

OBTENCIÓN DE CARBÓN PRIMARIO POR EL MÉTODO DINÁMICO A PARTIR DE LA PIRÓLISIS DEL CASCARÓN DE COCO.**OBTAINING OF PRIMARY COAL BY THE DYNAMIC METHOD FROM PYROLYSIS OF COCONUT SHELL.**

Aramis Fernández Rodríguez ⁽¹⁾, Julio Cesar Hernández ⁽¹⁾, Idalberto Andrés García Fernández ⁽¹⁾, Rubén Aja Muñiz ⁽¹⁾, Esther Domínguez ⁽¹⁾, Yordanis Martínez ⁽¹⁾, Eduardo Martínez ⁽¹⁾, Lourdes Vivas Larrinaga ⁽¹⁾, Maykela Pagés ⁽¹⁾.

En el presente trabajo se estudia el proceso de pirólisis del residuo forestal denominado cascarón de coco procedente del Municipio de Baracoa, Provincia de Guantánamo; con el objetivo de obtener carbones primarios de elevada dureza para posteriormente aplicarles un proceso de activación física y utilizarlos como carbones activos con propiedades mecánicas apropiadas para su utilización en la industria metalúrgica. La investigación se desarrolló sobre la base de un diseño de experimentos del tipo factorial de tres niveles 3^2 empleando para el procesamiento de los resultados un software versión 5.0 staghraphics y tabulador EXCEL determinándole, a todas las variables, la varianza de la media de cada término de la ecuación y un posterior análisis por Pareto los cuales se muestran en forma de tablas y gráficos. Se presentan los resultados obtenidos como consecuencia de la influencia de la temperatura y el tiempo de residencia para importantes variables como son: carbono fijo, material volátil, cenizas, rendimiento, resistencia y espesor del material. Estos constituyen los parámetros fundamentales a medir en la selección de un carbón para su posterior activación de acuerdo al uso para el cual serán destinados en la industria metalúrgica. En base a estos resultados se seleccionó el carbón primario óptimo para el proceso de activación.

Palabras clave: Carbón primario, proceso de pirolisis, carbón activado, cascaron de coco

In this paper is studied the pyrolysis process of forest residue denominated coconut shell called the Municipality of Baracoa, Guantanamo; with the objective of obtaining primary coal of high hardness stops later on to apply them a process of physical activation and to use them as active coal with appropriate mechanical properties for their use in the industry metalúrgica. The investigation was developed on the base of a design of experiments of the factorial type of three levels 3^2 using for the prosecution of the results a software version 5.0 staghraphics and tabulator EXCEL determining him, to all the variables, the variance of the stocking of each term of the equation and a later analysis for Pareto which are shown in form of charts and graphics. The results are presented obtained as consequence of the influence of the temperature and the time of residence for important variables as they are: fixed carbon, volatile, ashy material, yield, resistance and thickness of the material. These constitute the fundamental parameters to measure in the selection of a coal for their later activation according to the use for which you/they will be dedicated in the industry metalúrgica. Based on these results the good primary coal was selected for the activation process.

Keywords: Primary coal, pyrolysis process, active coal, coconut shell.

Recibido: 10 mayo del 2013

Aprobado en su forma original: 11 de febrero del 2014

(1) Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), Varona 12028 Km^{1/2} Boyeros, La Habana, Cuba, CP-10800 Correo electrónico: aramis@cipimm.minem.cu

INTRODUCCIÓN

El carbón activado que como precursor puede utilizar carbón primario o mineral para su obtención, está ampliamente difundido en el mundo por sus múltiples aplicaciones. Esto lo ubica como un producto de alta demanda si tenemos en cuenta que los efectos de los daños causados al ambiente no se detienen en las fronteras nacionales.

Una abrumadora cantidad de carbón vegetal en el mundo se produce todavía por sencillos procesos de hornos tradicionales campesinos, metálicos y de colmena brasileño donde no se recupera nada de los sub-productos o del calor liberado por el proceso pirolítico.

Actualmente el carbón vegetal puede ser producido a partir de cualquier material rico en carbono, pero sus propiedades están muy influenciadas por la naturaleza de la materia prima con que es producido y por la calidad del proceso de pirólisis. Entre las principales fuentes se destacan: los carbones minerales, el cascarón del coco y las maderas (ONU, 1983).

De estas, el cascarón del coco es la que rinde un producto final con mayor granulación y dureza, con un volumen de poros uniforme y un alto por ciento de porosidad (Wigmans, 1989).

Además, al ser más denso que los obtenidos por las otras materias primas mencionadas, lo hace más cotizado para la eliminación de productos químicos contaminantes del medio. La selección de la materia, que se utilizará para la obtención del producto final, dependerá de un grupo de factores que deben ser tenidos en cuenta, como son:

- Disponibilidad y costo de la materia prima.
- Tecnología disponible.
- Demanda en el mercado de un determinado tipo de carbón activado.

En relación con las materias primas más ampliamente utilizadas (cascarón del coco, carbón mineral y madera) podemos observar en la tabla No. 1 como varía el contenido de carbono en estos materiales (Wigmans, 1989).

Tabla 1. Contenido de carbón no volátil en las materias primas Utilizadas para la producción de carbón activado.

Materia prima	Contenido de carbón aproximado %
Madera blanda	40
Madera dura	40
Madera de coco	40
Lignito	60
Carbón bituminoso	75
Antracita	90

Puede observarse que el mayor contenido de carbono se encuentra en los diferentes carbones minerales. Esto unido a las grandes reservas de los mismos existentes en los países industrializados, así como la estructura de poros que poseen, permite que sean los más adecuados para la producción de un carbón activado destinado al tratamiento de agua que es el mercado de más fácil crecimiento en la actualidad.

En países como Filipinas, Sri Lanka y Malasia se observa un desarrollo creciente de la producción de carbón activado ya que cuentan con una poderosa industria relacionada con productos del coco (Wigmans, 1989)

MATERIALES Y MÉTODOS.

Materia prima utilizada.

En las pruebas realizadas en la presente investigación para el estudio del proceso de

pirólisis, se empleó como materia prima cascarón de coco (crudo) obtenido en la zona de Baracoa, provincia de Guantánamo.

La muestra recibida en su forma original (cascarón del coco) fue triturada en un molino de cuchillas con el objetivo de aumentar su peso volumétrico logrando así poder

carbonizar mayor cantidad de producto de cada corrida experimental con el equipamiento disponible en nuestro laboratorio. Las dimensiones de las partículas del cascarón de coco triturado estuvieron entre - 25mm + 5 mm las que fueron homogenizadas y cuarteadas. La tabla No II muestra el análisis típico del cascarón de coco utilizado.

Tabla 2. Análisis del cascarón de coco utilizado.

Carbono fijo (%)	Material volátil (%)	Cenizas (%)
21.57	77.82	0.61

En la caracterización del cascarón de coco se utilizó la técnica de análisis térmico, para lo cual se empleó un derivatógrafo Q - 1 500 de la firma M O M (Hungría) con registro simultáneo de las curvas de análisis térmico diferencial (A T D) y termogravimétrico derivativo (T G D), con la finalidad de determinar el comportamiento de la muestra durante el proceso de carbonización.

Un examen de las curvas termogravimétricas (T G) y su diferencial (D T G) nos hace percatarnos de la existencia de 3 zonas claramente definidas (Fig. 1); Una primera zona de pérdida de peso que comienza a los 40 °C y termina a los 100 °C aproximadamente correspondiente a la humedad de la muestra; La segunda zona definida a partir de los 180 °C comprende la descomposición del material vegetal y el comienzo de la carbonización. En esta etapa, que se extiende hasta los 350 - 370 °C, se observa una pérdida intensa de peso, llegando a representar casi el 60 % del peso inicial de la muestra.

A partir de esta temperatura y hasta los 1 000 °C es menor el rendimiento, pudiéndose subdividir esta etapa del calentamiento en 2 intervalos , uno extendido entre 370 y 500 °C y otro de 500 °C en adelante. En el primer intervalo se alcanza el valor de pérdida en peso considerado normal para carbonización a bajas temperaturas y que está alrededor del 70 % de los volátiles. A partir de 500 °C la pérdida en peso es mucho menor teniendo lugar una producción escasa de gases incondensables.

Condiciones del Análisis:
 Velocidad de calentamiento: 10 0C/min
 Atmósfera..... Argón
 Crisol..... Platino
 Temperatura máxima.....1000 0C

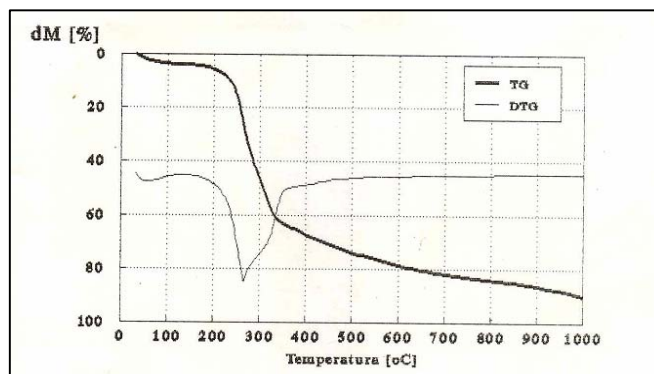


Figura 1. Análisis térmico diferencial del cascarón de coco.

Metodología experimental para realizar la carbonización.

El objetivo de la carbonización es estudiar la influencia de las variables temperatura y tiempo de residencia sobre las variables de respuesta estudiadas (carbono fijo, material volátil, cenizas, resistencia y rendimiento). Selección de un carbón primario para después continuar con la siguiente etapa que sería la activación. Después de haber hecho un análisis de la bibliografía y de las metodologías empleadas para realizar la pirólisis del cascarón de coco se selecciona la siguiente metodología:

Etapas de pirólisis de la materia prima.

Para el proceso de carbonización de la cáscara del coco se aplicó la siguiente metodología:

1. Se pesaban 400 gramos de la materia prima para cada prueba

2- La materia prima ya pesada se depositaba en una botella (Ver Figura 2.) la cual se colocaba en un mecanismo dinámico y se introducía en la mufla a razón de 10°C por minuto en atmósfera inerte hasta alcanzar las temperaturas y tiempos de residencia establecidos en el diseño experimental.

3- Transcurrido el tiempo de residencia a la temperatura indicada se procedía a la etapa de enfriamiento hasta una temperatura menor de 100°C en la que se descargaba el material obtenido y se preparaba para su análisis.

Desarrollo de la Investigación. Etapa de Pirólisis.

La investigación se desarrolló sobre la base de un diseño de experimentos del tipo factorial de

tres niveles (3^2), Para este diseño, el modelo matemático que lo representa es el siguiente:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2$$

Donde:

Y - variable dependiente o respuesta.

$b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$ - coeficientes de diferentes términos.

X_1, X_2 - variables independientes.

Las variables estudiadas y los niveles establecidos fueron los siguientes:

Niveles	-1	0	+ 1
---------	----	---	-----

Variables.

X_1 , temperatura (°C)	400	450	500
X_2 , tiempo (hr)	1	2	3

La matriz fue evaluada para las siguientes variables dependientes o respuestas:

- Rendimiento %.
- Carbono Fijo, %.
- Material volátil %.
- Cenizas %.
- Resistencia %

EQUIPAMIENTO UTILIZADO PARA LA PIROLÍISIS.

Las pruebas correspondientes al proceso de pirólisis se realizaron con los equipos siguientes:

- Una mufla marca BT-170 con control automático de temperatura con un rango de calentamiento de 0-1200°C.
- Un pirómetro medidor de la temperatura.
- Un mecanismo dinámico de botella en cuyo interior se introduce la muestra que va a ser pirolizada.

A continuación se muestran imágenes del equipamiento utilizado.



Figura 2. Mecanismo de pirólisis de cascarón de coco.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos (Tabla. 3) se determinaron las ecuaciones del entorno

experimental y la influencia que ejercen cada uno de las variables estudiadas sobre las variables dependientes o de respuesta, así como las interrelaciones entre estas últimas.

Tabla 3. Resultados de la pirólisis del cascarón de coco.

Número de prueba	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	C.F (%)	M.V (%)	cenizas (%)	rendimiento (%)	resistencia %	espesor mm
1	400	180	74,10	27,77	1,87	33,30	95.86	1.80
2	450	120	75,89	26,12	2,01	31,00	95.20	1.73
3	500	180	79,91	22,22	2,13	29,35	94.90	1.55
4	450	180	77,90	24,14	2,04	30,60	94.92	1.85
5	400	120	73,20	28,14	1,84	33,68	96.36	2.16
6	400	60	65,15	36,01	1,76	35,00	97.42	2.20
7-R	450	120	76,24	25,81	2,06	29,85	95.38	1.85
8	450	60	69,13	29,15	1,94	32,00	96.20	2.10
9	500	60	76,10	26,18	2,28	27,25	97.36	2.00
10 -R	450	120	75,40	26,68	2,08	30,00	95.39	1.77
11	500	120	78,74	23,28	2,12	29,50	96.56	1.70

Donde:

C.F= carbono fijo.

M.V=material volátil

La data experimental se procesó empleando un software versión 15 de Statgraphics centurión y tabulador matemático EXCEL. A todas las variables se les determinó la varianza de la media de cada término de la ecuación y un posterior análisis por Pareto los cuales se muestran en forma de tablas y figuras.

También se realiza un estudio de optimización por variable del entorno experimental puesto que el diseño 3² genera una superficie parabólica. A continuación se presentan los modelos matemáticos obtenidos para cada variable respuesta.

CENIZAS

Tabla 4. Análisis de varianza para la ceniza.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temp	0,187267	1	0,187267	56,58	0,0007
B:tiemp	0,0006	1	0,0006	0,18	0,6880
AA	0,00129754	1	0,00129754	0,39	0,5587
AB	0,0169	1	0,0169	5,11	0,0734
BB	0,000404211	1	0,000404211	0,12	0,7410
Error total	0,0165491	5	0,00330982		
Total (corr.)	0,223564	10			

R-cuadrada = 92,5976 por ciento
 R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 85,1952 por ciento
 Error estándar del est. = 0,0575311
 Error absoluto medio = 0,032488
 Estadístico Durbin-Watson = 1,86122 (P=0,3766)
 Autocorrelación residual de Lag 1 = 0,0605861

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Temp	400,0	500,0	400,0
tiemp	60,0	180,0	60,0

La ecuación del modelo ajustado es:

Valor óptimo = 1,74412

Cenizas = -2,63263 + 0,0142807*Temp

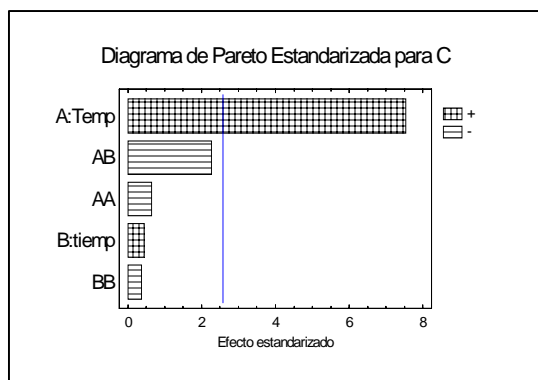


Figura 3. Diagrama de Pareto.

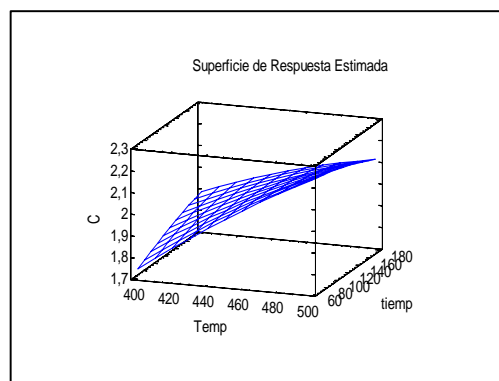


Figura 4. Superficie de respuesta.

RENDIMIENTO

Tabla 5. Análisis de varianza para el rendimiento.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Temp	42,0291	1	42,0291	55,74	0,0007
B:tiemp	0,166667	1	0,166667	0,22	0,6581
AA	0,850667	1	0,850667	1,13	0,3368
AB	3,61	1	3,61	4,79	0,0803
BB	0,212281	1	0,212281	0,28	0,6184
Error total	3,77032	5	0,754064		
Total (corr.)	50,9644	10			

R- cuadrada = 92,602 porciento
 R- cuadrada (ajustada por g.l.) = 85,2041 porciento
 Error estándar del est. = 0,868369
 Error absoluto medio = 0,493684
 Estadístico Durbin-Watson = 1,9362 (P=0,4421)
 Autocorrelación residual de Lag 1 = 0,0236483

La ecuación del modelo ajustado es:

Rendimiento = 119,923 - 0,299544*Temp
Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Rendimiento
 Valor óptimo = 35,2065

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temp	400,0	500,0	400,0
tiemp	60,0	180,0	60,0

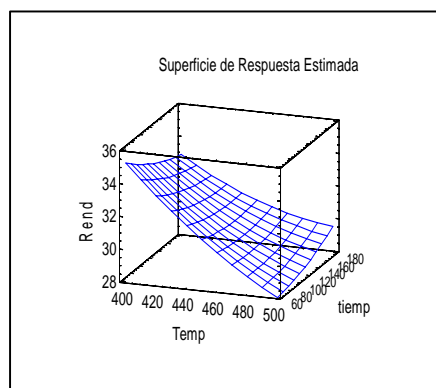
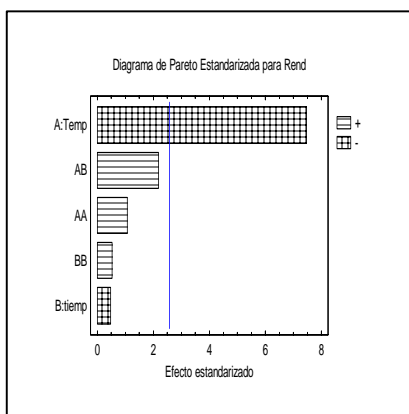


Figura 5. Diagrama de Pareto

Figura 6. Superficie de respuesta.

CARBONO FIJO.

Tabla 6. Análisis de varianza para el carbono fijo.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temp	82,8817	1	82,8817	83,42	0,0003
B:tiemp	77,2568	1	77,2568	77,76	0,0003
AA	0,120278	1	0,120278	0,12	0,7421
AB	6,6049	1	6,6049	6,65	0,0495
BB	12,6784	1	12,6784	12,76	0,0160
Error total	4,96761	5	0,993522		
Total (corr.)	184,78	10			

R-cuadrada = 97,3116 porciento
 R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 94, 6232 porciento
 Error estándar del est. = 0,996756
 Error absoluto medio = 0,573014
 Estadístico Durbin-Watson = 3,09003 (P=0,9962)
 Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,601474

La ecuación del modelo ajustado es:

$$Cf = 20,7512 + 0,0472912*Temp + 0,401696*tiempo - 0,000621418*tiempo^2$$

Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Carbono fijo

Valor óptimo = 80,3343

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temp	400,0	500,0	500,0
tiemp	60,0	180,0	150,871

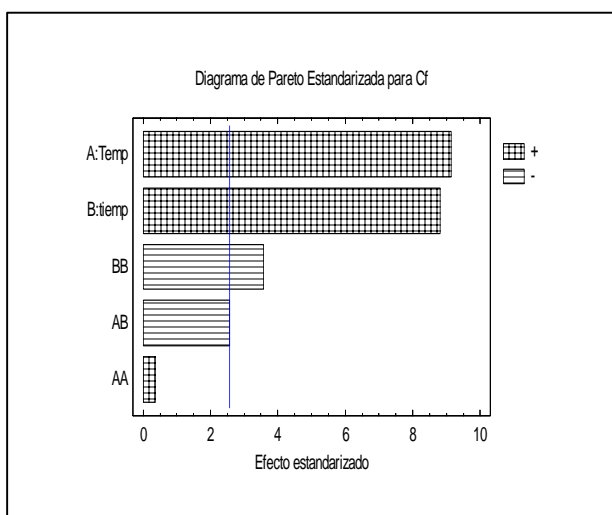


Figura 7. Diagrama de Pareto.

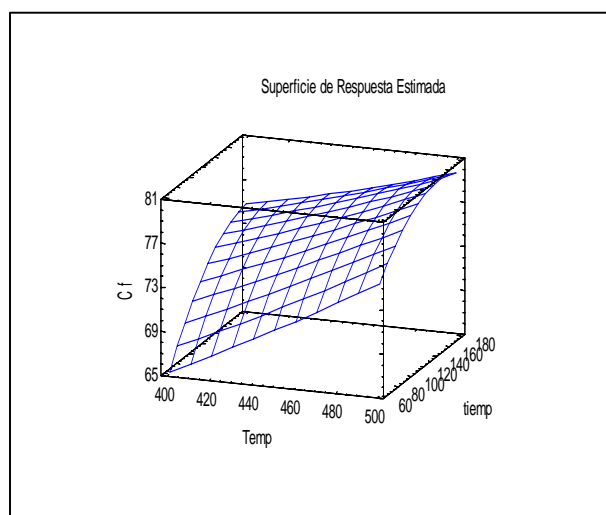


Figura 8. Superficie de respuesta.

MATERIAL VOLATIL

Tabla 7. Análisis de Varianza para el material volátil

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temp	68,8848	1	68,8848	58,46	0,0006
B:tiemp	49,8817	1	49,8817	42,33	0,0013
AA	0,671903	1	0,671903	0,57	0,4842
AB	4,77423	1	4,77423	4,05	0,1003
BB	5,32633	1	5,32633	4,52	0,0868
Error total	5,89164	5	1,17833		
Total (corr.)	136,976	10			

R-cuadrada = 95,6988 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 91,3976 porciento

Error estándar del est. = 1,08551

Error absoluto medio = 0,570758

Estadístico Durbin-Watson = 1,39057 (P=0,0798)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0,288997

La ecuación del modelo ajustado es:

$$MV = 129,242 - 0,296867*Temp - 0,308597*tiempo$$

Optimizar Respuesta

Meta: maximizar material volátil.

Valor óptimo = 35,1292

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temp	400,0	500,0	400,0
tiemp	60,0	180,0	60,0

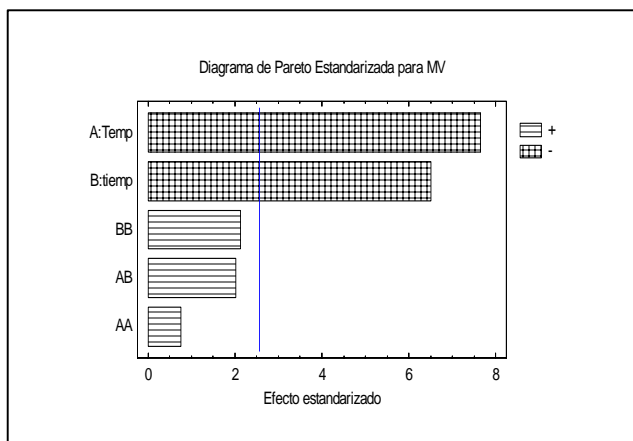


Figura 9. Diagrama de Pareto.

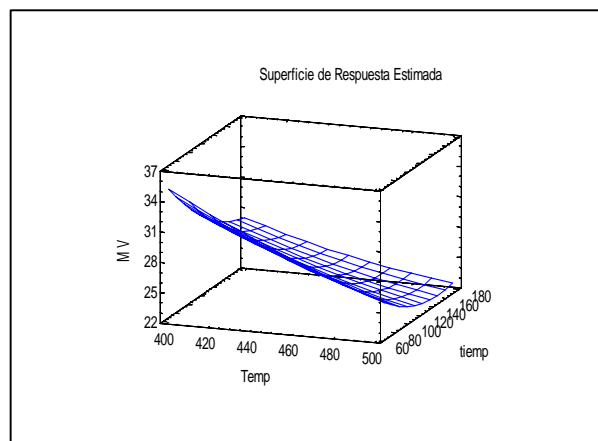


Figura 10. Superficie de respuesta

Resistencia

Tabla 8. Análisis de Varianza para Resistencia

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temp	0,112067	1	0,112067	1,30	0,3053
B:tiempo	4,68167	1	4,68167	54,45	0,0007
AA	2,39656	1	2,39656	27,87	0,0032
AB	0,2025	1	0,2025	2,36	0,1854
BB	0,0133642	1	0,0133642	0,16	0,7096
Error total	0,429882	5	0,0859765		
Total (corr.)	8,12329	10			

R-cuadrada = 94,708 por ciento

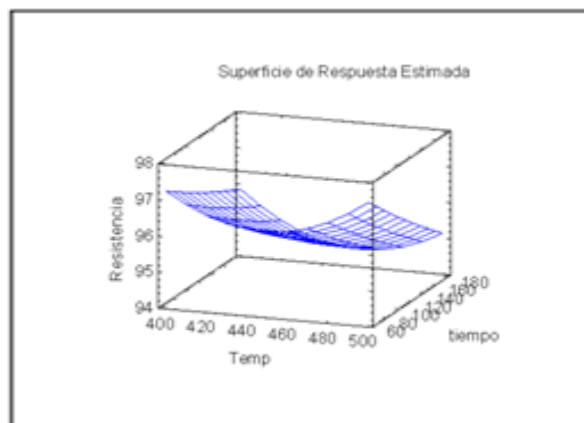
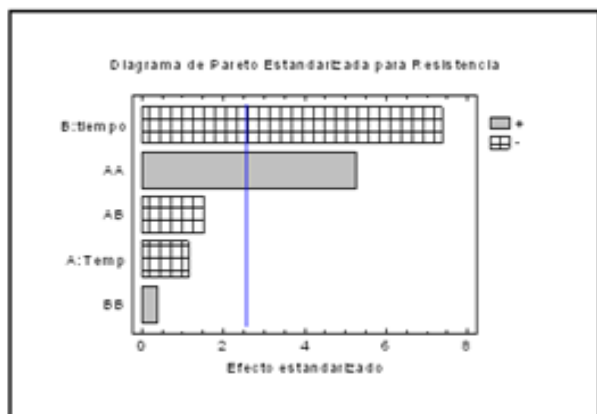
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 89,4161 por ciento

Error estándar del est. = 0,293217

Error absoluto medio = 0,157943

La ecuación del modelo ajustado es

Resistencia = 173,409 + 0,0141857*tiempo + 0,000389053*Temp^2



**Figura 11. Diagrama de Pareto estandarizada para resistencia y
Figura 12. Superficie de respuesta Estimada**

En el proceso de pirólisis, los factores que se analizaron como condición principal de un carbón primario para la obtención de un carbón activado fueron los siguientes:

Carbono fijo, material volátil, cenizas, resistencia y el espesor del material.

De los resultados obtenidos podemos decir que las variables estudiadas (temperatura y tiempo) ejercen un efecto significativo sobre algunos de los índices evaluativos empleados. En el rango de temperaturas estudiado (400-500°C) es evidente que los incrementos de ésta favorecen un aumento del carbono fijo (aumenta la eliminación de material volátil), así como una disminución del rendimiento y el espesor del carbón primario, al igual que ocurre con el aumento del tiempo de residencia en un intervalo de 60 a 180 minutos.

Entre los parámetros más importantes que determinaron la calidad y el rendimiento del producto carbonizado son la velocidad de calentamiento, temperatura, tiempo de residencia a la temperatura final, y la naturaleza y estado físico de la materia prima.

Una baja velocidad de calentamiento durante la pirólisis da como resultado una menor volatilización y un mayor rendimiento de carbón (Granadillo, 1998) (Cooney, 1995) debido al incremento de la deshidratación y una mejor estabilización de los componentes poliméricos.

La elección de la temperatura y tiempo de residencia es un factor a considerar, pues si importante es la resistencia, influenciada por el espesor del material, la presencia de otros elementos como el carbono fijo, material volátil y cenizas también dependen de estas variables, lo que establece un serio compromiso de selección de los parámetros fundamentales que rigen el proceso de carbonización para obtener un producto que cumpla con los requerimientos de calidad establecidos para la producción de carbón activado aplicado en la metalurgia

En la Figura 13. Es posible observar el comportamiento del espesor del material contra la influencia de la temperatura y el tiempo de residencia.

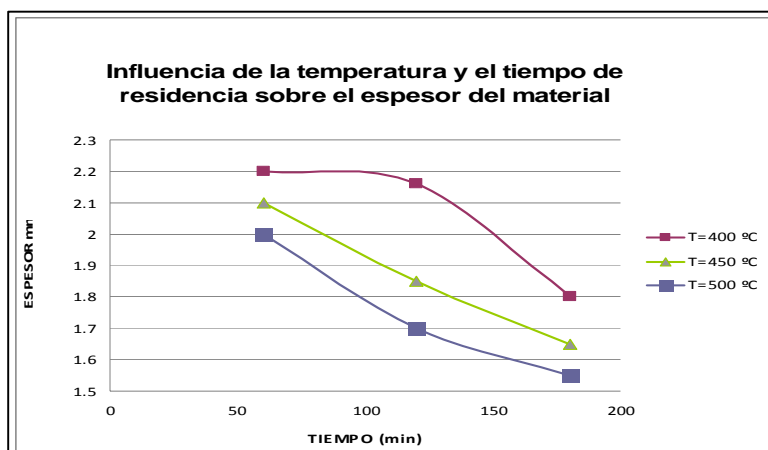


Figura 13. Influencia de la temperatura y el tiempo de residencia sobre el espesor del material.

De la misma se puede inferir que en la medida que aumenta la temperatura y el tiempo, el espesor del material va disminuyendo, lo que es fácil predecir que a las temperaturas y tiempos mas bajos se obtienen los valores mas altos con respecto al espesor del material lo cual constituye un criterio importante en la selección del precursor y su resistencia, para la producción de carbones activados con fines metalúrgicos.

CONCLUSIONES

1. El espesor del material de partida y del carbonizado a las diferentes temperaturas y tiempos de residencias constituyen un criterio importante para la selección del precursor a utilizar en la producción de carbones activados con fines metalúrgicos.
2. Los modelos matemáticos estadísticos obtenidos para cada una de las variables dependientes estudiadas carbono fijo, material volátil, rendimiento y cenizas corroboran la influencia de la temperatura y el tiempo de residencia en las características del material carbonizado. Los modelos matemáticos estadísticos obtenidos para cada una de ellas fueron los siguientes.

Cenizas = -2,63263 + 0,0142807*Temp

Rendimiento = 119,923 - 0,299544*Temp

Carbono Fijo = 20,7512+0,0472912*Temp + 0,401696*tiempo - 0,000621418*tiempo^2

Material Volátil = 129,242 - 0,296867*Temp - 0,308597*tiempo.

Resistencia = 173,409 + 0,0141857*tiempo + 0,000389053*Temp^2

3. La elección de la temperatura y tiempo de residencia es un factor a considerar, pues si importante es la resistencia, influenciada por el espesor del material, la presencia de otros elementos como el carbono fijo, material volátil y cenizas también dependen de estas variables, lo que establece un serio compromiso de selección de los parámetros fundamentales que rigen el proceso de carbonización para obtener un producto que cumpla con los requerimientos de calidad establecidos para la producción de carbón activado aplicado en la metalurgia.
4. El carbón primario seleccionado de acuerdo a los criterios expuestos como precursor fue

No. de Prueba	TEMP. (°C)	TIEMPO (min)	C.F (%)	M.V (%)	CENIZAS (%)	REND. (%)	ESPESOR mm
9	500	60	76,10	26,18	2,28	27,25	2,00

BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, Álvarez, A. 1988.El diseño experimental en las investigaciones químicas. Ciudad de la Habana
- Castillo, C. y Colaboradores.1991.Obtención de carbón activado a partir de residuos maderables de importación.
- Castillo, C. y Colaboradores.1991.Obtención de carbón activado a partir de conchas de coco y palma de la República de Ghana, La Habana.
- Cooney, David O. 1995.Activated Charcoal in Medical Applications
- Chand Bansal, R. and Donnet, Jean-Baptiste.1988. Active Carbon Chapter 1, 1-2
- European Council of Chemical Manufactures Federations (CEFIC).1986. Test methods for activated carbon. April, 1986
- FAO. Estudio FAO: Montes, Métodos simples para fabricar carbón vegetal.
- Granadillo Correa Marín. 1998. Estudio de Mercado Biomundi. La Habana,
- Mackay, D. M. and Roberts, P. V.1982. Carbon, 20: 95
- ONU.1983.Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma 8 y 9
- ONU. 1985. Industrial charcoal making. Food and agriculture organization of the United Nations.
- Robau, A; García. 1991. Obtención de carbón activado a partir de conchas de coco de la zona de Baracoa, provincia de Guantánamo, La Habana.
- Roskill.1992.
- Smisek and Cerny. Active Carbon, manufacture, properties and applications
- Wigmans T. Aspectos industriales de la producción y uso de los carbones activados, Carbón, Vol. 27 No.1.