

# SUSCEPTIBILIDAD A LA OXIDACIÓN INDUCIDA DE CARBONES TÉRMICOS COLOMBIANOS.

ARISTIZÁBAL R. ISABEL C., RESTREPO E. IRMA C.,  
PÉREZ S. JUAN D., OCAMPO O. ALONSO.  
*Departamento de Procesos Químicos y Centro del Carbón  
Facultad de Minas.  
Universidad Nacional - Sede Medellín*

## RESUMEN

En este trabajo se estudió la tendencia a la oxidación inducida de 32 carbones de diferentes regiones del país. Las experiencias se efectuaron en una balanza de alta sensibilidad y en una estufa con circulación forzada de aire. Las condiciones de operación seleccionadas fueron: tamaño de partícula: malla 60/100, temperatura: 200°C, tiempo de oxidación: 18 y 36 horas. Los resultados mostraron que los carbones del Cesar son los más susceptibles a la oxidación. El grado de oxidación se correlaciona en forma aproximadamente lineal con las características estrechamente relacionadas con el rango de los carbones (poder calorífico y poder reflector de la vitrinita - PRV). Se encontró que los carbones oxidados tienen menor contenido de materia volátil que los carbones frescos y que su poder calorífico se disminuye ostensiblemente con la oxidación.

## PALABRAS CLAVES

carbón mineral, oxidación inducida, termobalanza.

## ABSTRACT

This work analyses the different trends to induced oxidation of 32 coals from various places in Colombia. The experiments were carried out in a high sensitivity thermobalance and in a heater with air - forced circulation. The operating conditions were: particle size: 60/100 mesh, temperature: 200°C, oxidation times: 18 and 36 hours. The results show that coals from Cesar are the most susceptible to the oxidation. The oxidation grade correlates with the characteristics related to coal range (PRV and calorific value) on an almost linear form. It was found that oxidized coals

had lower volatile matter content than fresh coals and the calorific value decreased significantly with the oxidation.

## KEY WORDS

Mineral coal, induced oxidation, thermobalance.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un adecuado conocimiento no solo de nuestras reservas carboníferas sino también de sus características tecnológicas es de gran importancia para un uso racional del carbón en los distintos procesos de utilización. La oxidación afecta las propiedades fisicoquímicas del carbón incidiendo en su comportamiento en los diferentes procesos de transformación.

La oxidación con aire elimina las propiedades plásticas de los carbones produciendo un desarrollo primario de su estructura porosa. Cuando se utilizan carbones aglomerantes como materia prima, en ciertos procesos, es necesario destruir su plasticidad completamente para evitar la formación de materiales anisotrópicos con un desarrollo pobre de la porosidad. En la preparación de carbón activado a partir de carbón mineral, la preoxidación juega un papel benéfico <sup>2,3</sup>; en cambio, resulta perjudicial para las propiedades coquizantes en la obtención de coque <sup>1,4</sup>. Se ha encontrado que la composición química de los carbones se afecta por la oxidación <sup>5,6</sup> y que también resulta influenciada su reactividad en los procesos de gasificación y licuefacción <sup>7,8</sup>.

En este trabajo se estudia la susceptibilidad a la oxidación inducida de algunos carbones térmicos

colombianos, esperando que sirva como punto de partida para abordar estudios sobre el efecto de la oxidación en aplicaciones industriales (pirólisis, gasificación, obtención de carbón activado y de ácidos húmicos).

## 2. EXPERIMENTACIÓN

### 2.1. CARBONES ESTUDIADOS

En este trabajo se utilizaron 32 carbones de diferentes regiones del país, el Cerrejón Norte (Guajira), La Loma - Siminera (Cesar), La Jagua de Ibirico (Cesar), Excarbón (Antioquia) y El Hoyo (Cauca). Todos estos son carbones térmicos que se encuentran en un intervalo muy estrecho en cuanto a su rango (subbituminosos y bituminosos altos en volátiles). Estos pertenecen a mantos promisorios, en reservas. La tabla 1 muestra la procedencia de las muestras estudiadas.

Tabla 1 Procedencia de las muestras estudiadas

Referencia	Muestra	Referencia	Muestra
9700168	Cerrejón M - 45	9700287	Excarbón "La Grande"
9700169	Cerrejón M - 50	9700288	Excarbón "La Solapuda"
9700170	Cerrejón M - 45	9700353	La Loma M - 160
9700171	Cerrejón M - 60	9700359	La Loma M - 140
9700172	Cerrejón M - 75	9700364	La Loma M - 150
9700173	Cerrejón M - 70	9700367	La Loma M - 120
9700174	Cerrejón M - 65	9700374	La Loma M - 130
9700175	Cerrejón M - 40	9700376	La Loma M - 10
9700176	Cerrejón M - 47	9700773	La Jagua M - 1
9700177	Cerrejón M - 110	9700774	La Jagua M - 2
9700281	Cauca M - 1 <sup>a</sup>	9700775	La Jagua M - 3
9700282	Cauca M - 1B	9700776	La Jagua M - 4
9700283	Cauca M - 2	9700777	La Jagua M - 5
9700284	Cauca M - 3	9700778	La Jagua M - 6
9700285	Cauca M - 4	9700779	La Jagua M - 7
9700286	Excarbón "La Regular"	9700780	La Jagua M - 8

M: manto de carbón

### 2.2. EQUIPOS

En el desarrollo del trabajo se utilizaron dos equipos que se describen a continuación.

**2.2.1 Termobalanza (TGA7).** Esta se conforma de una microbalanza extremadamente sensible, capaz de detectar cambios de peso tan pequeños como 0.1 µg. y un horno en platino que permite operaciones desde temperatura ambiente hasta 1000°C, con rápidas velocidades de calentamiento y enfriamiento.

**2.2.2 Estufa.** Se adaptó una estufa universal Memmert serie U 30 (Convección Natural). El sistema de calefacción se realiza por aletas de gran superficie que sirven de apoyo para las bandejas. A esta estufa se le adicionó en el interior un tubo de cobre de 1/4 de pulgada de diámetro en forma de espiral con ranuras a lo largo de él, que hizo las veces de distribuidor del gas. Mediante un rotámetro se mide el flujo de gas (aire o nitrógeno) que se alimenta a la estufa.

### 2.3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

**2.3.1 Ensayos Preliminares.** Con el propósito de escoger los parámetros a utilizar en los experimentos de oxidación inducida de carbón con aire, se realizaron diferentes ensayos en el TGA 7 a una de las muestras, los cuales consistieron en variar el tamaño de partícula (mallas 18/20, 60/100 y 200/270), el tiempo (6, 12, 18 y 24 horas) y la temperatura de oxidación (150 y 200 °C); por ser éstos algunos de los factores que más influyen.

De acuerdo con los resultados los parámetros seleccionados para la primera fase experimental fueron: tamaño de partícula 60/100, temperatura de oxidación 200°C, tiempo de oxidación 18 horas.

**2.3.2 Primera Fase Experimental.** Esta consistió en la oxidación de las muestras bajo condiciones iguales de temperatura, tamaño de partícula y tiempo de oxidación; seleccionadas con base en los ensayos preliminares. Se usan unas condiciones fijas para que los resultados de esta oxidación puedan ser comparados y así poder seleccionar la muestra que tuvo mayor ganancia neta de peso durante la oxidación.

La oxidación se llevó a cabo en la termobalanza TGA7. Inicialmente se dejó la muestra, alrededor de 15 - 25 mg, a una temperatura de 30°C durante 15 minutos con el fin de desplazar posibles trazas de atmósferas reactivas (oxígeno y humedad del aire); después de esto, a una velocidad de calentamiento de 10°C/min, se lleva la muestra hasta 110°C dejándola en esta temperatura durante un tiempo de 15 minutos, en el cual se espera se dé la mayor pérdida de humedad. Luego se llevó la muestra hasta 200°C, nuevamente a una velocidad de calentamiento de 10°C/min. Todos los pasos anteriores se realizaron bajo atmósfera inerte de nitrógeno; al llegar a 200°C se cambió de nitrógeno a aire, dejando la muestra en esta atmósfera durante 18 horas.

**2.3.3 Segunda Fase Experimental.** En esta etapa se efectuó la oxidación de las cinco muestras seleccionadas en la primera fase, a 200°C durante 36 horas, con el fin de obtener una cantidad suficiente de muestra para hacerle análisis próximos, elementales y petrográficos.

Las muestras se colocaron en cápsulas Petri, a cada una de ellas se les agregó alrededor de ocho gramos de carbón con tamaño de partícula 60/100 y se esparcieron uniformemente en una capa delgada (máximo 3 mm de espesor). Se colocaron tres cápsulas por muestra, utilizando dos bandejas en la parte superior de la estufa. Se les hizo un seguimiento de peso durante el tiempo que se oxidaron. Se utilizó nitrógeno comercial para llevar la muestra hasta la temperatura de oxidación (200°C). Para la oxidación se utilizó un compresor, el cual tiene un filtro para atrapar la humedad del ambiente. El flujo de gas que

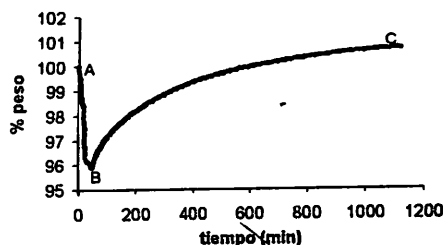
se manejó, tanto de aire como de nitrógeno, fue aproximadamente de 350 l/h.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

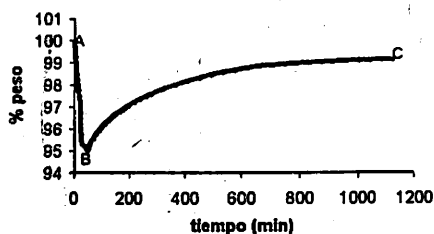
#### 3.1. PRIMERA FASE

En esta etapa se obtuvieron 3 tipos de termogramas característicos como se observa en la figura 1.

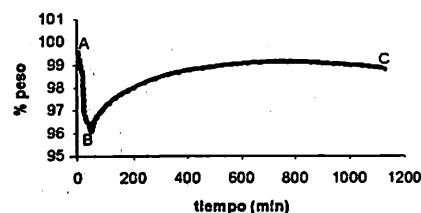
En los termogramas se distinguen básicamente dos regiones: la primera es una disminución de peso que corresponde a la pérdida de humedad en nitrógeno y está comprendida entre el punto A, que equivale al peso inicial de la muestra, y el B que es el valor mínimo de la curva y corresponde al momento en que se alcanza la temperatura de 200°C, en la cual se hace el cambio de gases y comienza la oxidación. La segunda región, comprendida entre los puntos B y C, equivale a la oxidación propiamente dicha. En general, en los termogramas se observaron tres tendencias claras, aunque en todas existe una ganancia neta de peso durante la oxidación. En la figura 1.1 se presenta una ganancia total de peso, es decir, el peso final de la muestra después de la oxidación es mayor que el inicial. En la figura 1.2 ocurre una ganancia neta de peso durante la oxidación y aunque el peso va aumentando desde que esta comienza hasta que termina, nunca supera el inicial de la muestra (la mayoría de las muestras). Finalmente se presenta una situación donde las muestras alcanzan un máximo de ganancia neta de peso y a continuación empieza a disminuir (figura 1.3).



1.1



1.2



1.3

Figura 1 Termogramas característicos

Tabla 2 Análisis de las muestras frescas y ganancia de peso en la termobalanza por 18 horas

Muestra	% peso	M.V. (%)	H.R. (%)	Cenizas (%)	P.C. (cal/g)	Azufre (%)	C.F. (%)	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	Vitrinita (%)	Liptinita (%)	Inertinita (%)	Minerales (%)	PRV
9700376	1.79	35.1	10.9	5.2	6333	0.89	48.80	67.90	5.49	1.47	19.05	74.86	3.81	11.62	9.71	0.42
9700367	2.036	34.4	11.0	5.1	6274	0.32	49.50	67.65	5.40	1.48	20.05	82.42	3.40	7.56	6.62	0.45
9700288	2.305	41.1	5.7	4.4	6655	0.76	48.83	67.25	5.74	1.44	20.45	79.20	10.60	3.80	6.40	0.57
9700374	2.309	35.5	10.7	3.3	6526	0.35	50.50	69.04	5.54	1.40	20.37	69.85	4.20	13.36	12.59	0.46
9700359	2.385	35.0	10.8	3.5	6510	0.37	50.70	68.26	5.42	1.56	20.89	62.35	4.44	18.34	14.87	0.46
9700364	2.396	34.7	11.1	3.4	6518	0.37	50.80	68.28	5.42	1.55	20.98	69.02	6.86	15.10	9.02	0.48
9700774	2.533	36.7	4.9	9.8	6934	1.84	48.60	68.11	5.84	1.43	12.95	80.04	8.72	8.33	2.91	0.49
9700281	2.538	41.7	6.6	1.4	6806	0.87	50.37	68.92	5.87	1.79	21.13	74.06	11.09	1.78	13.07	0.55
9700353	2.586	36.6	9.4	1.3	6679	0.28	52.75	72.04	5.62	1.57	19.22	79.09	1.14	12.17	7.60	0.46
9700287	2.593	40.2	4.7	5.3	6808	0.72	49.76	70.15	5.55	1.60	16.65	80.08	14.56	1.15	4.21	0.59
9700283	2.913	40.4	5.5	3.9	6738	0.88	50.22	68.20	5.70	1.68	19.67	74.31	13.33	1.58	10.78	0.57
9700282	2.92	43.0	5.1	1.7	7052	0.83	50.34	70.09	5.93	1.76	19.75	72.21	14.09	0.00	13.70	0.55
9700773	2.974	36.7	5.9	7.4	6660	0.58	49.98	70.48	5.50	1.56	14.46	77.13	4.65	7.56	10.66	0.54
9700284	2.985	41.2	5.0	2.7	6963	1.04	51.09	69.58	5.87	1.78	19.04	79.26	10.57	1.95	8.22	0.59
9700285	3.048	48.7	3.6	5.7	6990	0.84	42.05	69.49	6.45	1.44	16.14	74.57	7.54	0.22	17.67	0.55
9700776	3.78	36.4	4.9	4.3	7302	0.36	54.44	76.00	5.49	1.59	12.26	74.76	4.70	11.15	9.39	0.62
9700169	4.039	36.7	7.5	2.4	7146	0.4	53.36	67.99	5.78	1.02	22.37	78.21	3.89	7.98	9.92	0.56
9700177	4.096	36.4	7.3	3.8	6865	0.39	52.51	68.27	5.69	1.42	20.46	67.51	9.39	12.64	10.46	0.58
9700779	4.198	36.2	4.4	6.2	7062	0.92	53.31	74.86	5.36	1.64	11.06	73.28	5.34	10.88	10.50	0.56
9700286	4.262	34.9	2.3	10.4	7152	0.41	52.43	70.94	5.29	1.73	11.23	88.48	2.04	0.56	8.92	0.84
9700777	4.316	36.9	4.6	5.9	6965	0.92	52.61	74.82	5.58	1.63	11.17	80.93	4.28	7.39	7.40	0.59
9700778	4.397	36.2	4.4	5.8	7233	0.5	53.72	76.38	5.65	1.76	9.96	77.59	7.09	8.24	7.08	0.57
9700780	4.419	38.4	4.2	5.4	7445	1.22	51.97	75.72	5.55	1.65	10.45	72.40	5.65	8.60	13.35	0.58
9700173	4.482	35.7	4.2	9.1	6904	0.7	51.01	70.44	5.63	1.61	12.54	71.40	4.47	13.62	10.51	0.58
9700171	4.532	37.0	5.2	2.8	7335	1	55.03	71.51	5.83	1.44	17.46	70.68	6.21	11.26	11.85	0.64
9700775	4.569	37.4	4.7	3.2	6896	0.31	54.69	76.53	5.43	1.52	13.02	78.79	2.14	7.59	11.48	0.72
9700174	4.742	37.6	4.7	3.1	7344	0.7	54.63	72.07	5.88	1.88	16.42	85.88	5.72	3.82	4.58	0.64
9700172	4.798	37.3	5.2	0.9	7477	0.68	56.65	76.25	6.09	1.66	14.48	71.48	9.44	12.52	6.56	0.63
9700170	4.881	36.0	4.7	3.8	7461	0.5	55.49	72.47	5.66	1.22	16.35	67.91	4.72	12.20	15.17	0.66
9700176	4.924	34.9	4.2	5.6	7364	0.87	55.35	72.35	5.33	1.38	14.53	66.85	8.66	10.73	13.76	0.67
9700168	5.075	36.5	3.9	1.2	7801	0.39	58.47	74.21	5.74	1.27	17.17	67.18	7.18	10.68	14.96	0.66
9700175	5.084	37.8	4.7	3.3	7368	0.55	54.24	73.11	5.86	1.63	15.54	70.45	6.26	11.54	11.75	0.63

% peso : Ganancia neta de peso durante la oxidación por 18 horas en la termobalanza. M.V.: Materia volátil. H.R.: Humedad residual  
P.C.: Poder calorífico. C.F.: Carbono fijo. C: carbono elemental. H: Hidrógeno elemental. N: nitrógeno elemental. O: Oxígeno elemental

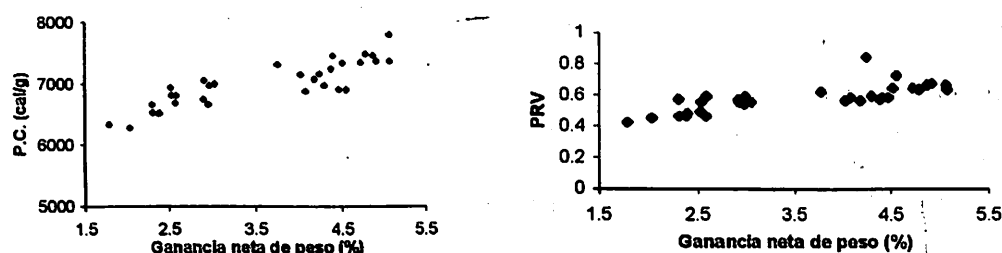


Figura 2 Regresiones lineales simples

A partir de la información recopilada en la tabla 2, se buscaron correlaciones lineales entre la ganancia neta de peso durante la oxidación y algunas características de los 32 carbones frescos obtenidas en los análisis próximos, elementales y petrográficos (figura 2)

El coeficiente de correlación, para todos los casos es bajo, dándose los mayores valores para las características estrechamente relacionadas con el rango de los carbones (Poder Calorífico, contenido de carbono y PRV).

También se efectuaron regresiones múltiples buscando encontrar una ecuación del tipo:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k$$

donde:  $x_1, x_2, \dots, x_k$  son las variables independientes.  
 $a_0$  es el intercepto (es una constante).

$a_1, a_2, \dots, a_k$  son los coeficientes parciales de la regresión (mínimos cuadrados) <sup>11</sup>.

En este caso se tomó como variable dependiente Y, el porcentaje de ganancia neta de peso, y se realizaron dos regresiones múltiples de cuatro variables y una de dos. En la primera de ellas se escogieron las características correspondientes a los análisis próximos (contenido de carbono, cenizas, materia volátil y azufre, en ese orden), obteniéndose un coeficiente de regresión de 0.7203. Analizando los coeficientes (tabla 3) se observa que el porcentaje de carbono es la variable que mayor influencia tiene en la ecuación; el contenido de materia volátil tiene una leve importancia mientras que las cenizas y el azufre prácticamente no tienen ningún peso en esta. En el segundo grupo de cuatro variables se utilizaron el

porcentaje de carbono y de oxígeno, el PRV y el poder calorífico, todas ellas están estrechamente relacionadas con el rango del carbón. En este caso se tiene un coeficiente de correlación de 0.9070, en donde se nota una marcada influencia del poder calorífico: con un poco menos de importancia se encuentran el contenido de carbono y el PRV, mientras que el oxígeno no tiene mayor influencia en este caso. En el grupo de las dos variables se escogieron las relaciones H/C y O/C, que dieron un coeficiente de regresión de 0.6082, teniendo más importancia la relación O/C que la otra. Los resultados de la regresión múltiple confirman las tendencias observadas en la regresión lineal en lo concerniente a las características de los carbones relacionadas con el rango. Igualmente se puede ver que la susceptibilidad a la oxidación de los carbones no se correlaciona de forma simple con las características de los mismos. Vale anotar que no se pueden analizar los coeficientes de manera independiente, sino que es necesario tener en cuenta los valores de las variables correspondientes, para determinar la influencia que tienen en la ecuación.

Tabla 3 Regresiones múltiples

Y	Ganancia neta de peso (%)		
$X_1$	% C	% C	O/C
$X_2$	% Cenizas	PRV	H/C
$X_3$	% M. V.	P. C	
$X_4$	% S	% O	
$a_0$	-13.01	-14.21	7.24
$a_1$	0.2473	0.0766	-73.74
$a_2$	0.0104	3.3448	-17.3398
$a_3$	-0.0283	0.0015	
$a_4$	0.007	-0.0048	
$R^2$	0.7203	0.9070	0.6082



### 3.2. SEGUNDA FASE

En la tabla 4 se presentan los análisis próximos y elementales de las cinco muestras seleccionadas, antes y después de ser oxidadas en la estufa durante varios tiempos. Los análisis petrográficos de las muestras frescas y oxidadas se muestran en la tabla 5.

De la información recopilada en las tablas 4 y 5, se pueden resaltar los siguientes aspectos:

- En todos los casos el valor de la materia volátil de las muestras frescas es mayor que para las muestras oxidadas. Sin embargo, no existe una relación directa entre el aumento del tiempo de oxidación y la disminución en el contenido de materia volátil: no se encuentra una clara tendencia en el contenido de carbono fijo en las distintas muestras respecto al tiempo de oxidación.

Tabla 4 Análisis próximos y elementales a diferentes tiempos de oxidación

MUESTRA	Tiempo de oxidación	M.V. (neta)	% H2O	% Cen.	C.F.	P.C.	% S.	% C.	% H.	% N.	% O.	O/C	H/C
CERREJÓN 9700175	0	37.79	4.65	3.32	54.24	7368	0.55	73.11	5.86	1.63	15.53	0.212	0.080
	6	34.1	0.56	4.07	61.27	6494	0.55	72.89	3.56	1.7	17.23	0.236	0.049
	18	35.72	0.01	3.69	60.58	6266	0.56	72.06	3.24	1.67	18.78	0.261	0.045
	36	37.51	1.31	3.93	57.25	5403	0.56	69.3	2.76	1.61	21.84	0.315	0.040
CAUCA 9700285	0	48.73	3.56	5.66	42.05	6990	0.84	69.46	6.45	1.44	16.15	0.233	0.093
	4	43.82	0.08	5.7	50.4	6426	0.86	69.9	4.4	1.59	17.55	0.251	0.063
	6	45.12	0.48	5.7	48.7	6033	0.85	69.12	3.91	1.54	18.88	0.273	0.057
	36	45.6	2.1	5.55	46.75	5075	0.85	64.04	2.78	1.7	25.08	0.392	0.043
EXCARBÓN 9700286	0	34.86	2.3	10.41	52.43	7152	0.41	70.94	5.29	1.73	11.22	0.158	0.075
	6	30.89	0.34	10.66	58.11	6203	0.41	68.44	3.48	1.68	15.33	0.224	0.051
	18	31.41	-0.06	10.65	58	5966	0.45	67.68	3.2	1.67	16.35	0.242	0.047
	36	33.18	1.75	10.28	54.79	5369	0.4	66.21	2.67	1.66	18.78	0.284	0.040
LA LOMA 9700353	0	36.62	9.36	1.27	52.75	6679	0.28	72.04	5.62	1.57	19.22	0.267	0.078
	4	37.7	0.1	1.32	60.88	6387	0.32	72.67	3.21	1.305	21.175	0.291	0.044
	6	36.38	0.41	1.46	61.75	6065	0.3	74.38	3.49	1.65	18.72	0.252	0.047
	36	39.15	2.22	1.4	57.23	5452	0.31	68.9	2.41	1.7	25.28	0.367	0.035
LA JAGUA 9700775	0	37.44	4.68	3.19	54.69	6896	0.31	76.53	5.43	1.52	13.02	0.170	0.071
	6	36.39	0.33	3.2	60.08	6694	0.31	75.63	3.89	1.7	15.27	0.202	0.051
	18	35.28	-0.08	3.31	61.49	6342	0.34	73	3.39	1.61	18.35	0.251	0.046
	36	37.86	2.01	3.35	56.78	5642	0.32	70.16	2.77	1.68	21.72	0.310	0.039

Tabla 5 Análisis petrográficos para las muestras frescas y oxidadas

Muestra	Tiempo de oxidación (h)	Vitrinita (%)	Liptinita (%)	Inertinita (%)	Minerales (%)	PRV
Cerrejón 9700175	0	70.45	6.26	11.54	11.74	0.63
	36	83.26	0.00	3.22	13.52	0.93
Cauca 9700285	0	74.57	7.54	0.22	17.67	0.55
	36	93.91	0.00	0.00	6.09	0.82
Excarbón 9700286	0	88.48	2.04	0.56	8.92	0.84
	36	93.57	0.00	0.72	5.71	1.05
La Loma 9700353	0	79.09	1.14	12.17	7.60	0.46
	36	84.19	0.40	9.88	5.53	0.88
La Jagua 9700775	0	78.79	2.14	7.59	11.48	0.72
	36	78.20	0.47	10.90	10.43	0.93

- Con respecto al Poder Calorífico se observa para todas las muestras una marcada disminución de dicha capacidad a medida que aumenta el tiempo de oxidación.
- En cuanto al porcentaje de cenizas, nitrógeno y azufre se podría decir que estas características no sufrieron ninguna alteración durante el proceso de oxidación.
- Los contenidos de Carbono e Hidrógeno disminuyen a medida que aumenta el tiempo de oxidación: este hecho se debe a que durante la oxidación existe liberación no solo de agua e hidrógeno gaseoso, sino también de compuestos livianos que están constituidos básicamente por estos dos elementos.
- En el caso del contenido de Oxígeno, existe una relación directa entre el tiempo y la ganancia en dicho contenido, ya que ocurre una adsorción de este por parte de las estructuras del carbón. Sin embargo, no se puede decir que exista proporcionalidad entre la ganancia de peso durante la oxidación y el aumento en el porcentaje de oxígeno. Las muestras del Cauca y La Loma, que durante la oxidación por 18 horas y al realizarles el seguimiento de peso en la estufa fueron las que menor ganancia neta de peso tuvieron, a su vez son de las que más ganaron oxígeno; esto se podría explicar ya que al ser estas las muestras de menor rango tienen una mayor velocidad de oxidación y por ende una mayor adsorción de oxígeno.
- Como se puede observar, la muestra que más disminución tuvo en su porcentaje de carbono fue, a su vez, la de mayor ganancia de oxígeno, y las demás muestras conservan esta tendencia, es decir, existe una relación directa entre la ganancia de oxígeno y la pérdida de carbono.
- Se podría decir que los carbones del Cesar, tanto los de La Loma como los de La Jagua, son los que están en posibilidad de recibir más oxígeno. Los carbones de Excarbón y Cerrejón que fueron de los que más ganancia neta tuvieron en la oxidación, son a su vez los de menor ganancia de oxígeno.
- Se observó extinción casi total del grupo liptinita, el de mayor contenido de hidrógeno, siendo esta una característica especial cuando se refiere a

carbones utilizados para la producción de coque, ya que le confiere propiedades plásticas al carbón.

- El cambio más significativo se presenta como un aumento en el contenido y cualidad de la vitrinita y, por consiguiente, un aumento en el rango del carbón, el cual se determina por la medición del PRV. A medida que el poder reflector aumenta el grado de carbonización es mayor (rango); así, en el caso de las muestras oxidadas con respecto a las frescas se produce un aumento tanto del PRV medio como de los límites inferior y superior de éste. Según el PRV de las cinco muestras oxidadas durante 36 horas, todas estas se pueden clasificar como carbones bituminosos altos en volátiles A.

Se encontró que la composición óptico - física de los minerales presentes en la muestra original (sin oxidar), no sufrió ningún grado de transformación notable. Se identifican claramente los granos de carbonatos, óxidos, piritas, calcitas y arcillas que existían en la muestra inicial.

#### 4. CONCLUSIONES

Factores como el rango del carbón, la granulometría, el tamaño de la muestra, el flujo de gas, la temperatura y la geometría del equipo, entre otros, tienen una fuerte influencia en la oxidación inducida.

Por ser la oxidación un fenómeno tan complejo y por haber utilizado durante este trabajo carbones en un intervalo de rango tan estrecho, se hace realmente difícil encontrar buenas correlaciones entre la características del carbón fresco y la ganancia de peso durante este proceso.

No existe una relación directa entre la ganancia neta de peso durante la oxidación y la ganancia de oxígeno. La susceptibilidad a la oxidación se correlaciona mejor con el poder calorífico y con el PRV de los carbones frescos.

El proceso de oxidación incrementa el grado de carbonización de los carbones, aumentando el PRV y por ende el rango del carbón.



A medida que aumenta el tiempo de oxidación, aumenta el contenido de oxígeno, mientras que disminuye el contenido de hidrógeno y carbono. Así mismo los porcentajes de azufre y nitrógeno no sufren ninguna variación con la oxidación.

La relación O/C aumenta a la vez que disminuye la relación H/C, con el incremento del tiempo de oxidación.

La oxidación reduce la eficiencia térmica total de los carbones, debido a que durante este proceso se da una reducción de los contenidos de hidrógeno y carbono y por consiguiente de su poder calorífico.

Se observa una desaparición casi total del grupo liptinita, el cual es rico en hidrógeno, como consecuencia del proceso de oxidación.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. LORENZANA, J.J *et al.* Influence of coal oxidation on coke porosity. Instituto Nacional del Carbón. Oviedo, España. 1991. Elsevier Science Publishers B.V. p. 457- 459.
2. HO, J. A.; HSU, Y. F. and TENG, H. Preparation of activated carbons from bituminous coals with CO<sub>2</sub> activation - influence of coal oxidation. Carbon Vol. 35. No. 2. 1997. p. 275 - 283.
3. PAJARES, J. A. *et al.* Activated carbons from semianthracite by steam activation; Effect of coal preoxidation and burn-off. Instituto Nacional del Carbón. Oviedo, España. 1994. Elsevier Science Publishers B.V. p. 603- 611.
4. CAGIGAS, A. *et al.* Effect of aerial oxidation of caking coals on the technological properties of the resulting cokes. Fuel Processing Technology. Vol. 20. 1988. pp. 307 - 316.
5. GAVALAS, G. R. and KALEMA, W. S. Changes in coal composition during air oxidation at 200 - 250 °C. Fuel. Vol. 66. Feb. 1987. p. 158 - 164.
6. HISHINUMA, Y; KAJI, R and YOICHI, N. Low temperature oxidation of coals; Effects of pore structure and coal composition. Fuel. Vol. 64. Mar. 1985. p. 297-302.
7. ALVAREZ, T *et al.* Influence of coal oxidation upon char gasification reactivity. Fuel. Vol. 74 .No. 5. 1995. p. 729 - 735.
8. CRONAUER, D. C. *et al.* Liquefaction of partially dried and oxidized coals. 1. Coal drying and oxidation. Fuel. Vol. 62. Oct. 1983. p. 1116-1123.
9. ECHEVERRI RIVERA, C. M. y TABORDA MARULANDA, L M. Incendios en macizos de carbón en la cuenca carbonífera de Amagá - Angelópolis. Medellín. 1995. Trabajo de grado (Ingeniero de Minas y Metalurgia). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.
10. MARQUEZ HINCAPIE, D. A. y ZAPATA PEREZ, B. E. Control de autocalentamiento de carbón durante el apilamiento y el manejo de grandes volúmenes. Medellín. 1994. Trabajo de grado (ingeniero de Minas y Metalurgia). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.
11. KENNEDY, J. B. y NEVILLE, A. M. Estadística para Ciencias e Ingeniería. Segunda edición. México D.F. HARLA S. A. 1982.