
Carbones activados obtenidos a partir de residuos de llantas con diferente tamaño de partícula

Melina Cantillo Castrillon¹, Liliana Giraldo¹, Juan Carlos Moreno²

¹Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Carrera 30 No 45-03, Bogotá Colombia. ²Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universidad de los Andes. Grupo de Investigación en Sólidos Porosos y Calorimetría, Carrera 1 este No 18A-10, Bogotá, Colombia.

Activated carbon obtained from waste tires with different particle size

Carbons activats obtinguts a partir de residus de llandes amb diferent mida de partícula

Recibido: 14 de septiembre de 2011; revisado: 31 de mayo de 2012; aceptado: 5 de junio de 2012

RESUMEN

Se prepararon carbones activados por activación física con dióxido de carbono a partir de llantas usadas, modificando el tamaño de partícula del precursor y la temperatura de activación. El proceso de carbonización se realizó en atmósfera de nitrógeno a 923 K y las activaciones a 1123 y 1223 K.

Se obtuvieron carbones activados con valores de área superficial entre 25 y 105 m²g⁻¹ y volúmenes de microporo entre 0,01 y 0,04 cm³g⁻¹; también se determinó la entalpía de inmersión de los carbones activados en benceno y agua que reflejan las interacciones sólido-líquido apolares y polares respectivamente. Los valores de las entalpías de inmersión de los sólidos en benceno se encuentran entre -9,7 y -21,14 Jg⁻¹ y en agua presentan valores entre -9,2 y -16,5 Jg⁻¹.

Palabras claves: carbón activado, activación física, entalpía de inmersión, llantas usadas.

SUMMARY

Activated carbons were prepared by physical activation with carbon dioxide from waste tires, modifying the particle size and activation temperature. The carbonization process was carried out in nitrogen atmosphere at 923 K, and the activation at two different temperatures: 1123 and 1223 K.

Activated carbons with areas of 25 and 105 m²g⁻¹ and micropore volumes of 0.01 and 0.042 cm³g⁻¹ were obtained, also the immersion enthalpy of activated carbons in benzene and water were determined, reflecting the apolar and polar solid-liquid interactions respectively. Values of the immersion enthalpies were found between -9.7 and -21.4 Jg⁻¹ for benzene and between -9.2 and -16.5 Jg⁻¹ for water

Key words: activated carbon, physical activation, immersion enthalpy, waste tire.

RESUM

Es van preparar carbons activats per activació física amb diòxid de carboni a partir de llantes usades, canviant la mida de partícula del precursor i la temperatura d'activació. El procés de carbonització es va realitzar en atmosfera de nitrogen a 923 K i les activacions a 1123 K i 1223 K. Es van obtenir carbons activats amb valors d'àrea superficial entre 25 i 105 m²g⁻¹ i volums de microporus entre 0,01 i 0,04 cm³g⁻¹; també es va determinar l'entalpia d'immersió dels carbons activats en benzè i aigua que reflecteixen les interaccions sòlid-líquid apolars i polars respectivament. Els valors de les entalpies d'immersió dels sòlids en benzè es troben entre -9,7 i -21,4 Jg⁻¹ i en aigua presenten valors entre -9,2 i -16,5 Jg⁻¹.

Paraules claus: carbó activat, activació física, entalpía d'immersió, llandes usades.

INTODUCCIÓN

Las alternativas de producción de carbones activados han girado en torno a la obtención de éstos a partir de residuos industriales, que tengan un alto contenido de carbono y a la vez un bajo costo económico ⁽¹⁾. La elevada contaminación causada por los residuos industriales sólidos ha llevado a la industria a proponer formas de reutilización de estos materiales, y la preparación de carbón activado es una de ellas, porque es una alternativa versátil que proporciona un valor agregado al residuo, no solo en el reciclaje si no en su posterior aplicación como adsorbente de impurezas en fase líquida y gaseosa, tanto de contaminantes orgánicos como inorgánicos ⁽²⁻⁵⁾.

Las llantas usadas constituyen el residuo de la industria automotriz que se genera en mayor cantidad. Éstas después de su uso son almacenadas en depósitos o en lugares abiertos expuestas a la intemperie causando consecuencias a nivel ambiental y económico; los residuos de las llantas también se han utilizado en combustiones no controladas, lo cual genera una mayor contaminación ⁽⁶⁾. Debido a las dificultades que presenta el uso de estos residuos sólidos, se plantea como alternativa la obtención de materiales porosos utilizando como precursor las llantas usadas; que por poseer un elevado contenido de carbono se pueden transformar en carbón activado por medio de tratamientos físicos y químicos ^(7, 8). Sin embargo, como la función inicial de la llanta requiere que su estructura sea fuerte y compacta, estas mismas propiedades hacen que sus residuos sean difíciles de degradar, exigiendo para su transformación condiciones experimentales drásticas y en muchos casos costosas.

La preparación de carbón activado a partir de residuos de llantas se ha llevado a cabo por activación física a diferentes temperaturas y por activación química empleando varios agentes activantes, como NaOH, HCl, HNO₃, entre otros, con los que se han obtenido buenos resultados ⁽⁹⁾. Uno de los factores que afectan a las características finales de los carbones activados obtenidos a partir de llantas usadas es el tamaño de partícula que se tenga antes del proceso de preparación, observándose que los carbones activados que se preparan a partir de partículas de llanta de pequeños tamaños logran una mayor activación debido posiblemente a que los procesos de impregnación química, acción de los gases activantes, y transporte a través del sólido son más efectivos que en las partículas de mayor tamaño ⁽⁹⁻¹¹⁾.

Como los procesos de adsorción se emplean en el tratamiento de aguas con resultados satisfactorios, cada día se hace más necesaria la producción de adsorbentes a partir de materiales de bajo costo como los residuos de llantas, con los que se consiguen adsorbentes carbonosos usando la metodología general de preparación de carbones activados a partir de materiales vegetales. Los adsorbentes obtenidos a partir de residuos de llantas poseen características similares a las de los carbones activados de origen vegetal, sólo que con áreas superficiales un poco menores ⁽¹²⁾.

Debido a que las llantas están constituidas por diferentes materiales ⁽⁶⁾, y tienen una estructura física compacta que dificulta el desarrollo de la porosidad del material, se suelen emplear condiciones de carbonización previa a temperaturas superiores a 1000 K y posterior impregnación con agentes químicos, con lo que se facilita la etapa de activación en fase gaseosa, proceso que encarece la ob-

tención del sólido activado. Por esta razón en este trabajo se propone la preparación; en condiciones más suaves, realizándose una activación física con CO₂ a 1123 y 1223 K, para distintos tamaños de partícula del precursor, con objeto de ver cómo influye dicho tamaño en las características texturales de los carbones activados resultantes. Se obtuvieron cuatro carbones activados, para los que se determinaron las isoterms de adsorción de nitrógeno y las entalpías de inmersión en benceno y agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación del carbón activado

Las llantas se cortan en un comienzo en trozos de 40 cm de largo, que posteriormente se trituran en un molino de cuchillas en dos tamaños: 10 mm y 4 mm, para someterlos a los procesos de carbonización y activación física. La activación física con CO₂ se lleva a cabo en dos etapas que se ejecutan en un reactor tubular horizontal. La primera es una etapa de pirólisis que implica la descomposición de la muestra, en la que se elimina la materia volátil, realizándose a una temperatura de 923 K y con un tiempo de carbonización de 2 horas en atmósfera inerte de N₂. Posteriormente el carbonizado se somete a una etapa de activación con el agente oxidante, CO₂, a una velocidad de calentamiento de 10 K min⁻¹ y un flujo del gas de 150 mL min⁻¹ hasta llegar a la temperatura de activación deseada, de 1123 K o 1223 K según el caso, manteniéndose en estas condiciones durante dos horas.

Los carbones activados así obtenidos se han denominado como CA_{LL}T-G, y CA_{LL}T-P, refiriéndose CA_{LL} al carbón activado de llanta, T a la temperatura de activación (1123 K o 1223 K) y G o P al tamaño del precursor: grande: 10 mm (G) o pequeño: 4 mm (P).

Caracterización del área superficial

La caracterización de los materiales preparados se realizó por adsorción física de N₂ a 77 K usando un equipo Quantachrome, Autosorb 3-B. Los cálculos del área superficial y el volumen de microporos se realizaron utilizando los modelos de BET y de Dubinin-Radushkevich, respectivamente ^(12,13). El volumen de mesoporos se calculó por la diferencia entre el volumen total de poros y el volumen de microporos a 0,95 P/P₀.

Determinación de las entalpías de inmersión

La determinación de la entalpía de inmersión de los carbones activados se realizó en agua y benceno para conocer las interacciones energéticas cuando el carbón activado entra en contacto con dichos solventes. A continuación se hace una descripción general de la forma en que se llevan a cabo estas determinaciones.

Para determinar el efecto térmico que produce la inmersión del carbón activado en el disolvente, se usa un microcalorímetro de conducción de calor con una celda calorimétrica de acero inoxidable ^(14,15). Se colocan en la celda 10 mL del disolvente, que se ha mantenido en un termostato a 298 K; se pesa una muestra de carbón activado del orden de 0,100 g y se coloca dentro de la celda calorimétrica en una ampolla de vidrio y se ensambla el microcalorímetro. Cuando el equipo alcanza una temperatura alrededor de 298 K, se inicia el registro de potencial eléctrico de salida por un periodo de aproximadamente 15 minutos, tomando lecturas de potencial cada 20 se-

gundos. A continuación se provoca la rotura de la ampolla de vidrio por medios mecánicos y se registra el efecto térmico generado, continuándose las lecturas de potencial durante unos 15 minutos más. Finalmente se calibra por el método del input eléctrico ⁽¹⁶⁾.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la caracterización de los carbones activados obtenidos a partir de las isotermas de adsorción de N₂ y los rendimientos de síntesis, que se consiguen después la carbonización y posterior activación física. El rendimiento fue evaluado como la relación másica entre la cantidad de llanta utilizada al comienzo del proceso y la cantidad final de muestra después de la carbonización y activación. Los valores del área superficial se calcularon median el modelo de BET y el volumen de microporos por medio del modelo de Dubinin-Radushkevich. Se obtuvieron valores para las áreas de superficie BET entre 25 y 105 m²g⁻¹, observándose un aumento del área superficial y del volumen de poros con la disminución del tamaño de partícula del precursor.

Con referencia a los rendimientos obtenidos, se puede observar que para las muestras de mayor tamaño de partícula (G), los valores del rendimiento son prácticamente los mismos, independientes de la temperatura, aunque los valores de área superficial y volumen de poros si difieren, lo que indica una pérdida de peso de la partícula similar y a la vez un desarrollo de estructura porosa diferente. Al disminuir el tamaño de partícula del precursor parece observarse un ligero aumento en el rendimiento, que puede deberse a un reordenamiento de la estructura en la formación de la porosidad del material. Un comportamiento similar se presenta en el trabajo de J.F. Gonzalez et al ⁽¹⁷⁾, en el que al aumentar la temperatura y el tiempo de activación se produce un aumento de las propiedades texturales del material.

En la Tabla 1 también se observa que la superficie específica y volumen de poros, para una misma temperatura de tratamiento, aumentan al disminuir el tamaño de partícula del precursor, y que también aumentan con la temperatura para las partículas de mayor tamaño (G). Este resultado indica, por un lado, que la difusión del CO₂ se favorece en las partículas más pequeñas, facilitando un mejor acceso a su interior, y por otro que también el aumento de temperatura favorece el proceso de activación, como era de esperar. No obstante, para las partículas más pequeñas, se produce una pérdida de superficie específica y de volumen de mesoporos al aumentar la temperatura de tratamiento, contrariamente a lo que ocurría con las partículas de mayor tamaño, lo que hace pensar que en esas condiciones se puede producir un reordenamiento parcial de la estructura en la partícula de menor tamaño por la mayor intensidad de activación a la que se ve sometida.

En la Figura 1 se observa en general un aumento del rendimiento de activación con el área superficial de las muestras. Este aumento es prácticamente nulo para las muestras de mayor tamaño, pues se obtiene el mismo rendimiento a pesar de la diferente temperatura de tratamiento y de la diferente área superficial que se obtiene. Sin embargo, para las partículas de menor tamaño, sí se observa claramente una dependencia entre estos parámetros. Así pues, la interpretación de estos resultados se basa en que el CO₂ no es capaz de reaccionar con toda la masa de la partícula cuando ésta tiene un tamaño elevado, por las limitaciones de difusión, limitándose a reaccionar en la parte externa de la misma, mientras que en el caso de la partícula de menor tamaño no existe limitación de difusión para el agente oxidante ⁽¹⁸⁾, por lo que se llega a generar un aumento de las propiedades texturales. Un tratamiento excesivamente severo (partículas pequeñas, temperaturas elevadas) llega a ser perjudicial, produciendo cambios estructurales del material con pérdida parcial de dichas propiedades.

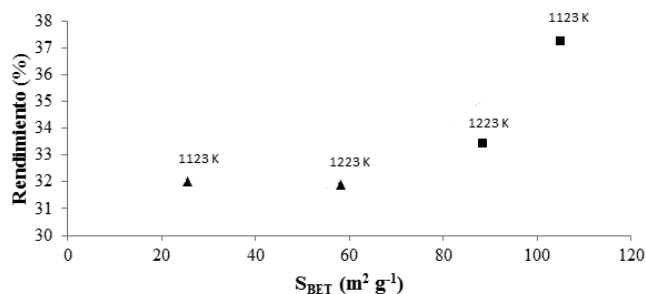


Figura 1. Relación entre el rendimiento de activación y el área superficial BET de los carbones activados. CA_{LL}G (▲) y CA_{LL}P(■).

También se determinó la entalpía de inmersión en benceno y agua de los carbones activados siguiendo el procedimiento ya descrito, a fin de conocer las propiedades físicas de los materiales a partir de las interacciones energéticas entre el sólido y los líquidos de inmersión. En la Tabla 2 se presentan los valores de las entalpías para cada sólido activado, que son todas de carácter exotérmico, correspondiendo los valores mayores para los carbones activados en benceno, excepto para la muestra CA_{LL}1223P en la que la entalpía de inmersión en agua es ligeramente mayor. Este hecho está relacionado con la menor superficie específica y menor volumen de mesoporos del carbón CA_{LL}1223P, como se comenta más adelante. Con respecto a los resultados obtenidos para las entalpías de inmersión de los carbones activados en agua, se encuentra una similitud en los valores para las muestras que se tratan a la misma temperatura, evidenciando que el tamaño de partícula no influye de manera sustancial en la interacción específica entre la molécula de agua y la superficie de los carbones activados.

Tabla 1. Condiciones de activación, rendimiento y características texturales de los carbones activados.

Muestras	Temperatura (K)	Rendimiento de activación (%)	S _{BET} (m ² g ⁻¹)	Volumen microporos (cm ³ g ⁻¹)	Volumen mesoporos (cm ³ g ⁻¹)
CA _{LL} 1123G	1123	32,0	25,4	0,01	0,15
CA _{LL} 1223G	1223	31,9	58,1	0,02	0,44
CA _{LL} 1123P	1123	37,3	104	0,04	1,12
CA _{LL} 1223P	1223	33,5	88,2	0,04	0,59

La Figura 2 presenta los termogramas obtenidos en la inmersión del carbón activado CA_{LL}1223P en benceno (a) y agua (b), en los que el calor que se genera en la inmersión es proporcional al área bajo la curva de potencial eléctrico en función del tiempo ⁽¹⁹⁾. Como se observa en la Figura 2(a), la interacción entre el carbón activado y el benceno, al ser éste un líquido de naturaleza apolar que presenta sólo interacción superficial con el sólido, genera un efecto térmico proporcional al área superficial del mismo ⁽²⁰⁾, lo que explicaría el menor valor obtenido para la entalpia de inmersión. En el caso del agua, se presenta un incremento de la entalpia de ésta al aumentar la temperatura de activación, donde se observa que a las mismas temperaturas se encuentran valores de entalpias similares.

Tabla 2. Entalpías de inmersión de los carbonos activados en benceno y agua.

Muestras	-ΔH _{inm} Benceno (Jg ⁻¹)	Volumen mesoporos (cm ³ g ⁻¹)	-ΔH _{inm} Agua (Jg ⁻¹)
CA _{LL} 1123G	11,5	0,15	9,81
CA _{LL} 1223G	21,5	0,44	16,5
CA _{LL} 1123P	9,75	1,12	9,17
CA _{LL} 1223P	13,5	0,59	14,8

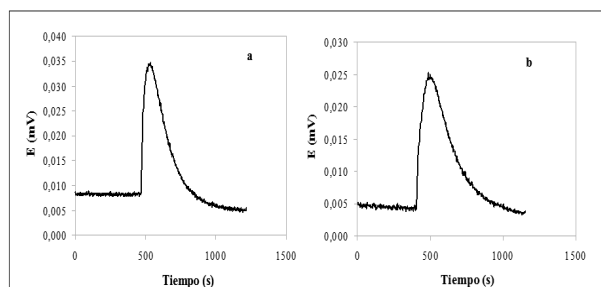


Figura 2. Termogramas de la inmersión del carbón activado CA_{LL}1223P en: a) benceno, b) agua

En la Figura 3 se presenta la correlación entre las entalpías de inmersión de los carbonos activados en benceno y agua. Para el conjunto de las muestras se observa un comportamiento que puede considerarse lineal, mostrando la proporcionalidad entre las interacciones de los sólidos con cada uno de los dos disolventes, si se tiene en cuenta que entre el benceno y la superficie del sólido existen interacciones de tipo no polar y con el agua se registran adicionalmente las interacciones específicas ⁽¹⁹⁾. Tanto el carbón activado obtenido a partir de las partículas de menor tamaño como de mayor tamaño, presentan mayores valores de entalpías de inmersión cuando aumenta la temperatura.

El efecto de la mesoporosidad de las muestras se refleja también en los valores de las entalpías de adsorción del benceno, como se observa en la Tabla 2. Así, para la muestra CA_{LL}1123P que presenta un volumen de mesoporos de 1,12 cm³g⁻¹, se obtiene el valor más bajo de dicha entalpia, lo que indica una menor interacción entre la molécula de benceno y la superficie del sólido en comparación con las demás muestras ⁽¹⁹⁾, y en definitiva, que

la accesibilidad de la molécula de benceno a la superficie interna del carbón viene condicionada por el tamaño de poro ⁽²⁰⁾.

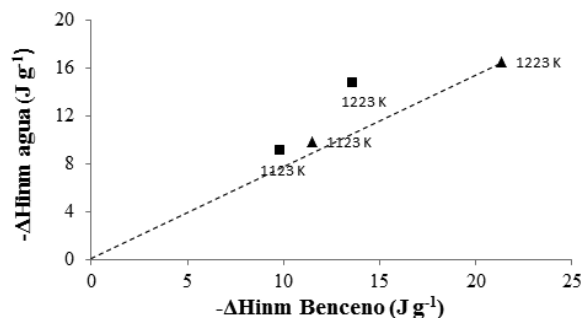


Figura 3. Correlación entre las entalpías de benceno y agua. -ΔH_{inm} CA_{LL}G (▲) y -ΔH_{inm} CA_{LL}P (■).

En la Figura 4 se presenta la relación entre el área superficial y la temperatura de activación para los dos tamaño de partícula estudiados. Se observa que para las muestras de mayor tamaño de partícula el área superficial BET aumenta con la temperatura, mientras que para el menor tamaño de partícula sucede lo contrario, como ya se indicó (Tabla 1). Esto se debe a que el ataque del agente oxidante se hace mas intenso a 1223 K, produciéndose una destrucción parcial de la porosidad, además de una gasificación en el exterior de las partículas y un ensanchamiento de los microporos, lo que conduce a un aumento de la mesoporosidad del material.

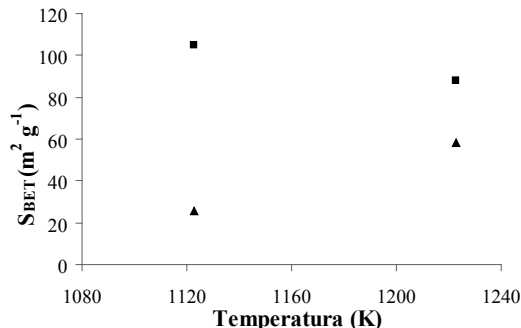


Figura 4. Relación entre la temperatura de activación y el área superficial BET de los carbonos activados. CA_{LL}G (▲) y CA_{LL}P (■).

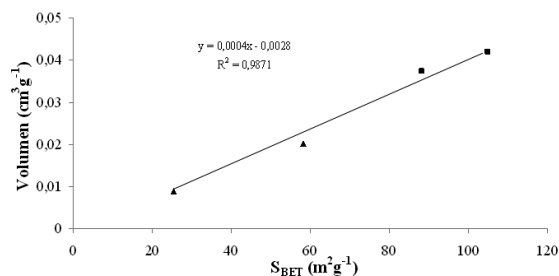


Figura 5. Relación entre el volumen de microporos y el área de superficie BET CA_{LL}G (▲) CA_{LL}P (■).

En la Figura 5 se presenta la relación entre el volumen de microporos y el área superficial BET, que muestra un

comportamiento lineal con un coeficiente de correlación de 0,9871. Este resultado indica la consistencia de los modelos de BET y de Dubinin-Radushkevich, utilizados en el cálculo de estas propiedades texturales ⁽²¹⁾.

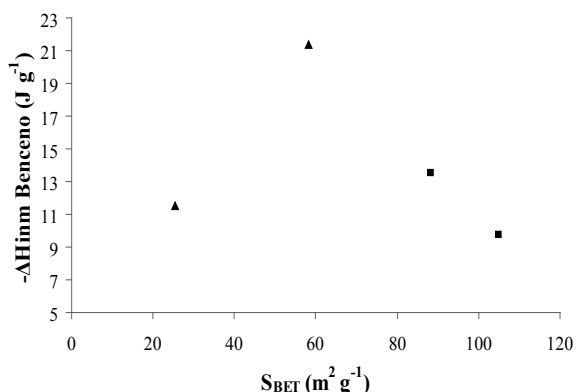


Figura 6. Relación entre la entalpía de inmersión en benceno y el área superficial. CA_{LL}G (▲) CA_{LL}P (■).

En la Figura 6 se presenta la relación entre la entalpía de inmersión de los sólidos porosos en benceno y el área superficial. Se observa en las dos muestras CA_{LL}G, que al aumentar el área superficial BET aumenta la entalpía de inmersión en benceno. Este resultado demuestra la consistencia entre las dos técnicas de análisis: en la entalpía de inmersión se tiene en cuenta la interacción energética entre el líquido de inmersión y el sólido y en la isoterma de adsorción de nitrógeno se tiene en cuenta la interacción entre el gas adsorbido y el sólido ⁽²²⁾. Para las dos muestras CA_{LL}P se puede apreciar que al aumentar el área superficial la entalpía de inmersión en benceno disminuye. Esto se debe a la mayor mesoporosidad de la muestra activada 1123 K, dado que hay una menor interacción entre las moléculas de benceno y la superficie de la muestra.

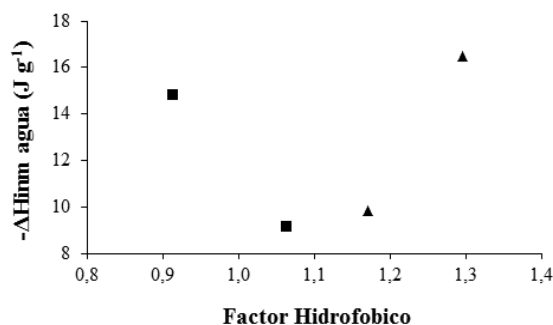


Figura 7. Calorimetrías de inmersión del benceno y agua en función del factor hidrofóbico. CA_{LL}G (▲) CA_{LL}P (■).

Finalmente, en la Figura 7 se muestra la correlación entre la entalpía de inmersión en agua y el factor hidrofóbico, definido como la relación entre las entalpías de inmersión

de los sólidos en benceno y agua, $f = \frac{\Delta H_{\text{imbenceno}}}{\Delta H_{\text{imagua}}}$. Se pueden observar dos tendencias: una creciente en las muestras de mayor tamaño de partícula, para la que se obtienen factores hidrofóbicos más altos, y otra decreciente en las muestras de menor tamaño, con valores en general más bajos. Para la relación entre la entalpía de inmersión en

benceno y el factor hidrofóbico se produce un comportamiento similar.

CONCLUSIONES

Es posible activar partículas de residuos de llantas mediante tratamientos de pirólisis y activación con CO₂, consiguiendo un desarrollo de características texturales. Para dos tamaños de partícula de 10 y 4 mm de los residuos de llantas se han obtenido carbones activados con áreas superficiales entre 25 y 105 m²g⁻¹, y volúmenes de microporo de hasta 0,042 cm³g⁻¹.

Se observa un mayor desarrollo de la porosidad con la disminución del tamaño de partícula del precursor, al resultar favorecido el contacto entre la molécula de CO₂ y la superficie del material. Esto se refleja en el aumento del área superficial y del volumen de poros, en las mismas condiciones de temperatura.

La muestra que se obtiene a partir del precursor de 4 mm y que se activa a 1123 K, es la que presenta mayor área superficial y menor entalpía de inmersión tanto en benceno como en agua, lo cual se explica por la mayor mesoporosidad formada en el carbón activado, siendo la accesibilidad de la molécula del benceno dependiente del tamaño del poro.

Se han obtenido entalpías de inmersión de los carbones activados en benceno y agua con valores comprendidos entre 9,7 y 21,4 Jg⁻¹ y 9,2 y 16,5 Jg⁻¹, respectivamente. Se ha podido establecer una relación proporcional entre los valores de ambas entalpías de inmersión para los dos carbones activados obtenidos.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Convenio Marco entre la Universidad de los Andes y la Universidad Nacional de Colombia, y al Acta de Acuerdo entre los departamentos de Química de las dos universidades. Se agradece a la Dirección de Investigación Sede Bogotá DIB de la Universidad Nacional de Colombia, Proyecto 13764.

REFERENCIAS

- Rodríguez Reinoso, Francisco. El carbón activado como adsorbente universal. En: Sólidos porosos. Preparación, caracterización y aplicaciones. Ed. J. C. Moreno P. Bogotá. Ediciones Uniandes. 2007. p 404.
- Zabaniotou, A.; Madau, P.; Oudenne, P.D. Active carbon production from used tire in two-stage procedure: industrial pyrolysis and bench scale activation with H₂O-CO₂ mixture. *J. Anal. Appl. Pyrol.* **72**, 289-297 (2004)
- Nakagawaa, K.; Nambaa, A.; Mukaia, S. R.; Tamon, H. Adsorption of phenol and reactive dye from aqueous solution on activated carbons derived from solid wastes. *Water Research.* **38**, 1791-1798 (2004)
- Nadhem, K. H.; Xiao, D. C.; Mohammed, M. F. Adsorption kinetics for the removal of chromium (VI) from aqueous solution by adsorbents derived from used tyres and sawdust. *Chemical Engineering Journal.* **84**, 95-105 (2001)

-
5. Troca-Torrado, C.; Alexandre-Franco, M.; Fernández-González, C.; Alfaro-Domínguez, M.; Gómez-Serrano, M. Development of adsorbents from used tire rubber their use in the adsorption of organic and inorganic solutes in aqueous solution. *Fuel Processing Technology*. **92**, 206–212 (2011)
 6. Ko, D.C.K.; Mui, E.L.K.; Lau, K.S.T.; McKay, G. Production of activated carbons from waste tire – process design and economical analysis. *Waste Management*. **24**, 875-888 (2004)
 7. Mui, E.; Ko, D.; McKay, G. Production of active carbons from waste tyres—a review. *Carbón*. **42**: 2789-2805.(2004).
 8. Mui, E.; Cheung W.H.; Marjorie V.; Gordon M. Mesoporous activated carbon from waste tyre rubber for dye removal from effluents. *Microporous and Mesoporous Materials*. **130**, 287-294 (2010)
 9. González, J. F.; Encinar, J. M.; Canito, J.L.; Rodríguez J.J. Pyrolysis of automobile tyre waste. Influence of operating variables and kinetics study. *J. Anal. Appl. Pyrol.* **58-59**, 667-683 (2001)
 10. Betancur, M.; Martínez, J. D. Murillo, R. Production of activated carbon by waste tire thermochemical degradation with CO₂. *J. Hazard. Mater.* **168**, 882-887 (2009)
 11. Lopez, G.; Olazar, M.; Artetxe, M.; Amutio, M.; Elordi, G.; Bilbao, J. Steam activation of pyrolytic tyre char at different temperatures. *J Anal. Appl. Pyrol.* **85**, 539-543 (2009)
 12. Gupta, V.K.; Gupta, B.; Rastogi, A.; Agarwal, S.; Nayak, A. A comparative investigation on adsorption performances of mesoporous activated carbon prepared from waste rubber tire and activated carbon for a hazardous azo dye-Acid Blue 113. *J. Hazard. Mater.* **186**, 891-901 (2011)
 13. Bansal, R.C.; Donnet, J.B.; Stoeckli F. Active Carbon. New York. Marcel Dekker Inc. p 112. 1988.
 14. Giraldo, L.; Moreno, J.C.; Huertas, J.I. Heats Conduction Micro-Calorimeter with Metallic Reaction Cells. *Instrumentation Science & Technology*. **30**, 177-186 (2002)
 15. Rodríguez, G.; Giraldo, L.; Moreno, J.C. Evaluación de la señal generada en un calorímetro de conducción de calor en la determinación de entalpías de inmersión para caracterización de sólidos porosos. *Afinidad. Revista de Química Teórica y Aplicada*. **66**, 1-9 (2009).
 16. García, V.; Moreno-Piraján, J. C.; Construcción de un Calorímetro para la Determinación de Entalpías de Inmersión. *Información Tecnológica*. **18 (3)** 59-79 (2007).
 17. Gonzalez, J. F.; Encinar, J. M.; González-García, C. M.; Sabio, E.; Ramiro A.; Canito, J.L.; Gañán, J. Preparation of activated carbons from used tyres by gasification with steam and carbon dioxide. *Applied Surface Science*. **252**, 5999-6004 (2006)
 18. Mina, A.; Harris, A.T. Influence of carbon dioxide partial pressure and fluidization velocity on activated carbons prepared from scrap car tyre in a fluidized bed. *Chemical Engineering Science*. **61**, 8050- 8059 (2006)
 19. Rodríguez, G.; Giraldo, L.; Moreno, J.C. Entalpías de inmersión de telas de carbón activado como parámetro de caracterización fisicoquímica. *Rev. Colomb. Quím.* **38**, 435-445 (2009)
 20. Stoeckli, F.; Centeno, T. A. On the characterization of microporous carbons by immersion calorimetry alone. *Carbon*. **35**, 1097-1100 (1997)
 21. Moreno-Castilla, C. Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. *Carbon*. **42**, 83-94 (2004)
 22. Vargas D. P.; Giraldo L.; Moreno, J.C. Relación entre la entalpía de inmersión de monolitos de carbón activado y parámetros texturales. *Quim. Nova*. **34**, 196-199 (2011)