UNA MINA Y VARIOS SONDEOS.

(Wood et al., 1983 Figura 10, modificado)



0 250 m 500 m 750 m

0 0.46 millas

Definición de las áreas de confiabilidad de los recursos a partir de puntos de medición sobre el afloramiento, complementados por datos provenientes de una mina y varios sondeos.
(Wood et al., 1983 Fig. 10, modificado)



PERDIDAS DE MINERIA

El factor de extracción es el porcentaje de carbón extraído de un manto donde el tonelaje total original es igual al 100%. El carbón no extraído se considera como pérdidas de minería a menos que constituyan cantidades recuperables en retroceso o en minería adicional. Los factores de pérdidas en la minería subterránea, son:

- ◆ Pilares del sistema de minería aplicado
- ◆ Pilares de seguridad en la zona de afloramiento
- ◆ Pilares para defensa contra irrupción de aguas
- ◆ Pilares para aislamiento de la minería antigua
- ◆ Pilares a lo largo de grandes fallas
- ◆ Pilares alrededor de obras mineras que deben ser protegidas (túneles de acceso, vías de transporte, tolvas internas)
- ◆ Franjas en el techo y en el piso del carbón para evitar contaminación
- ◆ Pilares contra límites de propiedad
- ◆ Areas imprevistas inexplotables

El porcentaje de pérdidas será el que definan los estudios de prefactibilidad y de factibilidad. En el caso de un estudio de pre-factibilidad, los evaluadores pueden extrapolar los factores de extracción de acuerdo a la experiencia vivida en pocas minas asumiendo que (1) las condiciones geológicas que controlan la minería son similares, y (2) el proceso de extracción del carbón en áreas vírgenes será similar al de las áreas explotadas que utilizan el mismo sistema de minería. Tal extrapolación de los factores de extracción de pocas minas bien conocidas a menos conocidas o desconocidas requiere de experiencia en la geología, en los sistemas de minería aplicables y en una previsión de las dificultades, geológicas u otras, que afectan

la evaluación de las reservas (Wood et al., 1983, modificado).

PERFILAJE GEOFISICO PARA LA EXPLORACION DEL CARBON

Los registros geofísicos de pozos se usan para identificar los mantos de carbón y medir su espesor y el de las intercalaciones, dado que el carbón tiene varias propiedades físicas características, que resaltan con respecto a aquellas de la mayoría de las rocas de la secuencia estratigráfica que contiene los carbones. Estas propiedades incluyen radiactividad natural, baja densidad y alta resistencia a la corriente eléctrica. Por tanto, el perfilaje geofísico provee información sobre la posición, continuidad y correlación de los mantos de carbón, someros o profundos, permitiendo así la cuantificación de los recursos.

Los tipos de registros geofísicos, generalmente utilizados para el reconocimiento de los mantos de carbón y de la estratigrafía, y para la evaluación del espesor y del contenido de cenizas son la Resistividad, el SP, el Rayo Gamma, la Densidad, el Caliper y el Sónico, entre otros.

Debe tenerse suma cautela en interpretar y evaluar la posición litoestratigráfica, espesor y correlación de los mantos de carbón con base en los registros geofísicos, por dos razones:

Primera: Si se dispone de un solo tipo de registros, una caliza altamente resistiva en un registro de resistividad, o una arenita de cuarzo con cemento silíceo en un registro radiactivo, pueden confundirse, por ejemplo, con el carbón. Sin embargo, este problema puede solucionarse con un buen conocimiento de la estratigrafía y con un patronamiento previo de estas rocas.

Segunda: Algunos registros resultan poco adecuados para demostrar la existencia de mantos de carbón porque no son claros, debido a que dan lecturas que ocultan las capas de carbón, o indican mantos donde no existen, o son ambiguos. En este caso también, el conocimiento de la estratigrafía



puede ayudar a la interpretación de registros dudosos. Dado que el espesor de los mantos determinado sobre registros geofísicos se considera como válido para calcular los recursos de carbón, es conveniente usar solamente aquellos valores del espesor que son confiables.

Resistividad

Este método se basa sobre la propiedad de las rocas de conducir la electricidad cuando están saturadas por agua. En realidad, una roca seca es un buen aislador, salvo en casos que contenga minerales metálicos o grafito. Sin embargo, las rocas en la profundidad excepcionalmente se encuentran secas, por lo cual la resistividad, o resistencia al flujo eléctrico, es finita y puede medirse.

La experiencia demuestra que la resistividad de una roca varía según el fluido que contiene y la dureza de la misma. En general, las arcillolitas presentan resistividad comparativamente baja y constante sobre superficies amplias, debido a que es impermeable e impregnada con agua capilar de salinidad constante. Al contrario, las rocas compactas e impermeables, como la caliza y el carbón, son altamente resistentes por su pequeño contenido de agua intersticial.

Registros simples de resistividad aparente se corren cuando las condiciones son favorables, pero la dificultad para distinguir un manto de carbón de una arenita y la falta de calibración en los resultados es una seria limitación. De mayor importancia es el reciente desarrollo de sondas de resistividad enfocada, que pueden medir la resistividad real del carbón con gran resolución.

El dispositivo convencional para la medición de la resistividad registra simultáneamente las curvas de resistividad y de potencial espontáneo (SP). El pozo debe contener un fluido conductor para esta operación y no puede correrse el registro en perforaciones revestidas.

SP

El registro del potencial espontáneo (SP) mide la diferencia de potencial eléctrico al contacto entre los distintos tipos de rocas. La curva de potencial generalmente indica la invasión del fluido de perforación en la roca, así que una arenita permeable se registra como una larga deflexión hacia la izquierda con respecto al registro de las arcillolitas. En presencia de carbón hay numerosas excepciones a este patrón de la curva SP, como son las deflexiones causadas, algunas veces, por carbones de alta permeabilidad, y, otras veces, muestran las curvas sin deflexión en los mantos, patrón que es similar al de las arcillolitas.

Radiactividad natural

El registro de Rayos Gamma es particularmente útil en la exploración de secuencias carboníferas, no sólo para identificar el tipo de roca y trazar la correlación, sino para localizar las intercalaciones de capas de origen marino.

Se ha observado que todas las rocas, y las rocas sedimentarias en particular, contienen elementos radiactivos en cantidades variables. Es conocido que los perfiles de rayos gamma responden a la radiactividad producida por el decaimiento de tres elementos: Torio, Uranio y Potasio. Estos tres isótopos, en su degradación hacia isótopos estables, son los que originan la radiactividad natural de las formaciones (Schlumberger, 1980:III-14). El carbón responde con bajas cuentas de rayos gamma, por lo cual puede confundirse con las arenitas y las calizas, pero, la combinación del registro de Rayos Gamma con el registro de Densidad y el de Caliper da certeza a la interpretación.

Densidad (gamma gamma ray)

El perfil de Densidad mide simultáneamente la densidad electrónica y el índice de sección de captura fotoeléctrica promedio por electrón, o factor fotoeléctrico de la roca. La densidad electrónica es convertida en la densidad aparente que es muy similar a la densidad real de la roca.



El factor fotoeléctrico depende fundamentalmente de la litología y está muy poco afectado por la porosidad y los fluidos (Schlumberger, 1980:III-3). Las medidas del valor de la densidad de las rocas es la base de la técnica de registro en carbón, en vista de la baja densidad de un manto en comparación con otras rocas. La clara identificación y la medida precisa del espesor y de la estructura de los mantos de carbón es normalmente posible sólo con este tipo de registro, y, en combinación con el perfil de Rayos Gamma y con el registro Caliper (calibre del pozo), la identificación es segura.

Recientemente, se ha incrementado la resolución de las sondas de Densidad con la introducción del BRD (Bed Resolution Density Tool), que es particularmente útil en perforaciones de pequeño diámetro. Desafortunadamente, este sistema depende de la penetración horizontal, por lo cual este dispositivo tiene limitaciones en pozos con paredes derrumbadas.

Caliper

El registro Caliper indica la sección de la perforación; fuera de su importancia en la corrección de las medidas de densidad, muestra detalles que ayudan a determinar el espesor del manto de carbón y de las intercalaciones con gran precisión; es muy útil para definir el espesor de las capas blandas.

Sónico

Esta herramienta mide el tiempo de tránsito y la atenuación de una onda de sonido que se propaga a través de las rocas (Schlumberger, 1980:III-39). Las medidas de velocidad acústica en rocas pueden ser diagnósticas en el caso del carbón y son muy útiles en la interpretación de los estudios sísmicos. El desarrollo de esta técnica ha sido obstaculizado por la no disponibilidad de sondas de pequeño diámetro; sin embargo, dispositivos de menor diámetro son ahora disponibles y su aplicación es cada vez más importante.

Medición de la desviación

Las medidas de desviación (inclinación respecto a la vertical y orientación) de los sondeos son importantísimas dado que todas las perforaciones se desvían, falseándose así espesores e inclinación de los estratos. Hay varios tipos de dispositivos que permiten medir la inclinación y la orientación de la perforación a cualquier profundidad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas de Carbón conjuga el grado de certeza geológica propuesto por el USGS y el grado de seguridad técnica y económica propuesto por el GDMB, de tal forma que, en el progresivo avance de la evaluación de un yacimiento, el incremento del grado de seguridad técnica y económica debe sustentarse sobre cantidades de carbón con grado de certeza geológica siempre mayor.

La disponibilidad de este conjunto de normas y procedimientos permite la evaluación de los yacimientos de una forma objetiva, por cuanto restringe los criterios personales del evaluador, unifica la terminología, y simplifica la ordenación en categorías de los recursos de carbón.

En la determinación de los valores límites juegan un papel importante la apreciación del grado de complejidad geológica de un área, la experiencia minera nacional y las características de los carbones colombianos.

En este sistema, Los recursos son únicamente "volúmenes de carbón".

Las reservas básicas son recursos de carbón potencialmente aprovechables a nivel de evaluación económica correspondiente a la apreciación inicial, son volúmenes de carbón que indican el tamaño del yacimiento, son cantidades sobre las cuales se puede contar para alcanzar los objetivos de cualquier tipo de proyecto.



Las diferentes categorías de las reservas básicas representan cantidades tomadas en consideración únicamente para ciertos niveles de evaluación económica. Así, sólo las reservas básicas medidas son la "base" para el cálculo de las reservas explotables; sólo las reservas básicas medidas e indicadas, en la proporción de 60% y 40% respectivamente, son la "base" para el cálculo de las reservas disponibles; mientras que las reservas básicas inferidas son la "base", exclusivamente orientativa, de las posibilidades geológicas de un yacimiento, que sólo pueden ser elevadas a las categorías de indicadas y medidas a través de ulterior exploración.

Las reservas disponibles son recursos de carbón que el estudio de prefactibilidad coloca en los grados de aprovechamiento pre-económico y pre-marginal. Son recursos no explotables, con los cuales solamente se

puede contar a nivel de una evaluación económica preliminar.

Las reservas explotables son aquella parte de las reservas básicas medidas que un estudio de factibilidad define como extraíbles económicamente en el presente, considerando todas las limitantes técnicas, legales y ambientales.

Se recomienda que este Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas de Carbón sea experimentado en la evaluación de un área carbonífera conocida, para confrontarlo con situaciones reales y, a la vez, para obtener una nueva imagen del grado de conocimiento del área misma. Luego, que sea divulgado en los ámbitos nacional e internacional, para discutirlo, compararlo y refinarlo; y finalmente, que sea aplicado en Colombia de la forma más estricta posible.

BIBLIOGRAFIA

ABBOTT, D.M., 1990, Common misuses of "ore reserves" in press releases and other public disclosures, U.S. Securities & Exchange Commission 2pp, Denver Regional Office, Denver.

AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE, 1957, Glossary of geology and related sciences, American Geological Institute publisher, Washington, D.C.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1981, Annual book of ASTM Standards, part 26, gaseous fuels; coal and coke; atmosphere analysis: Philadelphia, Pennsylvania, p.1-920.

ANONIMO, A guide for reporting exploration information, resources, and reserves, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, editor desconocido, 10pp.

ANONIMO, 1991, Whimsical Definition of terms modifying Reserves, Comunicación al National Western Mining Conference, February 1991.

BLONDEL, F., LASKY, S.G., 1969. Conceptos de las reservas y recursos en mineral, in: Estudio de los recursos en mineral de hierro del Mundo, Publ. Naciones Unidas, Sales Pub. No.69-II-C-4.

BROBST, D.A., PRATT, W.P., 1973, Introduction, in: Brobst, D.A., Pratt, W.P. (eds.). United States mineral resources, U.S. Geol. Survey Prof. Paper 820 :1-8, Washington.

(B.G.R.) BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE, CARBOCOL, 1985, Estudio carbonífero de Tibitá (Cundinamarca), Biblioteca de Ecocarbón, Bogotá.

CAMERON, S., 1995, Assessment of reserves and exploration requirements/Geological criteria for reserve classification, Norwest Mine Service Ltd., file: 94-1177, Calgary.

CARBOCOL, INTERCOR, 1995, Nota enviada a ECOCARBON sobre El Cerrejón Zona Norte, Biblioteca de ECOCARBON, Bogotá.

CARBONES DEL CARIBE, 1979, Estudio de factibilidad técnico-económica del



Proyecto carbonífero de Puerto Libertador (Córdoba), Biblioteca de Ecocarbón, Bogotá.

COBRAPI, 1980, Estudio de prefactibilidad técnico-económica y financiera, de la explotación, beneficio, transporte y comercialización del carbón coquizante de los bloques 2 y 3 de la cuenca de Checua-Lenguazaque (Colombia), Biblioteca de Ecocarbón, Bogotá.

CONSORCIO: GEOMINAS LTDA.-NACI, 1985, Estudio de prefactibilidad minera del Alto San Jorge, Biblioteca de Ecocarbón, Bogotá.

DI COLBERTALDO, D., 1957, Giacimenti minerari, ed. Cedam, Padova, Italia.

DURÁN, R., SÁNCHEZ, C., ANGARITA, L., ZAMBRANO, F., URIBE, C., ALVARADO, B., 1979, Zonas carboníferas de Colombia, Pub. Geol. Esp. de Ingeominas No 3:1-29, Bogotá.

DURÁN, R., MOJICA, P., ALVARADO, B., LOBO-GUERRERO, A., 1981, Evaluación de reservas de carbón en siete zonas de Colombia, Publ. Geol. Esp. Ingeominas No 6:1-127, Bogotá

ECOSOC (NACIONES UNIDAS), 1979, La clasificación internacional de los recursos minerales. Turquía

ELLIS, T.R., 1991, The Australian code for reporting of identified mineral resources and ore reserves, Report of the Joint Committee of the Australian Institute of Mining and Metallurgy and Australian Mining Industry Council, presented at "the Colorado Mining Association's 94th National western mining conference 11pp, Denver, Colorado.

ENAMDIMSA, 1978, Estudio de prefactibilidad para la explotación de los carbones coquizables en los bloques 1 y 2 (Checua-Lenguazaque), Biblioteca de Ecocarbón, Bogotá.

GEOMINAS, INGETEC, NACI, 1991, Prefactibilidad Minera de El Descanso, Biblioteca de Ecocarbón, Bogotá.

HUNTER, T.W., 1970, Bituminous coal and lignite, in: Mineral facts and problems, U.S. Bur. Mines Bull.,

INGEOMINAS, ECOCARBON, 1994, Investigación geológica de superficie complementada con perforaciones en el área El Hoyo- Mosquera, Biblioteca Ecocarbón, Bogotá.

INGEOMINAS, ECOCARBON, COLCIENCIAS, 1993, Características y usos tecnológicos de los carbones de la zona Cundinamarca-Boyacá, Biblioteca de Ecocarbón, Bogotá.

HUGHES, J.D., KLATZEL-MUDRY, L., NIKOLS, D.J., 1989, A standardized coal resource/reserve reporting system for Canada, Geol. Survey of Canada, Paper 88-21, Ottawa.

KELLEY, C.W., HARPER, W.B., 1970, Carbon, in: Mineral facts and problems, U.S. Bur. Mines, ? :63-77

KELTER, D., 1991, Classification systems for coal resources - A review of the existing systems and suggestions for improvements, Geol. Jb., A 127:347-359, Hannover.

KOPEX, CARBOCOL, 1991, Trabajos geológicos complementarios Proyecto San Luis Etapa I y Etapa II, Biblioteca de Ecocarbón, Bogotá.

McKELVEY, V.E., 1972, Mineral resource estimates and public policy: American Scientist, v.60, No 1:32-40; reimpresso in: Brobst, D.A., Pratt, W.P. (eds.). United States mineral resources, U.S. Geol. Survey Prof. Paper 820 :9-19, Washington, 1973.

MONENCO, 1984, Patilla mine feasibility study, Biblioteca de Ecocarbón, Bogotá.

MUIR, L.G.W., 1976, Coal preparation, Proceedings of the third International Exploration Symposium, London.

PÉREZ, A., 1989, Atlas y Geografía de Colombia, Círculos de Lectores, Bogotá.

PÉREZ, F., VALDERRAMA, G., BLANCO, G., GONZÁLEZ, L.M., GARCÍA, F., 1987,



Caracterización de carbones colombianos zona Checua-Lenguazaque, Bol. Geol. V 28 No 2:1-218, Ingeominas, Bogotá.

PETTIJOHN, F.J., 1975, Sedimentary rocks, third edition, Harper & Row, publishers, New York, Evanston, San Francisco, London.

PROCARBON S.A., 1985a, Planeamiento minero proyecto La Estrella, Biblioteca de Ecocarbón, Bogotá.

PROCARBON S.A., 1985b, Planeamiento minero proyecto La Honda, Biblioteca de Ecocarbón, Bogotá.

REYES, I., ALVARADO, B., 1985, Disponibilidad de materias primas para la planta siderúrgica de Belencito de 400.000 toneladas anuales de acero y para la fábrica de cemento, Archivo Acerías Paz del Río S.A., Belencito.

RODRÍGUEZ, E., 1995, Hojas de calidad de las diferentes zonas carboníferas de Colombia, Base de datos de la División de Análisis de Reservas de ECOCARBÓN, Bogotá.

SEDIC, SERVIMINAS, 1989, Estudio de prefactibilidad del área Amagá-Venecia-Bolombolo, Biblioteca de Ecocarbón, Bogotá.

SCHLUMBERGER, 1980, Evaluación de formaciones en Venezuela, Schlumberger Surencó S.A. y Petróleos de Venezuela S.A.

UNITED NATIONS ECONOMIC AND SOCIAL COUNCIL, 1989, Preparation of the new international classification of coals, Coals/AC.5/R.2 /Add.3.

UNITED NATIONS ECONOMIC AND SOCIAL COUNCIL, 1988, Coal/AC.5/14 Report, Economic Commission for Europe Coal Committee.

UNITED NATIONS ECONOMIC AND SOCIAL COUNCIL, 1989, Coal/AC.5/16 Report, Economic Commission for Europe Coal Committee.

UNITED NATIONS ECONOMIC AND SOCIAL COUNCIL, 1992a, Reassessment of coal deposits under market-economy conditions, Energy/WP.1/GE.1/R9/Add.4, Economic Commission for Europe Committee on Energy.

UNITED NATIONS ECONOMIC AND SOCIAL COUNCIL, 1992b, Energy/WP.1/AC.1/4 Report, Economic Commission for Europe

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION, 1978, Manual for the preparation of industrial Feasibility studies, eds. United Nations, New York.

URIBE, C., PEREZ, F.H., 1987, Propuesta de clasificación de los carbones colombianos, Bol. Geol. V.28 No 1:1-56, Bogotá.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 1976, Coal resource classification system of the U.S. Bureau of Mines and U.S. Geological Survey, Geological Survey Bull. 1450-B, Washington.

U.S. SECURITIES AND EXCHANGE COMMISSION, 1993, Form S-18 registration Statement under the Securities Act of 1993.

WELLMER, F.W., 1992, Classification of coal reserves, Nota enviada a CARBOCOL, Biblioteca de ECOCARBÓN, Bogotá

WHITTEN, D.G.A., BROOKS, J.R.V., 1983, A dictionary of geology, ed. Hazell Watson & Viney Ltd, Hardmondsworth, Middlesex, England.

WOOD, G.H., KEHN, T.M., CARTER, M.D., CULBERTSON, W.C., 1983, Coal resource classification system of the U.S. Geological Survey, Geological Survey Circular 891:1-65.

PUBLICACION DEPARTAMENTO
DE COMUNICACIONES.

DISEÑO Y DIAGRAMACION:
ENLACE PERIODISMO INSTITUCIONAL

IMPRESION:

GRAFIVISION EDITORES

SANTAFE DE BOGOTA D.C.
COLOMBIA



ECOCARBON

EMPRESA COLOMBIANA DE CARBÓN LTDA.