

Caracterización , rango y clasificación de carbones

Por: Pedro Fernando Ramfrez Castro*

1. INTRODUCCION

En este trabajo bibliográfico se pretende en primer lugar, dar claridad a términos empleados en el estudio del carbón. En segundo lugar, se presentan globalmente los métodos de investigación en la caracterización de carbones sin profundizar debido a la gran cantidad de normas existentes. En tercer lugar, se exponen unas clasificaciones de carbones incluyendo la propuesta por El Ingeominas.

2. DEFINICIONES

Por caracterizar un carbón se entiende la determinación de una o varias de sus características físicas, químicas o tecnológicas, con el objeto de definir su calidad y su posible utilización.

Por rango de un carbón se entiende una medida que varía típicamente durante la carbonificación y que está siempre relacionada a una de sus características físicas o químicas.

Por clasificar un carbón se entiende la determinación de su rango y una o varias de sus características físicas, químicas o tecnológicas. Esto con el fin de ubicarlo en una de las tablas de clasificación existentes.

3. GENERALIDADES

El carbón tiene primero muchas aplicaciones como por ejemplo para la generación de vapor y con ello de energía eléctrica, para la fabricación de: coques, briquetas, carbón activado, para la destilación, la gasificación y la licuefacción, etc. Segundo, las propiedades físicas y químicas del carbón y su composición orgánica e inorgánica dependen del material vegetal/original y de las condiciones geológicas durante su formación, es decir, de la situación geográfica del lugar de formación.

Debido a estos puntos, se entiende que se hayan creado una gran cantidad de métodos de análisis que permitan definir la calidad del carbón.

Para una utilización determinada se necesitan varias características de calidad y con ello varios métodos de análisis y ensayos. De los métodos conocidos entonces se escoge un grupo, cuyos resultados dan un cuadro general sobre el comportamiento del carbón según el uso deseado, como también las características del producto obtenido.

Mientras que con los análisis absolutos de investigación, como son por ejemplo, los análisis elementales y el poder calorífico, se llega siempre a un mismo resultado sea cual fuera el método, con los análisis convencionales como son por ejemplo, los análisis inmediatos y tecnológicos los valores de los resultados muestran variaciones y generalmente no se les puede comparar. Las relaciones entre las diferentes características de los carbones sólo son posibles teóricamente en ciertos casos debido a la gran cantidad de parámetros influyentes, lo que requiere generalmente un tratamiento estadístico. Ejemplo: Un carbón con una reflexión media de 1,0% en vitrinitas puede contener 32, 35 ó 37% de materias volátiles (Iac) (figura 1).

4. ESTADOS DE RELACION DEL CARBON

Ya que el carbón fuera de las sustancias combustibles contiene otras no combustibles (agua y minerales), que son un lastre, es necesario relacionar el carbón, en los resultados de las investigaciones, a un combustible con lastre o libre de lastre (Cuadro 1).

- Como burdo (crudo) se denomina el carbón en el momento del muestreo.
- Como libre de agua se denomina el carbón seco a 106°C. (Figura 2).
- Como seco al aire se denomina el carbón cuya cantidad de agua se encuentra en equilibrio con la humedad del aire a su alrededor.
- Como humedad de análisis, se denomina el estado de la muestra fina en el momento de la investigación.
- El estado seco al aire y libre de cenizas es un término teórico que se utiliza en el Sistema Internacional de Clasificación de Hullas. Del peso del carbón a 30°C y 97% relativa, se restan las cenizas obtenidas de la calcinación del mismo combustible a 815°C.
- El estado carbón libre de agua y cenizas no corresponde exactamente al combustible libre lastre ya que los minerales varían de peso sobre la calcinación. El cociente cantidad de sustancias minerales sobre cantidad de cenizas, se denomina factor de sustancia mineral (f).

$$f = \frac{M}{A}$$

M = cantidad de sustancias minerales en porcentajes de peso.

A = Cantidad de cenizas en porcentajes de peso

f = Factor de sustancia mineral

* Doctor en Ciencias Naturales
Profesor Asociado de la Universidad Nacional
Sede de Medellín

Como carbón libre de agua y de minerales se entiende la sustancia orgánica combustible.

5. PROBLEMAS EN LA DETERMINACION DE LOS RANGOS EN CARBONES

Los problemas en la determinación de los rangos en carbones radican en el variado origen vegetal y principalmente en las diferencias de las condiciones geológicas durante su formación lo que origina diferentes composiciones y distribuciones de las sustancias orgánicas (macerales) e inorgánicas (minerales). Estas diferencias se reflejan en las características físicas y químicas, y por lo tanto en las tecnológicas. Los carbones del Paleozoico, Mezoico y Cenozoico, muestran por ejemplo, diferencias en su composición y distribución de sustancias orgánicas (macerales). En una misma cuenca carbonífera también existen diferencias en las características (Tabla 1).

Tecnológicamente la medida más importante del carbón es su grado de carbonificación (rango). Pero debido a las diferencias mineralógicas y sobre todo maceráticas, carbones de un mismo rango puede mostrar diferencias en las propiedades físicas y químicas lo que hace difícil de una caracterización de unos pocos análisis y ensayos determinar el posible uso de un carbón (Tabla 2).

También hay que tener en cuenta en la caracterización, que en carbones de bajo rango (altos en volátiles) las diferencias en sus componentes orgánicos es muy marcada pero éstas van disminuyendo a medida que aumenta el rango hasta casi desaparecer en el rango de meta-antracitas.

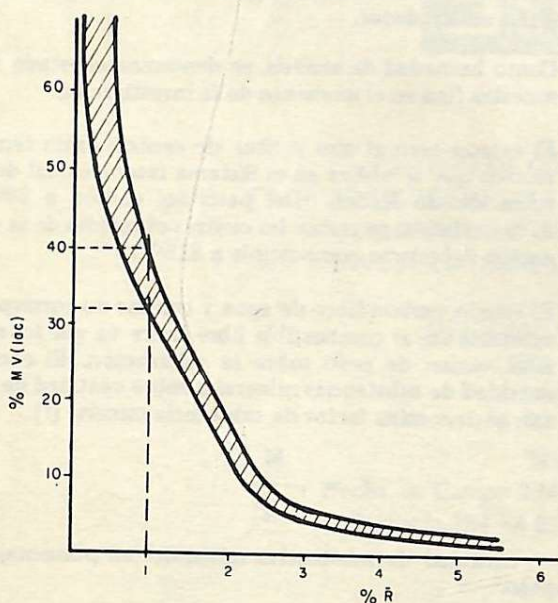


FIGURA 1. Relación entre la reflectancia de la vitrinita y la materia volátil (Teichmüller, M. 1.971)

Estado	Caracterización	
	Del combustible	De los valores de la investigación
Bruto (crudo)	(b)	(e.b)
Libre de agua	(la)	(e.la)
Seco al aire	(sa)	(e.sa)
Humedad de análisis	(ha)	(e.ha)
Libre de agua y cenizas	(lac)	(e.lac)
Seco al aire libre de cenizas	(sa lc)	(e.sa lc)
Libre de agua y minerales	(lam)	(e. lam)

Cuadro 1. Estados de relación del carbón

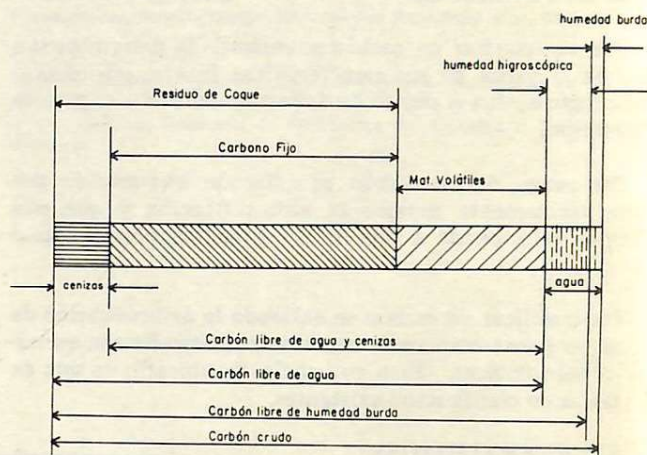


FIGURA 2. Representación de la composición del carbón y la denominación de sus componentes.

Tabla 1. Comparaciones entre \bar{R}_m , M.V. (lac), C (lac), H (lac), O (lac) y la composición macerática de los mantos 1, 2 y 3 del sinclinal de Amagá, Antioquia.

	Manto 1 (Guali)	Manto 2 (Silencio)	Manto 3 (Chorro)
\bar{R}_m	0,58	0,52	0,50
M.V (lac)	46,2	46,7	46,8
C (lac)	74,1	75,0	74,3
H (lac)	5,58	5,66	5,14
O (lac)	17,6	16,6	18,3
Vitrinita	74	77	75
Exinita	21	17	20
Inertinita	4	3	3
Minerales	2	3	2

Por causa de estas heterogeneidades en la composición, resulta que en carbones de bajo rango pueden existir muchos tipos, lo que no sucede en las antracitas (Tabla 3).

También se debe considerar en la caracterización, que los cambios que sufren los componentes orgánicos durante la carbonificación no son iguales. La inertinita casi no sufre cambios mientras que la exinita se hace muy parecida a la vitrinita. La vitrinita sufre cambios más o menos regulares (véase Figura 3).

La determinación exacta del rango de un carbón a partir de los análisis inmediatos o elementales no es posible debido a las diferencias en las composiciones maceráticas. Por tal motivo se procura hoy día llevar a cabo las determinaciones de rango en un solo grupo de macerales (vitrinitas) [Tabla 4], ya que primero es el grupo de macerales más abundante y por lo tanto más representativo, segundo, es el grupo cuyos cambios físicos y químicos son más uniformes a medida que aumenta el rango y tercero es el grupo que más fácilmente se puede macerar, es decir separarlo de los otros grupos de macerales y minerales.

Las determinaciones de rango en base a los análisis inmediatos o elementales en el grupo de las vitrinitas no conllevan en toda la gama de grados de carbonificación, a resultados confiables ya que existen cambios bruscos o débiles. Hoy día se utiliza el análisis de reflexión en vitrinitas por ser el más rápido, más exacto y además realizable en pulidos de carbón.

6. METODOS DE INVESTIGACION EN LA CARACTERIZACION

Antes de describir los métodos de investigación hay que comentar la importancia del muestreo de carbones y la preparación de las muestras para las diferentes investigaciones. Los métodos de investigación modernos son muy exactos y no tendrían objeto si la muestra obtenida no es representativa para un total del carbón a investigar. Por lo tanto el muestreo y la preparación de la muestra son tan importantes como la misma investigación.

Carbones de afloramientos o de pilas en contacto con el oxígeno del aire, por ejemplo, cambian su composición elemental y sus características tecnológicas (hinchamiento). Por cada por ciento de oxígeno asimilado por el carbón, éste se pierde hasta 160 Kj/Kg de su poder calorífico.

En el marco de la caracterización se conocen los métodos de investigación petrográficos, físicos, químicos, tecnológicos y de comportamiento de reacción.

Tabla 2. Comparaciones entre $\bar{R}m$, MV (Vi), MV (lac) y la composición macerática (Mackowsky, M-Th, 1978).

	Japón	Sudáfrica	Sarre	Ruhr
$\bar{R}m$	0,76	0,74	0,79	0,79
MV (Vi)	36,9	37,2	36,4	36,4
MV (lac)	47,0	31,7	39,6	38,2
Vitrinita	81	47	74	44
Exinita	15	7	11	26
Inertinita	1	44	12	29
Minerales	3	2	3	1

(continúa)

Según:

$\bar{R}m$ —————> Carbones bituminosos altos en volátiles A B.

MV (Vi) —————> Carbones de llama larga para gas.

47% MV (lac) —————> Japón. Sub-bituminoso A.
Lignito duro brillante

31,7% MV (lac) —————> Sudáfrica. Bituminoso medio en volátiles Carbón para gas.

39,6% MV (lac) —————> Sarre. Bituminoso alto en volátiles B. Carbón de llama larga

38,2% MV (lac) —————> Ruhr. Bituminoso alto en volátiles B. Carbón de llama larga para gas.

Manto	Cenizas (libres H ₂ O, % peso)	MV (lac) % peso	C	H	N	S	O
(libres de agua y cenizas, % peso)							
R							
Vitrinita	1,29	36,13	83,45	5,06	0,78	0,93	9,78
Inertinita	3,76	22,45	86,77	3,91	0,55	0,66	8,11
Exinita	0,48	68,77	85,49	7,34	0,46	0,91	5,80
ZOLLVE REIN							
Vitrinita	0,50	31,97	85,74	4,88	0,78	0,82	7,78
Inertinita	5,89	23,37	87,98	4,17	0,57	0,48	6,81
Exinita	0,63	59,81	87,41	6,74	0,64	0,54	4,67
ANNE							
Vitrinita	1,59	28,36	88,36	5,11	0,83	0,97	4,73
Inertinita	1,13	19,18	89,59	4,34	0,60	0,52	4,95
Exinita	0,14	37,08	89,10	5,96	0,67	0,52	3,75
WILHEM							
Vitrinita	2,28	23,50	88,84	4,94	1,56	0,71	3,95
Inertinita	5,80	16,98	89,78	4,25	0,92	0,53	4,52
Exinita	1,85	22,57	89,29	4,91	1,45	0,60	3,75

Tabla 3. Ejemplos de análisis elementales e inmediatos de los grupos de macerales según Kröger et al.: 1957

6.1 METODOS PETROGRAFICOS

Se puede esperar que carbones de diferente origen, edad geológica y grado de carbonificación (rango), tienen también diferente composición y características físicas y químicas. Si se observa macroscópicamente una hulla húmica alta en volátiles (bajo rango), se nota una estructura externa de estratificación. Esta estratificación está compuesta por bandas brillantes, bandas mates y bandas fibrosas. Con la ayuda de un microscopio se reconoce que estas bandas están compuestas de diferentes macerales (Tabla 5).

Las bandas brillantes (litotipo vitraín) están compuestas por macerales del grupo vitrinita. Las bandas fibrosas (litotipo fusaín) están compuestas por macerales del grupo de la inertinita y las bandas mates (litotipo duráin) están compuestas generalmente de los grupos Inertinita y Exinita con unas pocas cantidades de Vitrinita.

Según normas dictadas por el Comité Internacional de

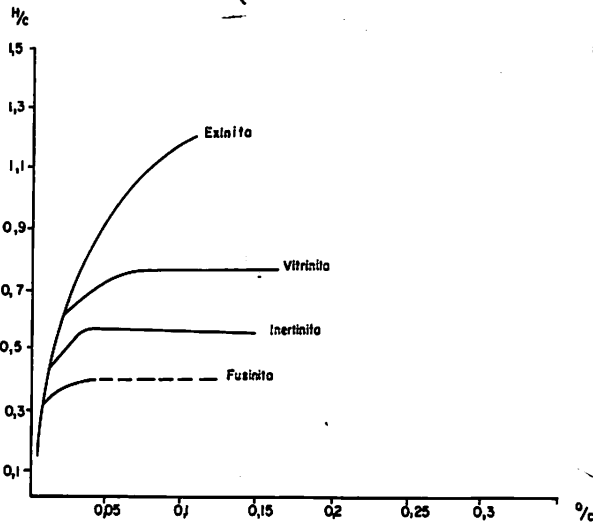


FIGURA 3. Diagrama de Van Krevelen
Relación entre H/C y O/C

$$\frac{H}{C} = \frac{\text{átomos - gr. de H}}{\text{átomos - gr. de C}}$$

$$\frac{O}{C} = \frac{\text{átomos - gr. de O}}{\text{átomos - gr. de C}}$$

RANGO ALEMANIA	RANGO E.U.	Rm % (V)	M.V. % (Vol)	C (Vi) % (Vol)	H ₂ O (V) %	PODER CAL Kcal/Kgr	APLICABILIDAD DE LOS DIFERENTES PARAMETROS
Turba	Turba	0,2	68	60	75		
Blando	Lignito	0,3	60				
Duro mate	Lignitos	0,4	52		35	4.000	
Duro brillante	Lignitos	0,5	48	71	25	5.500	Agua
Hulla llama larga	Lignitos	0,6	44		8-10	7.000	Pod. calorífico (c)
Hulla llama larga para gas	Lignitos	0,7	40				
Hulla de gas	Lignitos	0,8	36				
Hulla grasa	Bitum. medio Volátil	1,2	28	87		8.650	
Hulla coque	Bitum. bajo Volátil	1,4	24				
Hulla magro	Semi-antracita	1,6	20				
Antracita	Antracita	1,8	16				
Meta Antracita	Meta-Antracita	2,0	12				
		3,0	8	91		8.650	
		4,0	4				

TABLA 4. Relaciones entre los parámetros de rango en los diferentes grados de carbonificación, (Stach 1982)

Petrología del Carbón, un litotipo tiene que tener una potencia determinada, por ejemplo 0,5 cm. Las bandas de carbón menores de 0,5 cm pueden formar el litotipo clarain cuando bandas mates y brillantes interestratificadas alcanzan un mínimo de 0,5 cm de espesor. El litotipo clarain está entonces formado por macerales de los tres grupos.

Fuera de los macerales, microscópicamente se observan también minerales incluidos en el carbón o formando bandas de Peña observables también macroscópicamente.

En los últimos años la petrografía del carbón ha tomado mucha trascendencia en las investigaciones de carbón ya que se ha demostrado su importancia en los estudios básicos o aplicados, lo que ha dado por resultado los siguientes análisis cuantitativos y cualitativos:

- Análisis de litotipos.
- Análisis de macerales y grupos de macerales.
- Análisis de microlitotipos.
- Análisis de reflexiones (rangos).
- Análisis de fluorescencias.

TABLA 5. Correlaciones entre los grupos de macerales de los lignitos y las hullas (ICCP, 1971).

Grupo de Macerales	Lignitos Macerales	Hullas Macerales	Grupo de Macerales
Huminita	Textinita Ulminita Attrinita Densinita Gelinita Corpohuminita	Telinita Vitrodetrinita	Vitrinita
Liptinita	Esporinita Cutinita Resinita Suberinita Alginita	Esporinita Cutinita Resinita Alginita	Exinita Fluorinita Suberinita Exudatinita Clorofilinita Bituminita
Inertinita	Clorofilinita Liptodetrinita Fusinita Semifusinita Macrinita Esclerotinita Inertodetrinita	Liptodetrinita Fusinita Semifusinita Micrinita Macrinita Esclerotinita Inertodetrinita	Inertinita

6.2 METODOS FISICOS Y QUIMICOS

El carbón contiene componentes de diferente dureza y resistencia. En la trituración y la molienda estos componentes se distribuyen desigualmente en los diferentes tamaños de granos, de suerte que las fracciones granulométricas muestran diferencia en la composición. De esto se deriva que los ensayos y análisis dependen en gran parte de la constitución de los granos de las fracciones. Ejemplo: el maceral fusinita y los minerales arcillosos se acumulan preferencialmente en los finos.

La granulometría juega un papel muy importante en la utilización del carbón. La gran mayoría de los carbones vendidos, sufren aún cuando sea de una manera primitiva, una preparación de cribado. Ejemplo en el Departamento

de Antioquia: carbón cocina, carbón cisco. La granulometría está definida por las clases de tamaño y se caracteriza por el análisis de tamizado.

La dureza y la resistencia y con ello la triturbabilidad, son de gran importancia en la preparación y se caracteriza con el Índice Hardgrove. Para la preparación son también de gran utilidad los análisis de lavabilidad los cuales permiten dar una idea en la obtención de carbones con determinadas cantidades de cenizas.

El carbón es decir, la subsistencia carbonosa está compuesta de grupos de aromáticos, hidroaromáticos y alifáticos, y oxígeno, nitrógeno y azufre ligados. Los grupos aromáticos se incrementan al aumentar el rango y con ello la cantidad de carbono, pero disminuyen las cantidades de hidrógeno y oxígeno. De esto tenemos que la composición elemental del carbón tiene estrecha relación con el rango y sirve de base para los cálculos calorimétricos y términos de combustión, como también para la valorización del carbón como materia prima. A excepción del nitrógeno los elementos encontrados en la sustancia orgánica se encuentra también en la inorgánica como el carbono en carbonatos, hidrógeno en el agua, el oxígeno en carbonatos y agua, el azufre en sulfatos y sulfuros, etc.

TABLA 6. Valores determinados experimentalmente en % peso.

	(e.lac)	(e.lac)	(e.b)
Materia volátil	28,8	—	—
Agua	—	—	6,9
Cenizas	—	6,0	5,6
Carbono	87,6	82,3	76,6
Hidrógeno	5,4	5,1	4,7
Azufre total	0,7	1,0	0,9

BALANCE ELEMENTAL EN % PESO

Carbono total	87,6	82,3	76,6
Hidrógeno total	5,4	5,1	4,7
Azufre total	0,7	1,0	0,9
1. Suma intermedia	93,7	88,4	82,2
Oxígeno	4,8	4,5	4,2
Nitrógeno	1,7	1,6	1,5
2. Suma intermedia	100,2	94,5	87,9
Agua	—	—	6,9
Cenizas	—	6,0	5,6
	100,2	100,5	100,4

El análisis elemental del carbón incluye los elementos carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, azufre, cloro. Estos análisis son absolutos es decir, se debe llegar siempre al mismo resultado por cualquier método.

El balance elemental del carbón se relaciona al carbón (la) o al carbón (b). Se puede partir de los valores determinados analíticamente para agua, cenizas y los análisis elementales. Cuando el balance se debe hacer discriminando los valores de los componentes orgánicos e inorgánicos, el trabajo experimental es muy grande.

Para los cálculos térmicos de combustión es suficiente la determinación de la cantidad total de cada elemento. Para representar un balance elemental de carbones con menos del 15% de cenizas (e. la) se puede seguir el ejemplo expuesto en la Tabla 6.

TABLA 7. Determinación de materia volátil y carbono fijo en base a los análisis de agua, cenizas y gas.

Estado	b (%)	La (%)	lac (%)
Agua	1,0		
Cenizas	7,8	7,9	
Gas	24,2		
Materia volátil	23,2	23,4	25,4
Coque de crisol	75,8		
Carbono fijo	68,0	68,7	74,6
Total	200,0	100,0	100,0

Expresado en porcentajes por peso, se tiene:

$$\begin{aligned}
 \text{Materia volátil} &= \text{Gas} - \text{Agua} \\
 \text{Coque} &= 100 - \text{gas} \\
 \text{Carbono fijo} &= \text{Coque} \cdot \text{Cenizas} \\
 \text{Cenizas (la)} &= \frac{\text{Cenizas (b)}}{100 - \text{Agua}} \\
 \text{Materia volátil (la)} &= \frac{\text{Materia volátil (b)}}{100 - \text{Agua}} \\
 \text{Carbono fijo (la)} &= \frac{\text{Carbono fijo (b)}}{100 - \text{Agua}} \\
 \text{Materia volátil (lac)} &= \frac{\text{Materia volátil (la)}}{100 - \text{Cenizas (la)}} \\
 \text{Carbono fijo (lac)} &= \frac{\text{Carbono fijo (la)}}{100 - \text{Cenizas (la)}}
 \end{aligned}$$

Un balance entre 99,5 y 100,5% peso, se considera correcto. Si el balance resulta menor de 99,5% peso, es porque el azufre total es muy alto o porque existen errores analíticos. En estos casos hay que tener en cuenta para los cálculos térmicos que el factor mineral es mayor al medio calculado. Si el balance es mayor de 100,5% es porque existen errores analíticos. Si se desea hacer un control teórico hay que tener en cuenta que el factor mineral es menor al medio calculado.

El análisis inmediato permite en poco tiempo y con métodos simples obtener una caracterización sobre propiedades importantes del carbón que se pueden utilizar para obtener conclusiones sobre su comportamiento en procesos tecnológicos. Este análisis comprende el contenido de agua, cenizas, materia volátil y carbono fijo. Ejemplo (Tabla 7).

El análisis de mineral del carbón es largo, complicado y sólo es realizado en casos especiales, para ello es necesario separar los minerales del carbón ya sea por medios químicos o quemando la substancia orgánica a bajas temperaturas (150°) al vacío. Si se necesita el análisis de minerales se utiliza mejor el de cenizas a excepción del de sulfuros, sulfatos, carbonatos y cloruros, que se realizan directamente del carbón, ya que éstos cambian químicamente durante la combustión.

Los minerales encontrados en el carbón se pueden reunir en los siguientes grupos:

- Minerales arcillosos
- Carbonatos
- Sulfuros
- Oxidos
- Cuarzos
- Fosfatos
- Minerales pesados

Análisis de cenizas. Este análisis es importante ya que los componentes principales de las cenizas ejercen una influencia muy marcada en las características de los carbones. Generalmente se determinan: silicio, aluminio, hierro, titanio, calcio, magnesio, sodio, potasio, fósforo, azufre. Los resultados se dan como óxidos (véase Tabla 8).

Fusión de cenizas. Este análisis indica el comportamiento de los minerales del carbón durante la combustión. Este análisis depende de las condiciones de los hogares. La fusión de cenizas se caracteriza por el punto de sinterización, ablandamiento, media esfera y fusión.

6.3 METODOS TECNOLOGICOS

Ensayos tecnológicos. Muchos carbones se utilizan para la producción de coques y por tal motivo se han desarrollado una gran cantidad de métodos de análisis para pronosticar el comportamiento del carbón para la coquización. El que un carbón sea o no coquizante depende de muchos parámetros.

Conjuntamente con la composición y determinación de macerales, de la composición química, de la cantidad de cenizas, contenido de materias volátiles, de betunes, estado de oxidación y sus características físico-químicas como lo son el comportamiento de ablandamiento, hinchamiento, contracción, empuje, comportamiento de desgasificación, la coquización también esta influenciada por las condicio-

nes de la coquización; es decir, por la temperatura, cantidad de agua, constitución de los granos, granulometría, densidad de carga, ancho de la batería y también por las adiciones especiales de polvo de coque o antracita que disminuyen la capacidad de coquización de la muestra pero aumentan la resistencia mecánica del coque o adiciones de brea, betunes, aceites para tratar de lograr un comportamiento mejor de la mezcla para la coquización. Debido a toda esta cantidad de parámetros se entiende el por qué es necesario conocer muchos de ellos para pronosticar la capacidad de coquización de un carbón.

Capacidad de aglutinación (cocción). En la clasificación internacional para carbones duros la aglutinación caracteriza la segunda cifra (grupo). Un carbón con buena capacidad de aglutinación no solamente proporciona coque aglutinado sino hasta coque fundido. La capacidad de aglutinación se mide con el Índice de Roga. También se le puede caracterizar con el Índice de Hinchamiento aún cuando un carbón con un buen hinchamiento no necesariamente proporciona un coque con buena aglutinación.

Capacidad de coquización. Un carbón con buena capacidad de cocción no necesariamente proporciona coque de buena calidad en condiciones industriales. Por este motivo en la clasificación internacional se acordó una tercera cifra (subgrupo) que caracteriza el grado de coquización o capacidad de coquización. Esta capacidad de coquización se mide con un dilatómetro o con el ensayo Gray-King.

Comportamiento plástico. Para que un carbón de un buen coque aglutinado y fundido o para que se le pueda utilizar como ligante en el proceso de briquetas calientes se necesita que éste pase durante el proceso de coquización por un estado plástico que tiene lugar entre 350 y 500°C. La plasticidad se mide con plastómetros.

TABLA 8. Límites en los análisis químicos de cenizas de Hullas y Lignitos según GUMZ, KIRCH, MACKOWSCY, 1958.

	Hulla (%)	Lignito (%)
SiO ₂	25 - 45	8 - 18
Al ₂ O ₃	15 - 21	4 - 9
Fe ₂ O ₃	20 - 45	2 - 6
CaO	2 - 4	25 - 40
MgO	0,5 - 1	0,5 - 6
TiO ₂	-	-
Na ₂ O + K ₂ O	-	-
SO ₃	4 - 10	0 - 50

Comportamiento de desgasificación. Ya que los principales procesos de formación de coque ocurren en la zona plástica acompañados al mismo tiempo de una desgasificación del carbón, para valorizar estos carbones se debe en lo posible determinar la marcha de la desgasificación. Hoy día esto se mide con métodos gravimétricos bajo un aumento

constante de temperatura. De esta manera se puede determinar la cantidad de gases que se desprenden antes del ablandamiento (predesgasificación) durante el ablandamiento (desgasificación principal) y luego de la resolidificación (posdesgasificación).

Empuje y constracción. Empuje es la fuerza que ejerce la masa de carbón durante la coquización debido a la desgasificación y con ello al hinchamiento que genera el ablandamiento. La posdesgasificación genera una contracción del coque. Para un proceso sin falla en los hornos de coque la relación entre el empuje y la contracción tiene que estar ajustada.

Ensayos de coquización semitecnológicos. El camino más seguro para saber sobre la coquización de un carbón y valorar el producto obtenido es el ensayo de coquización en hornos semitecnológicos. En estos hornos se pueden utilizar parámetros aproximadamente iguales a los utilizados en los altos hornos como son la granulometría, densidad de carga, ancho del horno, velocidad de calentamiento, etc.

El ensayo de coquización con la retorta JENKNER permite con solo un kilogramo de carbón determinar los productos de destilación y la investigación del coque obtenido.

6.4 METODOS DEL COMPORTAMIENTO DE REACCIÓN

Punto de inflamación. Es la temperatura a la cual el carbón finamente molido se inflama cuando se calienta a una rata de temperatura constante y en una atmósfera de oxígeno. Este punto depende de muchas condiciones exteriores por lo que un método exacto para su determinación es muy difícil.

Capacidad de oxidación. Cuando el carbón se apila, poco a poco se va oxidando lo que ocasiona generalmente una pérdida en el poder calorífico, en la capacidad de aglutinación como también una pérdida en la producción de benzoles y alquitranes. La oxidación aumenta al disminuir su granulometría y depende, entre otros, de la temperatura y de la composición maceral del carbón.

El poder calorífico. Se utiliza libre de cenizas y seco al medio ambiente, en la clasificación internacional para determinar el rango, es decir la primera cifra, para carbones con más del 33% de materias volátiles (lac). El poder calorífico es la base para el cálculo de las técnicas de combustión y gasificación.

7. CLASIFICACION DE CARBONES

La importancia tecnológica y comercial del los carbones motivó el surgimiento de numerosas tablas de clasificación basadas cada una en diferentes puntos de vista según su naturaleza y aplicación. En general cada clasificación busca primero que todo acomodarse en la mejor forma posible a las características (calidades) de los carbones de cada país y al mismo tiempo codificar todos aquellos parámetros (según normas de cada país) que su utilización indique como necesarios.

Para muchas de las características de los carbones faltan aún métodos de determinación únicos normalizados y reconocidos internacionalmente de suerte que una compara-

ción de carbones de diferentes países y su caracterización con el fin de coquizarlos, gasificarlos, etc., es muy difícil.

El aumento del comercio internacional del carbón como también el intercambio de experiencias tecnológicas en los diferentes campos de utilización, hacen necesario acuerdos internacionales sobre caracterizaciones y denominaciones de las diferentes clases de carbón. En este sentido ya se han dado buenos pasos y el fruto son las normas ISO, la clasificación internacional para lignitos según ISO como también la Clasificación Internacional de Hullas de 1954.

7.1. CLASIFICACION NORTEAMERICANA

La primera y la más importante se estableció en base a las características combustibles de sus carbones y se funda en el grado de madurez alcanzado por el carbón durante la carbonificación (fases bioquímica y geoquímica). Esto da como resultado una serie natural que principia con lignitos y termina en atracitas. A esta clasificación se le denomina clasificación por Rango (ver Tabla 9).

Carbones de rango alto se caracterizan con su contenido de carbono fijo (lac) o por su contenido de materia volátil (lam). Los carbones de bajo rango se caracterizan por su poder calorífico (lm).

La corrección de cenizas a substancia mineral se realiza según las fórmulas de PARR:

$$\% \text{ Carbono fijo (lm)} =$$

$$\% \text{ Carbono fijo (b)} - 0,15. \% \text{ Azufre (b)}$$

$$\frac{\% \text{ Carbono fijo (b)} - 0,15. \% \text{ Azufre (b)}}{[100 - (\% \text{H}_2\text{O} + 1,08. \% \text{Cenizas (b)} + 0,55. \% \text{Azufre (b)})]} \cdot 100$$

$$\% \text{ Materia volátil (lm)} = 100 - \% \text{ Carbono fijo (lm)}$$

$$\text{Poder calorífico (lm)} =$$

$$\text{Poder calorífico (b)} - 50\% \text{ Azufre (b)}$$

$$\frac{\text{Poder calorífico (b)} - 50\% \text{ Azufre (b)}}{[100 - (1,08. \% \text{Cenizas (b)} + 0,55\% . \% \text{Azufre (b)})]} \cdot 100$$

La segunda clasificación norteamericana es la de la calidad en base al cálculo de la proporción combustible o índice combustible "fuel ratio". Este término se define como la relación entre el porcentaje de carbono fijo y el de materia volátil. Con estos valores resulta una tabla que clasifica los carbones de acuerdo a su proporción combustible como índice de calidad. (Tabla 10).

7.2 CLASIFICACION ALEMANA DEL RUHR HULLAS

La clasificación alemana se basa en el porcentaje de materias volátiles (lac). Los límites de las clases lo define el grado de aglutinación. (Tabla 11). En esta tabla no se pueden ubicar los carbones con más de 45% de Materia Volátil (lac).

7.3 CLASIFICACION FRANCESA

Se funda en las propiedades coquizantes de los carbones, destacando los de bajo rango. (Tabla 12). En esta tabla no se pueden ubicar carbones con más del 40% de Materia Volátil (lac).

Clase	Grupo	% Carbono Fijo (Iam)	% Materia Volátil (Iam)	Poder Calorífico (Im)	
				BTU/Lb	Kcal/Kg.
Antracitas	Meta-antracita	> 98	< 2		
	Antracita	92 - 98	2 - 8		
	Semiantracita	86 - 92	8 - 14		
Bituminosos	Bajo en volátiles	78 - 86	14 - 22		
	Medio en volátiles	69 - 78	22 - 31		
	Alto en volátiles A	< 69	> 31	> 14.000	> 7.778
	Alto en volátiles B			13.000-14.000	7.223 - 7.778
	Alto en volátiles C		" aglutina "	10.500-13.000	5.834 - 7.223
Sub-bituminosos	Sub-bituminosos A		" no aglutina "	10.500-11.500	5834 - 6.390
	Sub-bituminosos B			9.500-10.500	5.279 - 5.834
	Sub-bituminosos C			8.300 - 9.500	4.612 - 5.279
Lignitos	Lignitos A			6.300 - 8.300	3.500-5.279
	Lignitos B			< 6.300	> 3.500

TABLA 9. Clasificación Norteamericana por Rangos.

TABLA 10. Clasificación norteamericana por calidades

Clase	Proporción combustible "fuel ratio"
Antracita	10 - 60
Semiantracita	6 - 10
Bituminoso	3 - 7
Semibituminoso	1/2 - 3

7.4 CLASIFICACIONES INTERNACIONALES

Clasificación ISO para lignitos (Tabla 13).

Clasificación internacional para carbones duros. (Número de tres cifras). Esta clasificación se estableció en base a una medida de rango y dos tecnológicas. La medida de rango está determinada por la materia volátil (Iac) para carbones con menos del 33% de Materia Volátil (Iac), o el poder calorífico (sa le) para carbones con más del 33% de Materia volátil (Iac). Estas dos medidas proporcionan la primera cifra e indica la clase.

La segunda cifra hace referencia al grupo y se determina en base a una medida tecnológica que puede ser el Índice de Hinchamiento o el Índice Roga. Estas mediciones determinan las propiedades aglutinantes del carbón según la Tabla 14.

TABLA 11. Clasificación alemana del Ruhr para Hullas

Clase	% Materia volátil (Iac)	Características del coque de crisol
Llama larga	40 - 45	Sinteriza difícilmente, no hincha, no aglutina, botón pulverulento (arenoso).
Llama larga para gas	33 - 40	Sinteriza, no hincha, aglutina débilmente, botón en parte pulverulento.
Gas	28 - 35	Sinteriza, hincha, aglutina fuertemente, botón compacto, fisurado.
Grasa	18 - 30	Sinteriza, hincha y aglutina fuertemente, botón compacto, grisplateado.
Cocina	14 - 20	Sinteriza e hincha débilmente, poco aglutinamiento, botón compacto.
Magra (seca)	10 - 14	Sinteriza débilmente, no hincha, no aglutina, botón débilmente compacto o pulverulento.
Antracita	7 - 10	No sinteriza, no hincha, no aglutina, botón pulverulento.

Clase	% M.V (Iac)	Ind. Hinch.	Tiemp. Resolif. (°C)	Dilatación Arnu (%)	Clasif. Inter	\bar{R}_m (Vi)
Llameante seco	39 - 40	1			711	0,6 - 0,7
Llameante graso B	38 - 40	2 - 3	< 460		721	0,7 - 0,75
Llameante graso A	37 - 39	3 ½ - 5	460 - 470	-30 a' - 10	632	0,75 - 0,85
Graso B	37 - 39	7 - 7 ½	470 - 480	+20 a' + 60	633	0,85 - 0,95
Graso A	33 - 38	7 ½ - 8 ½	480 - 490	+100 a' + 230	634	0,95 - 1,05
Graso coque B	26 - 33	7 ½ - 9	490 - 505	+ 140 a' + 250	435	1,0 - 1,25
Graso coque A	21 - 26	8 - 9	495 - 510	+ 40 a' + 100	434	1,25 - 1,50
3/4 Graso	18 - 20	6 - 8 ½	500 - 515	0 a' + 20	333	1,50 - 1,70
1/2 Graso	13 - 18	2 - 5			212-323	1,70 - 1,90
1/4 Graso	12 - 16	1			200-300	1,90 - 2,10
Magro	8 - 14	0			100 b	2 - 2,8
Antracito	< 8	0			100 a	> 2,8

TABLA 12. Clasificación Francesa (Cerchar) para Hullas

La tercera cifra indica el subgrupo y se determina en base a una medida tecnológica que puede ser el ensayo dilatométrico o el ensayo Gray-King.

Estas mediciones determinan las propiedades coquizantes del carbón, según la Tabla 14.

7.5 CLASIFICACION DE CARBONES PROPUESTO POR EL INGEOMINAS

A la clasificación Internacional se le critica:

Que los cuatro parámetros entre los cuales se decide para determinar los grupos (Índice de Hinchamiento e Índice de Aglutinación) y los subgrupos (Ensayo Dilatométrico y Ensayo Gray-King) no presentan entre sí una correlación confiable. Como máximo se puede decir que varían más o menos en un mismo sentido lo que queda demostrado con la fórmula aproximada.

Índice de aglutinación \approx Índice de hinchamiento \times 10

De esto se deriva que ciertos carbones no se encuentran clasificados exactamente.

TABLA 13. Clasificación de lignitos según ISO para carbones con un poder calorífico menor de 5.700 Kcal/kg (lc)

Parámetro de grupo: Rendimiento de alquitranes, % (Iac)	Número de Grupos	Número de Código					
> 25	4	14	24	34	44	54	64
> 20 á 25	3	13	23	33	43	53	63
> 15 á 20	2	12	22	32	42	52	62
> 10 á 15	1	11	21	31	41	51	61
\leq 10	0	10	20	30	40	50	60
Número de clase:		1	2	3	4	5	6
Parámetro de clase:							
Humedad total del lignito explotado, % (lc)		≤ 20	> 20	> 30	> 40	> 50	> 60
		á	á	á	á	á	á
		30	40	50	60	70	

No. Grupo	Grupos Ind. Hinch.	Roga	Números Código							No. subgrupo	Subgrupos Dilatom % Gray - King			
3	4 1/2 á 9	> 45	435	535	635					5	> 140	> G8		
			334	434	534	634				4	> 50 á 140	G5 á G8		
			333	433	533	633	733			3	> 0 á 50	G1 á G4		
			332	432	532	632	732	832		2	≤ 0	E á G		
2	2 1/2 á 4	> 20 á 45	323	423	523	623	723	823	3	> 0 á 50	G1 á G4			
			322	422	522	622	722	822		2	≤ 0	E á G		
1	1 á 2	> 5 á 20	321	421	521	621	721	821	1	so la con tra c c i ó n	B á D			
0	0 á 1/2	0 á 5	212	312	412	512	612	712	812	2	≤ 0	E á G		
			211	311	411	511	611	711	811	1	so la con tra c c i ó n	B á D		
			100	200	300	400	500	600	700	800	900	0	no ab lan da	A
1ª Cifra Num. Clase →			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A título indicativo	
Parámetros de clase	Materia volátil (lac) % →	0 á 3 3 á 10 10 á 14 14 á 20 20 á 28 28 á 33 > 33											Clase 6 → 33 - 41 % M V (lac)	
	Poder calorífico (sa lc) kcal/kg. → 30 °C y 97% humedad aire	> 7750 7750 á 7200 7200 á 6100 6100 á 5700 > 5700											Clase 7 → 33 - 44 " "	
													Clase 8 → 35 - 50 " "	
													Clase 9 → 42 - 50 " "	

TABLA 14. Clasificación Internacional de Carbones Duros

Ejemplo: Un carbón con las siguientes características

% MV (lac) → 37%

P.C (sa la) → 7.800 kcal/kg.

Ind. Hinch → 7

Ind. Roga → 90

% Dilat. max → 60

Ens. Gray-King → G5

Código 634

- Que la clasificación sólo tienen en cuenta carbones con composición maceral homogénea con poca cantidad de macerales inertes (inertinita).

- Que los parámetros usados para determinar el rango (materia volátil, poder calorífico), dependen de la composición macerática del carbón.

El INGEOMINAS propone una clasificación para muestras con menos del 10% de cenizas en la cual los carbones están representados por un número de cuatro cifras.

- La primera cifra indica el rango del carbón y se determina por la medición de la reflectancia máxima de la vitrinita en un carbón de manto.

- La segunda y tercera cifra, indican el tipo de carbón definido por la composición maceral (lm) y determinado por el contenido de vitrinitas para la segunda cifra y exinitas para la tercera. Este es el análisis petrográfico de grupos de macerales rutinario de laboratorio.

- La tercera cifra del número está definida por:

● el contenido de materias volátiles (lac) para carbones con rangos de antracitas.

● La dilatación máxima para carbones con rangos de semi-antracitas y bituminosas.

● Poder calorífico (sa le) expresado como calorías/gramo, para carbones sub-bituminosos y ligníticos. (Tablas 15, 16 y 17).

1 PARAMETROS DE CLASIFICACION

Ejemplos de clasificación, según la propuesta del INGEOMINAS (Tabla 18).

TABLA 15. Parámetros de rango (Propuesta Ingeominas)

No. de Rango	R _{max}	Clase
1	> 2,8	Antracítico
2	> 2,2 - 2,8	Semiantracítico
3	> 1,7 - 2,2	Bituminoso bajo volátil
4	> 1,4 - 1,7	Bituminoso medio volátil A
5	> 1,1 - 1,4	Bituminoso medio volátil B
6	> 0,8 - 1,1	Bituminoso alto volátil A
7	> 0,7 - 0,8	Bituminoso alto volátil B
8	> 0,5 - 0,7	Bituminoso alto volátil C
9	> 0,4 - 0,5	Sub-bituminoso
0	> 0,3 - 0,4	Lignítico

TABLA 16. Parámetros de tipo (propuesta Ingeominas)

Vitrinita*	% Vol. de Vitrinita	Exinita*	% Vol. de Exinita
0	≤ 10	9	> 90
1	> 10 - 20	8	> 80 - 90
2	> 20 - 30	7	> 70 - 80
3	> 30 - 40	6	> 60 - 70
4	> 40 - 50	5	> 50 - 60
5	> 50 - 60	4	> 40 - 50
6	> 60 - 70	3	> 30 - 40
7	> 70 - 80	2	> 20 - 30
8	> 80 - 90	1	> 10 - 20
9	> 90	0	≤ 10

TABLA 18. Ejemplos de clasificación según la propuesta del Ingeominas

Análisis (%)	A	B	C	D	E	F	G
R _{max}	1,01	1,10	1,52	0,96	1,03	0,79	0,73
Vitrinita (lm)	9	45	74	66	94	90	72
Exinita (lm)	65	17	1	2	2	7	6
Inertinita (lm)	26	38	25	32	4	3	22
Dilatación máxima	190	110	52	56	254	Cont.	Cont.
Cenizas (lc)	1,7	8,8	6,4	10,2	6,9	6,9	4,6
Código	6065	5414	4704	6604	6905	7901	7701

* Números de Tipo

TABLA 17. Parámetros para la cuarta cifra (Propuesta Ingeominas).

0 ≤ 3	0 No ablanda	0 > 5.700
1 > 3 - 5	1 Sólo contracción	1 > 5.200 - 5.700
2 > 5	2 ≤ 0	2 > 4.500 - 5.200
	3 > 0 - 50	3 > 3.400 - 4.500
	4 > 50 - 140	4 ≤ 3.400
	5 > 140	

BIBLIOGRAFIA

- Primer Foro Nacional sobre el Carbón. Memorias. Centro de Publicaciones U. N., Medellín, 1982.
- Primer Seminario sobre Control de Calidad de Carbones. Centro de Publicaciones, U.N., Medellín, 1983.
- RUHRKOHLEN-HANDBUCH. Verlag Glückauf, G.M.B.H., Essen, 1969.
- URIBE, G. y PEREZ, F. Propuesta de Clasificación de los Carbones Colombianos. Ingeominas, Bogotá, 1983.



GEOLOGIA Y MINERIA LTDA. INGEMIN LTDA.

GEOLOGIA GENERAL - GEOTECNIA
ESTUDIOS GEOLOGICO - MINEROS
CONCESIONES Y SERVICIOS DE EXPLOTACION
ED. SURAMERICANA CRA. 52 No. 50-25 OF. 611
TELEFONO: 241 09 82