

Activación de carbón mineral antracita

Activation of mineral anthracite carbon



¹Isora M. Arcia Rivero^{1,*}, Aramís Fernández Rodríguez¹,

<https://eqrcode.co/a/jGrBBO>

²Lierli Oconnor Montero²

RESUMEN: El presente trabajo centra su objetivo en la obtención de Carbón Activado a partir de Carbón Mineral antracita. Como resultado del rechazo generado por su uso en las plantas metalúrgicas de Moa y Nicaro, existe en nuestro país un nivel de reserva de este material, el que es procesable por su alto contenido de carbono y estructura porosa para la producción de un carbón activado metalúrgico. Además esta producción constituye una solución a un problema ambiental. Para el proceso de obtención se han utilizado las metodologías de oxidación térmica y gasificación parcial de los carbones con variables de respuestas índice de yodo, rendimiento y área superficial, que determinan su aplicación industrial en dependencia del tiempo y la temperatura. Los resultados han permitido comparar los carbones activados obtenidos con carbones comerciales típicos reportados por la literatura mundial.

Palabras clave: Carbón antracita, activación, Preoxidación.

ABSTRACT: The present work centers its objective in the obtainment of activated coal from anthracite. There is a reserve level in our country as a result of the residue generated by its use in the metallurgical plants of Moa and Nicaro and that can be processed because of its high coal content and porous structure for the production of a metallurgical activated coal. This production constitutes a solution to an environmental problem; for the process of obtainment, the methodologies of thermal oxidation and partial gasification of the coals have been used for response variables of iodine index, yield and surface area, which determine their industrial application depending on time and temperature. The results have allowed to compare the activated coals obtained with typical commercial coals reported by the world literature.

Key words: coal anthracite, activation, preoxidation.

INTRODUCCIÓN

El carbón activado, en sus diferentes formas, juega un papel importante en muchas industrias. La mayoría de los carbones activados industriales son producidos a partir de materiales carbonáceos que se obtienen de la naturaleza, tales como la turba y la madera, mediante procesos térmicos. En general, los carbones activos se obtienen como un residuo sólido, después de eliminar los componentes volátiles de un material carbonoso. Generalmente la estructura carbonácea de los materiales de partida es solo ligeramente porosa.

Una vez aplicado un procedimiento adecuado de activación, se obtiene un producto que se denomina carbón activado, lo que denota un material con una estructura de poros interna accesible y bien desarrollada.

En el campo de la industria metalúrgica en particular, la cuestión de la sostenibilidad ambiental de diversos procesos, así como las cada vez más exigentes normas que regulan las buenas prácticas de producción, demandan soluciones a problemas con los que ha convivido durante mucho tiempo y que ya no son tolerables.

Recibido: 21/10/2019

Aprobado en su forma original: 11/07/2020

¹Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM). La Habana. Cuba.

²Departamento de Ingeniería en Metalurgia y materiales. Universidad tecnológica de la Habana José A. Echeverría. Marianao. La Habana. Cuba.

*Autor para correspondencia: *Mailene Dumenigo Rodríguez*. E-mail: isora@cipimm.minem.cu

La tendencia mundial a la eliminación de todo tipo de residuales tóxicos incluye, dentro de los gases más comunes y nocivos, al NH_3 y al H_2S . Diversas mejoras tecnológicas han sido realizadas a los procesos que generan estos gases, pero al no ser suficientes, se ha tenido que recurrir al tratamiento de estos como residuales. El carbón activado ha probado ser un adsorbente por excelencia, fácil de manipular y de gran efectividad, y su empleo para el tratamiento de gases es ampliamente conocido y de una gran actualidad. (León & Elard, 2006)

Actualmente el carbón activado puede ser producido a partir de cualquier material rico en carbono, pero sus propiedades estarán muy influenciadas por la naturaleza de la materia prima con que es producido y por la calidad del proceso de activación. Entre las principales fuentes se destacan carbón mineral, cascarón del coco y madera. La selección del material, el cual se utilizará para la obtención del producto final dependerá de un grupo de factores que deben de ser tenidos en cuenta, como son la disponibilidad y costo de la materia prima, tecnología disponible con aplicación y demanda en el mercado de un determinado tipo de carbón activado.

En relación a las materias primas más ampliamente utilizadas se conoce que el contenido de carbón en estos materiales varía entre 40 % y 90 %. El contenido de carbón, como se sabe, es una propiedad de mucho interés para concebir y programar la activación de un cierto carbón y en el caso específico del carbón antracita se disfruta de la propiedad de tener alto contenido de carbón (Aja & Fernández, 2014). En el estudio, acerca del proceso de activación se ha encontrado que existen autores que emplean la pirólisis o carbonización y que hay autores que utilizan un tratamiento térmico oxidante con aire con el propósito de romper la estructura compacta produciéndose un proceso de formación de poros. En este proceso de oxidación térmica se produce un importante cambio de las propiedades del material. (Serrano, 1994)

Con respecto a la pirólisis de manera general se conoce que consiste en la descomposición térmica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno u otros agentes gasificantes, generándose cantidades variables de gases (gas de síntesis),

líquidos (alquitranes y aceites) y residuo carbonoso o "char". El rango de temperaturas empleados oscila entre 150°C y 900°C . Relativo a la oxidación, de interés en el presente trabajo, los autores han identificado referencias importantes reportadas en la literatura y aplicadas en este trabajo.

El proceso de preoxidación es llevado a cabo generalmente en aquellos carbones que presentan propiedades plásticas, es decir de hinchamiento como el carbón de coque o semicoque. La oxidación del carbón puede eliminar estas propiedades, inhibiendo la formación de estructuras anisotrópicas, además, genera una base para la formación de una estructura porosa primaria que se puede desarrollar aún más después de la carbonización y la activación, y que depende del tiempo y la temperatura de oxidación. (López, 2013).

Esta oxidación se puede realizar con ácidos para promover una modificación química que incrementa la reactividad de la superficie externa del carbón y permita la facilidad de acceso a su superficie interna. Con la realización de este pre-tratamiento se logra impartir hidrofiliidad a la superficie del carbón y gran capacidad selectiva de intercambiar iones. (Estupiñán et al., 2006).

Por otra parte, el Carbón Activado puede ser obtenido por dos vías fundamentales activación: Física (gasificación parcial) y activación Química (deshidratación con ácidos y bases). Ambos procesos requieren del uso de energía y de temperaturas elevadas, siendo menores en el caso de la activación química ($400 - 800^\circ\text{C}$).

El método de Activación Física se efectúa en dos etapas: en la primera de ellas, denominada carbonización o pirólisis, se obtiene el carbonizado por descomposición térmica de la materia prima. En la segunda etapa, denominada activación, el carbón es sometido a la acción de gases activantes, tales como vapor de agua, dióxido de carbono, aire, etc. Este proceso se efectúa a temperaturas que varían desde 800 hasta 1000°C y como resultado del mismo se obtiene un producto de estructura porosa muy desarrollada, con un área superficial que puede llegar hasta los $2000 \text{ m}^2/\text{g}$, con elevadas propiedades de adsorción, que constituyen la base de su amplia y variada aplicación industrial.

(Marcela & López, 2013). En el presente trabajo se aplica la activación física.

MATERIALES Y MÉTODOS

En las pruebas realizadas en la presente investigación para el estudio del proceso de activación, se empleó como materia prima, carbón mineral de antracita, procedente de la planta “Che Guevara de Moa”. Se recibieron, alrededor de 4,5 (kg) de antracita.

Equipamiento

Las pruebas correspondientes al proceso de oxidación térmica y activación se realizaron con los equipos siguientes:

- Una mufla Marca Carbolite con control programable de la temperatura con un rango de calentamiento de 0 -1200 (°C).
- Una bomba peristáltica Watson-Marlow de flujo volumétrico regulable.
- Un pirómetro medidor de la temperatura.
- Un termopar de Cr- Alumel conectado a un pirómetro adecuado lo que permite conocer la temperatura de la prueba y poder controlar la misma a través del horno de calentamiento.
- Un horno tipo botella. Bombas peristálticas y rotámetros.



Figura 1. Muestra del equipamiento empleado

Metodología de las pruebas: Etapa de oxidación térmica

La cantidad de material utilizada en cada prueba fue de 100 g y la granulometría es (-5+2 mm). Se seleccionó teniendo en cuenta el volumen efectivo de trabajo disponible en la botella, garantizando de esta forma un proceso de oxidación. Las pruebas se realizaron de la forma siguiente:

1. Se carga la botella en presencia de nitrógeno (flujo de N_2 1.5 l/min). Se pone a calentar el horno a razón de 10 (°C/min) hasta alcanzar una temperatura de 500 (°C), se controla cada 10 (min) el valor de la temperatura en el horno y la botella.
2. Una vez alcanzada la temperatura se suministra el flujo de aire y a partir de este valor se mantiene constante durante 3 horas en presencia de nitrógeno y concluido este tiempo se pone a enfriar el horno hasta temperatura ambiente.
3. Se realiza un blanco y después debe realizarse las pruebas diseñadas.

Una vez terminadas las pruebas se realiza la caracterización de cada uno de los materiales oxidados, mediante porosimetría de mercurio.

Etapa de activación

La cantidad de carbón oxidado de antracita utilizado en cada prueba fue seleccionada teniendo en cuenta que la cantidad de carbón activado que se obtuviera fuera suficiente para poder realizar los análisis necesarios, así como para asegurar que los flujos de nitrógeno y agua empleados estuvieran dentro del rango de volumen de trabajo de la botella, permitiendo operar sin cambios bruscos en las variables del proceso. Las pruebas se realizan de la forma siguiente:

1. Se introduce el material en la botella, a la cual después de cerrada se le hace pasar una corriente de nitrógeno y se coloca en el interior de la mufla.
2. Se programa la mufla a la temperatura y tiempo de retención establecidos manteniendo un pequeño suministro de nitrógeno. Una vez alcanzada esta temperatura se inicia la alimentación de los flujos de vapor de agua, requeridos para el tiempo de residencia correspondiente retirando el flujo de nitrógeno
3. Transcurrido el tiempo de retención, se cierra el suministro de vapor y se hace pasar el flujo de nitrógeno (valor mínimo) con la finalidad de controlar la atmósfera durante el proceso de enfriamiento, hasta una temperatura menor de 100 (°C).

4. Se descargaba el material carbonizado en la botella y se limpia mediante un imán para eliminar las partículas de hierro, (procedentes de la botella), que pudieran haberlo contaminado.
5. Se pesa, de acuerdo a las normas internacionales para la práctica de los ensayos correspondientes. El rendimiento se calcula partir del peso del material activado final.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la materia prima a utilizar

La materia prima se procesó por molienda en molinos de rodillos y se tamizó hasta obtener una granulometría (-5+2 mm). En la [Tabla 1](#) se muestra el análisis granulométrico de la muestra obtenida.

Tabla 1. Análisis Granulométrico de la muestra obtenida

Abertura (mm)	Peso (g)	Peso (%)
-5.0 + 4.0	25.0	25.00
-4.0 + 3,335	26.26	26.26
-3,33+2,00	39.9	39.99
-2,00+1,00	6.78	6.78
-1.00	2.00	2.00
Total	99.94	100

La muestra clasificada se homogenizó y cuarteó hasta obtenerse la granulometría (-5+2mm), desechando la que estuviera por debajo de (-2mm). Se toma una muestra representativa de 100g, para molerse por debajo de (1mm) y se toma una muestra representativa 20 g por debajo de 325 mallas, de la que se hace una caracterización de carbones. Se realiza el

análisis de carbono fijo, materia volátil, cenizas y densidad aparente según las normas internacionales de la CEFIC o ASTM, así como análisis de difracción de rayos X. En la [tabla 2](#) aparecen las características de la muestra típica de la antracita recibida.

Los análisis se realizaron según las normas [ISO 562-981](#), ASTM 2866-70, ASTM 2867-70 en ([Castellar Ortega, et al., 2019](#)). Los resultados de la muestra inicial se muestran en la [tabla 2](#) ([Manual de procedimientos, 2002](#)). Después del análisis granulométrico del Carbón mineral de Antracita según las fracciones se realizaron los análisis de carbono fijo, materia volátil, cenizas. Se muestran en la [tabla 3](#) los resultados obtenidos.

Análisis difracción de rayos x (drx)

Este análisis cualitativo permitió la caracterización del material y la estructura de carbono que está presente, además de determinar que la forma del carbono se aproxima a la estructura gráfica. La medición se realizó por el método de polvo y mediante equipo Philips modelo PW - 1710 con radiación de la línea $K\alpha$ del Fe ($\lambda = 1.9364 \text{ \AA}$). Se barrió un intervalo angular de $60^\circ < 2\theta < 80^\circ$. El patrón de difracción se obtuvo según la variante de medición punto a punto; paso angular de $0,05^\circ (2\theta)$, a un tiempo de medición en cada posición angular de 3 segundos.

Los resultados numéricos de intensidades relativas y ángulos de difracción se convirtieron en un difractograma continuo con el empleo del programa "Origin7.0". Las distancias interplanares se determinaron con el programa Ttod para PC. El análisis cualitativo de fases se realizó con la utilización de la base de datos

Tabla 2. Caracterización de la muestra

C. Fijo (%)	M. Volátil (%)	Cenizas (%)	D. Aparente (g/cm ³)
83.57	10.87	5.56	0.83

Tabla 3. Análisis por fracción granulométrica

Fracción (mm)	Volátil (%)	Cenizas (%)	C. Fijo (%)
-5+4.0	10.75	4.7	84.55
-4+3.35	11.11	4.38	84.51
-3.35+2.0	7.69	5.31	87

PCPDFWIN; versión 1.30, JCPDS-ICDD / 2002, compatible con Windows 98 para Office 2000.

En el patrón de difracción se puede observar el principal máximo de difracción 35-36° correspondiente a la familia de planos (002), el análisis del mismo señala que la muestra es compatible con una estructura en la que predomina el orden cristalino de corto alcance (sólidos amorfo), típico de una antracita. Por otra parte, se corrobora de que se trata de un material no grafitizable, su principal reflexión (002) presenta valor de distancia interplanar mayor de 3.36 Å (máximo principal del grafito), este límite permite clasificar esta muestra tipo carbón con alto grado de desorden cristalino (Roubin, P. y otros, 2005). El resultado se muestra en la [figura 2](#).

Resultados de la etapa de oxidación de las muestras

La materia prima utilizada (carbón antracita) y de acuerdo con trabajos realizados anteriormente mostrados en la formalización del estado del arte y en el estudio diagnóstico, se seleccionaron los valores de temperatura y tiempo, para tratar de conformar una estructura porosa primaria que permita iniciar favorablemente el proceso de activación al que va a ser sometida tal materia prima. Las condiciones seleccionadas para la oxidación fueron las siguientes: Temperatura 500 (° C); Tiempo 180 (min) y Granulometría -5 + 2mm.

Una vez concluida la oxidación hasta tener un compuesto total de la muestra de 1,4 kg de carbón antracita oxidada, este se homogenizó y cuarteó sacando una muestra representativa para determinar carbono fijo, materia volátil y ceniza. El carbón obtenido en esta etapa muestra un rendimiento promedio de un 83,3 %, con una composición de: Carbón fijo 80.93%, materia volátil 6.78 % y cenizas 5.29 %.

Se analiza en el equipo de porosimetría de mercurio la muestra de carbón antracita oxidada para comprobar los resultados de la porosidad obtenida y se observa comportamiento de la muestra con estructura mesoporosa.

Mediante el modelo BET, en la [tabla 4](#) se observa un incremento del área superficial de 730.119 m²/g (P-7), 647.236 m²/g (P-1) y 629.087 m²/g (P-2) encontrándose dentro del rango de los carbones comerciales. Además, se observa que el área estuvo muy cerca a la calculada mediante el índice de yodo el cual constituye una aproximación de la misma. (Arcia Rivero, 2015). Estas muestras resultan de interés en el sentido de ser comparadas con carbones comerciales, los resultados de esta comparación se presentan en la siguiente [tabla 5](#).

Caracterización de los productos obtenidos por la aplicación de isoterms de BET para determinar área superficial interna y distribución de tamaño de poros

A continuación se muestran las isoterms de las muestras activadas.

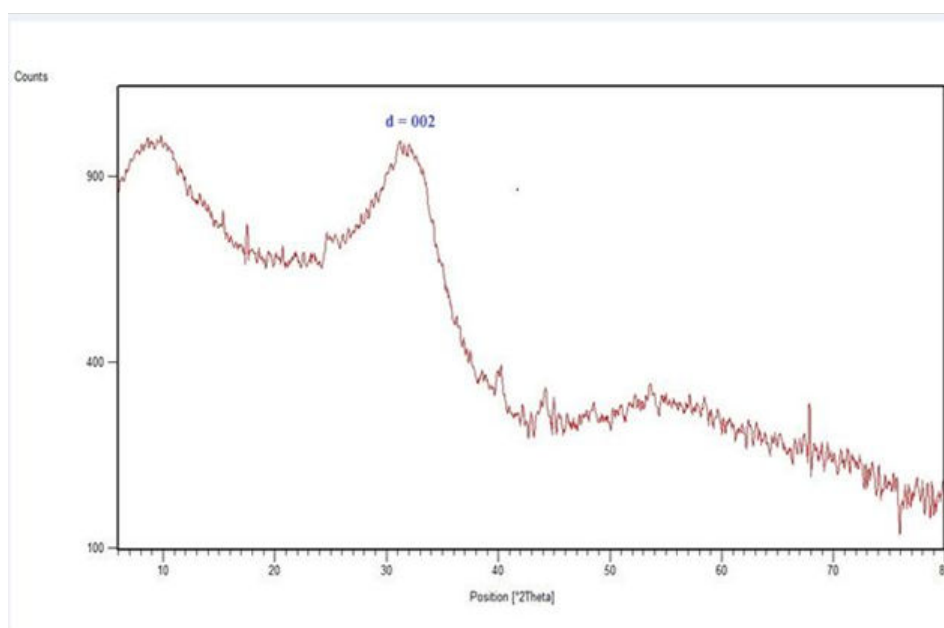


Figura 2. Difracción de rayos X a muestra de carbón antracita.

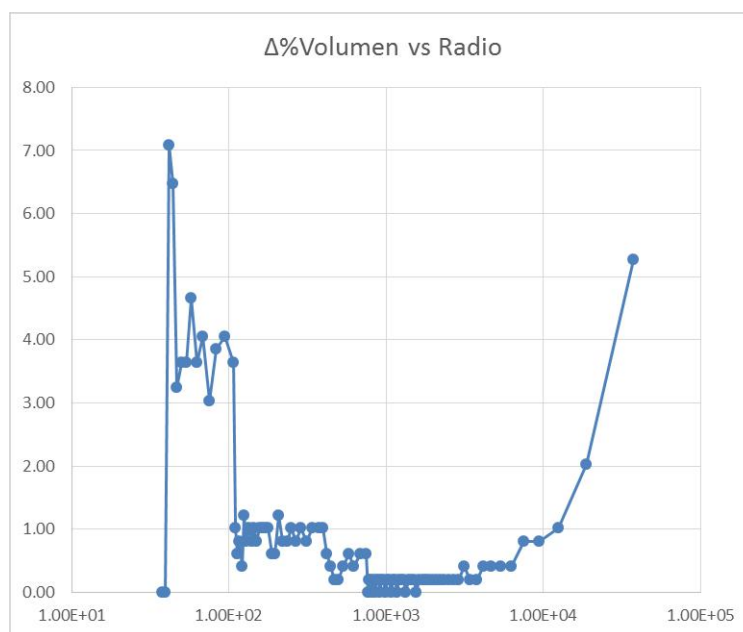


Figura 3. Porosimetría de mercurio del carbón de antracita oxidado

Tabla 4. Resultados obtenidos después de activar las muestras

Pruebas No.	Temp. (°C)	Tiempo (min)	Rend. (%)	Índice Iodo (mg/g)	Área superficial (m ² /g)	Volumen total Poros (cm ³ /g)
1	920	360	37.7	584.213	647.236	0.328
2	920	480	20.5	646.433	629.087	0.340
3	940	360	31.2	505.437	587.045	0.303
4	940	480	11.5	584.213	602.215	0.349
5	960	360	21.4	424.475	298.493	0.166
6	960	480	5.50	100.00	119.862	0.072
7	920	420	22.6	568.579	730.119	0.383
8	940	420	19.60	452.533	438.803	0.246
9	960	420	11.2	270.00	373.319	0.217
10	940	420	14.6	458.438	615.854	0.352
11	940	420	18.76	475.039	524.615	0.302

Tabla 5. Comparación de los carbones activados obtenidos con carbones comerciales

Resultados	P-1	P-2	P-7	Rangos típicos de carbones comerciales
Área superficial de BET(m ² /g)	647.236	629.087	730.119	500-1200
Volumen de poros (cm ³ /g)	0.328	0.340	0.383	0.2-1.0

Las pruebas (P-5; P-6; P-9) se realizaron a temperatura de 960 °C en tiempos de 360,480 y 420 minutos, las isotermas demuestran que en esas condiciones experimentales, da muy baja el área superficial (298.493 m²/g, 119.862 m²/g, 373.319 m²/g). En las pruebas (P-3, P-4 y P-8), realizadas a temperatura de 940 °C en tiempos de 360,480, 420 min, las isotermas nos muestran que las respectivas áreas superficiales son

(587.045 m²/g, 602.215 m²/g y 438.803 m²/g) y aun no alcanzan altos valores. Se aprecia la irregularidad de que el área superficial en la muestra P-3 alcanzó en 360 minutos una superficie de 587 m²/g para decrecer en la prueba P-8 de 420 minutos a la cifra de 438 m²/g y volver a crecer en P-4 a la cifra, ya apreciable, de 602 m²/g.

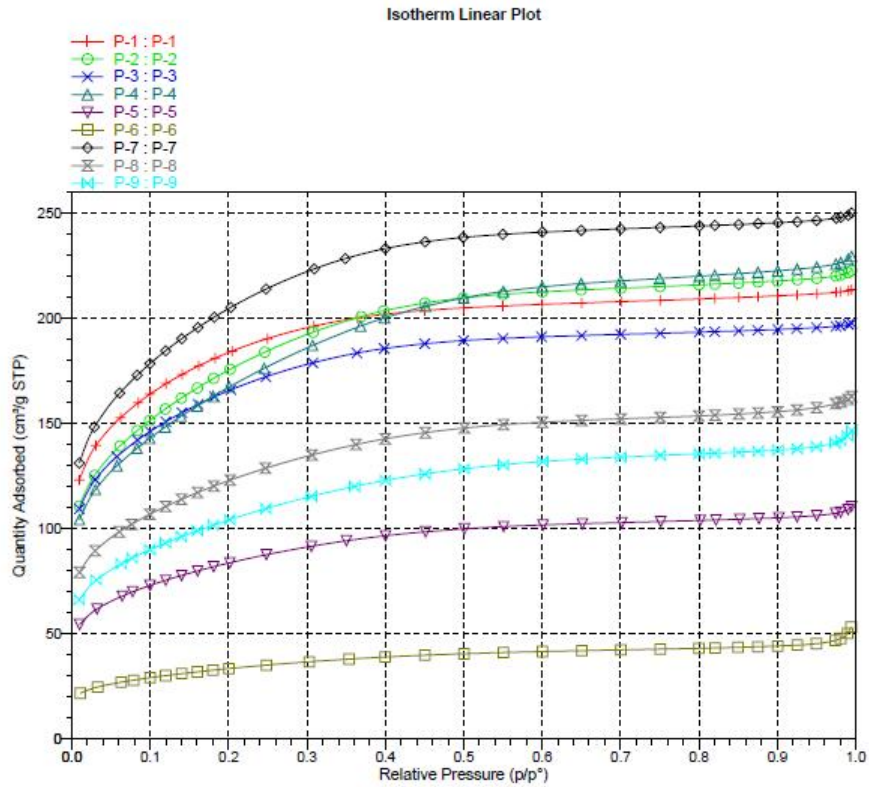


Figura 4. Isotermas de absorción.

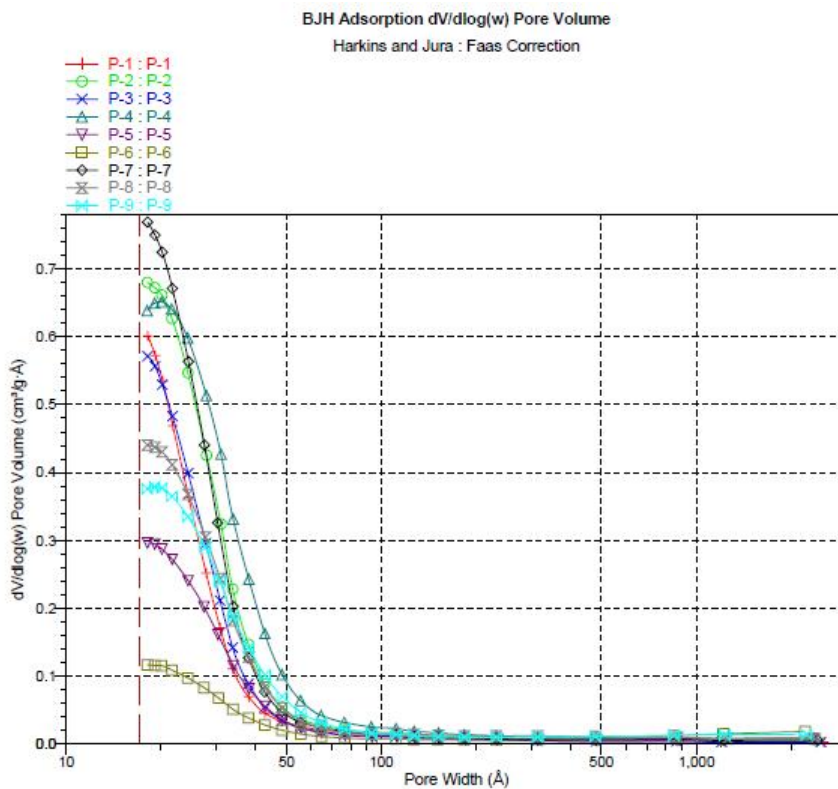


Figura 5. Distribución de tamaño de poros

En las pruebas (P-1, P-2 y P-7), realizadas a temperatura de 920 °C en tiempos distintos de 360, 480, 420 min, se obtienen isothermas del tipo I que presentan característica de material microporoso, el cual a bajas presiones relativas sufre una abrupta adsorción de nitrógeno. Muestran que las respectivas áreas superficiales son (647.236 m²/g, 629.087 m²/g y 730.119 m²/g), y demuestran que se obtuvieron superficies de carbones microporosos. (Arcia, 2015)

En la figura se aprecia que en relación al tamaño de poro el resultado es menor de 20 angstroms.

Se presentan a continuación las evaluaciones en tablas y gráficos, y modelos matemáticos procesados mediante el sistema Statgraphics Centurion, información elaborada desde el diseño de experimento concebido 3² y con referencias a las tres variables de salida: rendimiento de activación, índice de iodo y área superficial.

Rendimiento de activación

Tabla 6. Efectos estimados para rendimiento de activación (%)

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	17,5105	1,12287	
A:temperatura	-14,2333	1,78721	1,0
B:tiempo	-17,6	1,78721	1,0
AA	-0,792632	2,75046	1,07656
AB	0,65	2,18888	1,0
BB	8,10737	2,75046	1,07656

Tabla 7. Análisis de Varianza para Rendimiento de activación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:temperatura	303,882	1	303,882	63,42	0,0005
B:tiempo	464,64	1	464,64	96,98	0,0002
AA	0,397901	1	0,397901	0,08	0,7848
AB	0,4225	1	0,4225	0,09	0,7784
BB	41,6286	1	41,6286	8,69	0,0320
Error total	23,956	5	4,7912		
Total (corr.)	835,807	10			

La ecuación del modelo ajustado es: Rendimiento = 606.887 - 0.355833*temp - 1.06787*tiempo + 0.00109667*tiempo²

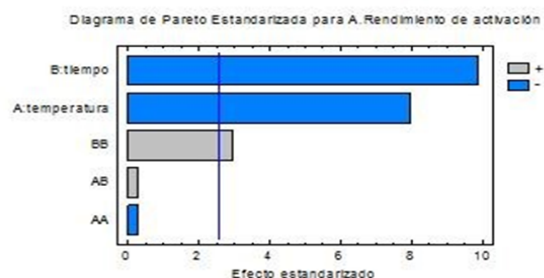


Figura 6. Diagrama de Pareto para Rendimiento de activación.

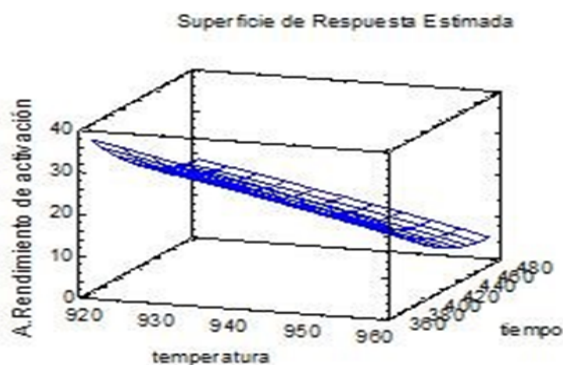


Figura 7. Superficie de respuesta.

Índice de Iodo

Tabla 8. Efectos estimados para Índice de Iodo (mg/g)

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	475,336	31,1885	
A:temperatura	-334,913	49,641	1,0
B:tiempo	-61,1633	49,641	1,0
AA	-152,092	76,3958	1,07656
AB	-193,35	60,7975	1,0
BB	98,9784	76,3958	1,07656

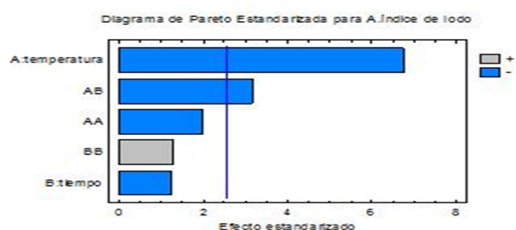


Figura 8. Diagrama de Pareto para Índice de Iodo.

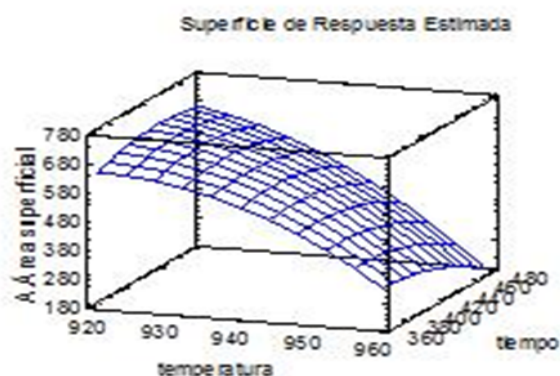


Figura 11. Superficie de respuesta.

Para las variables independientes consideradas (temperatura y tiempo) se obtiene que ejercen efectos significativos sobre las variables estudiadas, mayor que sus interacciones, y sus influencias específicas reportadas con el procesamiento estadístico se sintetizan en las tablas, gráficos y modelos obtenidos.

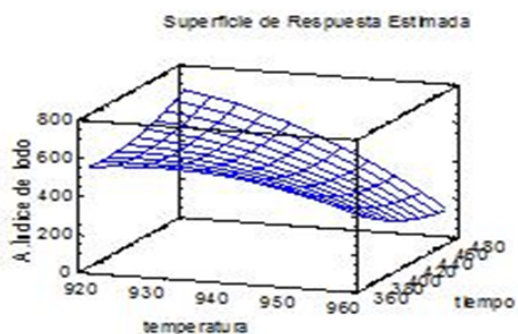


Figura 9. Superficie de respuesta.

Área superficial

Tabla 10. Efectos estimados para Área superficial (m²/g)

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
Promedio	567,739	49,2269	
A:temperatura	-404,927	78,3517	1,0
B:tiempo	-60,5367	78,3517	1,0
AA	-155,995	120,581	1,07656
AB	-80,24	95,9608	1,0
BB	-70,1647	120,581	1,07656

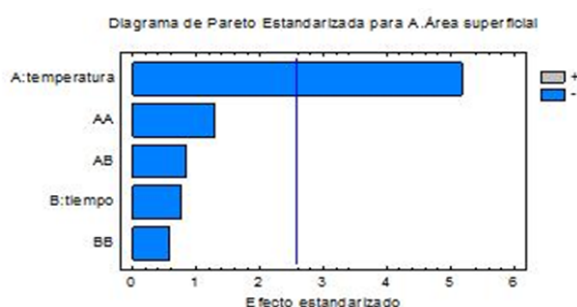


Figura 10. Diagrama de Pareto para área superficial.

Tabla 9. Análisis de Varianza para Índice de Iodo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:temperatura	168250,	1	168250,	45,52	0,0011
B:tiempo	5611,43	1	5611,43	1,52	0,2727
AA	14650,2	1	14650,2	3,96	0,1031
AB	37384,2	1	37384,2	10,11	0,0245
BB	6204,59	1	6204,59	1,68	0,2517
Error total	18481,7	5	3696,34		
Total (corr.)	246705,	10			

La ecuación del modelo ajustado es: Índice de Iodo = -23474.3 + 25.4629*temp - 0.0805615*temp*tiempo

Tabla 11. Análisis de Varianza para Área superficial

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:temperatura	245948,	1	245948,	26,71	0,0036
B:tiempo	5497,03	1	5497,03	0,60	0,4747
AA	15411,8	1	15411,8	1,67	0,2523
AB	6438,46	1	6438,46	0,70	0,4412
BB	3117,96	1	3117,96	0,34	0,5859
Error total	46042,4	5	9208,48		
Total (corr.)	327855,	10			

La ecuación del modelo ajustado es: Área superficial = 10021.7 - 10.1231*temp

buenas aplicaciones a la industria y por otra parte, se podría realizar una buena contribución al mejoramiento medioambiental en la zona niquelífera del norte del oriente del país.

Metalúrgica Facultad de Ingeniería Geología, Minería, Metalúrgica y Geografía. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. Revista de la Facultad de Minas, metalurgia y ciencias geográficas, Vol. 9 (Nº 18):91-9, ISSN: 1561-088.

BIBLIOGRAFÍA

Aja, M. R. & Fernández, A. 2014. *Desarrollo de carbones minerales para la adsorción de metales preciosos*. Antracita. CIPIMM. La Habana. Cuba

Ariztimuño, J. A. y otros . *El carbón como materia prima*. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. San Sebastián-Donostia. España.

Arcia, Rivero, I.M. 2015. *Desarrollo de carbón antracita activado*. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico, La Habana, Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría (CUJAE).

Castellar Ortega, G.; Mendoza, E.; Angulo, E.M.; Paula P., Z.; Rosso, M. & Jaramillo, J. 2019."Equilibrio, cinética y termodinámica de la adsorción del colorante DB sobre carbón activado de la cascara de yuca". Revista MVZ Córdoba, vol. 24(No.2) May/Aug, ISSN: 1909-0544, DOI:10.21897/rmvz.1700. < <https://www.scielo.org.co> >, [Consulted: January 17, 2020].

Estupiñán, A. H., Vásquez Q, C. & Pulido J. E. 2006 . "Obtención de un material carbonáceo activado de antracita para posibles aplicaciones en hidrometalurgia". Revista Facultad de Ingeniería, N.º 37: 31-40.

León, D. Elard, F. 2006. "La importancia del carbón mineral en el desarrollo", Departamento Académico de Ingeniería

López, C. L. T. 2013. Activación de carbones para aplicación en almacenamiento de gas natural vehicular (metano). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Escuela de Procesos y Energía. Medellín, Colombia.

Marcela, U. L. & López, M. E. 2013. "Activación de carbón mineral mediante proceso físico en horno tubular horizontal y atmósfera inerte". Revista Colombiana de Materiales, N.4: 25 - 40.

Manual de procedimientos. 2002. Laboratorio de nuevos materiales y medio ambiente. CIPIMM. La Habana. Cuba.

Roubin, P., Martin, C. & Colombari, Philippe. 2005. "Raman spectroscopy and X-ray diffraction studies of some deposited carbón layers in Tore Supra". Journal of Nuclear Materials, 337-339(1):990-994, DOI:10.1016/j.jnucmat.2004.10.036.

Serrano, T. B. 1994. *Preparación y caracterización de carbones activos a partir de un carbón Bituminoso*. Tesis doctoral de la Universidad de Alicante. España.

UNE ISO/TC27/SC. 2010. Methods of analysis. Hard coal and coke -Determination of volatile matter. ISO 562:2010. (Anula a: ISO 562:1998). Available: <<https://www.une.org>>, [Consulted: January 17, 2020].

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)