



Tecnología, Ciencia, Educación

ISSN: 0186-6036

imiqac@sercom.com.mx

Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C
México

Méndez-Tovar, Marcela; Machado-Soberanes, J.A.; Guerra Sánchez, R.
Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de hidrocarburos sobre cinco materiales
adsorbentes tipo II utilizando un método estandarizado internacional
Tecnología, Ciencia, Educación, vol. 27, núm. 2, julio-diciembre, 2012, pp. 94-100
Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos A.C
Monterrey, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48230177006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de hidrocarburos sobre cinco materiales adsorbentes tipo II utilizando un método estandarizado internacional

Comparative study of hydrocarbons adsorption capacity for five adsorbent materials type II using a standardized international method: A comparative study

Marcela Méndez-Tovar^{1*}, J.A. Machado-Soberanes^{2a}, R. Guerra Sánchez^{1b}

¹CIATEC A.C. Omega No. 201 Fracc. Ind. Delta, 37545 León, Guanajuato, México. Correo-e (e-mail): mmendez@ciatec.mx

²PEMEX REFINACIÓN. Superintendente General de Protección Ambiental. Gerencia de Protección Ambiental, SASIPA. Av. Marina Nacional 329, Edificio B-2, Piso 2, Col. Huasteca, 11311 México, DF., México

RESUMEN

Debido a la gran diversidad de materiales adsorbentes de hidrocarburos que existen en el mercado se propone utilizar el método internacional estandarizado ASTM F726-06 para evaluar su desempeño por medio de su capacidad de adsorción. Los hidrocarburos probados fueron diesel, una mezcla de crudo Istmo-Maya y aceite de motor. Se evaluaron 5 materiales a granel de origen natural que, dentro de la clasificación propuesta por este método, se encuentran en el material tipo II. Las pruebas experimentales realizadas fueron: pruebas de adsorción de hidrocarburo corta y larga y prueba en condiciones dinámicas (incluye condiciones hidrofílicas y oleofílicas). Los resultados experimentales indican que la adsorción de diesel y aceite es muy similar, tanto en la prueba de adsorción corta como en larga, mientras que la capacidad de adsorción de crudo en la prueba larga es mayor. El tiempo de saturación por completo se lleva a cabo en la prueba de adsorción larga (24 h). El mejor desempeño lo tuvo el material C, con valores $6.1 \text{ g}_{\text{diesel}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$, $7.1 \text{ g}_{\text{crudo}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ y $6.5 \text{ g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$. De acuerdo con las pruebas en condiciones dinámicas se concluye que los materiales evaluados no son recomendables para uso con agua debido a que en la prueba hidrofílica todos adsorbieron grandes cantidades de agua y solamente un material flotó por completo durante la prueba. Esto indica que los materiales no son selectivos y pueden presentar hundimiento. Durante la prueba oleofílica, sí existió la adsorción del hidrocarburo pero, al final de la prueba, quedaron trazas

de aceite en 4 de los 5 materiales probados. Los resultados obtenidos por medio de la evaluación del método ASTM F726-06 pueden ser comparables ya que se evaluó el desempeño de manera imparcial al clasificarlos por forma física y exponerlos a diferentes condiciones que simulan las posibles matrices en las que pueden ser utilizados.

ABSTRACT

Due to the wide variety of hydrocarbon adsorbent materials on the market, this paper proposes using the standardized international method ASTM F726-06 to evaluate a material's adsorption capacity. The hydrocarbons tested were diesel, a mixture of Maya and Istmo crude oil, and engine oil. Five bulk materials of natural origin, and classified as type II adsorbents, were evaluated. Four experimental tests were conducted: a short (15min) and a long (24h) hydrocarbon adsorption test, and a dynamic conditions test (including hydrophilic and oleophilic conditions). Experimental results indicate that the adsorption capacity of diesel and engine oil in adsorbent materials were similar for the short and long adsorption tests, while the adsorption capacity of crude was increased in the long test. Complete saturation was reached in the long term adsorption test. The best-performing material was material "C", $6.1 \text{ g}_{\text{diesel}}/\text{g}_{\text{adsorbent}}$, $7.1 \text{ g}_{\text{crude}}/\text{g}_{\text{adsorbent}}$, and $6.5 \text{ g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{adsorbent}}$. According to the dynamic conditions tests, the adsorbent materials evaluated are not recommended for use in water. In the hydrophilic test, all the materials adsorbed water and only one material floated completely during the test. These results indicate that the materials are not selective and may sink. The oleophilic test pointed out that materials adsorbed the hydrocarbon. However, at the end of the test, traces of oil were still found in 4 of the 5 tested materials. The results obtained using the ASTM F726-06 method are comparable because the performance was evaluated by classifying the materials impartially by physical shape and exposing them to different conditions which simulate the matrices where they can be used.

Palabras clave: Adsorción de hidrocarburos, materiales adsorbentes tipo II, método estandarizado internacional

Keywords: Adsorption of hydrocarbons, type II adsorbent materials, standardized international method

(Recibido: Octubre 31, 2011)

Aceptado: Julio 15, 2012)

*Autora a quien debe dirigirse la correspondencia

a Miembro del IMIQ, sección Ciudad de México-Centro

^b Miembro del IMIQ, sección Guanajuato

INTRODUCCIÓN

Cuando ocurren derrames de hidrocarburos, tanto en suelo como en agua, es necesario recuperar lo más

posible estos compuestos mediante métodos mecánicos. Entre ellos destacan bombas y desnatadores. Sin embargo, dependiendo de la matriz, el tipo de derrame o la falta de eficiencia de los métodos mecánicos, es necesario el uso de materiales adsorbentes como una forma de evitar problemas de seguridad y salud. Estos materiales vienen en diversas presentaciones y pueden ser sintéticos o naturales. Dentro de los adsorbentes sintéticos, el polipropileno es el material ideal para la recuperación de derrames de petróleo en el mar debido a su baja densidad, poca adsorción de agua y una excelente resistencia física y química. Los materiales naturales comprenden diversos tipos de zeolitas o son polvos de origen vegetal.

Debido a esta gran diversidad existe dificultad para evaluarlos de una forma que sea representativa. Existen en la literatura algunos métodos que evalúan el desempeño de los materiales adsorbentes. El propuesto por Shrader (1996) sólo considera los cordones oleofílicos o *booms* dejando la demás variedad de materiales fuera de la experimentación. También existen normas internacionales (ASTM, 2006; BuuM, 1998; BS 7959-1:2004; Canadian General Standards Board. 1996; NFT 90-360, 1997), en las que se incluyen métodos para medir la adsorción de hidrocarburos. No obstante, puede resultar complicado medir la cantidad de hidrocarburo adsorbida.

Con la finalidad de dar solución a esta problemática, se decidió probar una de las propuestas internacionales, el método ASTM F726-06 *Standard test method for sorbent performance of adsorbents* (ASTM, 2006), ya que puede ser utilizado a las diferentes formas de materiales adsorbentes que existen en el mercado y a un amplio rango de hidrocarburos, además de ser sencillo y práctico.

Con esta metodología se eligió probar el desempeño de cinco materiales adsorbentes que se encuentran disponibles en México para probarlos con hidrocarburos nacionales mediante este método.

De acuerdo con el método ASTM F726-06 (ASTM, 2006) los materiales adsorbentes se pueden clasificar con base en su forma física, de la siguiente manera:

Material adsorbente Tipo I

Se presenta en rollos, películas, hojas, mantas, tejidos o placas. Es un material con la longitud y anchura mayor que el espesor y que tiene, tanto la forma lineal y resistencia suficiente, para manipularse ya sea saturado o no saturado.

Material adsorbente Tipo II (suelos o a granel)

Un material no consolidado, en partículas sin forma ni resistencia, que puede ser manipulado con palas y/o equipos dispersantes.

Material adsorbente Tipo III (contenidos)

Material adsorbente contenido por un tejido o red exterior que tiene permeabilidad al hidrocarburo, pero con aberturas lo suficientemente pequeñas para retener sustancialmente el material adsorbente dentro del textil o red.

Material Tipo IV (Unidades aglomeradas)

Es un ensamble de hilos, redes abiertas u otras formas físicas, dadas a una estructura abierta que mínimamente impide la intrusión en sí misma de aceites de alta viscosidad. Son utilizados normalmente para aceites o hidrocarburos que presentan viscosidades del orden de 10 000 cP.

En la Tabla 1 se presentan algunos ejemplos de cada material sorbente.

Tabla 1.
Clasificación de materiales adsorbentes de acuerdo con el método ASTM F726-06 (ASTM, 2006)

<i>Material</i>	<i>Ejemplos</i>
Tipo I	Rollos
	Hojas
	Mantas
	Toallas
	Tapetes
Tipo II	Musgo
	Bagazo de caña
	Arcillas
Tipo III	Cordones oleofílicos (<i>booms</i>)
	Colchonetas
	Almohadas
Tipo IV	Pompones

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Experimentos realizados

Se utilizaron celdas de vidrio de 19 cm de diámetro por 10 cm de profundidad, para sumergir el material en hidrocarburo con la finalidad de que el material adsorbente flotara libremente. Se utilizaron canastillas o coladores con una malla lo suficientemente cerrada para retener el material y dejar escurrir el hidrocarburo. Se utilizó un agitador, tipo "Shaker" a 150 ciclos/min con una amplitud de 3 cm para las pruebas que lo requirieran.

Medición de propiedades de los hidrocarburos

La medición de viscosidad de los hidrocarburos se llevó a cabo por el método de viscosidades cizalla con geometría de cilindros concéntricos de 28 mm de diámetro, empleando un reómetro PAAR Physica Modelo MCR 300, a una temperatura de 22°C. Para la medición de la densidad se utilizó un densímetro de inmersión a una temperatura de 22±0.5°C.

Procedimiento experimental de adsorción

Se llevó a cabo la metodología indicada por el método ASTM F726-06 (ASTM, 2006), específicamente los puntos 9.3.2 (prueba de adsorción de hidrocarburo corta) y 9.4.2 (prueba de adsorción de hidrocarburo larga), así como 9.2.2 (prueba en condiciones dinámicas). Las dos pruebas de adsorción de hidrocarburo corta y larga corresponden a la máxima cantidad de hidrocarburo adsorbido en un tiempo de 15 minutos y 24 horas, respectivamente. La prueba en condiciones dinámicas comprende el desempeño de un material adsorbente cuando se encuentra en una fase acuosa en movimiento (condiciones hidrofílicas) que puede contener aceite (condiciones oleofílicas).

La capacidad de adsorción es el parámetro que se utiliza para medir el desempeño del material. Las ecuaciones para la prueba de adsorción corta/larga se presentan a continuación.

Capacidad de adsorción de hidrocarburo:

$$(g_{\text{hidrocarburoadsorbido}}/g_{\text{adsorbente}}) = S_s/S_0 \quad (1)$$

donde:

S_0 es la masa inicial del adsorbente seco ($g_{\text{adsorbente}}$)
 S_s es la cantidad neta de hidrocarburo adsorbido ($g_{\text{hidrocarburoadsorbido}}$) que se obtiene mediante de la siguiente ecuación:

$$S_s = S_{ST} - S_0 \quad (2)$$

donde:

S_{ST} es la masa del adsorbente al final de la prueba de capacidad de adsorción de hidrocarburo corta /larga.

Para las pruebas en condiciones dinámicas, específicamente condiciones hidrofílicas, se calcula la adsorción de agua del material por medio de la ecuación (3):

Capacidad de adsorción de agua:

$$(g_{\text{agua adsorbida}}/g_{\text{adsorbente}}) = S_w/S_0 \quad (3)$$

donde:

S_0 es la masa inicial del adsorbente seco ($g_{\text{adsorbente}}$)
 S_w es la cantidad neta de agua adsorbida ($g_{\text{agua adsorbida}}$) que se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$S_w = S_{WT} - S_0 \quad (4)$$

donde:

S_{WT} es la masa del adsorbente al final de la prueba dinámica con agua.

Hidrocarburos utilizados

Un material adsorbente puede presentar diferente capacidad de adsorción dependiendo de las características de cada hidrocarburo, principalmente la viscosidad. Por este motivo cada material se probó con tres hidrocarburos de diferentes características para observar posibles variaciones de desempeño. Los hidrocarburos elegidos fueron: diesel, aceite de motor y una mezcla de crudo Istmo- Maya, característico de Petróleos Mexicanos, PEMEX Refinación.

Selección de los materiales

Con base en la clasificación propuesta de los materiales adsorbentes mencionados anteriormente, se evaluaron 5 diferentes marcas de un solo tipo de material para realizar comparaciones de desempeño entre ellos. Se optó por evaluar materiales tipo II debido a que en México cuando existen derrames en diferentes matrices, el material a granel es el preferido por el personal operativo. Por motivos de confidencialidad e imparcialidad hacia una marca determinada, los materiales a granel fueron denominados como **A**, **B**, **C**, **D** y **E**. Los primeros tres son turba y los dos últimos son bagazo de caña y lirio acuático, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presentan la viscosidad y densidad de cada hidrocarburo en estudio. Como puede verse, al elegir estos líquidos se abarcó un amplio rango de viscosidad, desde 3.9 hasta 300 cP. Por otro lado, la densidad de los tres hidrocarburos es muy similar.

En la Tabla 3 se pueden observar algunas propiedades de los materiales probados. Los adsorbentes **A**, **B** y **C** son turba (*peat*, en inglés), aunque se le conoce comúnmente como musgo. Estas marcas son muy populares para su

uso en la contención de derrames. En la literatura existe información acerca del uso del musgo como adsorbente de colorantes (Ho y McKay, 1998), metales (Brown y col., 2000; Kalmykova y col., 2008) y fenoles (Viraraghavan y Alfaro, 1998). Sin embargo, la adsorción de hidrocarburos empleando musgo ha sido poco estudiada (Eltayeb y col., 1998; Zhang, 2010). Las marcas **D** y **E** son bagazo de caña y lirio acuático, respectivamente. Estos dos materiales fueron seleccionados pues existen investigaciones que confirman su buen desempeño (Brandão y col., 2010; Crisafully y col., 2008; Said y col., 2009; Tang y Lu, 1993) para la adsorción de hidrocarburos.

Tabla 2

Características de los hidrocarburos utilizados a 22°C

Tipo de hidrocarburo	Viscosidad (cP)	Densidad (g/cm ³)
Diesel	3.9	0.828
Mezcla de crudo	15	0.892
Istmo -Maya		
Aceite de motor	300	0.875

Tabla 3

Características de los cinco materiales tipo II evaluados

Material/Marca	Origen	Porcentaje de cenizas %
A	Musgo	5.18
B	Musgo	2.04
C	Musgo	3.04
D	Bagazo de caña	10.56
E	Lirio acuático	23.32

Desempeño de los materiales en la prueba corta

En la Figura 1 se puede observar un comparativo de los resultados obtenidos para los tres hidrocarburos con los cinco materiales adsorbentes estudiados. Esto se describe a continuación.

Diesel

Puede verse que la adsorción de diesel en los materiales es muy similar para las marcas **A** y **B**, con valores de 4.4 y 4.6 g_{diesel}/g_{adsorbente}, respectivamente. No hubo diferencia significativa entre ellos pero sí con los otros tres materiales ($p < 0.05$). Para los materiales **D** y **E** se presentan los valores más bajos. Estos son 3.4 y 3.6 g_{diesel}/g_{adsorbente}, respectivamente. Entre estos dos tampoco hubo diferencia significativa pero sí con respecto de los otros tres ($p < 0.05$). Finalmente, el mejor desempeño lo tuvo la marca **C** con 5.4 g_{diesel}/g_{adsorbente} (diferente significativamente de los otros cuatro materiales a $p < 0.05$).

Crudo Istmo –Maya (mezcla)

Para las pruebas realizadas con crudo, el desempeño de todos los materiales fue muy similar. El promedio general de adsorción de los materiales probados está alrededor de 5.41 g_{crudo}/g_{adsorbente}. El material que obtuvo el menor desempeño fue el bagazo de caña (**D**) con una adsorción de 4.9 g_{crudo}/g_{adsorbente}, lo cual significa que sorbe 0.5 g menos que el promedio de todos los materiales probados. No hubo diferencias significativas entre ellos ($p < 0.05$).

Aceite de motor

Respecto de las pruebas con aceite, el mejor material fue el de la marca **C**, con una adsorción de 5.9 g_{aceite}/g_{adsorbente}. Le siguieron los materiales **A** y **B** con 4.8 y 5.4 g_{aceite}/g_{adsorbente}, respectivamente. Los valores obtenidos con **D** y **E** también son menores en estas pruebas con aceite. Para ambos el valor encontrado fue de 4 g_{aceite}/g_{adsorbente}. Hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tres primeros entre ellos y con los dos últimos ($p < 0.05$). Entre los dos últimos no hubo diferencia significativa ($p < 0.05$).

De esta fase de la investigación, se puede concluir que el desempeño de la adsorción de diesel y aceite de motor empleando los materiales **D** y **E** es menor que el de los primeros tres (musgo). Esto puede deberse a que el tamaño de partícula del musgo es menor y, por lo tanto, presenta un área específica de adsorción mayor que las partículas del bagazo de caña y del lirio acuático que solamente son trituradas y, por consecuencia, tienen un tamaño mayor, reduciendo el área superficial específica. En una siguiente etapa deberá caracterizarse la influencia de esta variable para corroborar esta consideración.

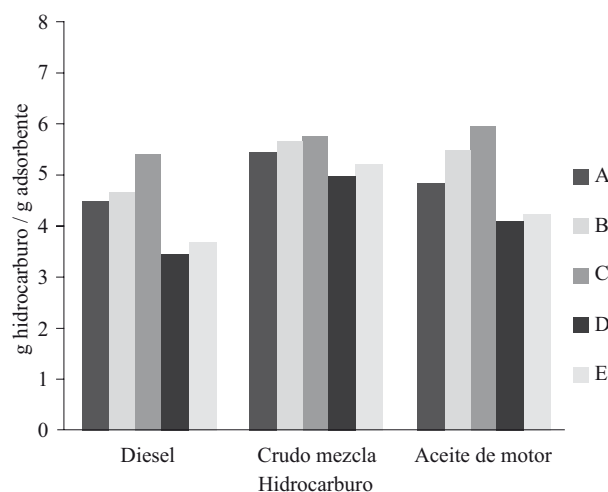


Figura 1. Prueba corta de adsorción de hidrocarburo (tiempo de prueba, 15 min)

Desempeño de los materiales en la prueba larga

En la Figura 2 se puede observar la información obtenida para la adsorción de los tres hidrocarburos empleados. A continuación se detalla el análisis de los resultados.

Diesel

El mejor material fue el musgo de la marca **C**, con una capacidad de $6.1 \text{ g}_{\text{diesel}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$, seguido de los materiales **B** y **A** con valores de 4.8 y $4.5 \text{ g}_{\text{diesel}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$, respectivamente. Los que mostraron la menor capacidad de adsorción fueron **D** y **E** con valores de 3.5 y $3.3 \text{ g}_{\text{diesel}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$, respectivamente. Nuevamente, hubo diferencias significativas entre **C** y los demás ($p < 0.05$) pero no entre **A** y **B** y **C** y **D**, aunque sí entre ellos ($p < 0.05$).

Crudo Istmo –Maya (mezcla)

De las pruebas realizadas con crudo, se observa de nuevo que los materiales tienen valores de desempeño similares entre sí. La adsorción está en un rango de $6.7\text{--}7.1 \text{ g}_{\text{crudo}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ a excepción del bagazo de caña que se encuentra en un valor de $6.0 \text{ g}_{\text{crudo}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ y que sí fue significativamente diferente a los otros cuatro ($p < 0.05$).

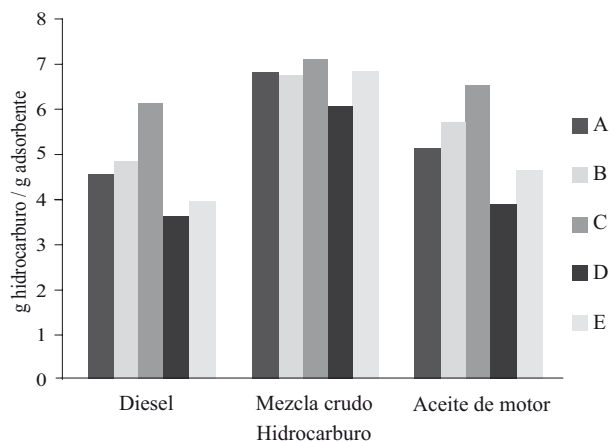


Figura 2. Prueba larga de adsorción de hidrocarburo (tiempo de prueba, 24 h)

Aceite de motor

En cuanto a las pruebas con aceite de motor, el mejor material fue el **C** con $6.5 \text{ g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{sorbente}}$ y después están el musgo **B** con $5.7 \text{ g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ y el material **A** con $5 \text{ g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$. Los valores obtenidos con **E** y el **D** volvieron a ser menores con una capacidad de solamente 4.6 y $3.8 \text{ g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$, respectivamente. Todos fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Comparando los valores obtenidos en esta prueba larga con los mostrados en la prueba corta, se observan resultados similares para diesel y aceite lo que indica que el material se satura casi por completo en la prueba corta.

Para esta fase de la investigación, se concluye que la prueba larga es más representativa debido a que se asegura la saturación del material. Por tanto, el material que obtuvo un mejor desempeño fue el material **C** con valores de $6.1 \text{ g}_{\text{diesel}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$, $7.1 \text{ g}_{\text{crudo}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ y $6.5 \text{ g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$.

La ventaja de utilizar el método ASTM F726-06 (2006) con respecto a los otros considerados (BuuM, 1998; BS 7959-1:2004; Canadian General Standards Board, 1996; NFT 90-360, 1997) es que tiene un tiempo definido de saturación, a diferencia del propuesto por Shrader (1996) y por los métodos estándares británicos (BS 7959-1:2004) en el que el tiempo de saturación depende de la percepción visual del técnico, lo que puede provocar desviaciones al no ser el mismo tiempo para todos los materiales.

Desempeño de los materiales en las pruebas dinámicas

Prueba hidrofílica

La prueba consiste en colocar 4 g del material en un frasco con 2 L de agua durante 15 min con agitación, en donde el material debe flotar. De los materiales evaluados, la marca **C** fue el único material que flotó y que no coloreó el agua. Los demás materiales se hundieron 10% o más (datos no mostrados). Los materiales **A** y **B** colorearon de café el agua mientras que los materiales **D** y **E** colorearon el agua de amarillo. Puede decirse que parte del material tipo II se dispersa finalmente en el agua después de los 15 min de prueba con agitación, excepto para el material **C**. Todos los valores mostraron diferencias significativas entre ellos, excepto **D** y **E** ($p < 0.05$).

En la Figura 3 se observa la cantidad de agua adsorbida por los materiales. El rango se encuentra entre de $3.98\text{--}6.06 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$, los cuales son valores altos. Said y col. (2009) realizaron un estudio acerca de la adsorción de agua del bagazo de caña donde se observó que este material adsorbió 4.5 veces su masa. Este valor está dentro del rango de adsorción de agua obtenido en esta investigación.

Si se comparan los valores de adsorción de agua con los obtenidos en las pruebas de adsorción de prueba corta y prueba larga de hidrocarburos (sección 3.3 y 3.4) se puede observar que los valores obtenidos son similares, dentro del rango de adsorción de hidrocarburos, que fue de $3.4\text{--}7.0 \text{ g}_{\text{hidrocarburo}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$.

Esto significa que los materiales a granel probados presentan cierta hidrofiliidad y pueden sorber, tanto hidrocarburos como agua.

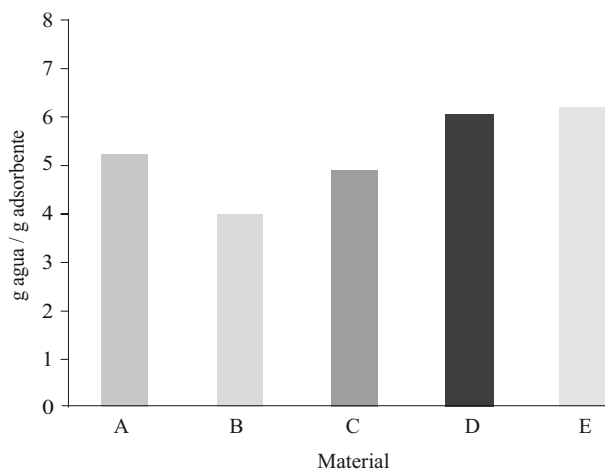


Figura 3. Prueba dinámica hidrofílica

Otros estudios de materiales adsorbentes a granel (Canadian General Standards Board, 1996) indican que el valor máximo de adsorción de agua fluctúa entre $0.5\text{--}0.9 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$. Esto ratifica que la capacidad de adsorción de agua por parte de los materiales evaluados es muy alta. Estas afirmaciones también aplican para el material C que, aunque no presentó hundimiento, sí tuvo una adsorción significativa de agua con un valor de $4.90 \text{ g}_{\text{agua}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$.

Prueba oleofílica

El material utilizado en esta prueba es el mismo que se somete a la prueba hidrofílica. Los resultados de estas pruebas visuales mostraron que el aceite es adsorbido; sin embargo, se muestran trazas de aceite en el agua a excepción del material C que adsorbió completamente el aceite.

De las pruebas dinámicas se puede resumir que el uso del material a granel en agua no es recomendable ya que existe la posibilidad de hundimiento. Sin embargo, cuando existe aceite en la superficie, éste es adsorbido por el musgo, aunque esta adsorción no es completa dado que quedan trazas de hidrocarburo en el agua.

CONCLUSIONES

La capacidad de adsorción de los tres hidrocarburos sobre los cinco materiales probados en este estudio,

tanto para la prueba corta como para la larga presentaron valores de desempeño similares para diesel y aceite de motor, con un rango de $3.4\text{--}5.9 \text{ g}_{\text{hidrocarburo}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$. Esto que indica que la saturación de los materiales se lleva poco después de los 15 min con estos dos tipos de hidrocarburos.

Para el caso de la mezcla de crudo Istmo y Maya, el desempeño fue el más alto de los tres hidrocarburos probados para cada material. Estos resultados indican que se requiere de mayores estudios, dado que en esta fase de la investigación se utilizó una mezcla de crudo particularmente ligero y podría no ser el caso con otros tipos. Se obtuvieron valores mayores de desempeño en la prueba larga, por lo que habrá que estudiar la adsorción de crudo, que demostró ser más lenta que la del diesel y del aceite de motor y sus viscosidades y densidades no dan una pauta para explicar este comportamiento. El material que obtuvo un mejor desempeño fue el material C con valores de $6.1 \text{ g}_{\text{diesel}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$, $7.1 \text{ g}_{\text{crudo}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$ y $6.5 \text{ g}_{\text{aceite}}/\text{g}_{\text{adsorbente}}$.

En las pruebas de condiciones hidrofílicas, el material C fue el único que flotó durante los 15 min de prueba. Sin embargo, al igual que los demás materiales adsorbió una cantidad significativa de agua. El 10% de los materiales A, B, D y E se hundieron, además de absorber cantidades significativas de agua.

En cuanto a la prueba oleofílica, el aceite de motor sí fue adsorbido por todos los materiales pero existen trazas del mismo en el agua al finalizar la prueba. Se concluye que los materiales a granel seleccionados, al ser de origen natural presentan afinidad al agua por lo que pueden hundirse. Por tanto, este tipo de material no es recomendable para su uso en derrames sobre agua.

De acuerdo con los resultados anteriores, se considera que la selección del método ASTM F726-06 (ASTM, 2006) fue adecuada, ya que permitió conocer la calidad que tenían los materiales adsorbentes estudiados mediante la comparación de su desempeño de adsorción con tres muestras de hidrocarburos en una matriz acuosa y en una oleosa.

NOMENCLATURA

A,B,C,D,E	Materiales adsorbentes en estudio
S_0	Masa inicial del adsorbente seco, g
S_S	Cantidad neta de hidrocarburo adsorbido, g
S_{ST}	Masa del adsorbente al final de la prueba, g
S_W	Cantidad neta de agua adsorbida, g
S_{WT}	Masa del adsorbente al final de la prueba dinámica con agua, g

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen la participación de Raúl Marín-Martínez y Micael Bravo-Sánchez quienes apoyaron en la medición de la viscosidad. Asimismo, agradecen a Oriana Landa-Cansigno y a Claudia Calderón-Rosas por su ayuda para la realización de las pruebas físicas y experimentales.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM. 2006. Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents. Active Standard ASTM F726-06 Developed by Subcommittee F20.22. *Book of Standards*. Volume: 11.05. Dirección electrónica: <http://www.astm.org/Standards/F726.htm>
- Brandão, P.C., Souza, T.C., Ferreira, C.A., Hori, C.E., Romanielo, L.L. 2010. Removal of petroleum hydrocarbons from aqueous solution using sugarcane bagasse as adsorbent. *J. Hazard. Mater.* **175**(1-3):1106-1112.
- Brown, P. A., Gill, S. A., Allen, S.J. 2000. Metal removal from wastewater using peat. *Water. Res.* **34**(16):3907-3916.
- BS 7959-1:2004. Materials used for the control of liquid spillages. Part 1: Determination of sorbency. En *British Standard*. Oct. 19. British Standards Institution, BSI. Dirección electrónica: <http://engineers.ihs.com/document/abstract/AETVGCAAAAAAAAAAAA>
- BuuM. 1998. *Anforderungen an Ölbinder zur Erstellung von Prüfzeugnissen*. Beirat beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Lagerung und Transport Wassergefährdenderstoffe (LTWS). April. Dirección electrónica: <http://www.buum-online.de/wp-content/uploads/2012/10/Anforderungen-an-Oelbinder-zur-Erstellung-von-Pruefzeugnissen.pdf>

- Canadian General Standards Board. 1996. *Absorbent material for oils, liquid fuels and water*. Vol. 25. National Standard of Canada. Montreal, Canadá.
- Crisafully, R., Milhome, M.A., Cavalcante, R.M., Silveira, E.R., DeKeukeleire, D., Nascimenti, R.F. 2008. Removal of some polycyclic aromatic hydrocarbons from petrochemical wastewater using low-cost adsorbents of natural origin. *Biores. Technol.* **99**(10):4515-4519.
- Eltayeb, S., Rizzuti, A.M., Cohen, A.D., Stack, E.M., Lui, J., Durig, J.R. 1998. The use of natural and altered peats for the adsorption of the BTEX components of gasoline in water. *Intl. Peat J.* **8**:3-12.
- Ho, Y.S., McKay, G. 1998. Sorption of dye from aqueous solution by peat. *Chem. Eng. J.* **70**(2):115-124.
- Kalmykova, Y., Strömvall, A.-M., Steenari, B.-M. 2008. Adsorption of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn on *Sphagnum* peat from solutions with low metal concentrations, *J. Hazard. Mater.* **152**(2):885-891.
- NFT 90-360. 1997. Norme Française AFNOR. *Determination du pouvoir absorbant. Capacité de rétention en huile*. ISSN 0335-3931. Sept. 20. ICS: 13.060.10. Dirección electrónica: <http://www.schoellerindustries.fr/tests-laboratory-absorbants-en.html>
- Said, Ael.A., Ludwick, A.G., Aglan, H.A. 2009. Usefulness of raw bagasse for oil absorption: A comparison of raw and acylated bagasse and their components. *Biores. Technol.* **100**(7):2219-2222.
- Schrader, E.L. 1996. Remediation of floating, open water oil spills: Comparative efficacy of commercially available polypropylene sorbent booms. *Environ. Geol. Water Sci.* **17**(2):157-166.
- Tang, S.-Y., Lu, X.-W. 1993. The use of *Eichhornia crassipes* to cleanse oil-refinery wastewater in China. *Ecol. Eng.* **2**(3):243-251.
- Viraraghavan, T., Alfaro, F. de M. 1998. Adsorption of phenol from wastewater by peat, fly ash, and bentonite. *J. Hazard. Mater.* **57**(1-2):59-70.
- Zhang, Y. 2010. *Peat adsorbent for treating petroleum-polluted soil and its treatment method*. PetroChina Co., Ltd. 6pp. 101711974 A 20100526. Peop. Rep. China.