

## DIAGNÓSTICO TÉCNICO DE CARBONES TÉRMICOS PARA LA OBTENCIÓN DEL COMBUSTIBLE CCTA EN BOYACÁ

**María del Pilar Triviño Restrepo\* Msc. & Claudia Patricia Molina Gallego\*\* Ing.**

*Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*

*\*Directora Grupo de Carbones y Carboquímica*

*\*\*Joven Investigadora COLCIENCIAS - UPTC*

*pтрivino@tunja.uptc.edu.co, clamol10@yahoo.es*

*Recibido para evaluación: 31 de Octubre de 2006*

*Aceptación: 3 de Julio de 2007*

*Entrega de versión final: 09 de Julio de 2007*

### Resumen

Este estudio evalúa los potenciales carbones térmicos de Boyacá, Colombia, para ser utilizados en la obtención del combustible CCTA (mezcla densa de carbón pulverizado disperso en emulsiones de combustóleo o fuel oil y agua), el cual puede sustituir el carbón en la producción de materiales cerámicos. Este sector productivo a nivel regional presenta un desarrollo insipiente, debido a que se utilizan principalmente hornos comunes o locos a carbón, sin obtener variación, ni aumento en la producción, imposibilitando la búsqueda de mercados, convirtiéndose en una economía de subsistencia, con consecuencias tecnológicas, económicas, sociales y ambientales negativas. Para lo anterior se parte de un diagnóstico preliminar de reservas y calidades de las materias primas, seleccionando 28 muestras de carbón, determinándoseles análisis próximos, azufre y poder calorífico. De acuerdo con sus propiedades físico-químicas, los carbones aptos para la utilización del combustible CCTA son aquellos de mayor poder calorífico, menor contenido de azufre y de cenizas.

**Palabras Claves:** CCTA, Carbón térmico, combustible no convencional, mezclas fluidas.

### Abstract

This study evaluates potential thermal coals of Boyacá, Colombia, to obtain the fuel CCTA (it mixes dense of coal pulverized dispersed in emulsions of fuel oil and water), which can replace the coal in the production of ceramic materials. In the region, this productive sector is a little developed because the production of the bricks are made mainly in smalls individuals kilns to coal, without obtain variation of products, in quality nor quantity, disabling the search of markets, becoming a subsistence economy, with technological, economic, social consequences and environmental refusals. For previous the part of a preliminary diagnosis of reserves and qualities of the raw materials, selecting 28 coal samples, determining to it them next analyses, sulfur and calorific power. In agreement with its properties physical-chemistries, the coals apt for the use of fuel CCTA are those of greater calorific power, smaller sulfur and ashes.

**Key Words:** CCTA, thermal coal, nonconventional fuel, fluid mixtures.

## 1. INTRODUCCIÓN

El carbón juega un papel fundamental en la demanda energética y desarrollo del país por su abundancia y distribución.

Existen en Boyacá alrededor de 6.800 explotaciones mineras, en su mayoría de carácter artesanal, principalmente de carbón coquizable, arcilla, roca fosfórica, arena, yeso, mármol, hierro y caliza.

El departamento cuenta con importantes recursos carboníferos, según lo reporta Ingeominas. (Ingeominas, 2005). En reservas medidas tiene 170.37 M toneladas, e indicadas 682.62 M toneladas para un potencial de 1720.21 M toneladas en carbones térmicos y metalúrgicos.

El mayor número de minas asociadas a la pequeña minería (alrededor de 500 explotaciones activas), dieron el 100% de la producción. Para el año 2004 se destinaron el 78% para consumo interno y solo un 22% para exportación, este último valor representa un 2.2% del total de exportación carbonífera del país. Cerca del 75% está destinado para el sector eléctrico y la industria metalúrgica, el resto va a la industria del cemento, del papel y la producción de ladrillo. El consumo de carbón térmico reportado por las termoeléctricas fue de: 273.502 toneladas para la unidad de Termopaipa IV (Boyacá en cifras, 2004).

Internamente, los municipios que proporcionan mayor porcentaje de carbón son Tasco y Tópaga, cuya producción representa el 65% del departamento.

Existe un amplio segmento de la minería denominado artesanal, informal o de subsistencia, que se caracteriza por una explotación selectiva, realizada a nivel individual o de grupos pequeños, no legalizada, con tecnologías inadecuadas y bajo rendimiento.

Igualmente se halla un grupo intermedio de pequeños y medianos mineros que no cumple con

las normas establecidas en los aspectos mineros, ambientales, fiscales y laborales, pero cuya minería puede ser técnica y económicamente viable. También hay un grupo reducido de empresas debidamente organizadas que, independientemente de su escala operacional, cumplen con las normas en cuanto a programas y actividades de manejo ambiental y gestión social, cumpliendo con estándares de seguridad industrial, salud ocupacional y obligaciones laborales (Ministerio de minas y energía, 2003).

No existe por parte de los mineros de Boyacá iniciativas de transformación del carbón térmico, para obtener un mayor margen de ganancia como producto del valor agregado, del desarrollo tecnológico y de obtener subproductos comercializables en nuevos mercados nacionales e internacionales.

De otra parte, tradicionalmente el departamento de Boyacá, se ha caracterizado por la producción de materiales cerámicos de gran importancia en las exportaciones no tradicionales, los cuales se obtienen en la mayoría de los casos utilizando carbón de la zona como combustible??. (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2005)

Esta industria artesanal presenta varios inconvenientes, relacionados con el tipo de horno, los quemadores utilizados, la eficiencia de los procesos y los gases de combustión que inciden en la calidad del producto, en las condiciones ambientales de trabajo y en la situación socio-económica de los alfareros.

Una alternativa para lograr tecnologías más limpias que mejoren tanto la eficiencia, (aumentando la cantidad de energía aprovechada de cada tonelada de combustible) como la tolerancia ambiental en el uso del carbón, es la obtención de un combustible no convencional como el CCTA (mezcla densa de carbón pulverizado disperso en emulsiones de combustóleo o crudo pesado y agua), como se muestra en la figura 1.

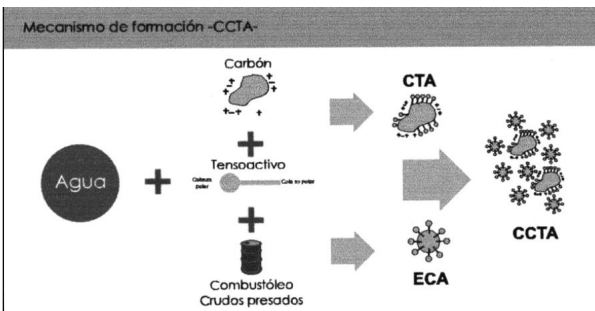


Figura 1: Mecanismo de obtención del combustible CCTA.

Fuente: 75 Maneras de Generar Conocimiento en Colombia, Colciencias, 1990 - 2005

Este nuevo combustible, comprende mezclas de fuel oil y carbón pulverizado en una proporción de 70:30 respectivamente, lo que corresponde al 70% total de la mezcla y el 30% restante es agua, el tensactivo utilizado es de 3000 ppm. La reducción de tamaño del carbón se trabaja en un sistema de molienda en circuito cerrado en húmedo, en forma bimodal, para asegurar tamaños de partícula menores de 74  $\mu\text{m}$  (micras).

El procedimiento para la obtención del combustible consiste en formar una emulsión previa del combustóleo con el agua, para luego añadir el carbón, lo cual permite que las partículas más pequeñas se acomoden entre las más grandes del carbón, comportándose como un fluido.

Por tratarse de una emulsión, un parámetro que debe tenerse en cuenta para facilitar su transporte, es la viscosidad que en promedio para el CCTA es de 100 cP (cpoises), valor que lo hace de fácil manejo. Entre más fino el tamaño de grano del carbón (por lo menos 6 veces mayor al tamaño de partícula del combustóleo), se asegura mejor sinergia en la emulsión, presentando un comportamiento pseudoplástico, como se aprecia en la figura 2, las partículas de mayor tamaño corresponden al carbón, las de menor tamaño al combustóleo y el fondo a la emulsión.

El uso del combustible CCTA tiene la ventaja que no se auto inflama en el almacenamiento, no genera partículas al transportarlo y en un proceso de combustión se disminuyen las temperaturas en el hogar de la caldera, los inquemados, y las

emisiones de NOx y tóxicas liberadas en el ambiente (J.L Grosso. et als, 1999). Las variables de operación de este combustible se comparan con el crudo de castilla y el fuel oil en la tabla 1.

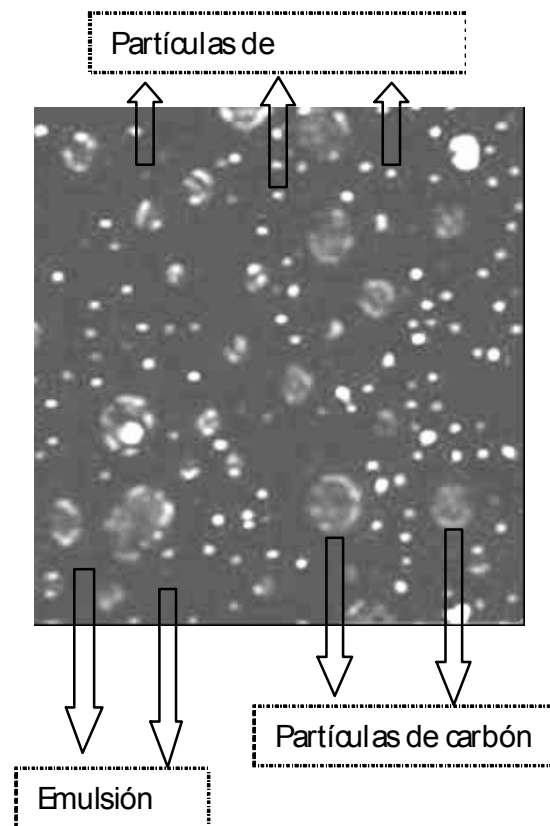


Figura 2. Vista microscópica del combustible CCTA  
Fuente: 75 Maneras de Generar Conocimiento en Colombia, Colciencias, 1990 - 2005.

Esta tecnología fue desarrollada en investigaciones anteriores con el apoyo de Colciencias-Fonic y la Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL (Patente registrada en Estados Unidos, el 11 de mayo de 1999, con número 5902359 y en Europa con número EP 0872538 A3). (Grosso, J. L., Suárez, O. J., Leal, G., et al., 1999).

Tabla 1: Comparación de algunas variables de operación del CCTA con otros combustibles.  
Fuente: CT&F - Ciencia Tecnología y Futuro - Vol. 1 Núm. 5, Dic. 1999.

VARIABLE	CCTA	CRUDO DE CASTILLA	FUEL OIL
Velocidad del flujo (m2/min)*100	1 9682	1 7461	1 2112
Energía generada (Mjoule/h)	3,270,62	3,692,64	3,270,62
Temperatura ambiente de horno (K)	1,573 - 1,623	1,573 - 1,723	1,523 - 1,623
Oxígeno residual (%)	1 - 2,0	2	3,5
Presión diferencial (kPa)	172,37	68,95	103,42
Temperatura de combustible (K)	299	333	358
Temperatura de combustible de la hornilla	299	373	393
Longitud de la llama (m)	0,91 - 1,52	0,91 - 1,52	0,91 - 1,52
Presión de vapor en la hornilla (kPa)	496,42	675,68	703,26
Presión de vapor de combustión en la hornilla (kPa)	324,05	606,73	599,84

Los objetivos de este estudio son presentar alternativas que aumenten el uso del carbón como una fuente de energía, disminuyan las dificultades técnicas y económicas en su almacenamiento y transporte, pero a la vez que sean compatibles con el medio ambiente y establecer una base de datos en la zona de estudio seleccionada, de los hornos para producción de cerámicos, para clasificar cuales eventualmente puedan utilizar el combustible CCTA.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Estudio técnico

Dentro del plan estratégico del proyecto, se establecieron algunas fases a seguir, las cuales se observan en la figura 3.

#### 2.1.1. Ubicación de las minas de carbón y hornos cerámicos:

Este trabajo consideró algunos factores que determinan un mejor cubrimiento, como son:

Comportamiento geotécnico del área minera.

Cantidad de reservas existentes.

Infraestructura existente en superficie y en subterráneo.

Labores mineras bajo tierra y su estado actual.

Servicios auxiliares que posee la mina.

Distancia y estado de las vías.

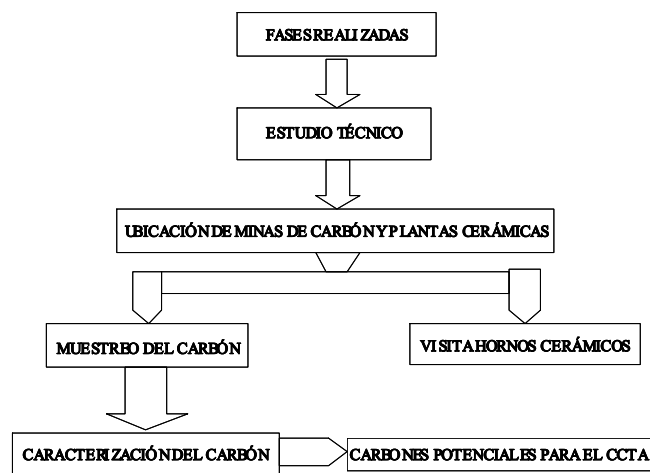


Figura 3. Diagrama de flujo de las fases realizadas.

Se escogió como zona de estudio para la base de datos de los hornos de producción de cerámicos, el corredor industrial que comprende los siguientes sectores:

Sogamoso - Tasco.

Tunja - Ráquira.

Duitama - Paipa - Tuta.

Provincia de Valderrama.

Norte de Boyacá.

#### 2.1.2. Muestreo y caracterización del carbón:

Se llevo a cabo la recolección de 28 muestras de carbón, registrándose datos exploratorios, como base para el mapa cartográfico de la región.

Los carbones se muestrean por el método en canal. Luego, se efectuó la preparación mecánica y los análisis próximos de acuerdo a las normas ASTM, así: ceniza (D 3174), humedad (D 3173), volátiles (D 3175), carbono fijo (D 3172), determinación

de azufre (D 3177) y poder calorífico (D 2015). (American Society for Testing and Materials, 1997 - 1999).

### 2.1.3 Base de datos sector alfarero:

Se realizó una recolección de información, mediante una serie de encuestas del sector cerámico en 23 plantas de producción, para establecer los tipos de hornos.

### 3. RESULTADOS

### 3.1. Estudio técnico

Se obtuvo el mapa cartográfico de la Región, diseñado en el programa ArcExplorer, donde se

pueden ubicar datos de las minas muestreadas tales como: espesor, número de mantos, producción y de las plantas de cerámicos, tipos de combustibles y hornos de cocción, clase y cantidad de productos, y en ambos casos se identificó la georeferenciación, como se ilustra en la figura 4.

La mayoría de las minas que tienen carbón térmico están ubicadas en zonas muy cercanas, tales como Gámeza, Tasco, Corrales, Morcá, Sogamoso y Monguí, contrario de las plantas de producción de cerámicos que se encuentran dispersas por toda la región.

Los análisis de los carbones muestreados se indican en la tabla 2.



Figura 4. Mapa cartográfico de Boyacá.  
Fuente: Ingeniero Civil Omar Daza - UPTC.

Tabla 2. Resultados de los análisis a los carbones.

No. Muestra	Mina	Humedad (%)	Volátiles (%)	Cenizas (%)	Azufre (%)	Poder Calorífico (Cal/gr)	Carbono fijo (%)
1	Oro Negro	2.41	42.29	4.755	0.91	7710	50.545
2	-----	2.16	41.48	7.41	1.68	7560	48.95
3	El Bosque	2.67	31.995	29.295	2.14	5550	36.04
4	-----	2.01	41.145	8.885	1.46	7325	47.96
5	Mercedes	2.22	44.515	4.03	1.07	7850	49.235
6	-----	1.91	40.27	7.25	0.80	7520	50.57
7	Diamante	2.345	42.75	4.64	0.96	7510	50.265
8	Bocamina	2.115	40.985	10.92	1.08	5890	45.98
9	Pinoz	1.9	41.795	6.34	0.97	7510	49.965
10	Las Paredes	2.145	41.07	10.735	2.09	7140	46.05
11	-----	3.31	40.56	14.92	1.34	4190	41.21
12	-----	2.83	39.59	15.705	1.57	6300	41.875
13	Los Pinos	2.625	43.77	7.205	1.17	7325	46.4
14	-----	1.95	41.52	7.745	0.82	7240	48.785
15	Morro Rico	1.525	41.66	5.655	1.23	7780	51.16
16	El Proyecto	1.53	40.945	8.615	1.65	7530	48.91
17	Proyecto	1.995	42.405	5.42	0.97	7670	50.18
18	Coprocar*	1.865	41.74	5.735	0.80	7720	50.66
19	Coprocar*	1.605	42.045	7.675	0.84	7750	48.675
20	Del Caribe	2.055	42.815	6.83	1.13	7620	48.3
21	El Prado	2.595	36.505	16.98	1.22	6480	43.92
22	-----	1.99	40.145	4.395	1.42	7890	53.47
23	El Mangle	1.965	42.725	4.33	1.07	7860	50.98
24	La Liberia*	1.65	37.16	9.595	0.84	7405	51.595
25	La Liberia*	2.155	32.71	12.945	0.84	6850	52.19
26	Rosita	1.915	37.45	5.7	1.36	7805	45.065
27	Semcco.	1.315	37.885	10.85	1.61	7040	49.95
28	Diamante	1.74	39.04	9.265	0.93	7325	49.955

NOTA: Los resultados en color son los carbones potenciales para el combustible CCTA.

\*Muestras de una misma mina, pero de diferentes mantos

Los criterios de selección de los carbones más aptos para la producción del combustible CCTA son: Alto poder calorífico, bajo en cenizas y azufre. De acuerdo a estas condiciones solamente ocho (8) muestras cumplen estos requisitos, las cuales son provenientes de los municipios de Sogamoso, Tasco, Gámeza y Tópaga.

Las características de los ocho carbones potenciales para el combustible CCTA descritos

anteriormente se comparan en las gráficas 1 a la 6, donde se concluye que hay dos carbones más calificados para la producción del combustible CCTA, pertenecientes a los Municipios de: Tasco (mina Mercedes) y Gámeza (mina El Mangle).

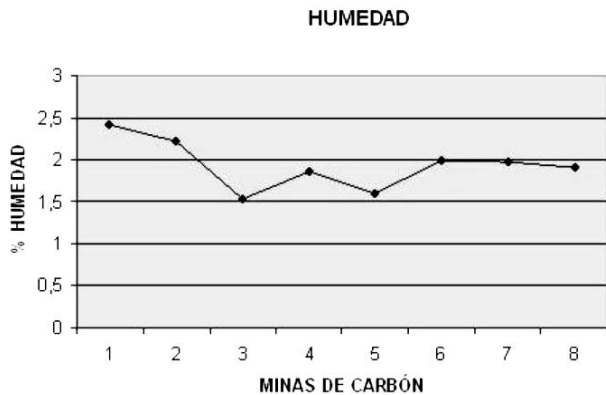
### 3.2 Base de datos Hornos Cerámicos:

Se llevó a cabo la visita a las diferentes plantas de cerámicos en los municipios de Sogamoso, Paipa, Pesca, Cómbita, Sotaquirá, Sáchica, Tunja y

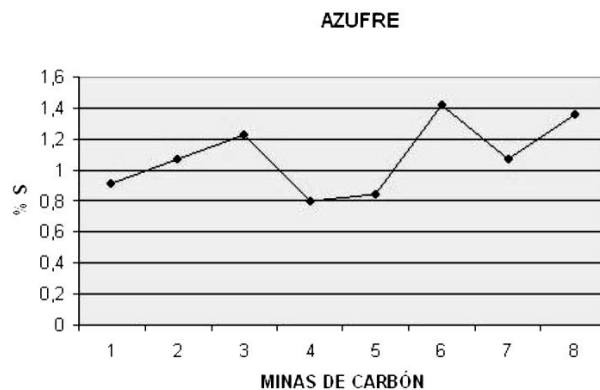
Ráquira (como se observa en la tabla 3). Se identificaron cuatro (4) tipos de hornos, tales como: Colmena de llama invertida, común o loco, semi-continuo Hoffman y vagón.

Horno colmena de llama de llama invertida (foto 1): Como su nombre lo dice este horno está construido en forma de una colmena. Su trabajo

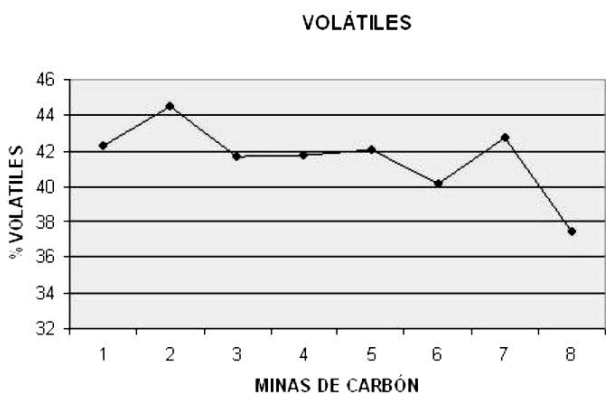
no es continuo, funciona con tiro natural; es decir, el aire de exceso es impulsado de forma natural por diferencia de alturas entre el lecho del horno y la chimenea y no por un ventilador. La alimentación del horno se realiza por bocas laterales y su capacidad depende del diámetro que generalmente está entre 3 y 15 metros, y sus paredes son de aproximadamente 1 metro de espesor (Riojas, O. A., Rodríguez, N. E.).



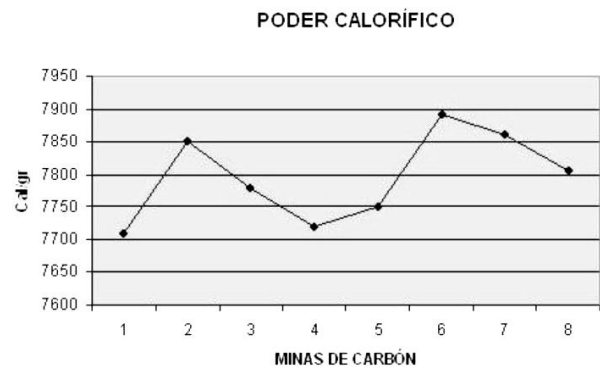
Gráfica 1. Porcentaje de Humedad.



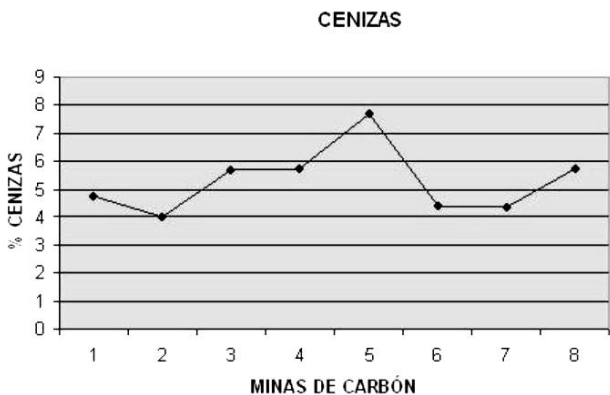
Gráfica 4. Porcentaje de Azufre.



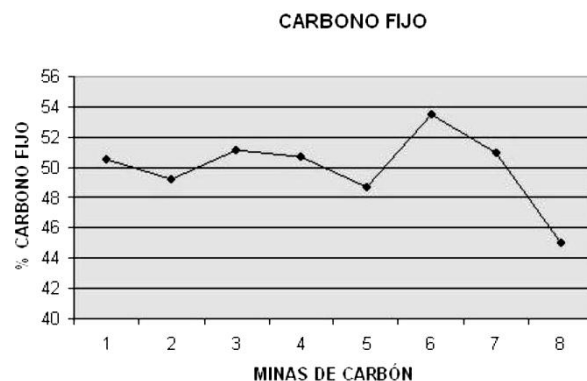
Gráfica 2. Porcentaje de Volátiles.



Gráfica 5. Poder Calorífico.



Gráfica 3. Porcentaje de Cenizas.



Gráfica 6. Porcentaje de Carbono Fijo.

Tabla 3. Plantas de producción de cerámicos.

Municipio	Tipo horno	Cantidad de hornos	Tipo combustible	Producto terminado
Sogamoso	Colmena Llama Invertida	11	Carbón térmico	Bloque .4 y 5, ladrillo, adoquines, doble T, corbatín, tablón, fachaleta y tableta.
	Fuego Dormido	14	Carbón térmico y coque	Ladrillo
Pesca	Colmena Llama Invertida	5	Carbón térmico	Bloque .4 y 5, ladrillo tipo rejilla.
Combita	Colmena Llama Invertida	1	Carbón térmico	Bloque, ladrillo, adoquines, ladrillo estructural.
	Hoffman	1	Carbón térmico	
Sotaquirá	Hoffman	2	Carbón térmico	Fachada, estructurales, bloques, tubos, pisos, adoquines y tejas.
Paipa	Colmena Llama Invertida	2	Carbón térmico	Bloques, ladrillos, piso, tablón, vitrificados.
	Vagón	1	Gas	
Ráquira	Colmena Llama Invertida	5	Carbón térmico	Materas, fuentes, colados, figuras decorativas.
		1	Gas	
Sáchica	Hoffman	1	Carbón térmico	Bloque No. 4 y 5
Tunja	Colmena Llama Invertida	3	Carbón térmico	Ladrillo estructural, tablón, bloque, vitrificados, adoquín, teja.
Tunja	Hoffman	2	Carbón térmico	Ladrillo estructural, tablón, bloque, vitrificados, adoquín, teja.



Foto 1. Horno tipo colmena de llama invertida (vista lateral).

Se determinó que la zona que cuenta con más hornos colmena de llama invertida con un total de 11 es Sogamoso, Paipa cuenta con dos, Pesca con cinco, Cómbita con uno, Ráquira con seis y Tunja con tres (como lo muestra la tabla 3).

Horno común o loco (foto 2): Ampliamente utilizado en la industria alfarera, por sus bajos

costos de fabricación y funcionamiento bastante sencillo, pues la alimentación del carbón se hace por todas partes sin ningún control de granulometría, convirtiéndolo en un horno muy ineficiente. Debido a esto, las autoridades ambientales están empeñadas en cerrar este tipo de diseño, por su impacto ambiental alto, no tiene chimenea y los humos de la combustión salen por todas partes.



Foto 2. Horno común o loco (vista lateral).



La zona con mayor número de hornos comunes o locos con un total de 490, es Sogamoso, razón por la cual se explica que las industrias ladrilleras sean una de las principales fuentes de contaminación en la Provincia, además esta actividad está ligada a la explotación de arcilla en forma antitécnica y sin ningún procedimiento específico, afectando a la comunidad que allí se encuentra.

Horno semi-continuo Hoffman: Esta variedad de horno es poco utilizado, a pesar de su capacidad y eficiencia. Aquí la carga se encuentra estática y la llama es manipulada por todo el horno mediante unas válvulas laterales. Funciona con un ventilador de tiro inducido, y la alimentación del carbón se efectúa por la parte superior; esta puede ser manual o automática. Presenta mejor eficiencia cuando el carbón es pulverizado y se alimenta mecánicamente, no requiere apagar una vez encendido, siempre y cuando esté disponible material para la cocción. La alimentación y el deshorne se realiza por la parte lateral, con unas puertas destinadas para tal fin. Las divisiones internas se hacen con papel periódico y con grano de almidón de harina. De esta clase de horno se encuentran dos en Sotaquirá, uno en Cóbbita, uno en Sáchica y dos en Tunja.

Horno vagón (foto 3): Utiliza como combustible el gas, con una capacidad instalada de 1600 toneladas. Tiene stokers, su cocción dura 48 horas y su enfriamiento 18. Presenta carriles dentro del horno para el transporte del material, de modo que los operarios no tienen contacto con la radiación del calor, y lo encontramos ubicado en Paipa.



Foto 3. Horno vagón (vista superior)

Como resultado de estas visitas a las plantas de producción de cerámicas y del análisis de la información obtenida sobre los tipos de hornos y de los procedimientos de fabricación utilizados, se encuentra que el horno que más se puede adaptar a la tecnología del CCTA, es el colmena de llama invertida, dado que sus características se ajustan a las normas ambientales exigidas, y a las necesidades de los alfareros de obtener variedad e innovación de productos. Un uso mas generalizado de este tipo de horno, podría contribuir a solucionar varios de los problemas sociales, ambientales, técnicos y competitivos de la zona.

#### 4. CONCLUSIONES

En consecuencia, la explotación del carbón térmico en Boyacá propone nuevos horizontes tanto tecnológicos, como ambientales, ofreciendo materia prima con óptima calidad.

Dentro de los análisis realizados, se encontraron ocho (8) carbones, con posibilidad de uso para la producción del combustible CCTA, correspondientes a los Municipios de Sogamoso, Tasco, Gámeza, Tópaga y Monguí.

Se encontraron cuatro clases de hornos para producción de cerámicos en la región, los comunes o locos, que presentan la mayor contaminación ambiental, los hornos colmena de llama invertida, los Hoffman, que presentan la menor contaminación, y un horno vagón.

Por otra parte, es posible disminuir la contaminación ambiental que se está viviendo actualmente en la zona del valle del Sugamuxi, con tecnologías limpias, tales como el uso del combustible CCTA, en los hornos de producción de cerámica, tales como los de colmena de llama invertida.

Si se cambia el combustible que se utiliza actualmente en las plantas de cerámicas, paralelamente mejorará la condición de trabajo de los operarios, la calidad de los productos será superior y se podrá innovar los tipos de materiales

cerámicos, logrando una mayor rentabilidad en esta industria, y así una mejor calidad de vida socio-económica de los alfareros.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la participación y contribución en el desarrollo del presente estudio a: La ingeniera María del Pilar Torres Sanabria (auxiliar de investigación), química María del Carmen Camargo Jiménez, Instituto Francisco José de Caldas - COLCIENCIAS, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - UPTC, Jorge Luis Grosso - Coordinador Nacional del Proyecto CCTA, a los Consejos Departamentales de Ciencia y Tecnología - CODECYT de Boyacá, Santander y Norte de Santander.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1997-1998. Annual Book of ASTM Standard. Sección 5.

Atesok, G., Dincer, H., Ozer, M., Mutevelliloglu A. 2005. The effects of dispersants (PSS-NSF) used in coal-water slurries on the grindability of coals of different structures. Science Direct.

Cámaras de comercio de Tunja, Sogamoso y Duitama, 2004. Boyacá en cifras.

CT&F - Ciencia Tecnología y Futuro, 1997. Vol. 1. Núm. 3.

CT&F - Ciencia Tecnología y Futuro, 1999. Vol. 1. Núm. 5.

ECOPETROL. ICP, 1996. "Preparación, transporte y combustión de emulsiones y dispersiones de hidrocarburos pesados y carbón pulverizado".

Grosso, J. L., et als. 1999. Preparación transporte y combustión de emulsiones y dispersiones de hidrocarburos pesados y carbón pulverizado. Informe final, Contrato RC-156-91, Carbocol-Conciencias- ICP-UIS.

Grosso Vargas, J. L., Suárez Medina, O. J., Leal Díaz, G., Barrero Acosta, R., Rodríguez, L. May 11, 1999. US Patent N° 5,902,359 fuel

mixtures consisting of coal/asphaltenes, fuel oil/heavy crude oil, surfactant and water (CCTA), and the obtained products. Europea N° EP 0872538 A3.

Ingeominas, 2005. Potencial Geológico Minero en Colombia. II Congreso Internacional de Proyectos Mineros e Industriales. Tunja.

Ministerio de minas y energía. Unidad de planeación minero energética, 2005. República de Colombia.

Ministerio de Minas y Energía de Colombia, UPME (Unidad de Planeación Minero Energético), 2005. La cadena del carbón. El carbón Colombiano fuente de energía para el mundo. Bogotá.

Riojas Castillo, O. A., Rodríguez Montaña,

N. E. Características de hornos, productos cerámicos parque minero industrial mochuelo localidad 19, Bogotá.

www.aupec.univalle.edu.co, Ciencia al día, Agencia AUPEC y COLCIENCIAS, 1997. Carbón y Petróleo, la perfecta combinación.