

# EVALUACION PRELIMINAR DE ALGUNOS PRODUCTOS DE LA DESTILACION DE UN CARBON ANTIOQUEÑO

Jaime Aguirre Cardona  
Departamento de Procesos Químicos  
Universidad Nacional - Medellín

## 1. INTRODUCCION

El presente estudio, elaborado en el Centro del Carbón de la Universidad Nacional, tiene como objetivo principal estimar el rendimiento, en amoníaco y gas total, de una carbonización de hullas antioqueñas en un proceso discontinuo, de lecho fijo y con bajas velocidades de calentamiento, en función de la temperatura central de la carga y del tiempo de enhornado. Se busca, además, evaluar la cantidad total de alquitrán producido en el proceso y determinar los porcentajes de cada una de las fracciones más importantes de éste.

Una cuantificación de los componentes del benceno, no pudo ser efectuada debido a la falta de los patrones cromatográficos.

La evaluación es aproximada debido a la dificultad de conocer las pérdidas de materiales, especialmente de alquitranes, en los equipos de la cadena de recuperación de subproductos.

La motivación del trabajo se encuentra en que la técnica de carbonización, aplicada actualmente en los procesos de coquización, podría retomarse como uno de los puntos de partida para estudios sobre valorización del carbón, dada su versatilidad y menor complejidad técnica. La combinación con procesos simples de gasificación, así no sea lo óptimo, dio resultados muy positivos en el pasado (1,2,3).

La industria antioqueña ha demostrado, además, interés en el gas producido a partir del carbón, como puede verse no solo en el **Plan de Desarrollo de Antioquia** (1983-

1990) (4) donde se plantea la posible instalación de una planta de pirólisis de carbón en el Suroeste del Departamento, sino también en estudios realizados por la **Foster Wheeler Andina S.A.** para Peldar, Noel y Empresas Departamentales de Antioquia (5) entre otros, y en el llevado a cabo por la **Consultans Processing Co** para la regional de la **ANDI** (6).

Es de anotar también, que tanto en la producción de **briquetas desvolatizadas** como en la del carbón activado, se realizan etapas previas de carbonización. Estas industrias presentan algunas perspectivas en Antioquia y por lo tanto, el llevar a cabo ensayos de carbonización buscando caracterizar los carbones en este sentido, presenta un interés práctico inmediato.

## 2. LA CARBONIZACION

El carbón mineral es un hidrocarburo sólido de estructura muy compleja. Se requiere de un sinnúmero de análisis y ensayos, a diferentes niveles de experimentación, para conocer su comportamiento frente a la combustión, gasificación, licuefacción y carbonización.

Conforme a la etimología, se reserva el término **pirólisis** (o **carbonización**) a la descomposición térmica del carbón u otra materia orgánica, en ausencia de oxígeno o de cualquier gas oxidante. Se describe, en este estudio, el conjunto de degradaciones térmicas que pueden ocurrir en una hulla desde la temperatura ambiente hasta temperaturas más elevadas.

Entre los parámetros de importancia que inciden en el proceso, pueden mencionarse: tipo y granulometría de la materia orgánica, temperatura promedio de operación, velocidad de calentamiento, forma de contacto, tipo de lecho, tiempo de residencia y geometría del sistema. Este último parámetro es uno de los que más dificulta la generalización de los resultados obtenidos.

### 2.1 TIPOS DE CARBONIZACION (7)

Dependiendo fundamentalmente del tipo de carbón y de los requerimientos en productos, la carbonización para nuestro caso puede clasificarse en:

- Carbonización a **baja temperatura**. Aquella que busca obtener un destilado rico en componentes de interés químico y/o energético. Esencialmente amoníaco, bencenos y alquitrán pobre en compuestos aromáticos pesados. Las temperaturas pueden oscilar, entre 400 y 800 G.C.
- Carbonización a **alta temperatura**. El interés en este caso puede ser el de obtener, a partir de un carbón apropiado, un residuo sólido apto para utilizar en los **altos hornos** como reductor de los óxidos de hierro (coque para la industria siderúrgica)

como también el de buscar una buena producción de gas de medio y alto poder calorífico. La coquización, en este último caso, cubre en la actualidad casi el 100% de las aplicaciones.

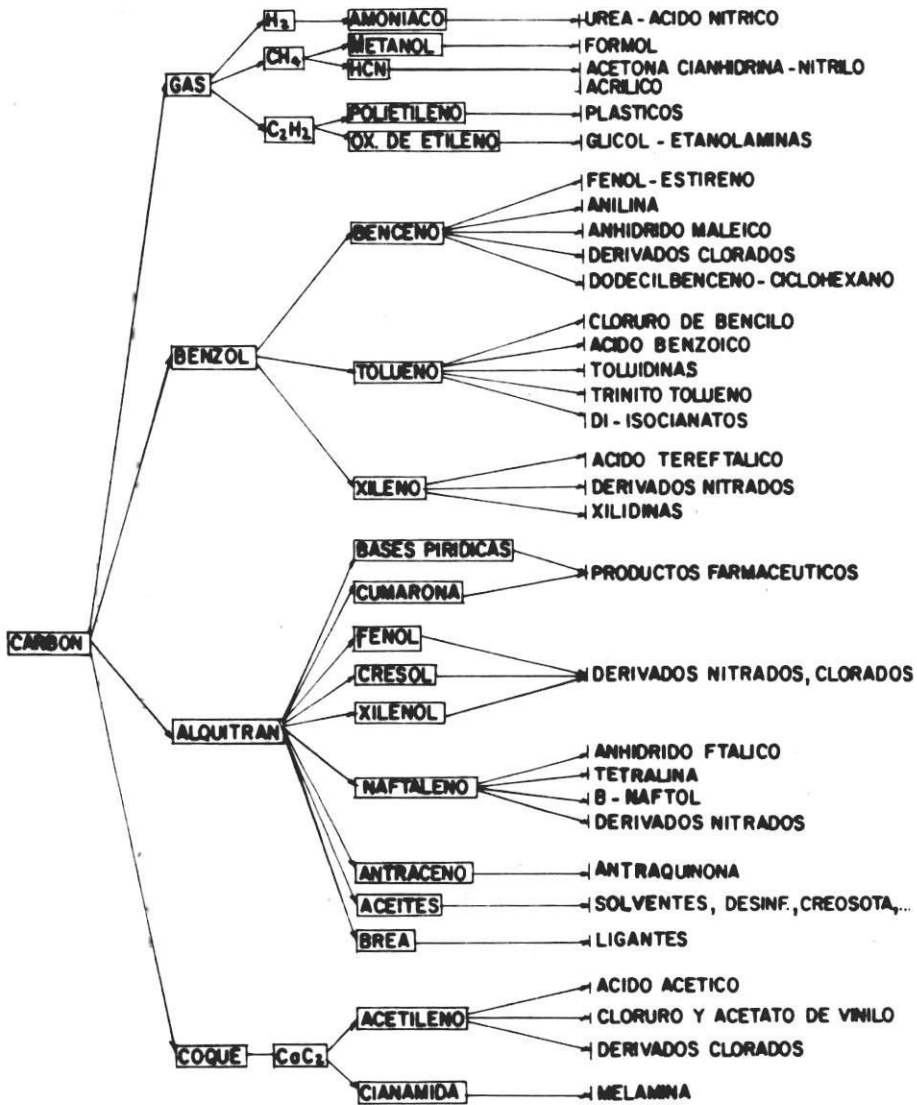


FIGURA I. Derivados de la carbonización.

El trabajo experimental es operado a temperatura de pared de 1000 G.C., pero por tratarse de un proceso discontinuo, se adopta como criterio de referencia, la temperatura central de la carga, lo que nos sitúa en el caso especial de una carbonización intermedia entre las dos mencionadas anteriormente. En la figura 1 pueden observarse los principales derivados de la destilación de un carbón mineral.

## 2.2 ETAPAS DE UNA CARBONIZACION (8,9,10)

En el caso de una sustancia compleja como el carbón, se tiene la presencia de múltiples reacciones paralelas y consecutivas, la liberación de diferentes gases y la dificultad de determinar los verdaderos productos primarios de la descomposición térmica, dificulta la comprensión de los mecanismos de pirólisis.

De manera general, pueden diferenciarse tres zonas térmicas en la carbonización a bajas velocidades de calentamiento, a saber:

- Hasta 350 G.C., aproximadamente, se produce un débil desprendimiento de gases simples constituidos fundamentalmente por vapor de agua, gas carbónico y óxido de carbono sin que haya modificaciones importantes en el sólido.
- Entre 350 G.C. y 500-550 G.C., a diferencia de la etapa anterior, la ruptura de numerosas uniones intermoleculares conlleva la liberación abundante de compuestos de masa molecular elevada y se acompaña, para cierto tipo de carbones, con fenómenos de ablandamiento y posterior resolidificación del residuo.
- A temperaturas mayores se produce especialmente hidrógeno proveniente de una condensación creciente de sistemas aromáticos.

En las últimas etapas aparecen, casi simultáneamente, dos tipos de reacciones en cierta forma contrarias, pero necesariamente coexistentes, para que haya equilibrio en el balance de hidrógeno: las reacciones de **cracking**, que ayudan especialmente a la formación de alquitranes, y las reacciones de **aromatización**, que tienden a aumentar la cantidad de residuo final.

## 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo las experiencias, desde la preparación y destilación del carbón hasta los análisis de los diferentes productos, se utilizaron equipos pertenecientes a diferentes laboratorios de la Universidad Nacional. La parte central del trabajo, sin embargo, fue realizada en su totalidad en el **Centro de Investigaciones sobre el Carbón**, de la Facultad Nacional de Minas.

### 3.1 EQUIPO UTILIZADO

Se describen a continuación las unidades más importantes del trabajo experimental. Una descripción detallada puede encontrarse en la referencia (11).

### 3.1.1 HORNO PILOTO DE CARBONIZACION.

De lecho fijo, con capacidad para diez kilogramos de carbón, cuenta con reguladores de temperatura y de velocidad de calentamiento, como también de registros de temperatura y de presión de empuje.

Se trata del modelo francés **CERCHAR**, diseñado de manera que sus resultados sean extrapolables a hornos de 400 kilogramos.

Es de anotar que las características poco flexibles propias del horno de carbonización existente en el Centro del Carbón, limitan en gran medida el procedimiento experimental.

### 3.1.2 PLANTA PILOTO DE RECUPERACION DE DESTILADOS (FIG. 2)

La planta de ensayos fue diseñada (12) para la capacidad del horno ya mencionado. Se utilizan cuatro unidades a saber:

- Intercambiador de calor: unidad de enfriamiento de gases y de condensación de alquitranes pesados. Se usa agua como refrigerante, la cual circula en contracorriente por el exterior de los tubos. El alquitrán se deposita en el interior de cada tubo y cae por gravedad en un recipiente, con sello hidráulico, colocado para tal efecto.

Debido a la alta viscosidad del alquitrán, es necesario limpiar los tubos antes y después de cada serie de operaciones de carbonización, para asegurar una correcta recuperación del compuesto. El alquitrán viene mezclado con agua, la cual es necesario separar en su casi totalidad, para poder destilar sin contratiempo la mezcla orgánica.

- Precipitador electrostático: unidad de eliminación de nieblas de alquitrán, en la cual existe un campo eléctrico que induce carga en las partículas de alquitrán, aún existentes en la corriente gaseosa. El soporte eléctrico consta de dos transformadores elevadores de voltaje, de un puente de diodos rectificador de corriente y de un puente capacitivo para corregir las pulsaciones y estabilizar el campo eléctrico generado entre los electrodos.

El funcionamiento del precipitador se controla visualmente dado que el gas saliente de la unidad debe ser prácticamente incoloro; esta misma referencia sirve para fijar el voltaje de trabajo más adecuado (aproximadamente 20.000 voltios).

- Torre de absorción de amoníaco: Columna de **pared húmeda** que utiliza agua en contracorriente. Debido a que los fines del trabajo son investigativos, se utiliza un flujo relativamente alto de solvente, buscando así obtener una mayor diferencia de potenciales químicos entre fases y poder recuperar la mayor cantidad posible de amoníaco.

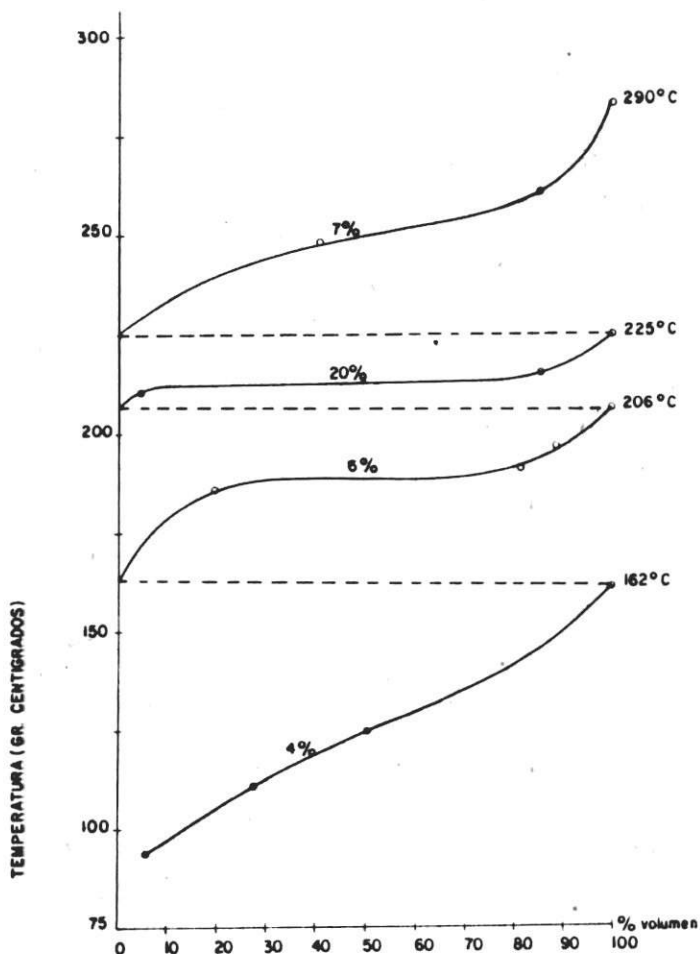


FIGURA 2. Curva de destilación de alquitrán

La toma de muestras de aguas amoniacales, se inicia a partir del momento en que la solución empieza a mostrar un pH básico. A las muestras obtenidas se le agregan unas cuantas gotas de KOH para impedir el escape del amoníaco.

Para el desarrollo experimental se requirió modificar un poco el tubo de desprendimiento del balón de destilación, puesto que había obstrucción constante a la salida del gas por la presencia de naftalina cristalizada.

### 3.1.4 EQUIPO DE ANALISIS DE AMONIACO

Se utiliza el método de Nessler directo y un fotocolorímetro **Shimadzu** para medir la concentración de nitrógeno elemental. El amoníaco presente es calculado a partir del balance estequiométrico.

### 3.1.5 ANALIZADOR DE GASES 'Orsat', CON CAMARA DE COMBUSTION

Permite analizar CO<sub>2</sub>; CO; O<sub>2</sub>; CH<sub>4</sub>; y H<sub>2</sub>. En la cámara de combustión existe peligro de explosión si la atmósfera y la temperatura no son bien controladas. La toma de muestras gaseosas se realiza con ayuda de balones de goma apropiados para el efecto. Estos muestreadores permiten a la vez realizar las medidas de flujo gaseoso.

### 3.2 CONDICIONES DE OPERACION DEL HORNO DE CARBONIZACION

Se reportan, además de las condiciones fijadas para las experiencias, algunos otros parámetros que tienen incidencia en los resultados.

- Temperatura de las paredes: 1000 G.C.
- Temperatura central de la carga: variable, desde la temperatura ambiente, (25 G.C.) hasta aproximadamente los 1000 G.C.
- Velocidad de calentamiento: lenta y ligeramente variable. El valor promedio fue de aproximadamente 3,4 G.C./minuto.
- Tiempo de operación: el necesario para obtener un flujo final de gas prácticamente despreciable. (aproximadamente 8 horas).
- Tipo de carbón: Sub-bituminoso de la mina "La Gualí", de Empresas Departamentales de Antioquia; el análisis inmediato en base **secado al aire ambiente**, reporta:

. H <sub>2</sub> O	= 10,85%
. Materias volátiles	= 42,4%
. Cenizas	= 5,15%
- Densidad de carga del carbón: 0,7 gr/cm<sup>2</sup> aproximadamente.
- Granulometría del carbón: 100% 2 mm.
- Características del horno de carbonización:
  - . Capacidad: 10 Kilogramos.
  - . Tipo de lecho: Fijo, retorta cilíndrica con un espesor de 20 cm (juega un papel para efectos de transferencia del calor).
  - . Proceso discontinuo.
  - . Calentamiento por las paredes.

### 3.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se realizaron cerca de diez ensayos para chequear el funcionamiento y detectar los problemas que pudiera presentar la planta semipiloto de recuperación de subproductos.

Efectivamente, las siguientes fueron las imperfecciones de operación encontradas en los ensayos preliminares: pérdidas de gas en la retorta, fuga de agua a nivel de la parte superior del intercambiador de calor, fugas de gas y mal funcionamiento eléctrico del precipitador electrostático, desestabilización del sello líquido y dificultad de conseguir una película sin goteos ni caminos preferenciales en la columna de pared húmeda. Todos estos problemas fueron solucionados (las pérdidas de gas continuaron pero no de manera apreciable) y se realizaron entonces dos ensayos completos bajo las mismas condiciones.

Los datos obtenidos en los ensayos fueron coherentes entre sí mostrando claramente que podían ser interpretados como si se tratara de un solo ensayo y por lo tanto, los resultados que a continuación se reportan son valores promedio.

#### 3.3.1 RENDIMIENTO EN CARBON DESVOLATIZADO

Se obtuvo un peso del residuo carbonoso igual a 6,71 Kg, equivalente a un rendimiento del 75%, tomando como base de cálculo el carbón en base seca.

#### 3.3.2 ALQUITRAN: RENDIMIENTO Y FRACCIONES

Los puntos de corte para las diferentes fracciones fueron tomados de acuerdo con las temperaturas que para estos casos señala la literatura científica en general. Dichas temperaturas fueron corregidas para la presión de Medellín de conformidad con la siguiente ecuación:

$$C_c = 0,00012 (760 - p)(273 + T_o)$$

Donde:

C<sub>c</sub> Corrección a realizar sobre la temperatura observada T<sub>o</sub> (G.C.)

p Presión de operación (640 mm Hg)

A partir de los datos reportados en la Tabla 1, se obtiene la curva de destilación mostrada en la Fig. 2. En ésta se supone que una parte del volumen inicial del destilado se debe al agua remanente en el alquitrán.

El rendimiento en destilados del alquitrán fue de 37% en volumen. En este valor se excluye la fracción antracénica, pues no se disponía del equipo adecuado para obtenerla (seguramente menor del 5%, por lo que pudo observarse).



En cuanto al alquitrán deshidratado total, su valor alcanzó 410 ml (aproximadamente 450 gramos) lo cual equivale a un rendimiento del 5.3% en peso (base pura). El valor verdadero debe ser superior, puesto que no fue posible evaluar las pérdidas en los conductos y en el intercambiador de calor; además, el manejo del alquitrán conlleva pérdidas al pasarlo de un recipiente a otro, debido a su alta viscosidad.

**TABLA 1. Volúmenes acumulativos de fracciones de alquitrán**

Fracción	Temperatura (G.C.)	Volumen (ml)
1	110	0,8
	125	1,4
	162*	2,8
2	187	3,6
	191	6,2
	200	6,5
	206*	7,0
3	210	7,5
	215	19,0
	225.	21,0
4	250	23,0
	260	25,3
	290*	26,0

(\*) Puntos de corte entre fracciones

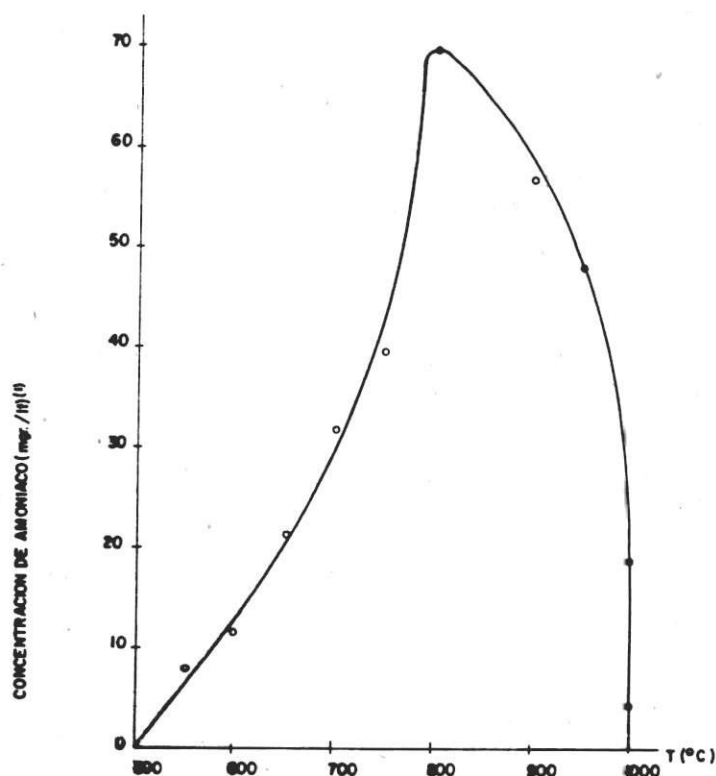
La contribución volumétrica de las diferentes fracciones destilada es de:

- Aceites ligeros (benzol bruto): 4% (fracción 1)
- Aceite fenólico: 6% (fracción 2)
- Aceites naftalénicos y medianos: 20% (fracción 3)
- Aceites pesados y frac. de acenafteno 7% (fracción 4)
- Fracción antracénica y brea 63% (fracción 5)

### 3.3.3 AMONIACO: RENDIMIENTO Y PERFIL DE CONCENTRACION

Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 2 donde N es la concentración de Nitrógeno y R la rata volumétrica de amoniaco.

El flujo de agua (solvente) es de 40 lts/hr. La temperatura alrededor de la cual aparecieron las primeras trazas de amoniaco fue de 500 G.C., la detección se hizo con base en medidas de pH.



(1) CARBON EN BASE BRUTA  
(Dividir por 0.84 para base pura)

FIGURA 3. Variación de la concentración de amoníaco vs temperatura central.

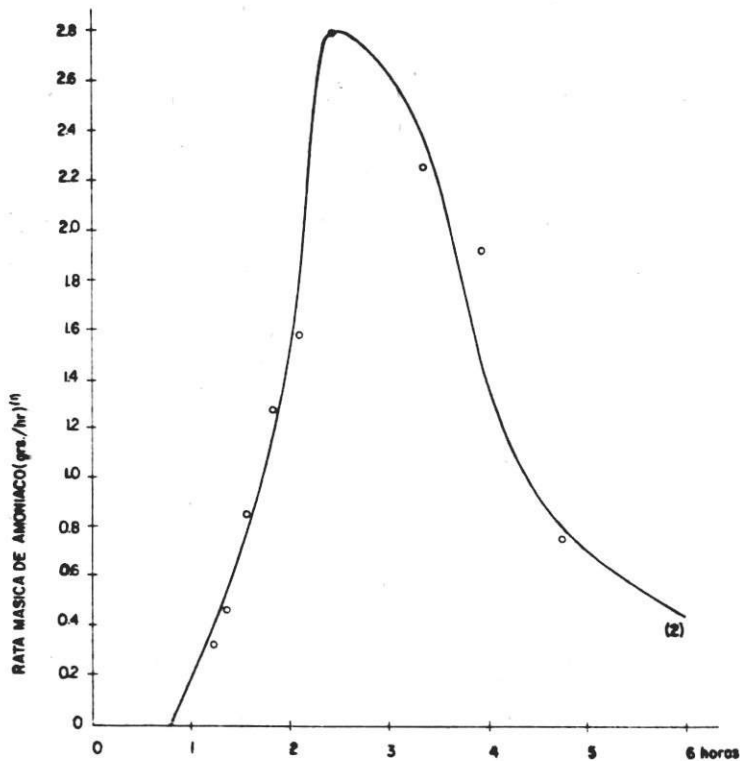
En las Figuras 3 y 4 pueden apreciarse tanto el perfil de concentración en función de la temperatura central de la carga, como la rata másica en función del tiempo de residencia de la carga en el horno. El tiempo de residencia fue leído a partir de los registros de temperatura de la consola de control del horno de carbonización, puesto que es conocida la velocidad del papel de registro.

El rendimiento en amoníaco es estimado bajo el supuesto que la rata sigue la tendencia mostrada por la Figura 4. (Se conocen dos puntos más, como se observa en la Tabla 2).

**TABLA 2. Concentración y rata másica de amoníaco**

Temperatura (G.C.)	N (mgr/lt)	NH3 (mgr/lt)	R (gr/hr)
550	6,57	7,98	0,32
600	9,47	11,50	0,46
650	17,52	21,27	0,85
700	26,16	31,76	1,27
750	32,53	39,50	1,58
800	57,40	69,70	2,79
900	46,67	56,67	2,27
950	39,60	48,08	1,92
1000	15,48	18,80	0,75
1000*	3,61	4,38	0,17

(\*) Final de la carbonización



- (1) CARBON EN BASE BRUTA
- (2) Pasa por (8, 0.17)

FIGURA 4. Variación de la rata másica de amoníaco vs tiempo de residencia.

El rendimiento fue calculado por integración numérica utilizando el método de Weddle de intervalo cerrado, obteniéndose un valor de 7,54 gramos de NH<sub>3</sub> por 10 Kgr brutos de carbón en horno, lo cual equivale a cerca de 0,9 Kgr de NH<sub>3</sub> por tonelada de carbón en base pura.

### 3.3.4 RENDIMIENTO Y COMPOSICION DEL GAS DE CARBON

En la Tabla 3 pueden apreciarse los resultados relacionados con el flujo de gas (G) y la composición de éste.

El flujo volumétrico del gas esta dado a 640 mm Hg y 25 G.C.

TABLA 3. Flujo y composición del gas

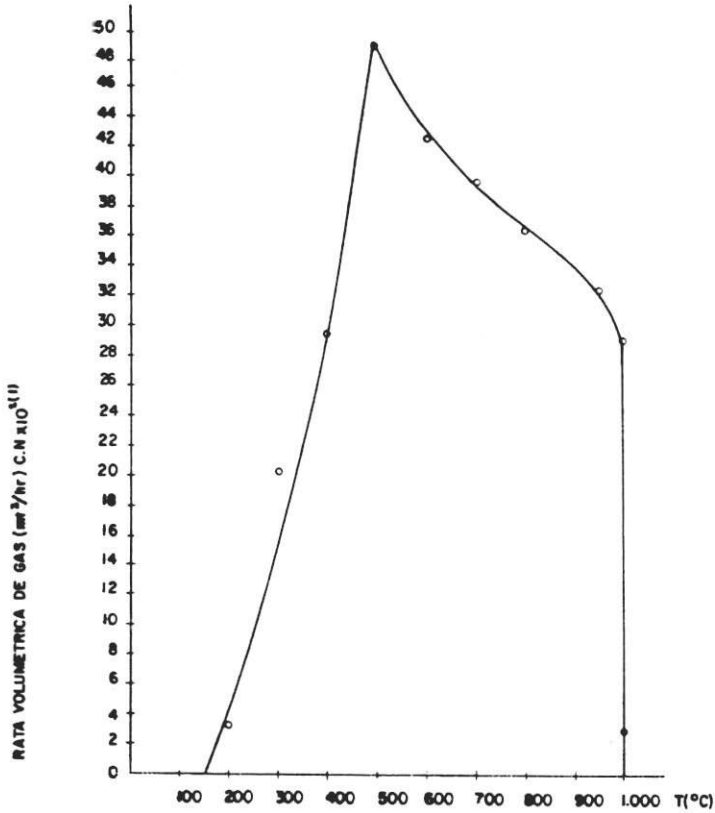
Temperatura (G.C.)	G x 10 <sup>2</sup> (mt <sup>3</sup> /hr)	CO <sub>2</sub> %	CO %	CH <sub>4</sub> %	H <sub>2</sub> %	Otros** %
200	3,5	-	-	3	-	-
300	20,3	-	-	-	-	-
400	29,4	-	-	-	-	-
450	-	6,0	3,0	67,0	20,0	4,0
500	48,8	-	-	-	-	-
600	42,4	4,0	3,0	65,0	20,5	7,5
700	39,6	3,0	3,0	56,0	31,0	7,0
800	36,5	2,5	3,0	50,0	41,0	3,5
900	-	2,5	3,5	37,0	54,0	3,0
950	32,4	-	-	-	-	-
1000	29,0	2,0	6,0	22,0	67,0	3,0
1000*	3,0	2,0	7,0	10,0	78,0	3,0

(\*) Final de la carbonización

(\*\*) Otros: Cn Hm + N<sub>2</sub> + ....

Las Figuras 5, 6, 7 representan los datos reportados en la Tabla 3. Como se había dicho antes, el tiempo fue tomado de las cartas de registro.

Un estimado por integración numérica del flujo volumétrico de gas, a condiciones normales de presión y temperatura, dio un valor de 2,0 m<sup>3</sup> de gas por 10 Kilogramos de carbón bruto destilado; esto equivale aproximadamente a 238 m<sup>3</sup> de gas por cada tonelada de carbón en base pura.



(1) CARBON EN BASE BRUTA

FIGURA 5. Perfil de flujo gaseoso vs temperatura central.

En la figura 5 se observa que la cantidad de gas producida antes de 450 G.C. (en el centro de la carga), no es muy apreciable respecto a la cantidad de gas total. Suponiendo que el gas inicial no interfiere de manera importante en el resultado del poder calorífico superior, podemos realizar un estimado de ésta, a partir de las composiciones promedias de los componentes, las cuales se ponderan con los poderes caloríficos superiores respectivos. Los resultados obtenidos se dan en la Tabla 4.

**TABLA 4. Composición promedia del gas**

CO <sub>2</sub>	:	2,37%
CO	:	5,04%
CH <sub>4</sub>	:	30,50%
H <sub>2</sub>	:	58,72%
Otros	:	3,37%

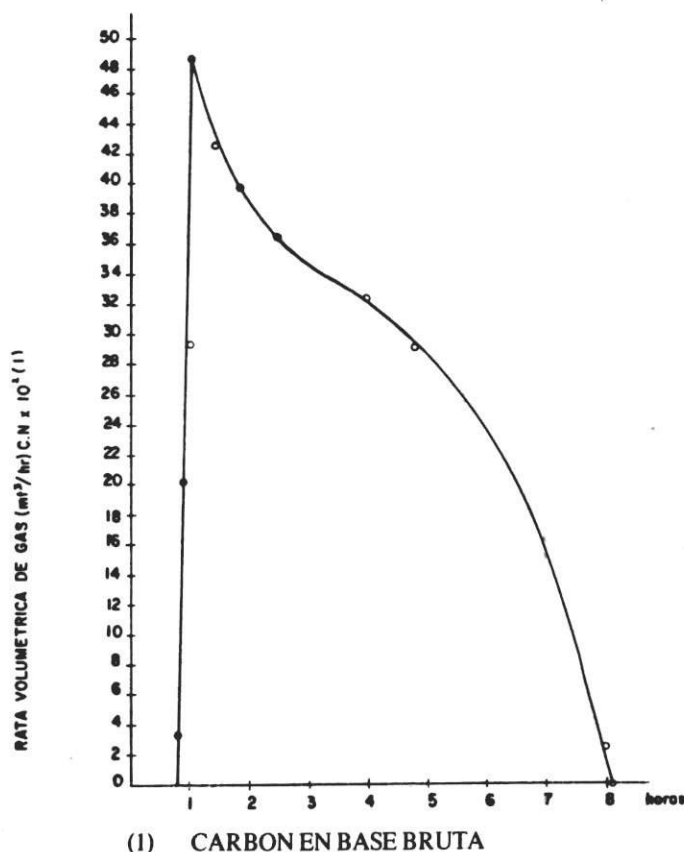


FIGURA 6. Perfil de flujo gaseoso vs tiempo de residencia.

El poder calorífico superior para las composiciones promedio estimadas es de 4.847 Kilocalorías/m<sup>3</sup>, si suponemos un P.C.S. = 0 para otros, o de 5.414 Kilocalorías/m<sup>3</sup>, bajo el caso de que otros sea únicamente metano.

#### 4. ANALISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como era de esperarse, el rendimiento en residuo desvolatilizado, 0,77 toneladas por tonelada de carbón enhornado en base pura, se encuentra en el rango normalmente reportado por la literatura científica sobre el tema.

El residuo se caracteriza, como es obvio, por no emitir humo durante la combustión, condición indispensable si se quiere implementar su uso doméstico en ciudades: briquetas, etc.

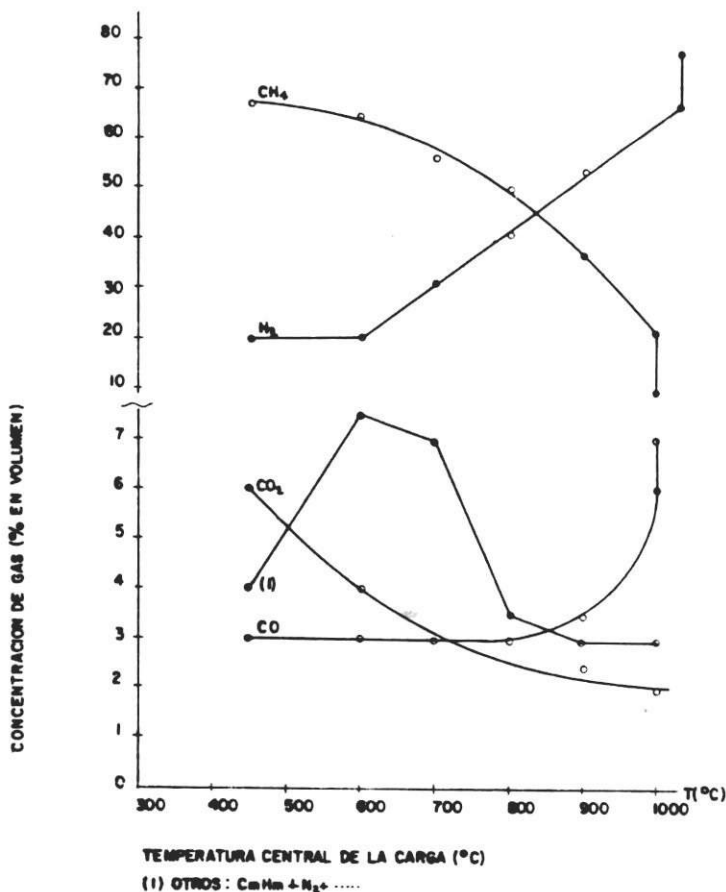


FIGURA 7. Composición de gas vs temperatura central.

Recientemente se mostró por medio de un trabajo de grado, realizado en la Facultad de Minas, (13) el interés en utilizar este tipo de material en procesos de calcinación de calizas.

En cuanto al gas se refiere, los valores promedio de la composición de éste, muestran una tendencia similar a la del gas obtenido en la industria del coque.

Las diferencias presentadas pueden explicarse no sólo por las características entre el carbón para coque y el carbón sub-bituminoso, sino también por el hecho de haber realizado un proceso que combina la carbonización a bajas y altas temperaturas las cuales, es bien conocido, proporcionan productos de composiciones muy diferentes.

Los cálculos aproximados del poder calorífico del gas, muestran que la posible energía a extraer de la masa gaseosa incondensable, es bastante grande debido a las altas concentraciones de hidrógeno y metano.

El rendimiento en gas es equivalente a 238 m<sup>3</sup> (C.N.)/tonelada, lo cual hace razonable pensar en el establecimiento de una industria de gas, utilizando la carbonización como proceso central. La producción de gas podría ser mejorada sustancialmente, si se trabaja a mayores velocidades de calentamiento.

Normalmente, la producción de amoníaco es del orden de 0,4 a 0,8 kilogramos por tonelada, para la carbonización a baja temperatura y de 2,3 a 2,7 kilogramos por tonelada, en el caso de la carbonización a alta temperatura. En nuestro caso, el rendimiento fue de 0,9 kilogramos por tonelada, valor intermedio entre los citados, lo cual nos lleva a corroborar el hecho de que estamos en un proceso de carbonización intermedio entre la alta y baja temperatura.

En el caso de querer optimizar la producción de gas, seguramente se disminuirá considerablemente la producción de amoníaco, por lo que éste pasaría a ser un producto de interés secundario o nulo en el proceso.

La producción de alquitranes fue superior en 30% aproximadamente, al valor que se obtiene en la destilación a alta temperatura.

La fracción preponderante es rica en fenoles superiores, piridinas, naftalina y compuestos parecidos a éstos en su temperatura de ebullición. La concentración de naftalina es bastante alta según pudo observarse, después de su cristalización, en los frascos de recolección de destilados.

La utilización industrial de este tipo de alquitrán presenta, por lo tanto, mayor interés en la recuperación y uso de los compuestos que hacen parte de la fracción intermedia y de la brea: obtención de anhídrido ftálico, tetralina, derivados nitrados, solventes, etc; es además conocido que la brea de carbón presenta mejores características para su empleo, que la de petróleo.

Como conclusiones pueden extraerse las siguientes:

- El carbón de la zona de Amagá contiene un potencial apreciable para la producción de gas vía pirólisis.
- El establecimiento de una industria encargada de valorizar el alquitrán y demás productos, presenta perspectivas favorables que merecen ser estudiadas más cuidadosamente.

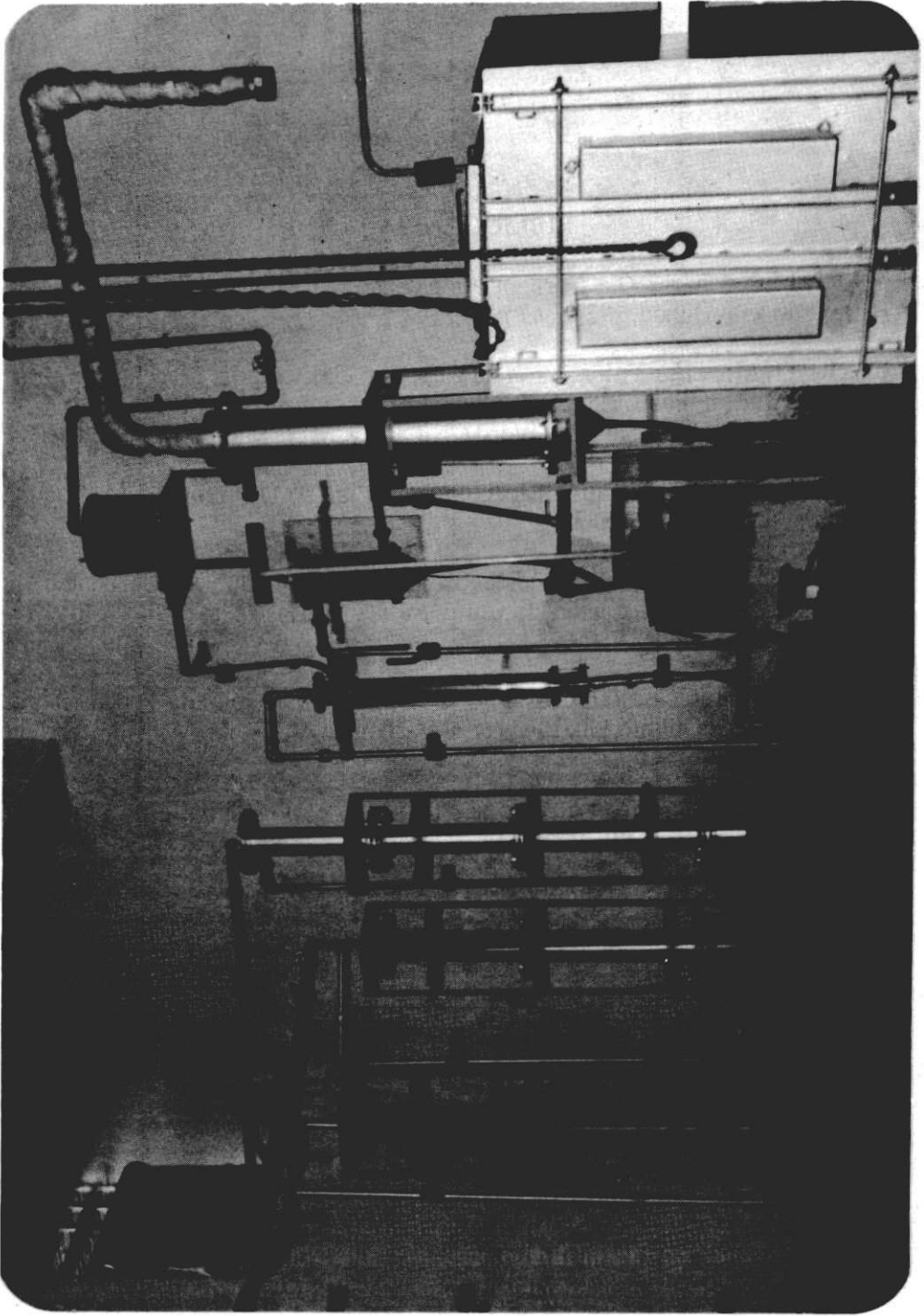
Para concluir, se recomienda realizar, en investigaciones futuras, una serie de ensayos en lecho fluidizado de operación continua, con mayores velocidades de calentamiento y con temperaturas de operación que oscilen alrededor de las encontradas como recomendables en este estudio. (Ver Figuras 3 y 5).

Sería éste un camino que podría contribuir a un mejor conocimiento de los carbones colombianos.



## BIBLIOGRAFIA

- 1 .MARILLER, Charles. La Carbonization des Bois, Lignites et Tourbes. 1a. ed., París. Editorial Dunod, 1924. 347 p.
- 2 .FERRETI, Marc. La Valorization du Charbon: Gasification, Licuefaction, Carbochimie. 1a. ed., París. Editorial Technique et Documentation, 1982. 318 p.
3. WILSON L., Carrol. Wocol. Word Coal Study. MIT, Massachussets, 1980.
- 4 .Departamento Administrativo de Planeación. Plan de Desarrollo de Antioquia. Medellín, noviembre de 1982.
- 5 .Foro de la Foster Wheeler Andina S.A. Aprovechamiento de Carbones Antioqueños para la Generación de Combustibles Gaseosos. Medellín, Hotel Intercontinental, abril de 1980.
- 6 .Coal Processing Consultants. Estudio de Prefactibilidad sobre la Producción de Gas y Productos Químicos Basados en el Carbón de Antioquia. Medellín, abril de 1978.
- 7 .WILSON, Philip an WELLS, Joseph. Coal, Coke and Coal Chemicals. 1a. ed., New York, Mc Graw-Hill, 1950. 509 p.
- 8 .CHICHE, Pierre. Chimie et Physique des Charbons et des Cokes. Publicaciones CERCHAR, 1970. 332 p.
- 9 .LOISON. R., FOCH, P. Y BOYER, A. Le Coke. 1a. ed.,París, Editorial Dunod, 1970. 567 p.
- 1 0 .LOWRY, H.H. Chemistry of Coal Utilization. 1a. ed., New York, Editorial John Wiley, 1963. 1142 p.
- 1 1 .GRANADO, J., RESTREPO, A. y RINCON, R. Recuperación de Subproductos de la Coquización. Medellín, Universidad Nacional, 1981.
- 1 2 .PADIERNA, G., VELEZ, O.E. Obtención de Briquetas de coque para Calcina-ción de Calizas. Medellín, Universidad Nacional, 1984.



Planta piloto para destilación de carbón.