

---

# *Síntesis y caracterización de monolitos de carbón activado utilizando como precursor cáscara de coco*

Diana Paola Vargas Delgadillo<sup>1</sup>, Liliana Giraldo-Gutiérrez<sup>2</sup>, Yolanda Ladino-Ospina<sup>3</sup>,  
Juan Carlos Moreno-Piraján\*.

<sup>1</sup>Departamento de Química, Universidad Pedagógica Nacional, Calle 72 N° 11-86, Bogotá, Colombia. <sup>2</sup>Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, Avenida Carrera 30 N° 45-03 Bogotá, Colombia. <sup>3</sup>Departamento de Química, Universidad Pedagógica Nacional, Calle 72 N° 11-86, Bogotá, Colombia. \*Departamento de Química, Universidad de los Andes, Carrera 1a N° 18<sup>a</sup>-10, Bogotá, Colombia.

---

*Synthesis and characterization of monoliths of activated carbon using as precursor coconut shell*

*Síntesi i caracterització de monòlits de carbó activat utilitzant com precursor closca de coco*

*Recibido: 10 de abril de 08; revisado: 18 de septiembre de 2008; aceptado: 23 de septiembre de 2008*

## RESUMEN

Diferente series de monolitos de carbón activado fueron preparados por activación química de cáscara de coco con cloruro de zinc a diferentes concentraciones, sin el uso de ningún aglomerante. El paso de conformado por prensado fue introducido entre la impregnación con el agente químico y el tratamiento térmico. Las estructuras fueron caracterizadas por adsorción de N<sub>2</sub> a 77 K, microscopia electrónica de barrido (SEM) y algunas series fueron también caracterizadas mediante calorimetría de inmersión en benceno. Los resultados experimentales indicaron que la activación con cloruro de zinc produce una gran desarrollo de microporosidad (volumen de microporo entre 0,387 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup>-0,79 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup>, área BET entre 700 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>-1520 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>), buenas propiedades mecánicas y características superficiales.

**Palabras clave:** Activación química. Conformado por prensado. Cáscara de coco. Monolitos de carbón.

## SUMMARY

A series of activated carbon monoliths were prepared by chemical activation from coconut shell with zinc chloride at different concentrations, without any agglomerate. The press molding step was carried out between the impregnating with the chemical agent and the thermal treatment. The structures were characterized by N<sub>2</sub> adsorption at 77 K, scaling electronic microscopy (SEM)

and some series were also characterized by immersion Calorimetry in benzene. The experimental results indicated that the activation with zinc chloride produce a great development in the microporosity (microporous volume between 0.387 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup> and 0.79 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup>; BET area between 700 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> and 1520 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>, good mechanical properties and superficial characteristics.

**Key words:** Chemical activation. Press molding. Coconut shell. Monoliths of carbon.

## RESUM

Es preparen diferents sèries de monòlits de carbó activat per activació química de closca de coco amb clorur de zinc a diferents concentracions sense emprar cap aglomerant. El pas de conformat per premsat es realitza entre la impregnació amb l'agent químic i el tractament tèrmic. Les estructures es caracteritzen per adsorció de N<sub>2</sub> a 77 K, microscòpia electrònica d'escombratge (SEM) i, en el cas d'algunes sèries, també mitjançant calorimetria d'immersió en benzè. Els resultats experimentals indiquen que l'activació amb clorur de zinc produeix un gran desenvolupament de microporositat (volum de microporus entre 0,387 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup> i 0,79 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup>, àrea BET entre 700 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> i 1520 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>), bones propietats mecàniques i bones característiques superficials.

**Mots clau:** Activació química. Conformat per premsat. Closca de coco. Monòlits de carbó.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de materiales porosos, que se utilizan ampliamente en el campo de la adsorción tanto en fase gaseosa como en fase líquida, se ha incrementado en las dos últimas décadas<sup>(1)</sup>. Uno de estos materiales son los llamados monolitos de carbón, que gracias a sus características únicas se están convirtiendo en adsorbentes y soportes catalíticos efectivos para la descontaminación ambiental. La palabra monolito significa «una sola piedra» y hace referencia a estructuras compactas tales como los monolitos tipo disco y Honeycomb estos últimos son estructuras unitarias atravesadas longitudinalmente por canales paralelos los cuales constituyen una nueva concepción en el diseño de catalizadores y adsorbentes, que ha supuesto una de las principales innovaciones aparecidas en las últimas décadas; estas nuevas estructuras, presentan: bajos valores de pérdida de carga al paso de los gases, facilitando el flujo uniforme de los mismos, excelentes propiedades mecánicas, una gran superficie geométrica por unidad de peso o volumen, además se comportan como sistemas casi adiabáticos y reducen las limitaciones generadas por fenómenos de difusión interna<sup>(2)</sup>. Se han fabricado monolitos de carbón activado de varios orígenes: madera, carbón, turba, coco, y se ha medido su capacidad de adsorción, con un amplio rango de compuestos orgánicos: aromáticos, alifáticos, polares y no polares. La síntesis de monolitos de carbono, utilizables como soportes o adsorbentes directos, surge como una alternativa a la problemática ambiental y constituye un campo de investigación innovador<sup>(3)</sup>.

En este trabajo se estudió la síntesis de monolitos de carbón activado utilizando como material precursor cáscara de coco, mediante la activación química con cloruro de zinc y el conformado por prensado sin el uso de aglomerantes<sup>(4)</sup>. Se sintetizaron discos y Honeycombs comparando sus propiedades. Las estructuras se caracterizaron mediante adsorción de N<sub>2</sub> a 77 K, microscopía electrónica de barrido y calorimetría de inmersión en benceno.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Adecuación y Caracterización del material precursor

La cáscara de coco se trituró y se tamizó utilizando para la síntesis un tamaño de partícula de 38 µm. Para poder establecer su comportamiento frente a la temperatura se sometió el material crudo e impregnado a un análisis termogravimétrico (TGA)<sup>(5)</sup>. El análisis de las muestras se realizó en un equipo NETZSCH STA 409 PC/PG, para dicho fin se utilizaron 94,70 mg de cáscara de coco, con un flujo de N<sub>2</sub> 1 mLmin<sup>-1</sup> y un intervalo de temperatura entre 30 °C y 1100 °C.

### Síntesis de discos y honey combs

El precursor, fue impregnado con un agente deshidratante; en este caso cloruro de zinc (1 gramo de precursor por 2 mL de solución) por 7 h y a 85 °C. Luego se sometió a secado a 110 °C durante 2 horas. A continuación se llevó a una prensa axial, en donde se hace el conformado por prensado a 150 °C, se experimento con temperaturas entre 100-250 °C y diferentes presiones entre 3500-6500 psi, utilizando dos tipos de moldes para la obtención de discos y honeycomb. Estas estructuras se carbonizaron en un horno a una temperatura de 500 °C, un flujo de N<sub>2</sub> de 85 mLmin<sup>-1</sup> y un rango de calentamiento de 1 °Cmin<sup>-1</sup> durante 2 horas. Finalmente, fueron lavadas con ácido clorhídrico 0,1 M y agua destilada hasta pH neutro para eliminar los restos del agente químico usado en la impregnación<sup>(6)</sup>. Diferentes concentraciones de ZnCl<sub>2</sub> (20 %, 32 %, 48 %) fueron utiliza-

das para preparar las series de monolitos (disco y honeycomb) MFD120, MFD132, MFD148, MFH220, MFH232, MFH248 manteniendo constantes las demás condiciones. Consiguiendo un grado de impregnación (Xg<sub>Zn</sub>/g precursor) para dichas series de 0,19, 0,30 y 0,46 respectivamente. Así mismo, se utilizaron dos presiones de conformado para preparar la series MFD31 (4500 psi), MFD32 (6500 psi), utilizando ZnCl<sub>2</sub> 20 % y MFH41 (4500 psi), MFH42 (6500 psi), utilizando ZnCl<sub>2</sub> 32 %.

### Caracterización de las estructuras

Todos los monolitos de carbón activado fueron caracterizados por adsorción física de N<sub>2</sub> a 77 K usando un equipo QUANTACHROME, Autosorb 3-B. El volumen de microporo fue calculado mediante la aplicación de la ecuación de Dubinin-Radushkevich y el área superficial se obtuvo mediante el método BET. Algunas muestras fueron también caracterizadas mediante calorimetría de inmersión en benceno (0,37 nm) usando un equipo tipo Calvet<sup>(7)</sup> y microscopía electrónica de barrido (SEM).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis termogravimétrico (TGA)

La figura 1 representa el análisis hecho para la cáscara de coco cruda e impregnada con 20 %, 32 % y 48 % de ZnCl<sub>2</sub>. A partir del TGA obtenido para la cáscara de coco cruda se puede ver que entre 50 °C y 180 °C hay una pérdida de masa inicial del 10,27 % relacionada con la eliminación de la humedad contenida en la muestra, en este intervalo de temperatura además de la humedad también son removidos compuestos volátiles, los cuales son arrastrados por el flujo de vapor de agua que sale de la biomasa durante el proceso de evaporación. A temperaturas superiores a 220 °C la pendiente del registro termogravimétrico cambia de forma significativa, indicando el comienzo del proceso de carbonización provocado por el desprendimiento de los compuestos volátiles, en 301 °C se ha perdido un 22,63 % en masa. En el intervalo de temperaturas comprendido entre 220 y 330 °C se establece una pérdida creciente de los constituyentes del material que son arrancados de la estructura amorfa de la misma con mayor facilidad por los efectos la temperatura. Entre 330 °C y 450 °C se producen los valores máximos de pérdida de masa, obteniéndose un residuo sólido prácticamente libre de volátiles, pero aún con un grado incompleto de carbonización en el interior de las muestras. En un intervalo pos-

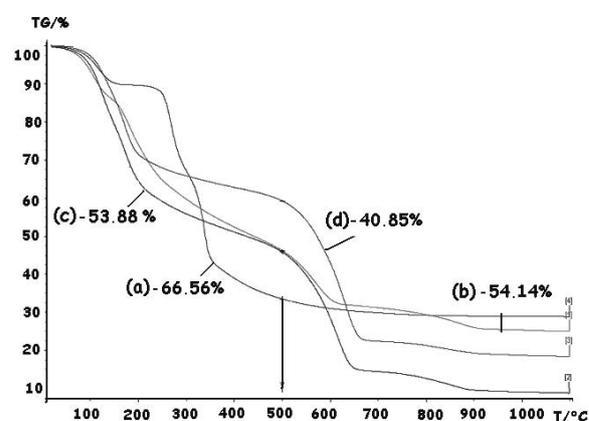
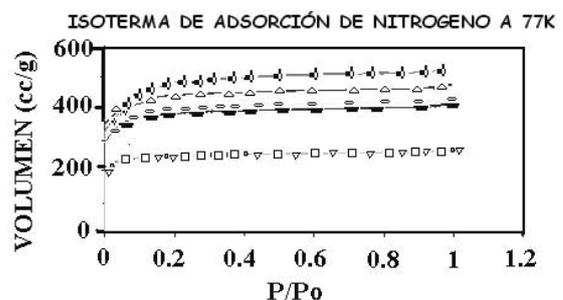


Figura 1. Análisis termogravimétrico cáscara de coco. (a) Cruda (b) 20 % ZnCl<sub>2</sub> (c) 32 % ZnCl<sub>2</sub> y (d) 48 % ZnCl<sub>2</sub>.

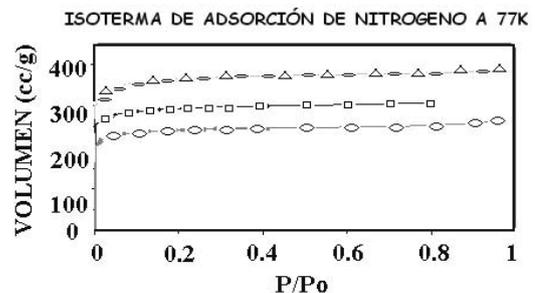
terior de temperatura superior a 400 °C ocurre otro cambio en las pendientes de los registros termogravimétricos; en el intervalo de 301 a 500 °C se produce la pérdida de masa principal 66,56 % como consecuencia del proceso de degradación térmica de la celulosa la cual ocurre en dos etapas: en la primera se observa una reducción del tamaño de cadena debido a la ruptura de enlaces con la generación de radicales libres, grupos carboxílicos y carbonilos, así como la formación de carbón, mientras que la segunda incluye la despolimerización de la celulosa por ruptura de las unidades glucosídicas y la formación de levoglucosano, la descomposición por encima de 410 °C se atribuye a la degradación de la celulosa y la lignina, principales componentes de los materiales lignocelulósicos<sup>(8)</sup> y que coincide con la zona de flujo máximo de calor; la pérdida de peso con respecto a la masa inicial continúa, pero esta vez de forma muy suave hasta altas temperaturas. Entre 500 y 800 °C hay una pérdida de masa del 70,86 % quedando un 29,14 % por perder, y en el intervalo de 800 a 1099,4 °C la masa restante es del 28,75 % lo que indica una pérdida de solo 1,33 % en un intervalo considerable de 299,4 °C. El contenido de carbono fijo en el producto residual carbonizado se incrementa con el aumento de la temperatura, obteniéndose un sólido poroso. La observación del registro termogravimétrico correspondiente (Figura 1) permite afirmar que en los intervalos entre 220-450°C ocurre alrededor del 66 % de la pérdida de masa. A temperaturas de pirólisis superiores a 450 °C se originarán carbonizados de condiciones adecuadas para la síntesis de adsorbentes<sup>(9)</sup>, es recomendable el empleo de bajas velocidades de calentamiento para evitar daños morfológicos drásticos durante el proceso de pirólisis y posterior activación. Luego de realizar el TGA a la cáscara de coco impregnada a las concentraciones utilizadas en el estudio, y centrando el análisis en la temperatura de 500 °C se observa que en general a mayor concentración del agente impregnante, existe una menor pérdida de masa y por lo tanto más estructura disponible para el proceso de carbonización, esta situación se evidencia con el porcentaje de pérdida másica en este punto (crudo - 66,56 %, [ ] 20,00% - 54,14 %, [ ] 32,00 % 53,88 %, [ ] 48,00 % - 40,85 %) así mismo, el proceso de deshidratación se incrementa considerablemente con el impregnante y existe una menor liberación de material volátil conforme aumenta la concentración de ZnCl<sub>2</sub>, por lo tanto mayor número de alquitranes están disponibles en la superficie para fijar el carbón y mejorar el rendimiento del proceso<sup>(10)</sup>, hecho que se observa por la pendiente de cada uno de los termogramas. A la temperatura de 500 °C la cantidad de masa perdida es alrededor de 50 % lo cual permite obtener un sólido poroso con buenas características.

### Características de la Textura

En las figuras 2 se aprecia que las isothermas obtenidas para los discos y honeycomb son tipo I, propias de sólidos con gran microporosidad, evidencian la síntesis de estructuras microporosas con buena área superficial y volumen de microporo, los cuales presentan áreas superficiales entre 702 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>-1523 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> y volumen de microporo 0,38 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup>-0,79 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup>. Estos datos son satisfactorios, teniendo en cuenta que bajo condiciones de síntesis similares se han obtenido áreas superficiales entre 500 y 2000 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>, junto con volumen de microporo entre 0,2 cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup> - 1cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup> 6. Las series MFD120 Y MFH120 presentan área baja (821 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> y 726 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>) comparada con las otras estructuras sintetizadas, ya que están entre áreas de 1170 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> y 1523 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>. En las figura 3 se evaluó la influencia del radio



a)



b)

Figura 2. a) Isothermas de adsorción N<sub>2</sub> a 77 K discos y honeycomb a diferentes concentraciones de ZnCl<sub>2</sub>. b) Isothermas de adsorción N<sub>2</sub> a 77 K discos y honeycomb a diferentes presiones de prensado.

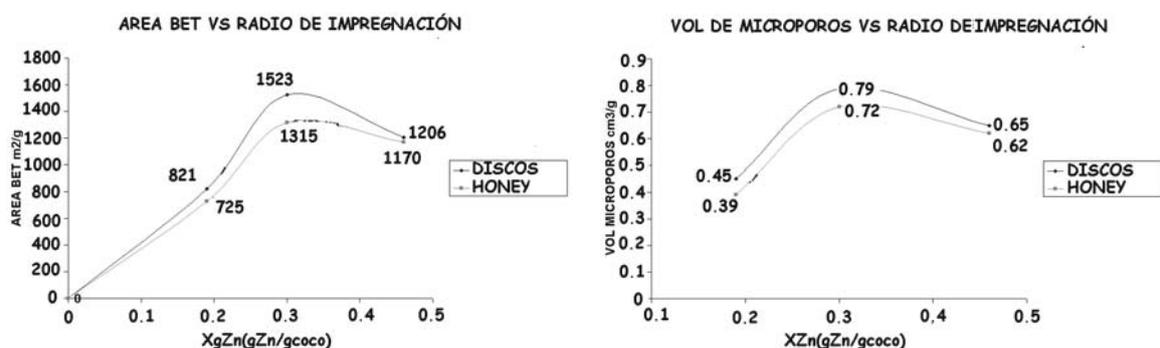


Figura 3. Evolución del Área BET y el volumen de microporo de discos y honeycombs a diferentes radios de impregnación.

de impregnación en las propiedades de discos y Honeycombs, se encuentra que el máximo tanto para área BET y microporo se obtiene con un radio de impregnación de 0,30 XgZn/g coco, volumen de microporo (0,79 y 0,72 cm<sup>3</sup> g<sup>-1</sup>), capacidad de adsorción (figura 2a, 2b) y área BET (1523 y 1315 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>), lo cual indica que bajo estas condiciones de síntesis para valores superiores de radio de impregnación en el estudio no se obtienen mejores propiedades.

Las características de las muestras se ven poco afectadas por las presiones utilizadas en el conformado de las partículas, sin embargo, existe una diferencia entre el área BET y volumen de microporo que permite determinar que el efecto de la presión de conformado es reducir el espacio interpartícula y la porosidad, así a mayor presión menor volumen de microporo (tabla 1, 2). Al comparar el comportamiento de los discos frente a los honeycombs se evidencia que estos presentan una mayor porosidad y área, situación que se puede atribuir al hecho de que al existir una distribución de partícula uniforme, debido a la ausencia de canales transversales, cuando se prensa se genera una compresión axial sobre una mayor área transversal, generando mayor porosidad. Esta aseveración no es aplicable en el caso de las series en las que se utilizó diferentes presiones, ya que también se usó diferentes radios de impregnación.

En las tablas 1 y 2, se observa que el rendimiento del proceso de carbonización aumenta, conforme aumenta la concentración del agente impregnante; este hecho se ratifica con el TGA del precursor a las concentraciones utilizadas en el estudio, ya que a mayor concentración del agente impregnante mayor masa residual disponible para la carbonización debido a una mayor cantidad de materia volátil retenida. El calentamiento que se hace durante el prensado reduce la pérdida de materia volátil, aumentando la resistencia y guardando todos los estados de impregnación. Durante el tratamiento térmico el impregnante actúa

como un agente deshidratante favoreciendo la liberación de H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> al interior en forma de H<sub>2</sub>O y CO<sub>x</sub> o hidrocarburos. Al mismo tiempo, inhibe la pérdida de materia volátil y alquitranes que fijan el carbón y hacen que el sólido mejore su rendimiento. Este agente penetra en el interior de las partículas produciendo una fragmentación parcial de la celulosa y otros biopolímeros de estructura vegetal tales como hemicelulosa y lignina; las reacciones siguientes son la deshidratación y condensación permitiendo que más compuestos aromáticos se produzcan con apariencia de alquitranes, los cuales permanecen en la superficie de la partícula impregnada y actúan como aglomerante<sup>(11)</sup>. Gracias a esto no es necesario el uso de ningún material que una las partículas del precursor, es decir la porosidad no se ve afectada por la presencia de binder después de la carbonización. Gracias a la impregnación del precursor con ZnCl<sub>2</sub>, la masa es deformable con la presión, lo que permite la reducción del espacio entre partículas. En las tablas 1, 2 se observa que a una mayor presión de aglomerado de las partículas el rendimiento aumenta, este hecho puede explicarse debido a que a una mayor presión, el espacio entre partículas es menor, así hay una mayor retención de alquitranes y por lo tanto éstos se fijan para después ser transformados en carbón. La presión tiene un efecto directo en la resistencia mecánica de los discos porque está controla la cantidad de alquitranes destilados por la impregnación del precursor. El alquitran es liberado durante el tratamiento térmico en el horno, así llena el espacio entre partículas para después ser transformados en carbón<sup>(10)</sup>.

#### Apariencia de las estructuras

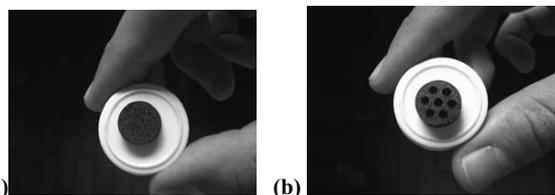


Figura 4. Fotografías de las estructuras sintetizadas. (a) Tipo disco, (b) Tipo honeycombs.

TABLA I

Características de las series Disco.

Serie Monolito	Radio de impregnación	Volumen de $\mu$ poro cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup>	Área BET m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	Rendimiento (YIELD)
MFD120	0,19	0,45	821	45,94%
MFD132	0,30	0,79	1523	50,83%
MFD148	0,46	0,65	1206	53,71%
MFD31	0,19	0,46	854	48,43%
MFD33	0,19	0,38	702	58,37%

TABLA II

Características de las series Honeycombs.

Serie Monolito	Radio de impregnación	Volumen de $\mu$ poro cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup>	Área BET m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	Rendimiento (YIELD)
MFD220	0,19	0,39	725	35,09%
MFD232	0,30	0,72	1315	45,05%
MFD248	0,46	0,62	1170	51,93%
MFD41	0,30	0,58	1091	49,34%
MFD43	0,30	0,53	1010	56,71%

#### Resistencia de las estructuras

A partir de las pruebas realizadas en la compresión axial a temperaturas entre 100-250 °C, y presiones entre 3500-6500 psi, se observó una ruptura de los monolitos cuando se prensa a una temperatura diferente de 150 °C, así mismo el aglomerado de las partículas del precursor mejora bajo esta condición y con presiones de 4500 y 6500 psi. Si se prensa en caliente a 150 °C, la pérdida de material volátil es escasa y las estructuras sintetizadas poseen buena resistencia mecánica durante todos los pasos de preparación, sin embargo, si se utilizan temperaturas superiores durante el conformado hay una pérdida considerable de materia volátil que afecta la resistencia y causa la fractura de las muestras durante el lavado, es decir la cantidad de alquitran que queda después de la compactación no permite la aglomeración de las partículas en el proceso de carbonización.

#### Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Las microfotografías de las muestras seleccionadas son expuestas en las figuras 5, 6 se puede observar en ambos casos el desarrollo de la porosidad en regiones internas y externas de las estructuras, como se puede apreciar el disco (fig. 5a) tiene una estructura más compacta que los Honeycomb (fig. 6b), se nota el espacio vacío entre las partículas. Son comparables con las obtenidas en otros tra-

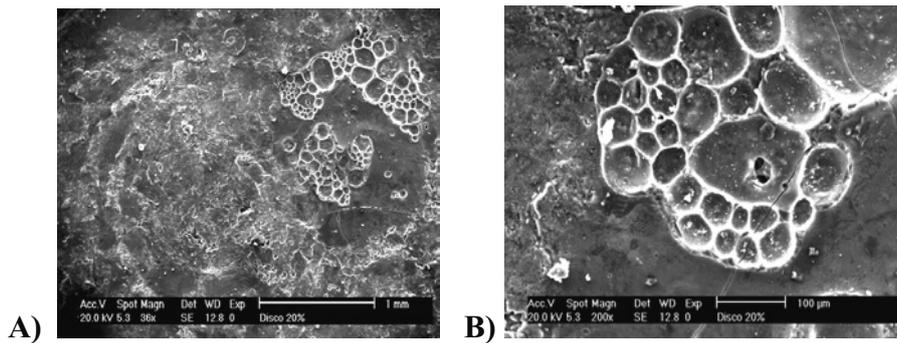


Figura 5. Microfotografías SEM disco 20%.

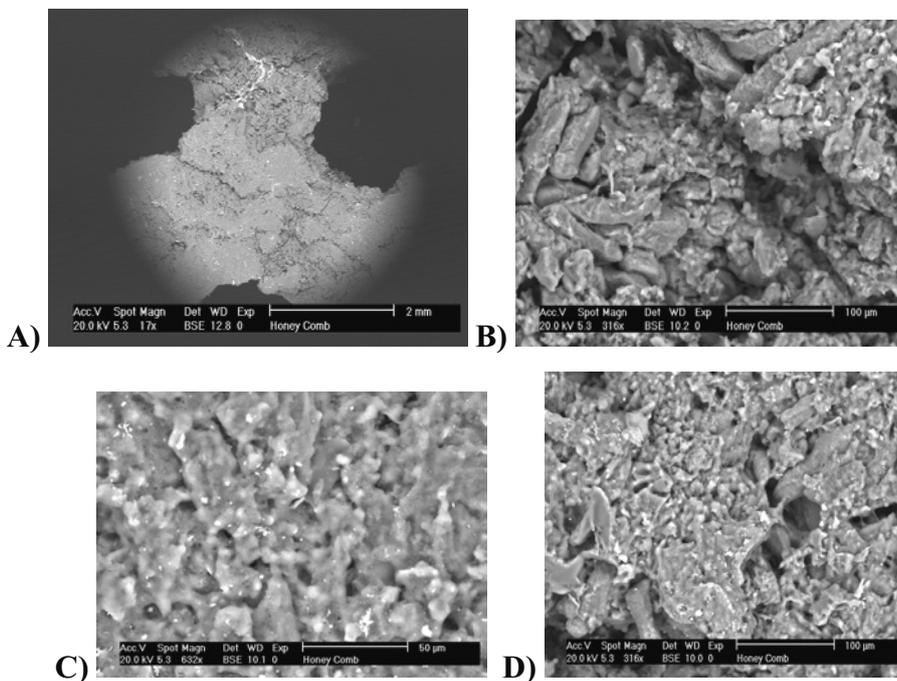


Figura 6. Microfotografías SEM Honeycomb 20%.

bajos similares<sup>(10-12-13)</sup>, la fig. 6a, muestra las perforaciones del honeycomb y las demás dimensionan pequeños puntos de la estructura.

#### Calorimetría de inmersión en benceno

En la figura 7, se aprecia la gráfica propia de la calorimetría de inmersión realizada para la serie MFD132, el primer pico corresponde al contacto entre el sólido y el benceno, el otro pico es una calibración realizada. En la tabla 3, se ilustran los valores de entalpía de inmersión en benceno, los valores obtenidos de entalpías de inmersión para las diferentes series de discos y honeycombs, muestran que a mayor área superficial mayor entalpía de inmersión (figura 8). Como se muestra en la tabla 3, se calculó el área por aproximación del área superficial accesible, (para esto se tomó como referencia un sólido no poroso Negro de Carbono de área superficial  $30,6 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , para calcular las entalpías específicas de la molécula sonda)<sup>(14)</sup>, comparándolas con los datos de las áreas calculadas por las isothermas de adsorción de  $\text{N}_2$  se puede decir que las desviaciones no son tan significativas para las muestras, teniendo en cuenta que cada modelo tiene sus propias consideraciones y no hay un modelo absoluto para calcular áreas superficiales. Las consideraciones de este modelo es que el líquido solo moja la superficie y no se considera el llenado de los microporos.

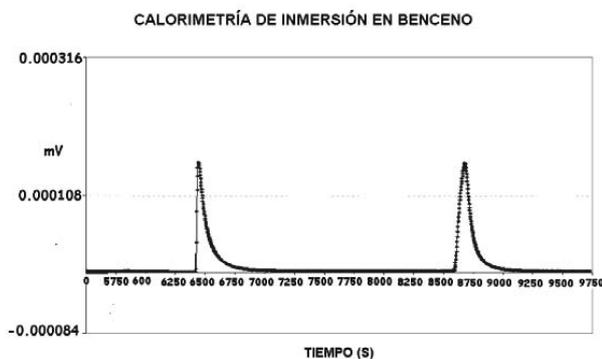


Figura 7. Calorimetría de inmersión de la serie MFDH32.

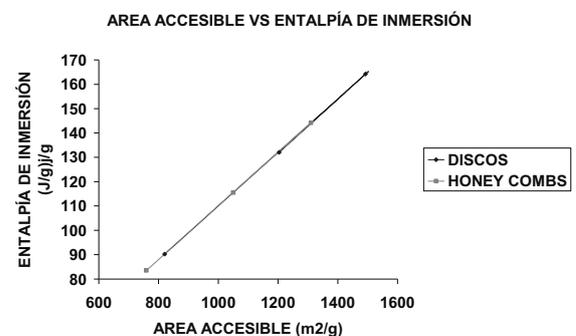


Figura 8. Relación entre el Área accesible y la entalpía de inmersión de discos y honeycombs.

**TABLA III**

Datos calorimetrías para las muestras seleccionadas.

Muestra	$-\Delta H_{\text{inm}}$ de la molécula sonda ( $\text{Jg}^{-1}$ )	$-\Delta h$ específica de la molécula ( $\text{m}^2\text{J}^{-1}$ )	SBET ( $\text{m}^2\text{g}^{-1}$ )	Sacc ( $\text{m}^2\text{g}^{-1}$ )
Negro de carbono	3,36	0,110	30,6	30
MFD120	90,25	0,110	821	820
MFD132	164,21	0,110	1523	1492
MFD148	132,04	0,110	1206	1203
MFH220	83,52	0,110	726	759
MFH232	144,13	0,110	1315	1310
MFH248	115,53	0,110	1170	1050

**CONCLUSIONES**

El uso de  $\text{ZnCl}_2$  como agente impregnante es un buen método para la síntesis de monolitos de carbón activado utilizando como material precursor cáscara de coco, las estructuras que se obtiene poseen buenas características, estas se logran gracias al calentamiento que se realiza en los diferentes procesos de obtención y se recomienda su uso para la adsorción de diferentes compuestos. La temperatura de conformado por prensado de las partículas del precursor es un aspecto clave para la síntesis de las estructuras siendo  $150\text{ }^\circ\text{C}$  la temperatura apropiada, ya que a esta temperatura la pérdida de materia volátil es escasa y esto favorece la resistencia. Diez series de monolitos de carbón (discos y honeycombs) fueron preparadas, obteniendo áreas BET entre  $702\text{ m}^2\text{g}^{-1}$ – $1523\text{ m}^2\text{g}^{-1}$ , con un volumen de microporo entre  $0,38\text{ cm}^3\text{g}^{-1}$ – $0,79\text{ cm}^3\text{g}^{-1}$ . Las mejores características fueron obtenidas en las series MFD132 (discos) y MFH232 (honeycombs) las cuales se sintetizaron en las mismas condiciones, variando únicamente la forma de los monolitos. Se evaluó la influencia del radio de impregnación en el área BET y volumen de microporo encontrando un valor máximo en el desarrollo de la microporosidad y área a un rango de  $0,3\text{ Xg}_{\text{Zn}}/\text{g}$  coco, así mismo se observó el aumento del rendimiento en el proceso de carbonización a mayor rango de impregnación, atribuido a una mayor masa residual disponible para la carbonización debido a una mayor cantidad de materia volátil retenida como lo muestra el análisis termogravimétrico. Además se estudió la influencia de la presión de conformado por prensado de las partículas del precursor en el área y volumen de microporo encontrando que a una mayor presión se obtiene menor volumen de microporo y mayor área BET.

Finalmente las calorimetrías de inmersión en benceno mostraron una relación directamente proporcional entre el área accesible y la entalpía, además los valores del área determinados mediante dos técnicas diferentes (Adsorción Física

de  $\text{N}_2$  a  $77\text{ K}$  y calorimetría de inmersión) no presentan desviaciones tan significativas para las muestras, teniendo en cuenta que cada modelo tiene sus propias consideraciones y no hay un modelo absoluto para calcular áreas superficiales.

**AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen al convenio Marco existente entre las Universidades de Los Andes (Colombia) y la Nacional de Colombia. Adicionalmente al Fondo de Investigaciones «Proyecto Semilla» de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes (Colombia) por la financiación parcial de esta investigación. Adicionalmente el Prof. Moreno desea agradecer a la Universidad de los Andes, por la asignación del STAI, periodo que empleo parcialmente para finalizar este trabajo.

**BIBLIOGRAFÍA**

(1). Uribe, Tomás; Rojas, Néstor; Moreno, Juan C. En ciencias.uniandes.edu.co/pdf/lodos05.pdf, 1999.  
 (2). M. Yates.; J. Blanco; P. Avila y M.P. Martin. *Microporous and Mesoporous Materials*, **37**, 201-208, 2000.  
 (3). Peng, Y.L.; Tao, T.; Williams, J.L. *Carbon.*, **99**, 24th Biennial Conference on Carbon, Charlotte, 450-451, 1999.  
 (4). Nakagawa, Y.; Molina-Sabio, M.; Reinoso, F. *Microporous and mesoporous materials*, 2007.  
 (5). Medina Álvarez, B.F.; Villegas Aguilar, P.J.; de las Posas del Río, C.E. Centro de Estudio de Termo energética Azucarera, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas-La Plata, Argentina, 2003.  
 (6). Rodríguez-Reinoso, Francisco; C. Almansa; M. Molina-Sabio. Universidad de Alicante. Patente: 2165784, 2003.  
 (7). González, M.T.; Sepúlveda Escribano, A.; Molina-Sabio, M.; Rodríguez-Reinoso, F. *Langmuir*, **11**, 2151-2155, 1996.  
 (8). Modorsky, S.L.; R.E. Krieger. Publicado Co. Melbourne, USA, 238-261, 1975.  
 (9). Cytel. Agencia Iberoamericana de cooperación para el desarrollo. Libro contenedor de una compilación de trabajos de de la Red Temática V. F.: Red Iberoamericana de Adsorbentes para la Protección Ambiental. Editado por Francisco Rodríguez-Reinoso (ISBN: 84 - 96023 - 37 - 0). Noviembre, 2005.  
 (10). C. Almansa; M. Molina-Sabio; F. Rodríguez-Reinoso. *Microporous and Mesoporous material*, **76**, 185-191, 2004.  
 (11). F. Cartula; M. Molina-Sabio; F. Rodriguez-Reinoso. *Carbon*, **4**, 2113, 2003.  
 (12). D. Lozano-Castelló; D. Cazorla-Amorós; A. Linares-Solano; D.F. Quinn.; *Carbón.*, **40**, 2817-2825, 2002.  
 (13). Ruth, Ubago-Pérez; Francisco, Carrasco-Martin; David, Fairén-Jiménez; Carlos, Moreno-Castilla. *Microporous and Mesoporous Materials*, **92**, 64-70, 2006.  
 (14). Silvestre, Albero J.; Gómez de Salazar, C.; Sepulveda Escribano, A.; Rodríguez-Reinoso, F. *Colloids and surfaces*, 151-165, 2004.