



Carbón Activado para la Purificación de Gases: Alternativa para Mejorar la Calidad del Aire en las Ciudades

María De La Hoz¹, Analjorie Lugo², Jeison Sarmiento³
marydontiveros@gmail.com¹, alugo@unimet.edu.ve², jeisone.sarmiento@gmail.com³
¹²³ Departamento de Construcción y Desarrollo Sustentable, Universidad Metropolitana, Caracas, Venezuela

Historia del Artículo

Recibido: 24 de abril de 2019

Aceptado: 26 de junio de 2019

Disponible online: 29 de julio de 2019

Resumen: El carbón activado es un material versátil debido a su porosidad y capacidad de adsorción de moléculas, características que varían de acuerdo al método de activación empleado; en la presente investigación se sintetizó carbón activo impregnando conchas de coco y cáscaras de naranja con ácido fosfórico (H_3PO_4) al 23,54% m/m, a una temperatura de carbonización de 450°C y 650°C, resultando un material capaz de adsorber dióxido de carbono (CO_2), producto de la postcombustión de un automóvil. En la primera fase se realizó un análisis fisicoquímico del adsorbente, éste fue expuesto a CO_2 gaseoso para determinar la posible adsorción del mismo, mediante el desplazamiento de una columna de agua; además, haciendo uso de la isoterma de Langmuir se halló un área superficial específica de 796 m^2/g . La segunda etapa se diseñó un sistema que integraba tanto soluciones alcalinas como carbón activo para cuantificar la adsorción de CO_2 , proveniente de la postcombustión del automóvil seleccionado; dicho sistema fue evaluado en tres tiempos de corrida distintos para una aceleración constante en los cuales se determinaron las cantidades del CO_2 emitido por el automóvil y el adsorbido por el carbón activado. Por último, el carbón activo, saturado con CO_2 , se sometió a una agitación constante en agua destilada a una temperatura entre -5 y 5°C, con la finalidad de favorecer la solubilidad de dicho gas en la solución; esto y la medición de pH, permitió la cuantificación del gas mediante la valoración con hidróxido de sodio del ácido carbónico, producto de la reacción química entre el CO_2 y el agua. Asimismo, se estimó el porcentaje de remoción de CO_2 en las corrientes de gases estudiadas, siendo éste aproximadamente 90% en la mayoría de los casos.

Palabras Clave: Carbón activo; preparación de carbón activo; caracterización de carbón activo, gases de combustión, adsorción de gases; dióxido de carbono.

Activated Coal for Gas Purification: Alternative to Improve Air Quality in Cities

Abstract: Activated Carbon is a versatile material due to its porosity and molecule adsorption capacity; properties that vary according to the activation method used. The aim of the current investigation is to determine the effectiveness of activated charcoal adsorption in carbon dioxide gas reduction; for this purpose, the activated carbon was synthesized by impregnating coconut shells with H_3PO_4 at 23.54% w/w at 650°C; producing a material capable of

adsorbing carbon dioxide (CO₂), gas product of automobile combustion. The first phase of the research conducted was the characterization of the adsorbent: it was exposed to gaseous CO₂ to determine its possible adsorption by measuring the displaced volume in a water column; additionally, the Langmuir Isothermal was used to calculate the surface area of the material, which resulted in 796 m²/g. The second phase covered the design of a system that integrated alkaline solutions as well as activated carbon to quantify the adsorption of CO₂ that was emitted from a selected automobile. This system was evaluated at 3 different times with constant acceleration to average both the emitted as well as the adsorbed CO₂. In the last stage of this research, the activated carbon, saturated with CO₂, had to undergo constant agitation in distilled water at a temperature between -5°C and 5°C to promote the solubility of the gas in water. This, and the pH measurement, led to the quantification of the gas by titration of the generated carbonic acid with standard sodium hydroxide, the first one a product of the chemical reaction between the CO₂ and water. As a result, the percentage of removed CO₂ from the selected gas current was estimated, representing around 90% in most cases.

Keywords: Activated carbon; preparation of activated carbon; characterization of activated carbon; combustion gases; gas adsorption, carbon dioxide.

I. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

La demanda de automóviles que trabajan con motores de combustión interna de gasolina se ha incrementado en el último siglo, generando consecuencias desfavorables para el medioambiente, debido a que provocan un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, que producen el incremento tanto de la temperatura atmosférica como de la superficie terrestre; aunado a esto, afecta de manera considerable el aire de las ciudades urbanas, causando efectos negativos en el ecosistema.

En vista de esta problemática, se establecieron medidas para controlar y regular las emisiones de dichos gases y así, generar un menor impacto sobre el medio ambiente. Los fabricantes de automóviles concluyeron que la mejor manera de controlar las emanaciones de los gases era mediante un método de conversión catalítica, por tanto, fue integrado en el diseño de los vehículos una estructura física, la cual contiene un material catalizador impregnado de diversos compuestos inertes, con la capacidad de oxidar los hidrocarburos y el monóxido de carbono (CO) presentes, como también reduce las emisiones de óxidos de nitrógeno a nitrógeno molecular (N₂) [7]. Aunque éste proporciona un control muy eficiente, al transformar el CO en dióxido de carbono (CO₂), se produce un mayor flujo de este último; generando inquietud, debido a que se prevé para el 2020 una cantidad de CO₂ en el medio ambiente aproximadamente de 5100 millones de toneladas [13].

Uno de los problemas ambientales más relevantes en la actualidad con efectos dañinos en la salud de los seres vivos [11], es la acumulación en altas concentraciones del CO₂ atmosférico proveniente de los medios de transporte terrestre, lo que perjudica la calidad del aire en las ciudades urbanas. Por lo tanto, es de suma importancia la investigación de nuevos métodos que permitan la reducción de las emisiones de CO₂ de los vehículos para mejorar la calidad de vida en las ciudades [7].

El diseño de materiales porosos adecuados para la captura selectiva de CO₂ es uno de los retos más importantes en química medioambiental, entre ellos los materiales de carbón han mostrado buenos resultados, tanto en términos de capacidad de adsorción como selectividad hacia la adsorción preferencial de CO₂ frente a moléculas de dimensiones similares [16].

El carbón activo es un producto que, debido a su estructura extremadamente porosa, puede llegar a desarrollar áreas superficiales de gran magnitud, ello facilita la adsorción de diversos compuestos químicos que pueden estar tanto en fase gaseosa como líquida. Esta capacidad de adsorción le proporciona atributos que pueden ser aplicados en diversas áreas [5].

Además, éste tiene aplicaciones industriales que involucran el tratamiento de efluentes, que le permiten alcanzar los valores permisibles en el desecho de aguas residuales, así como en la recuperación de solventes, eliminación de colorantes y la eliminación de malos olores [1]. A su vez, el carbón activo es utilizado como filtro, especialmente en la recuperación de gases y en el control de las emisiones [5].

El carbón activado se elabora partiendo de materia prima con un alto contenido de carbono, tal que el uso de residuos, como las cáscaras de naranja y conchas de coco, se presentan como una opción viable, tanto económica como técnicamente.

II. OBJETIVOS

Por lo tanto, los objetivos específicos de este trabajo de investigación consistieron en:

- Elaborar carbón activado a partir de conchas de coco y cáscaras de naranja con el fin de adsorber CO_2 .
- Seleccionar el carbón activado con mayor capacidad de adsorción aplicando las pruebas experimentales correspondientes.
- Selección de la metodología experimental para la determinación de la cantidad de CO_2 adsorbido por el carbón activo.
- Diseñar el sistema para la captura del CO_2 emitido por el tubo de escape de un automóvil.

Siendo el objetivo final, la evaluación de la capacidad de adsorción del CO_2 proveniente de la combustión de gasolina de 95 octanos con carbón activado.

III. INVESTIGACIONES PASADAS Y ESTADO DEL ARTE

La investigación bibliográfica permitió identificar los tipos de activación y las aplicaciones del carbón activo, las pruebas a realizar para su caracterización y para la determinación del CO_2 adsorbido por el material a estudiar.

Inicialmente, se abordaron las investigaciones concernientes a los posibles materiales para la estructuración del carbón activado, la cual arrojó que existe una amplia variedad de materia prima para la fabricación del mismo, debido a que el carbón activado es materia carbonizada de origen vegetal o mineral, con la cualidad de poseer un alto porcentaje de carbono, como es el caso de los materiales lignocelulósicos. Entre los materiales lignocelulósicos más utilizados para este propósito, se encuentran las cáscaras y residuos de frutas, huesos de nueces, fibra de coco, al igual que desechos agrícolas de origen maderero, en donde se puede mencionar el aserrín y el bambú.

Cabe destacar que la naranja es una de las frutas más producidas en el mundo, cuya producción de naranjas prevista en 2010 fue de 66,4 millones de toneladas, por lo que se puede deducir que actualmente se genera una gran cantidad de material

residual [15]. Por otro lado, en la industria el coco se aprovecha sólo el 17% y lo demás se desecha [12]. Por lo tanto, en vista de que se le puede sacar provecho a ambos materiales residuales y éstos son accesibles en la ciudad de Caracas, en el presente estudio, los materiales lignocelulósicos escogidos para la obtención de carbón activado fueron la cáscara de la naranja y la concha de coco.

Los materiales seleccionados fueron sometidos a un proceso de activación, que se puede realizar mediante la "reacción de un material carbonizado con gases oxidantes o mediante la carbonización de un material lignocelulósico impregnado con agentes químicos deshidratantes [9]. Sin embargo, el carbón sintetizado químicamente es propicio para la retención de moléculas apolares, como es el caso del CO_2 , y de alto volumen molecular; por lo que se optó por la activación química.

En la investigación bibliográfica realizada por Martín-González, Susial, Pérez-Peña y Doña-Rodríguez titulada "Preparación de carbones activados a partir de hojas de platanera mediante activación química con ácido fosfórico. Adsorción de azul de metileno" se proporciona una metodología experimental detallada, la cual consiste en un proceso de acondicionamiento, secado, impregnación con reactivos químicos, carbonización y lavado de materia prima para la producción de carbón activo; esta investigación se adecuó a las materias primas seleccionadas [14]. Luego, para determinar la capacidad adsorbente de los carbones sintetizados con dicha metodología, los autores realizaron pruebas de adsorción de una solución de azul de metileno con el carbón activo obtenido.

Talanquer y Tubert en su trabajo titulado "Sobre adsorción" repasa los términos básicos relacionados a la adsorción, sus tipos y métodos de estudio, en donde declaran que "una de las técnicas más sencillas para analizar el grado de adsorción de un material sobre un adsorbente consiste en trabajar con disoluciones de un adsorbato a diferentes concentraciones". Por lo tanto, establecen una metodología experimental para el cálculo del área superficial específica mediante la aplicación de la Isoterma de Langmuir, en donde se hace uso de soluciones de ácido acético a diversas concentraciones y una disolución de hidróxido de sodio para realizar las valoraciones correspondientes [17].

Estas dos investigaciones referenciadas fueron tomadas como base teórica para la adaptación y estructuración de la metodología experimental utilizada en esta investigación.

IV. METODOLOGÍA

A. *Elaboración de carbón activado a partir de conchas de coco y cáscaras de naranja*

Como se mencionó previamente, la metodología expuesta por Martín-González, Susial, Pérez-Peña y Doña- Rodríguez fue seguida para la preparación del carbón activo, en donde se establece una etapa previa de acondicionamiento de la materia prima, removiendo todo material innecesario para trabajar exclusivamente con el endocarpio proveniente del coco y el flavedo de la naranja. Posteriormente, ambos fueron sometidos a un proceso de lavado, secado a temperatura ambiente y posterior trituración, para alcanzar un tamaño de partículas promedio entre 2,39 y 4,39mm.

Seguidamente, la activación química consistió en la impregnación con ácido orto-fosfórico al 23,54% m/m de la materia prima, en una relación de 100 ml de ácido por 10 gramos de muestra, agitada por 2 horas; dicho proceso fue realizado bajo condiciones dadas de temperatura, agitación y tiempo de reposo, cuyos valores fueron 25°C, 100 rpm y 7 días respectivamente. Luego, se realizó una filtración por gravedad con el propósito de separar las muestras de la solución en la cual se encontraban inmersas.

Las muestras filtradas se introdujeron dentro de un horno para el inicio del proceso de carbonización, primero por un período de 24 horas a una temperatura controlada de 106°C y después 24 horas más a 168°C. Consecutivamente, se separaron las muestras por material de procedencia, y a su vez, éstas se dividieron en dos partes iguales, para someter cada una a un proceso de carbonización en una mufla a distintas temperaturas, 450°C y 650°C.

El material resultante fue lavado con agua destilada e hidróxido de sodio (NaOH) 0,1M para remover los residuos ácidos en el mismo, manteniendo un control constante de pH. Una vez culminado este proceso, se secaron las muestras en una estufa a una temperatura de 120°C por 24 horas, con la finalidad de eliminar los restos de agua que pudiesen haber retenido las muestras. Una vez obtenido el producto deseado, se realizaron diversas pruebas para determinar la capacidad de adsorción de CO₂ del adsorbente, evaluando las temperaturas de carbonización y área superficial específica obtenida para cada uno.

B. *Pruebas de caracterización del carbón activado para su selección*

Inicialmente, se realizaron pruebas de adsorción de un colorante en solución (azul de metileno) a distintas concentraciones, donde, a un tiempo determinado y a una agitación constante, se forzaba el contacto directo entre las soluciones y el carbón activo, con la finalidad de determinar la concentración final de las soluciones haciendo uso de la absorbancia de las muestras empleando un espectrofotómetro UV.

Posteriormente, se procedió al cálculo del área superficial específica de los carbones sintetizados, que se realizó en diversas etapas. La primera consistió en la preparación de soluciones de ácido acético a distintas concentraciones que iban de 0,15M a 0,06M; la segunda comprendió el contacto forzado entre las disoluciones y el adsorbente, sometidas a una agitación constante en un baño termostático por un tiempo y temperatura controlada de 1 hora y 30°C. La siguiente fase se constituyó en el análisis de las soluciones una vez acabado el tiempo de contacto, filtrándolas para su posterior valoración con NaOH 0,1M. Los resultados de las titulaciones se usaron para aplicar la siguiente ecuación:

$$\frac{C}{X} = \frac{C}{N} + \frac{1}{KN} \quad (1)$$

En donde:

- X representa los moles adsorbidos por gramo de carbón activo.
- C representa la concentración de la solución acuosa en el equilibrio.
- K es el coeficiente de adsorción.
- N es la cantidad máxima de adsorbato que se puede adsorber en un gramo de carbón activado.

N se determina a partir de la pendiente de la ecuación, mientras que K se calcula a partir del punto de corte con el eje de las ordenadas. Estos valores, permiten el cálculo del área por gramo de carbón, de la siguiente manera:

$$A = N * N_o * \sigma * 10^{-20} \quad (2)$$

En donde:

- $N_o N_o$ es el número de Avogadro, $6,02 * 10^{23}$ moléculas
- $\sigma \sigma$ es el área de adsorción del adsorbato en unidades de Angstroms cuadrados (Å^2).

C. *Selección de la metodología experimental para la determinación de la cantidad de CO₂ adsorbido por el carbón activo.*

Luego de inferir qué materia prima sería la más ideal como precursora para la elaboración de carbón activo, dichas muestras fueron expuestas a una prueba de verificación de adsorción de CO_2 ; para ello se ensambló el siguiente sistema:

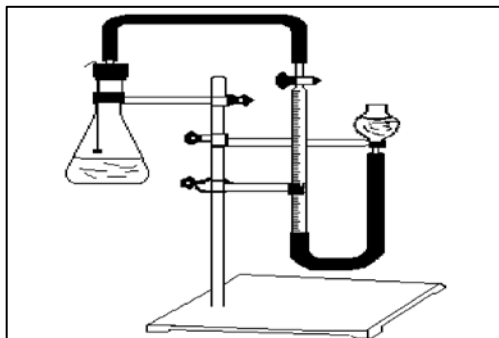
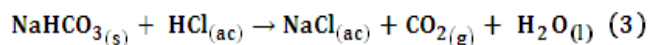


Figura 1: Sistema armado para el experimento con ENO Seltzer. **Fuente:** Elaboración propia

En éste se dispuso de una ampolla con un tubo neumométrico que se rellenó con una solución saturada de CO_2 , para asegurar que no hubiese absorción del gas en la misma; se comprobó que no existiesen fugas en el equipo, se preparó una fiola Erlenmeyer y se adicionaron 5 ml de ácido clorhídrico (HCl) y un pedazo de ENO Seltzer colgando con un hilo, entre 0,1 y 0,2 gramos. Se igualó la presión del sistema a la presión atmosférica y se cerró el sistema. Se puso en contacto el pedazo de ENO Seltzer con el ácido, que reaccionaban de la siguiente manera:



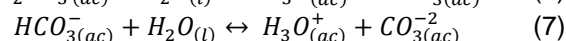
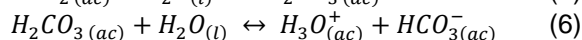
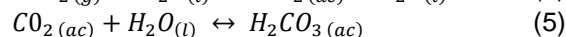
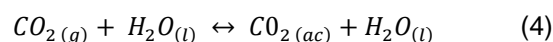
El gas desprendido hacía desplazar la columna de agua en el tubo neumométrico, se tabuló el volumen desplazado y, mediante la relación estequiométrica, se procedió a calcular los moles de CO_2 formados.

Este proceso se realizó nuevamente, integrando un pequeño tubo de vidrio en forma de L, que se acoplaba entre la fiola Erlenmeyer y el tapón de la misma. En esta elongación se dispuso de la malla de lana de vidrio con carbón activado, para que éste se pusiera en contacto con el CO_2 desprendido.

Una vez culminado el ensayo, se traspasaba la lana de vidrio que integraba el carbón activo a un matraz Erlenmeyer de 250 ml que contenía 50 ml de agua una temperatura entre -5°C y 5°C . Éste se tapaba y se agitaba la fiola por unos minutos; luego, se medía el pH de la solución para verificar su carácter ácido, tal que un pH menor a 5 confirmaba la existencia de ácido carbónico, un pH mayor a este demostraba la presencia de otros subproductos de reacción. Esta solución fue posteriormente titulada con NaOH 0,1M

utilizando fenolftaleína como indicador hasta llegar al punto final, evidenciado por el cambio de color del indicador.

Con los datos de los volúmenes de la titulación se calcularon los moles de ácido carbónico. Mediante las reacciones de equilibrio descritas a continuación, basadas en la interacción del CO_2 y el agua, se determinaron los componentes en solución en el estado de equilibrio.



Al realizar el análisis del equilibrio, siguiendo la ley de la conservación de la masa, los moles finales son los moles iniciales de la reacción, es decir, los moles de CO_2 acuoso, por lo que si se despejaban los moles totales se podían obtener inmediatamente los moles de CO_2 .

D. Diseño del sistema para la captura de CO_2 emitido por el tubo de escape de un automóvil.

El automóvil ideal era aquel que utilizara gasolina 95 octanos, con una perfecta inyección de gasolina, una combustión interna lo bastante ideal y que poseyera catalizador; por lo tanto, se escogió un vehículo que cumpliera con dichos requisitos, el cual fue un KIA Sportage año 2017, versión SXL, el cual posee un catalizador en el lado derecho del automóvil, con una longitud de 765 mm.

Asumiendo que el automóvil recorre 15.000 kilómetros al año en una ciudad, las emisiones de CO_2 son de 201 g/km, estimando una emisión anual de 3.015 kg, con una emisión de contaminantes al aire muy baja [6].

Por otro lado, una vez finalizados los ensayos previos, se comenzó a diseñar el sistema de captura de CO_2 emitido por el tubo de escape del automóvil seleccionado; fueron evaluadas distintas alternativas, de manera tal que el prototipo final consistió en la unión de varias técnicas.

Al inicio, era necesario escoger un material que permitiera retener en su interior el carbón activo sin que se perdiera parte del mismo debido al tamaño de las partículas; como también que posibilitara el paso de los gases a estudiar. Por lo tanto, se consideraron dos materiales distintos, lana de vidrio y felpa fina, que se utiliza mayormente como envoltura para los Compact Disc (CD). Luego de tomar distintas muestras de carbón activo y colocarlas dentro de los materiales en cuestión,

se evidenció que el material más óptimo era la felpa fina, por lo que se procedió a realizar mallas de felpa que contuvieran el carbón y permitieran el paso de los gases a estudiar, como se muestra en la siguiente figura.

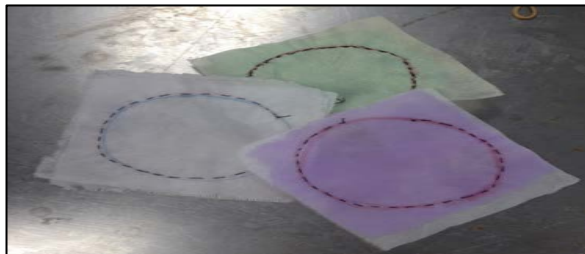


Figura 2: Mallas de felpa. **Fuente:** Elaboración propia

Aunado a esto, una de las metodologías más prometedoras en la cuantificación de CO₂ presente en las muestras de gases es el uso de soluciones alcalinas, ya que su contacto permite la formación de iones carbonato y bicarbonato. Éstos pueden ser determinados mediante una titulación con ácido clorhídrico (HCl), haciendo uso de indicadores que tengan un rango de viraje distinto, como es el caso de la fenolftaleína y el azul de bromofenol.

En este caso, como se está en presencia de una solución alcalina, inicialmente el ácido clorhídrico neutraliza la base presente y luego los iones carbonatos, todo esto ocurre dentro del rango de viraje de la fenolftaleína, por lo tanto, el volumen consumido representa a la neutralización de la base y de los carbonatos. Sin embargo, el volumen consumido en la segunda titulación, en presencia del azul de bromofenol, representa el volumen necesario para la neutralización de los iones bicarbonatos. Al estar en una relación 1:1 con los carbonatos, el volumen requerido para la neutralización de los iones carbonatos es el mismo. Al haberse consumido más ácido en la primera titulación, el resto representa el volumen necesario para la neutralización de la base presente. Ya sabiendo los moles formados de iones carbonatos y bicarbonatos se pueden determinar los moles de CO₂ iniciales. Para determinar la efectividad del método, se conectaron dos fiolas Erlenmeyer de 250ml con un tubo de plástico; un matraz contenía una solución alcalina, mientras que el otro tenía HCl. Este último, en contacto con bicarbonato de sodio, generaba dióxido de carbono que, al fluir por el tubo, entraba en contacto con la solución alcalina, reaccionando y permitiendo la cuantificación del mismo.

Por lo tanto, el prototipo utilizado consistió en la conexión de una trampa de gases, que contenía la

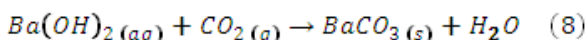
solución alcalina, a una manguera de goma que se encontraba conectada, a su vez, a una botella que contenía en su interior la malla de carbón activado realizada con felpa; ésta estaría en contacto directo con los gases emitidos por el tubo de escape del automóvil.



Figura 3: Sistema ensamblado para adsorción de CO₂ emitido por el automóvil. **Fuente:** Elaboración propia

Al haber culminado la experiencia se procedió a la aplicación de las siguientes metodologías; primero, se pesaba la malla de carbón inicialmente y luego de haberse puesto en contacto con los gases, para determinar si hubo un aumento en peso, lo que indicaba que hubo adsorción de moléculas. Luego, se realizó la titulación de ácido carbónico explicada anteriormente, para verificar la cantidad de CO₂ adsorbido por el carbón activo. Además, se ponía en práctica la metodología experimental para la titulación de los iones carbonatos y bicarbonatos mencionada previamente, con la finalidad de cuantificar el CO₂ no adsorbido.

A su vez, fue de suma importancia establecer un valor promedio que representara la cantidad emitida, en condiciones normales, de CO₂ por el automóvil. Para encontrar dicho valor se hizo uso de una solución de hidróxido de bario que, al estar en contacto directo con el gas de combustión del automóvil, formaba un precipitado de aspecto blanco y lechoso; éste se recolectaba y era filtrado cuidadosamente. El carbonato de bario resultante de esta reacción era secado en un ambiente libre de humedad para su posterior pesada, lo cual permitía hallar los gramos de carbonato formados y, haciendo uso del peso molecular del carbonato de bario, se calculaban los moles del mismo. Finalmente, se calculaban los moles de CO₂ que reaccionaban en base a la relación estequiométrica 1:1 entre el carbonato de bario y el CO₂.



Luego, se implementaron cada una de las pruebas correspondientes para la cuantificación del CO₂ tanto adsorbido como no adsorbido por el carbón activo, haciendo pruebas de 3000 rpm en 30, 20 y 10 segundos.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Figura 4 se puede evidenciar tanto muestras del carbón activo fabricado usando cáscaras de naranja, así como aquellas elaboradas a partir de conchas de coco como materia prima precursora, ambas muestras sometidas a dos temperaturas de carbonización, 450°C y 650°C, que son las utilizadas en la metodología seguida.

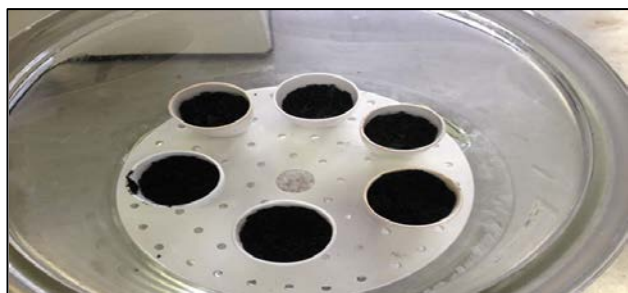


Figura 4: Dos muestras de carbón activo, aquellas fabricadas con cáscaras de naranja y las elaboradas con conchas de coco. **Fuente:** Elaboración propia

Al final del proceso de activación, todas las muestras de coco presentaron una coloración negro opaco; mientras que las de naranja tenían un poco de brillo. Dichas muestras fueron sometidas a pruebas que permitieran su caracterización, con la finalidad de poder determinar cuál material y temperatura de activación presentaba mayor capacidad de adsorción de CO₂; las mismas se explican a continuación:

El primer ensayo realizado para la caracterización del carbón, la adsorción en distintas soluciones de azul de metileno, permitió evaluar las condiciones de temperatura a la que se sometieron las muestras en el proceso de activación; mostró, de manera cualitativa, la eficiencia de la remoción del colorante utilizado, al evidenciarse una decoloración instantánea de las soluciones al momento del contacto. Resultados que se pueden visualizar en las Figuras 5 y 6:

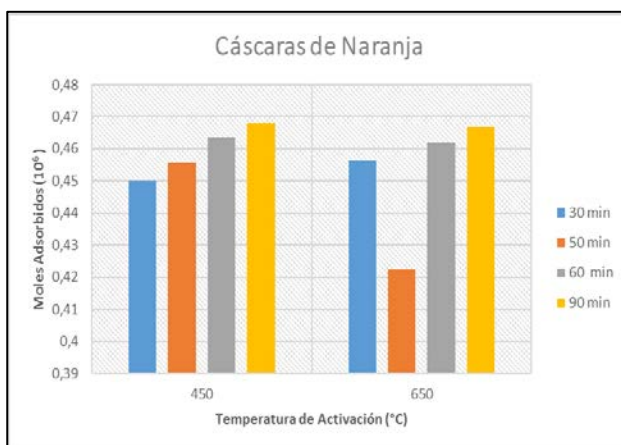


Figura 5: Moles adsorbidos de azul de metileno a diferentes tiempos de contacto por carbón activo procedente de cáscaras de naranja a ambas temperaturas de activación. **Fuente:** Elaboración propia

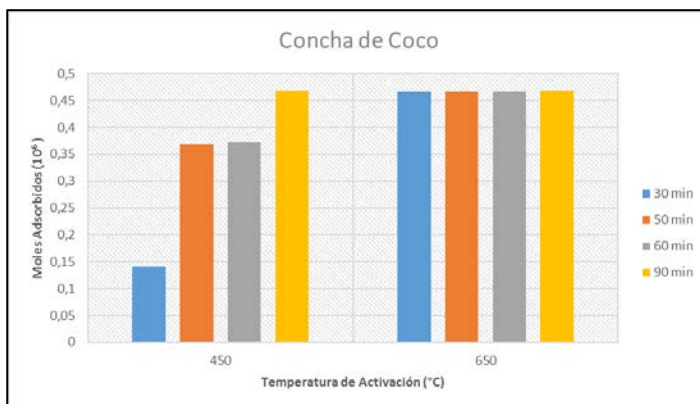


Figura 6: Moles adsorbidos de azul de metileno a diferentes tiempos de contacto por carbón activo procedente de conchas de coco a ambas temperaturas de activación. **Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar, a una temperatura de carbonización de 450°C, ambas muestras de carbón presentaron un comportamiento progresivo respecto a la adsorción del colorante en función del tiempo.

Por otro lado, se evidencia que la adsorción del colorante de las muestras carbonizadas a 650°C tiene comportamientos distintos, ya que, la elaborada a partir de cáscaras de naranja removió casi en su totalidad el colorante en el menor tiempo evaluado, infiriendo que alcanza el equilibrio adsorbato-adsorbente al momento de finalizar la prueba. Mientras que las muestras de conchas de coco alcanzaron dicho equilibrio en un tiempo menor al evaluado, hecho que se afirma al no evidenciarse cambios en la adsorción del colorante en todos los puntos de prueba.

También se continuó con la caracterización de las muestras, haciendo uso de la Isoterma de Langmuir y su respectivo ensayo, estimando así el área superficial

específica de los carbones haciendo uso de la ecuación 2, resultados que se muestran en la Tabla I.

Tabla I: Resultado de las áreas superficiales específicas de los carbones activados a base de ambas materias primas y temperaturas de activación

Muestras activadas a 3h	Área Específica [m ² /g]
Carbón activo de conchas de coco activado a 450°C	617 ± 94
Carbón activo de cáscaras de naranja activado a 450°C	1121 ± 345
Carbón activo de conchas de coco activado a 650°C	707 ± 104
Carbón activo de cáscaras de naranja activado a 650°C	815 ± 103

En este experimento, cabe destacar que cada uno de los adsorbentes analizados presentaron excelentes resultados; sin embargo, se puede observar que el carbón activo que presentó una mayor área superficial fue el precedente de las cáscaras de naranja activado a una temperatura de 450°C, seguido por la naranja activada a 650°C, el coco activado a 650°C y finalmente el coco activado a 450°C.

La variación en los resultados se debe a que el proceso de activación y la naturaleza del material precursor generan ciertas diferencias que influyen en el tamaño de los poros. Como se mencionó previamente, para estos dos experimentos se emplearon disoluciones a distintas concentraciones, tanto de ácido acético como de azul de metileno, cuyas superficies estimadas consisten en 21 (A²) y 130 (A²); esto indica que ambas son moléculas de tamaño considerable con respecto a otras.

Los carbones elaborados a partir de cáscara de naranja tienden a ser mesoporosos, presentando buena capacidad de adsorción de moléculas de tamaño medio, como lo son olores y colores [8]. Este hecho se afirma en este trabajo de investigación, ya que las muestras de carbón provenientes de dicho material se mostraron eficaces en la adsorción de las soluciones previamente mencionadas.

En cambio, el rendimiento de las muestras de carbón activo partiendo de la concha de coco mostró un comportamiento variable. Esto se puede deber a que los carbones de concha de coco son característicos por tener una mayor microporosidad, por lo que son aplicados principalmente en la purificación de aire y gases, ya que los contaminantes ambientales en estado gaseoso tienen diámetros moleculares pequeños, que pueden ser adsorbidos en microporos

[2]. Esto pudo haber influenciado en los resultados de los experimentos realizados, ya que, si las moléculas poseían gran tamaño, el carbón pudo haber adsorbido parte de ellas, pero no en su totalidad, ya que el tamaño de los poros no le hubiese permitido el paso a través de la estructura interna del carbón.

A su vez, el aumento de la temperatura durante la impregnación fomenta el proceso de pirólisis, el cual produce un rompimiento de enlaces y, por consecuencia, una expansión de poros, lo que representa una propiedad del sólido relevante en el proceso de adsorción, ya que determinará la superficie accesible para la masa del adsorbato, de manera tal que, mientras exista una gran cantidad de poros de tamaño pequeño, aumenta el potencial de adsorción del adsorbente. La deshidratación y degradación del material favorece las reacciones de condensación aromática entre las moléculas adyacentes, con su consiguiente evolución de productos volátiles gaseosos, que son liberados. Por lo tanto, la porosidad desarrollada a una temperatura de 650°C permite una mayor capacidad de adsorción a comparación con el carbón activado a 450°C.

Por consiguiente, se infiere que la concha de coco, como precursor para la fabricación de carbón activo, es un material que beneficia a la agroindustria en el manejo ambiental de desechos, entre los cuales se puede mencionar el control de emisiones, entre ellas, la emanación de CO₂, que es el objetivo de este estudio [3].

Por lo tanto, se realizaron las pruebas piloto para la verificación de la adsorción de CO₂ ensamblando el sistema previamente explicado. Al evaluar el volumen que se había desplazado la columna de agua se pudo estimar la cantidad de CO₂ que se había adsorbido teóricamente; luego, al realizar la respectiva titulación con NaOH de la solución problema, se evaluó la eficacia de la valoración al cuantificar cuánto CO₂ se había adsorbido, pudiendo medir el rendimiento del método seleccionado, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla II. Rendimiento de la valoración de CO₂ adsorbido por el carbón activado a 0°C en pruebas piloto con ENO Seltzer

N ± 0,01 [mmol/g]	Nv [mmol/g]	R [%]
5,68	3,10 ± 0,10	55,63 ± 0,03
5,43	3,80 ± 0,10	71,47 ± 0,03
5,31	2,15 ± 0,04	40,44 ± 0,02
2,02	2,01 ± 0,02	99,39 ± 0,02
2,15	1,88 ± 0,02	87,44 ± 0,02

2,05	1,77 ± 0,02	86,40 ± 0,02
------	-------------	--------------

Donde,

- **N** es Moles de CO₂ Teóricos Adsorbidos por Gramo de Carbón
- **Nv** es Moles de CO₂ por Gramo de Carbón Determinados por Valoración
- **R** es Porcentaje de Rendimiento del Método de Valoración

Sin embargo, dicho rendimiento se ve directamente afectado por las condiciones del sistema y las diversas reacciones en equilibrio presentes en el mismo (ecuaciones 4, 5, 6 y 7); la primera de las reacciones mencionadas consiste en el equilibrio entre la fase líquida y la fase gaseosa del CO₂ al entrar en contacto con el agua; a su vez, ésta se ve influenciada por la temperatura del agua en cuestión y la solubilidad del gas en la misma.

En primera instancia, la ecuación 4 posee una entalpía de -19,391 kJ/mol, lo cual indica que es una reacción exotérmica; por lo tanto, tomando en cuenta que el principio de Le Chatelier afirma que, si una reacción es exotérmica y se aumenta la temperatura, el sistema regresará a la condición de equilibrio y éste se desplazará a la formación de reactivos, se dedujo que, para favorecer la formación de productos, era necesario reducir la temperatura del sistema.

Para confirmar esto último, se estudiaron los coeficientes de absorción y de solubilidad del gas estudiado; el primer término fue propuesto por R. Bunsen y lo definió como el volumen de un gas que se disuelve por unidad de volumen del disolvente y viene expresado por:

$$\alpha = \frac{v_0}{V \times p} \quad (9)$$

Donde "v₀" es el volumen del gas disuelto, reducido a condiciones normales, "V" es el volumen del disolvente y "p" es la presión parcial del gas en unidades de atmósfera. El segundo término fue sugerido por W. Ostwald y se define como el volumen de un gas medido a condiciones a las que se disuelve el gas admitido por unidad de volumen de líquido y viene dado por:

$$\beta = \alpha \frac{T}{273} \quad (10)$$

Donde "T" es la temperatura del experimento en Kelvin. Por lo tanto, el comportamiento de un gas en un líquido a diversas temperaturas se puede predecir con ayuda de estos dos coeficientes [10].

Tabla III: Coeficientes de absorción de gases (α) [10]

Coeficientes de absorción de gases a 20°C					
	H ₂	N ₂	CO ₂	O ₂	O
Agu a	0,017	0,01 5	0,880	0,02 8	0,025

Por lo tanto, al tomar el coeficiente de absorción (α) del CO₂ en agua a una temperatura de 0°C de la tabla IV e introducirlo en la ecuación 10, se halla que los coeficientes de absorción y de solubilidad son idénticos en las condiciones empleadas para el experimento, fundamentando que la temperatura del agua a la cual estuvo en contacto el carbón activado (0°C) favorece la solubilidad del CO₂ en agua, lo que permite su respectiva valoración. Aunado a esto, se agitó el recipiente con agua y carbón para favorecer el proceso.

Tabla IV: Influencia de la temperatura sobre solubilidades de gases en agua [10]

Coeficientes de absorción (α)				
	He	N ₂	O ₂	CO ₂
0°C	0,0094	0,023 5	0,048 9	1,7130
30°C	0,0081	0,013 4	0,026 1	0,6650

A pesar de haber fomentado el proceso de solubilidad del CO₂, el período de agitación que se realizó dentro de un rango de 1-3 minutos no fue controlado, lo que pudo haber afectado el rendimiento de cada muestra. A su vez, la temperatura del agua en cuestión varió entre los 0 y 5°C, por lo que no se obtuvo un proceso completamente uniforme.

Por consiguiente, en vista de que los resultados fueron variados ya que sólo consideraban los moles en equilibrio de CO₂ y ácido carbónico, se procedió a medir el pH de las soluciones trabajadas para apreciar la existencia de las demás especies presentes con la finalidad de calcular los moles de CO₂ gaseosos que lograron pasar a fase acuosa de manera inicial. Esta fue una medida clave para la cuantificación del CO₂ acuoso, ya que permite discernir la existencia de especies en una solución, como se muestra a continuación.

Tabla V: Moles de CO₂ en estado acuoso por gramo de carbón activado, basándose en el pH de la solución y sus respectivas fracciones molares a temperatura constante de 0°C

pH de la Solución ± 0,001	X _{H₂CO₃} (10 ³)	X _{CO₂} (10 ³)	N _{ac} ± 0,01 [mmol/g]
2,127	1,0600 ± 0,0300	998 ± 2	1,77
3,545	1,0670 ± 0,0010	997 ± 2	1,88
4,218	1,0618 ± 0,0002	992 ± 2	2,01
5,365	0,9742 ± 0,0001	910 ± 2	2,15
6,427	0,5004 ± 0,0001	467 ± 1	3,16
6,541	0,4320 ± 0,0030	403 ± 2	3,88

Donde,

- X_{H₂CO₃} es Fracción Molar de H₂CO₃
- X_{CO₂} es Fracción Molar de CO₂
- N_{ac} es Moles de CO₂ Acuoso por Gramo de Carbón

Al corroborar que la adsorción de CO₂ en el carbón estudiado era factible, se concluyó que las propiedades intrínsecas de la concha de coco le proporcionaban características que le permitían adsorber moléculas en estado gaseoso. Por lo tanto, se replicó la metodología de activación utilizando como temperatura de carbonización 650°C con dicha materia prima; posteriormente, se calculó el área específica por gramo del carbón activo de las nuevas muestras, verificando así que el valor se asemejara al hallado en las muestras anteriores, cuyo resultado fue de 796 ± 143 m²/g, valor bastante cercano al obtenido en las muestras previas (707 m²/g). En este caso, se procuró que la materia prima estuviese más triturada, para que el proceso de activación fuese más efectivo y generar así una mayor área de adsorción, como se puede evidenciar que ocurrió.

Continuamente, se puso en marcha el acoplamiento del sistema para el análisis del gas de combustión empleando el carbón activo y, teniendo en cuenta que las características de desempeño del automóvil eran muy buenas, ya que éste tenía sólo un año de uso, se hizo la suposición de que las emisiones del mismo consistían prácticamente en agua, N₂, O₂, y CO₂. Al implementar los sistemas explicados con anterioridad, se tuvo siempre presente la pérdida de gases de combustión, puesto que los sistemas nunca estuvieron unidos herméticamente al tubo de escape debido a la alta temperatura y presión del mismo; sin embargo, se hizo lo posible por no perder más del 10% del gas, ya que el sistema mostrado en la figura 3 se introdujo lo más posible el tubo de escape dentro del tubo de plástico.

El análisis del CO₂ presente en los gases de combustión resultó ser satisfactorio al emplear

hidróxido de bario en solución acuosa. Como se muestra en la tabla VI, se pudo cuantificar los gramos de CO₂ emitidos por el automóvil a 3000 rpm variando los tiempos de la corrida; se logra apreciar que los gramos emitidos de CO₂ por el automóvil aumentan cuando se incrementa el tiempo de la corrida, lo que es de esperar. Sin embargo, no se determinó una relación constante entre los gramos emitidos por segundos, ya que la producción de CO₂ se puede ver afectada por las impurezas del aire, impurezas en la gasolina empleada, tiempo de precalentamiento del automóvil y, por supuesto, de la pérdida de gases problema, pero esos gramos obtenidos a distintos tiempos sirvieron como base para los experimentos posteriores.

Tabla VI: Estimación de la masa de CO₂ emitido por el automóvil a 3000 rpm en función del tiempo.

Condiciones	G _{CO₂} Emitidos por el automóvil ± 0,0001
Corrida de 30 Segundos	0,1733
Corrida de 20 Segundos	0,1278
Corrida de 10 Segundos	0,1108

Seguido de esto, se realizaron los experimentos con la trampa de gases, en donde se expuso el carbón activado a los gases de combustión y se obtuvieron los resultados esperados, en donde se evidenciaba que el gas atravesaba la malla de carbón activado con facilidad hasta llegar a la trampa de gases para hacer reaccionar por burbujeo el CO₂ no adsorbido con la solución alcalina.

Al analizar la solución alcalina contenida en la trampa tras haber culminado la corrida, basándose en los datos obtenidos del hidróxido de bario a 3000 rpm, se pudo concluir que el carbón activado adsorbió parte del CO₂ de los gases de combustión, como se refleja en las tablas VII y VII. A su vez, se muestra el rendimiento del proceso de valoración del CO₂ acuoso en una muestra de agua, donde se llevan a cabo las reacciones previamente descritas.

Tabla VII. Comparación de métodos de determinación de CO₂ adsorbido por carbón activado emitido por el automóvil a temperatura ambiental mediante el uso de solución de hidróxido de sodio y la valoración del ácido carbónico y CO₂ acuoso, manteniendo constante la velocidad angular

Condición de Corrida	N _T (10 ⁴) [mol/g]	N _V (10 ⁴) [mol/g]	R [%]
A 3000 rpm por 30	8,88 ± 0,04	2,227 ± 0,002	25,07 ± 0,01

segundos			20,92	± creando grupos funcionales que también se vieron involucrados en el proceso. Dichas moléculas, aunque no evitaron la adsorción de CO ₂ y son consideradas inertes, es posible que hayan ocupado sitios activos en las muestras de carbón, lo cual reduce de por sí la cantidad de CO ₂ adherido al carbón y, por consiguiente, el porcentaje de rendimiento de la técnica de la titulación. También, se considera que pudo existir un impedimento estérico, lo que quizás afectó la cantidad de CO ₂ que se pudo disolver con facilidad en el agua, efecto reflejado también en el porcentaje de rendimiento. Sin embargo, sí se visualizó un aumento de los moles adsorbidos por gramo de carbón con respecto al tiempo de exposición al gas de combustión.
A 3000 rpm por 20 segundos	8,94 ± 0,05	1,871 ± 0,003	0,02	
A 3000 rpm por 10 segundos	6,95 ± 0,05	0,684 ± 0,002	9,85 ± 0,03	
	4,89 ± 0,06	0,934 ± 0,003	19,11	
	5,13 ± 0,06	1,157 ± 0,004	0,06	
	5,70 ± 0,06	1,661 ± 0,002	22,53	±
			0,04	±
			29,12	±
			0,01	

Donde,

- **N_T** es Moles de CO₂ por Gramo de Carbón Adsorbidos Teóricos
- **N_V** es Moles de CO₂ Adsorbidos por Gramo de Carbón Determinados por Valoración
- **R** es Porcentaje de Rendimiento de la Valoración

Tabla VIII. Comparación de métodos de determinación de CO₂ adsorbido por carbón activado emitido por el automóvil a temperatura ambiental mediante el uso de solución de hidróxido de potasio y la valoración del ácido carbónico y CO₂ acuoso, manteniendo constante la velocidad angular

Condición de Corrida	N _T (10 ⁴) [mol/g]	N _V (10 ⁴) [mol/g]	R [%]
A 3000 rpm por 30 Segundos	7,632 ± 0,04	3,038 ± 0,003	39,80 ± 0,01
A 3000 rpm por 20 Segundos	7,464 ± 0,05	2,521 ± 0,002	33,79 ± 0,02
A 3000 rpm por 10 Segundos	6,123 ± 0,04	1,292 ± 0,001	21,11 ± 0,03
A 3000 rpm por 10 Segundos	5,971 ± 0,05	1,421 ± 0,002	23,80 ± 0,05
A 3000 rpm por 10 Segundos	5,656 ± 0,06	1,774 ± 0,003	31,37 ± 0,04
A 3000 rpm por 10 Segundos	5,668 ± 0,06	1,234 ± 0,002	21,77 ± 0,02

Donde,

- **N_T** es Moles de CO₂ por Gramo de Carbón Adsorbidos Teóricos
- **N_V** es Moles de CO₂ Adsorbidos por Gramo de Carbón Determinados por Valoración
- **R** es Porcentaje de Rendimiento de la Valoración

Se puede observar que los rendimientos de la valoración previamente explicada no tuvieron aumento del más del 39% en comparación a los expuestos en la tabla II, esto pudo haber ocurrido debido a que el carbón activado tuvo la capacidad de adsorber otros compuestos emitidos por el tubo de escape, como se puede evidenciar en los resultados de la tabla VII.

Aunado a esto, es probable que el oxígeno presente haya reaccionado con la superficie del carbón,

Tabla IX. Aumento en peso del carbón activado, especificando los gramos de CO₂ y otros compuestos inmersos en la combustión del automóvil que fueron adsorbidos a distintas corridas manteniendo la velocidad angular constante

Condición de corrida	G	G _o ± 0,0001
A 3000 rpm por 30 Segundos	0,033 ± 0,005	0,1234
A 3000 rpm por 30 Segundos	0,039 ± 0,003	0,1279
A 3000 rpm por 30 Segundos	0,039 ± 0,004	0,1064
A 3000 rpm por 30 Segundos	0,032 ± 0,005	0,1129
A 3000 rpm por 20 Segundos	0,026 ± 0,004	0,0807
A 3000 rpm por 20 Segundos	0,026 ± 0,004	0,1082
A 3000 rpm por 20 Segundos	0,030 ± 0,004	0,0018
A 3000 rpm por 20 Segundos	0,021 ± 0,005	0,0688
A 3000 rpm por 10 Segundos	0,024 ± 0,001	0,0182
A 3000 rpm por 10 Segundos	0,024 ± 0,003	0,0484
A 3000 rpm por 10 Segundos	0,022 ± 0,002	0,0653
A 3000 rpm por 10 Segundos	0,025 ± 0,004	0,0465

Donde,

- **G** es Gramos de CO₂ Adsorbidos por Gramo de Carbón
- **G_o** es Gramos de Otros Compuestos Adsorbidos por Gramo de Carbón

Finalmente, se logró obtener un promedio de gramos de CO₂ adsorbidos por gramo de carbón a distintos tiempos de corrida a 3000 rpm. Como se muestra en la figura 7, hay un aumento pronunciado de adsorción entre el intervalo de 20 y 30 segundos de corrida, en donde se infiere que, debido a que el vehículo ya se mantuvo un período de tiempo más largo en funcionamiento y se le permitió calentar adecuadamente, la cantidad de CO₂ emitido es superior, lo que permite la adsorción del mismo a una rata mayor.

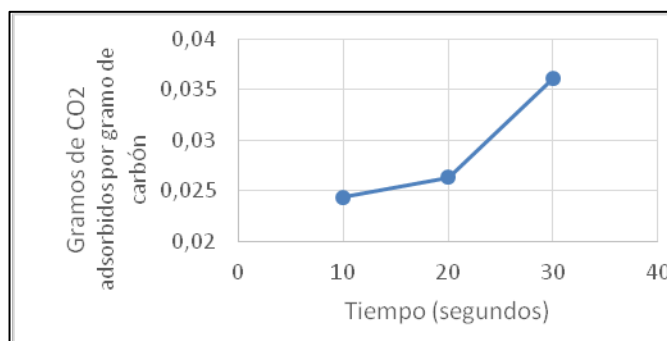


Figura 7: Gramos promedio de CO₂ adsorbidos por gramo de carbón en función del tiempo de exposición a gases de combustión emitidos por el automóvil a temperatura ambiental

Los porcentajes de remoción de la Tabla X varían de acuerdo a la corrida, siendo la corrida de 10 segundos la que presentó el porcentaje más alto y la de 30 segundos los porcentajes más variables y bajos; tal como se mencionó anteriormente, a mayor tiempo pasado que le permitiera al catalizador funcionar con más normalidad, hay mayor probabilidad de que los sitios activos fueran ocupados por moléculas distintas a la del dióxido de carbono, por lo que, aunque se haya presentado una adsorción significativa en todos los tiempos estudiados, el porcentaje de remoción de CO₂ es mayor en la corrida que duró menos tiempo, ya que el tiempo de contacto le permitió adsorber en mayor fracción el CO₂ emitido, pudiendo así recuperar en el carbón una mayor cantidad de gas.

Tabla X. Porcentaje de remoción de CO₂ de los gases de combustión tratados

Condición de Corrida	Porcentaje de Remoción de CO ₂ de los Gases de Combustión
A 3000 rpm por 30 Segundos	95,29 ± 0,04
	77,66 ± 0,05
	81,59 ± 0,04
	98,53 ± 0,06
A 3000 rpm por 20 Segundos	98,00 ± 0,07
	84,02 ± 0,01
	90,01 ± 0,02
	87,52 ± 0,05
A 3000 rpm por 10 Segundos	90,78 ± 0,06
	97,12 ± 0,04
	90,21 ± 0,03
	98,85 ± 0,04

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, se puede concluir lo siguiente:

- El tamaño de las partículas del material utilizado para su activación es un factor relevante, ya que se demostró que a menor tamaño se obtenía una mayor área superficial específica de carbón.
- La metodología de activación de Martín-González, Susial, Pérez-Peña y Doña-Rodríguez resultó efectiva al ser aplicada en los materiales precursores de este estudio.
- El carbón activado con base en las cáscaras de naranja y aquel elaborado con conchas de coco es un material con propiedades adsorbtivas que permiten la remoción de colorantes y sustancias orgánicas en solución.
- La valoración de ácido carbónico en solución acuosa es una metodología viable para la determinación de CO₂ disuelto en agua.
- El carbón activado con base en las conchas de coco a una temperatura de 650°C de carbonización es un buen adsorbente, tanto para soluciones acuosas como para gases presentes en la post-combustión de un automóvil.
- El uso de carbón activo para la remoción de CO₂ presente en el aire es un método viable para mejorar la calidad del aire en las ciudades urbanas.

VII. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados y conclusiones alcanzados, se proponen varias recomendaciones para las investigaciones posteriores sobre el tema de estudio tratado.

- En caso de tener una materia prima de gran dureza, como lo es la concha de coco, se recomienda moler las muestras con un triturador industrial.
- Para la cuantificación de CO₂ disuelto en agua, se puede realizar una metodología que permita la formación de precipitado, en vez de realizar una titulación.
- Hacer un estudio económico y técnico sobre la producción y aplicación de carbón activo para la purificación de gases a gran escala.
- Estudiar la viabilidad de la integración de un filtro de carbón activo en los tubos de escape de los automóviles.
- Realizar un estudio sobre la posible disposición final del carbón activo, una vez saturado de moléculas de CO₂.

REFERENCIAS

- [1] Asimbaya, C., Rosas, N., y Guerrero, V. *Obtención de Carbón Activado a partir de Residuos Lignocelulósicos de Canelo, Laurel*

- y *Eucalipto*. Revista Politécnica, volumen 36, N°3, Septiembre 2015.
- [2] Azcuénaga, L. *Certificación en Seguridad y Salud de las Empresas Contratistas y Subcontratistas*. FC Editorial, Fundación Confemetal, p. 48, 2006.
- [3] Bastidas, M., Buelvas, L., Márquez, M., y Rodríguez, K. *Producción de Carbón Activado a partir de Precursores Carbonosos del Departamento del Cesar, Colombia*. Información Tecnológica, vol. 21, N°3, pp. 87-96, 2010.
- [4] Chang, R. *Química*, 4ª. Edición, Madrid, España, Editorial McGraw-Hill, 1992.
- [5] E. U. Politécnica U. Sevilla, *Manual del Carbón Activo*, 2010. Recuperado de: <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>
- [6] Eco – Vehículos, *Eco – Etiquetado de Automóviles*, s.f. Recuperado de: http://www.ecovehiculos.gob.mx/ecoetiquetado.php?vehiculo_id=18246
- [7] Ela, W., Masters, G., *Introducción a la Ingeniería Medioambiental*, 3ra Edición, Madrid, España, Pearson Educación S. A, 2008.
- [8] García, R., Granillo, Y., *Evaluación de las Condiciones Operacionales en el Proceso de Preparación de Carbón Activo de Cáscara de Naranja Valencia (Citrus Sinensis Linn Osbeck), Laboratorios de Química Unan-Managua, II Semestre 2016*. Tesis de Grado, Departamento de Química, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Nicaragua, 2017.
- [9] Giraldo, L., Moreno, J., y Peña, K., *Preparación de Carbón Activado a partir de Cáscara de Naranja por Activación Química. Caracterización Física y Química*. Revista Colombiana de Química, vol. 41, N°2, pp. 311-323, julio – diciembre 2012.
- [10] Glasstone, S. *Tratado de Química Física*, 7ma Edición, Madrid, España, Aguilar, 1968.
- [11] Heinke, G., Henry J., *Ingeniería Ambiental*, 2da Edición, México D.F., México, Prentice Hall, 1999.
- [12] Hennik Research, *En México le Sacan Nuevas Utilidades a los Desechos del Coco*, s.f., Recuperado de: <https://www.themanufacturer.com/2015/10/16/desechos-del-coco/>
- [13] Ibercena, M., y Scheelje, J., *El Cambio Climático, Principales Causantes, Consecuencias y Compromisos de los Países Involucrados*. Actas de congreso. 0523-B2, 2003.
- [14] Martín-González, M. A., Susial, P., Pérez-Peña, J., Doña-Rodríguez, J. M., *Preparation of Activated Carbons from Banana Leaves by Chemical Activation with Phosphoric Acid. Adsorption of Methylene Blue*. Revista Mexicana de Ingeniería Química, vol. 12, N°3, pp. 595-608, 2013.
- [15] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación Y la Agricultura, *Frutos Cítricos*, 2018 Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/007/y5143s/y5143s0z.htm>
- [16] Rodríguez – Reinoso, F., Silvestre-Albero, J. *Nuevos Materiales de Carbón para la Captura de CO₂*. Boletín del Grupo Español del Carbón, N°24, 2012.
- [17] Talanquer, V., Tubert, I. *Sobre Adsorción*. Educación Química, vol. 8, N°4, 1997.