

GASES DE COMBUSTIÓN DE BRIQUETAS DE CARBÓN DE FÁCIL ENCENDIDO

CARLOS A. LONDOÑO G., DUBIAN FREDY GÓMEZ,
JAMMY DANILO DE LA PAVA.

Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas.
Centro de Investigaciones del carbón y Departamento de Procesos Químicos
Apartado Aéreo 1027, Medellín

RESUMEN

Se analizan las emisiones en los gases de combustión de los posibles contaminantes de la atmósfera provenientes de quemar briquetas de carbón de fácil encendido. Las emisiones medidas fueron de humos, CO, CO₂, NO_x y SO₂. Los humos se midieron en forma cualitativa y su calidad varió entre excelente y sin humos, lo cual muestra el buen comportamiento de la briqueta con relación a este parámetro.

En cuanto a la emisión de gases, se muestra un incremento cuando la combustión se hace al aire libre en comparación a si ésta se realiza en un recinto cerrado. En ambos casos, las emisiones en un momento dado dependen de la capa de la briqueta que se esté quemando.

Las diferencias obtenidas en las emisiones de SO₂ llevan a concluir que las briquetas no tienen una buena homogeneización en cuanto a los materiales usados para la retención de estas emisiones.

La calidad del aire circundante se midió para el caso de las emisiones de CO encontrándose que para quemar en recinto cerrado, que es donde mayor cantidad se produce, la concentración de CO está por debajo de los límites permitidos en las normas Colombianas y de la EPA (Environmental Protection Agency) para una hora de exposición a estos gases.

PALABRAS CLAVE

Briquetas de carbón, contaminación de aire, gases de combustión, normas para calidad del aire.

ABSTRACT

Emission of combustion gasses of the possible atmospheric pollutants of burnt easy coal briquets are analyzed. The measured pollutants are smoke, CO, CO₂, NO_x, and SO₂. The qualitative measurement of smoke was between excellent and without emissions. This shows a good behavior of the briquet in relation to this parameter.

Emission of gasses shows a decrease when the combustion process was made inside a closed place in comparison to burn a briquet under free-air conditions. Emission of gases in both cases also depends on the slice of the briquet which is burning in a specific time. The high differences which were get in SO₂ emissions lead to the conclusion that the coal briquets do not have a good homogenization in relation to the used materials for the retention of these emissions.

The air quality around the burnt briquet was measured for CO emissions. It was found that CO concentration is bellow maximum allowed by air quality Colombian and EPA regulations for one hour exposition to this gas. Even thought it was taken inside a closed place which is the condition that produces the highest CO emissions.

KEY WORDS

Coal briquets, air pollution, combustion gasses, air quality regulations.

1. INTRODUCCIÓN

Las briquetas de carbón producidas mediante la tecnología China tienen como uno de sus mayores

atractivos el de ser un combustible poco contaminante, ya que en su proceso de elaboración se utilizan adsorbentes con el fin de disminuir la producción de gases y humos nocivos para la salud humana. El objetivo de nuestro estudio es realizar un análisis de los gases emitidos en la combustión de una briqueta de carbón de fácil encendido.

2. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

En principio toda sustancia extraña que exista en el aire puede considerarse como contaminación, en el sentido de que contribuye a cambiar la naturaleza del aire. Las sustancias que contaminan el aire pueden clasificarse, según su formación en:

- Contaminantes primarios: Son los emitidos directamente por las fuentes y se encuentran en el ambiente tal y como fueron producidos, como: CO, CO₂, SO₂, NO_x, material particulado, metales pesados, humedad, vapores orgánicos.
- Contaminantes secundarios: Son los formados en la atmósfera por reacciones químicas entre los contaminantes primarios y los componentes atmosféricos normales, entre estos tenemos: Oxidantes fitoquímicos, lluvia ácida, smog.

A continuación se dan algunas características de los principales contaminantes del aire.

2.1. PARTÍCULAS SUSPENDIDAS RESPIRABLES

Son partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera (su diámetro aerodinámico va de 0.3 a 10 μm) como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, denominados "smog"¹. Tienen la particularidad de penetrar en el aparato respiratorio hasta los alvéolos pulmonares. En Colombia se aceptan concentraciones en el aire menores de 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en un promedio de 24 horas.

Producen irritación en las vías respiratorias; su acumulación en los pulmones origina enfermedades como la silicosis y la asbestosis. Agravan el asma y las enfermedades cardiovasculares.

2.2. MONÓXIDO DE CARBONO

Es un gas incoloro e inodoro que proviene de la combustión incompleta de hidrocarburos y sustancias que contienen carbono. En Colombia se aceptan concentraciones promedio en el aire menores de 15000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en un período de 8 horas.

Se combina con la hemoglobina para formar la carboxihemoglobina que afecta el sistema nervioso central provocando cambios funcionales cardíacos y pulmonares, dolor de cabeza, fatiga, somnolencia, fallos respiratorios y hasta la muerte.

2.3. DIÓXIDO DE NITRÓGENO

Es un gas café rojizo de olor picante que proviene de la combustión a alta temperatura. En Colombia se aceptan concentraciones en el aire menores de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ al año. Irrita los pulmones; agrava las enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

2.4. DIÓXIDO DE AZUFRE

Gas incoloro con olor picante que al oxidarse y combinarse con agua forma ácido sulfúrico, principal componente de la lluvia ácida. En Colombia se aceptan concentraciones en el aire menores de 100 al año y de 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ diario.

Irrita los ojos y el tracto respiratorio. Reduce las funciones pulmonares y agrava las enfermedades respiratorias como el asma, la bronquitis crónica y el enfisema.

El SO₂ puede reaccionar en la atmósfera por diferentes vías hasta convertirse en ácido sulfúrico³. Luego el ácido formado corroe los metales, deteriora los contactos eléctricos, el papel, los textiles, las pinturas, los materiales de construcción.

3. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

Basados en los efectos de los contaminantes sobre la salud humana y en el tiempo de residencia de los contaminantes en el aire, los gobiernos establecen las normas de la calidad para el aire ambiental. Estas

normas especifican los niveles máximos permisibles para cada tipo de contaminante. Por encima de estos niveles se pueden presentar efectos nocivos para la salud. Las normas de Colombia y Estados Unidos (EPA)¹ se presentan en la Tabla 1. El decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud Pública establece las normas de calidad del aire para el territorio colombiano².

Tabla 1 Normas de calidad del aire.

Contaminante	Norma Colombiana ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Norma EPA** ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Período***
Material particulado	400	260	24 horas*
	100	70	1 año
SO_2	400	365	24 horas*
	100	80	1 año
	1500	1300	3 horas*
NO_2	100	100	1 año
Ozono	170	235	1 hora*
CO	15000	10000	8 horas
	50000	40000	1 hora
Hidrocarburos		160	3 horas

* Máximo una sola vez en un periodo de 12 meses.

** Normas primarias.

*** Lapso de tiempo durante el cual se toman concentraciones y se saca un promedio.

4. MONTAJE



Figura 1 Medición de los gases de combustión.

Durante la realización de las experiencias con el método de quemado de la briqueta sin control del fuego se hicieron medidas de los gases y humos de combustión en la boca de la estufa.

La medición de los humos se realizó con un medidor de humos Bacharach, el cual da una medida cualitativa de la concentración de humos en orden ascendente por medio de la siguiente escala:

1. Excelente.
2. Bueno.
3. Regular.
4. Pobre.
5. Muy pobre.
6. Extremadamente pobre.

Para estas mediciones se usó la estufa de una sola briqueta.

La medición de los gases de combustión (CO, CO_2 , SO_2 , NO_x , O_2) se realizó con un Analizador de Combustión Kané May 9104 y un Analizador de Combustión 2000 Bacharach.

Los gases fueron tomados en la boca de la estufa con un tubo de acero inoxidable y luego fueron pasados por un sistema de refrigeración con el objetivo de impedir que continuaran reaccionando y también para tener una temperatura adecuada de alimentación a los analizadores antes mencionados.

La medida de velocidad de los gases de combustión se realizó con un anemómetro.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La emisión de humos durante la combustión de las briquetas de fácil encendido se muestra en la Figura 2, esta se mantuvo en niveles muy bajos hasta el punto que a partir de los 50 minutos era imperceptible por el equipo de medición.

La etapa de máxima emisión de humo que dura hasta los 20 min concuerda con el tiempo en el cual se ha

prendido toda la capa de encendido, también en este tiempo se alcanza la temperatura máxima de los gases de combustión que está alrededor de los 550 °C y el agua que se está calentando llega al punto de ebullición⁴.

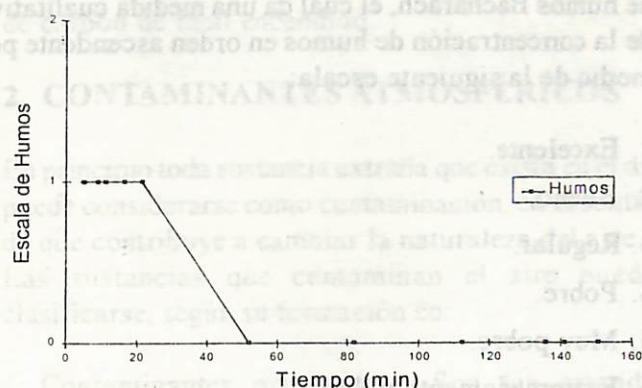


Figura 2 Medición cualitativa de la emisión de humos para una briqueta de fácil encendido.

En las Figuras 3 a la 7 se presentan los resultados obtenidos de las mediciones realizadas de CO, CO₂, O₂, NO_x y SO₂ en los gases de combustión de dos briquetas de fácil encendido, en una se midieron estos gases con un Analizador de Combustión Kane May y en la otra con un Analizador de Combustión 2000 Bacharach.

En ambas pruebas los gases de combustión siguen el mismo comportamiento pero se notan diferencias grandes en las concentraciones, estas diferencias se pueden deber a la falta de homogeneización entre las briquetas y a que las experiencias se realizaron en lugares con diferentes condiciones de aireación y equipo de medición. La prueba con el medidor Bacharach se realizó en un lugar amplio y con muy buena aireación, es decir al aire libre, en cambio la realizada con el medidor Kane May se hizo en un sitio cerrado y con poca aireación.

Las Figuras 3, 4 y 5 dan una idea de qué transformaciones ocurren al interior de la briqueta durante su combustión. Al inicio de la combustión ocurre la liberación de la materia volátil que consume rápidamente el oxígeno del aire, permitiendo que se forme CO₂, luego al disminuir la cantidad de volátiles la combustión del carbón en la superficie con el aire

primario se inicia dando lugar a una alta producción de CO₂ que al entrar en contacto con el carbón reacciona para formar CO, dando como efecto global una disminución del CO₂ y un aumento del CO. Las reacciones que se presentan en esta etapa son las de oxidación del carbono a dióxido de carbono y la reacción de este último con el carbono.

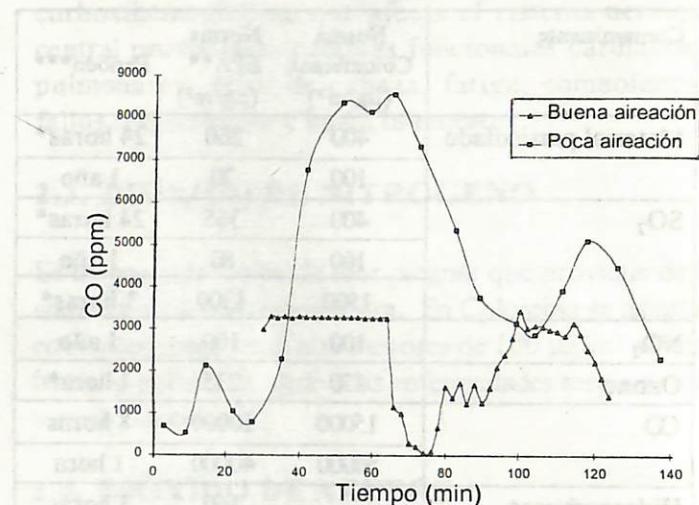


Figura 3 Concentración de CO en los gases de combustión.

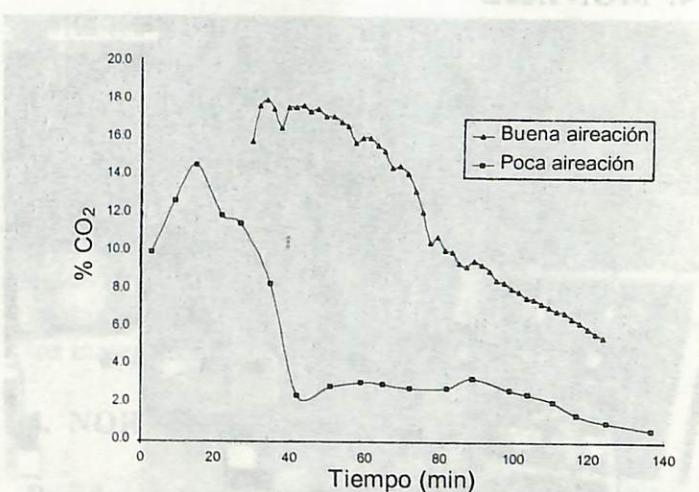


Figura 4 Porcentaje de CO₂ en los gases de combustión.

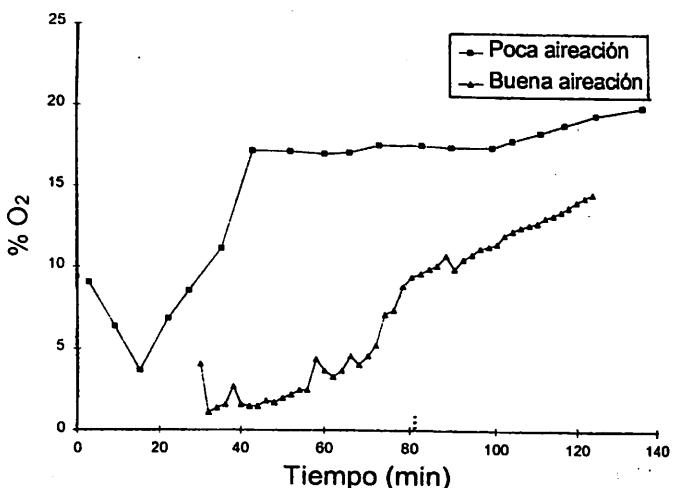


Figura 5 Porcentaje de O_2 en los gases de combustión.

Después de esta etapa el carbón superficial se agota, aumentando la resistencia a la difusión del aire primario al interior de la briqueta por el crecimiento de la capa de cenizas, haciendo esto que la producción de CO y CO_2 disminuya y la cantidad de oxígeno aumente. La resistencia a la difusión del oxígeno aumenta hasta un punto en el cual el carbón que queda reacciona formando CO. Por último se agota la briqueta, la concentración de CO y CO_2 disminuye, y el oxígeno en los gases de combustión alcanza un valor cercano a su concentración en el ambiente.

Al comparar las Figuras 3, 4 y 5 con la curva de pérdida de peso de la briqueta⁴ se ve que durante la combustión de la capa de encendido se da un incremento en la concentración de CO y CO_2 y una disminución en la concentración de O_2 , en la capa de carbonilla la concentración de CO aumenta y la de CO_2 y O_2 disminuye, y en la capa de carbón la concentración del CO y CO_2 disminuye y la de O_2 aumenta, mostrando este comportamiento que hay unas capas donde son más marcados unos fenómenos que otros.

La producción de NO_x es mayor al inicio de la combustión de la briqueta debido a que la capa que se prende inicialmente es la capa más rica en nitrógeno como puede verse en Londoño et al⁴. Adicionalmente

esta es la capa más rica en volátiles. Es de anotar que el nitrógeno presente en los volátiles tiene una mayor tendencia a oxidarse. El límite de emisión de NO_x en la combustión de carbón en Europa es de 650 ppm³, las emisiones de las briquetas están por debajo de este límite ya que como puede verse en la curva de temperatura de la briqueta⁴, el incremento de la temperatura de la briqueta se hace lentamente y en forma más o menos ordenada de arriba hacia abajo, esto permite que la liberación de los volátiles en cada uno de los puntos de la briqueta se haga a bajas temperaturas, y por ende se va a tener una mala oxidación de los volátiles en el punto de liberación de los mismos, lo cual hace que el nitrógeno se libere como nitrógeno molecular (N_2) y no pase a NO o NO_2 por su reacción con O_2 . Una vez liberado el nitrógeno como N_2 , este no se oxida debido a que la temperatura de los gases de combustión es baja⁵ evitándose la formación de óxidos de nitrógeno térmico que se producen a partir de temperaturas superiores de 1400 °C, indicando esto que los NO_x producidos son debidos al nitrógeno presente en la briqueta. Cuando toda la briqueta ha alcanzado una alta temperatura, es decir aproximadamente alrededor de los 60 minutos⁴, termina el proceso de liberación de los volátiles en las tres zonas y por ende la mayor producción de NO_x de allí en adelante hay combustión del semicoque (o char) y por ende el NO_x producido en la reacción heterogénea del N del semicoque con el oxígeno, a su vez es reducido por la acción catalítica de descomposición del NO_x que ejerce el carbono. Esta disminución de las emisiones de NO_x en los gases de combustión también coincide con la combustión de la tercera capa de la briqueta, la cual tiene como constituyente principal el carbono.

La emisión de SO_2 en la combustión de la briqueta aumenta entre los 20 y 40 min y corresponde al incremento de la temperatura en las capas intermedia e inferior de la briqueta⁴, éstas capas son las de mayor contenido de azufre⁴. A partir de los 40 min el azufre empieza agotarse y la cantidad de SO_2 emitida disminuye. El límite de emisión de SO_2 en la combustión de carbón en Estados Unidos está entre 740 y 1480 ppm³, los valores obtenidos con las briquetas están muy por debajo de este límite.

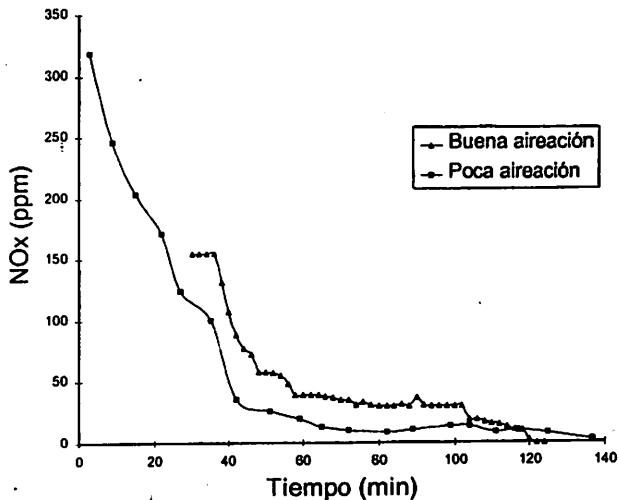


Figura 6 Concentración de NO_x en los gases de combustión.

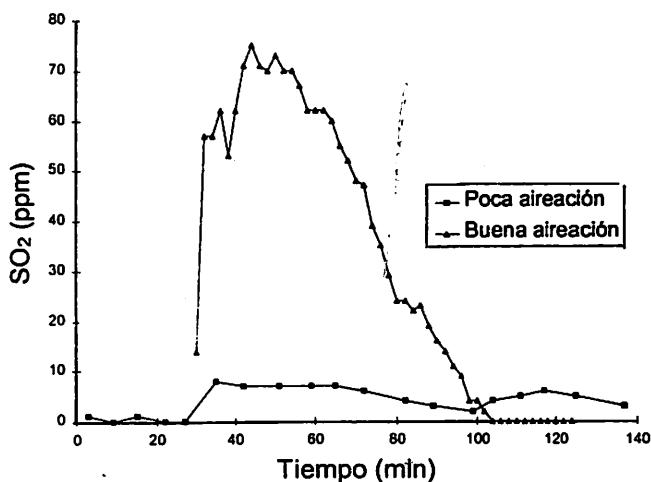


Figura 7 Concentración de SO₂ en los gases de combustión.

Con los valores de concentración del CO, SO₂ y NO_x que se obtuvieron se puede calcular la masa de briqueta que se convirtió en ellos, el cálculo se hace utilizando la siguiente ecuación.

$$M = \frac{Q \times PM}{24450} \int ppmvdt \quad (1)$$

Siendo:

- M = Masa de gas producido (g).
- Q = Flujo total de gas a la salida de la estufa (m³/min).
- PM = Peso molecular del gas (kg/kmol).
- ppmv = Partes por millón en volumen del gas.
- t = Tiempo (min).

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2.

En la Tabla 2 se puede ver que existen grandes diferencias en la emisión de SO₂ que pueden ser ocasionadas por las condiciones de aireación, las diferencias en la cantidad de cal y propiedades de la briqueta. Del azufre presente en la briqueta, el 47.5% se convierte en SO₂ al aire libre o sea en condiciones de buena aireación y sólo el 8.2% cuando la combustión se realiza en un recinto cerrado.

La emisión de NO_x no se presenta para la prueba realizada con buena aireación porque la mayor parte de éste se emite al comienzo de la combustión y en esta parte de la prueba no se lograron hacer mediciones. Sin embargo, de acuerdo con la Figura 6 se observa la tendencia a tener una mayor producción cuando hay buenas condiciones de aireación. Es de anotar que el porcentaje de conversión de nitrógeno se calculó suponiendo que solo se produce NO es decir que la cantidad producida de NO₂ es despreciable. Es de aclarar que este se ha encontrado en un 5% en los gases de combustión usando otras técnicas de quemado del carbón.

En general se observa que cuando la aireación aumenta, la producción de CO₂, NO_x y SO₂ aumenta y la de CO disminuye debido a la mayor cantidad de oxígeno disponible para la combustión, disminuyendo del 40.8% al 20% del carbono de la briqueta convertido en CO al incrementar la aireación.

En el transcurso de la prueba realizada con baja aireación se midieron las concentraciones de CO en el aire y a un metro de distancia de la estufa obteniéndose que a la hora se alcanzó la máxima concentración con un valor de 22904 µg/m³, al final de la prueba la concentración disminuyó a 14888 µg/m³ y en promedio fue de 15150 µg/m³ para un periodo de 2

Tabla 2 Masa de SO₂, NO_x y CO producida.

Prueba	Briqueta			Gases			% de Conversión		
	S(g)	N(g)	C(g)	SO ₂ (g)	NO _x (g)	CO(g)	SO ₂ (g)	NO _x (g)	CO(g)
Buena aireación	7.17	18.64	454.99	6.81		211.80	47.50		20.00
Poca aireación	5.66	17.84	435.69	0.93	7.50	414.77	8.20	19.60	40.80

horas 20 minutos, si se comparan estos valores con los de la Tabla 1 se tiene que la concentración de CO en el ambiente esta por debajo de los límites permitidos en las normas. Estos valores se obtuvieron en un recinto de aproximadamente 60 m³ y con poca aireación, la variación de estas condiciones puede afectar los valores.

6. CONCLUSIONES

- Luego de prender la briqueta tiene lugar la combustión de los materiales de ignición que se caracteriza por una llama grande y liberación de humos que eventualmente son molestos. Esta etapa dura aproximadamente tres minutos, después de los cuales la briqueta se estabiliza y comienza la combustión de la parte rica en carbono donde desaparece la llama.
- La briqueta se puede considerar en general como un combustible con baja emisión de humos y de gases nocivos para la salud y el medio ambiente. Aunque en algunas ocasiones debido a la falta de homogeneidad en sus aditivos químicos, habían briquetas que al quemarlas liberaban un fuerte olor a azufre y alquitrán.
- Quemar briquetas en condiciones de buena aireación produce mayor cantidad de SO₂, NO_x, CO₂ y menor de CO.
- En general las emisiones en un momento dado dependen de la capa de la briqueta que se este quemando, lo que se muestra en los cambios realizados en las emisiones de los gases de combustión de las briquetas cuando han transcurrido entre 20 y 30 minutos y los cambios observados cuando van transcurridos entre 60 y 70 minutos.
- No se recomienda quemar briquetas frecuentemente en recintos totalmente cerrados. Las briquetas de uso doméstico deben quemarse en cocinas diseñadas

con buena aireación para evitar la concentración de contaminantes provenientes de la combustión de las mismas.

7. RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecerle a la empresa Bricarbón S.A. al facilitar implementos para esta investigación. Adicionalmente agradecer la colaboración al Grupo de Energía y Termodinámica de la Universidad Pontificia Bolivariana y al Ingeniero Carlos Echeverry de la Universidad de Antioquia.

8. REFERENCIAS

1. Harrison R. M. "Pollution: Causes, Effects and Control". University of Birmingham, 2nd Edition, 1995, 393p.
2. Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud Pública sobre normas de calidad de aire en Colombia.
3. LONDONO, Carlos A. "Circulating Fluidised Bed Combustion of Coal". University of Leeds, Tesis en Msc Eng by Research, Oct 1995, 155 p.
4. LONDONO, Carlos A., DE LA PAVA, Jammy Danilo y GÓMEZ Dubian Fredy. "Propiedades de las briquetas de carbón" IV Congreso nacional y III Internacional de Ciencia y Tecnología del carbón, Paipa, Colombia. 19 al 22 de Mayo de 1998. pp 201 a 213.
5. GÓMEZ G, Dubian Fredy, DE LA PAVA Jammy Danilo. "Evaluación de las propiedades e índices técnicos de briquetas de carbón en forma de panal". Trabajo de grado. Universidad Nacional. Facultad de Minas, 1998