

ALGUNAS RELACIONES PARAMETRICAS PARA LOS CARBONES DE LA CUENCA DE AMAGA

Isabel REY QUIJANO *

RESUMEN

En este trabajo se presentan algunos parámetros analíticos de los carbones y su utilización, así como las relaciones paramétricas determinadas con base en los datos existentes en la Cuenca de Amagá.

ABSTRACT

This paper illustrates some coal analytical parameters and their use, moreover some interrelationships between coal compositional parameters according to the dates existents in the region of Amagá.

INTRODUCCION

La caracterización de los carbones es prácticamente la primera fase a realizar en cualquier proyecto carbonífero. En ella se realizan principalmente los análisis próximos, elementales y petrográficos para determinar su calidad.

En los proyectos de caracterización de carbones, el estudio correlativo de las diferentes variables (Por ej.: Materia volátil, Reflectancia, Poder calorífico, Carbono, Hidrógeno etc.) es uno de los parámetros de mayor importancia ya que se constituye en una herramienta eficaz para el control de calidad analítico y porque en el caso de obtener ecuaciones con altos coeficientes de correlación, se convierten en un método de predecir valores, para aquellos parámetros (o variables) que no siempre pertenecen a los análisis de rutina, como en el caso de los análisis elementales.

El estudio busca deducir las ecuaciones de interrelación a partir del análisis de regresión por parejas de variables mediante la aplicación del método de mínimos cuadrados

* Profesora Asociada, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Recursos Minerales, Facultad de Minas, A.A. 1027, Medellín

utilizando el paquete estadístico statgrafic.

El estudio hace parte de la investigación realizada por Rey, 1994 sobre la regionalización de la calidad de los carbones en Amagá.

CARACTERIZACION DE CARBONES

Para la utilización de los carbones es necesario conocer sus componentes y propiedades mediante análisis químicos, físicos y petrográficos, los cuales se agrupan en ensayos próximos, elementales, petrográficos y otros.

Caracterización por análisis próximos

Este análisis comprende la determinación en porcentaje por peso de humedades, cenizas, materia volátil, carbono fijo y azufre total, así como el poder calorífico.

Desde el punto de vista analítico, en el estudio del carbón para caracterizarlo, se conocen las humedades de equilibrio, superficial, residual y total (Rey, 1994). De éstas, la residual es la más utilizada comúnmente y viene a ser la humedad presente en la muestra después de haber sido secada al aire.

La ceniza no se presenta como tal en el carbón; es un subproducto de la combustión como resultado de los cambios químicos que tienen lugar en el carbón durante el proceso de carbonización (Neavel, 1983). La ceniza puede definirse entonces, como el "residuo no combustible que permanece en el carbón después de quemado".

Las sustancias que las forman son de tres tipos:

- Cenizas de sustancias inherentes que incluyen elementos inorgánicos combinados con la sustancia orgánica del carbón. El origen de estas cenizas es singenético y proviene de las plantas que dieron lugar al carbón además de la piritita framboidal.

- Cenizas de materia mineral como las arcillas, óxidos, sulfuros, cuarzo, fosfatos, minerales pesados y accesorios.

- Cenizas de dilución (operacional) que son los estériles de los respaldos que durante la operación minera se arrancan junto con el carbón. Esta dilución normalmente incrementa mucho los porcentajes de cenizas.

La materia volátil son desprendimientos gaseosos de materia orgánica e inorgánica del carbón cuando se le calienta en un crisol tapado. A medida que gana calor, se desprenden productos gaseosos y líquidos. Los gases están representados principalmente por monóxidos de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), Hidrógeno (H₂) y vapores de alquitrán. Con la materia volátil también se desprenden del carbón la humedad, los productos de carbonatos calcinados como el CO₂ y la humedad de hidratos de minerales arcillosos. Además de estos hay que tener en cuenta que debido al calentamiento se presentan transformaciones entre minerales, materia orgánica y productos desprendidos (Ramírez, 1988).

En la determinación de la materia volátil normalmente se tienen en cuenta las humedades mientras que los productos de las transformaciones de minerales se desprecian, siempre y cuando no sean muy altos (Ramírez, 1992).

La materia volátil disminuye a medida que aumenta el rango de carbonificación de un carbón.

El carbono fijo representa la parte no volátil del carbón que permanece después de la determinación de materia volátil y que quemará luego en forma sólida después de que esa materia volátil ha sido liberada.

El azufre se le encuentra en los carbones en proporciones variables y de las impurezas es uno de los más problemáticos. Se presenta combinado químicamente con la materia orgánica, además se localiza en minerales acompañantes del carbón como pirita, marcasita y como sulfatos principalmente de calcio y hierro.

De acuerdo con la manera de presentación, se reconocen tres formas de azufre: Azufre pirítico, azufre sulfato y azufre orgánico, las cuales constituyen el azufre total del carbón. Existe otra forma como es el azufre elemental, éste se encuentra generalmente en muy poca cantidad lo que hace que no tenga influencia sobre la evaluación de un carbón, razón por la cual no se incluye dentro de los análisis próximos.

- Azufre pirítico. La pirita (FeS₂) generalmente es la forma dominante de azufre inorgánico en la mayoría de los carbones. El término pirita se utiliza usualmente para describir el disulfato de hierro en carbones, sin embargo, hay dos formas con diferente estructura cristalina; la pirita y la marcasita (Casagrande, 1983).

El azufre de pirita se puede separar del carbón si los granos framboidales son lo suficientemente grandes como para que se disgreguen en la molienda y el lavado. La pirita framboidal

es singenética y es producida por organismos microbianos sulfuroreductores. La pirita que está rellenando diaclasas en el carbón se considera epigenética y puede ser en gran parte, separada del carbón por procesos de remoción (Casagrande, 1983).

- Azufre sulfato. Los minerales sulfatados encontrados en los carbones son muchos (Sulfatos de Fe, Ca, Na, K, Mg etc.) algunos de los cuales se derivan de la meteorización de la pirita durante el manipuleo de la muestra. Sin embargo la mayoría del azufre sulfato en los carbones proviene del yeso (CaSO_4) o de la barita (BaSO_4).

- Azufre orgánico. Se conoce muy poco sobre la estructura del azufre orgánico en carbones, posiblemente debido a su origen tan complejo en los procesos de formación del carbón. El azufre orgánico está probablemente en las plantas especialmente como constituyentes de proteínas, aceites de mostaza y glúcidos de semillas. Otro posible origen son los residuos de vida animal presentes en los pantanos en que se forma el carbón (Uribe, 1986)

Este tipo de azufre está finamente distribuido en el carbón y es imposible su separación por procesos físicos. Este azufre es singenético.

El poder calorífico representa la energía de combustión del carbono e hidrógeno de la fracción orgánica y del azufre tanto orgánico como pirítico y se puede expresar en BTU/lb, Cal/gr., Kcal/kg. La capacidad calórica de un carbón depende del contenido de ceniza, del rango, de la humedad y de la composición macerática en menor grado (Ramírez, 1988).

El poder calorífico aumenta con el rango hasta los carbones bituminosos bajos en volátiles pero luego disminuye ligeramente hasta las antracitas (Stach's et al, 1982).

Utilización de los datos de los análisis próximos

La utilidad de estos datos radica en que (Ramírez, 1992):

- Entregan la primera información sobre la calidad del carbón.
- Permiten clasificar los carbones.
- Se les requiere en cualquier contrato de compra-venta.
- Ayudan en la definición de la molienda y el lavado.
- Sirven para calcular el rendimiento del coque.
- Son indispensables para estimar el control de la polución.

- . Indican la posible humedad de arranque.
- . Proporcionan información sobre los requerimientos para el manejo de las cenizas.

Caracterización por análisis elementales

La composición elemental de un carbón se entiende como su contenido de Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Cloro y Nitrógeno.

Los primeros cuatro elementos se encuentran en minerales del carbón como el carbono en carbonatos, el hidrógeno en agua de hidratos, el oxígeno en carbonatos de calcio y en agua de hidratos y el azufre en sulfatos, sulfitos y bisulfitos.

A medida que aumenta el rango del carbón hay un enriquecimiento gradual de carbono con una gran disminución de oxígeno y en un grado menor el hidrógeno.

El nitrógeno únicamente se le encuentra en la materia orgánica formando compuestos estables. El oxígeno se presenta combinado orgánicamente y en compuestos inorgánicos.

En cuanto a los grupos de macerales del carbón, el de la inertinita es el más rico en carbono y el de la exinita en hidrógeno.

El nitrógeno puede formar gases venenosos (Nox) que contaminan el ambiente. Los límites propuestos por la EPA (Environmental Protection Agency de Norte América), varían entre 0.5 y 0.8 libras de NOx por millón de BTU generado según el tipo de carbón (Ramírez, 1992).

Utilización de los datos de los análisis elementales

- . Se utilizan para cálculos de combustión.
- . Sirven para estudiar la química del carbón.
- . Pueden predecir problemas de corrosión.
- . Se utilizan en ciertas clasificaciones de carbones.

Caracterización petrográfica

Los estudios macro y micropetrográficos se hacen para determinar el rango y composición maceral de los mantos de carbón.

Caracterización macropetrográfica

La macropetrografía describe los diferentes bandeamientos del carbón, roca asociada y peñas que se pueden observar a simple vista. En este tipo de trabajo se realiza una macropetrografía burda y otra fina. En la burda se estudia el carbón como un todo, las asociaciones (carbón con peña o peña con carbón), las intercalaciones separables y los respaldos (techo y piso) de los mantos. La fina divide el manto en capas naturales llamadas litotipos donde el grosor mínimo de cada litotipo puede ser 0.5 cm., 1 cm o 0.3 cm. (Ramírez, 1991).

Caracterización micropetrográfica

La micropetrografía se realiza para estudiar la heterogeneidad del carbón, ya que los análisis próximos y elementales lo tratan como una sustancia homogénea.

La fracción orgánica e inorgánica del carbón se compone de una mezcla de macerales y minerales los cuales tienen propiedades físicas y químicas diferentes que determinan en parte su comportamiento tecnológico.

Con la micropetrografía se determinan sus diferentes componentes y además se mide su capacidad de reflexión.

Utilización de los análisis petrográficos

- El estudio únicamente macroscópico no permite deducir correctamente la composición y distribución de los compuestos orgánicos e inorgánicos de un manto de carbón.
- Los análisis microscópicos conjuntamente con los macroscópicos sirven para la identificación y correlación de mantos.
- Para determinar el rango.
- En el control y previsión de la calidad del coque.
- En la clasificación de carbones.
- La eficiencia en los procesos de combustión, licuefacción y gasificación en parte dependen del rango y de la composición maceral.
- En los procesos de beneficio del carbón.

Caracterización por otros análisis

La caracterización puede ser tan sofisticada o tan sencilla como se quiera dependiendo de la utilización del carbón. Son muchos los análisis que permiten prever los efectos sobre los procesos tecnológicos (Ramírez, 1988; Uribe, 1986; Tsai, 1982) sin embargo, aquí mencionaremos únicamente el índice de molienda hardgrove por ser uno de los parámetros a correlacionar.

La molienda hardgrove caracteriza el trabajo que se necesita para llevar una muestra de un carbón a una granulometría fina, es decir, se refiere a la facilidad con que puede ser reducida de tamaño al ser molida. Se determina por pruebas que miden la cantidad de rompimiento bajo condiciones estandarizadas. De estas pruebas se derivan los " índices de triturabilidad", los cuales son números que relacionan los instrumentos de trituración con el tipo de carbón. Los índices se encuentran entre 30 y 150. A medida que el índice es más bajo, más duro es el carbón para moler (Consultans coal prossesing, 1980).

El índice de molienda depende del grado de carbonificación y muy poco de los minerales que contiene siempre y cuando el contenido de minerales no sea muy alto. En general, el rango de un carbón puede indicarse por el índice de Hardgrove. Los carbones bajos en volátiles tienen aproximadamente un índice de hardrove entre 80 y 110 ; medio-volátil, entre 60 y 90; y alto volátil, entre 40 y 60 (Uribe, 1986).

Utilización de los datos de triturabilidad

El valor de la triturabilidad en asocio con la friabilidad se requiere para la selección adecuada de los equipos de trituración y pulverización.

ALGUNAS RELACIONES PARAMETRICAS PARA LOS CARBONES

Regresión y correlación

El análisis de regresión es una herramienta estadística que puede ser utilizada para estimar la relación entre dos o más variables, así que una variable puede ser estimada o predicha a partir de la(s) otra(s) variable(s). Esta variación se mide mediante el coeficiente de determinación (R^2), el cual indica en qué porcentaje la variación de la variable

dependiente es debida al efecto de la variable independiente (Botero, 1990).

Los métodos de correlación son técnicas desarrolladas para determinar el grado de asociación entre las variables; éste se expresa cuantitativamente mediante el coeficiente de correlación (r) (Portus, 1992).

De acuerdo con la literatura es bien conocida la relación existente entre algunos componentes analíticos y propiedades físicas del carbón con su grado de madurez (rango) y algunos otros parámetros como las cenizas, razón por la cual se estudia en la cuenca de Amagá.

Metodología

El estudio se hizo a partir de los datos existentes en los estudios que hasta el momento se han realizado en la Cuenca de Amagá (Rey, 1994).

La metodología seguida en la investigación fue la siguiente en términos generales: Inicialmente se obtuvieron los datos sobre análisis próximos y elementales en la base como se analizó (Csa), libre de humedad (Lh) y libre de humedad cenizas (Lhcz) de la zona recopilados por Rey, 1994. En este análisis se definió primero que todo la variable independiente **X** como materia volátil, reflectancia media, cenizas respectivamente, por ser el parámetro más común en los estudios de carbones en la zona y por ser una variable influenciada por el rango del mismo, por ser menos costoso su análisis y más fácil de controlar en el laboratorio; la variable dependiente **Y** quedó definida por los parámetros carbono, hidrógeno, oxígeno, poder calorífico, carbono fijo y triturbilidad o índice de molienda hardgrove (variables dependientes del rango y las tres primeras y la última no pertenecen a los análisis de rutina). Luego se definió el alcance potencial y muestral del modelo, se verificó la linealidad del mismo y se hicieron los análisis respectivos en la búsqueda del mejor modelo.

Análisis de resultados

TABLA 1. Algunas relaciones para los carbones de la cuenca de Amagá.

Variables	Base				
Y	X	Cálculo	R ²	r	Ecuaciones
Rm	Mv	Lhcz	86.70	0.93	Y=0.97+29.58X'
Cf	Mv	Lhcz	96.55	-0.98	Y=100-1.0X
C	Mv	Lhcz	83.22	-0.91	Y=95.54-0.445X
H	Mv	Lhcz	91.79	0.95	Y'=0.12+1.66X'
O	Mv	Lhcz	89.14	0.94	Y*=0.74+0.44X
Cf	Rm	Lhcz	90.44	0.95	Y=45.09+16.9X
C	Rm	Lhcz	87.52	0.93	Y=81.77+9.72X*
H	Rm	Lhcz	94.30	0.97	Y'=0.127+0.055X
O	Rm	Lhcz	87.79	-0.93	Y*=1.94-0.953X*
IMH	Rm	Csa	74.48	0.86	Y=-13.66X2+135.17X-0.33
PC	Cz	Lh	67.09	0.82	Y=1.3E-4+(2.56E-6)X

$$X'=1/X$$

$$Y'=1/Y$$

$$X^*=\text{Log}_{10}X$$

$$Y^*=\text{Log}_{10}Y$$

R²= Coeficiente de determinación.

r = Coeficiente de correlación.

En la tabla 1 se presentan las relaciones materia volátil (Mv) Vs el carbono fijo (Cf), carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno(O), reflectancia media (Rm); Reflectancia media (Rm) Vs carbono fijo (Cf), carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), y triturabilidad (IMH); cenizas (Cz) Vs poder calorífico (PC).

Los resultados de la tabla 1 muestran claramente que la reflectancia media vs carbono fijo y materia volátil vs carbono fijo e hidrógeno se correlacionan linealmente con un **R² >90** y un **r >0.9**

El comportamiento de la materia volátil vs carbono, hidrógeno, oxígeno, reflectancia y el comportamiento de la reflectancia media vs carbono, hidrógeno, oxígeno es lineal pero con **R² <90** el cual se obtuvo mediante la transformación lineal con el objeto de ver cuál modelo se ajustaba más a los datos o sea aquel cuyo **R²** sea mayor (Tabla 1).

De la tabla 1 puede verse que la relación entre la reflectancia media y la triturabilidad (índice de hardgrove) no es lineal; este comportamiento concuerda con lo reportado por otros autores como Tsai (1983) y Bustin (1982).

La reflectancia media explica en un mayor porcentaje el comportamiento de los análisis elementales que la materia volátil (Tabla 1).

En la zona de Amagá el poder calorífico (Lh) es explicado en un 67.09% por el comportamiento de las cenizas, el restante es explicado seguramente por la humedad, rango y la composición macerática.

El índice de molienda hardgrove (triturbilidad) es explicado en un 74.48% por el comportamiento de la reflectancia media, luego, el restante lo explican posiblemente la humedad y las cenizas, parámetros que como lo reportan Tsai, 1983; Uribe, 1986 y Ramírez, 1988 tienen gran influencia sobre este índice de molienda.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La relación existente entre materia volátil vs carbono fijo, y la relación reflectancia media vs carbono fijo e hidrógeno, describe el comportamiento de las variables en la zona; además, dado que, el R^2 y r son altos se pueden establecer ecuaciones de predicción y control entre estas variables para la cuenca.

- Las otras relaciones entre la materia volátil y el carbono, hidrógeno, oxígeno, reflectancia así como la relación entre la reflectancia media y el carbono, oxígeno, índice de molienda hardgrove y la relación cenizas vs poder calorífico únicamente describen el comportamiento de las variables en el área.

- El poder calorífico vs reflectancia media y vs materia volátil presentó una gran dispersión, lo que demuestra una amplia varianza haciendo imposible establecer una correlación con los datos existentes. Para este caso en particular, donde la existencia de valores completamente alejados de los teóricos, en los cuales el error analítico se ha descartado, se justifica un remuestreo, pues es posible que las muestras analizadas presenten anomalías en su comportamiento.

BIBLIOGRAFIA

BOTERO, M. N., 1990. Manual sobre regresión lineal simple, correlación y elementos de muestreo. Univ. Nal. Fac.de Minas. Medellín: 90p.

BUSTIN, R.M., 1985. Coal petrology its principles, methods and applications, Second Ed., Canadá: 229p.

CASAGRANDE, D.J., 1983. Handbooks and coal sulfur. Exxon Production Research Company. Houston: 93p.

COAL PROCESSING CONSULTANS, LTD., 1980. The effect of Physical and Chemical properties of coal on their acceptability for steam generation: 163p.

NEAVEL, R.C., 1983. What is coal: A survey. 220p.

PORTUS.L., 1992. Curso práctico de estadística. McGraw-Hill Bogotá: 192p.

RAMÍREZ, C. P., 1988. Introducción a la valoración de los carbones. Univ. Nal. Fac. de Minas. Medellín: 160p.

-----, 1991. Muestreo, preparación, macro y micro petrografía. Notas de laboratorio. Centro del Carbón. Univ. Nal. Fac. de Minas. Medellín: 116p.

-----, 1992. Introducción a la caracterización de los carbones. Univ. Nal. Fac. de Minas. Centro de investigaciones del Carbón. Medellín: 202p.

REY, Q. I., 1994. Regionalización de la calidad de los carbones en la Formación Amagá, en el área Angelópolis-Amagá-Titiribí-Venecia (Antioquia). Univ. Nal. Fac. de Minas. Medellín: 164p.

STACH, et al., 1982. Textbook of coal petrology. Gebruder Borntraeger Berlín-Stuttgart: 535p.

TSAI, S. C., 1982 Fundamentals of coals benefaction and utilization. Elsevier publishing company. Amsterdam: 374p.

URIBE, C., 1986. Introducción a la tecnología del carbón. Ingeominas. Bogotá: 186p.

