

La importancia del área superficial en la remoción de contaminantes usando carbón y su extrapolación a nanotubos

Alicia Rabadán Trejo, Daniel Gally González, Maria Teresa Pérez Lobatón y Diego González Vásquez

Resumen

Se evaluó la capacidad de adsorción del negro de carbón. Se comprobó que la adsorción de diferentes tipos de negro de carbón (en cuanto a su área superficial: 123 m²/g, 245 m²/g y 595 m²/g) es directamente proporcional al área superficial que presentan.

Se colocaron diferentes matraces cada uno con diferentes concentraciones de solución buffer de fosfatos pH 7 y metil violeta. Se pusieron 0.1 gramos y 0.01 gramos de negro de carbón en las soluciones y se dejaron en agitación por 24 horas. Con un análisis espectofotométrico se calculó la cantidad adsorbida de metil violeta por el negro de carbón. Este proceso se repitió en los tres diferentes tipos de carbón. Posteriormente se construyeron dos isotermas de adsorción, ya con el punto máximo de saturación de los carbones (cuando el carbón ya no puede adsorber más metil) y finalmente se extrapoló la información a los nanotubos de carbón. Quedó claro que los nanotubos con mayor área superficial, adsorberían mucho más metil violeta. Por ejemplo, si se tuviera un nanotubo de carbón de área superficial de 123 m²/g se adsorbería aproximadamente 0. moles de metil/gr, mientras que para uno de área superficial de 245 m²/g se adsorberían 9.8 moles de metil/gr. Se espera que este experimento muestre el potencial de los beneficios de usar nanotubos de carbón en la remoción de contaminantes.

Introducción

El carbón es uno de los materiales más utilizados en la actualidad debido a sus propiedades de adsorción y sus útiles aplicaciones en la vida cotidiana. Las variaciones de tamaño de partícula, área superficial, porosidad, estructura y química de superficie que existen entre los diversos carbones, les da características únicas y merecedoras de un estudio profundo (Columbian Chemicals Company, 2003). En particular, el área superficial de un determinado carbón resulta ser extremadamente importante ya que está íntimamente ligada al fenómeno de adsorción. Siendo éste último un fenómeno fisicoquímico en el que las partículas de la sustancia que se adsorbe o adsorbato, se acumulan sobre la superficie de un material que recibe el nombre de adsorbente (Tubert y Talanquer, 1997). Es posible decir que las variantes en el área superficial del carbón producen variantes en la adsorción que pudiera tener dicho material.

El reciente descubrimiento de nuevas formas nanométricas de carbón ha renovado el interés de la industria del carbón por encontrar aplicaciones para estos materiales (Enciclopedia Microsoft Encarta, 2003). Dentro de estas aplicaciones se encuentra el uso de nanotubos de carbono para el almacenamiento de hidrógeno (Züttel *et al*, 2002), para el desarrollo de la tecnología de celdas combustibles, la creación de transmisores pequeños y eficientes, sensores químicos (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2004), la adsorción de plomo (Yan-Hui *et al*, 2002) y tintes (Minguan, 1994), etc. Los nanotubos pueden ser aislantes, semiconductores o conductores, y sus propiedades únicas de adsorción, originadas porque son unidimensionales y porque tienen gran área superficial, pudieran tener muchos usos en la agricultura, la medicina y el medio ambiente. Ver Fig. 1 del Anexo 1

Es importante que contribuyamos en la investigación de materiales que a largo plazo pudieran mejorar nuestra calidad de vida, como es el caso de los nanotubos de carbón, y que empecemos a responder si constituyen alternativas atractivas para aplicaciones específicas.

El objetivo de nuestro proyecto, entonces, consistió en evaluar si la capacidad de adsorción del carbón es directamente proporcional a su área superficial y con ello poder hacer una extrapolación a nanotubos de carbón con área específica, de manera que sean claros los beneficios de estas nuevas formas de carbón en la remoción de contaminantes.

Antecedentes

El uso del carbón data de la Edad Media cuando - con fines medicinales- se le dio mucha importancia. A partir del siglo XVIII, se empezaron a desarrollar aplicaciones en la industria que fueron evolucionando hasta dársele usos como los que podemos observar actualmente: en el tratamiento de aguas residuales, en la industria química, en la industria farmacéutica, etc. (URSO Servicios Medioambientales, 2001).

Hoy por hoy, se realizan estudios sobre los posibles beneficios que los nanotubos de carbón pudieran brindar a la sociedad, debido a su extraordinaria capacidad de adsorción. En realidad, la geometría de estas macromoléculas resulta ser la clave de su importante propiedad. Los nanotubos de carbón pueden concebirse como una lámina de grafito enrollada sobre sí misma, con geometría cilíndrica y con diferentes diámetros. Existen nanotubos unipared o

multipared (Fig. 2 del Anexo 1) y la Figura 4 del Anexo 1 compara la superficie de éstos con el número de paredes que contienen. Por los valores presentados, son los nanotubos unipared los que presentan mayor potencial en los procesos de adsorción, pues tienen todos sus átomos de carbono expuestos en la superficie. Sin duda, los nanotubos de carbón tendrán muchos más usos (Yan-Hui *et al*, 2002).

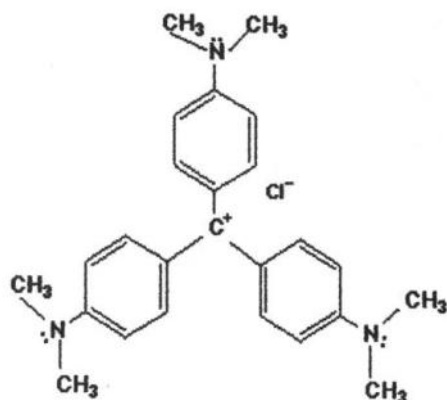


Fig. 1 Estructura molecular del metil-violeta.

El metil violeta es un colorante triarilmetano básico de grado c.p. y contiene un grupo amina secundario (Ver Fig. 1). Cuando su pH es mayor a 3, su solubilidad se mantiene constante y en agua es mayor a 0.1%

(Minguang, 1994). Se escogió este colorante para el experimento por varias razones:

- 1) Su área es fácil de calcular gracias a que su estructura es simétrica, esto nos ayuda a la hora de determinar la superficie de adsorción.
- 2) Cada molécula de metil-violeta es suficientemente pequeña para caber en las porosidades del negro de carbón.
- 3) Es una molécula con forma plana, por lo que se adhiere por completo a la superficie total del negro de carbón sin dejar espacios desperdiciados.
- 4) Es un contaminante industrial real. Muchas industrias usan diariamente colorantes para sus productos. Inevitablemente esto se va a sus desechos industriales y es una amenaza para medio ambiente (Minguang, 1994).

La adsorción de un gas o de un soluto disuelto en una disolución, es un proceso en el que las partículas del adsorbato (el material que es adsorbido) se acumulan encima de la superficie de otro material (adsorbente). Lo que diferencia una adsorción de una absorción es que durante la absorción se acumula la sustancia absorbida en todo el volumen del material absorbente (como una esponja) y en la adsorción el adsorbato sólo se acumula en la superficie del adsorbente. Además en el proceso de adsorción se puede realizar un proceso de espectrofotometría UV-visible.

En este proceso, las moléculas adsorben radiación en la región UV-visible porque tienen electrones tanto compartidos como sin compartir, que se pueden excitar y pueden pasar a niveles de energía mayores. Las longitudes de onda dependen de la fuerza con la que estén unidos los electrones a la molécula.(Altamirano, 2004).

La cantidad de material adsorbido está en proporción directa a la temperatura y la concentración del adsorbato. Si la temperatura se mantiene constante durante toda la experimentación, entonces se podrá expresar el grado de adsorción en proporción a la concentración, esto es conocido como una isoterma de adsorción. Existen dos tipos de adsorción: quimiadsorción y fisiadsorción. En la quimiadsorción existen interacciones que forman enlaces químicos, y sólo se adsorbe sobre una monocapa. En la fisiadsorción el tipo de interacción que hay es de fuerzas tipo Van Der Waals, se adsorbe sobre muchas capas y es un proceso exotérmico (Tubert & Talanquer, 1997).

En 1916, Languimir desarrolló un modelo para describir y predecir la isoterma de adsorción de un líquido sobre un sólido en función de la concentración del líquido. En este modelo, Languimir hizo una serie de suposiciones y condiciones; que el adsorbato formara una capa monomolecular sobre la superficie, que la superficie fuera uniforme, que las partículas adsorbidas ya no interactuaran y no tuvieran movimiento. Entonces, el modelo de Languimir se propone en donde hay una interacción entre el adsorbente y el adsorbato para formar el complejo

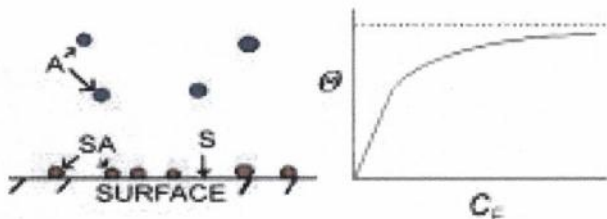


Figura 2: Proceso de adsorción: $\theta = SA$ (superficie cubierta por adsorbatos; $(1-\theta) = S$ (superficie del adsorbente sin cubrir).

adsorbente-adsorbato (adsorbato ya adsorbido) en donde se alcanza el equilibrio con dos constantes: constante de adsorción y constante de desorción. Una vez que se establece el equilibrio, la rapidez de los dos procesos (adsorción y desorción) se igualan. Si se define una variable, θ como el grado de recubrimiento de la superficie del adsorbente (y que la variable pertenezca dentro de un rango de 0 a 1, siendo 1 que este totalmente recubierto y 0 que no tenga nada), se puede asumir que la rapidez de adsorción se puede definir como $d\theta/dt$ (donde t es tiempo), y que esto es directamente proporcional a la concentración, y a la parte descubierta de la superficie del adsorbente (Tubert & Talanquer, 1997) Ver Fig. 2

La explicación de la manera en la que se obtiene la N y la relación C/N se deduce a continuación (Fuentes & Díaz, 1997):

$$d\theta/dt = \text{Constante de adsorción} * \text{concentración} * (1-\theta) \dots\dots\dots(1)$$

Por el mismo modo, podemos llegar a la rapidez del proceso de desorción:

$$d\theta/dt = \text{constante de desorción} * \theta \dots\dots\dots(2)$$

Como ya habíamos dicho, la rapidez de estos dos procesos en el equilibrio es igual, por lo tanto podemos igualar las ecuaciones (1) y (2)

$$\text{constante de desorción} * \theta = \text{constante de adsorción} * \text{concentración} * (1-\theta) \dots\dots\dots(3)$$

Y despejando la variable θ ;

$$\theta = KC / (1 + KC) \dots\dots\dots (4)$$

En donde K es una constante definida por $K = \text{constante adsorción} / \text{constante de desorción}$.

Ahora, con la diferencia de concentraciones final (C) e inicial (C_0) de adsorbato en la solución, la masa del carbón activado (M_c) (que en este caso es el adsorbente) y el volumen de solución empleado, podemos calcular N, el número de moles adsorbidos por gramo de adsorbente.

$$N = \text{vol.} * ((C_0 - C) / M_c) \dots\dots\dots (5)$$

Pero si suponemos que N_{max} es la cantidad máxima de adsorbato que se adsorber por gramo de carbón, el grado de recubrimiento $\theta = N / N_{max}$, entonces la Isoterma de Langmuir se puede rescribir como (combinando con la ecuación 4):

$$N = N_{max} KC / 1 + KC \quad (6)$$

Finalmente, para poder expresar una relación específica de concentración final (C) entre número de moles adsorbidos por gramo de adsorbente (N) se puede reacomodar la ecuación 6 de la siguiente manera:

$$C/N = (C / N_{max} + 1 / KN_{max}) \dots\dots(7)$$

Es importante conocer esta relación ya que es la que se usa para realizar una representación gráfica de la isoterma.

En cuanto a los nanotubos de carbón, hasta hace relativamente poco tiempo no se sabía nada del tema. En 1991, Sumio Iijima, científico del laboratorio de Investigación Fundamental de NEC en Tsukuba Japón descubrió, en hollín, lo que hoy conocemos como nanotubos de carbón. Estos nanotubos estaban formados por macromoléculas de carbono huecas, de forma regular, simétrica cilíndrica y de paredes múltiples (Xianjia *et al*, 2003). Dos años después y con la ayuda de Donald Bethune, de IBM, Iijima creó el primer nanotubo de pared única (Xianjia *et al*, 2003). Desde entonces, se ha seguido con mucho ahínco el estudio de los nanotubos de carbón por el posible impacto tecnológico y científico que estos pudieran tener en un futuro. De hecho, y como lo señala Xianjia en su artículo, en el año 2001, se reportó una investigación que asegura que los nanotubos de carbón pueden ser más eficientes para remover dioxinas, que cualquier otro carbón.

Algunos de los países que hoy estudian los nanotubos de carbón son Estados Unidos, Japón, Alemania, México e Inglaterra (Lenntech, 2004). Sin embargo, en contraste con los antecedentes del carbón, cuyas aplicaciones son evidentes en nuestra vida cotidiana (lápices, filtros, etc.), los nanotubos de carbón todavía siguen en una fase experimental pues se han encontrado ciertas dificultades en su producción masiva, lo que encarece su costo. Además, al trabajar con ellos, tienden a aglomerarse. No obstante, la poca, pero bien fundamentada información que se tiene de ellos nos hace ver un futuro prometedor (Lenntech, 2004).

Hipótesis

La capacidad de adsorción de diferentes tipos de negro de carbón es directamente proporcional al área superficial que presentan.

Objetivos

- Demostrar que por medio de la obtención de isotermas de adsorción se puede identificar cuál estructura de carbón es la mejor para la adsorción de tintes orgánicos.
- Extrapolar nuestros resultados a una aplicación teórica de nanotubos de carbono.
- Obtener conocimiento sobre las propiedades del carbón y sobre el método experimental.

Materiales e Instrumentos

- Tinte: metil violeta b-base no. 8 (a 5×10^{-5} molar cuyo peso molecular es de 357 g/mol). Adquirido en la empresa Equipar S.A. de C.V.
- Solución buffer de fosfatos cuyo pH es de 7.00. Fue comprado en la tienda de materiales de laboratorio Analítica Abastecimientos S.A. de C.V.
- Tres tipos de negros de carbón: 1) A-22773 con área superficial de $123 \text{ m}^2/\text{g}$ 2) A-10398 con área superficial de $245 \text{ m}^2/\text{g}$ 3) A-21790 con área superficial de $595 \text{ m}^2/\text{g}$. Adquiridos en Columbian Chemicals Company - Carbon blacks
- Espectrofotómetro UV-visible de marca Shimatzu y modelo UV-1601 de 120 V. Prestado por el Centro de Investigación en Energía.

- 5 Agitadores magnéticos.
- Materiales de vidrio (5 vasos de precipitado de 100 ml, probetas, pipetas)
- Guantes de plástico
- Bata de laboratorio
- Termómetro de mercurio
- Centrífuga de marca Cole Parmen y modelo Centrifuge 17250-10 de 110V y 3400 rpm.
- Balanza
- Ventilador para mantener la temperatura de los matraces en caso de que estos se calienten al estar 24 horas en agitación
- Parafina

Metodología

En términos generales, se obtendrán las isotermas de adsorción de carbones nanométricos con diferente área superficial, utilizando diferentes concentraciones molares de tinte disuelto en solución buffer de fosfatos pH 7.00, de manera que se pueda corroborar numéricamente el efecto de éstas variables en procesos de adsorción. La extrapolación de estos resultados permitirá pronosticar el comportamiento de los nanotubos de carbono en circunstancias similares. El fundamento de todo nuestro proyecto está en analizar detenidamente si existe y es determinante la relación directa entre el área superficial de varios tipos de carbón y la capacidad de adsorción de tinte.

- 1) Preparar una solución de metil violeta 5×10^{-5} molar en medio litro de solución buffer de fosfatos pH 7.00.(0.892mg / medio litro).
- 2) Preparar 5 muestras de 50 ml de tinte en solución bufereada a diferentes concentraciones. Uno con 50 ml de tinte, otro con 40 ml de tinte y 10 ml de solución buffer, otro con 30 ml de tinte y 20 de solución buffer, otro con 20 ml de solución buffer y 30 ml de solución buffer y finalmente uno con 10 ml de tinte y 40 ml de solución buffer. Marcar cuidadosamente los cinco vasos de precipitado y registrarlo por escrito.
- 3) Tomar 10 ml de las diferentes concentraciones de metil violeta y analizarlas en el espectrofotómetro.
- 4) Tomar el punto máximo de la curva de la solución, que muestra el espectrofotómetro y hacer una gráfica de porcentaje de adsorción con respecto a la concentración de tinte. A esta gráfica se le conoce como patrón de concentración.
- 5) Poner las cinco muestras del paso dos en el agitador magnético un par de minutos.
- 6) Medir el volumen de las soluciones en los vasos de precipitado y anotar.
- 7) Agregar 0.1 g de un tipo de negro de carbón en los 5 vasos. Tratar de hacerlo en el centro del torbellino que se forma en la solución. Tapar los vasos con parafina para que no se evaporen los líquidos ni se vean afectados por la luz. Dejar en movimiento por 24 horas a temperatura constante. Si es necesario, utilizar el ventilador eléctrico para que esto ocurra.
- 8) Al cabo de 24 horas, poner las soluciones negruzcas en la centrífuga hasta que desaparezcan las partículas visibles de carbón.
- 9) Repetir los pasos del 2 al 8 (excepto el tres y cuatro) de manera que se tengan diez muestras a cinco concentraciones diferentes.

- 10) Analizar las soluciones en el espectrofotómetro (densidad óptica) y en base a los datos obtenidos por el aparato, hacer una gráfica de porcentaje de adsorción con respecto a la concentración en equilibrio (la que aparece después de que se adsorbió el carbón)
- 11) Realizar una tabla con valores de Concentración Inicial (C_1), Concentración en Equilibrio (C_e), cambio de Concentración (ΔC) y moles de metil violeta adsorbidos por gramos del negro de carbón ($N = \Delta C \times 0.05 / 0.1 \text{ g}$) (Tubert & Talanquer, 1997).
- 12) Hacer una gráfica de N y C_e y encontrar el $N_{\text{máximo}}$.
- 13) Extrapolar la información obtenida a los nanotubos de carbono.
- 14) Repetir los pasos del 2 al 13 con los otros dos tipos de carbón.
- 15) Concluir si existe una relación directa entre el área superficial y la capacidad de adsorción del carbono y probar o refutar nuestra hipótesis.

Nota: al realizar el experimento con el carbón de 245 y 595 hubo remoción total del contaminante, por lo que se vio la necesidad de alterar los parámetros de la experimentación para estos carbones; se hicieron modificaciones a los pasos 2 y 7. En el paso 2, en vez de preparar soluciones de 50 ml, se prepararon cuatro soluciones de 200 ml. El primero contenía 200 ml de solución de buffer pH 7.00 y metil violeta a 5×10^{-5} molar, el segundo 180 ml de la solución anterior y 20 ml de buffer, el tercero 160 ml de la solución de metil violeta y buffer y 40 ml buffer puro, y finalmente la última solución era de 140 ml de solución de metil y buffer y además 60 ml buffer puro. La modificación al paso 7 fue que en vez de agregar 0.1 g de carbón, agregamos 0.01 g de carbón.

Resultados

Sobre los resultados experimentales que se obtuvieron, sólo los resultados de dos carbones pueden ser utilizados: el del carbón de área superficial de $123 \text{ m}^2/\text{g}$ y el de $245 \text{ m}^2/\text{g}$. Esto es porque con el carbón de $595 \text{ m}^2/\text{g}$ nunca se pudo llegar al punto de saturación del carbón, dado que su poder de remoción era muy elevado. En realidad, necesitábamos cantidades muy pequeñas de carbón y cantidades extremadamente grandes de contaminantes.

Al llevar a cabo la experimentación, ciertos datos fueron arrojados por el espectrofotómetro: absorbancia del tinte MV-8 a varias longitudes de onda. Se tomaron las medidas de absorbancia a una longitud de onda de 585 nm para cada una de las muestras (Ver Anexo 2, Tabla 3 y 4) y posteriormente estos números fueron comparados con un patrón de adsorción (Ver Fig. 3) que se obtuvo de un resultado espectrofotométrico (Ver Fig. 3 del Anexo 1) de las diferentes concentraciones de metil con las que trabajamos.

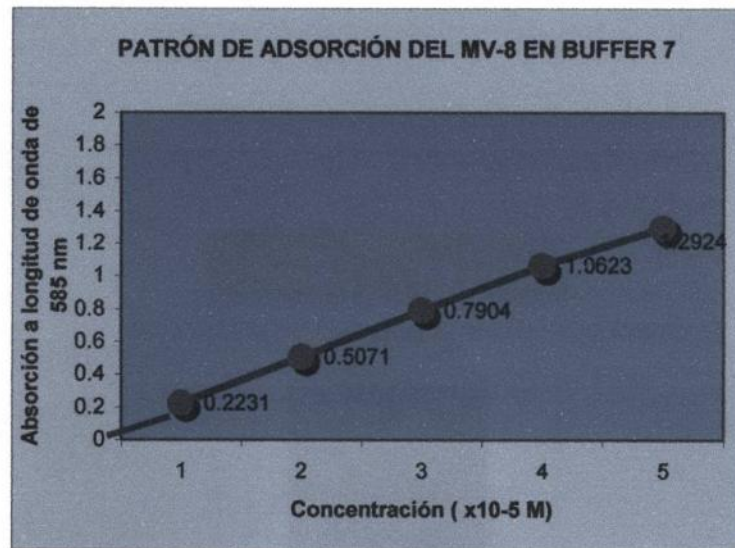


Figura 3. Patrón de adsorción del metil violeta en buffer pH 7 a 5×10^{-5} molar.

Así obtuvimos la concentración en equilibrio a 24 hrs.

Con la concentración inicial y la concentración en equilibrio, se obtuvo ΔC .

Aplicando las ecuaciones:

$N = \text{vol.} * ((C_0 - C) / M_c)$ y $C/N = (C / N_{\text{max}} + 1 / KN_{\text{max}})$, mencionadas en los antecedentes, logramos obtener los valores de N y C/N. La información del carbón de área superficial $123 \text{ m}^2/\text{g}$ se registra en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de concentración inicial, en equilibrio, diferencia de concentraciones, moles de violeta adsorbidos por gramo de carbón y concentración con respecto estos moles adsorbidos para el Negro de Carbón con área superficial de $123 \text{ m}^2/\text{g}$

NC m^2/g		123			
C_0 ($\times 10^{-5}$)	C_e ($\times 10^{-5}$)	ΔC ($\times 10^{-5}$) (moles/lit)	N moles/gr (moles de metil violeta adsorbidos por gramo de carbón) ($\times 10^{-5}$)	Ce/N	
5.13	0.780	4.350	2.175	0.36	
4.04	0.127	3.913	1.957	0.06	
3.08	0.108	2.972	1.486	0.07	
2.04	0.100	1.940	0.970	0.10	
1.06	0.100	0.9600	0.480	0.21	

Posteriormente se graficó N y C_e y con ello se obtuvo la isoterma de Langmuir, que muestra claramente que se pudo alcanzar un grado de equilibrio y un N_{max} (moles de metil violeta máximos adsorbidos por gramo de carbón) de $2.175 \times 10^{-5} \text{ mol/g}$. Ver Fig.4

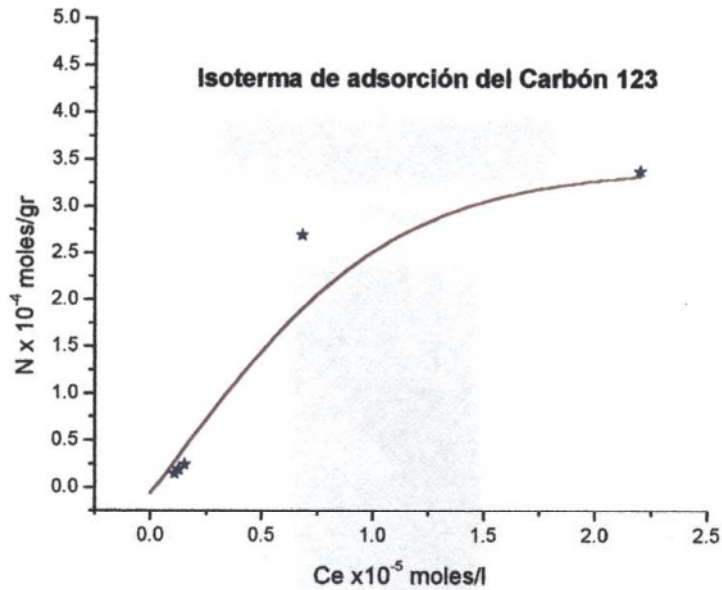


Fig. 4. Isoterma de adsorción para el carbón de 123 m²/g

Repetimos el mismo procedimiento, usando el carbón de 245 m²/g, para obtener la Nmax y la isoterma de adsorción. Ver Tabla 2 y Figura 5.

La Nmax para el carbón de 245 m²/g = 8.460E-4 moles/g

Tabla 2. Resultados de concentración inicial, en equilibrio, diferencia de concentraciones, moles de violeta adsorbidos por gramo de carbón y concentración con respecto estos moles adsorbidos para el Negro de Carbón con área superficial de 245 m²/g

NC 245 m ² /g						
Co (x 10 ⁻⁵)	Ce (x 10 ⁻⁵)	ΔC	Co (x 10 ⁻⁵) (moles/l)	N moles/gr	Co (x 10 ⁻⁴)	Ce/N
5.13	0.900	4.230		8.460		0.010638
4.04	0.375	3.665		7.330		0.005116
3.08	0.178	2.902		5.804		0.003067
2.04	0.0976	1.942		3.885		0.002512

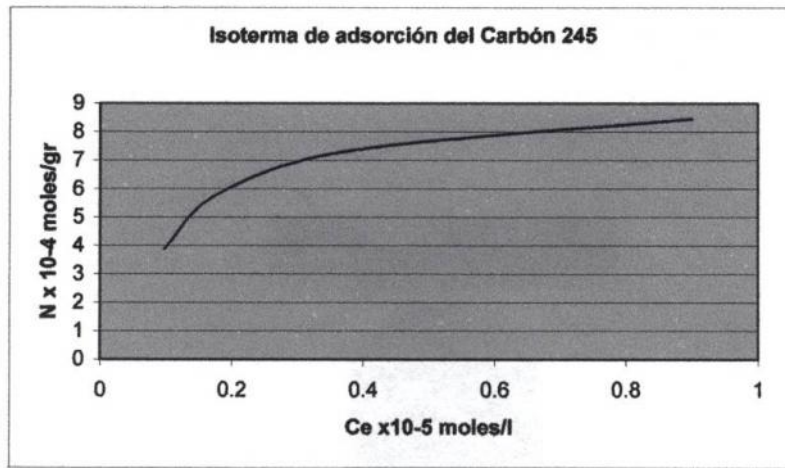


Fig. 5. Isoterma de adsorción para el carbón de 245 m²/g

Ya que tenemos los resultados experimentales, podemos seguir a nuestra extrapolación tentativa.

Podemos utilizar siguiente fórmula:

$$N_{\max}(\text{nanotubo}) = N_{\max}(\text{carbón } 123/245) \frac{\text{Area}_{\text{nanotubo}}}{\text{Area}_{\text{carbón } 123/245}} \dots \dots \dots (8)$$

Dado que existe una relación directa entre ambos:

$$A_{\text{nanotubo}} / A_{\text{carbón } 123 \text{ ó } 245} = N_{\max. \text{ nanotubo}} / N_{\max. \text{ carbón } 123 \text{ ó } 245}$$

Ahora que tenemos la fórmula, necesitamos aclarar todos los valores necesarios para poder calcular el N_{max} de los nanotubos.

El N_{max} del carbón 123 es de 2.175E-05 mol/g (Ver Tabla 1) y el N_{max} del carbón 245 es de 8.46E-04 (Ver Tabla 2), el área del nanotubo es de 1315 m² g⁻¹ (Figura 4 del Anexo1). Ahora solo falta la fórmula para poder calcular el área del carbón de 123 y del carbón de 245 m²/g . Esta fórmula está dada por:

$$A_{\text{carbon}} (\text{m}^2/\text{g}) = N_{\max} (\text{moles/g}) N_{\text{Avogadro}} (\text{moléculas/mol}) A_{\text{tinte}} (\text{m}^2/\text{molécula}) \dots \dots (9)$$

En donde el Area del tinte es igual a 223 Å² / molécula, lo que es igual a 2.23x10⁻²¹ m²/molécula.

Con la fórmula obtuvimos que el área del carbón de 123 fue igual a 0.036936048 m²/molécula y que el área del carbón de 245 m²/g fue de 0.1131948 m²/molécula y así pudimos hacer la extrapolación a nanotubos de carbón. Ver Figura 6 y Anexo 2 Tablas 1 y 2.

Debemos hacer la aclaración de que en la figura 6, etiquetamos a los nanotubos de acuerdo al carbón con área superficial específica con los que se presume que estarían hechos. El que se señale que la línea azul, en la figura 6, corresponde al carbón de 123 m²/g, no quiere decir que el nanotubo de negro de carbón tenga un área superficial de 123 m²/g, sino que estaría hecho con un carbón cuyas moléculas tendrían un área de 123 m²/g. Lo mismo pasa con la extrapolación de la línea roja.

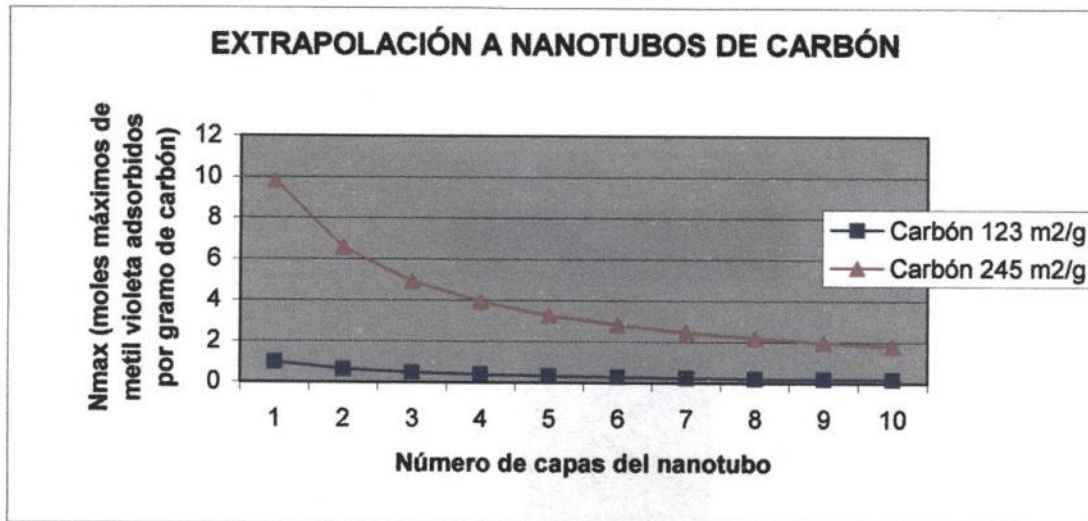


Fig. 6 Extrapolación a nanotubos de carbón

Conclusiones

La cinética de adsorción parece corroborar nuestra hipótesis de que el proceso de adsorción está íntimamente ligado al área superficial. Todos los carbones presentan una capacidad de adsorción mayor a 25 $\mu\text{m}^2/\text{g}$. Nuestra experimentación arrojó dos datos importantes: la N_{max} (moles de metil violeta máximos, adsorbidos por gramo de carbón) del carbón de área superficial de 123 m^2/g fue de $2.175\text{E}-05$ mol/g, y el N_{max} del carbón de área superficial de 245 m^2/g fue de $8.46\text{E}-04$ mol/g. Con estos dos datos, se corroboró nuestra hipótesis, la cual planteaba que a mayor área superficial, mayor adsorción.

También se hicieron dos extrapolaciones que presentan la capacidad teórica de adsorción de los nanotubos de carbón, utilizando los valores obtenidos del carbón con área superficial de 123 m^2/g y de 245 m^2/g . Con los datos obtenidos de la Figura 6, damos constancia de que los nanotubos unipared de carbón con área superficial mayor, tendrían mayor capacidad de adsorción. Por ejemplo un nanotubo unipared de carbón con área superficial de 123 m^2/g adsorbería 0.979 mol/gr, mientras que un nanotubo unipared de carbón con área superficial de 245 m^2/g adsorbería 9.83 mol/gr. Esto es, alrededor de diez veces más que el carbón de 123 m^2/g .

Ahora, en cuanto al valor de utilizar nanotubos de carbón y no negro de carbón con geometría irregular, podemos utilizar la información obtenida en la experimentación para realzar su importancia. Por ejemplo para el negro de carbón de 123 m^2/g con geometría irregular, la N_{max} es de aproximadamente 2.175×10^{-5} mol/gr, mientras que para un nanotubo unipared del mismo carbón (en donde los átomos están ordenados y todos expuestos), se puede obtener una N_{max} de 9.79×10^{-1} mol/gr. Luego, para el negro de carbón de 245 m^2/g con geometría irregular, la N_{max} es de 8.46×10^{-4} mol/gr, mientras que para un nanotubo unipared del mismo carbón se tiene una N_{max} de 9.83 mol/gr.

Queda clara entonces la enorme ventaja de los nanotubos con mayor área superficial.

Teniendo el carbón una mayor capacidad de adsorción debido a su enorme área superficial disponible en un nanotubo unipared, se podría pensar que en un futuro los nanotubos podrían convertirse en la solución ideal para la remoción de contaminantes. En nuestro caso tratamos con el metil violeta, pero podría ser cualquier otro residuo dañino para el medio ambiente.

Perspectiva

Sigue quedando abierta la posibilidad para que nuevos investigadores, con mayor experiencia y mayor conocimiento sobre el tema, continúen estudiando sobre los nanotubos de carbón para que eventualmente se puedan reducir los costos de su producción y acabar con los problemas de su poca solubilidad y su falta de compatibilidad con moléculas de geometría diversa.

Nomenclatura

- θ - grado de recubrimiento de la superficie del adsorbente
- t - tiempo
- $d\theta/dt$ - rapidez de adsorción
- K - constante (constante de adsorción / constante de desorción)
- C_0 - concentración de metil violeta inicial
- C_e - concentración de metil violeta en equilibrio
- ΔC - diferencia de concentraciones o cambio de concentración ($C_0 - C_e$)
- N - (mol/gr) moles de adsorbato adsorbidos por gramo de adsorbente
- N_{max} - cantidad máxima de adsorbato que se puede adsorber por gramo de carbón (punto de saturación)
- C/N - Concentración en equilibrio en relación a los moles de metil violeta adsorbidos por gramo de carbón
- M_c - masa del carbón activado
- Vol - volumen
- m^2/g - metros cuadrados por gramo
- g/mol - gramos por mol
- ml - mililitros

Agradecimientos

Agradecemos a la Dra. Marina Rincón del Centro de Investigación en Energía (CIE-UNAM) por habernos abierto las puertas del mundo de los nanotubos y del carbón, por su paciencia y su compromiso; a M.C. María Esperita Trujillo, también del CIE-UNAM, por su gran apoyo a la hora de llevar a cabo el muestreo en el espectrofotómetro y por la ayuda en la parte estadística del trabajo. De igual manera a I.Q. Olivia Salazar del Colegio Marymount por su enorme apoyo en la realización experimental del proyecto.

Bibliografía:

- Altamirano, L. (2004). Determinación simultanea de Cromo y Magnesio en un acero, <http://132.248.175.132/quimianalitica/cursos/pract/titpot/crmn.htm> (23 mayo 2004)
- Columbian Chemicals Company (2003) What is Carbon Black? <http://www.columbianchemicals.com/whatis.asp> (24 febrero 2004)
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España (2004) Nanotubos de carbono. Nuevas fronteras en ciencia de materiales, <http://www.serina.es/escaparate/verproducto.cgi?idproducto=2540&refcompra=NULO> (24 febrero 2004).
- Enciclopedia Microsoft Encarta (2003) Carbón, [enciclopedia electrónica en Disco Compacto] (24 febrero 2004).
- Fuentes, S., Díaz, G. (1997). Catálisis Heterogénea, http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/059/htm/sec_8.htm (16 mayo 2004)
- Lenntech (2004) Adsorción / Carbón activo, <http://www.lenntech.com/espanol/adsorcion.htm> (24 febrero 2004)
- Minguan, D. (1994) The effect of Zeta potential of activated carbon on the adsorption of dyes from aqueous solution, *Journal of Colloid and Interface Science*, 164: 223-228
- Tomanek, D. (2004) The Nanotube Site. Michigan State University. <http://nanotube.msu.edu/NTSite/nanopage.html> (16 Mayo 2004)
- Tubert, I., Talanquer, V. (1997) Sobre adsorción, *Educación Química*, 8(4):186-190
- URSO Servicios Medioambientales de España. (2001). Filtración de agua con carbón activo (Adsorción), <http://www.supercable.es/~urso/filtroca.htm> (24 febrero 2004)
- Xianjia, P., Yanhui, L., Zhaokun, L., Zechao, D., Hongyu, W., Binghui, T., Zhiping, J. (2003) Adsorption of 1,2 -dichlorobenzene from water to carbon nanotubes, *Chemical Physics Letters*, 376: 154-158
- Yan-Hui Li, Shuguang, W., Jinqun, W., Xianfeng, Z., Cailu, X., Zhaokun, L., Dehai, W., Bingqing, W. (2002). Lead adsorption on carbon nanotubes, *Chemical Physics Letters*, 357: 263-266
- Züttel, A., Sudan, P., Mauron, Ph., Kiyobayashi, T., Emmenegger, Ch., Schlapbach, L. (2002) Hydrogen storage in carbon nanostructures, *International Journal of Hydrogen Energy*, 27: 203-212

Anexo 1- FIGURAS

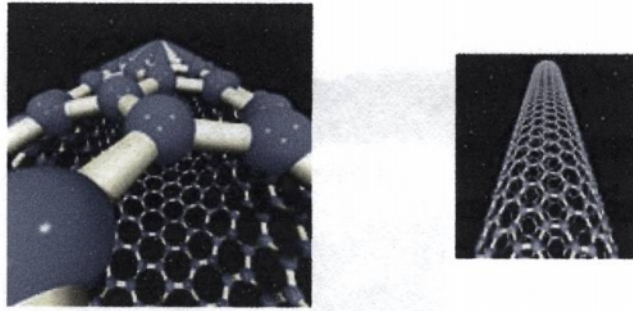


Figura 1 Fotos de un nanotubo a nivel atómico generado a computadora (Tomanek, 2004)

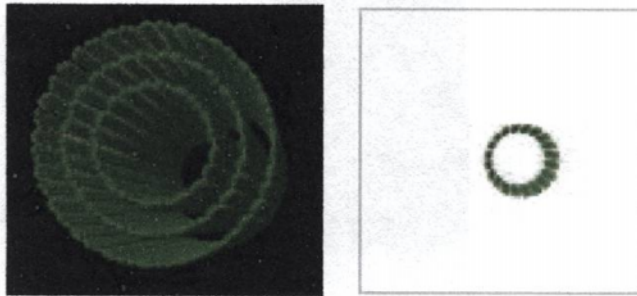


Figura 2. Imágenes de nanotubo unipared y multipared

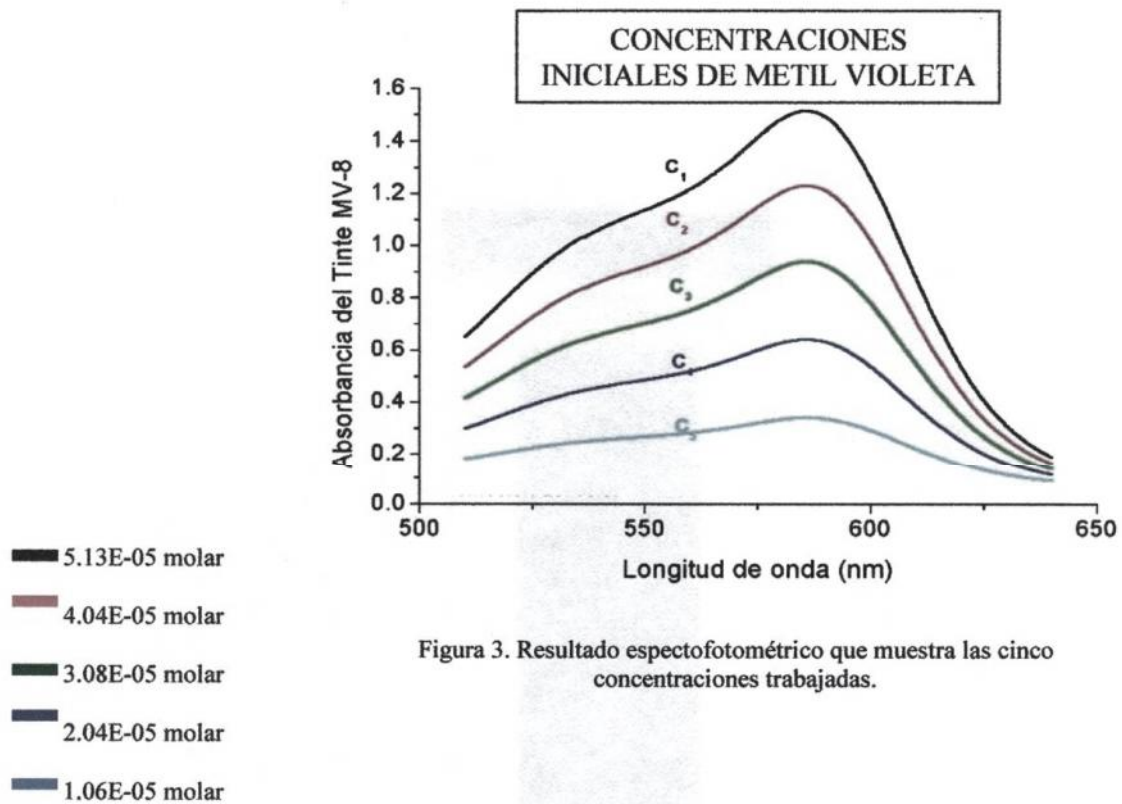


Figura 3. Resultado espectrofotométrico que muestra las cinco concentraciones trabajadas.

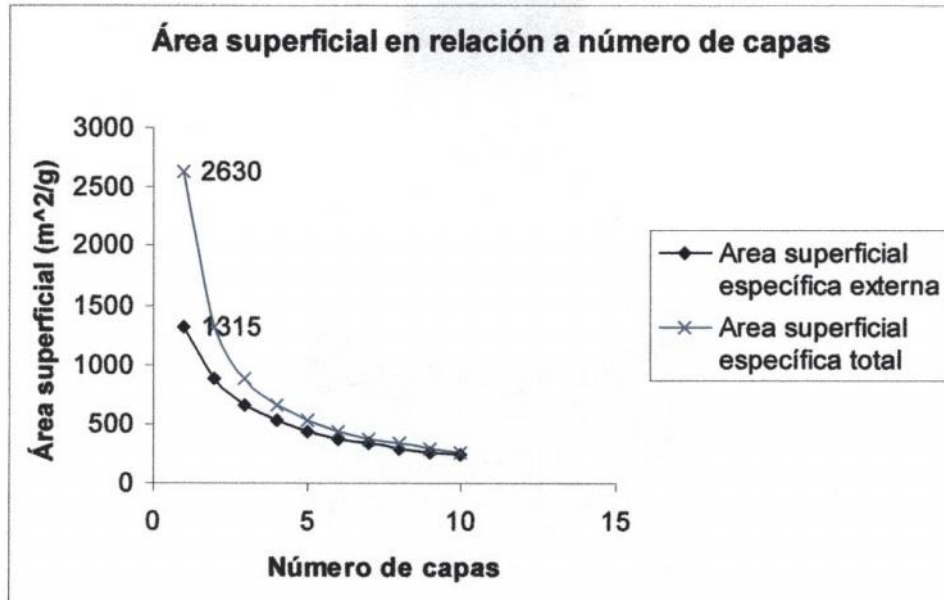


Figura 4. Área superficial en relación a número de capas (en nanotubos).

Isoterma de adsorción del Carbón 245

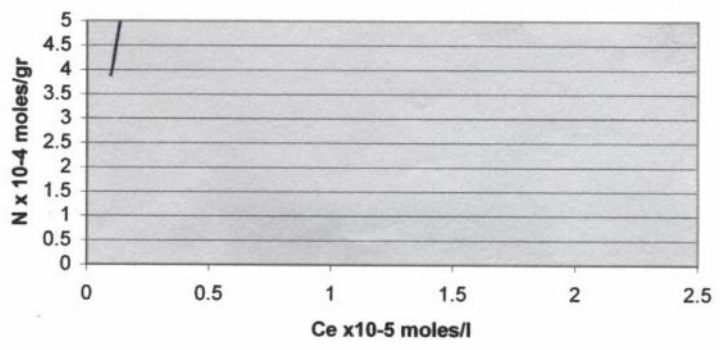


Fig. 5. Isoterma de adsorción para el carbón de 245 m²/g

A la misma escala que la isoterma de 123 m²/g

Anexo 2- TABLAS

Tabla 1. Extrapolación de carbón de 123 m²/g a nanotubos de carbón utilizando diferente número de capas en el nanotubo

No. De capas	(S1 m ² g ⁻¹) área superficial específica externa	EXTRAPOLACIÓN CON CARBÓN DE 123 m ² /g Nmax (nanotubo) en mol/g (x10 ⁻¹)
1	1315	9.79
2	877	6.53
3	658	4.90
4	526	3.92
5	438	3.26
6	376	2.80
7	329	2.45
8	292	2.17
9	263	1.96
10	239	1.78

Tabla 2. Extrapolación de carbón de 245 m²/g a nanotubos de carbón utilizando diferente número de capas en el nanotubo

No. De capas	(S1 m ² g ⁻¹) área superficial específica externa	EXTRAPOLACIÓN CON CARBÓN DE 245m ² /g Nmax (nanotubo) en mol/g
1	1315	9.83
2	877	6.55
3	658	4.92
4	526	3.93
5	438	3.27
6	376	2.81
7	329	2.46
8	292	2.18
9	263	1.97
10	239	1.79

Tabla 3. Medidas de absorbancia a una longitud de onda de 585 nm para el carbón de 245 m²/g

Absorbancia a longitud de onda de 585 nm	
Concentración inicial de metil violeta Co x 10-5	Absorbancia de Tinte MV-8 Mol/gramo
5.13	0.399
4.04	0.305
3.08	0.214
2.04	0.108

Tabla 4. Medidas de absorbancia a una longitud de onda de 585 nm para el carbón de 123 m²/g

Absorbancia a longitud de onda de 585 nm	
Concentración inicial de metil violeta Co x 10-5	Absorbancia de Tinte MV-8 Mol/gramo
5.13	0.379
4.04	0.149
3.08	0.136
2.04	0.112
1.06	0.112