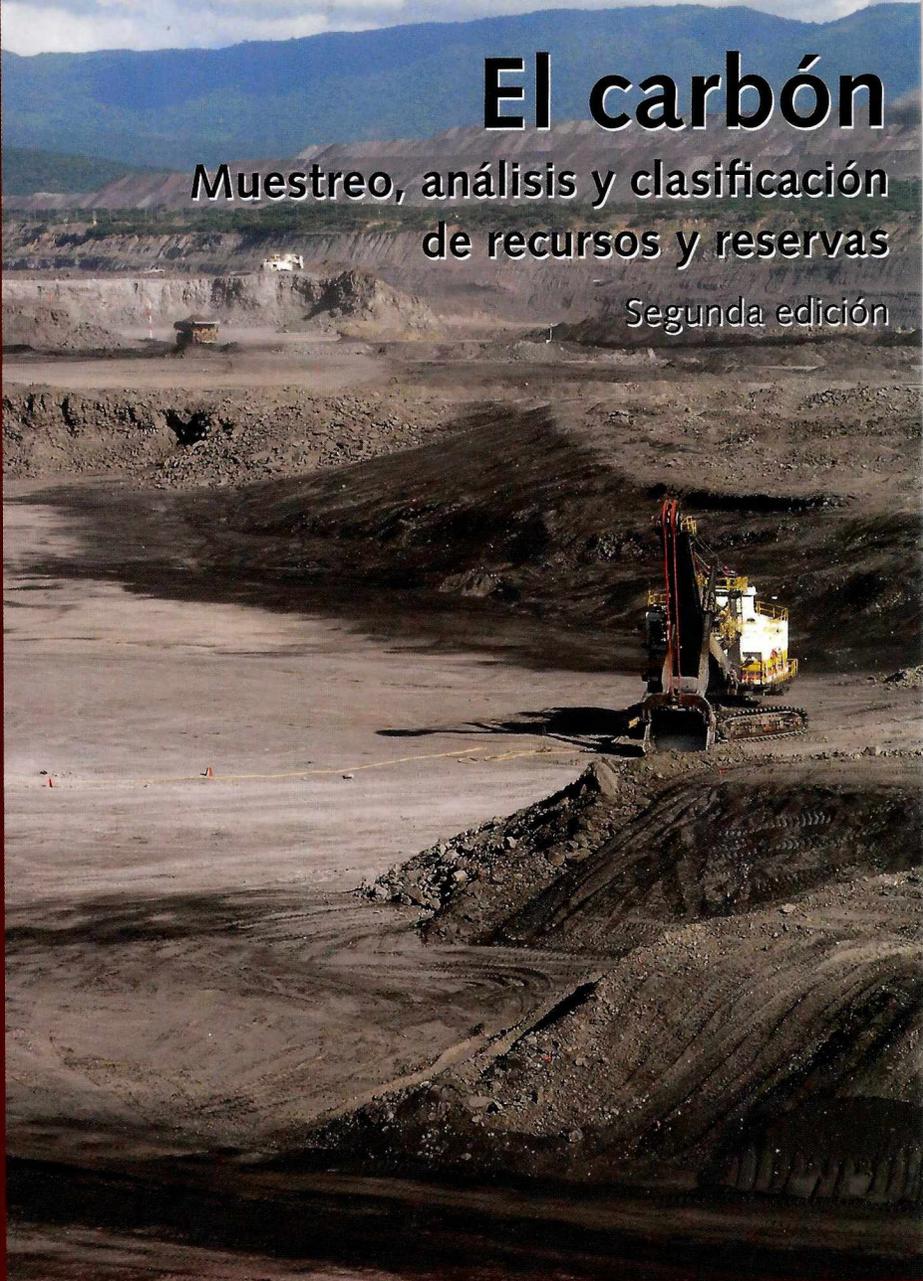


El carbón

Muestreo, análisis y clasificación
de recursos y reservas

Segunda edición



PUBLICACIONES GEOLÓGICAS ESPECIALES • Número 30, 2010



Libertad y Orden

INGEOMINAS
INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

República de Colombia

Actualización de la segunda edición

Marco Antonio Rincón M.

Hernán Gómez M.

Willian O. Monroy V.



El carbón
Muestreo, análisis y clasificación de recursos y reservas

Segunda edición

El carbón

Muestreo, análisis y clasificación de recursos y reservas

Capítulo 1
**Normas generales sobre muestreo
y análisis de carbones**

Capítulo 2
**Sistema de clasificación de recursos
y reservas de carbón en Colombia**

Capítulo 3
Glosario



Libertad y Orden

INGEOMINAS
INSTITUTO COLOMBIANO
DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

República de Colombia

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS

Hernán Martínez Torres
Ministro de Minas y Energía

Mario Ballesteros Mejía
Director General

César David López Arenas
Director Técnico del Servicio Geológico

José Fernando Ceballos Arroyave
Director Técnico del Servicio Minero

Francisco Alberto Velandia Patiño
Subdirector Recursos del Subsuelo

El Carbón: muestreo, análisis y clasificación de recursos y reservas
Segunda edición

© Instituto Colombiano de Geología y Minería, Ingeominas

ISBN: 978-958-99528-0-1

ISSN: 0120-078X

Marco Antonio Rincón M.

Hernán Gómez M.

Willian O. Monroy V.

Actualización de la segunda edición

Coordinación editorial

Luis Eduardo Vásquez Salamanca

Diseño y diagramación

Andrés Leonardo Cuéllar Velásquez

Imágenes de carátula y contracarátula

Cerrejón, Colombia

Giovanny Balceró

Impresión

Imprenta Nacional de Colombia

BOGOTÁ, COLOMBIA

2010

Publicación realizada en el



CONTENIDO

PRÓLOGO

II

INTRODUCCIÓN

13

Objetivo

14

Metodología

14

Antecedentes

15

Capítulo 1

NORMAS GENERALES SOBRE MUESTREO Y ANÁLISIS DE CARBONES

19

Muestreo de carbones

21

Importancia de la composición del carbón en el muestreo

22

Tipos de muestreo en un proyecto minero

23

Fase de exploración y desarrollo

24

Muestreo de afloramiento

25

Muestreo de columna

25

Muestreo de canal

27

Muestreo de perforación (núcleos o ripios)

28

Muestreo durante la operación minera

29

Muestreo en bandas transportadoras

30

Muestreo en volquetas, camiones o vagones

30

Muestreo en pilas

30

Muestreo para propósitos especiales

31

Procedimiento para la toma de muestras durante las fases de exploración y desarrollo

31

Preparación y cuarteo para muestras de canal y de afloramiento

37

Equipos y materiales

41

Análisis fisicoquímicos y petrográficos durante la fase de exploración y desarrollo

52

Carbones coquizables

53

Otros procesos

53

Reproducibilidad y repetibilidad de los resultados

58

Descripción macroscópica de carbones

59

Rango del carbón

64

Fórmulas para el cálculo de dilución

66

Capítulo 2

SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS DE CARBÓN EN COLOMBIA

69

Sistema de clasificación

71

Guías generales para clasificar los recursos y reservas de carbón

74

Criterios de clasificación

78

Grado de certeza geológica

78

Grado de seguridad técnica y económica

79

Disposiciones básicas

80

Clasificación por rango de los carbones

81

Distribución de los mantos de carbón en relación con su espesor

81

Análisis de los valores límites

82

Calidad

83

Desnivel

84

Distancia desde los puntos de medición

84

Espesor de los mantos de carbón

85

Intercalaciones de estériles

86

Profundidad (*sensu stricto*)

86

Profundidad de explotación a cielo abierto

86

Guía para la evaluación de recursos de carbón

87

Aplicación de metodologías para el cálculo de recursos en la evaluación de carbones

97

Cálculos con buzamientos bajos (menores de 30°)

99

Cálculos con buzamientos medios (mayores de 30° y menores de 70°)

101

Buzamientos altos (mayores de 70°)

104

Aproximación del tonelaje estimado

107

Estimación de recursos hipotéticos

107

Registros eléctricos en la exploración de carbón

108

Registro de rayos Gamma (GR)

108

Registro de resistividad (RS)

109

Registro de porosidad

110

Registro *Caliper*

112

Normas jurídicas

113

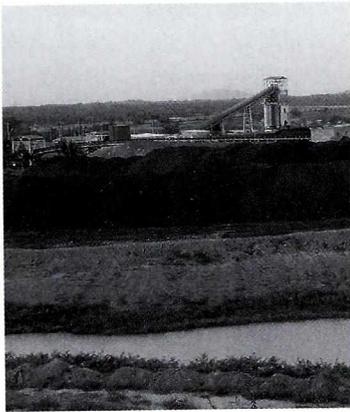
Capítulo 3

GLOSARIO

115

Referencias bibliográficas

145



Fuente: Giovanni Balceró, Ingeominas

El carbón: muestreo, análisis y clasificación de recursos y reservas corresponde a una segunda edición, corregida y aumentada, del libro publicado por Ecocarbón en 1995.

En razón de su importancia, Ingeominas la pone a disposición de empresarios e investigadores en el tema del carbón interesados en conocer en detalle aspectos relacionados con normas y procedimientos para el muestreo y análisis, tipos de muestreos, clases de análisis, Sistema de Clasificación de Recursos y Reser-

vas de Carbón, metodologías y criterios de clasificación, cálculos de áreas y registros geofísicos. Para finalizar, se incluye un completo glosario.

El sistema de clasificación citado sirve para organizar las diferentes categorías existentes, de acuerdo con los grados de certeza geológica y de seguridad técnica y económica, con base en el análisis y la evaluación de las áreas carboníferas y yacimientos del país.

Así mismo, a lo largo del libro hay algunas definiciones que se destacan por su importancia; por ejemplo, dentro del vocablo “recursos” se consideran aquellos volúmenes o depósitos de carbón presentes de manera natural en la corteza terrestre, reconocidos por criterios geológicos, físicos y químicos, los cuales se categorizan en medidos, indicados, inferidos e hipotéticos, teniendo

en cuenta el rango y la calidad de los carbones evaluados; igualmente, sobresale el término “reservas”, el cual se aplica a los volúmenes de carbón que, una vez sometidos a una evaluación económica y técnica, resultan explotables.

Existen varias clases de reservas, pero vale la pena mencionar las reservas disponibles, aquella parte de las reservas básicas (medidas e indicadas) que por medio de un estudio de prefactibilidad se clasifican según los grados de aprovechamiento económico, y las reservas explotables, aquella porción de las reservas básicas medidas que, por un estudio de factibilidad, se revelan como económicamente extraíbles al momento de la clasificación. ■

INTRODUCCIÓN

El *Carbón*, publicación de Ecocarbón (1995) sobre muestreo, análisis y clasificación de recursos y reservas, se ha constituido en un manual indispensable para la evaluación de proyectos de carbón por parte de pequeños mineros y de grandes empresas inversionistas. Después de quince años y ante el creciente interés por la publicación, Ingeominas decidió retomar el tema de la exploración de recursos energéticos y actualizar esta importante obra como parte de sus actividades.

El Servicio Geológico presenta a la comunidad minera esta segunda edición de *El carbón: muestreo, análisis y clasificación de recursos y reservas*, con el fin de rescatar una herramienta que ha sido fundamental en la unificación de criterios y conceptos para la evaluación de recursos y reservas carboníferas del país, teniendo en cuenta diferentes categorías, según el grado de certeza geológica y el incremento de seguridad técnica y económica de cada proyecto.

En esta edición se actualizan los procedimientos y guías para la recolección de muestras y se presentan diagramas de flujo sobre tipos de análisis que hay que realizar, con el fin de unificar criterios, a nivel nacional, en lo referente a los métodos y normas que se deben utilizar durante los programas de caracterización de los carbones colombianos, incluyendo los procedimientos de campo para descripción y muestreo, así como la preparación necesaria para el envío al laboratorio.

Objetivo

El objeto de esta edición es actualizar el documento sobre muestreo, análisis y clasificación de recursos y reservas de carbón, publicado por Ecocarbón en 1995, así como redefinir algunos términos y conceptos e incentivar el uso del método de rectángulos, que se adapta más a la geología de nuestro medio.

Metodología

Se han tenido en cuenta, como punto de partida fundamental el estado y la magnitud de los yacimientos de carbón explorados y explotados progresivamente durante las últimas décadas, los cuales permiten aplicar criterios de comercialización interna y externa favorables a la comunidad minera nacional e internacional.

Los conceptos que se presentan sobre la clasificación se basan en un análisis de la literatura internacional, relacionados con los recursos y reservas, al igual que en la evaluación de los estudios de prefactibilidad y factibilidad, efectuados por diferentes compañías mineras, sobre los diversos e importantes yacimientos de carbones antracíticos, bituminosos y subbituminosos.

Se analizó la información existente sobre la ordenación de normas, criterios y procedimientos definidos por Wood et ál. (2003), considerando la publicada por Ecocarbón (1995 con referencia a Hugues et ál., 1989 y Kelter, 1991) por estar de acuerdo con la idea fundamental de concebir una clasificación de recursos que introduce los factores conceptuales básicos: certeza geológica, seguridad técnica y económica, y densidad de información proporcional a la complejidad geológica, aplicables a los yacimientos del país. Por tal razón se adoptó y reformó dicha clasificación sistemática de las categorías en los recursos y reservas, establecidas por el USGS (1976, 2003; Wood et ál., 2003), calificando el grado de aprovechamiento del recurso mediante la ponderación de una evaluación progresiva económica y técnica básica, a través de una evaluación económica básica, un estudio de prefactibilidad y finalmente, un estudio de factibilidad.

Se tomaron en cuenta los estudios exploratorios realizados en yacimientos colombianos para considerar el aspecto técnico de la certeza geológica, teniendo presente un parámetro fundamental: la distancia entre los puntos

de medición, relacionado con la complejidad geológica, especialmente en las áreas de tectonismo intenso. Por este motivo, las distancias que se citan en el capítulo llamado “Análisis de los valores límites” presentan flexibilidad en cuanto a su aplicación, considerando el grado de tectonismo.

En este sistema de clasificación se sigue la recomendación de determinar que las etapas secuenciales lógicas entre la exploración del yacimiento carbonífero y su evaluación se lleve a cabo de acuerdo con procedimientos unificados (Wellmer, 1992, en Ecocarbón, 1995), para conseguir así resultados en la normalización y aplicación de esta metodología y de la terminología, descrita en el glosario.

Con este sistema de clasificación de recursos y reservas de carbón se pretende establecer una vía de comunicación a nivel nacional e internacional, basados en categorías homologadas, en forma tal que se puedan entender, comparar e integrar en evaluación a nivel nacional, con el consecuente reconocimiento internacional.

Antecedentes

Los recursos y las reservas carboníferos colombianos en décadas pasadas se identificaban y clasificaban en términos comunes como probados, semiprobados, probables, posibles, geológicas, etc., que no tenían el mismo significado minero y toda evaluación generaba un cierto grado de incertidumbre, por depender de la experiencia del geólogo y del criterio del economista.

Durante la etapa de exploración, el geólogo formula hipótesis e interpretaciones sobre un área potencialmente carbonífera, dependiendo del tipo de estructura y grado de tectonismo, los cuales implican un grado de incertidumbre llamado la “incógnita geológica” de la evaluación; por otro lado, cuando el evaluador estima la cantidad de toneladas que puede extraer del yacimiento, tomando en cuenta la localización, infraestructura, transporte, clase de minería y la técnica aplicable a su aprovechamiento, al igual que las condiciones del mercado, entre otros, se enfrenta a la “incógnita económica”.

Teniendo presentes las diferencias en terminología, como los grados de incertidumbre y evaluación de recursos de carbón, 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

que todo el mundo hablara el mismo idioma y agrupara los estimativos de acuerdo con su grado de certeza (Blondel y Lasky, 1969, en *Ecocarbón*, 1995); en 1976, el United States Geological Survey (USGS) y el US Bureau of Mines adoptaron la filosofía y la terminología que aparecen en los documentos oficiales del US Geological Survey (Professional Paper 820 de 1973, y Bulletin 1450-B de 1976, en *Ecocarbón*, 1995), pero dichas publicaciones no lograron definir un grado de seguridad económica.

El USGS mejoró la metodología y publicó un glosario en 1983, junto con un sistema de clasificación de referencia, capaz de proporcionar estimativos de los recursos del carbón, siendo impreciso en cuanto a la determinación del grado de aprovechamiento, pero en 1989 el Geological Survey of Canada introdujo la idea de fijar los criterios definitivos de las diferentes categorías de recursos y reservas, en función de la complejidad geológica de una región. 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 de estudios de prefactibilidad y de factibilidad. Sin embargo, este último se limita a dar las definiciones sobre el componente de la seguridad económica, dejando abiertos algunos interrogantes sobre el significado económico de las categorías, indicadas e inferidas (*Ecocarbón*, 1995).

En efecto, este último sistema de clasificación según *Ecocarbón* (1995):

1. Presenta como reservas extraíbles también, las cantidades de carbón clasificadas en la categoría de indicadas, lo cual contradice la conclusión de este autor en el sentido de que los estudios de factibilidad se deben llevar a cabo solamente sobre las reservas medidas (Kelter, 1991, p. 358). En realidad, se trata de cantidades sólo potencialmente aprovechables sobre las cuales el mismo autor dice: "... so that normally no reserves figures will be stated..." (ibíd.).
2. Incluye entre las reservas, recursos que son apenas inferidos, enfatizando en "No reserves figures will be stated in this class" (ibíd.).

Ingeominas publicó en 1979 un documento (Durán et ál., p. 15), en el que 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 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 la comparación en el mercado internacional”; en 1981, produjo otro documento (Durán et ál., 1981, p.20), en el que manifiesta que sigue “muy de cerca la filosofía, los conceptos y la terminología acordados conjuntamente por el US Bureau of Mines y el US Geological Survey, en 1973”.

Carbocol y Ecocarbón tuvieron a su cargo la exploración, explotación y supervisión de los recursos carboníferos del país mediante aportes y contratos en los yacimientos de El Cerrejón, La Loma (Boquerón), La Jagua de Ibirico y en otras partes del país, con la obligación de evaluar la disponibilidad geológica del carbón, aplicando las técnicas y los criterios de evaluación existentes antes de comenzar el nuevo siglo. En esta actividad, aunque las firmas consultoras evaluaron los yacimientos siguiendo los criterios y las normas del sistema de clasificación norteamericano (USGS), principalmente para los yacimientos con explotación a cielo abierto, del norte del país, la falta de una clasificación de recursos y reservas más actualizada y estricta, en la evaluación de los yacimientos subterráneos en otras zonas del país, no fue muy aceptable. ■

Capítulo 1

NORMAS GENERALES SOBRE MUESTREO Y ANÁLISIS DE CARBONES

MUESTREO DE CARBONES



Figura 1. Núcleos de perforación exploratoria.

Fuente: Ingeominas

De acuerdo con Ecocarbón (1995) y las normas ASTM D2234 M y ASTM D 7430-08, el objetivo de un muestreo de carbones es obtener una muestra representativa de una unidad de muestreo, de tal manera que la distribución y la proporción de sus variables físicas, químicas y petrográficas sean equivalentes a esa unidad de muestreo.

Para muchos propósitos, la muestra es luego reducida en el tamaño de partícula y masa, proceso que se denomina preparación. La muestra final de análisis consta generalmente de sólo 60 gramos, con un tamaño de partícula menor de 0,2 mm (malla n.º 60).

Antes de emprender un programa de muestreo, se deben definir los siguientes aspectos:

- El material que hay que muestrear.
- La cantidad que se va a recolectar.
- Los análisis requeridos.
- La precisión deseada.
- La logística necesaria durante la operación.

En la operación de muestreo de carbones no debe ahorrarse ningún esfuerzo en cuanto al cuidado y precisión de esta actividad, ya que de esto de-

penden, en alto grado, el éxito de las subsiguientes actividades de preparación y análisis de muestras.

Como se sabe, el carbón es uno de los materiales más difíciles de muestrear por la variabilidad en su composición, razón por la cual los países productores y consumidores han desarrollado normas claras y precisas sobre muestreo, preparación y análisis. Es así como asociaciones de países productores y consumidores han fijando normas técnicas, con diferentes propósitos; entre las más conocidas están ISO (International Organization for Standardization), y ASTM International (American Society for Testing and Materials), y en ámbito nacional las NTC (Normas Técnicas Colombianas) expedidas por Icontec.

Un muestreo adecuado permite evaluar, entre otros, los siguientes resultados:

- Caracterizar física, química, petrográfica y tecnológicamente los carbones.
- Conocer la variabilidad de los parámetros de calidad analizados.
- Planificar las etapas de desarrollo y producción de proyectos mineros.
- Definir usos industriales y tecnológicos del carbón.
- Realizar contratos de compraventa.
- Identificar problemas de tipo ambiental durante la producción, manejo, procesos de beneficio y utilización del carbón.

Importancia de la composición del carbón en el muestreo

En razón de que el carbón es una roca heterogénea, esto es, una asociación de constituyentes microscópicos llamados macerales, la operación de muestreo se convierte en una tarea difícil. Aun después de haber definido las normas de muestreo sobre determinada región geológica, pueden existir problemas al adaptar estas normas específicas a otros yacimientos de carbón.

Por otro lado, los efectos de la carbonificación progresiva sobre los macerales y litotipos contribuyen también a la variación en cuanto a composición de los carbones y, por tanto, repercuten ampliamente sobre las normas aplicadas al muestreo.

La heterogeneidad de los mantos de carbón hace que las muestras escogidas de manera aleatoria no sean igualmente representativas del manto de carbón y puedan variar en forma considerable de una muestra a otra. Por tal motivo,

el muestreo debe involucrar especificaciones según la clase de carbón que se va a muestrear, el manto y la localización.

Más aún, la variabilidad de los resultados analíticos se basa fundamentalmente en el método y el cuidado con que se realice el muestreo (figura 2).

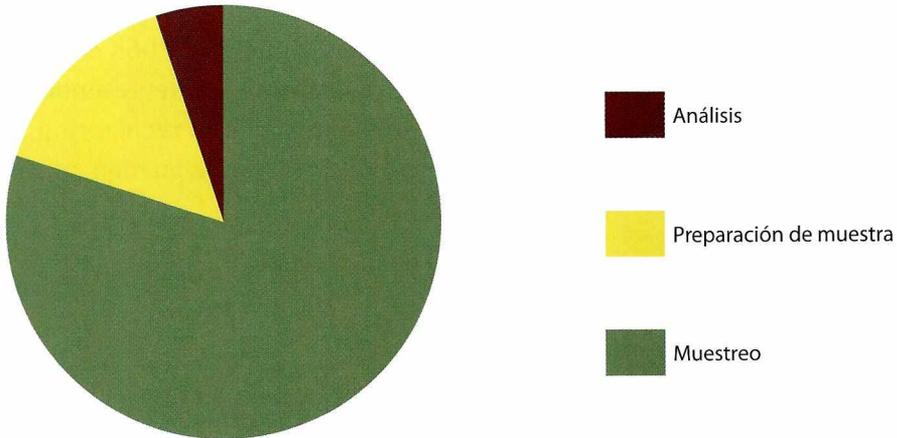


Figura 2. Componentes de la varianza de un resultado analítico.

Finalmente, la selección de muestras de carbón para investigación debe hacerse teniendo en cuenta tanto la variedad composicional como el número de muestras y de mantos de donde proceden éstas.

Aun en aquellos casos especiales en los cuales los mantos y áreas sean para uso industrial, se debe considerar la variedad en composición para determinar el tipo de muestra y la estrategia que hay que seguir durante la actividad del muestreo.

Tipos de muestreo en un proyecto minero

Los tipos de muestreo de carbones se pueden clasificar de acuerdo con las etapas de un proyecto geológico minero, así:

- Muestreo durante la fase de exploración y desarrollo.
- Muestreo durante la operación minera del proyecto (producción).
- Muestreo para propósitos especiales.

Fase de exploración y desarrollo

Durante las fases de exploración y desarrollo de un proyecto minero, se pueden tomar diversos tipos de muestras.

Estas muestras pueden representar el estrato continuo de carbón en todo su espesor, así como sus relaciones litológicas y texturales, o representar el espesor uniforme muestreado, aunque se mezclen durante su recolección.

A continuación se enumeran los tipos de muestreo que se pueden considerar (figura 3).

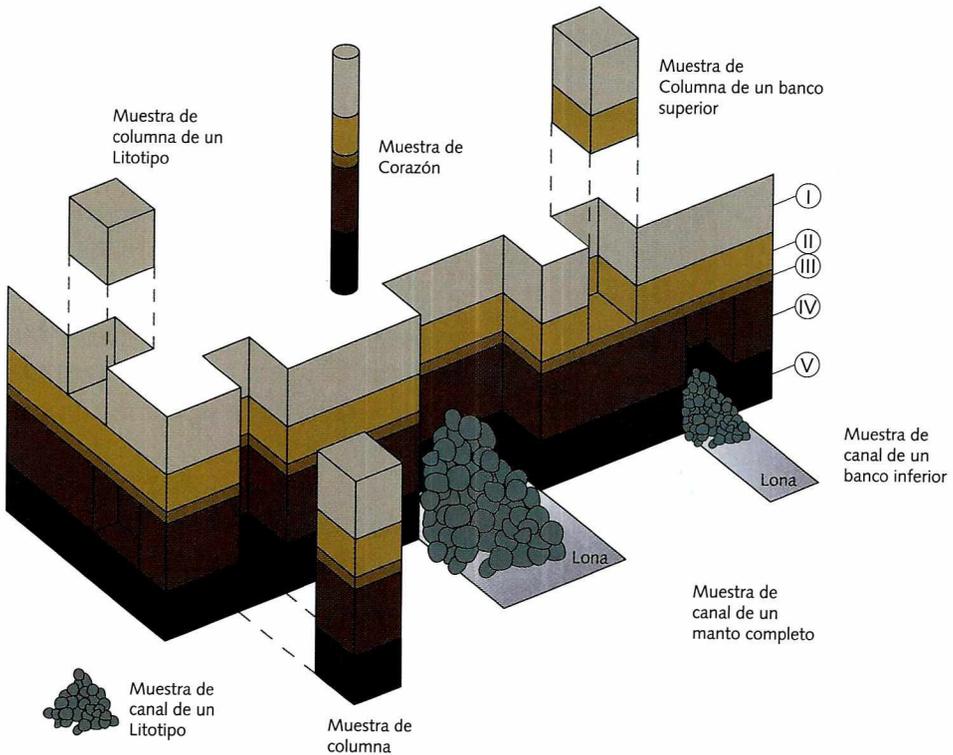


Figura 3. Tipos de muestras de carbón.

Fuente: Ecocarbón, 1995.

Muestreo de afloramiento

Un muestreo de afloramiento es el que se toma de un manto de carbón cuando aflora, mediante apiques, trincheras y túneles. El carbón que se va a muestrear ha estado expuesto generalmente a las condiciones atmosféricas durante largo tiempo, por lo que los efectos de la meteorización se extienden por varios metros, desde la superficie expuesta hacia el interior del manto de carbón. El túnel exploratorio permite que esta muestra de afloramiento se tome lo más fresca posible. Dependiendo de la precisión que se requiera obtener en los resultados de los análisis, se debe decidir si las muestras se hacen mediante trincheras, apiques o túneles exploratorios.

Resulta muy importante, desde el punto de vista geológico, tomar la mejor información en campo para la posterior elaboración de la columna estratigráfica y el mapa geológico, que serán unas herramientas fundamentales para la correlación de los mantos de carbón localizados y muestreados. Se sugiere usar el formato 1 para la toma de información estratigráfica en campo, el cual se podrá modificar de acuerdo con las necesidades establecidas en cada proyecto exploratorio.



Muestreo para cuarteo
Fuente: Marco Rincón, Ingeominas.

Muestreo de columna

Es una muestra sólida en forma de pilar de aproximadamente 0,30 x 0,30 m, por el espesor del manto de carbón muestreado, donde se indica la orienta-

ción y se mantienen todos los componentes de éste en su posición original (figura 3).

Las muestras de columna sirven para responder cualquier interrogante sobre las relaciones texturales o la posición relativa que puedan surgir en el estudio con una serie de muestras de bloque.

Estas muestras son suficientemente grandes para suministrar el carbón necesario durante el muestreo detallado de cada manto o unidad litológica, y permitir su estudio por distintos métodos con seguridad absoluta, así como de la correlación exacta dentro de la columna.

Muestreo de canal

Son muestras de un volumen de carbón triturado que incluyen el espesor total del manto tomado, de tal manera que cada uno de los estratos constituyentes está representado en proporción a su espesor.

La muestra de canal se obtiene mediante un corte uniforme y continuo perpendicular a la estratificación (figura 3), en programas de caracterización.

En general, se recomienda que las muestras de canal se tomen en frentes de minas en producción, asegurándose así que sean frescas; estas muestras deben ir acompañadas de muestras de los respaldos, techo y piso de cada manto de carbón. Adicionalmente, hay que tener presente el muestreo de las intercalaciones de rocas en los mantos de carbón, de acuerdo con el espesor de éstas, para definir o no su separación (según sean separables o no).



Muestreo de canal

Fuente: Willian Monroy, Ingeominas.

Muestreo de perforación (núcleos o ripios)

En un programa de perforación para un yacimiento carbonífero es factible tener muestras de núcleos y de ripios. Se presentan los formatos 2, 3 y 4, que pueden resultar útiles para el manejo de la información proveniente de programas de exploración.

Número ZMMNNNNXXX							
1. Localización							
Departamento _____		Municipio _____		Corregimiento _____			
Vereda _____		Zona _____		Sector _____			
Formación geológica _____				Manto _____			
Canal <input type="checkbox"/>		Tunal exploratorio <input type="checkbox"/>		Otros _____			
Tipo de registro	Tomado por			Profesión	Fecha	Entidad	
Nuevo <input type="checkbox"/>							
Actualizado <input type="checkbox"/>							
Coordenadas (m)		Norte (Y)		Este (X)		Altitud (m.s.n.m)	
						Posición de muestreo con respecto a un sitio geográfico	
Plancha	Escala		Referencia				
Trabajos realizados	Tipo	Fecha	Referencia	Entidad		Observaciones	
Cartografía geológica							
Exploración							
Explotación							
Otro							
2. Análisis							
Cuartero o preparación en sitio Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Consideraciones sobre condiciones de observación y humedad:						
Laboratorio para análisis	Cuartero	A parcial	A completo	A testigo	Otros	Notas	
3. Muestras de canal y producción							
Segmento	Bolsa	Caja	Peso	Observaciones	Manto	Rumbo	Buzamiento
Carbón							
Intercalación							
Roca techo							
Roca piso							Observaciones
Intercalación							
Otros							
4. Control							
Laboratorio	Fecha envío	Remisión N.º	Enviado por	Recibido por	Resultados N.º	Fecha	Observaciones
Evaluación	Iniciación		Revisión		Aprobación		Observaciones
Fecha							
Nombre							

Formato 2. Identificación de muestras de carbón.

Litología		Espesor (m)			Descripción
Escala					Observaciones
Realizada por					

Formato 3. Muestra de canal. Columna estratigráfica.

Proyecto _____		Perforación _____		Manto _____	
Segmento	Intervalo (m)	% recuperación	Buzamiento	Descripción	
Totales					
Techo					
Piso					
Descrito por _____		Fecha _____			

Formato 4. Descripción macroscópica de núcleos de carbón.

Las muestras de núcleo se obtienen mediante perforación con taladro (broca de diamante), con un diámetro de muestra variable entre una y tres pulgadas, por el espesor del manto de carbón.

Si durante la operación de perforación la muestra recuperada no está fracturada y no ha habido pérdidas, de la muestra se podrá obtener excelente información sobre el manto de carbón, especialmente en cuanto a sus componentes, posición original y orientación, obteniéndose también información sobre sus características de profundidad.

Las muestras de ripio o fragmentos (*cuttings*) son aquellas que se consiguen mediante taladros con brocas “tricónicas”, donde la muestra obtenida está completamente triturada, sin partículas finas, y contaminada por los lodos circulantes. La información que se consigue es limitada y no se recomienda su utilización para análisis fisicoquímicos, por no considerarse representativa.

Muestreo durante la operación minera

El sistema de muestreo en la fase de producción depende de si el carbón es muestreado:

- De un flujo móvil en una banda.
- De un flujo móvil discontinuo (un cargador de canasta, por ejemplo).
- En un punto de descargue de un flujo en movimiento continuo.
- De una banda detenida.
- El muestreo puede ser manual o mecánico y es posible hacerlo en bandas transportadoras, en volquetas o camiones, en vagones, en barcazas, en barcos y en pilas.
- A continuación se describen en forma general los principales tipos de muestreo de producción.

Muestreo en bandas transportadoras

Es el sistema de muestreo más confiable, ya sea en banda estacionaria o en movimiento; el primero es el más preciso, razón por la cual se utiliza como método de referencia para verificar cualquier otro método. Los incrementos se pueden tomar a mano, con dispositivos especiales (palas, canastas o separadores) o automáticamente.

Muestreo en volquetas, camiones o vagones

Se usa para obtener un control de calidad, pero las muestras no deben ser utilizarse para la investigación científica. Cuando se muestrea antes del descargue, se debe remover previamente una capa de por lo menos 30 cm de espesor, eligiendo los lugares de muestreo en puntos espaciados en forma regular y en zigzag. Cuando se muestrea durante el descargue, la muestra debe abarcar todo el ancho del material en movimiento o por lo menos tomarse en tres lugares del ancho total.

Cuando se muestrea después del descargue, los incrementos se deben tomar a diferentes alturas del talud, siguiendo una dirección en espiral.

Muestreo en pilas

Son muestras voluminosas de carbón triturado, que se toman desde una pila de almacenamiento. Pueden consistir en carbón de un solo manto o de varios mantos, carbón lavado o bruto. El método de muestreo depende del método

de construcción de la pila (por ejemplo, una pila construida en capas, se debe corazonar en varios sitios). La calidad de la pila es importante cuando se requieran muestras frescas.



Proceso de toma de muestra y de densidad en pila

Fuente: Giovanni Balcer, Ingeominas.

Muestreo para propósitos especiales

Se refiere a muestras que se toman con un objetivo específico, según el cual la metodología de muestreo y la muestra final obtenida deberán tener ciertas condiciones particulares. Se pueden identificar las siguientes:

- Muestras de uso industrial.
- Muestras para uso científico.
- Muestras para caracterización petrográfica.
- Muestras para caracterización palinológica.
- Muestras para caracterización química.
- Muestras para caracterización física.
- Muestras con propósitos académicos.

Procedimiento para la toma de muestras durante las fases de exploración y desarrollo

Muestra de canal

Para la toma esta muestra se debe seleccionar un frente fresco (en producción) de carbón, en un lugar donde éste no haya sido expuesto. Un frente de

producción apto para el muestreo de canal es el interior de una mina, en la cual se arranque permanentemente el carbón.

Para la toma de una muestra de canal se debe proceder según los siguientes pasos:

- El sitio que se va a muestrear deberá estar perfectamente localizado, y en lo posible, se procederá a hacer el respectivo levantamiento topográfico.
- Describir, registrar y levantar una columna local del manto de carbón, con las observaciones geológicas, descripción macroscópica del carbón, posición de las intercalaciones separables y no separables, y tipos de respaldos, techo y piso.
- Se buscará tomar las muestras en un sitio que, por conocimiento anterior, permita establecer que no se trata de una zona de adelgazamiento o engrosamiento; así mismo, se debe descartar el muestreo en zonas de fallas y en vecindad a intrusiones cercanas a las zonas de meteorización.
- La muestra se obtiene por la elaboración de un canal mediante un corte uniforme y continuo.
- Se debe lograr una superficie lo más regular posible.
- Se debe limpiar bien la superficie que se va a muestrear hasta una profundidad de 5 cm como mínimo. En el caso particular, y a juicio del geólogo, cuando fuere necesario tomar la muestra en un frente de mina inactiva, la profundidad deberá ser mayor de 10 cm.
- Marcar los lados del canal con tiza, así como los materiales y cuerpos locales no representativos del carbón; éstos deben descartarse, al igual que las intercalaciones separables, nódulos o concentraciones de minerales, etcétera.
- A continuación se hará una escrupulosa limpieza del piso en el sitio de muestreo, con el fin de evitar cualquier posibilidad de contaminación con carbón anteriormente arrancado.
- Extender sobre el piso un hule o lona de tamaño y calibre apropiados, sobre el cual caerá la muestra que se tome en el sitio, buscando con ello aislarla de la humedad o impurezas presentes en el piso.
- Una vez cumplidos los pasos anteriores, se procederá a cortar un canal en el manto de carbón perpendicular al techo y hasta la base del manto. Este canal tendrá un ancho de 15 cm por 8 cm de profundidad.

- Tomar la muestra picando de arriba hacia abajo para evitar la pérdida de finos, cuidando de no profundizar más en un sitio que en otro, hasta obtener una muestra aproximada de 5 kg por cada 30 cm de espesor del manto.
- Se muestrearán mantos de carbón con espesores superiores o iguales a 0,6 m, si no existe otra indicación.

Cuando haya presencia de intercalaciones, se deberá proceder de la siguiente manera:

- Para mantos con intercalaciones menores de 10 cm de espesor, se deberá muestrear conjuntamente con el carbón. Para mantos con estériles mayores de 10 cm y menores de 60 cm, se deberán muestrear separadamente del carbón. Para estériles mayores de 60 cm se analizarán como respaldos, pues se deben considerar como dos mantos diferentes.
- En caso de que la intercalación no sea característica, no se deberá tomar la muestra en este sitio. Nódulos y concreciones mineralizadas con espesores superiores a 1 cm y ancho mayor de 5 cm, deben separarse y excluirse de la muestra.
- Aprovechar el canal elaborado en el carbón para la toma de intercalación separable, especificando al empacar que la muestra es intercalación separable.
- Empacar la muestra en bolsas plásticas dobles y cuidadosamente marcadas, las que se introducirán en sacos de polietileno. Se incluirá una tarjeta con la identificación de la muestra (formato 5), la cual se trasladará al laboratorio directamente; en caso de existir condiciones y equipos para el cuarteo en el campo, se realizará la operación de preparación y cuarteo en este sitio. El peso final de la muestra para análisis de laboratorio está entre 10 y 30 kg. Igualmente, debe conservarse en el campo una muestra testigo del mismo peso.
- La muestra bruta debe tener como mínimo un peso de 20 kg, a partir de la cual se obtendrán las dos muestras antes mencionadas (muestra para el laboratorio y muestra testigo).
- Recolectar los respaldos de techo y piso en los sitios seleccionados previamente, de acuerdo con el plan de muestreo. Se tomarán unos 10 cm de techo y 10 cm de piso para cálculos de dilución. Se deberán tener las mismas precauciones que en la recolección, empaque e identificación del carbón.

Guía para diligenciar el formato de identificación de muestras número

Son once dígitos ZZMMMNNNXXX, que corresponden a la identificación de la muestra, donde:

ZZ: departamento, MMM: municipio, NNN: zona carbonífera y XXX: es un consecutivo de número de muestras tomadas.

Localización

Departamento: nombre del departamento en el cual se encuentra la mina o sitio de muestreo.

Municipio: nombre del municipio de acuerdo con la división política del país y cuya jurisdicción cubre el área de la mina o sitio de muestreo.

Corregimiento: nombre del corregimiento o división política de cuarto orden.

Vereda: nombre de la vereda, donde se encuentra la mina o sitio de muestreo.

Zona: nombre de la zona carbonífera a la que pertenece la mina o sitio de muestreo.

Sector: según la división de la zona carbonífera.

Formación geológica: formación a la cual pertenecen los mantos de carbón muestreados y estimar su posición dentro de la formación.

Manto: indicar el manto de carbón muestreado.

Afloramiento: llenar la casilla si la muestra es de afloramiento.

Trinchera: llenar la casilla si la muestra es de trinchera.

Apiques: llenar la casilla si la muestra es de apiques.

Túnel exploratorio: llenar la casilla si la muestra es de túnel exploratorio.

Canal: llenar la casilla si la muestra es de canal.

Tipo de registro: permite adicionar, corregir o comparar la información consignada.

Tomada por: nombre de la persona o personas que toman la muestra.

Profesión: de la persona o personas que toman la muestra.

Entidad: a la que pertenece la persona o personas que toman la muestra.

Fecha: día, mes y año en el cual se toma la muestra.

Norte (y): coordenada norte del sitio de muestreo, según el levantamiento topográfico correspondiente.

Este (X): coordenada este del sitio de muestreo, según levantamiento topográfico correspondiente.

Altitud: del sitio de muestreo, según el levantamiento topográfico correspondiente.

Posición del sitio de muestro: referida a un sitio o accidente geográfico importante cercano al sitio de muestro, como por ejemplo un río, una población, etc.

Plancha: nombre de la plancha donde se puede ubicar el sitio de muestreo, según convenciones del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Escala: escala de la plancha donde se localizó el sitio de muestreo.

Referencia: fuente o sitio donde se puede encontrar la plancha en cuestión.

*Tipo**: clase de los trabajos efectuados en el sitio de muestreo. Por ejemplo, si hay cartografía geológica, escala, labores de exploración que se han hecho: perforaciones (triconeadas o corazonadas), apiques, trincheras, etc., u otro tipo de trabajo realizado.

*Fechas**: correspondientes a los trabajos descritos.

*Entidad**: nombre de la entidad que hizo los trabajos en referencia.

*Observaciones**: comentarios que se pueden hacer sobre los trabajos.

Análisis

Cuarteo: indicar si se cuarteó, se molió o se hizo otra operación con la muestra en el sitio de la toma.

Consideraciones sobre condiciones de observación y humedad: especificar si las condiciones de observación son buenas, regulares o malas, en el lugar donde se toma la muestra. Decir si se toma la muestra húmeda o no, si se hace el cuarteo al sol, etcétera.

*Laboratorios para análisis***: preparación y cuarteo de muestras, análisis parciales, análisis completos, análisis de testigos, otros análisis, análisis tecnológicos, etc., según la operación que vaya a realizar cada uno de ellos.

Notas y observaciones: sobre los análisis que se llevarán a cabo.

Canal

(Sólo para muestras tomadas sobre el manto de carbón).

Bolsas: número de la bolsa donde se envían los segmentos de carbón, rocas, intercalación u otro, adecuadamente identificados.

Caja: números de la caja donde se envían los segmentos de carbón, rocas, intercalaciones u otro.

Peso: peso aproximado en kilogramos de cada uno de los segmentos. Hay que recordar que se requiere una cantidad mínima de cada una de las muestras para análisis.

Observaciones: observaciones y comentarios referentes a cada uno de los segmentos.

Rumbos: anotar el rumbo del manto.

Buzamientos: anotar la inclinación del manto.

Columna estratigráfica: hacer el dibujo de la columna estratigráfica de la muestra tomada, incluyendo los respaldos de roca, intercalaciones, segmentos de carbón distinto y cualquier otro fenómeno que encuentre. El dibujo debe ser a una escala adecuada y no olvidar anotarla en la parte inferior. Llenar la columna de espesor para cada uno de los segmentos dibujados anotando la descripción correspondiente que debe incluir litología (tipo de roca, color, grano, dureza, estratificación, otras estructuras, etc.), así como cualquier otra información que considere conveniente y que pueda ser importante durante la explotación.

*Aprobación***: fecha, nombre y firma de quien, posterior a los envíos a los laboratorios y recolección de los resultados de análisis, evalúa la etapa de muestreo y análisis correspondiente.

Observaciones: observaciones y comentarios sobre los envíos, controles y manejo de muestras.

Control

*Laboratorio***: nombre de los laboratorios en los cuales se harán los análisis y operadores correspondientes.

*Fecha de envío***: fecha en la cual se envía la muestra o las muestras a cada uno de los laboratorios.

*Remisión n.º***: número de remisión o relación de las muestras de carbón.
*Enviado por***: nombre de la persona que envía las muestras al laboratorio.
*Recibido por***: nombre de la persona que envía las muestras al laboratorio.
*Resultado n.º****: referencia(s) y oficio(s) en los que el laboratorio reporta los resultados del análisis.

*Fechas***: fecha correspondiente a la entrega de resultados de análisis.

*Observaciones***: observaciones sobre los análisis y manejo de muestras a los laboratorios.

Iniciación: fecha, nombre y firma de quien toma la muestra.

*Revisión***: fecha, nombre y firma de quien revisó la toma de la muestra y autoriza su envío al laboratorio

Fecha de muestreo: día ____ mes ____ año ____		
Proyecto		
Identificación muestra: ZMMMMNNNXXX *		Bolsa n.º
Tipo de muestreo		
Canal <input type="checkbox"/> Producción <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/> Manto carbón <input type="checkbox"/> Intercalación <input type="checkbox"/> Roca piso <input type="checkbox"/> Segmento carbón <input type="checkbox"/> Roca techo <input type="checkbox"/>		
Tomada por:		
Manto	Mina	
Municipio	Vereda	
Tipo de análisis		
Observaciones		
* Z = departamento; M = municipio, N = zona carbonífera, X = consecutivo.		

Formato 5. Ficha de identificación del material recolectado durante la fase de muestreo.

Preparación y cuarteo para muestras de canal y de afloramiento

La muestra bruta de carbón recolectada en el campo se debe reducir de tamaño para enviarla al laboratorio, donde se practicarán los análisis requeridos. Una muestra testigo deberá conservarse en el campo (figuras 4 y 5).

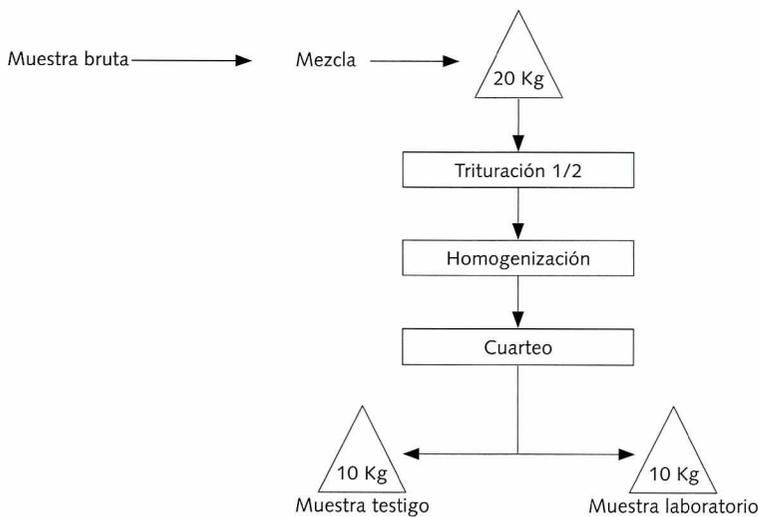


Figura 4. Secuencia esquemática del muestreo.

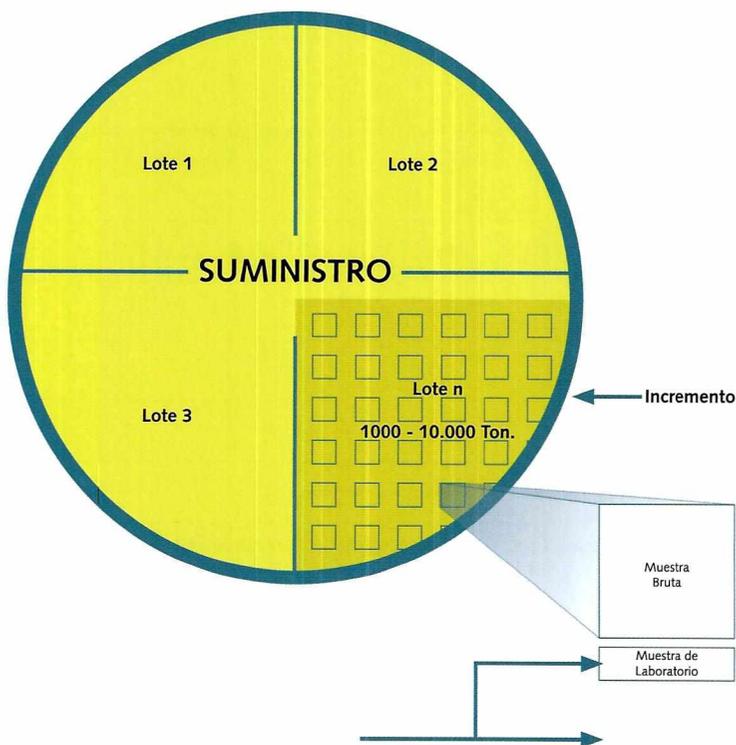


Figura 5. Secuencia esquemática del muestreo.

En el esquema de la figura 4 se indica cómo debe efectuarse esta preparación. La muestra bruta de por lo menos 20 kg debe triturarse con pisón hasta un tamaño inferior a media pulgada. Este trabajo debe hacerse en condiciones tales que las pérdidas de humedad sean mínimas.

Apilar, mezclar completamente y cuartear la muestra utilizando el método del cono (figura 6) o cuarteador mecánico (figuras 7, 8 y 9). Reducir su tamaño rechazando cuartos opuestos.

Repetir el proceso de mezclar y cuartear hasta obtener dos muestras entre 10 y 30 kg cada una. Una de ellas se enviará, debidamente empacada e identificada, al laboratorio y la otra se guardará como muestra testigo.

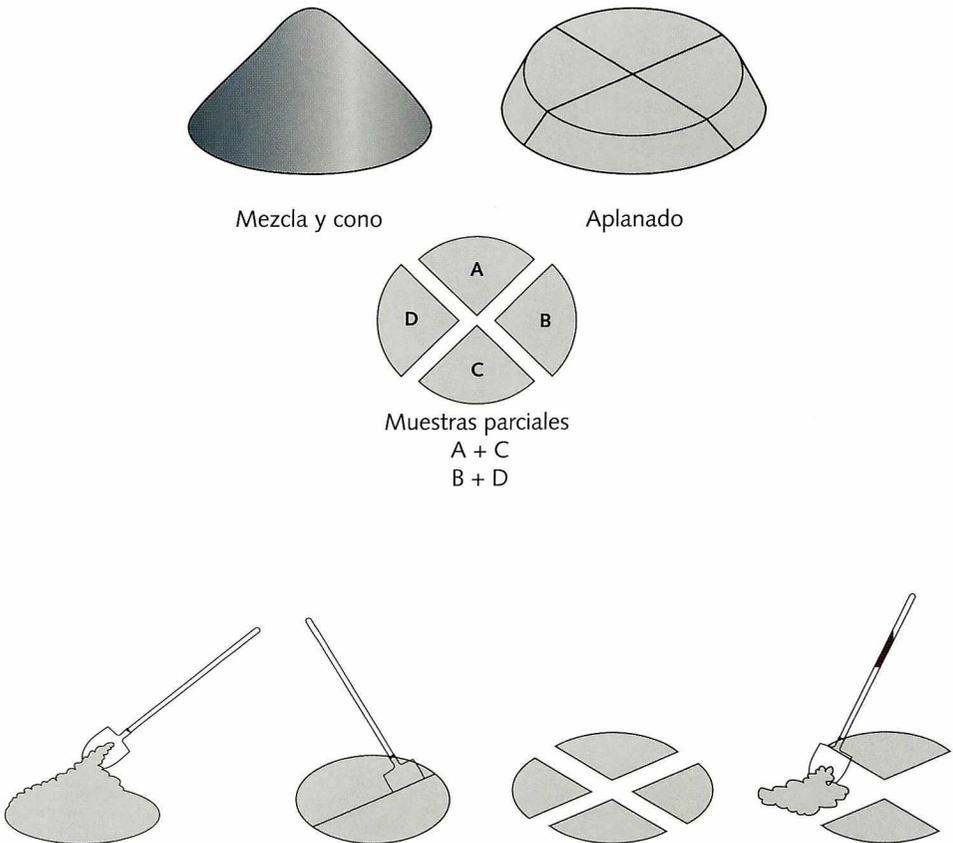


Figura 6. Cuarteo mediante cono.

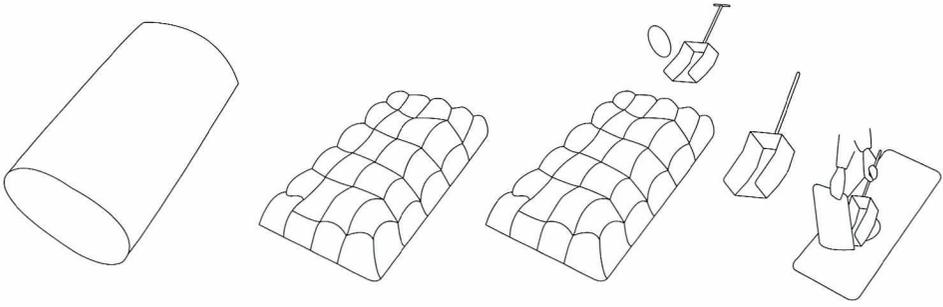


Figura 7. Cuarteo para muestras grandes.

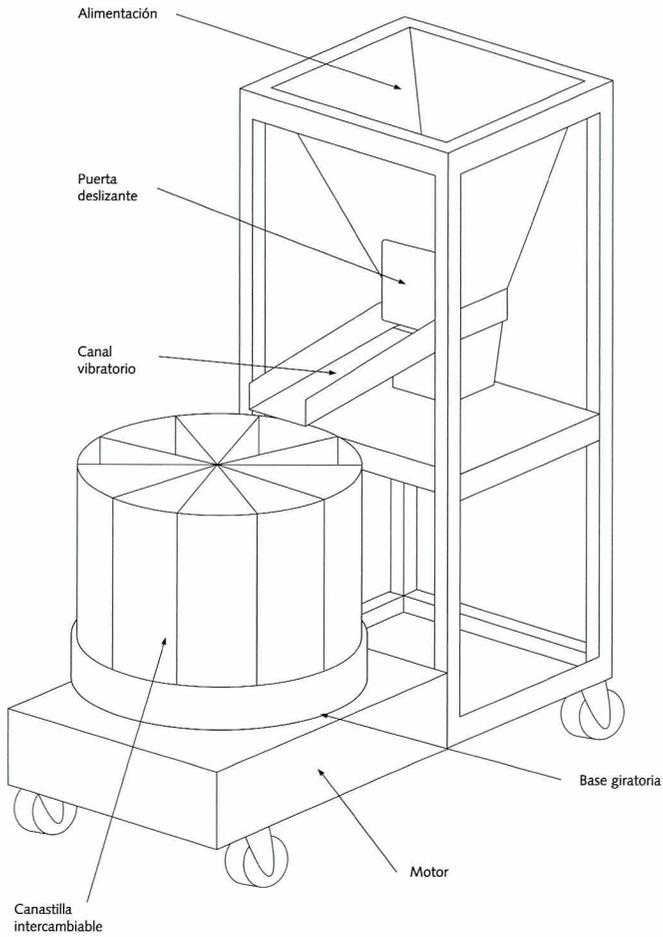


Figura 8. Divisor rotatorio de muestras.

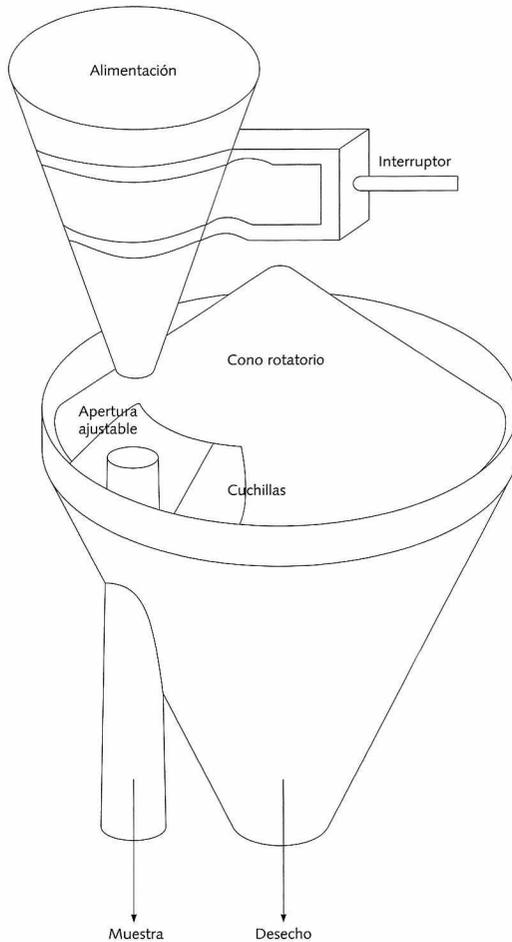


Figura 9. Cono rotatorio.

Equipos y materiales

Muestreo de carbón

Las herramientas normales, tales como el martillo geológico, brújula, lupa, navaja, altímetro y libreta, no necesitan mención especial, porque generalmente el geólogo los lleva consigo a todas las labores del campo, haya o no información previa adecuada sobre los mantos expuestos.

No todo el equipo aquí mencionado se necesitará para cada ocasión.

Equipo de excavación: pica de minería, azadón liviano, martillo corriente, martillo picador neumático (en lo posible), pala, lima, cinceles de varios tamaños y maceta.

Equipo de limpieza: brocha o cepillo de mano de diferentes tamaños y escobas.

Materiales de marcación y rótulos: marcadores, cinta pegante transparente de 10 cm de ancho, tijeras o fichas de identificación, según anexo y tiza.

Materiales para empaques: bolsas plásticas calibre grueso (0,15 cm) y de tamaño 1,0 x 0,50 m, sacos de polipropileno, lona, cuerina o material plástico resistente para recolectar la muestra, cabuya o pita y recipientes.

Equipos de iluminación y seguridad: lámparas de iluminación con batería, casco de seguridad, cinturón ancho de cuero, linterna de mano, botas de seguridad, overol y guantes.

Equipos de medición: cinta métrica, decámetro y regla o escala.

Equipo de preparación: lámina de acero de 3,0 x 3,0 m, cuarteador con divisiones cuyas aberturas tengan dos pulgadas de lado y pala de punta cuadrada.

Muestras de afloramiento

Por lo general, las muestras de afloramiento se toman en apiques, trincheras o túneles. Prácticamente, se aplican los mismos procedimientos establecidos para la toma de muestras de canal.

- Seleccionar la zona de afloramientos del manto de carbón que se va a muestrear.
- Abrir un hueco o un corte transversal mediante la remoción de material utilizando pica, pala o equipo mecánico.
- Extraer material de carbón, una vez destapado el manto correspondiente, siguiendo el buzamiento del manto hasta una longitud de por lo menos 1,0 m, en forma tal que permita la recolección de una muestra lo menos alterada posible.
- Tomar a pico y pala una muestra representativa del manto de carbón que aflora, cubriendo todo su espesor.
- Proceder a preparar la muestra siguiendo el mismo procedimiento allí descrito, al igual que la muestra del canal.

Muestras de columna

Las muestras de carbón obtenidas de columna o pilar son costosas, por lo dispendioso de su recolección y transporte. El objetivo es enviar al laboratorio un bloque monolítico de carbón que represente un manto completo. Los procedimientos para la toma de esta muestra se pueden resumir en:

- Seleccionar el frente apropiado de carbón para la toma de la muestra monolítica.
- Cortar todo el espesor del manto de carbón, mediante un dispositivo cortador y perpendicular a la estratificación, considerando una columna de 0,30 x 0,30 m.
- Indicar la orientación de la muestra, de tal manera que todos los componentes del manto de carbón queden en su posición original.
- Tener sumo cuidado al empacar la muestra para transportarla, con el fin de evitar que se fracture.
- Analizar la muestra monolítica en su conjunto en el laboratorio.

Muestras de núcleos de carbón

A continuación se darán las instrucciones y recomendaciones que se deben seguir en un programa de muestreo de núcleos:

- Los geólogos de campo serán responsables de las medidas y descripción de los núcleos.
- La descripción del núcleo, el muestreo, la manipulación y el empaque deberán hacerse tan rápido como sea posible, minimizando así las pérdidas por humedad.
- Se muestrearán los núcleos del carbón con recuperación del 80% o más. En casos especiales, a criterio del geólogo, se podrán muestrear núcleos con recuperación menor.
- Todos los núcleos muestreados constarán del total del diámetro del corazón.
- Dependiendo del programa de exploración o desarrollo, se determinarán los espesores que se van a muestrear, así:

Muestreo en proyectos de minería subterránea

Se recomienda muestrear espesores de carbón mayores de 60 cm, cifra que, sin embargo, se revisará en cada proyecto.

Las longitudes muestreadas no excederán los tres metros en forma continua (figura 10).

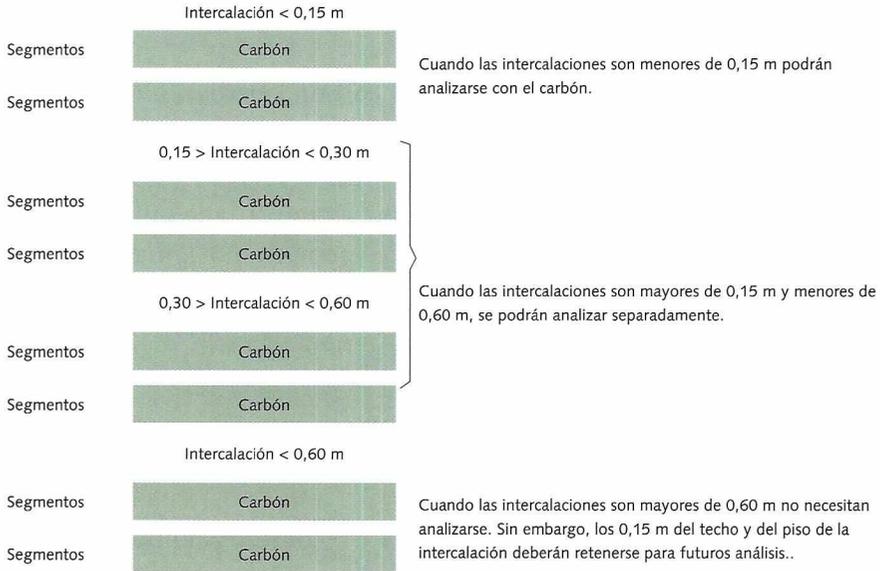


Figura 10. Parámetros sobre muestreo para análisis de carbón

Carbones con intercalaciones de estériles

Cuando las intercalaciones son inferiores a 10 cm, podrán analizarse con el carbón.

Cuando las intercalaciones son mayores de 10 cm pero menores de 60 cm, se podrán analizar separadamente.

En caso de que el estéril tenga un espesor superior al 30% del espesor de carbón acumulado, se tomará como separación de dos mantos y no como intercalación; dicha cifra no excederá de 60 cm.

Cuando las intercalaciones son mayores de 60 cm y el espesor de los segmentos de carbón es también superior a 60 cm, cada segmento se considerará

un manto individual, tomando los 15 cm de techo y piso de cada manto de carbón. Aproximadamente 15 cm de techo y base de cada manto de carbón deberán muestrearse también para futuras mezclas con el correspondiente manto de carbón.

Muestreo en proyectos de minería a cielo abierto

Se muestrearán espesores de carbón mayores de 0,70 m, pero esta cifra se podrá modificar, dependiendo de cada caso; por esto habrá que tener muy en cuenta la calidad del carbón. Las longitudes muestreadas no excederán los 3 m (figura 6).

Carbones con intercalaciones de estériles

Cuando las intercalaciones son menores de 15 cm, podrán analizarse con el carbón.

Cuando las intercalaciones son mayores de 15 cm, pero menores de 60 cm, se podrán analizar separadamente.

Cuando las intercalaciones son mayores de 60 cm y los segmentos de carbón son mayores de 0,70 m, cada segmento se considerará un manto individual, tomando los 15 cm de techo y del piso de cada manto resultante.

Deberán muestrearse también unos 15 cm de techo y base de cada manto de carbón para futuras mezclas, con el correspondiente manto de carbón.

La cantidad de muestra de roca de techo o piso, o intercalaciones que hay que diluir, se preparará dependiendo del tipo y forma de explotación.

Todas las muestras, pero en especial las de los segmentos de carbón, deberán empacarse y sellarse con sus correspondientes etiquetas en plástico, en tanto que el tiempo entre la recolección de la muestra y el envío al laboratorio deberá ser el mínimo posible.

Procedimiento para la toma de muestras de producción

A continuación se presenta un resumen sobre las normas de muestreo ISO y ASTM, al igual que algunas consideraciones prácticas que se deben tener en cuenta cuando se muestrea carbón de producción, esto es, carbón arrancado o extraído del manto por operaciones mineras.

Para cualquier información adicional, se deben consultar las normas ISO 13909 o ASTM D-2234:

- Antes de tomar la muestra, debe decidirse sobre la cantidad requerida para los diferentes ensayos.
- Las muestras deben ser representativas del carbón producido y con un mínimo de doce incrementos cada una. Hay que incluir más de una muestra, sobre todo al considerar que se deben analizar independientemente varias características del carbón o del sistema de explotación; por ejemplo, cuando hay diversos métodos de minería selectiva, mantos anómalos, carbón parcialmente meteorizado, etcétera.

El número de incrementos para muestrear suministros de hasta 1000 toneladas se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Número de incrementos para suministros de hasta 1000 toneladas, según normas ISO

Estado del carbón	Carbón lavado	Carbón sin lavar
Bandas transportadoras y similares	16	32
Vagones, volquetas y barcazas	24	48
Barcos y pilas	32	64

Cabe anotar que, por lo regular, durante el programa de caracterización se muestrea carbón sin lavar. En general, cuando se muestrea en un sistema de transporte continuo (vagones, volquetas, etc.), se recomienda tomar por lo menos tres incrementos por cada unidad de transporte.

Para suministro de más de 1000 toneladas y menores de 10.000, se calcula según:

$$N2 = N1 \frac{\text{Suministro (toneladas)}}{1000}$$

Donde N1 es el número de incrementos especificados en la tabla 1 y N2 es el número de incrementos requeridos.

Por ejemplo, para muestrear 4000 toneladas de carbón sin lavar, en una banda transportadora, el número mínimo de incrementos será de 64.

Otro procedimiento para suministros de más de 1000 toneladas consiste en dividir en sublotes el suministro, para luego tomar incrementos que conformen una muestra por cada sublote.

En el caso de pilas mayores de 10.000 toneladas, se deberá dividir la pila en sublotes menores de 10.000 toneladas y utilizar el proceso descrito.

El tamaño mínimo de los incrementos, o sea el peso mínimo de cada incremento, se obtiene de las expresiones:

$$P = 0,60 D, \text{ cuando } D < 150 \text{ mm.}$$

$$P = 10 \text{ kg, cuando } D > 150 \text{ mm.}$$

Donde P es el peso mínimo, en kilogramos, de cada incremento y debe ser siempre mayor de 0,5 kg, y D es el tamaño tope del carbón en milímetros (95% del material tiene un tamaño igual o menor). Por ejemplo para carbón de 2" (50,8 mm) el peso mínimo de los incrementos debe ser 3,05 kg. Para tamaños de partículas mayores de 150 mm se recomienda tomar incrementos de peso mayor o igual a 10 kg (figura 12).

Cuando se muestrean líneas continuas de producción, como bandas transportadoras, o cuando se muestrea con dispositivos como cucharas, tubos o palas, el tamaño de éstos debe ser por lo menos 2,5 veces mayor que el tamaño tope del carbón (figuras 11 y 13). El principal error en el muestreo consiste en tomar incrementos en lugares no representativos, como tomarlos de un solo lado del vagón, volqueta, pala, etc., no alcanzar toda la profundidad en las pilas, o usar dispositivos de muestreo que no tengan capacidad para recolectar carbones de gran tamaño.

Muestreo de volquetas, camiones o vagones

Cuando se muestrea antes del descargue, se debe remover previamente una capa de por lo menos 30 cm y se elegirán los lugares de muestreo en puntos espaciados regularmente en zigzag (figura 14), con una pala u otro instrumento en cada sitio elegido. Cuando se encuentren trozos grandes, se deben tomar pequeñas proporciones de cada trozo. Se evitará que los incrementos sean tomados muy superficiales o de un solo lado de la volqueta o vagón.

Cuando se muestrea durante el descargue, la muestra debe abarcar todo el ancho del material en movimiento o por lo menos debe tomarse en tres lugares del ancho total; se realiza el muestreo durante todo el descargue.

Cuando se muestrea después del descargue, se deben tomar los incrementos a diferentes alturas del talud formado, retirando previamente una capa correspondiente al último carbón descargado.

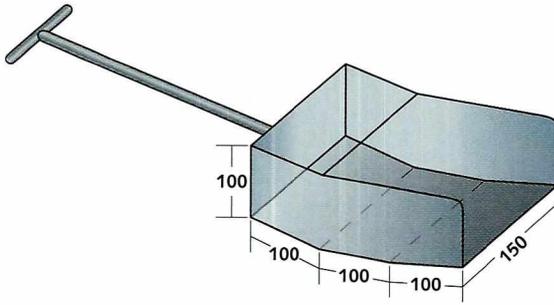


Figura 11. Pala de mano, Carbón hasta 50 mm.

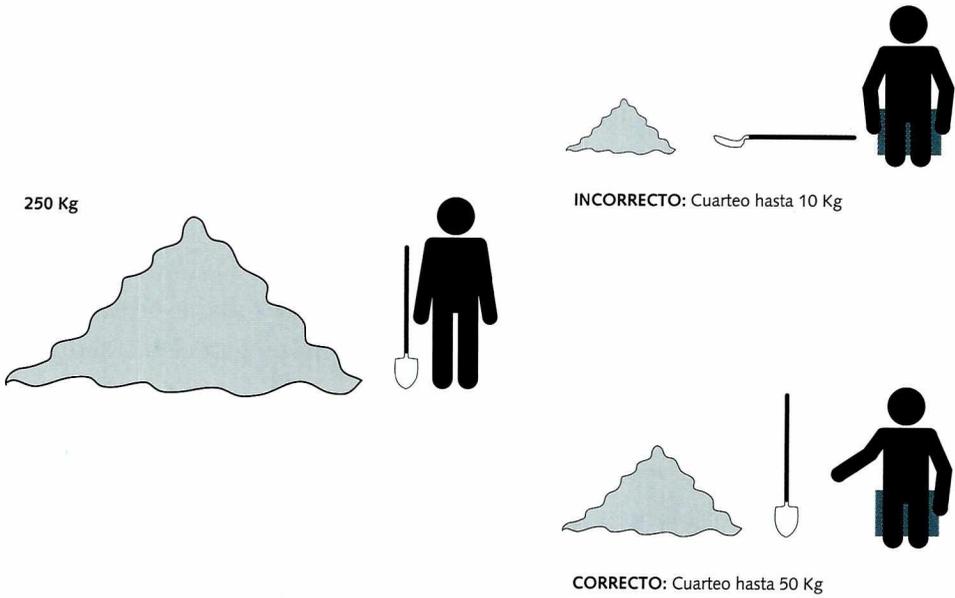


Figura 12. Errores comunes en la toma de incrementos.

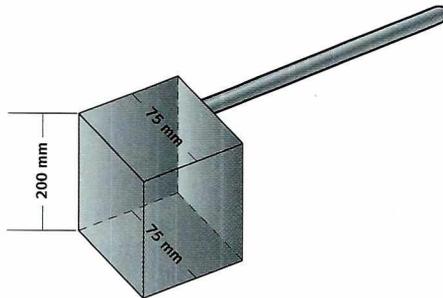


Figura 13. Cucharón para fino. Hasta 25 mm.

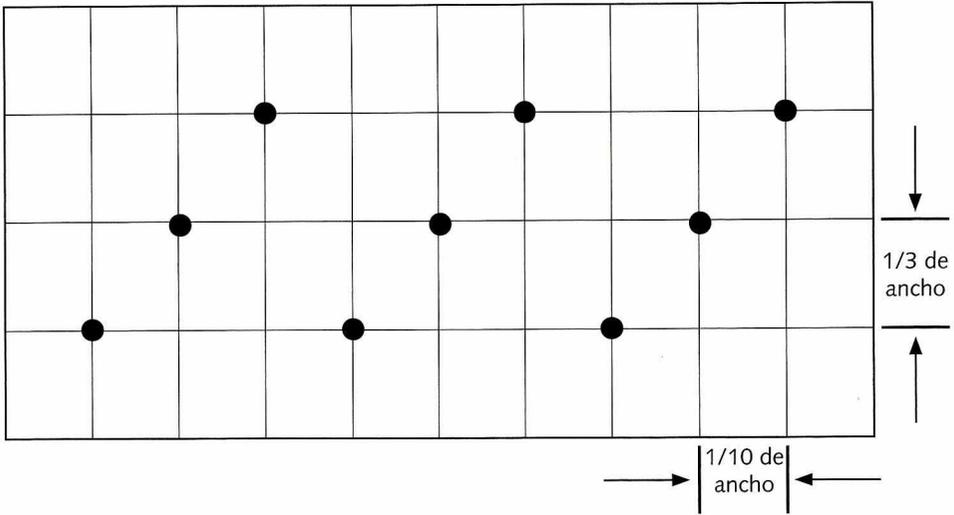


Figura 14. Localización de puntos para el muestreo en volqueta o vagón.

Si no es posible muestrear con instrumentos el fondo del vagón o volqueta, se debe hacer un hueco en el carbón que permita coleccionar con una pala un incremento desde el fondo hasta la parte superior del hueco, evitando que trozos de carbón se deslicen por la pared del hueco y se incorporen a la muestra.

En este programa, los métodos descritos no deben utilizarse cuando existan capas de carbón de distinta fuente.

Muestreo de barcos y pilas

Los métodos descritos a continuación deberán emplearse sólo cuando no haya posibilidad de muestrear líneas continuas o bandas transportadoras, o durante el cargue o descargue del carbón.

Se ha de tener en cuenta que, en todos los casos, cada incremento tomado representa sólo una pequeña zona correspondiente al área y profundidad de donde se toma.

Para llegar al fondo de las pilas es necesario abrir con palas, de modo que las paredes formadas tengan ángulo menor que el ángulo natural de reposo; en estos casos se deben tomar incrementos desde el fondo del hueco hasta el techo o tope.

Por lo general, los puntos de muestreo estarán uniformemente espaciados sobre la superficie del carbón expuesto, o a medida que se ha cargado o descargado la bodega del barco o la pila.

Si la pila es muy grande o de forma normal, se recomienda diseñar un plan de muestreo sobre un plano, que incluya las profundidades a las cuales llegarán los huecos y la división de muestras por sublotes, cuarteos, etc., teniendo especial cuidado al muestrear la capa superficial que contiene una calidad distinta del resto del carbón, a causa de la exposición al viento, segregación de tamaños, contenidos de humedad, etcétera.

Si se depositan distintos tipos de carbón, o si se deposita un mismo carbón en bodegas o áreas diferentes, se debe muestrear cada carbón y cada sitio, por separado.

Cuando se muestrean pilas y barcos, se han de tener presentes las siguientes características del carbón almacenado o en reposo:

- Hay segregación de los tamaños de las partículas concentrándose las más finas en el fondo.
- Originalmente, cuando se descarga el carbón, los trozos gruesos van concentrándose al fondo, pero cuando llueve o sopla el viento, los finos tienden a acomodarse dentro de los gruesos.
- La superficie del carbón es más propensa a la oxidación.
- La humedad tiende a incrementarse en el interior de la masa de carbón.

Muestreo en bandas transportadoras

Es el sistema de muestreo más confiable, ya sea en banda estacionaria (figura 15) o en movimiento (figura 16); más aún, el método en la banda estacionaria, que es el más preciso, puesto que evita todo tipo de error sistemático, se utiliza para chequear otros métodos.

Para evitar errores sistemáticos, el lapso entre la toma de incrementos sucesivos no debe coincidir con ninguna periodicidad natural en la cantidad o calidad del carbón que se va a muestrear; igualmente, se debe evitar tomar muestras al comienzo o al final del flujo.

Los incrementos se pueden tomar a mano, con dispositivos especiales (palas, canastas, separadores), o automáticamente.

Existen dos sistemas de muestreo en bandas: tomando incrementos a intervalos iguales, caso en el cual el peso de los incrementos es proporcional a la densidad de flujo, y tomando incrementos de igual peso (figuras 17 y 18).

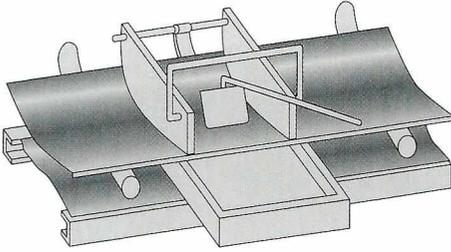


Figura 15. Bastidor para muestreo con banda parada.

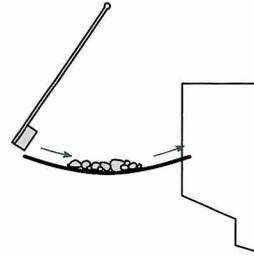


Figura 16. Banda móvil, brazo de arrastre.

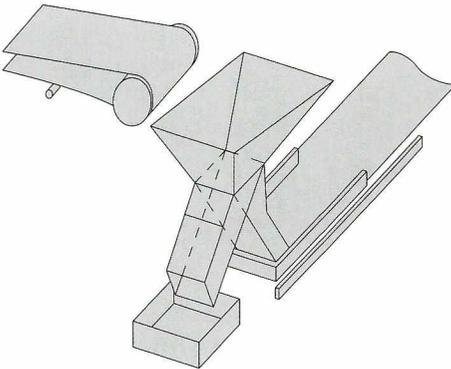


Figura 17. Flujo descendente. División en dos canales.

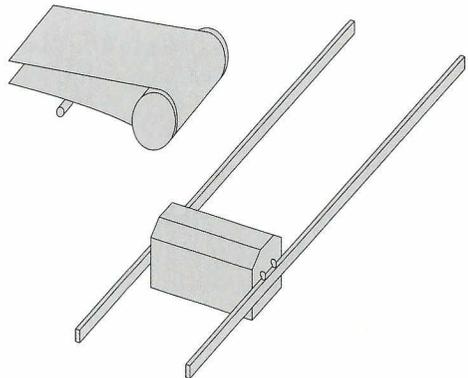


Figura 18. Flujo descendente. Vasija ranurada.

Se utiliza el muestreo basado en el tiempo, con el dispositivo muestreador a velocidad constante, cuando las características del lote que se va a muestrear son regulares y uniformes.

Se usa el muestreo basado en el peso, o muestreo autoproporcional, en el cual la relación de pesos entre el incremento y la masa total siempre es constante (velocidad variable del dispositivo muestreador, según la velocidad del flujo de carbón en la banda), cuando las características del lote son variables (figura 19).

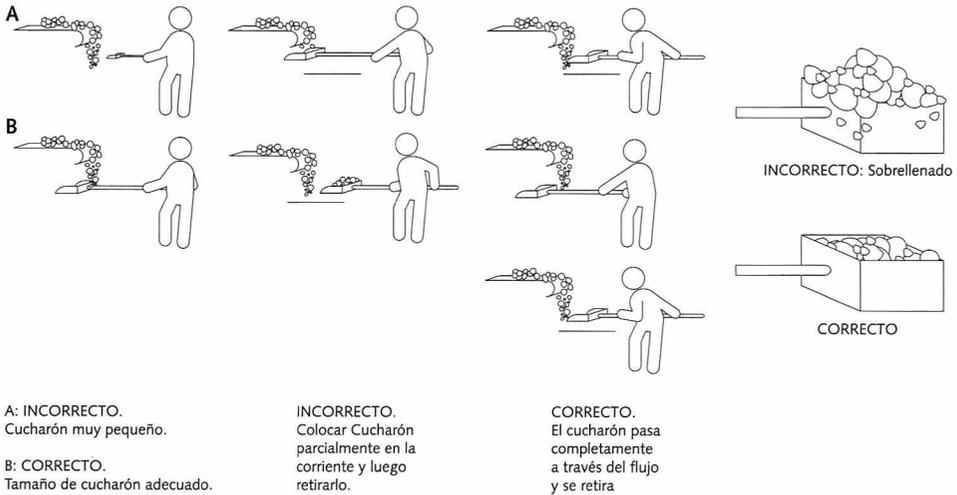


Figura 19. Errores comunes en el muestreo de bandas transportadoras.

Análisis fisicoquímicos y petrográficos durante la fase de exploración y desarrollo

Análisis básicos

A cada una de las muestras de carbón y algunos techos, pisos e intercalaciones correspondientes, se les practicarán los análisis básicos para determinar la tendencia primaria de utilización (figuras 20, 21, 22 y 23).

Así mismo, los resultados de los análisis deberán almacenarse ordenadamente para facilitar su manejo posterior.

Muestras de carbón

Se les practicará preparación de la muestra para análisis, humedad total, humedad residual, humedad de medición, humedad de equilibrio, materia volátil, cenizas, carbono fijo (por diferencia), poder calorífico, azufre total, gravedad específica verdadera, índice de molienda Hardgrove (y humedad a la que se determine), carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno (por diferencia), formas de azufre e índice de hinchamiento (FSI).

Muestras de respaldos e intercalaciones

Se les practicará preparación de la muestra para análisis, humedad residual, materia volátil, carbono fijo (por diferencia), cenizas, poder calorífico, azufre total y gravedad específica verdadera.

Ensayos específicos y tecnológicos

Luego de conocer las tendencias de utilización del carbón con base en los anteriores análisis y con los testigos existentes, se practicarán los ensayos específicos y tecnológicos.

Carbones coquizables

A las muestras de carbones con características coquizables, con un índice de hinchamiento superior a 2,5 y cenizas inferiores al 10% (carbones no lavados), se les practicarán los siguientes ensayos: dilatometría, plastometría, reflectancia media de la vitrina, análisis de macerales, determinación de fósforo en cenizas y ensayos de lavabilidad, y determinación de material flotado/hundido a 1,3 de gravedad específica.

Otros procesos

Para muestras donde interese el comportamiento del carbón en procesos de gasificación y licuefacción, se les practicará reactividad, porosidad, permeabilidad y elementos traza.

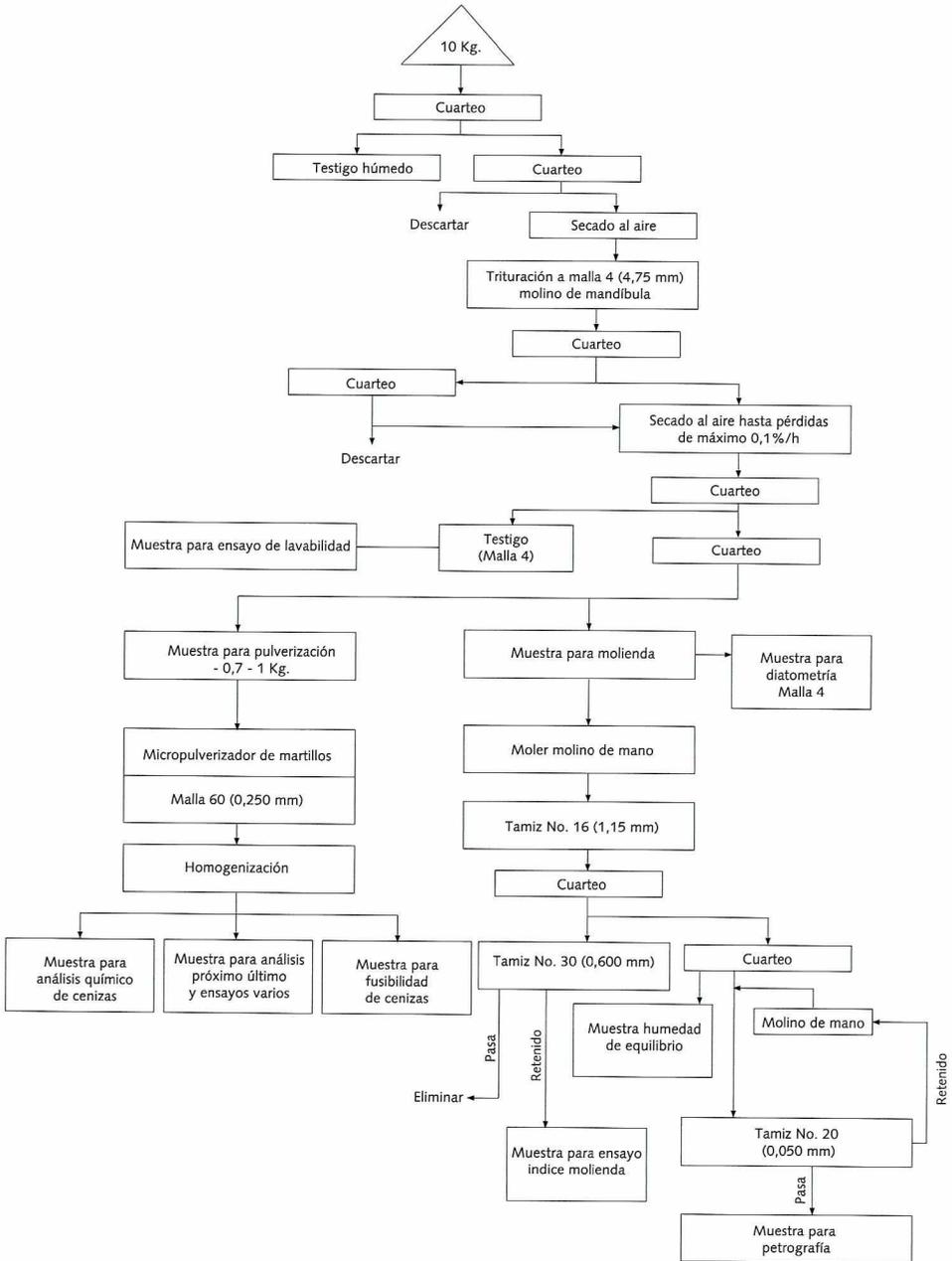


Figura 20. Diagrama para la preparación de muestras.

Fuente: Ecarbón, 1995.

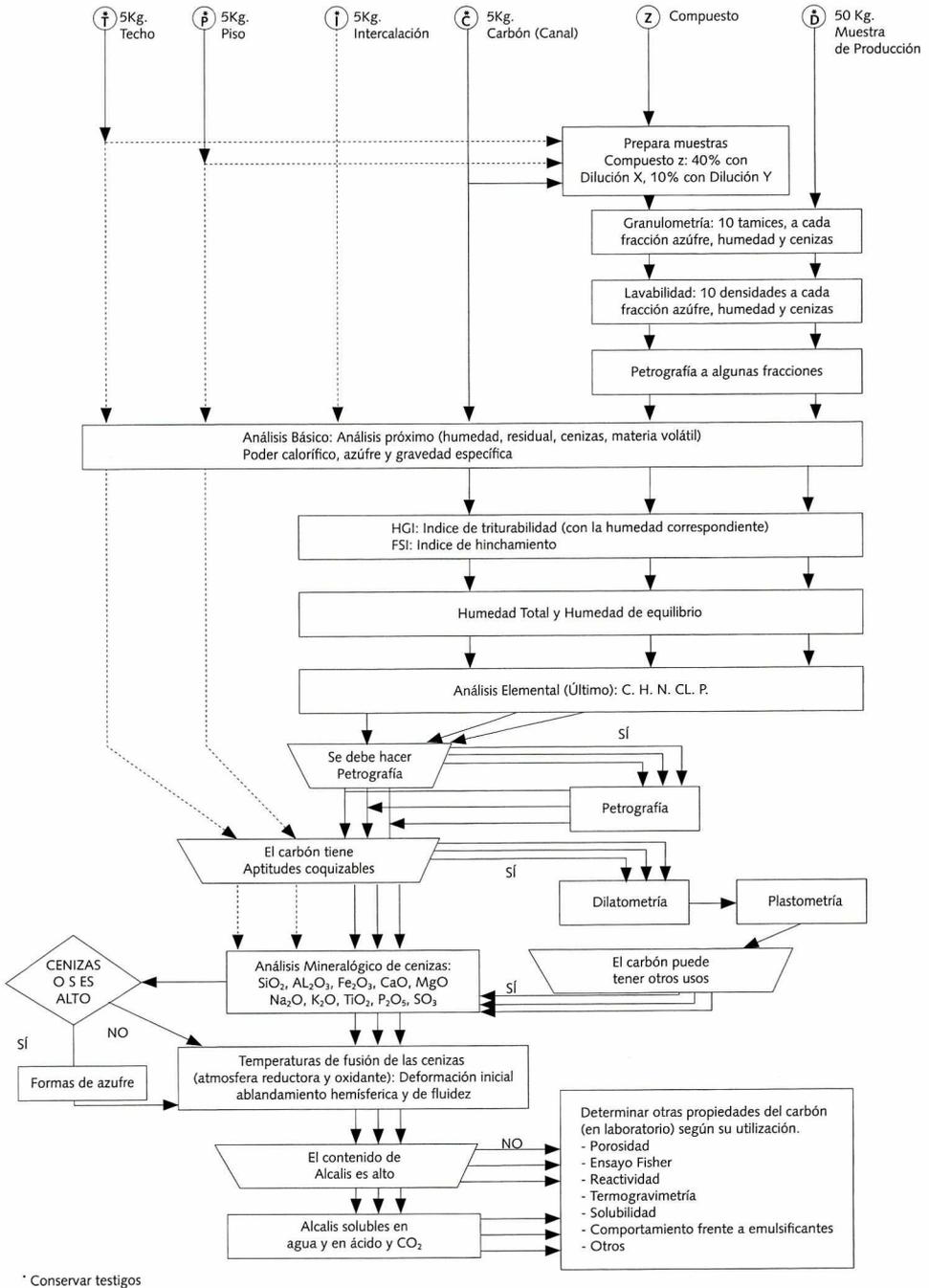


Figura 21. Análisis físicoquímicos de laboratorio para núcleos provenientes de programas de exploración y desarrollo.

Fuente: Ecocarbón, 1995.

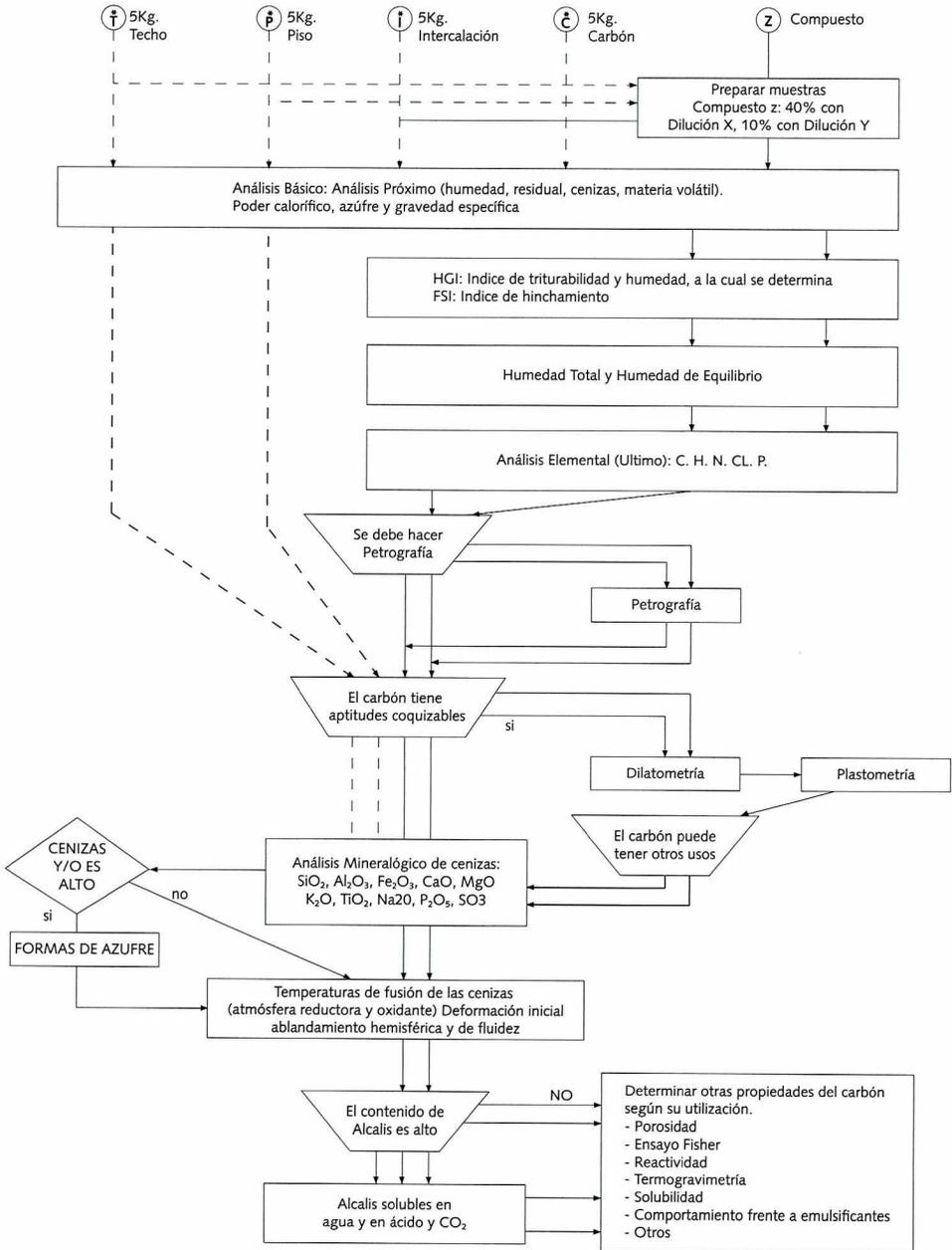


Figura 22. Análisis fisicoquímicos, granulometría y lavabilidad para muestras de canal.

Fuente: Ecocarbón, 1995.

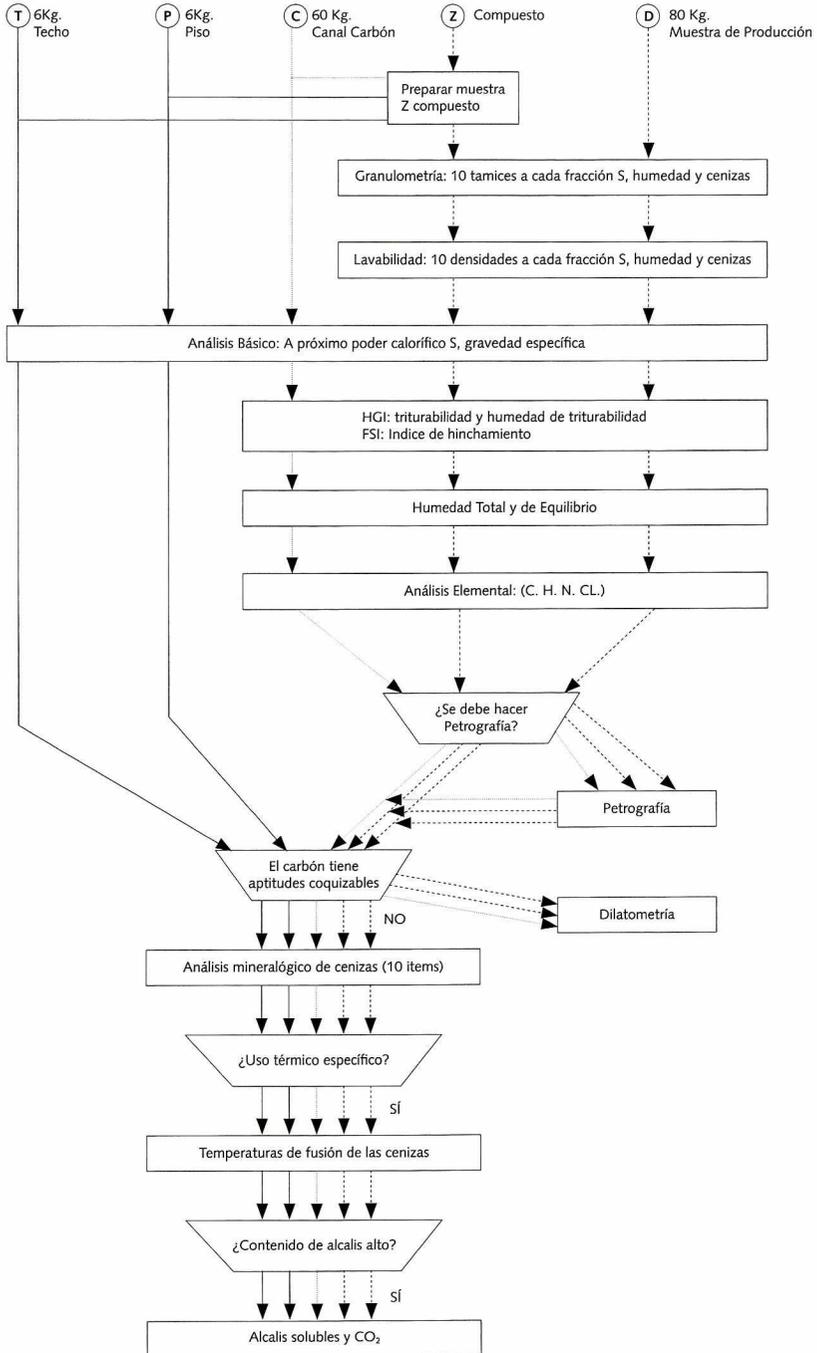


Figura 23. Análisis físicoquímicos, granulometría y lavabilidad.

Fuente: Ecocarbón, 1995.

Reproducibilidad y repetibilidad de los resultados

La tabla 2, ilustra las máximas diferencias permisibles, con un 95% de confiabilidad, que pueden existir en el análisis de una misma muestra en dos ensayos sucesivos (repetibilidad), o en dos laboratorios distintos (reproducibilidad).

Tabla 2. Límites de precisión según normas ASTM

Norma	Análisis	Rango	Repetibilidad	Reproducibilidad
D 2961	Humedad total		0,30%	0,50%
D 3173	Humedad residual	1,0 -21,9%	0,09+0,01	0,23+0,02
D 1412	Humedad de equilibrio	< 5%	0,30%	0,50%
		5-15%	0,50%	1,00%
		+ 15%	1,00%	1,50%
D 3174	Cenizas	2,68 - 17,86 %	0,22%	0,32%
D 3175	Materia volátil	Antracita	0,3%	0,6%
		Bituminoso, semiantracita	0,5%	1,0%
		Subbituminoso	0,7%	1,4%
		Lignito	1,0%	2,0%
D 3177	Azufre	<2%	0,05%	0,10%
		+ 2%	0,10%	0,20%
D 5373	Carbono	48,6 - 90,6	0,64%	2,51%
	Hidrógeno	0,14 - 5,16	0,16%	0,30%
	Nitrógeno	0,69 - 1,57%	0,11%	0,17%
D 5685 calorímetro adiabático manual	Poder calorífico bruto		50 BTU/lb	100 BTU/lb
D 2492	Azufre sulfato		0,02%	0,04%
	Azufre pirítico	0,1 - 12,0%	0,08 + 0,09	0,15 + 0,27
D 2361	Cloro		0,03%	0,06%
D 3761	Flúor		15 g/g	
D 409	Índice de molienda		2 unidades	3 unidades
D 1857	Fusibilidad de cenizas	Atmósfera reductora, TI	30 °C	70 °C
		Atmósfera reductora, TA	30 °C	55 °C
		Atmósfera reductora, TH	30 °C	55 °C
		Atmósfera reductora, TF	30 °C	85 °C
		Atmósfera oxidante, TI	30 °C	55 °C
		Atmósfera oxidante, TA	30 °C	55 °C
		Atmósfera oxidante, TH	30 °C	55 °C
		Atmósfera oxidante, TF	30 °C	55 °C
D 3682	Elementos mayores y menores en cenizas			
	SiO ₂	33,14 - 57,73%	0,33 + 0,04	-1,21 + 0,14
	Al ₂ O ₃	11,32 - 31,83%	0,80	-0,24 + 0,09
	Fe ₂ O ₃	2,93 - 41,11%	0,01 + 0,06	0,36 + 0,06
	TiO ₂	0,57 - 1,44%	0,13	0,19
	CaO	1,46 - 22,19%	0,21 + 0,04	0,15 + 0,11

(Cont.)

D 3682	MgO	0,45 - 7,12%	0,04 + 0,03	0,04 + 0,09
	Na ₂ O	0,14 - 7,15%	0,06 + 0,03	0,04 + 0,18
	K ₂ O	0,45 - 2,99%	0,03 + 0,03	0,05 + 0,05
D 5016	SO ₃	0,8 - 12,9%	0,02 + 0,067	0,14 + 0,008
D 2639	Plastometría Gieseler		Temperatura 5 °C	---
			Movimiento dial +/-10%	---
D 2798	Reflectancia de vitrinita	0,7 - 1,7%	0,02%	0,06%
D 5515	Dilatometría	T1 360 - 440 °C	6 °C	20 °C
		T2 415 - 475 °C	6 °C	20 °C
		T3 465 - 495 °C	6 °C	20 °C
		%D2,50 <100%	7	17
		%D2,50 100-200%	16	35
D 720	Índice de hinchamiento		1 unidad	2 unidades

Descripción macroscópica de carbones

Litotipos

Los litotipos corresponden a las diferentes bandas de carbón identificables macroscópicamente en un manto o en una muestra (figura 24).

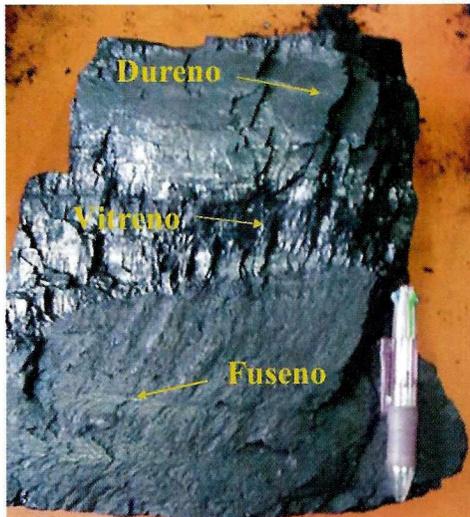


Figura 24. Litotipos en bloque del manto Veta Grande Superior de la Formación Guaduas en el Sinclinal Checua-Lenguazaque (Cundinamarca).

Fuente: Guatame & Sarmiento, 2004.

Los litotipos presentan características diferentes según la naturaleza de las plantas originales, las condiciones de depositación y la extensión de la alteración bioquímica durante la carbonificación de los diferentes componentes, lo cual determina el tipo de carbón (tabla 3). Mediante análisis de petrografía del carbón, se pueden reconocer los diferentes grupos de macerales con base en la nomenclatura internacional de Stopes–Herlen, así como los microlitotipos que lo conforman (tablas 4 y 5 de Taylor et ál., 1988); además, aportan información para interpretar las condiciones en que se formaron los carbones de una determinada cuenca.

Tabla 3. Características y propiedades más importantes de los litotipos de los carbones húmicos y sapropélicos

Tipo de carbón	Litotipo	Características macroscópicas
Húmico	Vitreno	Brillante, negro, quebrado, frecuentemente fisurado, rompe en forma de pequeños cubos, fractura concoidea.
	Clareno	Semibrillante, negro y muy finamente estratificado.
	Dureno	Mate, negro o gris, duro, superficie rugosa, apariencia grasosa.
	Fuseno	Mate (lustre sedoso), negro, fibroso, blanco, quebradizo y friable.
Sapropélico	Carbón Cannel	(Ampelita), lustre mate (o ligero graso), negro, homogéneo, sin estratificación, muy duro, de fractura concoidea, trazo negro.
	Carbón Boghead (torbanitas)	Como el Cannel, pero de apariencia algo parda; traza café.

Tabla 4. Clasificación de macerales, según Sistema Hopes Herleen

Grupo maceral	Maceral	Submaceral
	Telinita	Telinita 1
		Telinita 2
		Telocolinita
Vitrinita		Gelocolinita
(V)	Colinita	Desmocolinita
		Corpocolinita
	Vitrodetrinita	
	Esporinita	
	Cutininita	
Liptinita	Resinita	
(L)	Alginita	
	Liptodetrinita	
	Micrinita	
	Macrinita	
	Semifusinita	
Inertinita	Fusinita	Pirofusinita
(I)		Degradofusinita
	Esclerotinita	Fungoesclerotinita
	Inertodetrinita	

Fuente: Taylor et ál., 1988 (tomado de Guatame & Sarmiento, 2004).

Tabla 5. Clasificación de Microlitotipos

Grupo microlitotipo	Microlitotipo	Composición maceral
Monomaceral		
	Vitrita	V > 95%
	Liptita	L (E) > 95%
	Inertita	I > 95%
Bimaceral		
	Clarita	V + L (E) >95%
	Vitrinerfita	V + I >95%
	Durita	I + L (E) >95%
Trimaceral		
	Trimacerita	Duroclarita
		V > I, L (E)
		Vitrinertoliptita
		L (E) > I, V
		Clarodurita
		I > V, L (E)

Fuente: Taylor et ál., 1988 (tomado de Guatame & Sarmiento, 2004).

Los carbones se componen de litotipos diferentes según sean húmicos o sapropélicos (tabla 3). La descripción de los litotipos en un manto de carbón resulta importante por cuanto además de tener una relación directa con el ambiente de sedimentación, constituyen una buena herramienta de caracterización y correlación de un manto de carbón.

Litotipos de los carbones húmicos

Este tipo de carbones presenta bandeamientos que generalmente se conocen como: vitreno (bandas brillantes), clareno (bandas semibrillantes), dureno (bandas opacas) y fuseno (de apariencia de carbón vegetal). Las intercalaciones de los diferentes litotipos en el manto producen los llamados Carbones Bandeados.

Vitreno. Carbón de color negro, brillo vítreo, frecuentemente se presenta muy diaclasado, rompe en forma de pequeños cubos y presenta una fractura concoidea característica. En la descripción macroscópica de mantos, el vitreno corresponde a capas de carbón muy brillantes de más de 10 mm de espesor. Las bandas de menor espesor se incluyen dentro del clareno. Bajo el microscopio el vitreno está constituido por los microlitotipos, vitrita y clarita. Las propiedades del vitreno varían con el grado de carbonificación y se observa que dentro del rango de los carbones coquizables, éstas se relacionan con el contenido de vitreno. El vitreno es el maceral más uniforme en pureza, ya que su contenido de materia mineral es mínimo.

Clareno. Corresponde a bandas muy finas presentes en los carbones: su espesor individual es inferior a los 10 mm su brillo varía entre el vitreno y el durenno. El clareno es el constituyente más abundante en los carbones húmicos. Está formado por bandas alternas de vitreno, durenno y en ocasiones de fuseno. Visto al microscopio el clareno consta de los siguientes microlitotipos: vitrita, clarita, durita, trimacerita y fusita.

Durenno. Carbón opaco, su color varía de negro a gris, siempre mate, de apariencia grasosa, duro y consecuentemente se rompe en grandes bloques. Las superficies de su fractura son ásperas o rugosas. Sólo las bandas de espesor de más de 10 mm, se consideran como durenno y bandas más delgadas se consideran clareno. Las bandas de durenno son menos frecuentes que las de vitreno y clareno, pero en ocasiones pueden confundirse con arcillolitas finamente laminadas. Visto al microscopio el durenno está constituido por los microlitotipos: durita, trimacerita y algunas veces clarita rica en exinita.

Fuseno. Su apariencia es muy similar al carbón vegetal, lustre sedoso, de color negro, frecuentemente fibroso y usualmente poco consolidado y friable. En la mayoría de los casos, el fuseno se presenta en el manto en forma de lentes con algunos centímetros de grueso y algunos centímetros de largo, es el componente “sucio” y el único constituyente del carbón que tiñe los dedos. El fuseno no es combustible y generalmente presenta valores de poder calorífico y carbono fijo, relativamente altos.

Carbones sapropélicos. Difieren macroscópicamente de los carbones húmicos por la falta de estratificación, textura homogénea y gran resistencia rango. Los carbones sapropélicos de bajo rango se distinguen químicamente por un alto contenido de hidrógeno y una relativa alta proporción de materia volátil, gas y alquitrán. Estos carbones se dividen en carbones Cannel y Boghead o Torbanitas, con transiciones entre ambos.

Carbones Cannel. Son negros y mates, algunas veces con un lustre grasoso, producen trazo negro. Son muy homogéneos, compactos y se rompen con fractura concoidea. Microscópicamente se puede reconocer que los carbones Cannel son muy ricos en esporas y presentan ninguna o muy poca alginita (restos de algas), en contraste con los Boghead. Una característica muy importante de los Cannel es el tamaño casi uniforme de las partículas constituyentes.

Carbones Boghead. Son muy similares a los carbones Cannel, a veces pueden distinguirse por su color algo pardo y el trazo café. Su maceral característico es la alginita.

A manera de ilustración, en la figura 25 se pueden observar unos ejemplos de microfotografías de macerales, microlitotipos y materia mineral de los carbones de la Formación Guaduas en el sinclinal Checua-Lenguazaque (Cundinamarca) (Guatame & Sarmiento, 2004).

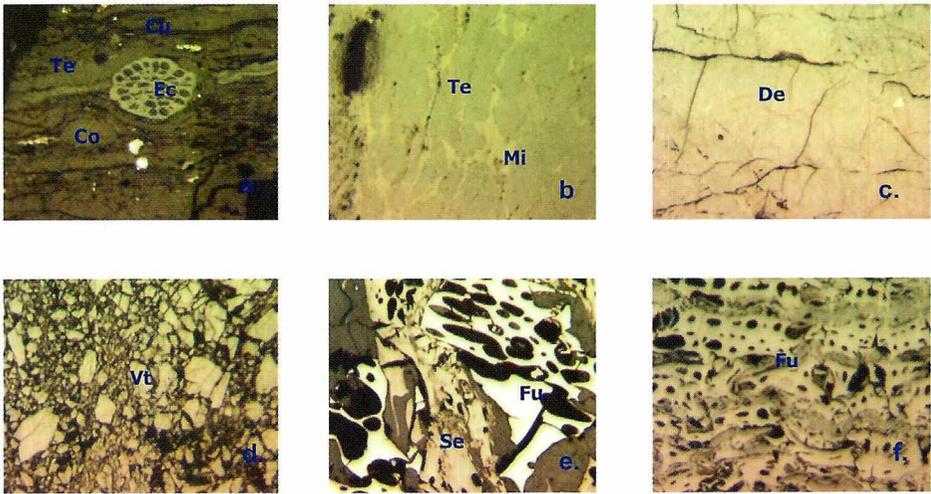


Figura 25. Microfotografías de macerales, microlitotipos y material mineral de los carbones de la Formación Guaduas. A. Esclerotinita (Ec) en una masa de telocolonita (Te), se observa cutinita (Cu) y corpocolonita (Co) en una banda de Duroclarita. B. Vitrinertita compuesta de Micrinita (Mi) que se encuentra reemplazando cutinita en una masa de telocolonita (Te). C. Banda de Vitrita compuesta por Desmocolonita (De) fracturada. D. Vitrodetrinita (Vt) compuesta por partículas de diferentes tamaños en una banda de Vitrita. E. Fusinita (Fu), semifusinita (Se) y Desmocolonita (De). F. Banda de Inertita compuesta de Fusinita (Fu) con estructura Bogen (paredes celulares bien definidas), las cavidades celulares se encuentran vacías. Vitrinita (V), Telinita (T), Telocolonita (Te), Desmocolonita (De), Gelocolonita (Ge), Corpocolonita (Co), Vitrodetrinita (Vt), Inertinita (I), Fusinita (Fu), Esclerotinita (Ec), Macrinita (ma), Micrinita (Mi), Inertodetrinita (Id), Semifusinita (Se), Exinita (E), Esporinita (Es), Cutinita (Cu), Resinita (Re), Alginita (Al), Liptodetrinita (Li)

Fuente: Guatame & Sarmiento, 2004.

Rango del carbón

El rango de un carbón es la clasificación de acuerdo al grado de carbonificación que ha alcanzado un carbón a lo largo de su evolución geológica, en la serie natural desde el lignito hasta la antracita.

La carbonificación es el proceso de desarrollo y evolución gradual por el cual las sustancias vegetales de la turba se transformaron en ausencia parcial de aire y con la influencia de temperatura y presión, a través del tiempo geológico, en lignito y, subsecuentemente, en carbón. El término “rango”, que designa el estado alcanzado por un carbón en el curso de la carbonificación, se usa para clasificarlo según la tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de los carbones por rango según ASTM

Rango y grupo	Porcentaje de carbono fijo Slmm		Porcentaje de materia volátil Slmm		Valor calorífico Hlmm				Carácter aglomerante
	Igual o mayor que	Menor que	Mayor que	Igual o menor que	Calorías/gramo		Megajulios por kilogramo		
					Igual o mayor que	Menor que	Igual o mayor que	Menor que	
Antracítico									
Metaantracita	98			2					No aglomerante
Antracita	92	98	2	8					
Semiantracita****	86	92	8	14					
Bituminoso									
Bituminoso bajo en volátiles	78	86	14	22					
Bituminoso medio en volátiles	69	78	22	31					Comúnmente aglomerante
Bituminoso A Alto en volátiles		69	31		7.780**		32,6		
Bituminoso B Alto en volátiles					7.220**	7.780	30,2	32,6	
Bituminoso C Alto en volátiles					6.380	7.220	26,7	30,2	
					5.380	6.380			Aglomerante
Subbituminoso									
Subbituminoso A					5.830	6.380			
Subbituminoso B					5.280	5.830			
Subbituminoso C					4.610	5.280			
Lignítico									
Lignito A					5.500	4.610			
Lignito B						3.500			

+ Si es aglomerante clasifica en el rango de Bituminoso bajo en volátiles.

** Carbones que tienen más del 69% de carbono fijo, en base seca y libre de materia mineral.

**** Hay muchas variedades no aglomerantes en estos grupos de rango bituminosos: también hay excepciones notables en el grupo de Bituminosos C altos en volátiles

Donde:

Slmm = base seca, libre de materia mineral.

hlmm = base húmeda, libre de materia mineral. Se refiere a la humedad que contiene el carbón como inherente natural, pero no incluye el agua adherida a la superficie del carbón.

En esta clasificación se excluyen unos pocos carbones, especialmente variedades no bandeadas, los cuales tienen propiedades químicas y físicas poco comunes que caen dentro de límites de carbono fijo o poder calorífico de los rangos bituminoso alto en volátiles y subbituminoso.

El rango del carbón se calcula utilizando las siguientes instrucciones, tomadas de las especificaciones estándar para la clasificación del carbón por rango ASTM D-388-99 (2004), en las cuales el carbono fijo y el poder calorífico se deben calcular en base seca libre de materia mineral, de acuerdo con las fórmulas (1 y 2) y a las fórmulas de aproximación (3 y 4).

$$(1) \quad CFS_{lmm} = \frac{CF - 0,15S}{[100 - (H + 1,08 CZ + 0,55S)] \times 100}$$

$$(2) \quad BTU_{hlmm} = \frac{(BTU - 50S)}{[100 - (1,08CZ + 0,55S)] \times 100}$$

$$(3) \quad CFS_{lmm} = \frac{CF}{[100 - (H + 1,1 CZ + 0,1S)] \times 100}$$

$$(4) \quad BTU_{hlmm} = \frac{BTU}{[100 - (1,1 CZ + 0,1S)] \times 100}$$

Donde:

CF= porcentaje de carbono fijo.

S= porcentaje de azufre.

Slmm= base seca, libre de materia mineral.

H= porcentaje de humedad.

Cz= porcentaje de cenizas.

BTU= unidades térmicas británicas por libra (poder calorífico).

hlmm = base húmeda, libre de materia mineral.

mm= materia mineral.

Las siguientes expresiones son útiles para convertir de una base a otra de análisis para la presentación de resultados de laboratorio.

Las expresiones son factores de conversión

Dado	Encontrar			
	Cómo se determina (cd)	Cómo se recibe (cr)	Seco (d)	Seco libre de cenizas (daf)
Cómo se determina (cd)		$\frac{100 - Har}{100 - Had}$	$\frac{100}{100 - Had}$	$\frac{100 - Hard}{100 - Had - CZad}$
Cómo se recibe (cr)	$\frac{100 - Had}{100 - Har}$		$\frac{100}{100 - Har}$	$\frac{100}{100 - Har - CZar}$
Seco (d)	$\frac{100 - Had}{100}$	$\frac{100 - Har}{100}$		$\frac{100}{100 - CZd}$
Seco libre de cenizas (daf)	$\frac{100 - Had - CZad}{100 - Har}$	$\frac{100 - Har - CZar}{100 - Har}$	$\frac{100 - CZd}{100}$	

Donde:

Had (%) es la humedad como se determina (análisis).

Har (%) es humedad como se recibe (total).

Czad (%) es el contenido de ceniza como se determina.

Czar (%) es la ceniza total.

Czd (%) es el contenido de ceniza en base seca.

Parámetros	Cómo se determina (ad)	Seco (d)
Ceniza Carbono Nitrógeno Azufre	Sin corrección	$Pb = Pad \times \left(\frac{100}{100 - Mad} \right)$
Hidrógeno	Sin corrección	$Hd = (Had - 0,1119 Mad) \times \left(\frac{100}{100 - Mad} \right)$
Oxígeno	$Od = 100 CZad - Cad - Had - Nad - Sad$	$Oad = (Oad - 0,8881) \times \left(\frac{100}{100 - Mad} \right)$
Como se recibe (ar)		
	Har y Qar incluyendo H y O en agua (Mar)	Har y Qar sin incluir H y O en agua (Mar)
	$Par = Pad \times \left(\frac{100 - Mar}{100 - Mad} \right)$	$Par = Pad \times \left(\frac{100}{100 - Mad} \right)$
	$Har = (Had - 0,1119 Mad) \times \left(\frac{100 - Mar}{100 - Mad} \right) + 0,1119 Mad$	$Har = (Had - 0,1119 Mad) \times \left(\frac{100 - Mar}{100 - Mad} \right)$
	$Oar = (Oad - 0,8881) \times \left(\frac{100 - Mar}{100 - Mad} \right) + 0,8881$	$Oar = (Oad - 0,8881) \times \left(\frac{100 - Mar}{100 - Mad} \right)$

Fórmulas para el cálculo de dilución

Análisis próximo o último

$$X_{dil} = \frac{X_{cp} [A \times (E - P) \times GE.carbón] + X_r \times [A \times D \times GE.roca]}{A \times (E - P) \times GE.carbón + A \times D \times GE.roca}$$

Análisis mineralógico de cenizas

$$Z_{dil} = \frac{Z_{cp} [A \times (E - P) \times GE.carbón] + Z_{cp} + Z_r \times [A \times D \times GE.roca] \times Z_{zr}}{A \times (E - P) \times GE.carbón \times C_{zcp} + A \times D \times GE.roca \times C_{zroca}}$$

Donde:

X_{dil} = BTU/lb o Cz del carbón con dilución o cualquier otro parámetro del análisis próximo o último.

X_{cp} = BTU/lb o Cz del puro.

A = área del manto (que se cancela).

D = dilución (m).

E = espesor del manto (m).

P = pérdida (m).

GE = gravedad específica verdadera.

X_r = BTU/lb o cenizas de la roca.

Z_{dil} = Na_2O o cualquier otro elemento de las cenizas del carbón con dilución.

Z_{cp} = ídem a Z_{dil} pero para el carbón puro.

C_{zcp} = Contenido de cenizas del carbón puro.

Z_r = ídem a Z_{dil} pero para la roca.

C_{zr} = contenido de cenizas de la roca. ■

Capítulo 2

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS DE CARBÓN EN COLOMBIA

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN



Recurso carbonífero

Fuente: Giovanni Balceró, Ingeominas.

Teniendo en cuenta el alto potencial de recursos de carbón en Colombia (figura 1), se actualiza el sistema de clasificación del carbón, dispuesto en categorías secuenciales de recursos y reservas, que relaciona el incremento de grado de certeza geológica con el de seguridad técnica y económica, representado en un diagrama conceptual (figura 2); los primeros, expresados en la escala

horizontal, se incrementan hacia la izquierda, de acuerdo con el grado de confiabilidad sobre su existencia, mientras las segundas lo hacen en sentido vertical, dependiendo de los niveles progresivos de evaluación económica y grado de aprovechamiento. En esta clasificación se incluye el término de complejidad geológica, usado para referirnos de manera apreciativa a los cambios estratigráficos, verticales y horizontales, así como al grado de intensidad en la deformación estructural de nuestras zonas andinas, plegadas y fracturadas.

Teniendo en cuenta los grados de certeza geológica y seguridad técnica y económica, las categorías de los recursos y reservas quedan definidas de la siguiente manera:

Medidas. Los puntos de información distan hasta 500 m el uno del otro, lo que equivale a un radio de influencia de hasta 250 m, contados a partir de un punto de información. Son recursos y volúmenes de carbón, elevados de categoría por tener el grado más alto de certeza y confiabilidad geológicas, al ser sometidos a una evaluación técnica básica, fundamentados en un conocimiento geológico espacial y de calidades de los mantos de carbón, de acuerdo con los valores límites.

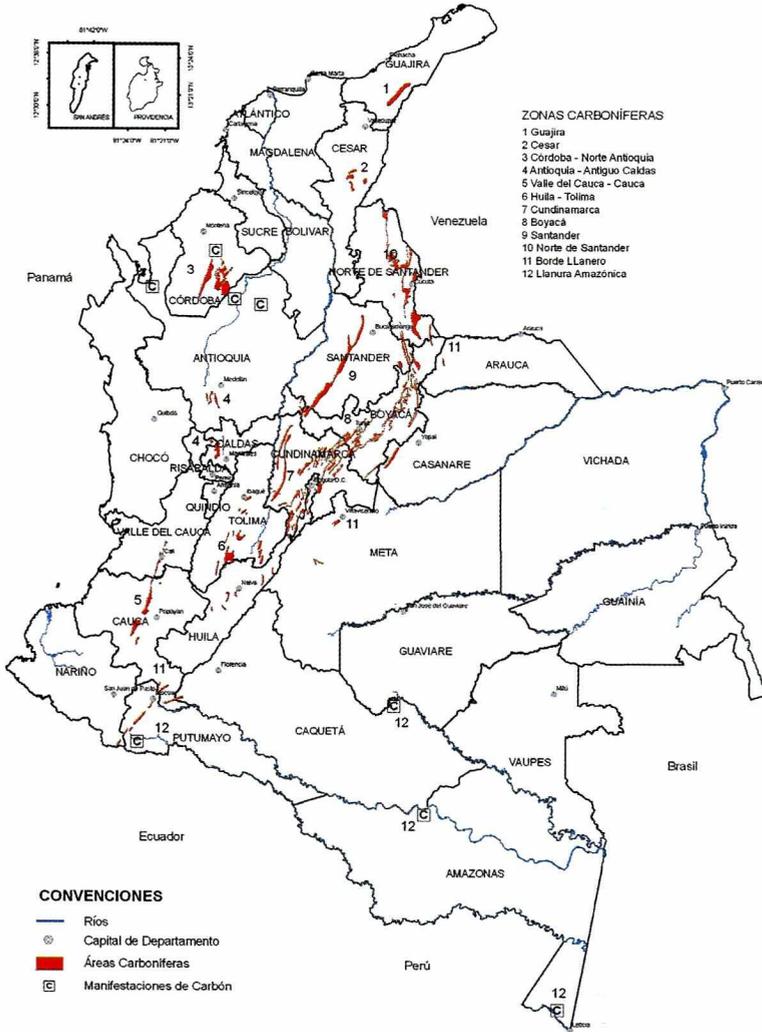


Figura 1. Distribución del carbón en Colombia, Ingeominas, 2004.

Indicadas. Los puntos de información distan entre 500 y 1500 m el uno del otro, lo que equivale a una influencia de hasta 500 m, comprendida entre los 250 y los 750 m, contados a partir de un punto de información.

Inferidas. Los puntos de información distan entre 1500 y 4500 m el uno del otro, lo cual equivale a un área de influencia de hasta 1500 m, comprendida entre los 750 y los 2250 m, contados a partir de un punto de información.

Hipotéticas. Los puntos de información distan más de 4500 m entre sí.



Figura 2. Sistema de clasificación de recursos y reservas de carbón. Tomado y reformado de Wood et ál., 2003.

Especulativas. No se tienen datos de calidad del carbón, no hay puntos de información o son sumamente distantes.

Reservas básicas es aquella parte de las reservas medidas e indicadas que, luego de una evaluación técnica y económica básica, permite elevarlos a dicha categoría, tomando en cuenta el grado de seguridad técnica y económica, de acuerdo con los valores límites; por tanto, se consideran potencialmente reservas aprovechables.

Las reservas disponibles son aquellas reservas básicas que, después de haber cumplido con los parámetros de evaluación económica y técnica básicas, se han elevado a dicha categoría, para someterlas a estudios de prefactibilidad y aprovechamiento económico/marginal, con el fin de aumentar el grado de seguridad, y a su vez el de seguridad técnica y económica, que permita definir las como potencialmente explotables.

Las reservas explotables corresponden a aquella parte de las disponibles elevadas finalmente a dicha categoría, para someterlas a un estudio de factibilidad que permita definir su grado de aprovechamiento económico/marginal óptimo, alcanzando el mayor grado de seguridad técnica y económica, que permita llevar el proyecto minero a etapas posteriores de comercialización.

Guías generales para clasificar los recursos y reservas de carbón

Es muy importante reconocer que, aparte de los aspectos geológicos y de ingeniería que se tienen en cuenta para clasificar los recursos y reservas de carbón, deben considerarse también aspectos relacionados con economía minera, transporte, procesamiento y mercadeo. Adicionalmente, puede haber cambios en las regulaciones y leyes que afectan las etapas del proceso minero y, por consiguiente, la clasificación puede ser imprecisa, por lo que se requiere relacionar algunas guías generales para categorizarlos adecuadamente, de acuerdo con los conceptos expresados en las circulares 831 y 891 (US Geological Survey, 1980, 2003):

1. Todas las concentraciones de carbón que ocurren en la naturaleza se pueden distribuir en una o más categorías, dentro de la clasificación.
2. Cuando el término “reservas” se usa sin un adjetivo que lo modifique, por ejemplo, indicadas o medidas, éste se debe considerar económicamente disponible.
3. El carbón se puede expresar en una variedad de términos y unidades, en cuanto a cantidad y calidad, cuando se enfocan diferentes propósitos, por lo que es clave establecer y definir su objetivo.
4. Una reserva básica corresponde a una categoría del recurso, tomando en cuenta solamente criterios físicos y químicos; por tanto, para llevarlos a un plan comercial, hay que estimar por el rango específico espesores del carbón, la calidad, el uso, la formación geológica, edad, ambiente de depositación y muchos otros factores, relacionados con el área del depósito.
5. Los recursos no descubiertos se subdividen, según las definiciones, en recursos hipotéticos o especulativos.
6. Cuando se identifican conjuntamente como recursos, no se pueden cuantificar como reservas básicas debido al grado relativamente bajo de certezas técnica y económica.
7. Cuando existen localmente cantidades limitadas de carbón, representadas por mantos de poco espesor, o éstos se encuentran profundamente enterrados, dichas cantidades se deben clasificar como recursos inferidos y no como reservas.

8. Para que los recursos inferidos o volúmenes de carbón se puedan clasificar como reservas y considerar económicamente extraíbles, deben mostrar un incremento significativo en la densidad de información geológica, que la calidad del carbón sea adecuada y que la relación carbón/estéril sea favorable.
9. Se clasifican como recursos restantes, las toneladas de carbón que se relacionan con mantos delgados o profundos y de muy baja calidad y el que queda enterrado después de haber obtenido una producción en el pasado.
10. Los carbones que se dejan en los grandes bloques durante la etapa minera, especialmente a cielo abierto, y que pueden ser extraídos mediante métodos mineros futuros, deben ser codificados y categorizados como reservas marginales, dependiendo de su recuperación económica.
11. En la clasificación de recursos y reservas de carbón es necesario reconocer localmente la posibilidad de derivar su viabilidad económica, dependiendo de otros productos cuya rentabilidad sea económica, por ejemplo cuando están asociados con depósitos de gas, como se presenta en los departamentos del Cesar y La Guajira: hacia el futuro, se podrán aprovechar mediante otros desarrollos tecnicoeconómicos, por ejemplo, en carboquímica.
12. Otros factores en la consideración geológica y económica, incluyen aspectos ambientales, legales, políticos, los cuales pueden restringir el beneficio de extracción de todo o parte del depósito carbonífero.
13. Este sistema de clasificación presentado en el numeral anterior podría tener más subdivisiones, las cuales se deberían reportar, dependiendo de los datos disponibles; por tanto, se podrían agregar u omitir subdivisiones.

En principio, 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 con el grado de certeza geológica alcanzado con la exploración.

El evaluador económico, al calcular en primera instancia el aprovechamiento de los volúmenes de carbón en un área, está obligado a hacer una evaluación técnica básica del valor económico de estos recursos; tal evalua-

ción no puede ser diferente de la de una simple aceptación y aplicación de valores límites, derivados de la comparación con situaciones mineras patrones imperantes en una región.

Es así como se llega en este sistema a definir la categoría de “reservas básicas”, las cuales representan volúmenes de carbón que pueden aprovecharse económicamente. Para calcularlos se han establecido unos valores límites relacionados con espesor, profundidad de la explotación, desnivel, calidad y rango, los cuales se indicarán en la sección “Análisis de los valores límites”.

Cabe anotar que con el avance progresivo 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 siempre un grado mayor de certeza geológica, para que la evaluación económica ten-

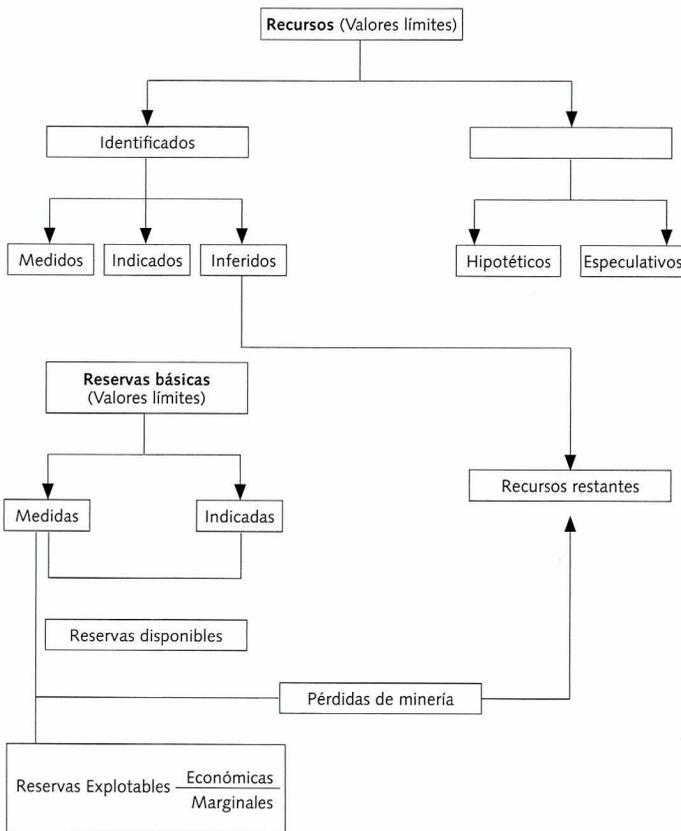


Figura 3. Orden de las categorías.

Fuente: Tomado y reformado de Wood, et ál., 2003.

ga significado y cumpla con sus objetivos. Por esto, la categoría de reservas inferidas no tiene importancia en el nivel de evaluación económica básica, por cuanto ésta se aplica sólo a las categorías de reservas medidas e indicadas.

Para identificar en forma tangible la oportunidad de la inversión en un proyecto minero, es necesario aclarar la relación existente entre las reservas básicas y el objetivo prefijado con el proyecto, actividad que se cumple mediante el estudio de prefactibilidad. Es precisamente con el análisis de las reservas básicas como se escogen aquellas cantidades cuyo grado de certeza geológica garantiza un volumen suficiente de carbón, para obtener éxito en el objetivo del proyecto. Este volumen de carbón, subdividido en los grados de aprovechamiento económico y 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 (figura 3), 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. Sin embargo, en el medio colombiano andino esta relación estará supeditada al grado de intensidad de deformación geológica y ángulo de buzamiento de los mantos de carbón.

Naturalmente, el estudio de prefactibilidad no es un paso obligatorio dentro de la secuencia de niveles de evaluación económica, sino apenas una opción sobre la cual debe tomarse una decisión; es completamente viable pasar de la evaluación económica básica al estudio de factibilidad, pero luego de haber surtido del todo su viabilidad, de acuerdo con la sustentación de las variables económicas. Este último análisis de evaluación en un proyecto permite tomar la decisión definitiva sobre las etapas de desarrollo y explotación minera.

El estudio de factibilidad debe suministrar una base técnica, económica y comercial aceptable, para tomar la decisión sobre las inversiones que han de realizarse en un proyecto durante la explotación minero-industrial, y para optimizar la búsqueda de este objetivo tiene que sustentarse en el cálculo de una cantidad confiable de reservas básicas, que corresponden únicamente a las reservas medidas, elevadas a la categoría de reservas explotables.

Criterios de clasificación

La clasificación del carbón en recursos y reservas básicas depende del grado de certeza geológica sobre su existencia y de la seguridad técnico-económica para su explotación (figura 2).

Grado de certeza geológica

El conocimiento geológico del carbón se establece mediante la integración de:

1. Conocimientos, conceptos y modelación sobre patrones sedimentarios.
2. Espesor y características estructurales relativas a los plegamientos y fracturamientos de los mantos, que definen su distribución y relación espacial.

Así, se genera una configuración tridimensional del yacimiento, que permite definir la existencia y continuidad de los mantos de carbón y su calidad, al igual que las características de las intercalaciones estériles y las condiciones de las rocas de los respaldos, suprayacentes y subyacentes, que se interrelacionan técnicamente, de acuerdo con los grados de certeza y confiabilidad geológicas.

Dichos grados se miden mediante la adopción de valores para el factor que la experiencia en las exploraciones nacionales y la bibliografía geológica internacional (Wood et ál., *óp. cit.*) han fijado en su valor definitivo: la distancia entre los puntos de información donde el carbón se ha medido y muestreado.

Finalmente, es muy importante tener presente que en la mayoría de los yacimientos carboníferos de la zona andina, para la minería subterránea, la distancia entre los puntos de información debe disminuir en forma notoria a causa de la intensa deformación geológica que presentan la mayor parte de las estructuras y mantos de carbón; por esta razón, el grado de certeza geológica debe estar directamente relacionado con un mayor incremento en la densidad de puntos de información, a medida que se incrementa el buzamiento de los mantos de carbón, en especial cuando superan los 25°.

Grado de seguridad técnica y económica

Siguiendo la propuesta original publicada (Kelter, 1991, en Ecocarbón, 1995), la seguridad técnica y económica de la extracción del recurso es función del detalle y perfección con que se ha realizado el estudio económico y se manifiesta convencionalmente en el ámbito internacional mediante los diferentes “niveles de evaluación técnico-económica”:

- Evaluación económica básica.
- Estudio de prefactibilidad.
- Estudio de factibilidad.

En la evaluación económica básica 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 cielo 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 prefactibilidad económica.

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

- Factores físicos y químicos, tales como la distancia entre puntos de información, el espesor de los mantos de carbón y del estéril, la profundidad, la extensión superficial, la calidad y el rango del carbón.
- Variables económicas, tales como precio del carbón, sistemas de explotación; costos de los equipos mineros que se van a utilizar, costos laborales, de procesamiento, de transporte; impuestos; tasas de interés; demanda y suministro de carbón.
- Leyes ambientales, restricciones y disposiciones judiciales.

El concepto de “marginal” se aplica a aquellos volúmenes de carbón que no son explotables en el momento, pero que se pueden aprovechar cuando los factores técnicos y económicos lo permitan.

Disposiciones básicas

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

- Asignar 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 cuanto a espesores y profundidades de los mantos, de acuerdo con los rangos y calidades.
- Determinar las reservas básicas, las cuales forman parte de los recursos identificados, teniendo en cuenta consideraciones económicas (figuras 2 y 3).
- Establecer las reservas disponibles, resultantes de las reservas básicas medidas más las indicadas, con base en los estudios técnicos y económicos realizados en prefactibilidad.
- Calcular las reservas explotables, en cuanto a cantidades económicamente aprovechables en el presente, partiendo tan sólo de las reservas básicas disponibles.
- Diferenciar las reservas marginales que se pueden explotar con margen de utilidad futura, al verificarse cambios técnicos y económicos (figuras 2 y 3).

Para tener claridad sobre las relaciones conceptuales y espaciales existentes entre cada una de las categorías y su jerarquía, así como para ilustrar su ubicación conforme a las definiciones y criterios aplicados, en este sistema de clasificación se incluye un esquema (figura 3) en el que se indican el orden y la distribución de las diferentes categorías, de recursos y reservas.

A continuación se hará una descripción de las instrucciones específicas, parámetros y criterios pertinentes al sistema de clasificación de carbones, que se deben utilizar en la evaluación de yacimientos a cielo abierto y subterráneos en el país (Ecocarbón, 1995, USGS, 2003), teniendo en cuenta los

utilizados por las compañías multinacionales y las demás empresas mineras que exploran y explotan este recurso en Colombia.

Clasificación por rango de los carbones

Cuando el reporte general de un yacimiento contiene más de un rango por clase o grupo de carbones, los datos correspondientes a los recursos se deben reportar en forma separada para cada rango, de acuerdo con la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación por rango de los carbones

Rango/clase	Grupo	Abreviación
Antracita	Metaantracita, antracita	ma
	Antracita	an
	Semiantracita	sa
Bituminoso	Bituminoso bajo volátil	bbv
	Bituminoso medio volátil	bmv
	Bituminoso alto volátil A	bavA
	Bituminoso alto volátil B	bavB
	Bituminoso alto volátil C	bavC
Subbituminoso	Subbituminoso A	subA
	Subbituminoso B	subB
	Subbituminoso C	subC
Lignito	Lignito A	ligA
	Lignito B	ligB

Fuente: Wood, et ál., 2003.

Distribución de los mantos de carbón en relación con su espesor

Para calcular recursos y reservas es muy importante tener en cuenta la distribución y el espaciamiento de los puntos de información representativa de datos del manto de carbón, ya que estos factores son los que definen en realidad la exactitud y precisión de la información obtenida sobre un yacimiento. En las áreas colombianas localizadas en la zona andina, los afloramientos, trincheras, túneles de prospección o mineros y perforaciones, aportan datos sobre la distribución y relación espacial de los diferentes mantos; en cada caso, se han de aplicar criterios geológico-mineros tendientes a obtener un grado de espaciamiento adecuado en la obtención de datos, en forma tal que asegure el grado de confiabilidad de la exploración y futura explotación de un yacimiento.

La distribución de los puntos de información sobre los mantos de carbón puede tener menor densidad al momento de estimar los recursos de carbón (entre éstos el espaciamiento). Cuando se trate de evaluar las reservas básicas, medidas e indicadas, se requiere incrementar progresivamente la información mediante una mayor densidad de datos del subsuelo para obtener un mayor grado de precisión de los volúmenes reales de carbón, dentro de las etapas secuenciales de la exploración.

El evaluador debe disponer de un mayor grado de información de superficie y de subsuelo a medida que el grado de deformación de la secuencia carbonífera aumenta, porque esta situación afecta de manera anómala el espesor de los mantos de carbón, como ocurre en las cuencas andinas muy plegadas.

Análisis de los valores límites

Para que el sistema de clasificación de recursos y reservas de carbón en Colombia sea viable, es necesario establecer unos valores límites de los parámetros básicos que se deben utilizar en la valorización de los recursos y reservas básicas de los principales yacimientos carboníferos del país que son aptos para exploración y explotación comercial, mediante minería subterránea y a cielo abierto, teniendo en cuenta también una serie de términos técnicos de soporte, tal como se presenta en el glosario, donde se incluyen todas las definiciones relativas al sistema de clasificación

Se realiza un “Análisis de los valores límites”, considerando los resultados obtenidos por la experiencia de las principales compañías mineras que explotan los yacimientos de carbón en diferentes condiciones geológico-mineras, de las áreas carboníferas ubicadas en las zonas andina y atlántica, así como la referencia relativa a la literatura internacional.

Para lograr ser objetivos en el alcance de esta actividad, se ha tenido muy presentes el estudio y la evaluación de parámetros relacionados con calidad del carbón, con la inclinación del manto, desnivel y distancia desde los puntos de medición, espesor de los mantos y profundidad, obtenidos del análisis referenciado y utilizado en los proyectos realizados oficialmente por Carbocol, Ecocarbón (1995) e Ingeominas, y contratos de consultoría con compañías públicas y privadas, nacionales y extranjeras; finalmente, mediante el resultado de una encuesta realizada a la comunidad minera del país, se actualizaron con los definidos por el USGS (Wood et ál., 2003).

Calidad

Entre todos los valores límites, el que se puede considerar más importante para que un manto de carbón entre o no a participar en los cálculos de recursos o reservas es el de la calidad, en cuanto se refiere al contenido de cenizas y de azufre.

Se establece en general que el contenido de cenizas debe ser inferior al 33% y el de azufre total menor que el 3%, para toda clase de carbón, tomando en cuenta los valores promedios de cenizas aportados por la minería en las zonas carboníferas de Cundinamarca (19%), Antioquia (9%), Valle del Cauca (27%) y Antioquia (Aranzazu) (29%).

A continuación se presenta la calidad promedio de los carbones colombianos para exportación en base boca de mina, representados por la minería a cielo abierto, y subterránea, realizada hasta el presente en las principales zonas carboníferas, correspondientes a las cuencas geológicas (tabla 2).

Teniendo en cuenta la tabla 2 y los porcentajes promedio de calidad, se establecen los siguientes valores límites de carbón para exportación:

- Para cenizas, el 10%.
- Para azufre, el 0,6%.
- Casos especiales: los yacimientos de San Jorge y algunos de Cundinamarca producen carbones con un contenido de cenizas que varía entre el 10 y 17%; el de azufre supera el 1%. Estos yacimientos requieren plantas de lavado para su beneficio óptimo, principalmente para uso en la industria nacional y en casos de coquización.

Tabla 2. Calidad promedio de los carbones en las áreas carboníferas de Colombia

Localización	Humedad total (%)	Azufre total (%)	Materia volátil (%)	Cenizas (%)
La Guajira				
Cerrejón Central	8,2	0,66	34	8,3
Cerrejón Norte	11,9	0,7	33,4	7
Cesar				
El Descanso	13,60	0,57	32,20	10,60
La Loma	10,30	0,59	36,80	5,60
La Jagua	7,30	0,62	35,60	5,30
Calenturitas	9,80	0,60	36,20	5,50
Córdoba				
San Jorge	17,00	1,50	33,70	17,00

(Continúa)

(Cont.)

Santander				
Tasajero	2,60	0,87	33,50	8,30
Cundinamarca	3,90	0,84	28,40	10,20
Antioquia	8,40	0,51	38,30	8,80
Valle del Cauca	2,40	2,87	30,50	26,60

Fuente: Ingeominas (2004).

Desnivel

La diferencia de cota, hacia abajo, entre el nivel base de una mina subterránea y la cota del manto de carbón, del nivel de extracción en contra de la gravedad, se fija en 300 m para el cálculo de las reservas básicas, siempre y cuando no se sobrepase el otro valor límite, representado por la profundidad (entre el manto y la superficie) de 600 m; no obstante, en algunas áreas carboníferas de Antioquia y Norte de Santander se explotan yacimientos por debajo de este nivel, pero hay que establecer condiciones de seguridad y económicas que lo ameriten, como en el caso de la Cuenca del Rhur, Alemania (Mountain Consulting Gmb, comunicación personal).

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 250 m, en 750 m, en 2250 m y > 2250 m, respectivamente (figura 2).

A nivel comparativo, de acuerdo con 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”, “marcada” e “intensa”. 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.

Del análisis de estos ejemplos se sugieren, para la exploración de áreas marcadamente deformadas e intensamente deformadas, distancias entre 150 y 250 m para la categoría de “medido”; para la categoría de “indicado” se recomiendan distancias comprendidas entre 450 y 750 m, y para la categoría

de “inferido”, distancias entre 1350 y 2250 m (ver glosario); por consiguiente, puede considerarse que la distancia de comprobación (o de influencia) de un punto de información hasta 250 m 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 y 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 250 m; por tanto, 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 500 m una de otra, como máximo, teniendo en cuenta el ángulo de inclinación de las capas.

Espesor de los mantos de carbón

El espesor estratigráfico de los mantos de carbón se mide en afloramientos, trincheras, apiques y otros prospectos mineros, bien sea en superficie o en el subsuelo, mediante perforaciones, sísmica de refracción o registros eléctricos.

Al iniciar la evaluación económica, el evaluador cuenta únicamente con volúmenes de carbón, que en este sistema se han clasificado dentro de la categoría de “recursos”, ya discriminados, de acuerdo con el grado de certeza geológica alcanzado con la exploración. Las clasificaciones internacionales y el actual grado de desarrollo de la minería en Colombia permiten fijar el espesor de 0,40 m como valor límite inferior para considerar dentro de los recursos los carbones antracíticos bituminosos y subbituminosos. En este orden de ideas, toda capa de carbón de espesor inferior se considera cinta.

Para fijar el límite inferior de espesor de los mantos de carbón a nivel de reservas se ha establecido el valor de 0,60 m, de conformidad con las experiencias de varias empresas en sus procesos de exploración y explotación.

En ciertos casos especiales, en lo referente a etapas de prefactibilidad y factibilidad, el espesor mínimo de los mantos de carbón para el cálculo de las reservas disponibles y explotables se fijará según los estudios técnicos y económicos efectuados con este fin.

Intercalaciones de estériles

Se refieren a cualquier clase de roca presente en el interior de un manto de carbón que tenga distribución espacial, longitudinal y lateral, las cuales serán o no separables cuando el carbón extraído contenga menos del 33% en peso de cenizas (tabla 4), según se indica en el capítulo posterior, sobre muestreo y análisis del carbón. En todo caso, el espesor mínimo se fijará de acuerdo con estudios técnicos y económicos a nivel de prefactibilidad y de factibilidad, 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, así como a la calidad y valor presente del mineral

La profundidad máxima de 1800 m, que se toma como límite para los cálculos de recursos hechos por Wood et ál. (1983, 2003) en la actual situación minera colombiana, se aplica hasta los 1200 m. Existen algunas minas subterráneas que explotan mantos de carbón hasta dicho nivel sin la tecnología y seguridad minera adecuadas. El valor de 600 m, aplicado como límite para el cálculo de las reservas básicas, es producto de la experiencia obtenida por las explotaciones subterráneas (en su momento por la mina La Chapa, de Acerías Paz del Río).

Profundidad de explotación a cielo abierto

En lo relacionado con evaluación económica básica para los cálculos de reservas básicas en proyectos de minería a cielo abierto, se toman los 300 m de profundidad como valor límite de la explotación, tal como se deriva de los estudios de factibilidad, en los yacimientos de Boquerón (Simesa S.A. y E.C. Greenley, 1979). El Descanso (Geominas et ál., 1991), cuyo límite corresponde al antes citado, y de El Cerrejón Zona Norte con 270 m y el de Calenturitas (Prodeco S.A., 1991).

Con el incremento de la seguridad técnica y económica, los valores límites indicados podrán variar, considerando que a nivel de prefactibilidad 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 de cada proyecto expresarán de acuerdo con el objetivo económico y específico establecido (glosario).

Por último, vale la pena anotar que el desarrollo carboquímico alcanzado hoy por los países industrializados –como Australia, por ejemplo– ha permitido expandir la tecnología a otros países asiáticos, con el fin de montar plantas para beneficiar carbones de grandes yacimientos y a grandes profundidades. Por tal razón, nuestros yacimientos carboníferos de la región atlántica, cuyas profundidades alcanzan los 850 metros (El Descanso), podrán aplicar económicamente esta tecnología en un futuro próximo.

Guía para la evaluación de recursos de carbón

Definición de áreas de cálculo en mantos de carbón

Cuando en algunas áreas los mantos de carbón son muy numerosos, para calcular los recursos medidos, indicados, inferidos e hipotéticos deben prepararse mapas que contengan información topográfica, geológica y minera, a escala adecuada, de cada uno de los mantos, teniendo presentes parámetros básicos tales como puntos con información sobre espesor de los mantos de carbón, buzamientos (inclinación), localización de perforaciones, localización de los cortes y bloques estructurales del área carbonífera, entre otros.

Cartografía de los mantos de carbón

Para documentar los cálculos de los recursos de carbón debe prepararse un mapa de cada manto en cada área, bloque, sector, manto o área conocidos. El mapa de un manto de carbón debe mostrar lo siguiente:

- Cuadrícula de coordenadas geográficas de referencia.
- Traza del manto.

- Todos los puntos donde se hicieron medidas de espesor y se tomaron muestras de carbón: afloramientos, destapes, trincheras, explotaciones, perforaciones.
- Espesor del manto, rumbos y sus buzamientos.
- Cotas de todos los puntos de medición y de los sitios de interés.
- Rasgos estructurales que afectan el carbón, como ejes de plegamientos y fallas.
- Líneas de los cortes geológicos.
- Áreas donde el manto de carbón tiene intercalaciones.
- Contornos estructurales trazados sobre el piso del manto.
- Líneas isópacas del manto de carbón, líneas isócoras del estéril y líneas de isotenores.
- Áreas correspondientes a las diferentes categorías de los recursos.
- Límites de áreas sobre el título minero.
- Límites del corregimiento, municipio o departamento.
- Límites de los resguardos indígenas, áreas de reserva forestal/ambiental, parques nacionales, bases militares y todo lo que se pueda considerar zonas legalmente restringidas para la actividad minera.
- En los mapas y cortes se puede generalizar una escala 1:25.000 a nivel de recursos y mínimo 1:10.000 o más grande para reservas básicas, hasta llegar a una escala 1:2000 o más grande a nivel de reservas explotables, de acuerdo con el estudio que se esté realizando.

Cálculo de los recursos de carbón

A continuación se indicarán los diferentes cálculos que se deben hacer para evaluar los recursos y reservas de un manto de carbón, desde el más sencillo hasta el más complejo, dependiendo del grado de información disponible para la valoración.

Una vez definidos el área carbonífera, el espesor promedio de un manto y la densidad del carbón, se procede al cálculo de los recursos por medio de la siguiente fórmula:

$$a \cdot e \cdot d / \cos \theta = t$$

Donde:

a = área.

e = espesor promedio ponderado del manto de carbón.

d = densidad del carbón (gravedad específica verdadera).

θ = inclinación del manto.

t = toneladas.

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

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

Donde:

c = promedio de la cuelga.

l = longitud en el rumbo del manto.

e = promedio ponderado del espesor del manto.

d = densidad del carbón (gravedad específica verdadera).

t = toneladas.

Los mantos de carbón pueden ser muy numerosos en algunas áreas, por lo que es importante elaborar un mapa para cada manto. 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.

Cuando se conoce el espesor del manto en uno o varios puntos de información

En primer lugar, se aprecia la confiabilidad de las diferentes categorías de recursos, basados única y exclusivamente en la distancia, a partir de un solo punto de información, cuando se tiene medido el espesor del manto (figura 4) (Wood et ál., 2003).

Cuando se conocen el espesor del manto de carbón, medido en varios puntos a lo largo de un afloramiento, e información correspondiente a un área minera y una perforación, se pueden definir las áreas basadas en las distancias establecidas desde puntos de control, con el fin de calcular recursos medidos,

indicados, inferidos e hipotéticos. Utilizando los radios con origen en los puntos de información, se construyen los arcos a las distancias, conforme a los criterios establecidos para las distintas categorías de recursos (figura 5, adoptada y reformada de Wood et ál., 2003).

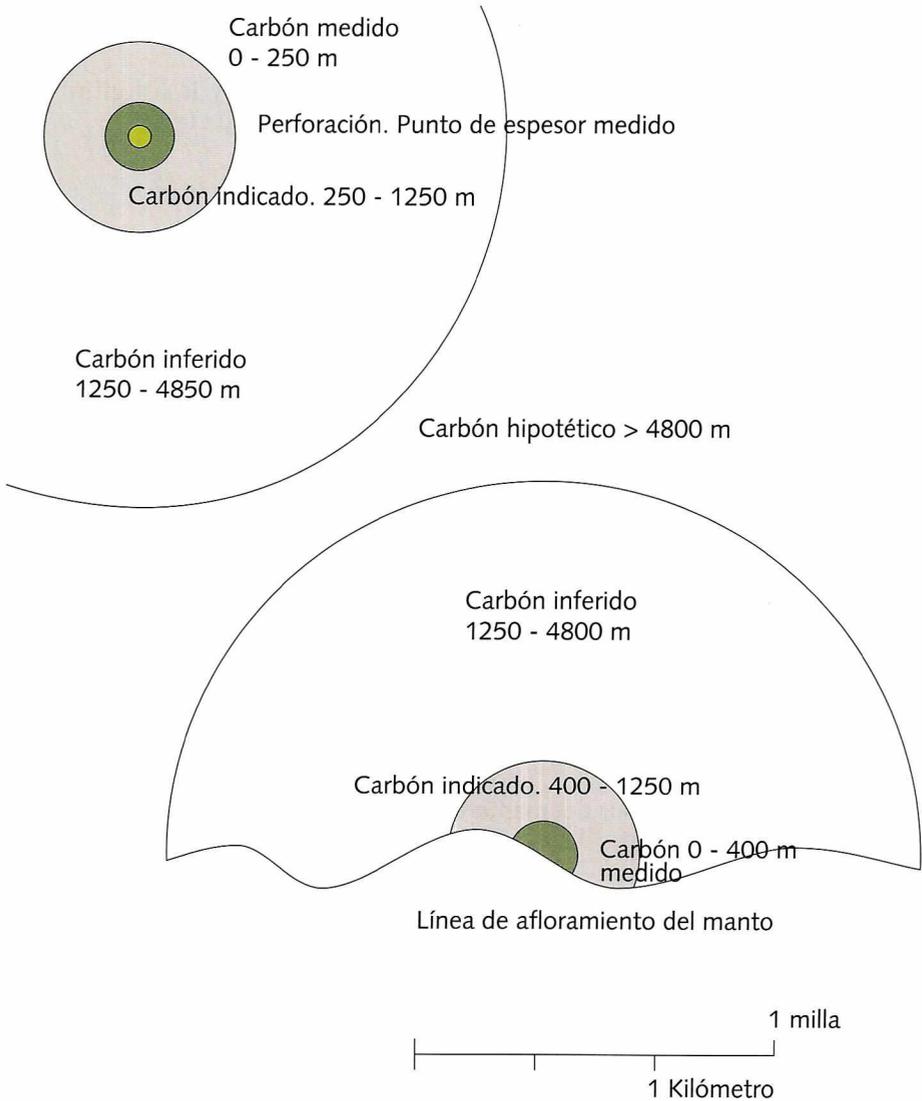


Figura 4. Diagrama que muestra la confiabilidad de las categorías basadas solamente en la distancia a partir de un punto de medición.

Fuente: Wood et ál., 2003.

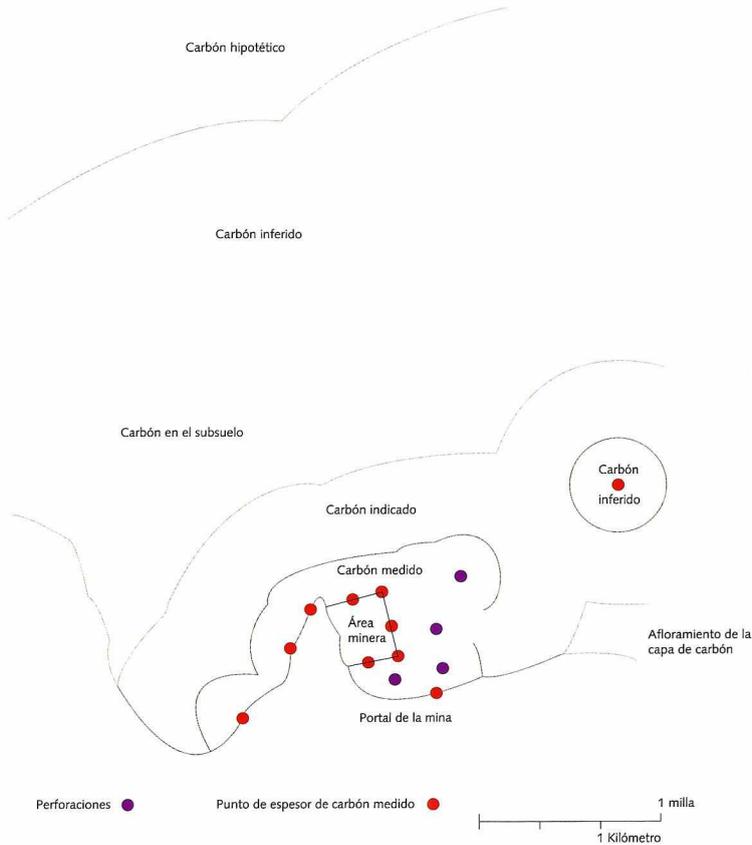


Figura 5. Determinación de las áreas de confiabilidad utilizando datos de puntos de medición de una mina y perforaciones, a lo largo de una línea de afloramiento.

Fuente: Wood et ál., 2003.

Cálculo de áreas cuyos mantos superan los 25° de inclinación

En la medida que aumenta el ángulo de buzamiento de un manto de carbón resulta más complejo el cálculo de los recursos o de reservas de carbon. De acuerdo con Ecocarbón (1995). Cuando la inclinación de los mantos supera los 25°, los cuadrados se deforman, en la proyección ortogonal en planta, a rectángulos (figuras 6 y 7) con el lado mayor (250 m) paralelo al rumbo de los estratos. El lado menor, por el contrario, tiene una longitud que es función del coseno del ángulo de inclinación y que se obtiene multiplicando el lado del cuadrado por el coseno del ángulo de inclinación.

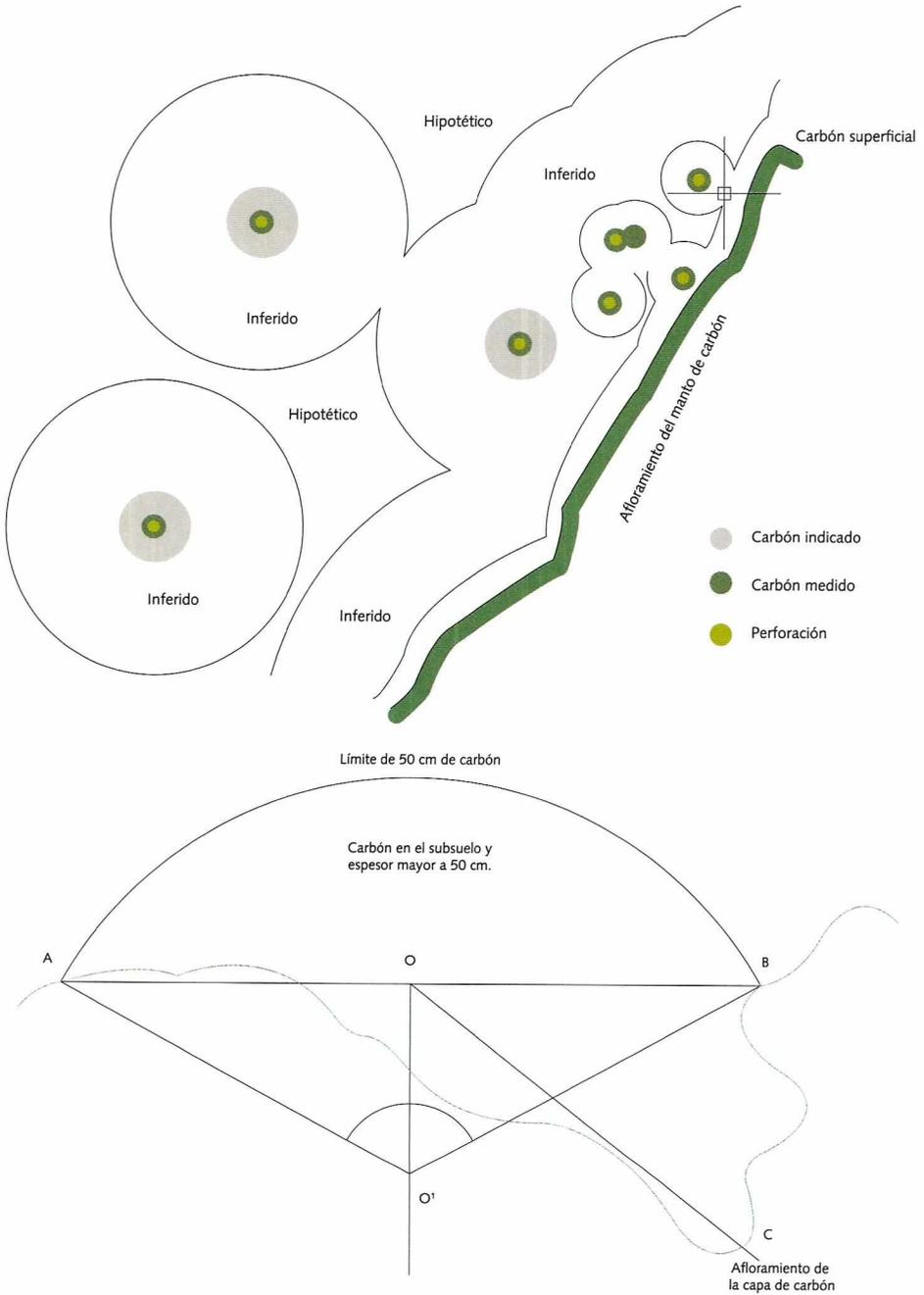


Figura 6. Ilustración para mantos de carbón con buzamiento mayor de 25°.

Fuente: Wood et ál., 2003.

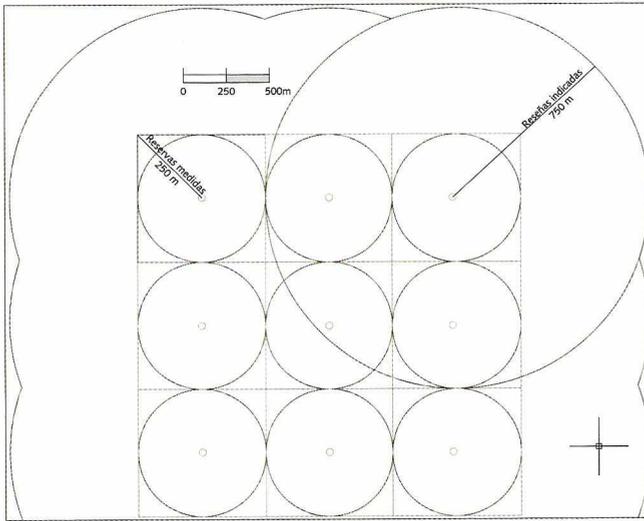


Figura 7. Distribución regular de puntos de control con áreas de influencia de círculos.
Fuente: Wood et ál., 2003.

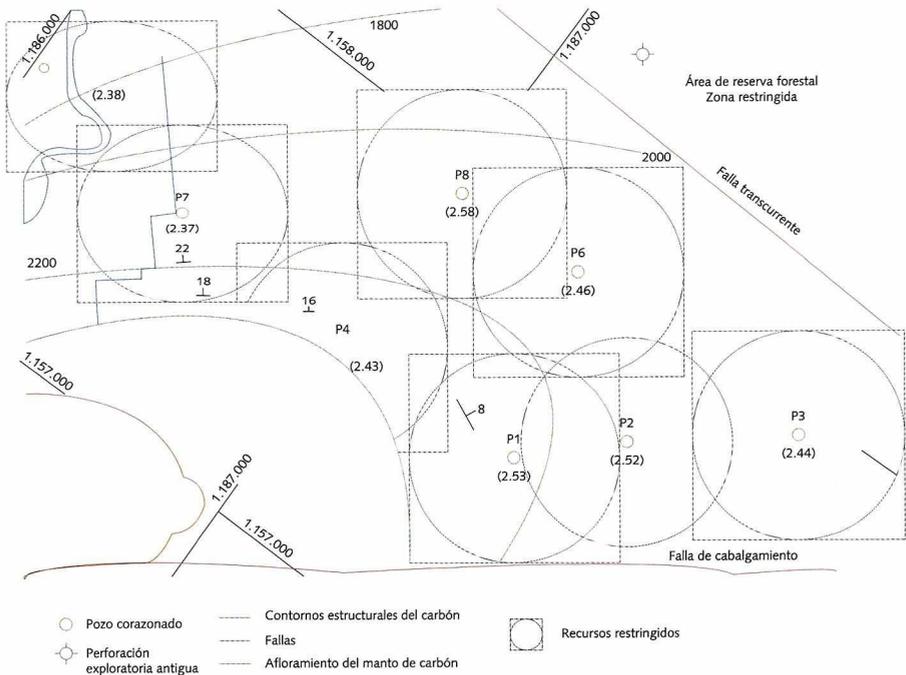


Figura 8. Cálculo de área de influencia con el sistema de cuadrados circunscritos a los círculos.
Fuente: Ecomcarbón, 1995.

Para calcular recursos y reservas, se puede proceder de dos maneras: en primer término, considerando los círculos de influencia apoyados sobre la superficie del manto, y en segundo lugar, midiendo las áreas de los círculos en planta. En el primer caso, el área medida corresponde a la superficie del carbón y la cifra obtenida es la real, mientras que en el segundo las cantidades calculadas van divididas por el coseno del ángulo de inclinación del manto, para obtener el tonelaje efectivo (Wood et ál., 1983, pp. 40-42, en Ecocarbón, 1995).

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 cual complica al lector para que capte la información adecuada, en ambos casos. Adicionalmente, cuando se tiene una malla regular de sondeos, por ejemplo, cada 500 m, al aplicar el radio de influencia por el método de los círculos queda siempre un espacio entre los puntos de contacto de las circunferencias, siendo poco práctico asignar esos espacios a las reservas indicadas. La definición que dispone que los puntos de control deban estar espaciados cada 500 metros para “medir” recursos en toda el área de influencia de la malla, contrasta con la apreciación de que se dejan espacios intermedios, los cuales representan el 21,5% de la superficie de toda la malla. Aunque se disponga de una distribución romboidal desde los puntos de medición, se presentarán espacios entre los puntos de influencia. Para obviar todos estos problemas, a causa de la deformación de los círculos por proyección, se deben considerar los cuadrados circunscritos a los círculos (figuras 8 y 9).

Por tanto, en este caso se propone que los recursos se calculen con base en el área de los cuadrados circunscritos a los círculos de influencia de cada punto de información (tablas 3 y 4), considerándolos apoyados sobre la superficie de los mantos: los cuadrados van orientados con uno de los lados paralelo al rumbo de los estratos (si éstos se encuentran inclinados), o a la dirección principal de las fallas, o a la traza del manto del carbón, o a los límites arbitrarios del bloque.

De este modo se explica la metodología para calcular las áreas de influencia de cada punto de información, con la construcción de los cuadrados y rectángulos, para las categorías de medido e indicado. Los volúmenes están calculados en dos formas, que corresponden a las dos maneras de promediar los espesores de los mantos: por media aritmética entre áreas comunes, o por

líneas isópacas. La diferencia en la estimación de las cifras entre estas dos formas de cálculo es inferior al 1%, lo cual indica que ambos procedimientos son básicos.

Tabla 3. Cálculo de las áreas y volúmenes referentes a la figura 8

Punto de medición	Área de cálculo	Influencia con	Área horizontal	Inclinación (°)	Área inclinada (m ²)	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Clase de volumen
P1	5	P4	25.200	20	26.817	2.480	66.507	Medido
	6		125.250	10	127.182	2.530	321.771	
	7		4.000	12	4.089	2.495	10.203	
	8		8.400	17	8.784	2.503	21.986	
	10	P6	87.150	6	87.630	2.525	221.266	
		P6,P2						
		P2						
P2	9	P6	25.600	3	26.273	2.490	65.421	Medido
	11		94.350	6	94.870	2.520	239.072	
	12		34.500	9	34.930	2.480	86.627	
		P3						
P3	13	P3	214.150	5	214.968	2.440	524.522	Medido
	26	P2	45.850	5	46.025	4.480	114.142	Indicado
P4	2	P7	21.850	16	22.731	2.400	54.553	Medido
	3		85.681	16	89.134	2.430	216.595	
	4		32.625	22	35.188	2.505	88.147	
		4P8						
P5	18	P7	11.288	41	14.957	2.375	35.522	Medido
	19		106.300	44	147.774	2.380	351.703	Medido
	20		23.125	41	30.641	2.375	72.772	Medido
	21		162.275	43	221.883	2.440	541.395	Indicado
		P7						
		P7,P8						
P6	14	P8	148.718	10	151.012	2.460	371.490	Medido
	15		63.282	15	65.514	2.520	171.096	Medido
	25		89.350	5	89.691	2.460	220.641	Indicado
		P8						
		P3						
P7	1	P3	123.956	26	137.914	2.370	326.855	Medido
	22		39.781	22	42.905	2.380	102.114	Indicado
P8	16	P1,P2,P3	154.093	22	166.195	2.580	428.782	Medido
	17		10.150	15	10.508	2.504	26.312	Indicado
		P4,P6						Indicado
	24	P6	55.975	36	69.189	2.520	174.356	
	23	P7	29.750	38	37.753	2.475	93.439	
						Total	4.941.289	

Fuente: Ecocarbón, 1995.

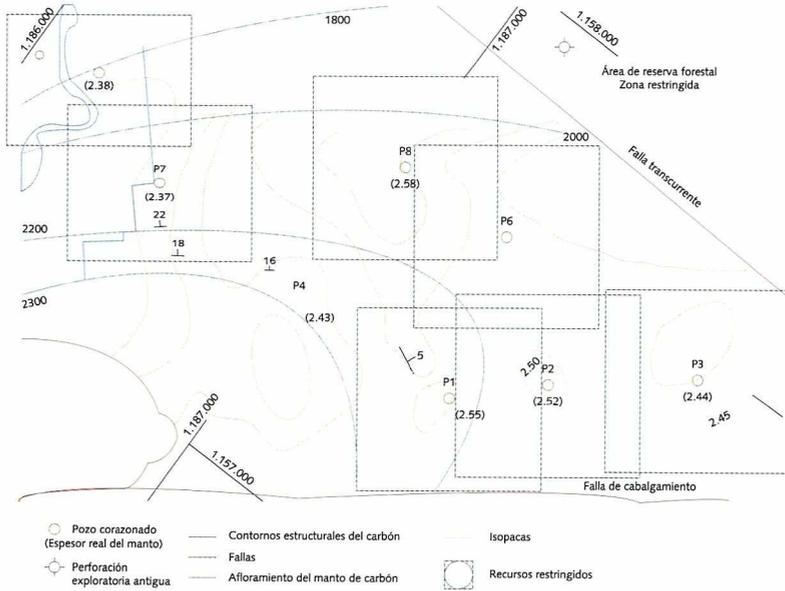


Figura 9. Cálculo de áreas de influencia con el sistema de cuadrados circunscritos a los círculos (espesores de isópacas).

Fuente: Ecocarbón, 1995.

Tabla 4. Cálculo de las áreas y volúmenes referentes a la figura 9

Punto de medición	Área de cálculo	Influencia con	Área horizontal	Inclinación (°)	Área inclinada (m²)	Espesor (m)	Volumen (m³)	Clase de volumen
P1	5	P4	25.200	20	26.817	2.475	66.373	Medido
	6		125.250	10	127.182	2.475	314.776	
	7		4.000	12	4.089	2.50	10.223	
	8		8.400	17	8.784	2.475	21.740	
	10	P6, P2	87.150	6	87.630	2.48	217.323	
P2	9	P6	25.600	3	26.273	2.475	65.027	Medido
	11		94.350	6	94.870	2.48	235.277	
	12		34.500	9	34.930	2.47	86.277	
P3		P3						
	13	P3	214.150	5	214.968	2.45	526.672	Medido
P4	26	P2	45.850	5	46.025	2.45	112.762	Indicado
	2	P7	21.850	16	22.731	2.46	55.917	Medido
	3		85.681	16	89.134	2.46	219.269	
	4		32.625	22	35.188	2.475	87.088	
	4P8							
P5	18	P7	11.288	41	14.957	2.35	35.148	Medido
	19		106.300	44	147.774	2.38	351.703	Medido
	20		23.125	41	30.641	2.357	72.006	Medido
	21		162.275	43	221.883	2.35	521.425	Indicado
		P7, P8						

(Cont.)

P6	14		148.718	10	151.012	2.465	372.245	Medido
	15		63.282	15	65.514	2.525	165.424	Medido
	25		89.350	5	89.691	2.45	219.144	Indicado
		P8 P3						
P7	1		123.956	26	137.914	2.39	329.614	Medido
	22		39.781	22	42.905	2.35	100.827	Indicado
P8	16		154.093	22	166.195	2.35	423.796	Medido
	17		10.150	15	10.508	5.525	26.533	Indicado
		P1,P2,P3 P4,P6						Indicado
	24	P6	55.975	36	69.189	2.50	172.973	Indicado
	23	P7	29.750	38	37.753	2.465	93.062	Indicado
						Total	4.902.954	

Fuente: Ecocarbón, 1995.

Aplicación de metodologías para el cálculo de recursos en la evaluación de carbones

A manera de resumen, se puede decir que el sistema de Clasificación de recursos y reservas propuesto por Ecocarbón en 1995 ilustra dos métodos teóricos a utilizarse en la definición de las áreas donde se quiera calcular los recursos o reservas de carbón dentro de una determinada categoría de certeza geológica la cual está relacionada con la existencia de una cantidad de recursos y resulta directamente proporcional a la distancia entre puntos donde se ha medido, muestreado y obtenido datos geológicos respecto a su estratigrafía, estructuras, correlaciones entre mantos de carbón, profundidad, rango, calidad, espesores, extensión superficial, etc., entendiéndose, que el grado de certeza geológica aumenta con la cercanía de los puntos de medición.

El primer método es el propuesto por Word et ál., (1983) propone la definición de áreas circulares con origen en los puntos de medición, construyendo arcos a las distancias establecidas para las diferentes categorías de recursos. El método es aplicable en zonas con bajos buzamientos ($<10^\circ$), pero al tener buzamientos mayores, el círculo se deforma a elipses, lo cual complica el cálculo de las áreas.

El segundo método propone trazar cuadrados circunscritos a los círculos de influencia de cada punto donde se hizo medición, estos cuadrados van orientados con uno de los lados paralelo al rumbo de los estratos o a la traza del manto; cuando el buzamiento de los mantos es mayor de 15° , los cua-

drados se deforman en rectángulos, con el lado mayor paralelo al rumbo de los estratos y el lado menor con longitud en función del coseno del ángulo de inclinación.

Este segundo método aplica mejor para las condiciones geológicas de los carbones en Colombia, ha sido aplicado en sus momentos para el cálculo de recursos y reservas por Ecocarbón, Minercol y actualmente Ingeominas. Genera algunas dificultades para su aplicación en zonas donde los mantos presentan altos grados de inclinación ($>70^\circ$) en escalas mayores de 1:5000.

Aplicando este segundo método el grupo de Exploración de Recursos Energéticos de la Subdirección Recursos del Subsuelo de Ingeominas (2008) evaluó los recursos carboníferos en el área de Úmbita-Laguna de Tota (Boyacá). Inicialmente se realizó la cartografía geológica a escala 1:25.000, el levantamiento de columnas estratigráficas de la Formación Guaduas, ubicación geográfica de puntos de control de los mantos de carbón tomando el espesor, rumbo, buzamiento y recolección de muestras para análisis físicoquímicos. Teniendo en cuenta las características geográficas y geológicas, se dividió el área en Sectores y Bloques carboníferos. Con esta información se elaboran los mapas de cálculos donde se ubican los puntos de control, la traza del manto, los contornos estructurales, los valores límites y las áreas de cálculo.

En las figuras 10, 11 y 12 se muestran tres ejemplos del cálculo de recursos realizado en el proyecto “Recursos Carboníferos área Úmbita-Laguna de Tota”. Se utilizaron mapas de contornos estructurales de los mantos de carbón, sobre los cuales se generaron áreas de cálculo en las diferentes categorías; estos mapas están conformados por diferentes puntos, líneas y áreas que identifican los valores límites para la evaluación de recursos; los puntos marcados con la iniciales GUS (Bloque Guayabal Sur), NC (Bloque Nuevo Colón) y SN (Bloque Sisa Norte) corresponden a los puntos de control donde se identificó el manto de carbón; en color azul se representó la traza del manto en superficie; en color negro se realizaron los contornos estructurales; el nivel de base se representó en color rojo; y la profundidad en color verde. Las áreas sombreadas en diferentes colores representan el grado de certeza de los recursos a medir, de esta forma, el área delimitada en color rojo identifica los recursos medidos, el área de color marrón representa los recursos indicados, el color marrón claro, los recursos inferidos y por último lo de menor

certeza y más alejados de los puntos de control en color lila representan los recurso hipotéticos.

Cálculos con buzamientos bajos (menores de 30°)

En la figura 10 se puede observar la deformación moderada de los cuadrados debido a que la inclinación del manto oscila entre 18° y 30°. Las áreas de cálculo se denominaron con la letra L y se subdividieron de acuerdo a la categoría de los recursos y la influencia que tienen los puntos de control (tabla 5).

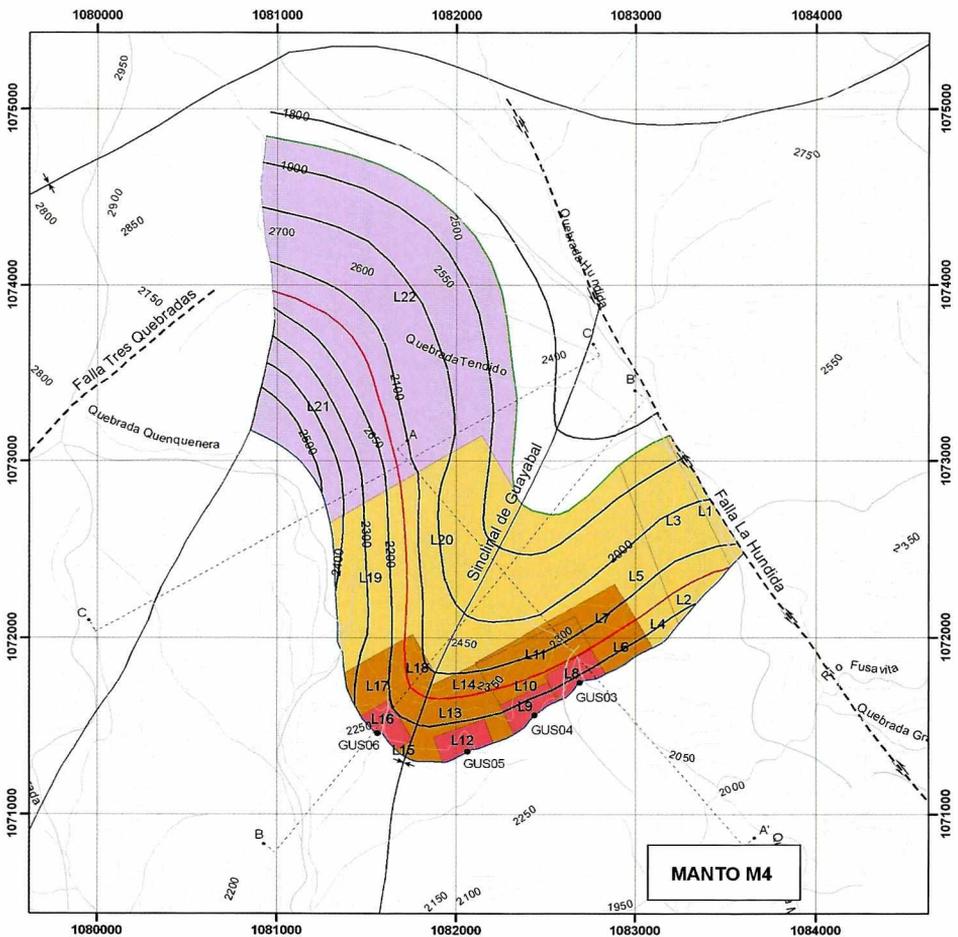


Figura 10. Ilustración de aplicación de los valores límites.

Fuente: Ingeominas, 2008.

Tabla 5. Cálculo de recursos sector Úmbita-Rondón, Bloque Guayabal Sur, manto 4

Área	Punto control	Área horizontal (m ²)	Inclinación (°)	Área inclinada (m ²)	Espesor (m)	Recursos							
						Medidos (ton)		Indicados (ton)		Inferidos (ton)		Hipotéticos (ton)	
		Gravedad		Gravedad		Gravedad		Gravedad		Gravedad			
		A favor	En contra	A favor	En contra	A favor	En contra	A favor	En contra	A favor	En contra		
L1	GU505	68.146,77	30	78.689,11	0,80								
L2	GU505, GU506	35.629,57	28	40.352,98	0,90			49.755,23		86.243,27			
L3	GU505, GU506	274.833,44	28	311.268,12	0,90					383.793,60			
L4	GU505, GU506, GU507	37.009,76	24	40.512,23	1,10			61.051,92					
L5	GU505, GU506, GU507	656.470,40	24	718.596,32	1,10					1.082.924,65			
L6	GU505	53.253,28	30	61.491,59	0,80			67.394,78					
L7	GU505	88.260,38	30	101.914,31	0,80				111.698,08				
L8	GU505	45.230,26	30	52.227,41	0,80			57.241,24					
L9	GU506	43.259,77	25	47.731,87	1,00			65.392,67					
L10	GU505, GU506, GU507	27.827,56	24	30.461,06	1,10			45.904,81					
L11	GU505, GU506	122.823,66	28	139.106,40	0,90				171.518,19				
L12	GU507	44.049,77	18	46.316,57	1,50			95.180,76					
L13	GU506, GU507	119.024,05	22	128.371,57	1,25			219.836,32					
L14	GU506, GU507	40.876,16	22	44.086,36	1,25				75.497,89				
L15	GU508	3.432,01	30	3.962,94	1,50				8.143,85				
L16	GU508	38.433,93	30	44.379,68	1,50			91.200,24					
L17	GU508	123.076,33	30	142.116,30	1,50			292.049,01					
L18	GU508	38.006,33	30	43.885,93	1,50				90.185,59				
L19	GU508	344.436,02	30	397.720,46	1,50				817.315,54				
L20	GU508	525.181,80	30	606.427,71	1,50				1.246.209,94				
L21	GU508	618.283,89	30	713.932,74	1,50						1.467.131,78		
L22	GU508	1.633.604,70	30	1.886.324,23	1,50							3.876.396,29	
Totales													
GE = 1,37													
						309.014,90		625.184,92	448.899,75	936.266,54	2.799.170,45	1.467.131,78	3.876.396,29
						309.014,90		1.074.084,67	3.735.436,99			5.343.528,07	

Fuente: Recursos carboníferos área Úmbita-Laguna de Tota, Ingeominas, 2008.

En la figura 12 se muestra de una manera didáctica la deformación que sufre el cuadrado (representado en color morado), generado por el punto de control PC, al ser proyectarlo en un plano horizontal (rectángulo de color verde), donde el área superficial del rectángulo es menor que el área del cuadrado inclinado.

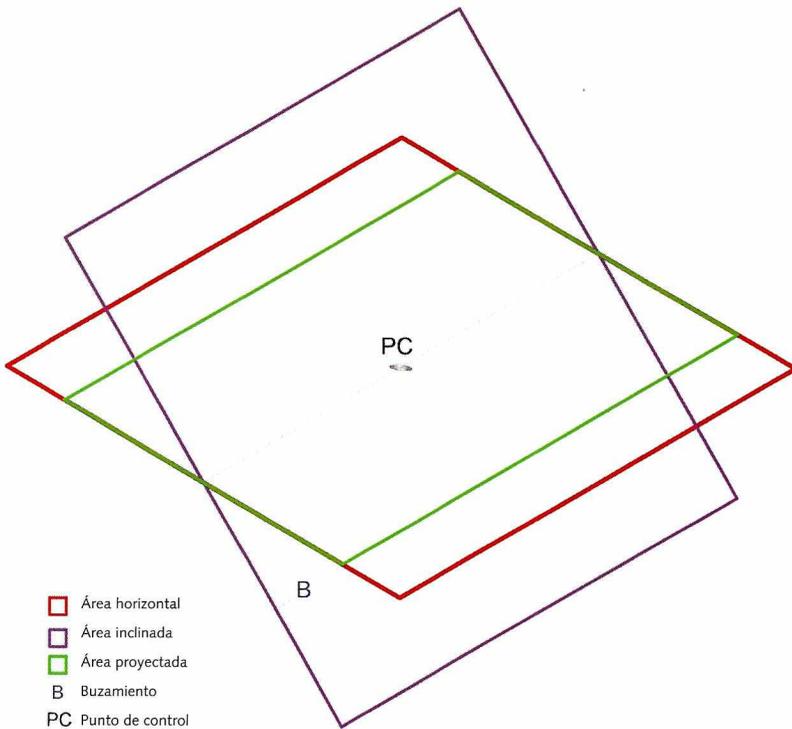


Figura 12. Ilustración de distribución geométrica de las áreas para ejemplo de manto de carbón con buzamiento menor de 70° .

Fuente: Ingeominas, 2008.

El área proyectada se obtiene mediante el programa ARGIS.2

$$\text{Área inclinada} = \text{área proyectada} * \cos B$$

Cuando los ángulos de buzamiento son superiores a 10° e inferiores a 70° , se puede observar que la proyección del manto en la horizontal se empieza a deformar y se hace necesario realizar la corrección del área inclinada mediante el coseno del buzamiento para obtener un valor real del área inclinada.

Buzamientos altos (mayores de 70°)

En el bloque Sisa Norte, los mantos de carbón tienen un buzamiento mayor de 80° y la escala de trabajo es 1:25.000, situación que genera gran inconveniente al generar los contornos estructurales, puesto que la distancia entre cada uno de ellos es menor y tiende a superponerse y el área proyectada en el plano horizontal se disminuye de una manera radical, que no es posible representarla en el plano en planta.

Para este manto se realizó un corte paralelo al rumbo del manto denominado corte longitudinal (figura 13), debido a que por el alto grado del buzamiento, la traza del manto tiende a ser recta o presenta muy poca variación con el rumbo del manto y por lo tanto, se tiene una representación del manto en un plano vertical. La tabla 7 muestra el cálculo de recursos correspondiente.

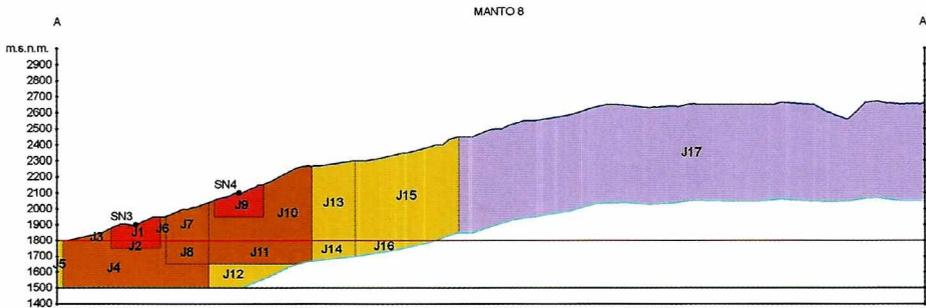


Figura 13. Ilustración para ejemplo de manto de carbón con buzamiento mayor de 70°. Fuente: Ingeominas, 2008.

Tabla 7. Cálculo de recursos sector Úmbita-Rondón, bloque Sisa Norte, manto 8

Área	Punto control	Área horizontal (m ²)	Inclinación (°)	Área inclinada (m ²)	Espesor (m)	Recursos											
						Medidos (ton)		Indicados (ton)		Inferidos (ton)		Hipotéticos (ton)					
						A favor	En contra	A favor	En contra	A favor	En contra	A favor	En contra				
J1	SN3	34.454,45	89	34.459,70	0,80	37.216,47											
J2	SN3	15.154,66	89	15.156,97	0,80	16.369,53											
J3	SN3	9.105,67	89	9.107,06	0,80	9.835,62											
J4	SN3	215.140,35	89	215.173,12	0,80		232.386,97										
J5	SN3	10.383,00	89	10.384,58	0,80					11.215,35							
J6	SN3	5.330,99	89	5.331,80	0,80		5.758,35										
J7	SN3, SN4	53.060,31	87	53.133,13	1,15		82.489,18										
J8	SN3, SN4	39.704,98	87	39.759,47	1,15		61.726,58										
J9	SN4	45.998,24	85	46.173,95	1,50	93.502,24											
J10	SN4	180.959,83	85	181.651,07	1,50		367.843,41										
J11	SN4	94.234,02	85	94.593,98	1,50		191.552,81										
J12	SN3, SN4	56.000,60	87	56.077,45	1,15					87.060,24							
J13	SN3, SN4	127.719,56	87	127.894,84	1,15					198.556,73							
J14	SN3, SN4	30.185,60	87	30.227,03	1,15					46.927,46							
J15	SN4	350.525,39	85	351.864,34	1,50					712.525,29							
J16	SN4	28.021,68	85	28.128,72	1,50					56.960,65							
J17	SN3, SN4	1.704.625,90	87	1.706.965,24	1,15					2.650.063,53							
Totales						130.718,71	16.369,53	465.926,56	485.666,35	911.082,02	202.163,70	2.650.063,53	-				
GE = 1,35						147.088,24	951.592,91	1.113.245,72	2.650.063,53								

Fuente: Recursos carboníferos área Úmbita-Laguna de Tota, Ingeominas, 2008.

Para ilustrar este caso, tenemos en la figura 14 un ángulo de buzamiento mayor (superior a 70), y se puede observar la gran deformación del cuadrado al ser proyectado en un plano horizontal.

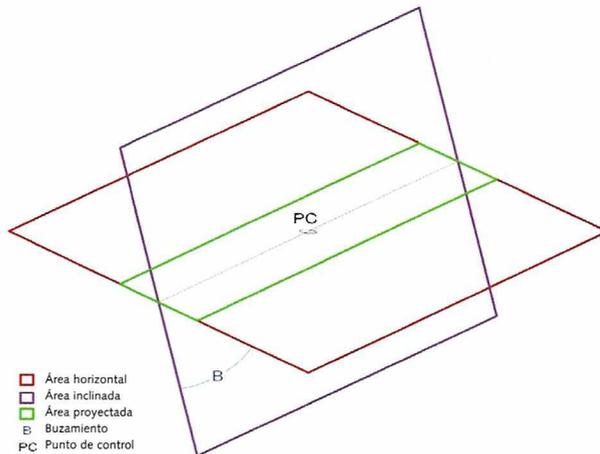


Figura 14. Ilustración de distribución geométrica de las áreas para ejemplo de manto de carbón con buzamiento mayor de 70°.

Fuente: Ingeominas, 2008.

En la figura 15 se realiza la proyección del cuadrado en un plano vertical (color azul), y se puede ver que la proyección del cuadrado no sufre mayor deformación lo cual minimiza el error y se facilita la representación gráfica.

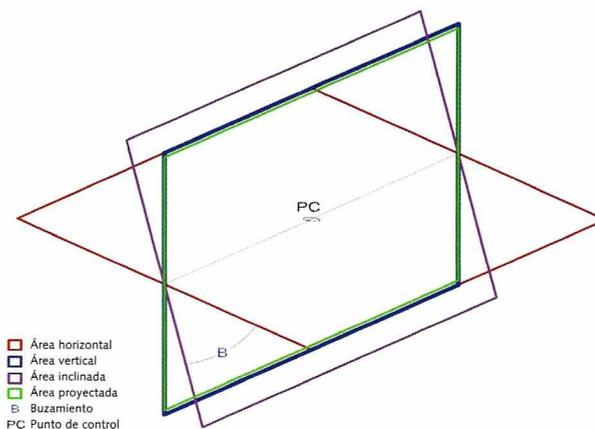


Figura 15. Ilustración de proyección del manto en un plano vertical.

Fuente: Ingeominas, 2008.

Área inclinada = área proyectada * sen B

Como la proyección se realiza en un plano vertical, la corrección del área inclinada se debe realizar mediante el seno del buzamiento.

Aproximación del tonelaje estimado

Se hace solamente, después de que se han completado todos los cálculos en sistema decimal, utilizando los datos sobre espesor del carbón y peso por unidad de volumen, sumando cada categoría de carbón. Este tonelaje estimado para cada categoría puede ser aproximado en cantidad significativa, en forma tal que no altere el tonelaje de carbón, en las áreas medidas e indicadas.

Estimación de recursos hipotéticos

En algunas áreas en donde la exploración geológica indica que el grado de información es deficiente en datos, sobre espesores de mantos, espaciamento y rango del carbón y existe una gran estructura geológica, con información en los flancos, se puede realizar una aproximación estimada hacia el centro de la misma, asumiendo que el centro de la cuenca o estructura geológica es potencialmente productora de carbón y que se puede incrementar el conocimiento sobre las áreas marginales de la cuenca o estructura geológica, potencialmente carbonífera, si se implementa con una mayor densidad de información, bien sea mediante perforaciones y/o geofísica, se puede pensar en el cálculo de reservas hipotéticas.

Cuando se conoce la secuencia litoestratigráfica del núcleo en una estructura sinclinal, emergente en cierta dirección, perforado mediante un "wildcat" o perforación exploratoria, corazonada, la cual permite conocer los espesores de los mantos de carbón, su calidad físicoquímica y rango, así como las intercalaciones de estériles, se puede asumir un espesor promedio de la relación carbón/estéril y por consiguiente aplicar este factor, a toda la estructura. Esta metodología se puede aplicar siempre y cuando se interpreten adecuadamente perfiles sísmicos de reflexión, "patronados", para poder asumir el volumen de recursos existentes.

Registros eléctricos en la exploración de carbón

Los registros geofísicos de pozos se usan para identificar los mantos de carbón y medir su espesor, así como el de las intercalaciones, dado que el carbón tiene varias propiedades físicas que contrastan respecto a aquellas de la mayoría de las rocas sedimentarias que lo contiene. Estas propiedades incluyen radiactividad natural, baja densidad y alta resistencia a la corriente eléctrica. Por tanto, los registros eléctricos proveen información sobre la posición, continuidad y correlación de los mantos de carbón, someros o profundos, permitiendo así la cuantificación de los recursos.

Los principales tipos de registros eléctricos, utilizados generalmente para reconocer y diferenciar los mantos de carbón y su espesor, englobados en la secuencia litológica son: Rayos Gamma, Resistividad y Porosidad (Densidad, Sónico, Neutrón), entre otros.

Registro de rayos Gamma (GR)

El registro de Rayos Gamma mide la radioactividad natural de las unidades de roca, que proviene de la degradación hacia isótopos estables de tres elementos presentes en las rocas: Uranio (U), Torio (Th) y Potasio (K). El decaimiento de estos elementos genera la emisión continua de Rayos Gamma naturales, los cuales pueden penetrar en la roca y pueden ser medidos utilizando un detector. Esta radioactividad natural es presentada en unidades API (“American-Petroleum-Institute”). Se trata de un registro muy útil para identificar zonas permeables debido a que estos elementos radioactivos se concentran en las lutitas o “shales” (impermeables) y son escasos en areniscas o carbonatos (permeables). Teniendo en cuenta que los elementos radioactivos están generalmente concentrados en los minerales arcillosos, este registro es además utilizado en la determinación de la arcillosidad (fracción lutita del volumen total de la roca) en las formaciones permeables.

Según Wood et ál (2003), el de Rayos Gamma es el registro geofísico más versátil ya que no requiere presencia de fluido en el pozo, es sensible a las variaciones en el diámetro del pozo y puede detectar los mantos de carbón a través del revestimiento, puesto que el carbón tiene una radioactividad natural baja en comparación con otras rocas. El carbón responde con bajas

cuentas de Rayos Gamma, por lo cual puede confundirse con las arenitas y las calizas, pero la combinación de este registro con los de Porosidad (Densidad, Sónico y Neutrón), da mayor certeza a la interpretación (figura 16). Esta misma combinación de registros puede ser usada para definir el espesor de capas, incluyendo las de carbón, tomando como referencia los puntos donde se presentan los cambios en la curvatura de los registros, es decir la transición entre los valores altos y bajos.

El registro de Rayos Gamma también tiene aplicación para aproximarse a la determinación de composición y rango del carbón. En consideración de Wood et ál. (2003), carbones altos en cenizas son registrados como más radioactivos que los carbones más puros (bajos en cenizas).

Registro de resistividad (RS)

Este método consiste en medir la conductividad eléctrica o capacidad que presentan las rocas de conducir la electricidad cuando están saturadas por agua. En términos generales, una roca seca es un buen aislante, salvo en casos que contenga minerales metálicos o grafito. Los registros de resistividad son utilizados para investigar lateralmente la zona profunda (o zona virgen) de las unidades de roca perforadas, por lo cual se conocen como “registros de resistividad profunda”.

Existen dos tipos de registro:

Inducción

Mide la conductividad de la formación, la cual se indica en el registro en unidades de $\text{mho}\cdot\text{m}/\text{m}^2$ (mho/m), que por ser una unidad muy grande, se utiliza preferiblemente en el milésimo de mho/m o $\text{milimho}/\text{m}$.

Laterolog

Este registro mide la resistividad de las unidades y la representa en $\text{ohm}\cdot\text{m}^2/\text{m}$, simplificado como $\Omega\cdot\text{m}$ ($\text{ohm}\cdot\text{m}$).

Estos registros se usan especialmente para determinar espesores de capas y saturación de agua, así como detección rápida de hidrocarburos. La resistividad de una roca varía según su dureza y el fluido que contiene y en general, las arcillolitas presentan resistividad comparativamente baja y constante sobre superficies amplias, debido a que es impermeable y está impregnada

con agua capilar de salinidad constante. Al contrario, las rocas compactas e impermeables como la caliza y el carbón, son altamente resistentes debido a su pequeño contenido de agua intersticial. Según Wood et ál. (2003) el registro de resistividad también puede dar información sobre la composición y rango del carbón, considerando que carbones altos en ceniza son menos resistivos que los bajos en cenizas.

En los registros de resistividad aparente se puede presentar dificultad para distinguir un manto de carbón de una arenita, por ello su interpretación se debe acompañar con otras clases de registros como los de Rayos Gamma y Porosidad (figura 16).

Registros de porosidad

De esta manera se agrupa una serie de registros eléctricos que aportan información sobre la porosidad de las rocas, entre los que se destacan los de Densidad, Sónico y Neutrón.

Registro de densidad

Mide la densidad media de la formación (en gr/cc), así como el factor fotoeléctrico (barns/electrón) en las proximidades de la pared del pozo. Para esto se usa una fuente radioactiva que es colocada en la sonda y que detecta el número de rayos gamma de baja energía. La densidad se determina a partir de los rayos gamma emitidos por la roca como respuesta al bombardeo de estos rayos desde una fuente ubicada en el pozo. A mayor densidad de la roca adyacente, más rayos gamma son absorbidos y menos retornan al detector (Wood et ál., 2003). El factor fotoeléctrico se aplica para una rápida identificación de la litología, evaluación de lutitas o “shales”, reconocimiento de minerales pesados en la formación y detección de presencia de gas, entre otras. El carbón presenta generalmente una densidad menor (radioactividad natural baja), comparada con el resto de las rocas, particularmente con los “shales” o arcillolitas, por lo que este registro es una herramienta importante de identificación, en especial si se combina con otros registros como el de Rayos Gamma (figura 16). Además, considerando que el registro de densidad debe ser corrido en pozos abiertos sin protección –en los cuales las paredes pueden estar destruidas–, para su interpretación y corrección es fundamental

contar también con el registro de *Caliper*, que mide el diámetro del pozo. Desde el punto de vista de Wood et ál. (2003), este registro también aporta información sobre composición y rango del carbón, en la medida que carbones altos en ceniza se pueden considerar más densos que los más bajos en cenizas.

Registro sónico

Mide el tiempo de tránsito de una onda acústica (generada por un transmisor) en la formación; el cual se representa por Δt , en unidades de $\mu\text{s}/\text{ft}$ (microseg por pie). Wood et ál. (2003) resaltan las siguientes consideraciones sobre este registro y su aplicación en carbones: la velocidad de la onda depende básicamente de la litología y la porosidad del tipo de roca; una disminución en la velocidad puede ser interpretada como un incremento en la porosidad. Teniendo en cuenta que los carbones son en general más resistivos que las rocas adyacentes, deben presentar menores velocidades de transmisión de las ondas acústicas. Este registro puede ser usado para determinar y delinear con precisión espesores de capas de carbón y para distinguir las de capas de caliza, que deben presentar mayor velocidad de propagación (menor porosidad). En cuanto composición y rango, Wood et ál. (2003) anotan que este registro también puede ser usado para obtener información, ya que comparativamente (por rango) un carbón de mayor rango, presenta mayor densidad y por lo tanto mayor velocidad de propagación de las ondas acústicas.

Registro de neutrón

Es similar al registro de Densidad y mide el índice de hidrógeno de la formación litológica, el cual es expresado en unidades de porosidad (Porosidad Neutrón o Φ_N). Registra las variaciones de intensidad de los rayos gamma resultantes de la inducción de neutrones en las formaciones de roca, a partir de una fuente radioactiva instalada en el pozo. Wood et ál. (2003) resumen el principio de aplicación de esta herramienta así:

en general, el número de rayos gamma y neutrones registrados al retornar a un detector, es inversamente proporcional al contenido de iones de hidrógeno en un determinado tipo de roca. Las curvas del registro pueden ser interpretadas para indicar el contenido relativo de fluidos de la roca y por consiguiente su porosidad y permeabilidad.

Para identificar capas de carbón, este registro se debe usar siempre en combinación con registros como *Caliper* para tener en cuenta las condiciones de las paredes del pozo y de Rayos Gamma y Densidad, los cuales son más precisos para determinar espesores de las capas de carbón.

Registro de potencial espontáneo

Aunque tienen menor aplicación en la identificación de mantos de carbón, otros registros eléctricos también pueden ser usados en conjunto con los mencionados anteriormente. El registro SP mide la diferencia de potencial eléctrico entre los distintos tipos de rocas (en milivoltios). La curva de potencial generalmente indica la invasión del fluido en la roca, en forma tal que una arenisca permeable se registra como una larga deflexión hacia la izquierda del registro. Hay muchas excepciones a esta generalización, como las mostradas en las deflexiones causadas por capas de carbón de alta porosidad; también hay curvas SP casi no perceptibles en secciones con carbón, donde la porosidad es registrada igual que el “shale” (Wood, et ál., 2003).

Registro *Caliper*

El registro *Caliper* indica el diámetro del pozo e identifica derrumbes en sus paredes, los cuales son más comunes en capas blandas. Este registro es fundamental para soportar interpretaciones de los registros de Densidad y Porosidad Neutrón, ya que éstos se toman en las paredes del pozo.

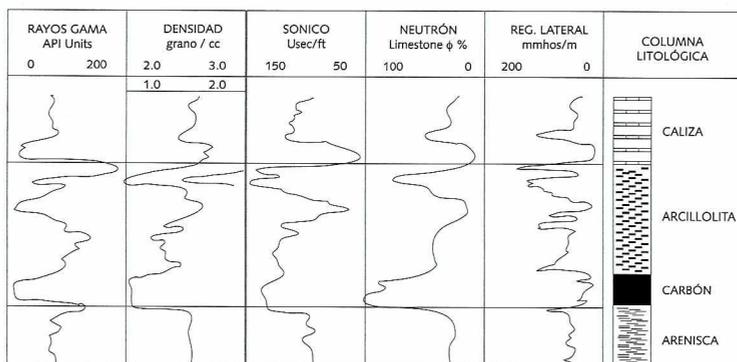


Figura 16. Ejemplo de registros eléctricos en exploración de carbón, tomados en una perforación.

Fuente: Wood et ál., 2003.

Normas jurídicas

En Colombia, la exploración y la explotación de los recursos mineros están regidas por las leyes 685 de 2001 y 1382 de 2010 (Código de Minas), y desde lo ambiental por la Ley 99 de 1993; igualmente, existen guías mineroambientales del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial e Ingeominas, para minería subterránea y cielo abierto.

En lo relacionado con el aspecto jurídico en zonas restringidas y excluidas para explotación minera, la compilación de Normas Mineras Concordadas, publicadas por Ingeominas (2006), indica que de acuerdo con el artículo 19 del Decreto 1745 de 1995 y el artículo 1 del Decreto 220 del 2003, concordadas también con los decretos 252 y 3577 del 2004 y el Decreto 220 del 2005, soportan claramente el artículo 34, que dice así: “No podrán ejecutarse trabajos y obras de explotación minera en zonas declaradas y delimitadas conforme a la normatividad vigente, como de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables o del ambiente y que, de acuerdo con las disposiciones legales sobre la materia expresamente excluyan dichos trabajos y obras”.

Las zonas de exclusión mencionadas serán las que se constituyan conforme a las disposiciones vigentes como áreas que integran el sistema de parques nacionales naturales, parques naturales de carácter regional y zonas de reservas forestales. Estas zonas, para producir estos efectos, deberán ser delimitadas geográficamente por la autoridad ambiental con base en los estudios técnicos, sociales y ambientales, con la colaboración de la autoridad minera, en aquellas áreas de interés.

Para que puedan excluirse o restringirse trabajos y obras de exploración y explotación minera en las zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables o del ambiente, el acto que las declare deberá estar expresamente motivado en estudios que determinen la incompatibilidad o restricción en relación con las actividades mineras.

No obstante la autoridad minera, previo acto administrativo fundamentado de la autoridad ambiental que decreta la sustracción del área requerida, podrá autorizar que en las zonas mencionadas en el presente artículo, con excepción de los parques, se puedan adelantar actividades mineras en forma restringida o sólo por determinados métodos y sistemas de extracción que no afecten los objetivos de la zona de exclusión. Para tal efecto, el interesado

deberá presentar los estudios que demuestren la compatibilidad de las actividades mineras con tales objetivos”.

Finalmente, el artículo 269 indica: “Se prohíbe verter a las corrientes agua contaminada con residuos sólidos o líquidos sin tratar”.

Además, en áreas de nacimientos de aguas y zonas de páramos, la restricción para desarrollar trabajos de minería del carbón debe ser total. ■

Capítulo 3

GLOSARIO



Afloramiento: exposición total o parcial de un manto de carbón, visible sobre la morfología superficial de la tierra, independientemente de su espesor o de la clasificación litoestratigráfica, formal o informal, que la representa. //Por tanto, una sola capa de carbón puede constituir un afloramiento.

Aglomerante: se refiere al carbón cuyo residuo de la determinación de materia volátil es aglomerante capaz de soportar un peso de 500 gramos sin pulverizarse, o un botón que muestra hinchamiento o estructura en celdas (Wood et ál., 1983).

Agotamiento acumulado: suma en toneladas de todo el volumen del carbón extraído y de las pérdidas de minería, antes de la fecha de los cálculos, para un área específica, efectuada sobre un manto de carbón definido. //Este agotamiento puede subdividirse, según clases y grupos de carbón, por intervalos de profundidad, por intervalos de espesor, métodos de minería, por área de producción, etcétera.

Agua de constitución: aquella químicamente ligada a la materia mineral y que permanece en el carbón después de determinar la humedad total.

Análisis de los valores límites: límites establecidos, de los parámetros básicos, que se deben utilizar en la evaluación de recursos y reservas de carbón en Colombia, relacionados con calidad, desnivel, distancia entre puntos de medición, espesor de los mantos de carbón, intercalaciones de estériles y profundidad de los mantos, así como de la explotación subterránea y a cielo abierto.

Análisis en base como se recibe: resultados analíticos calculados con base en la humedad de la muestra tal como llega al laboratorio, sin ningún proceso previo.

Análisis en base como se determina (o como se analiza): resultados con valores numéricos determinados de acuerdo con el nivel de humedad particular de la muestra en el momento del análisis, según las normas específicas.

Análisis en base húmeda, libre de materia mineral: resultado teórico del parámetro de calidad, calculado sobre datos analíticos básicos, expresado como si la materia mineral se hubiera removido y la humedad se hubiera mantenido. Se usa para determinar el rango del carbón.

Análisis en base humedad de embarque: valores numéricos obtenidos con base en la humedad total que posea la muestra en el momento de embarque.

Análisis en base humedad de equilibrio: resultado numérico de los parámetros de calidad, calculado con base en la humedad de equilibrio.

Análisis en base seca: valor teórico de un parámetro analítico básico, expresado como si la totalidad de la humedad asociada a la muestra se hubiera removido.

Análisis en base seca, libre de materia mineral: análisis teórico, calculado sobre datos analíticos básicos de una muestra de carbón y expresado como si la totalidad de la humedad y de la materia mineral se hubiera removido. //No es lo mismo “libre de materia mineral” que “libre de ceniza”.

Análisis en base seca y libre de cenizas: resultado de valores numéricos calculados en una base teórica de la muestra sin humedad ni ceniza.

Análisis fisicoquímico: determinación cuantitativa de las características físicas y químicas de un carbón, por medios experimentales.

Análisis granulométrico: clasificación de la muestra en fracciones por tamaños

de partículas, entre límites definidos y expresados en forma de porcentaje, en masa.

Análisis inmediato o próximo: en el caso del carbón y del coque, es la determinación, según los métodos prescritos, de la humedad, la materia volátil, la ceniza y el carbono fijo (por diferencia).

Análisis libre de cenizas: valor teórico del carbón resultante de un parámetro analítico, calculado a partir de datos analíticos básicos, expresado como si toda la ceniza se hubiera removido.

Análisis mineralógico de cenizas (elementos de las cenizas): análisis cuantitativo de los principales elementos constitutivos de las cenizas de un carbón, expresado como porcentaje de óxido SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 , SO_3 y otros componentes indeterminados.

Análisis último o elemental: determinación del contenido de cenizas, carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno (por diferencia) y azufre, según métodos prescritos.

Antracita, o antracítico: de acuerdo con la American Society for Testing and Materials (ASTM), es un carbón que, en la clasificación según el rango, está ubicado en la clase de los carbones no aglomerantes, con más del 86% de carbono fijo y menos del 14% de materia volátil en base seca, libre de materia mineral. Esta clase de carbón es divisible en grupos, como semiantracita o metaantracita, teniendo en cuenta el incremento de carbono fijo y el decremento de materia volátil.

Apique: excavación vertical de sección cuadrada que profundiza la capa superior del suelo, con el objetivo de conocer la presencia de un manto de carbón y unidades litológicas subyacentes.

Área carbonífera: superficie con un significado geográfico y otro geológico,

la cual comprende uno o más sectores carboníferos, donde se aprecian variaciones faciales laterales y verticales significativas y donde los rasgos estructurales indican sectorización debido a estructuras individuales.

B

Bloque carbonífero: superficie mínima subyacida por mantos de carbón, individualizada por medio de la combinación de datos estratigráficos y estructurales, de modo que en la exploración y en la explotación se pueda considerar una unidad con límites definidos.

BTU/lb (british thermal unit): cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de una libra de agua de 1 grado Fahrenheit (°F) a cerca de su punto de máxima densidad, esto es, a los 39,1 °F (Un BTU equivalente a 251.995 calorías gramo; 1054,25 julios; 1,05435 kilojulios; 0,25199 kilocalorías).

C

Cálculo de recurso o de reserva: determinación matemática de la cantidad o tonelaje de carbón existente en un área. //Un cálculo difiere de una evaluación. Esta última es un análisis de todos los datos concernientes con los recursos y las reservas de carbón de un área, con el objetivo de lograr un juicio sobre la naturaleza geológica y el potencial económico.

Calidad: conjunto de propiedades y de características físicas y químicas del carbón que, con sus valores, permiten su clasificación relacionada con su adecuación para un propósito particular. //La mayor parte del carbón se utiliza como fuente de calor, pero también tiene otros usos. Por tanto,

cualquier designación de carbón de alta calidad o carbón de baja calidad, etc., debe indicar claramente el uso óptimo o intencional.

Caloría/gramo (cal/g): cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de un gramo de agua de 15 a 16 °C., equivalente a 0,00396832 ETU o a 4184 julios.

Campo carbonífero: área abierta subyacida por rocas estratificadas, que encierran capas de carbón.

Capa: unidad de sedimentación que se ha depositado en condiciones físicas esencialmente constantes; está separada de las adyacentes por planos limitantes, conocidos como planos de estratificación.

- Carbón:** roca sedimentaria de color negro a negro castaño, combustible, que contiene más del 50% en peso y más del 70% en volumen, de material carbonoso, comprendida la humedad inherente; se formó de restos de plantas compactadas, endurecidas, químicamente alteradas y carbonificadas por calor y presión durante el tiempo geológico.
- Carbón bituminoso:** según la definición por rango presentada por la ASTM, es una clase de carbón alto en materia carbonosa, con menos del 86% de carbono fijo en base seca, libre de materia mineral, y más de 10.500 BTU/lb en base húmeda, libre de materia mineral. Esta clase puede ser aglomerante o no aglomerante, y es divisible en grupos, con base en el incremento de contenido calorífico y carbono fijo y en la disminución en materia volátil: alto en volátiles A, B y C, medio o bajo en volátiles.
- Carbón bruto:** aquel producto mineral, tal como sale de la mina, que no se ha sometido a ningún proceso de limpieza ni preparación.
- Carbón como sale de la mina** (*run of mine* o *rom*): carbón que no se ha expuesto a ningún tratamiento de trituración, molienda o beneficio, sino sólo a las operaciones utilizadas para su extracción en la mina, como voladuras o excavaciones.
- Carbón coquizante:** carbón que por sí solo produce coque, cuando se le somete a métodos convencionales de descomposición térmica en ausencia de aire.
- Carbón coquizable:** aquel que por sí solo no produce coque, pero que en mezclas con carbones coquizantes o empleando otros procedimientos de coquización no convencionales, sí lo puede producir.
- Carbón crudo:** similar al rom, pero ocasionalmente puede recibir algún tratamiento primario, como reducción de tamaño, por ejemplo.
- Carbón de hulla** (duro): aquel con un poder calorífico bruto mayor de 5700 kilocalorías /kg en base húmeda libre de cenizas.
- Carbón depurado:** aquel que ha sufrido un proceso de selección.
- Carbón explotable:** corresponde al carbón que se extrae o puede extraerse económicamente de una capa, durante la minería.
- Carbón impuro:** más frecuentemente llamado carbón con material estéril, es un carbón con un contenido de cenizas entre 25 y 50%, en base seca.
- Carbón lavado:** aquel depurado por vía húmeda.
- Carbón metalúrgico:** nombre informalmente reconocido para indicar un carbón bituminoso, apto para hacer coque. //En general, el carbón metalúrgico tiene menos del 1% de azufre y menos del 8% de cenizas, dependiendo de cómo se reciba. La mayoría del mejor carbón metalúrgico es un carbón bituminoso bajo a medio en volátiles.
- Carbón subbituminoso:** en la clasificación por rango, es una clase de carbón no aglomerante que tiene un poder

calorífico superior a los 8300 BTU/lb e inferior a los 11.500 BTU /lb, en base húmeda libre de materia mineral.

Carbón térmico: corresponde al carbón que por sus características fisicoquímicas no es apto para la fabricación de coque por métodos convencionales y cuyo uso final es la producción de energía.

Carbones fácilmente oxidables: carbones de bajo rango, tales como ligníticos o subbituminosos, con gran tendencia a la oxidación.

Carbón fijo: en el caso del carbón coque y materiales bituminosos, es el residuo sólido, diferente de la ceniza, obtenido por destilación destructiva, según métodos prescritos específicos. Valor calculado que se obtiene al sustraer de cien la suma de los porcentajes de humedad, cenizas y materias volátiles, todos los cuales deben estar en la misma base de referencia.

Cenizas: residuo inorgánico resultante de quemar las sustancias combustibles, cuya cantidad se determina por métodos normalizados. //Generalmente, la ceniza difiere en composición y cantidad con respecto a la materia mineral antes de ser quemado.

Certeza geológica: situación de seguridad o confianza sobre la existencia de una cantidad de recursos, basada en la distancia entre puntos de información, donde se mide el espesor y se muestrean los mantos de carbón, y sobre la abundancia y calidad de datos geológicos referentes a profundidad, rango, calidad, extensión superficial, historia geológica, estructura y corre-

laciones entre los mantos de carbón y las rocas suprayacentes y subyacentes.

Cinta de carbón: por convención, se indica con este nombre una capa de carbón de espesor inferior a los 0,40 metros.

Clases de carbón: corresponden a intervalos de un manto o muestra de carbón utilizados para calcular, apreciar y reportar dicha característica en cada intervalo, como espesores, niveles, profundidades, etcétera.

Coefficiente de variación: corresponde a la desviación estándar expresada como un porcentaje del valor absoluto del promedio, indicada como un porcentaje del valor absoluto del promedio aritmético. //En análisis de procesos de muestreo, se considera que si $CV > 10\%$ el proceso no marcha bien, si $CV < 10\%$ se considera un proceso normal, si $2\% < CV < 5\%$ el proceso marcha muy bien y si $CV < 2\%$ el proceso marcha excelente.

Complejidad geológica: se refiere de manera apreciativa a la frecuencia de cambios estratigráficos verticales y horizontales, y a su interrupción, representada por la intensidad de las deformaciones y dislocaciones de los mantos de carbón y rocas de una región. //Se expresa como moderada, marcada e intensa.

Concentración: acumulación superior a la normal de sustancias tales como carbón, elementos, compuestos y minerales: se aplica en dos sentidos: primero, concentraciones de material carbonoso en mantos que son extraíbles y segundo, concentraciones de

elementos, compuestos y minerales que se pueden adicionar o sustraer del valor del carbón.

Confiabilidad de las categorías: las categorías de certeza geológica se basan en la distancia entre puntos de medición y muestreo. Las categorías de recursos medidos, indicados, inferidos e hipotéticos, tal como se han definido, indican la relativa confiabilidad de los cálculos de tonelaje, en forma progresivamente relacional. //La confiabilidad de las categorías no indica la confiabilidad en los datos básicos, es decir, el cuidado en la medición del carbón o el cuidado en la localización de los afloramientos de carbón. Se presume que todos los datos básicos usados en los cálculos de recursos han sido juzgados ciertos por el geólogo que los evalúa, quien descarta todos los que no son confiables.

Contenido de azufre: cantidad de azufre total contenida en el carbón y expresada comúnmente en porcentaje. Se suele subdividir en cantidades de azufre inorgánico (pirita), azufre orgánico y azufre como sulfato. //Los compuestos del azufre son contaminantes, por lo que es muy importante conocer el contenido de azufre inorgánico, ya que este tipo de azufre puede reducirse más fácilmente que los demás.

Coque: producto sólido, carbonoso vesicular, proveniente del carbón, del petróleo o de otros materiales, por descomposición térmica en ausencia de aire, después de haber pasado por un estado plástico.

Correlación: demostración de la aparente continuidad de un manto de carbón entre puntos de control, medición o muestreo, por el hecho de mostrar correspondencia en las características de las secuencias litológicas adyacentes dentro de una unidad estratigráfica, definida como horizonte marcador o guía. //Las correlaciones entre mantos de carbón se basan en el conocimiento de la estratigrafía de las capas de carbón y de las rocas suprayacentes y subyacentes, y en las características de las capas individuales de carbón. La confianza en las correlaciones se incrementa de acuerdo con el conocimiento y la abundancia de datos. // Donde una capa de carbón se expone en forma continua a lo largo de un afloramiento de un tajo en una mina, la continuidad de una capa se vuelve un hecho y ya no es una correlación. Donde los datos indican que la correlación de una capa de carbón es probable o posible entre puntos de información dentro de un área, se pueden hacer cálculos de recursos para aquella capa de carbón sobre la totalidad del área. Sin embargo, donde un manto de carbón en un punto de información no puede ser correlacionado con mantos ocurrentes en otros puntos de información, o donde existe un solo punto de información, se pueden calcular recursos. Para aquel manto de carbón usando ese solo punto de información como centro de las áreas que definen los medidos, los indicados y los inferidos

Cuarteador: instrumento o divisor de muestras en el cual éstas caen a través

de varios espacios o canales paralelos, de ancho igual o uniforme; divide la muestra en dos partes de igual peso, aproximadamente, una de las cuales se retiene y la otra se descarta.

Cuelga: distancia entre dos niveles conocidos, sobre un manto de carbón inclinado, tomada perpendicularmente al rumbo de los estratos. Se utiliza para

calcular el volumen del carbón *in situ*, conociendo la longitud en el rumbo.

Cuenca: flexión deprimida de la corteza terrestre, en forma de cubeta alargada, normalmente de origen tectónico, donde se acumula una secuencia de rocas sedimentarias, con mayor espesor hacia el centro que la correlativa, depositada hacia los bordes.

D

Densidad: masa de carbón por unidad de volumen. //Generalmente se basa en la determinación de la gravedad específica.

Depósito: acumulación de mineral cuya concentración excede el contenido normal de esta sustancia en la corteza terrestre y cuyo volumen es tal que resulta interesante desde el punto de vista económico.

Desnivel: distancia vertical o diferencia altimétrica medida desde el nivel de base, hacia abajo, hasta la cota del manto de carbón. Se usa para indicar la distancia vertical dentro de la cual es todavía factible extraer económicamente, con métodos de minería subterránea, un manto de carbón con la gravedad en contra.

Desviación estándar: corresponde a la raíz cuadrada de la varianza.

Desviación sistemática (sesgo): desviación persistentemente positiva o ne-

gativa. Promedio de las desviaciones resultantes de una serie de observaciones que no tiende a cero.

Dilatometría: ensayo o técnica para medir la contracción y expansión del carbón en condiciones normalizadas.

Dilución: cambio de calidad que experimenta el carbón por efecto de la adición de material estéril, que se involucra con el carbón durante la explotación. El carbón producido de un manto es en realidad más impuro que lo indicado por los resultados de los análisis sobre la muestra del carbón *in situ*. //La dilución afecta también el porcentaje de recuperación y la relación de descapote.

División de muestra: proceso mediante el cual se disminuye la cantidad en peso de la muestra utilizando cuarteadores o divisores, sin cambiar el tamaño de las partículas.

E

Equivalencia: término correcto para referirse al concepto que expresa una correspondencia y continuidad entre capas distantes, basadas en características de las rocas, únicamente. // El término “correlación” implica una correspondencia basada en fósiles y en su significado temporal; por tanto, la utilización del término “correlación” es incorrecta cuando se quiere expresar correspondencia entre capas de carbón, sin que intervengan los fósiles. No obstante, el uso incorrecto de este último término está profundamente arraigado en el ambiente carbonero para sugerir su correcta aplicación.

Error: diferencia de una observación o un grupo de observaciones con el mejor estimado obtenido del valor verdadero.

Errores aleatorios: error que tiene igual probabilidad de ser positivo o negativo. El promedio de errores al azar, resultante de una serie de observaciones, tiende hacia cero, cuando el número de observaciones es muy grande.

Error sistemático (sesgo o bias): error persistentemente positivo o persistentemente negativo. El promedio de errores resultante de una serie de observaciones no tiende a cero.

Especulativo: grado más bajo dentro de la certeza geológica. Los cálculos de rango, espesor y extensión de un recurso de carbón se hacen con base en suposiciones sobre la existencia de depósitos similares conocidos, con situaciones geológicas favorables, o

suponiendo la existencia de tipos de depósitos desconocidos, aún no estudiados. // Las toneladas se calculan suponiendo el espesor del carbón, la extensión y el rango hasta una determinada profundidad. Hay sitios de evidencia geológica pero no sitios de medición en áreas de carbón especulativo.

Espesor: en un punto de medición, es la distancia mínima entre techo y piso de un manto de carbón, con el propósito de calcular recursos y reservas; tiene en cuenta el carbón neto y las intercalaciones estériles, de acuerdo con la metodología y los criterios preestablecidos.

Estado de equilibrio: condición alcanzada por la muestra cuando se seca al aire, donde el cambio en peso en condiciones ambientales de temperatura y humedad no es mayor de 0,1% por hora.

Estéril: se definen así el suelo y todos los sedimentos y rocas que cubren el subafloramiento de carbón; en este caso, toma el nombre de “estéril de cobertura u *overburden*”. Igual definición tienen las rocas que separan dos mantos de carbón, que en este caso toman el nombre de “estéril entre mantos o *interburden*”. // En algunos casos, es estéril también el manto de carbón cuya extracción no se considera conveniente. En general, en una operación minera se denomina estéril cualquier tipo de roca distinta del carbón explotable.

Estrato: sinónimo de capa.

Estudio de factibilidad: comprende toda la información técnica y económica que se utiliza finalmente en la evaluación de un proyecto minero y que lo habilita para tomar la decisión definitiva sobre su realización secuencial, teniendo en cuenta las etapas de inversión, desarrollo y explotación. El estudio de factibilidad debe suministrar adicionalmente una base comercial respecto a las inversiones que van a realizarse en un proyecto minero industrial, sus condiciones operativas y demás procedimientos asociados.

Estudio de prefactibilidad: evaluación técnica y económica, a nivel muy avanzado, de un proyecto de explotación de carbón, realizado fundamentalmente sobre las reservas disponibles de un yacimiento o parte de él, soportado por un plan definido de inversiones y costos sobre las diferentes etapas de un proyecto minero para decidir sobre la viabilidad del proyecto, o sobre la necesidad de hacer análisis más detallados. //Tratándose de un proyecto minero, debe existir información previa y documentación básica para establecer la credibilidad del estudio; por tanto la continuidad, calidad y configuración espacial de los mantos de carbón del depósito deben ser suficientes para preparar un plan minero realizable (aunque falto de detalles), que concluya con un programa de desarrollo y de producción minera, con sus correspondientes costos, inversiones e ingresos previstos, que permitan una evaluación económica preliminar. También deberá incluir el enfoque sobre los asuntos ambienta-

les, los permisos requeridos y las consecuencias que puedan tener leyes y reglamentaciones locales sobre todo el proceso minero.

Evaluación: análisis crítico, basado en las investigaciones y estudios disponibles, dirigido a juzgar la naturaleza geológica o el potencial económico de los recursos y reservas de carbón existentes en un bloque, sector, área, zona, región. //La evaluación difiere del cálculo, que es la determinación de la cantidad de carbón en un área. Estos cálculos pueden ser los principales datos usados para evaluar los recursos y reservas de carbón en un área.

Evaluación económica: proceso de estudio y análisis crítico progresivo de las reservas de carbón por categorías, desde la evaluación económica básica, hasta llevarlas a un nivel intermedio de prefactibilidad (reservas disponibles), y posteriormente, para completar el proceso, hasta el nivel de factibilidad, donde se definen las reservas explotables este término pertenece al ámbito de la evaluación técnica y económica de las reservas de un yacimiento carbonífero y está relacionado estrechamente con el grado de aprovechamiento de acuerdo con las etapas secuenciales de inversión, desarrollo y explotación, como proyecto minero. //Incluye, entre otros, información sobre estado legal, cantidad, calidad, mercado, demanda, suministro, costos, transporte, flujo de caja, capital y el procesamiento del carbón de una mina proyectada o existente. Esta información puede referirse en

bases preliminares o en información detallada (factibilidad). Por analogía se aplica a áreas, regiones, zonas.

Evaluación económica básica: análisis inicial, que involucra en la viabilidad económica de un proyecto minero parámetros de calidad y cantidad de recursos de carbón susceptibles de ser llevados favorablemente al nivel de estudio de prefactibilidad, teniendo en cuenta parámetros preliminares sobre la relación costo-beneficio.

Evaluación geológica: estudio y análisis de las condiciones técnicas y distribución espacial de las estructuras geológicas y características de los mantos de carbón presentes en un yacimiento; se sectorizan por bloques, de explotación potencial, mediante cálculos de recursos y reservas, en forma tal que puedan soportar una evaluación económica básica.

Evaluación técnica básica: proceso inicial que analiza, desde los puntos de

vista técnico y económico, el grado de densidad y validez de la información existente sobre los recursos medidos e indicados para estudiarlos y evaluarlos, con el propósito de definir si cumplen con los requisitos necesarios, para aceptarlos dentro de la categoría de reservas.

Exactitud: medida de la concordancia entre el valor experimental y el valor verdadero (o valor de referencia) de un análisis.

Explotable: susceptible de ser extraído con la actual técnica minera y con los actuales ordenamientos, reglamentos y restricciones ambientales y legales, dando utilidades económicas.

Extracción: proceso de remoción del carbón de un yacimiento.

F

Factor de extracción: porcentaje de carbón extraído de un manto donde el tonelaje total original es igual al 100%; por tanto, es el porcentaje real o calculado de carbón que se puede extraer o se extrajo de una o de varias capas de carbón pertenecientes a un bloque, área, o en general cualquier espacio geográfico definido.

Factor de recuperación: porcentaje explotado o explotable de un manto con respecto a la reserva total de éste.

Finos: carbón o coque con un tamaño de partícula menor de 10 mm.

Formas de azufre: compuestos de azufre pirítico, sulfato y orgánico, que contribuyen al contenido de azufre total del carbón.

Friabilidad: tendencia de un carbón a desmenuzarse o degradarse en tamaño, durante su manejo.

Fusibilidad de las cenizas del carbón: propiedad de una ceniza preparada en forma de cono y probada en condiciones controladas de atmósfera

(oxidante o reductora) y velocidad de calentamiento, para determinar ciertos estados de fusión y fluidez, definidos por puntos de temperatura crítica. //Se emplean las siguientes determinaciones: temperatura inicial de deformación, a la cual ocurre el primer redondeo de la punta del cono; temperatura de ablandamiento, a la

cual el cono se ha fundido a una masa esférica donde la altura es igual al ancho de la base; temperatura hemisférica, a la cual el cono se ha fundido a un punto tal, que la altura es la mitad del ancho de la base, y temperatura de fluidez, cuando la masa fundida se ha extendido en una capa llana con una altura máxima de 1,5 mm.

G

Grado: indica la clase de carbón definida por el contenido de azufre y por la cantidad y el tipo de ceniza u otras características de éste, de acuerdo con su posterior utilización.

Grado de aprovechamiento: se relaciona con el estudio, análisis y evaluación progresiva de las diferentes categorías de reservas de carbón (básicas, disponibles y explotables), teniendo en cuenta el incremento en los grados de seguridad técnica y económica; indica qué volúmenes de carbón son económicos y marginales, dentro de las reservas disponibles, y cuáles volúmenes son explotables, utilizando los mismos criterios económicos y marginales, pero fundamentados en un estudio de factibilidad más crítico y definitivo. El grado de aprovechamiento y el nivel de evaluación económica se analizan en conjunto para definir la ejecución de un proyecto minero.

Grado de seguridad técnica y económica: está constituido por dos variables estrechamente complementarias y relacionales –nivel de evaluación económica y grado de aprovechamiento– las

cuales presentan tres niveles de categorías secuenciales que se aplican a las reservas de carbón para evaluarlas integralmente, desde las básicas hasta las explotables, mediante estudios de prefactibilidad y factibilidad, para llevar confiablemente el proyecto a la etapa de inversión, desarrollo y explotación comercial rentable. //Los resultados de estos estudios definen el grado de aprovechamiento. El estudio de factibilidad dice si un recurso es económico o marginal. El estudio de prefactibilidad dice si un recurso es preeconómico o pre-marginal. La apreciación inicial no da grado de aprovechamiento a un recurso.

Gravedad específica: relación entre la masa de la unidad de volumen de carbón y la masa de igual volumen de agua a 4 °C.

Gravedad específica aparente: es aquella cuya determinación incluye materia mineral, humedad inherente y aire en los poros del carbón.

Gravedad específica verdadera: es aquella cuya determinación incluye la materia mineral, pero excluye el aire y el agua no combinada.

H

Hipotético (véase recurso hipotético). //

Los cálculos se hacen por prolongación de espesores, resultados de análisis de muestras y datos geológicos desde afloramientos, trincheras, explotaciones y perforaciones distantes más de 2250 metros. Esta distancia se mide sobre el manto de carbón, sin exceder la profundidad especificada para el carbón clasificado como recurso inferido. Los datos disponibles y el modelo geológico apoyan estas proyecciones.

Humedad: cantidad de agua determinada cuantitativamente por métodos normalizados, que varían según el tipo de humedad que se desee determinar.

Humedad de equilibrio: humedad inherente al manto de carbón en su estado natural de depósito y que queda incluida como perteneciente al acto del depósito, y no la humedad que se agrega desde la superficie. Se determina como la cantidad de agua en equilibrio contenida en el carbón, en una atmósfera comprendida entre 96 y 97% de humedad relativa, a una temperatura de 30 °C. //La humedad de equilibrio es equivalente a la humedad inherente y a la humedad de la capa, cuando las muestras se recolectan de acuerdo con

la norma ASTM D388. //La humedad de equilibrio no se iguala a la humedad (residual) que queda después del secado al aire.

Humedad de la capa: porcentaje de humedad o de agua en una capa o en una muestra de carbón, antes de extraerse de una mina.

Humedad libre: parte de la humedad total en un carbón que excede a la humedad inherente (o de equilibrio) de éste. Se denomina también humedad de superficie. Se determina como la cantidad de agua presente sobre la superficie de las partículas de carbón, en exceso de la humedad de equilibrio. Se llama también agua extraña.

Humedad residual: humedad que queda en la muestra de carbón después de que se han determinado las pérdidas de humedad por secado al aire.

Humedad total: totalidad de la humedad que existe en un carbón, en el sitio, en el tiempo y en las condiciones en las cuales se ha muestreado. Se aplica tanto al carbón que se ha extraído como al procesado, embarcado o utilizado en las prácticas comerciales. Cantidad de agua presente en la muestra, tal como se percibe y se determina por métodos normalizados.

I

Impureza inherente: material inorgánico en el carbón, que es parte estructural de éste y no puede separarse por métodos de beneficio.

Impureza libre: impurezas que existen en el carbón como partículas individuales, discretas, que no son parte estructural de éste y que pueden separarse por métodos de preparación.

Incremento: pequeña porción de carbón obtenida por una operación simple del incremento de muestreo y normalmente combinada con otros incrementos del lote, para formar una muestra bruta.

Indicado (véase recurso). // Los cálculos de la cantidad se ejecutan por prolongación de espesores, de datos geológicos, de rango y de calidad por una distancia de hasta 500 metros, comprendida entre los 250 y 750 metros, medidos a partir del punto de información, distancia que se mide sobre el manto de carbón y no puede superar la profundidad y el desnivel especificado para cada categoría. La recuperación de los núcleos de perforación ha de ser superior al 90%, y se debe disponer de registros geofísicos de las perforaciones, que confirman los resultados de las secciones columnares obtenidas con los núcleos o con los rípios. La correlación entre las capas de carbón y entre las rocas supra y subyacentes no garantiza la extensión lateral de la calidad y del espesor. En las áreas donde el carbón se da por indicado, no existen muestras ni sitios de medición. Sin embargo, se puede utilizar un solo punto de medición para clasificar como indicado el carbón que yace más allá del medido.

Índice de corrosión: número derivado de considerar los componentes básicos y ácidos de las cenizas de un carbón, junto con el contenido de sodio. Indica la propensión relativa de la ceniza de un carbón a causar corrosión o taponamiento (*fouling*) de las superficies convectivas de la caldera.

Índice de formación de escoria: número derivado de considerar los componentes básicos y ácidos de las cenizas de un carbón, junto con el contenido de azufre. Este índice intenta predecir el grado de formación de depósitos de escoria, fundidos sobre las superficies radiantes de la caldera.

Índice de Hardgrove (IHG): prueba estándar diseñada por Hardgrove para determinar las características de molabilidad (facilidad relativa con que un carbón puede molerse o pulverizarse) de una muestra de carbón.

Índice de hinchamiento libre: número que define, por referencia a una serie de perfiles patrones, la magnitud y forma del residuo producido, cuando una masa de carbón se calienta en condiciones normalizadas, de modo que el carbón pueda expandirse libremente en dirección perpendicular a la superficie de calentamiento. Se usa como indicativo de las propiedades de aglutinamiento del carbón.

Índice Gray King: parámetro que define, por referencia a una serie de perfiles patrones, la magnitud y textura del residuo producido cuando una masa específica de carbón se calienta en condiciones normalizadas de presión y temperatura. Generalmente se expresa por una letra y un número.

Índice Roga: método que mide el poder de aglutinación de un carbón y consiste en calentar la mezcla de éste y una sustancia inerte (antracita), en condiciones rigurosamente definidas, para determinar la resistencia mecánica del botón de coque formado.

Inferido (véase recursos). //Los cálculos se ejecutan por prolongaciones de espesores, de datos geológicos y de calidad desde afloramientos, apiques, destapes, trincheras, explotaciones y perforaciones, por una distancia de hasta 1500 metros, comprendida entre los 750 y 2250 metros, distancia medida sobre el manto de carbón y que no puede superar la profundidad y el desnivel especificados para cada categoría. No existen sitios de medición ni de muestreo en áreas de carbón inferido. No obstante, es suficiente un punto de información para clasificar como inferido el carbón que yace más allá del carbón definido como indicado.

In situ: expresión utilizada para referirse a características de una muestra to-

mada “en el sitio”, normalmente en un manto de carbón.

Intercalación: se refiere a cualquier roca diferente del carbón, dentro de un manto, con base en criterios y metodologías definidos; la intercalación puede considerarse separable del carbón o extraíble junto con éste.

Isovalores: corresponde al conjunto de valores de cualquier característica, determinados generalmente por técnicas de interpolación, de manera que al unirlos generen una curva que representa valores iguales de la característica o parámetro bajo análisis. //Cuando la característica es la profundidad, se denominan isobatas; si se consideran espesores, se llaman isópacas, etcétera.

J

Julio (j): unidad básica del sistema métrico decimal para medir trabajo o ener-

gía. Es igual a 1×10^7 ergs, 0,238662 calorías o 0,0009471 BTU.

K

Kilogramo (kg): unidad básica del sistema métrico decimal para medir el peso de los cuerpos. Es igual a 1000 gramos, 0,001 toneladas, 2,2046 libras, 0,0011023 toneladas cortas o 0,0009842 toneladas largas.

Kilómetro cuadrado (km²): un millón de metros cuadrados. Igual a 100 hectáreas o 247,10538 acres.

L

Labores de preparación: se refiere a los trabajos previos en una mina de carbón, para su extracción, mediante la construcción de socavones, guías, sobreguías, tambores, pozos verticales,

inclinados, cruzadas, vías de transporte, o mediante remoción del estéril de cobertura y minería parcial.

Lignito: clase de carbón carmelita a negro, de bajo rango, que tiene menos de

8330 BTU/lb en base húmeda libre de materia mineral.

Límite de repetibilidad: valor por debajo del cual la diferencia absoluta entre dos resultados de ensayos, de determinación de ensayos consecutivos y separados, realizados con la misma muestra, en el mismo laboratorio y por el mismo operador, usando el mismo equipo de muestras tomadas aleatoriamente de una misma cantidad de material homogéneo, se presenta con una probabilidad de 95% aproximadamente.

Límite de reproducibilidad: valor por debajo del cual la diferencia absoluta entre dos resultados de ensayo, realizados en laboratorios diferentes, usando muestras de carbón tomadas aleatoriamente del mismo material lo más homogéneo posible, se presenta

con una probabilidad del 95%, aproximadamente.

Línea de quema: contacto, en el subsuelo, entre carbón quemado y no quemado. En ausencia de información precisa, se presume que la posición de la línea de quema en el subsuelo está verticalmente por debajo del contacto, en superficie, entre roca alterada y no alterada.

Lodos crudos: finos menores de 0,5 mm que no han sufrido ningún proceso de depuración.

Lodos lavados: finos menores de 0,5 mm que han sufrido una depuración por vía húmeda.

Lote: cantidad discreta de carbón, para la cual se necesita determinar ciertas características con una precisión particular.

M

Manto: capa de carbón limitada por otras rocas en el techo (respaldo superior) y por otras rocas en el piso (respaldo inferior). Puede estar constituido solamente de carbón, o presentar separaciones o digitaciones paralelas a la estratificación, debidas a variaciones físicas del carbón o a intercalaciones de roca.

Marginal: grado de aprovechamiento de las reservas de carbón establecido mediante un estudio de prefactibilidad y factibilidad. Se refiere a las reservas que por condiciones técnicas presentes no son explotables en el momento, pero que podrían ser explotables

hacia el futuro, cuando se verifiquen los cambios técnicos y económicos posibles.

Materia mineral: material inorgánico, sólido, dentro del carbón. //En sentido estricto, el agua de constitución del carbón o agua químicamente ligada debe considerarse dentro de la materia mineral. Sin embargo, la interpretación más común de esta materia corresponde a los componentes inorgánicos sólidos presentes en el carbón en forma natural. Por eso su cálculo se basa en las determinaciones de cenizas y azufre.

Materia volátil: aquellos productos que se emiten por calentamiento, como gas y vapor, presentes en el carbón y distintos de la humedad, determinados según métodos prescritos. Corresponden a la pérdida de masa diferente de la humedad, cuando el carbón se calienta en ausencia de aire, según las normas de laboratorio correspondientes.

Medición incompleta o parcial del carbón: determinación del espesor incompleto del carbón en un punto de medición. //Las mediciones del espesor que son incompletas a causa de: hundimiento, cerca de la superficie, del carbón y de las capas suprayacentes; meteorización; penetración parcial de la perforación en la capa de carbón o pérdida del núcleo; erosión del techo del carbón, deben tratarse como puntos de medición desde los cuales se miden las áreas de influencia. El geólogo tiene que decidir si cada medición es completa o incompleta.

Medido (véase recursos). //La correlación entre capas de carbón y entre las rocas supra y subyacentes, así como el modelo deposicional y estructural, confirman la extensión lateral de las capas de carbón. Los mapas isópacos y de contornos muestran la continuidad y la posición espacial (estructural) de los mantos. //Los cálculos de la cantidad se ejecutan por prolongación de espesores, de datos geológicos y de calidad, sobre una distancia de hasta 250 metros a partir del punto de medición, distancia que se mide sobre el manto de carbón y que no puede superar la profundidad y el desnivel específica-

dos para cada categoría. Se establece que la recuperación de los núcleos de perforación debe ser superior al 90%, y que se debe disponer de registros geofísicos de las perforaciones que confirman los resultados de las secciones columnares obtenidas con los núcleos o con los ripios.

Mina: excavación subterránea o superficial realizada para extraer un producto mineral. Se aplica también al conjunto de labores e instalaciones para la explotación de los yacimientos de minerales o rocas de interés industrial.

Minería del carbón: utilización de equipos y maquinaria para extraer reservas medidas de un yacimiento de carbón, mediante métodos de explotación adecuados, según la clase de yacimiento.

Minería de superficie: extracción de carbón por métodos de minería a cielo abierto.

Minería subterránea: extracción del carbón o de sus productos por métodos subterráneos, tales como túneles, cámaras y pilares, tajo largo, etcétera.

Mixtos: subproducto de la obtención del carbón lavado, con un contenido de cenizas superior a éste.

Molturabilidad: índice de la facilidad relativa con que se puede pulverizar un carbón, en comparación con carbones escogidos como estándar.

Muestra: porción de material tomado de una gran cantidad, con el propósito de estimar sus propiedades o composición. //En programas de explotación, corresponde a una fracción

representativa de una capa de carbón recolectada por métodos aprobados, protegida de adulteración o meteorización, y analizada para determinar su composición química, mineralógica y petrográfica.

Muestra al azar: muestra seleccionada en forma tal, que todas las demás posibles, del mismo tamaño, tienen igual oportunidad de ser escogidas.

Muestra bruta: representa un lote de carbón, en el que éste se compone de un número de incrementos, donde no hay reducción ni división.

Muestra como se recibe: muestra de carbón tal como se recibe en el laboratorio.

Muestra de análisis: submuestra final preparada de la muestra bruta original, pero reducida para que el 100% pase a través de la malla 60 y dividida a no menos de 50 g.

Muestra de apiques, túneles o trincheras: porción de carbón, con volumen representativo, obtenida de un manto aflorante o subaflorante, obtenida a poca profundidad.

Muestra de canal: muestra obtenida mediante un corte uniforme y continuo, perpendicular a la estratificación, que se toma generalmente en la fase de exploración de un proyecto minero.

Muestra de camiones, vagones, barcasas y barcos: se toman para propósitos de control de calidad y no son adecuadas para investigación científica. El origen del carbón no está definido claramente, porque su calidad debe ajustarse a las especificaciones de los contratos de

compraventa. //Generalmente, estas muestras se toman durante la fase de producción de un proyecto y pueden obtenerse antes, durante o después del descargue. Deben utilizarse sólo cuando no haya posibilidad en banda transportadora.

Muestra de columna: está constituida por un bloque monolítico de carbón y representa el espesor total del manto. Se obtiene en la fase de exploración de un proyecto minero.

Muestra de entrega de carbón: muestra del carbón que se está entregando o se entregará al usuario.

Muestra de laboratorio: muestra preparada a partir de la muestra bruta, o muestra parcial entregada al laboratorio para la preparación de otras muestras con propósitos de prueba.

Muestra de lajas: muestra de un manto de carbón, tomada de lajas, separadas las unas de las otras por intercalaciones de roca diferente del carbón. //No se aplica a las diferencias petrográficas del carbón como vitrinita y exinita.

Muestra de mina: muestra de carbón recolectada de una mina, generalmente de un frente subterráneo o del tajo de una mina a cielo abierto.

Muestra de núcleos: muestras obtenidas de la perforación con taladro, mediante broca de diamante y tomamuestras con retenedor. Permite obtener muestras continuas de mantos profundos, con recuperación hasta del 100%.

Muestra de pilas: muestras de carbón tomadas de una pila de almacenamiento que puede contener carbón de uno

o varios mantos, tal como sale de la mina o limpio. El muestreo se hace con base en su masa y su metodología puede variar según su tamaño y conformación. La edad de la pila es de interés cuando se requieren muestras de carbón fresco.

Muestra de prueba: muestra preparada en tal forma que reúna los requerimientos para una prueba específica y de la cual se separan porciones de prueba.

Muestra de rípios: muestra de carbón tomada de los rípios que regresan a la superficie durante la actividad de perforación. Se efectúa con tricono. //No se recomienda tomarlas porque su comparación con las propiedades de muestras recogidas de manera convencional indica que son raramente representativas.

Muestra de trituradora: muestra recogida de una planta de trituración. Normalmente se recoge antes de lavar el carbón.

Muestra de volteo: muestra de carbón tomada en un mecanismo de volteo.

Muestra en bocamina: muestra de carbón tomada a la salida de la mina.

Muestra para humedad: muestra para determinar la humedad total.

Muestra representativa: muestra colectada de tal manera que todas las partículas en el lote que se van a muestrear queden igualmente representadas en la muestra bruta.

Muestra sistemática: muestra en la cual los incrementos se toman a intervalos

iguales de tiempo, espacio o masa en todo el lote o suministro.

Muestreo: proceso de recolección de un número de incrementos, para obtener una muestra representativa de una unidad de muestreo o lote, con el fin de determinar sus propiedades físicas y químicas. La proporción y la distribución de estas variables deben ser las mismas en la muestra y en el lote (o unidad de muestreo).

Muestreo con base en el tiempo: toma de incrementos realizada a intervalos de tiempo uniforme, a través de la unidad de muestreo

Muestreo con base en la masa: toma de incrementos efectuada a intervalos de masa uniforme, a través de la unidad de muestreo.

Muestreo continuo: toma de una muestra de cada lote o unidad de carbón recibido.

Muestreo duplicado: caso particular del muestreo repetido con dos submuestras.

Muestreo en banda transportadora: muestreo en el cual la toma de incrementos se realiza sobre una sección transversal a la banda y puede ejecutarse con la banda detenida o en movimiento. Permite obtener una muestra exenta de error sistemático.

Muestreo estratificado al azar: toma de incrementos hecha a intervalos de tiempo o masa determinados al azar.

Muestreo intermitente: recolección de incrementos de una misma unidad de carbón, pero no de otra.

Muestreo manual: recolección de incrementos con esfuerzo humano.

Muestreo mecánico: recolección de incrementos por medios mecánicos.

Muestreo repetido: muestreo en el cual se recogen los incrementos y se combinan rotativamente en recipientes diferentes, para formar dos o más muestras de igual masa, aproximadamente.

N

Nivel de base: cota de referencia local dentro de un bloque, sector, área o zona carbonífera, que sirve de límite para separar el carbón explotable por medio de minería subterránea a favor de la gravedad, del carbón explotable, en contra de ésta.

Nivel de patio: cota de acceso principal a una mina.

No económico: carbón que no se puede explotar o producir con rentabilidad

económica, el cual se excluye de la clasificación de los recursos. Incluye antracita, carbón bituminoso y subbituminoso de espesor inferior a 0,40 m; lignito de espesor inferior a los 0,75 m, y cualquier otro carbón que quede a una profundidad superior a los 1200 metros, salvo algunas excepciones muy locales.

O

Ocurrencias de carbón: manifestaciones de carbón observadas directamente en afloramientos, o identificadas y

medidas en minas, perforaciones y trincheras.

P

Partes por millón (ppm): unidad conveniente para expresar concentraciones bajas de un componente en el carbón, equivalente a una parte de un total de un millón de partes, mg/kg.

Pérdida en el secado: pérdida en peso expresada como porcentaje, que resulta de la operación de secado al aire.

Pérdida significativa: cualquier pérdida que introduzca un error en los resultados finales, que sea de importancia

económica apreciable para las partes interesadas.

Pérdidas de minería: carbón que queda en el subsuelo después que se ha completado su extracción o que se desecha como estéril. //Las pérdidas en minería incluyen carbón que: se deja para sostener el tudio de las minas o evitar la contaminación del mismo carbón; es demasiado delgado para ser extraído; se deja alrededor de pozos de aceite, gas y agua; se deja al-

rededor de pozos verticales (*shafts*) y de conducciones eléctricas y de agua; se deja como pilares adyacentes a los límites de la mina o de la propiedad; se deja adyacente a vías de transporte, túneles, aeropuertos y canales; es del todo irrecuperable por suprayacer muy cerca de una capa ya extraída; se deja entre propiedades mineras adyacentes, y se deja por muchas otras razones técnicas.

Plastometría: medida de la fluidez de un carbón en condiciones normalizadas.

Piso o respaldo inferior: roca inmediatamente subyacente a un manto de carbón, desde el punto de vista estratigráfico. //Donde las capas están invertidas, el piso estratigráfico es el tudio de minería.

Poder calorífico bruto: calor producido por la combustión completa de una cantidad unitaria de material combustible, a volumen constante, en un calorímetro con bomba de oxígeno, en condiciones específicas donde el agua resultante se condensa a estado líquido. Se expresa en BTU/lb, cal/g, etc. // Las condiciones son presión inicial de oxígeno: 2 a 4 MPa (aprox. 20 a 40 atmósferas), temperatura inicial y final: entre 20 y 30 °C (aprox. 68 a 95 °F).

Poder calorífico neto: valor calculado, a partir del poder calorífico bruto, como el calor producido por la combustión de una cantidad unitaria de material combustible, a presión atmosférica constante, en condiciones tales que toda el agua en el producto permanece en forma de vapor. //Tanto la humedad inicial como la obtenida

por la combustión del hidrógeno de la muestra.

Porosidad: proporción en volumen de vacíos dentro de un trozo de carbón o coque, calculada a partir de sus densidades verdaderas y aparentes.

Precisión: diferencias observadas entre los valores repetitivos de una determinación. Se usa para indicar la capacidad de una persona, instrumento o método para obtener resultados reproducibles.

Preparación de muestra: proceso que puede incluir secado al aire, trituración, división y homogeneización de una muestra bruta, con el propósito de obtener una muestra representativa para análisis.

Preparación de muestra fuera de proceso (*offline*): preparación de la muestra en forma manual o con equipo mecánico, que no forma parte integral del sistema de muestreo.

Preparación de muestra sobre el proceso (*online*): preparación de muestra mediante equipo mecánico, que forma parte integral del sistema de muestreo.

Producción: carbón que se ha extraído o se va a extraer de una mina durante cierto período de explotación. Se pueden dar datos de producción referentes a un bloque, sector, área, zona, región, mina, cuenca, departamento y a nivel nacional.

Producción acumulada: suma, en toneladas, del carbón extraído durante un período en un área específica. // Los cálculos se obtienen sumando los datos de producción en bloques,

sectores, zonas, regiones, minas, cuencas, departamentos y a nivel nacional, anteriores a la fecha de los cálculos; éstos se pueden subdividir por rango y grupo de carbón, por espesor, por método minero, etcétera.

Profundidad: distancia vertical entre un punto en la superficie topográfica y la cota del manto de carbón. Se usa también para indicar la distancia vertical máxima posible hasta la cual es todavía técnica y económicamente factible extraer un manto de carbón.

Propiedad aglomerante: características de un carbón cuando, después de haberlo sometido a calentamiento en ausencia de aire, produce por sí solo una masa compacta que muestra hinchamiento o estructura celular.

Propiedad aglutinante: características de un carbón cuando, después de haberlo sometido a alta velocidad de calentamiento y alta temperatura en ausencia de aire, produce una masa fundida. Determina el grado de aglomeración.

Propiedades coquizantes: características de un carbón que lo hacen apto para producir coque, sin mezcla de ninguna naturaleza.

Rango: diferencia entre el valor más alto y el más bajo de una serie de observaciones.

Rango de un carbón: grado de transformación (carbonificación o hullificación) que ha alcanzado un carbón a lo largo de su evolución geológica, en

Punto de control: punto de observación donde se realizan la medición y la descripción de un manto de carbón o una clase de roca, referenciado al sistema de coordenadas geográficas.

Punto de medición (o de información): sitio exacto en un afloramiento de la mina, trinchera, perforación, donde se mide el espesor del manto de carbón y se muestrea para su análisis. La localización en superficie de dicho punto de medición debe ubicarse con precisión sobre un mapa, mediante las tres coordenadas, de tal manera que la situación topográfica quede definida. //La cota de un punto de medición subterráneo se debe calcular mediante los datos de perforación, por los núcleos, los registros litológicos, los registros geofísicos de un pozo y también por las labores mineras.

Punto de observación: un afloramiento es el sitio donde es visible un manto de carbón o donde la evidencia indica que éste podría medirse o examinarse con una trinchera o con un destape. Estos puntos se usan para verificar la existencia de un manto de carbón y su similitud o diferencia, en cuanto a espesor, con los puntos de medición.

R

la serie natural desde el lignito hasta la antracita.

Recursos: volúmenes o depósitos de carbón presentes en forma natural en la corteza terrestre; son reconocidos por criterios físicos y químicos; se dividen en identificados (inferidos, indicados

y medidos) y en no descubiertos, de acuerdo con el grado de certeza geológica, de igual manera pueden ser restringidos y restantes.

Recursos identificados: de acuerdo con el grado de certeza geológica, esta clase de recursos engloba progresivamente todos los volúmenes de carbón, con referencia a los inferidos (bajo), indicados (medio) y medidos (alto); se dividen teniendo en cuenta parámetros conocidos como valores límites, tales como localización, área de influencia, rango, calidad y cantidad. //Los cálculos de tonelaje para esta categoría de recursos incluyen antracita, carbón bituminoso y carbón subbituminoso de 0,40 metros de espesor, y todo lignito de 0,75 metros, ocurrentes hasta una profundidad de 1200 metros. Este es el volumen total de carbón que se tiene en cuenta para los eventuales estudios sobre posibilidades de extracción económica.

Recursos indicados: categoría que ocupa un lugar intermedio entre los recursos identificados, de acuerdo con el grado de certeza geológica, y engloba los volúmenes de carbón, cuyo rango de confiabilidad está apoyado por puntos de medición en un manto de carbón, en una secuencia de afloramientos, apiques, trincheras, perforaciones, frentes mineros, etc., soportados por un área de influencia variable, entre los 250 y 750 metros. El patrón de distribución de espesores y calidad del carbón, el modelo de depósito y la configuración estructural, son básicos para suponer la continuidad de

los mantos y su posición espacial, para efectos de evaluación. //Los cálculos de tonelaje para recursos indicados se llevan a cabo, sobre la base de evidencias geológicas, por prolongación de espesores de carbón, de rango y de datos de calidad, desde puntos de medición y muestreo, por una distancia de hasta 500 metros, medida sobre el manto, comprendida entre 250 y 750 metros a partir del punto de medición. Los recursos indicados incluyen antracita, carbón bituminoso y carbón subbituminoso de 0,40 metros o más de espesor, y lignito de 0,75 metros o más de espesor, hasta la profundidad de 1200 metros.

Recursos inferidos: categoría más baja dentro de los recursos identificados, de acuerdo con el grado de certeza geológica, y engloba volúmenes de carbón, cuyo rango de confiabilidad está soportado por puntos de medición, con área de influencia variable entre los 750 y 2250 metros. //Los cálculos de recursos inferidos se establecen, con base en el conocimiento geológico, por medio de la prolongación de espesores de carbón, de rango y de calidad de carbón, hasta por una distancia de 1500 metros, comprendida entre los 750 y 2250 metros, contados a partir del punto de medición y muestreo más cercano. Los recursos inferidos incluyen antracita, carbón bituminoso y carbón subbituminoso de 0,40 metros o más de espesor, y lignito de 0,75 metros o más de espesor, hasta la profundidad de 1200 metros.

Recursos hipotéticos: esta categoría de recursos está relacionada con los yacimientos carboníferos cuyo verdadero potencial se desconoce. Presentan un rango de confiabilidad muy bajo, debido a que los puntos de medición están distanciados más de 2550 m y por tanto el grado de certeza geológica es menor. El espesor, extensión y rangos aparentes se basan en la suposición de que los mantos continúen más allá de la distancia convenida para el recurso inferido. // Los cálculos de tonelaje se obtienen sumando los recursos medidos, indicados e inferidos de capas demasiado delgadas ($<0,40$ m), o demasiado profundas para ser extraídas, o que son o serán pérdidas de minería.

Recursos medidos: grado más alto de certeza geológica dentro de los recursos identificados, de acuerdo con el grado de certeza geológica, y engloba volúmenes de carbón comprobados mediante puntos de medición de un manto de carbón, en una secuencia de afloramientos, apiques, trincheras, perforaciones, frentes mineros, etc., soportados por puntos de medición cuya área de influencia varía hasta los 250 metros, en forma tal que puedan someterse a una evaluación económica básica. // Los cálculos de tonelaje para recursos medidos se llevan a cabo mediante la prolongación de espesores de carbón, de rango y de datos sobre calidad, por una distancia máxima de 250 metros a partir del punto de medición. Los recursos medidos incluyen antracita, carbón bituminoso y carbón subbituminoso de 0,40 metros de espesor y lignito de 0,75 metros de

espesor, todos hasta una profundidad de 1200 metros. // La cantidad de carbón que se calcula como recurso medido es independiente del grado de seguridad técnica y económica asignado, pero dado su elevado grado de certeza geológica puede alcanzar las categorías de reservas básicas, reservas disponibles y reservas explotables, previa aplicación de los valores límites y de los demás factores requeridos en los distintos niveles de evaluación económica.

Recursos no descubiertos: clase de recursos cuya existencia apenas se postula, que incluye los especulativos e hipotéticos; de acuerdo con el grado de certeza y confiabilidad geológica, ocupan el rango más inferior, por tener puntos de referencia con distancias superiores a los 2250 metros. // Los cálculos de tonelaje se basan en el carácter geológico de una capa o de una zona carbonífera en un área, y en especulaciones con datos geológicos. Se obtienen sumando los tonelajes calculados para los recursos hipotéticos y especulativos. Incluyen las capas de antracita, de carbón bituminoso y subbituminoso, de espesor 0,40 metros, y de lignito, de espesor 0,75 metros, que se presume ocurran en áreas cartografiadas, no cartografiadas y hasta inexploradas por encima de 1200 metros de profundidad.

Recursos restantes: son los que quedan en el subsuelo de una mina de un área o de cualquier otro espacio definido después de alguna extracción o porque no reúnen los requerimientos

para formar parte de las reservas. // El término incluye las pérdidas de explotación, menos la cantidad que se considere marginalmente explotable. En otras palabras, las cantidades consideradas no explotables por ser el carbón demasiado impuro, delgado, profundo, por debajo del desnivel máximo o por otras razones, deben clasificarse como recursos restantes.

Recursos restringidos: parte de cualquier categoría de recursos cuyo aprovechamiento o producción son prohibidos por leyes y reglamentos. Esta categoría ocupa el rango más bajo dentro de los recursos no descubiertos, de acuerdo con el grado de certeza y confiabilidad geológica; se refiere a depósitos pertenecientes a ambientes geológicos favorables, sobre los cuales no se conoce su verdadero potencial carbonífero. // Los recursos restringidos reúnen todos los requerimientos del carbón clasificado en cualquiera de las categorías; la diferencia consiste en que su extracción está prohibida por leyes y reglamentos. Factores distintos de los económicos y geológicos, como legales, reglamentarios, ambientales o políticos, pueden restringir o prohibir la utilización de todo el yacimiento o de parte de éste. Las cantidades de recursos no utilizables por esta razón deben clasificarse en la categoría de recursos restringidos, justificando el motivo.

Región o zona carbonífera: superficie que abarca una o más áreas carboníferas, geográficamente correspondiente a cada una de las regiones o cuencas en que está subdividido el país.

Relación de descapote: relación entre la cantidad de material estéril que debe removerse y la cantidad de carbón que va a extraerse. // Puede expresarse como volumen del estéril a toneladas de carbón (la de uso más frecuente), espesor del estéril a espesor del carbón, volumen del estéril a volumen del carbón y peso del estéril a peso del carbón. // Adicionalmente, tiene una connotación económica de relación costo-beneficio.

Reservas: se refiere a los recursos de carbón que, habiendo superado todos los parámetros correspondientes a los valores límites y habiendo alcanzado un grado de certeza geológico superior, son sometidos a una evaluación económica y técnica básica, para aceptarlos como reservas y sobre los cuales existe gran interés por su explotación económica y comercial. Dichas reservas se distribuyen en diferentes categorías, de conformidad con los grados de certeza geológica y seguridad técnico económica.

Reservas agotadas: cantidades de carbón extraídas mediante una labor de explotación; incluye el carbón extraído y el perdido durante la etapa de explotación. // Este concepto es de suma importancia para manejar los recursos en los campos de carbón donde se haya llevado a cabo una intensa minería durante largos períodos.

Reservas básicas: parte de las reservas medidas e indicadas, que pueden llevarse a dicha categoría mediante una evaluación técnica y económica básica, teniendo en cuenta el grado de seguridad técnica y económica, de

acuerdo con los valores límites; y por tanto, se consideran potencialmente reservas aprovechables.

Reservas básicas indicadas: son recursos y volúmenes de carbón elevados de categoría por tener un grado relativamente alto de certeza y confiabilidad geológicas al ser sometidos a una evaluación técnica básica, basados en un conocimiento geológico espacial de los mantos de carbón, de acuerdo con los valores límites. //Los cálculos de tonelaje para reservas básicas indicadas se llevan a cabo, sobre la base de evidencias geológicas, por prolongación de espesor de carbón, de profundidad de la explotación (para el caso de minería a cielo abierto), de rango y de datos de calidad, por una distancia de hasta 500 m, comprendida entre los 250 y 750 metros a partir del punto de medición más cercano. Los reservas básicas indicadas incluyen antracita, carbón bituminoso y sub-bituminoso de espesor 30,60 metros hasta una profundidad de 600 metros, hasta un desnivel de 300 metros (para minería subterránea con la gravedad en contra), y hasta una profundidad de la explotación de 300 metros (para minería a cielo abierto), y lignito de 1,50 metros o más de espesor, hasta una profundidad de la explotación de 150 metros.

Reservas básicas medidas: recursos y volúmenes de carbón elevados de categoría por tener el grado más alto de certeza y confiabilidad geológicas al ser sometidos a una evaluación técnica básica, fundamentados en un

conocimiento geológico espacial de los mantos de carbón, de acuerdo con los valores límites. //Se reconocen y calculan mediante la aplicación, a criterios físicos y químicos específicos, de valores límites que derivan de comparaciones con las actuales prácticas mineras y productivas, y de las leyes ambientales. Estos valores se relacionan con el espesor de los mantos de carbón, con la profundidad de la explotación (para el caso de minería a cielo abierto), con la profundidad máxima posible de extracción, con el desnivel (para el caso de una minería subterránea con la gravedad en contra), con el rango y con la calidad del carbón (ceniza, azufre). //La asignación de un volumen de carbón a esta categoría se basa por tanto en los criterios físicos y químicos antes mencionados, fuera de las consideraciones sobre el modelo sedimentario y sobre las estructuras. Cambios en factores económicos, técnicos y ambientales podrán afectar o no los valores límites y, por consiguiente, la asignación de los recursos a esta categoría. Las cifras comprenden también aquellos recursos que los diferentes niveles de evaluación económica definirán como económicos/preeconómicos, o marginales/premarginales, o que pondrán entre las pérdidas de explotación.

Reservas disponibles: aquellas reservas básicas que, después de haber cumplido con los parámetros de evaluación económica y técnica básica, han sido elevadas a dicha categoría para ser sometidas a estudios de prefactibilidad y aprovechamiento económico-

marginal, con el fin de aumentar el grado de seguridad, y a su vez el de seguridad técnica y económica, que las permita definir como potencialmente explotables. //Desde el punto de vista geológico, para el cálculo de las cantidades disponibles se establece que el total de las reservas básicas debe estar conformado por un 60% mínimo de reservas básicas medidas y por un 40% máximo de reservas básicas indicadas. Las reservas básicas inferidas, cuyo conocimiento geológico se basa en puntos de información eventualmente alejados 4,5 km los unos de los otros, dejan abiertas demasiadas incógnitas acerca de los parámetros geológicos que sustentan la existencia de un recurso; por eso se excluyen del concepto y de las cifras de las reservas disponibles. //Desde el punto de vista económico, las reservas disponibles excluyen aquellos recursos que son pérdidas en la explotación minera, e incluyen aquellas partes de las pérdidas de explotación que se evalúan potencialmente aprovechables en el futuro (por ejemplo, en planes de recuperación de machones) y que son calificados como premarginales. Se deberán documentar, por tanto, los cambios y los criterios específicos que sugieren el potencial aprovechamiento económico futuro de estos recursos. Los cambios económicos, técnicos, y en las leyes y reglamentos relacionados con el medio ambiente, influyen el volumen total del recurso asignado a esta categoría, tanto en su grado de aprovechamiento pre-económico como en el premarginal.

//El tonelaje total podría subdividirse en “medio” y en “indicado”, y podrá discriminarse según diferentes criterios: para minería subterránea y para minería a cielo abierto, por la relación descapote, por el contenido de cenizas y de azufre total, por el espesor de las capas, por la calidad y por el rango, entre otros.

Reservas explotables: parte de las reservas disponibles elevadas finalmente a dicha categoría para ser sometidas a un estudio de factibilidad y así definir su grado de aprovechamiento económico-marginal óptimo, alcanzando el mayor grado de seguridad técnica y económica, que permita llevar el proyecto minero a etapas posteriores de comercialización. //Este sistema de clasificación establece que sólo los recursos de carbón con el más alto grado de certeza geológica, los medidos, pueden volverse una cantidad explotable, con el estudio de factibilidad. Recursos como los indicados, cuyo conocimiento geológico se basa en puntos de información eventualmente alejados 1,5 kilómetros los unos de los otros, dejan abiertas demasiadas incógnitas acerca de los parámetros geológicos que sustentan la explotabilidad de un recurso; por eso se excluyen del concepto y del cálculo de las reservas explotables. Por consiguiente, las cifras de reservas explotables derivan de las reservas básicas medidas después de sustraer las previstas pérdidas de explotación y las reservas explotables marginalmente.

Reservas inferidas: categoría en la que se clasifican los recursos con volúmenes identificados de carbón, que tienen un bajo grado de certeza geológica y

que después de haber sido sometidos a una evaluación económica básica no pueden tomarse en cuenta como parte de las reservas básicas.

S

Sector carbonífero: área superficial con significado geográfico y geológico, que comprende uno o más bloques carboníferos, donde rasgos estructurales delimitan dicha superficie como parte de una estructura con desarrollo regional.

Suministro: cantidad específica de carbón que comprende más de un lote, como un embarque, la producción de un día, etcétera.

T

Tamaño: más que una dimensión, este término indica una característica importante de la distribución del tamaño de partículas de un carbón.

Tamaño tope nominal: la abertura de la malla más pequeña en la serie, sobre la cual se retiene menos del 5% de la muestra

Techo o respaldo superior: estratigráficamente, es la roca suprayacente a un manto de carbón.

Tipo de carbón: distinción que se hace entre los carbones, según la naturaleza de los fragmentos o vegetales originarios y de las condiciones en que se depositaron. //La forma generalizada para determinar el tipo de carbón es efectuando el análisis de sus componentes petrográficos.

Tonelada: unidad del sistema métrico decimal de peso, igual a 1000 kg, 1,1023113 toneladas cortas; 0,98420653 toneladas largas, o 2204,6226 libras.

Tonelada equivalente de carbón: unidad de energía, equivalente a 7.000.000 de kilocalorías tonelada equivalentes de petróleo o unidad de energía, equivalente a 10.000.000 de kilocalorías.

Traza de falla: expresión superficial de un rasgo estructural, el cual implica interrupción o desplazamiento de una secuencia litológica que contiene mantos de carbón, en relación con la limitante. Se expresa sobre planos geológicos, mediante convenciones apropiadas, para indicar la relación espacial entre dos sectores afectados.

Trinchera: corte transversal de cierta profundidad que se realiza sobre una pendiente topográfica, mediante procedimiento manual o mecanizado, con el fin de conocer y obtener la secuencia litológica subaflorante y realizar convenientemente el muestreo de los mantos de carbón y respaldos.

Túnel exploratorio: excavación en la superficie que se profundiza en el

terreno, cuya sección rectangular a semicircular de 1,80 m se realiza en forma manual o mecanizada, con el objetivo de cortar transversalmente la

secuencia litológica y los mantos de carbón intercalados, para conocer su potencial económico.

U

Unidad de muestreo: cantidad de carbón de la que se obtiene una muestra bruta mediante su muestreo. Puede haber

una o más unidades de muestreo por lote.

V

Varianza: corresponde al promedio al cuadrado de las desviaciones (o errores) de una serie de observaciones. Es la suma de las desviaciones al cuadrado (o errores) de observaciones individuales, respecto a su promedio aritmético, dividido por el número de observaciones menos uno (grados de libertad). Por definición, es el cuadrado de la desviación estándar (o error estándar). Numéricamente, se calcula como $s^2 = \sum (x - m)^2 / (n - 1)$; donde x es el valor medio de cada observación, m es el valor medio de todas las

observaciones y n es el número de observaciones.

Verificación geológica: comprobación de campo para definir la secuencia litoestratigráfica de interés que tenga potencial carbonífero, económico, en una cuenca o estructura geológica, para dividirla en bloques y sectores de interés, localizándolos sobre mapas, y para definir su extensión superficial, profundidad, volumen, cantidad, magnitud y calidad de los mantos de carbón.

Y

Yacimiento: concentración o depósito de mineral presente de forma natural en

la corteza terrestre, explotable económicamente en el momento actual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM (2009). Gaseous fuels; coal and coke. *Annual Book of ASTM Standards*, 5(6).
- Ecocarbón. (1995). *El carbón*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón. (1995). *Sistema de clasificación de recursos y reservas de carbón*. Bogotá: Ecocarbón.
- Ecocarbón. (1996). *Carbón en grande. Cerrejón Sur, Cesarito, Guaimaral y El Descanso*. Bogotá: Ecocarbón.
- Durán, R., Sánchez, C. Angarita, L. Zambrano, F., Uribe, C. & Alvarado, B. (1979). *Zonas carboníferas de Colombia*. Publicaciones Especiales de Ingeominas, 3. Bogotá: Ingeominas.
- Durán, R., Mojica, P., Alvarado, B. & Lobo-Guerrero, A. (1981). *Evaluación de reservas de carbón en siete zonas de Colombia*. Publicaciones Especiales de Ingeominas, 6. Bogotá: Ingeominas.
- Guatame, C. L. & Sarmiento, G. (2004). Interpretación del ambiente sedimentario de la formación Guaduas en el Sinlinal Checua-Lenguazaque a partir de análisis petrográfico. *Geología Colombiana*, 29, 41-57.
- Ingeominas (1996). *Recursos y reservas de carbón en los sectores del Hoyo-Quilcace, Vergel, Yeguas, Limoncito, Tambo y Patía*. Bogotá: Ingeominas.
- Ingeominas. (2004). *El carbón colombiano. Recursos, reservas y calidad*. Bogotá: Ingeominas.
- Ingeominas. (2006). *Compilación de normas mineras concordadas*. Bogotá: Ingeominas.
- Kelter, D. (1991). Classification systems for coal resources - A review of the Existing Systems and Suggestions for Improvements, *Geo. Jb. A127*, 347-359.

- Rincón, M., Monroy, W., Ibáñez, R. & Garzón, M. (2008). *Recursos carboníferos área Úmbita-Laguna de Tota*. Bogotá: Ingeominas.
- US Geological Survey (1976). Coal resource classification system of the US Bureau of Mines and US Geological Survey. *Geological Survey Bull.* 1450-B. Washington.
- Taylor, G., Teichmuller, M., Davis, A., Diessel, C. Littke, R. & Robert, P. (1998). *Organic petrology*. Berlín-Stuttgart: Gebruder Berntraeger.
- Wood, G. H., Kehn, T. M., Carter, M. D. & Culbertson, W. C. (1983). Coal resource classification system of the US Geological Survey. *Geological Survey*, circular 831.
- Wood, G. H., Kehn, T. M., Carter, M. D. & Culbertson, W. C. (2003). Coal Resource Classification System of the US Geological Survey. *Geological Survey*, circular 891, 1-65.



EL LIBRO

EL CARBÓN: MUESTREO, ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS
COMPUESTO EN CARACTERES MINION PRO 11,5/15 PARA EL CUERPO DE TEXTO
Y SYNTAX LT STD PARA LA TITULACIÓN

BOGOTÁ, COLOMBIA

MMX

Últimas publicaciones de la colección

Paleosismología de la Falla de Ibagué

Jairo A. Osorio N. et ál.

2009

Geología de la Sabana de Bogotá

Diana María Montoya Arenas

Germán Alfonso

Reyes Torres

2007

Aspectos geoambientales de la Sabana de Bogotá

Thomas van der Hammen et ál.

2004

La cordillera de los Andes

Carlos Eduardo Acosta Artega

2003

*Estructuras tectónicas y modelos en 3D del
pedemonte occidental de la cordillera Oriental y
del valle medio del Magdalena, Colombia (en inglés)*

Jorge Enrique Acosta Garay

2002

Reconocimiento geológico del macizo de Garzón

Luis Armando Murcia Leal

2002

Materiales de construcción en la Sabana de Bogotá

Leopoldo González O.

John Fernán Cárdenas

Guillermo Parrado L.

2001

*Geología, geoquímica y ocurrencias minerales
cuadrángulo N-6, Popayán. Geología y geoquímica
de la plancha 387-Bolívar. Geología de la plancha
364-Timbío*

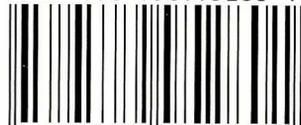
Abigail Orrego et ál.

1999



El carbón: muestreo, análisis y clasificación de recursos y reservas corresponde a una segunda edición, corregida y aumentada, del libro publicado por Ecocarbón en 1995. En razón de su importancia, Ingeominas la pone a disposición de empresarios e investigadores en el tema del carbón interesados en conocer en detalle aspectos relacionados con normas y procedimientos para el muestreo y análisis, tipos de muestreos, clases de análisis, Sistema de Clasificación de Recursos y Reservas de Carbón, metodologías y criterios de clasificación, cálculos de áreas y registros geofísicos. Para finalizar, se incluye un completo glosario.

ISBN 978-958995280-1



9 789589 952801