



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA DE PUEBLA**



---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
COLEGIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“ADSORCIÓN DE DERIVADOS DEL BENCENO EN  
COMPÓSITOS DE HIDROTALCITA CALCINADA Y  
SBA-15”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTADO POR:

**ROCÍO ILIANA NARVÁEZ FERNÁNDEZ**

ASESOR:

**DR. ÁLVARO SAMPIERI CRODA**

CO ASESORA:

**DRA. GABRIELA PÉREZ OSORIO**

**PUEBLA, PUE**

**NOVIEMBRE 2014**

## TABLA DE CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>OBJETIVO GENERAL .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>HIPÓTESIS .....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>1.1 Contaminación del aire .....</b>  | <b>7</b>  |
| 1.1.1 Compuestos orgánicos volátiles .....   | 7         |
| 1.1.1.1 Benceno .....  | 8         |
| 1.1.1.2 p-Xileno .....   | 9         |
| 1.1.1.3 Tolueno .....  | 9         |
| 1.1.1.4 Etilbenceno .....  | 10        |
| <b>1.2 Adsorción .....</b>   | <b>11</b> |
| 1.2.1 Isotermas de adsorción .....   | 12        |
| 1.2.2 Modelos de equilibrio de isotermas de adsorción .....  | 14        |
| 1.2.2.1 Isoterma de Langmuir .....   | 14        |
| 1.2.2.2 Isoterma de Henry .....  | 15        |
| 1.2.2.3 Isoterma de Freundlich.....  | 16        |
| 1.2.3 Calor isostérico de adsorción.....   | 16        |
| <b>1.3 Materiales porosos.....</b>   | <b>17</b> |
| 1.3.1 Materiales mesoporosos nanoestructurados .....   | 17        |
| 1.3.1.1 SBA-15 .....   | 18        |
| 1.3.1.2 Arcillas.....  | 18        |
| 1.3.1.3 Compósitos .....   | 20        |
| 1.3.2 Caracterización de los materiales .....  | 20        |
| 1.3.2.1 Difracción de rayos X .....  | 20        |
| 1.3.2.2 Microscopía electrónica de barrido.....  | 21        |
| 1.3.2.3 Adsorción de nitrógeno.....  | 22        |
| <b>1.4 Cromatografía de gases.....</b>   | <b>22</b> |
| <b>1.5 Aplicación de los materiales nanoporosos en la adsorción de contaminantes orgánicos volátiles (COV's) .....</b> | <b>24</b> |
| <b>METODOLOGÍA .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>2.1 Síntesis de los materiales.....</b>   | <b>27</b> |
| 2.1.1 Síntesis de SBA-15.....  | 27        |
| 2.1.2 Síntesis de la hidrotalcita Mg/Al .....  | 27        |
| 2.1.3 Síntesis del compuesto SBA-15/HTC25.....   | 28        |
| <b>2.2 Caracterización de los materiales .....</b>   | <b>28</b> |
| 2.2.1 Difracción de rayos X.....   | 28        |
| 2.2.2 Microscopía electrónica de barrido .....   | 28        |
| 2.2.3 Adsorción de nitrógeno .....   | 28        |
| <b>2.3 Pruebas de adsorción de benceno, tolueno, p-xileno y etilbenceno.....</b>                                       | <b>29</b> |
| 2.3.1 Modelos de equilibrio de isotermas de adsorción .....  | 32        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.3.2 Calor isostérico de adsorción.....  | 32        |
| <b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>  | <b>33</b> |
| <b>3.1 Características fisicoquímicas de los materiales.....</b>  | <b>34</b> |
| 3.1.1 Difracción de rayos X.....  | 34        |
| 3.1.2 Microscopía electrónica de barrido .....  | 36        |
| 3.1.3 Adsorción de nitrógeno .....  | 37        |
| <b>3.2 Pruebas de adsorción de benceno, tolueno, p-xileno y etilbenceno.....</b>                                    | <b>39</b> |
| 3.2.1 Adsorción de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en materiales nanoporosos por cromatografía de gases ..... | 40        |
| 3.2.1.1 Isotermas de adsorción de COVs en SBA-15 .....  | 40        |
| 3.2.1.2 Isotermas de adsorción de COVs en hidrotalcita (HTC) .....  | 41        |
| 3.2.1.3 Isotermas de adsorción de COVs en el compósito SBA-15/HTC25 .....   | 43        |
| 3.2.2 Representación de la forma lineal con el modelo de Freundlich.....  | 45        |
| 3.2.2.1 Isotermas con el modelo de Freundlich para el SBA-15 .....  | 45        |
| 3.2.2.2 Isotermas con el modelo de Freundlich para la hidrotalcita (HTC) .....                                      | 46        |
| 3.2.2.3 Isotermas con el modelo de Freundlich para el compósito SBA-15/HTC <sub>25</sub> .....                      | 47        |
| 3.2.2.4 Datos experimentales del modelo de Freundlich de los materiales .....                                       | 48        |
| 3.2.3 Isotermas de adsorción con el modelo de Langmuir .....  | 50        |
| 3.2.3.1 Isotermas con el modelo de Langmuir para el SBA-15 .....  | 50        |
| 3.2.3.2 Isotermas con el modelo de Langmuir para la HTC .....   | 51        |
| 3.2.3.3 Isotermas con el modelo de Langmuir para el compósito SBA-15/HTC <sub>25</sub> .....                        | 52        |
| 3.2.3.4 Datos experimentales del modelo de Langmuir y Henry de los materiales mesoporosos .....                     | 53        |
| 3.2.4 Calores isostéricos de adsorción de los contaminantes en los materiales .....                                 | 55        |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>  | <b>58</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>  | <b>59</b> |
| <b>ANEXOS. Datos para elaborar las isotermas de adsorción de COVs.....</b>  | <b>62</b> |

## INTRODUCCIÓN

En años recientes se ha notado que la contaminación del aire se ha convertido en uno de los problemas globales de mayor importancia. Esto se debe principalmente a la emisión descontrolada de contaminantes procedentes de varios procesos químicos, que a su vez modifican la calidad del aire y los ciclos naturales de los que dependemos. Existe una gama impresionante de contaminantes del aire, de entre ellos se pueden citar a los compuestos orgánicos volátiles (COVs) que presentan la capacidad de cambiar del estado líquido al estado gaseoso a temperatura ambiente y, además, son altamente tóxicos. Estas sustancias son generadas principalmente por la quema de combustibles, el uso de disolventes o pinturas en aerosol que se ocupan en las industrias y en los hogares. Estos compuestos contribuyen a la producción del *smog* fotoquímico que se genera en las grandes ciudades, afectando no solo al entorno en general, sino también a la salud de las personas.

En esta investigación se presenta un estudio comparativo de la adsorción de tolueno, etilbenceno, benceno y xilenos (moléculas modelos de COV's) en diferentes materiales mesoporosos. Posteriormente mediante la cromatografía de gases, se analiza la cantidad de benceno, tolueno, p-xileno y etilbenceno adsorbido en los materiales porosos propuestos en este trabajo. Existen diferentes aplicaciones de los materiales porosos para reducir la emisión de compuestos orgánicos volátiles en los automóviles, recuperar solventes, eliminar olores, purificar gases, eliminar humedad en gases. Esto gracias a que los materiales con alta porosidad permiten actuar como material sorbente, además de que cuenta con un área superficial que puede favorecer la interacción entre el material y el contaminante o sustancia que se desea filtrar.

En este trabajo se emplea el SBA-15, un material mesoporoso que, por sus propiedades fisicoquímicas y texturales, puede ser un buen adsorbente. Sin embargo este material, al estar constituido principalmente por óxidos de silicio y algunos grupos silanoles, presenta baja reactividad superficial, que podría ser una limitante en la adsorción de COVs. Para evitar este problema, se puede funcionalizar la superficie de este material con otros metales o, como en nuestro trabajo, con una hidrotalcita (HT<sub>C</sub>), que

posee una mayor reactividad química, aunque también presenta un área específica mucho menor que la observada en el SBA-15. La combinación de estos materiales puede propiciar la formación de materiales compósitos con propiedades fisicoquímicas que permitan favorecer la adsorción de COVs.

## **OBJETIVO GENERAL**

Estudiar los fenómenos de adsorción del benceno, tolueno, p-xileno y etilbenceno en materiales compósitos nanoporosos a base de hidrotalcita y SBA-15, mediante cromatografía de gases.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Determinar, mediante cromatografía de gases la capacidad que presentan los materiales nanoporosos para adsorber contaminantes orgánicos volátiles como benceno, tolueno, p-xileno y etilbenceno.
2. Caracterizar y analizar las isotermas de adsorción y calcular los calores isostéricos de adsorción de los materiales nanoporosos con la finalidad estudiar sus energías de interacción con los adsorbatos.
3. Conocer las propiedades fisicoquímicas de los materiales nanoporosos seleccionados: SBA-15, hidrotalcita de Mg-Al y un compósito de ambos

## **HIPÓTESIS**

La adsorción de los COVs (benceno, tolueno, p-xileno y etilbenceno) en los materiales porosos propuestos, depende de sus propiedades fisicoquímicas tales como: su mesoporosidad, alta área superficial.

# CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

## **1.1 Contaminación del aire**

La contaminación del aire se define como la presencia de uno o más contaminantes que se acumulan en la atmósfera en concentraciones tales que provocan daños provisionales o permanentes a los hombres, animales, las plantas o los bienes materiales.

La contaminación del aire no es un fenómeno nuevo, ya que el hombre desde que comenzó a agruparse en comunidades ha liberado contaminantes a la atmósfera. Pero durante el último siglo, por el descubrimiento de nuevos combustibles, nuevos productos y procesos, estas formas tradicionales de contaminación (humo y olores), fueron reemplazadas por un grupo nuevo de contaminantes del aire, entre los que se encuentran los compuestos orgánicos volátiles. Estos son producto de la cambiante sociedad urbana industrial. En conjunto, la mayor parte de los problemas de contaminación del aire son, hoy en día, resultado de las actividades industriales y los medios de transporte, en otras palabras, una consecuencia del uso de energías no renovables. (Strauss, 1990).

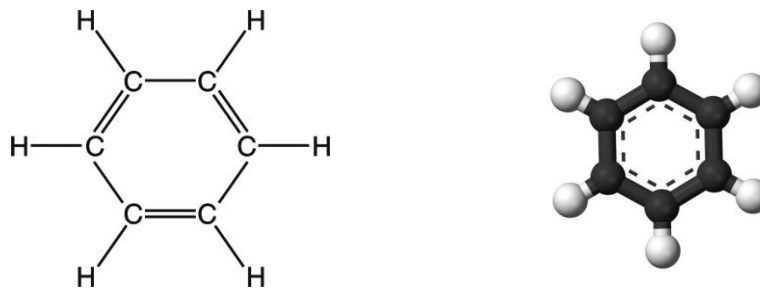
### **1.1.1 Compuestos orgánicos volátiles**

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs) son líquidos o sólidos que contienen carbono orgánico (carbono unido a carbono, hidrógeno, nitrógeno, o sulfuro), con un número de átomos de carbono normalmente entre 2 y 12 (Strauss, 1990). Los COVs están constituidos por una mezcla compleja de compuestos de bajo peso molecular los cuales se vaporizan rápidamente. De acuerdo con criterios ampliamente aceptados, en el término COVs se agrupan compuestos con carbono presentes en la atmósfera que tengan una presión de vapor superior a 0,01 kPa a 293,15 K (De Nevers, 1995), exceptuando el metano que por sus especiales características es tratado aparte. Estos compuestos son llamados “contaminantes no convencionales” ya que no son medidos rutinariamente en los centros de monitoreo atmosférico; esto se debe principalmente porque los datos que se obtienen suelen ser poco consistentes y poco extensivos. Los COVs son probablemente la segunda clase más amplia y diversa de emisiones después de las partículas. En general, la variedad de COVs es bastante amplia, pero entre los compuestos que se utilizan en la industria y en el hogar se pueden encontrar el benceno, tolueno, xileno, nitrobenceno, etc. Dichos compuestos son considerados como hidrocarburos aromáticos monocíclicos

debido a su estructura molecular, su composición y su olor característico. Aunque algunos COVs son emitidos a partir de fuentes de gran tamaño, la mayoría se emiten por fuentes más pequeñas como los automóviles, las botellas de removedor de esmaltes para uñas, latas de pintura en spray, el uso excesivo de disolventes, etc. (De Nevers, 1995).

### 1.1.1.1 Benceno

El benceno es un líquido incoloro con olor dulce. Se evapora al aire rápidamente y es poco soluble en agua. Es altamente inflamable y se forma tanto de procesos naturales como de actividades humanas. El benceno se usa para fabricar ciertos tipos de cauchos, lubricantes, tinturas, detergentes, medicamentos y plaguicidas. El benceno también es un componente natural del petróleo, la gasolina y el humo de cigarrillo. Los procesos industriales son la fuente principal de benceno en el ambiente. El benceno puede pasar al aire desde el suelo y el agua. En el aire reacciona con otras sustancias químicas y se degrada en unos pocos días. El benceno en el aire puede ser arrastrado a la tierra por la lluvia o la nieve (ATSDR, 2007). Los límites máximos permisibles de exposición bajo condiciones normales de temperatura y presión para este compuesto son 1 ppm o 3.2 mg/m<sup>3</sup>(NOM-010, 1999). Además es considerado como un carcinógeno humano sospechoso ya que en los estudios en animales arrojan que hay anomalías o cáncer en órganos de suma importancia y esto hace que se tenga cuidado en la manipulación de este contaminante (NOM-010, 1999). En la Figura 1 se muestra el diagrama y la estructura química tridimensional del benceno.

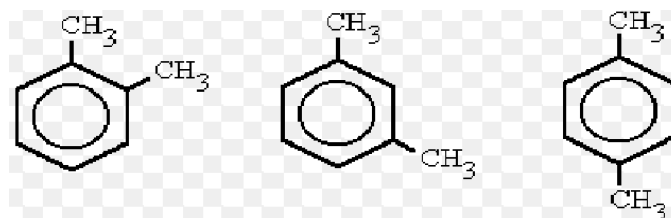


**Figura 1. Diagrama y estructura química tridimensional del benceno.**

### 1.1.1.2 p-Xileno

Los p-xilenos son líquidos incoloros de olor dulce que se inflama fácilmente. Se encuentra naturalmente en el petróleo y en alquitrán. Las industrias químicas producen p-xileno a partir del petróleo. Los p-xilenos se usan como disolventes en la imprenta y en las industrias de caucho y cuero. También se usan como agentes de limpieza, diluyente de pintura, en pinturas y en barnices. Hay tres formas de xilenos, en las que la posición de los grupos metilos en el anillo de benceno varía: *meta*-xileno, *orto*-xileno y *para*-xileno (*m*-, *o*- y *p*-xileno). Estas formas se conocen como isómeros. Por lo general, estos isómeros se encuentran en una mezcla donde se tiene en mayor proporción al p-xileno. Esto es debido a que es el isómero más estable.

Pequeñas cantidades se encuentran en el combustible de aviones y en la gasolina. El xileno se evapora rápidamente al aire desde el suelo y aguas de superficie (ATSDR, 2007). El límite máximo permisible promedio para el p-xileno es de 100 ppm o 435 mg/m<sup>3</sup>. Y se cataloga como no carcinógeno para los humanos, ya que no se cuenta con datos suficientes para clasificarlo de esa manera (NOM-010, 1999). En la Figura 2 se muestra el diagrama de la fórmula química de los isómeros del xileno.



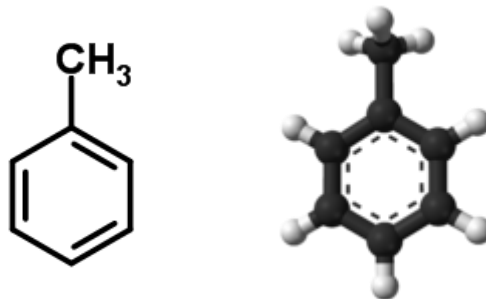
**Figura 2. Diagrama de la fórmula química de los isómeros del xileno: *m*-, *o*- y *p*-xileno.**

### 1.1.1.3 Tolueno

El tolueno es un líquido incoloro con un olor característico. Se produce durante la manufactura de gasolina y de otros combustibles a partir de petróleo crudo y en la manufactura de coque a partir de carbón. Se usa en la fabricación de pinturas, diluyentes

de pinturas, barniz para las uñas, lacas, adhesivos y gomas, y en ciertos procesos de imprenta y curtido de cuero.

Generalmente no permanece mucho tiempo en el ambiente. El tolueno puede afectar al sistema nervioso. A niveles bajos o moderados pueden producir cansancio, confusión, debilidad, pérdida de la memoria, náusea, pérdida del apetito y pérdida de la audición y la vista. Estos síntomas generalmente desaparecen cuando la exposición termina. Inhalar niveles altos de tolueno por un período breve puede hacerlo sentirse mareado o soñoliento. También puede causar pérdida del conocimiento, e incluso la muerte (Moreno, 2003). El límite máximo permisible promedio para el tolueno es 50 ppm o 188 mg/m<sup>3</sup> (NOM-010, 1999). Este contaminante puede ser absorbido a través de la piel, las membranas mucosas o los ojos en cantidades significativas, incrementando el riesgo a la exposición en el medio ambiente (NOM-010, 1999). La Figura 3 representa la estructura química y el diagrama del tolueno.



**Figura 3. Diagrama y estructura química del tolueno.**

#### **1.1.1.4 Etilbenceno**

El etilbenceno es un hidrocarburo formado por un anillo bencénico y un grupo etilo. Es un líquido inflamable, incoloro, de olor similar a la gasolina.

Es un compuesto volátil, por lo que la evaporación es un mecanismo importante de distribución en el medio ambiente. Se evapora fácilmente desde la superficie de los suelos y aguas y se biodegrada con rapidez en el medio ambiente en condiciones aerobias. El etilbenceno

se utiliza fundamentalmente como base para la síntesis de estireno y como componente de la gasolina y el combustible de aviación. Se le considera un contaminante ubicuo de suelos y aguas subterráneas.

Su comportamiento toxicocinético es muy similar al de los xilenos: se absorbe preferentemente por inhalación, aunque también la ingestión da lugar a su absorción de forma rápida y eficaz. La absorción cutánea es más lenta. (Moreno, 2003) El límite máximo permisible promedio para el etilbenceno en una jornada es de 100 ppm o de 435 mg/m<sup>3</sup> (NOM-010, 1999). En la Figura 4 se observa la representación gráfica de la fórmula química del etilbenceno.



**Figura 4. Diagrama y estructura del etilbenceno.**

## 1.2 Adsorción

La adsorción se define como el proceso que se lleva a cabo en la superficie del sorbente. La sustancia que se deposita en la interfase se llama adsorbato, y la sustancia en cuya superficie se realiza la adsorción, adsorbente. El fenómeno de la adsorción se debe a la existencia de un exceso de energía libre de la superficie. Y esto a su vez depende de las propiedades termodinámicas de la superficie y de la malla cristalina del cuerpo sólido que se ocupará como adsorbente. La superficie de un cuerpo sólido, a diferencia de la malla cristalina en el volumen, se caracteriza por la existencia de niveles insaturados de electrones. El grado relativo de insaturación de la superficie determina el tipo de enlace que surge entre la partícula adsorbida y la superficie. Es por esto que existen dos tipos de adsorción. La adsorción física o fisisorción es donde las moléculas están unidas a la superficie por fuerzas físicas, por lo que no destruye la composición del adsorbato y es un proceso reversible. La adsorción química o quimisorción implica un

enlace químico entre el adsorbato y el material adsorbente. Por lo que se considera a este tipo de adsorción como irreversible (Aguilar, 1985).

El proceso de adsorción se utiliza sobre todo, en el control de la contaminación del aire para concentrar un contaminante que está presente en forma diluida en una corriente de aire o de gas (De Nevers, 1995).

En la adsorción se emplea las leyes de la termodinámica para el cálculo del equilibrio de fases entre una mezcla gaseosa con un adsorbente sólido. La base para los cálculos termodinámicos son las isotermas de adsorción (Myers, 2004).

### 1.2.1 Isotermas de adsorción

Las isotermas de adsorción son descripciones gráficas del equilibrio de sorción (retención de una sustancia por otra cuando están en contacto) para la adsorción de un componente único o de intercambio iónico binario (Perry y Green, 2010). Definiéndolo de otra manera, proporcionan la cantidad de gas adsorbido en los poros del material adsorbente como una función de la presión externa del gas.

Las isotermas de adsorción se miden experimentalmente o se calculan a partir de simulaciones moleculares. Las posibles funciones que se utilizan para construir un modelo molecular detallado de las interacciones átomo-átomo y una distribución de cargas puntuales se utiliza para reproducir la polaridad del material sólido y las moléculas adsorbentes (Myers, 2004).

Las isotermas se clasifican, según la IUPAC, en seis tipos, Figura 5. La isoterma reversible **tipo I** es cóncava hacia el eje  $p/p_0$  y se aproxima a un valor límite cuando  $p/p_0 \rightarrow 1$ . Este tipo de isotermas se representan en sólidos microporosos con superficies externas relativamente pequeñas, ejemplo: carbones activados, tamices moleculares zeolíticos, óxidos porosos, donde la adsorción límite está determinada por el volumen accesible de microporos más que por el área superficial interna. Se caracteriza porque la adsorción se produce a presiones relativas bajas (Sing *et al.*, 1985).

La isoterma **tipo II** es la forma normal de la isoterma y se obtiene de sólidos no porosos o macroporosos, representa una adsorción de monocapa-multicapa sin restricciones. Se admite

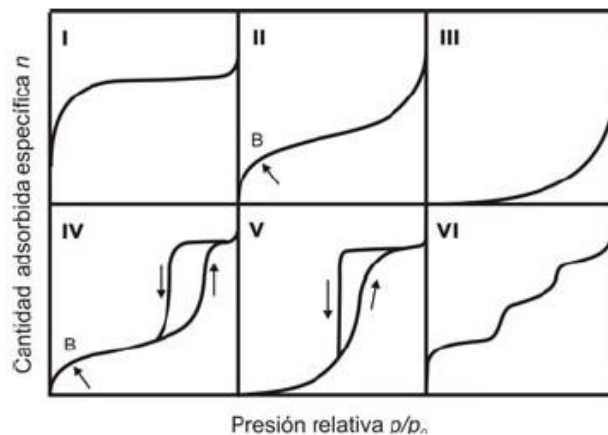
frecuentemente que presente un punto de inflexión el cual señala el momento en el que el recubrimiento de la monocapa está completo y a punto de iniciar la adsorción en multicapa; es característica de sólidos macroporosos o no porosos (Sing *et al.*, 1985).

En la isoterma **tipo III** corresponde a una interacción muy débil entre el sólido y el gas y es poco frecuente (encontrado en el agua y carbono) (Sing *et al.*, 1985).

Las características que presenta la isoterma **tipo IV** son el ciclo de histéresis el cual se relaciona a la condensación capilar en los poros (generalmente mesoporos) y el límite de la cantidad adsorbida en un intervalo de presión relativa alta. La parte inicial corresponde a un proceso de llenado en monocapa – multicapa, característica de sólidos mesoporosos; con tamaños de poro entre 15 y 1000 Å Presenta un incremento de la cantidad adsorbida importante a presiones relativas intermedias (Sing *et al.*, 1985).

El tipo de isoterma **tipo V** al igual que la isoterma tipo III, es característica de interacciones adsorbato-adsorbente débiles, pero se diferencia de la anterior en que el tramo final no es asintótico, y se puede obtener con ciertos adsorbentes porosos (Sing *et al.*, 1985).

Las isotermas **tipo VI** es poco frecuente, este tipo de adsorción en escalones siendo la altura del escalón la capacidad de la monocapa y el número de escalones el número de capas adsorbidas, ocurre sólo para sólidos con una superficie no porosa muy uniforme ejemplo: adsorción de gases nobles en carbón (Sing *et al.*, 1985).



**Figura 5. Representación gráfica de los diferentes tipos de isothermas de adsorción según la IUPAC (Sing *et al.* 1985).**

## 1.2.2 Modelos de equilibrio de isothermas de adsorción

Aunque numerosas isothermas de adsorción existen y son útiles, los modelos más comunes que se usan para describir el equilibrio entre una superficie (adsorbente) y una sustancia química en solución (adsorbato) son las ecuaciones de adsorción de Langmuir, BET, Freundlich, Dubinin-Raduskevich, Henry o Van Hoff.

### 1.2.2.1 Isotherma de Langmuir

La isoterma de Langmuir es una de las ecuaciones más conocidas y se utiliza en el modelado del equilibrio de adsorción. Además, esta isoterma se refiere al caso ideal de la adsorción sobre una superficie homogénea energéticamente hablando.

Este modelo considera que la superficie de un sólido está formada de espacios elementales que describe la adsorción de una monocapa. Para la deducción de esta isoterma se parte de los siguientes postulados:

- a) La superficie del adsorbente es homogénea energéticamente;
- b) No hay interacción entre las moléculas adsorbidas;
- c) La adsorción termina cuando se alcanza la formación de la monocapa;
- d) Las moléculas adsorbidas no se desplazan por la superficie del adsorbente;
- e) En unas condiciones dadas (P, T) se establece el equilibrio entre las moléculas adsorbidas y las moléculas en la fase gaseosa (o líquida).

Este tipo de isothermas se observa frecuentemente, pero frecuentes son también las desviaciones de estas. La causa de estas desviaciones consiste en que las superficies reales son heterogéneas y además las moléculas adsorbidas interaccionan entre sí.

La isoterma de Langmuir se puede examinar de la siguiente forma:

1. Para presiones bajas ( $KP < 1$ ) la isoterma se convierte en:

$$\theta = KP \text{ (Isotherma de Henry)} \quad \text{(Ec. 1)}$$

2. Para presiones altas ( $KP > 1$ ) la isoterma se convierte en.

$$\theta = 1 \text{ (formación de la monocapa)} \quad \text{(Ec. 2)}$$

En la ecuación 3 se aprecia la ecuación general en el modelo de Langmuir y que se emplea en este estudio para obtener las isothermas.

$$\frac{P}{a} = \frac{1}{Ka_m} + \frac{P}{a_m} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde  $P$  es la presión del sistema,  $a$  es el volumen adsorbido a cierta presión,  $a_m$  que sería el volumen máximo que la superficie puede adsorber en el equilibrio y  $K$  es el valor de una constante.

La isoterma de Langmuir será cóncava hacia el eje X siempre y cuando el sólido sea poroso y la temperatura se encuentre por arriba del punto de ebullición del gas.

Entre las ventajas de este modelo es que su ecuación tiende a ser muy simple y puede aplicarse fácilmente a un gran intervalo de datos. Por otra parte, entre las desventajas encontramos que el modelo considera solo una monocapa, la reversibilidad del enlace y las velocidades constantes de captación.

### 1.2.2.2 Isoterma de Henry

El modelo de Henry depende de la isoterma de Langmuir. Esto se debe a que es una variación lineal de la función de  $a$  (volumen adsorbido a cierta presión), a bajas presiones se observa cuando está ocupada una pequeña cantidad de superficie y se caracteriza por presentar un proceso de adsorción a bajos grados de recubrimiento.

Con la ecuación 4 que es la Ecuación de Henry se puede determinar que la concentración en la capa superficial es directamente proporcional a la concentración del adsorbato, ecuación 5.

$$a = K_H p \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde  $K_H$  es la constante de Henry,  $a$  volumen adsorbido a cierta presión y  $p$  presión del sistema.

Para corroborar el cumplimiento de la isoterma, la grafica de  $\log a$  vs  $\log P$  y debe ser una línea recta

### 1.2.2.3 Isoterma de Freundlich

El modelo empírico de Freundlich se utiliza principalmente cuando se tiene un proceso de fisisorción. Las características cualitativas de las isotermas de adsorción de diversos materiales son muy similares y se ajustan bastante bien en un intervalo restringido de concentraciones.

En la ecuación 5 se observa la forma en que se expresa el modelo de Freundlich

$$a = K_f p^{\frac{1}{n}} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde  $a$  es la capacidad de adsorción en equilibrio con el adsorbente,  $K_f$  es la constante de equilibrio de Freundlich que indica la capacidad de adsorción y la afinidad del adsorbato por el adsorbente,  $1/n$  se define como la velocidad de saturación del adsorbato.

Posteriormente, la isoterma de Freundlich se obtiene a partir de la ecuación logarítmica 10.

$$\log a = \log K_f + \frac{1}{n} \log p \quad (\text{Ec. 6})$$

La ecuación 6 se adapta a una línea recta cuando se traza una gráfica sobre su base logarítmica en ambos ejes.

La aplicación más común de este modelo es para predecir la tendencia de un compuesto que será adsorbido en superficies heterogéneas en un sólido. Además, se puede conocerlo parámetros de adsorción para amplios intervalos de presiones de equilibrio, los cuales se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1. Parámetros de adsorción presentes en la isoterma de Freundlich**

| Parámetros de adsorción                 | Pendiente de la recta $1/n$ |
|---|-----------------------------|
| Sustancias adsorbidas irreversiblemente | =0                          |
| Sustancias adsorbidas favorablemente    | >1                          |
| Sustancias no adsorbidas                | Es muy grande               |

### 1.2.3 Calor isostérico de adsorción

El calor de adsorción es la magnitud termodinámica que describe desde un punto de vista cuantitativo las interacciones entre un adsorbente y el adsorbato correspondiente. Su valor se

puede deducir de las isothermas de adsorción. El calor de adsorción isostérico es el más utilizado para el cálculo de lechos fijos, el cual viene dado por la ecuación 7 de Clausius-Clapeyron.

$$\left[ \frac{\partial p}{\partial T} \right]_a = \frac{q_{st}(a)}{RT^2} \quad \text{(Ec. 7)}$$

Donde  $p$  es la presión de equilibrio cuando  $a$  moles de gas son adsorbidos a la temperatura  $T$  en kelvin (K).

Los calores de adsorción pueden determinarse a partir de isothermas medidas a diferentes temperaturas o medidas independientemente por métodos calorimétricos. (Perry y Green, 2010)

### 1.3 Materiales porosos

Los materiales porosos son adsorbentes naturales o sintéticos con estructura amorfa o microcristalina (Perry y Green, 2010). Estos materiales son de gran utilidad como catalizadores y sorbentes debido a sus propiedades químicas y texturales (altas áreas superficiales, pueden presentar una distribución regular y uniforme de los poros, una composición química variable, etc). Los sólidos porosos, en la clasificación de la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada por sus siglas en inglés), se dividen según los diámetros de sus poros ( $d_p$ ) en microporosos ( $d_p < 2$  nm); mesoporosos ( $2$  nm  $< d_p < 50$  nm) y macroporosos ( $d_p > 50$  nm); 1 nm equivale a  $1 \times 10^{-9}$  m (Schüth y Schmidt, 2002; Ciesla *et al.*, 1999; Corma, 1997).

Los materiales mesoporosos han despertado un interés en los investigadores por sus aplicaciones tecnológicas en ingeniería ambiental. Con una amplia gama de aplicaciones como catalizadores, adsorbentes o materiales de lenta liberación (Vaccari, 1999).

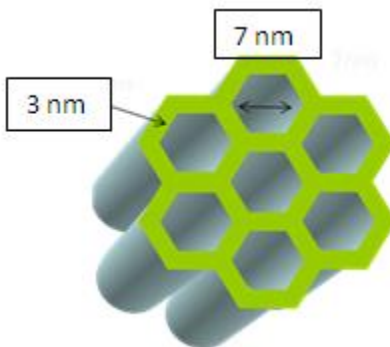
#### 1.3.1 Materiales mesoporosos nanoestructurados

Existe una gran variedad de sólidos mesoporosos, en nuestro caso nos enfocaremos al estudio materiales síliceos nanoestructurados ( $\text{SiO}_2$ ). Son generalmente amorfos o pseudocristalinos, con poros que están regularmente espaciados y cuyos tamaños están distribuidos en un estrecho intervalo. El método más usado para la preparación de

estos sólidos es el sol-gel en presencia de agentes surfactantes, con el fin de obtener materiales nanoestructurados (Brinker *et al.*, 1990). También se emplean en este estudio las arcillas aniónicas como agentes precursores de compósitos nanoestructurados a partir del SBA-15, un material mesoporoso.

### 1.3.1.1 SBA-15

La síntesis de este material emplea copolímeros anfifílicos como agentes direccionadores de la estructura. A partir de ellos se han diseñado estructuras hexagonales de sílice de la familia denominada SBA (Santa Barbara), el material más conocido es el SBA-15 (Santa Barbara No. 15). En efecto, el SBA-15 es un material mesoporoso estable con una estructura hexagonal plana y poros en forma de canales, construido a partir de óxido de silicio (Zhao *et al.*, 1998). En este caso, entre sus propiedades están: orden de poro de largo alcance, grandes mesoporos monodispersos ( $> 5$  nm) e importantes espesores de pared (entre 3 y 9 nm), lo que les proporciona una mayor estabilidad térmica e hidrotérmica (Schüth y Schmidt, 2002; Ciesla *et al.*, 1999; Corma, 1997). La Figura 6 muestra esquemáticamente la estructura, el ancho de pared y el diámetro de poro del SBA-15.



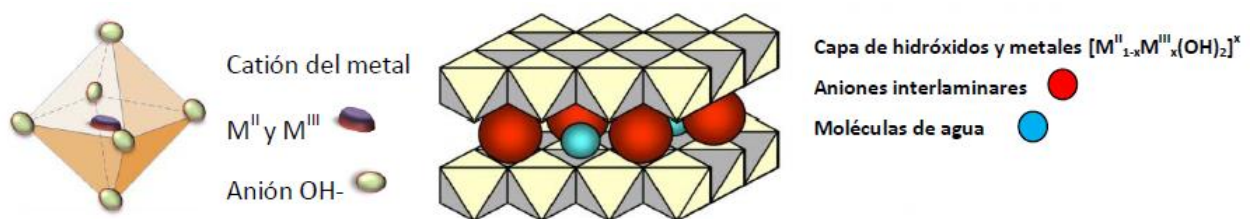
**Figura 6. Representación esquemática de la estructura del SBA-15.**

### 1.3.1.2 Arcillas

Las arcillas son materiales heterogéneos, compuesto generalmente de minerales naturales o sintéticos. Además, se constituye por otras sustancias, como son los fragmentos de roca, óxidos hidratados, geles y sustancias orgánicas. Estos materiales pueden presentar una buena capacidad

de adsorción. (Vaccari, 1999). Se usan como adsorbentes, agentes decolorantes, intercambiadores iónicos o catalizadores. Existen dos clases de arcillas, las de tipo catiónico y las arcillas aniónicas (Fetter, 2005). Las arcillas de tipo catiónico son compuestos formados por hojas octaédricas y tetraédricas dispuestas en el espacio en forma de láminas cargadas negativamente y que alojan en su espacio interlaminar cationes que compensan la carga de las láminas. Las arcillas de tipo aniónico tanto naturales como sintéticas, se componen por aniones intercambiables dentro de su espacio interlaminar (Vaccari, 1999). La arcilla aniónica más estudiada es la hidrotalcita.

La hidrotalcita,  $[Mg_6Al_2(OH)_{16}](CO_3) \cdot 4H_2O$ , Figura 7, está formada por láminas que están cargadas positivamente y en el espacio interlaminar se encuentran generalmente  $CO_3^{2-}$  (Miyata, 1975). La estructura de la hidrotalcita es similar a la de la brucita,  $Mg(OH)_2$ , en la cual el magnesio se encuentra coordinado octaédricamente a seis grupos hidroxilo. Estos octaedros, al compartir sus orillas, forman láminas bidimensionales. Cuando algunos cationes  $Mg^{2+}$  se reemplazan por  $Al^{3+}$ , se forma la hidrotalcita y el arreglo laminar adquiere carga residual positiva. Para compensar esta carga positiva se requiere de un anión que generalmente reside en la zona interlaminar, junto con moléculas de agua. El anión interlaminar se puede intercambiar por muchos otros en medio acuoso u orgánico. Las hidrotalcitas o materiales tipo hidrotalcita se pueden sintetizar fácilmente en el laboratorio. Al ser calcinadas presentan una moderada área superficial y se forman óxidos mixtos con un pequeño tamaño de cristal, son estables a tratamientos térmicos y presenta efecto memoria. Esto último permite su reconstrucción de la estructura hidrotalcita cuando se las pone en ambientes húmedos que contienen aniones.



**Figura 7. Estructura de la hidrotalcita.**

### **1.3.1.3 Compósitos**

Actualmente los investigadores tienen la oportunidad de proponer nuevos materiales nanoestructurados con propiedades multifuncionales, tales como, materiales compósitos. Un material compósito es aquél que a partir de dos o más materiales distintos se combinan para obtener otro material con mejores características fisicoquímicas y estructurales que sus precursores. Estos materiales se obtienen combinando fibras o partículas con un material aglutinante o matriz, el cual es la fase continua del material compuesto (Mangonon, 2001; Alexander *et al.*, 1998). Existen dos tipos de compósitos, los de tipo híbrido, que están formados por un precursor orgánico y un inorgánico. Y los de tipo inorgánico, que se componen por dos precursores inorgánicos. En nuestro caso se obtendrá un material compósito mediante la incorporación de una hidrotalcita en la superficie del SBA-15. Una de las ventajas que se obtiene de este material es que los materiales compósitos sintetizados están nanoestructurados y presentan características multifuncionales. Y esto sucede gracias a la exaltación de sus propiedades fisicoquímicas. Además, sus aplicaciones en el ámbito ambiental son muy amplias, ya que estos materiales puede servir como nanocatalizadores, nanoalmacenadores y nanoliberadores de herbicidas y contaminantes y también como nanoadsorbedores de COVs.

### **1.3.2 Caracterización de los materiales**

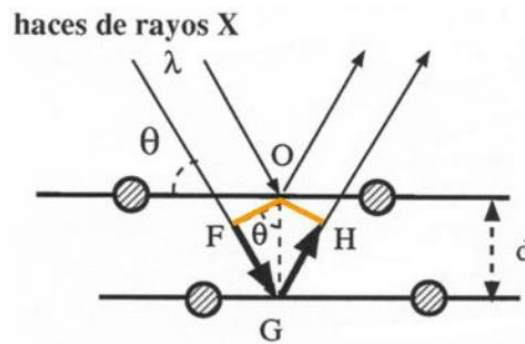
Las técnicas de caracterización son un conjunto de métodos instrumentales que permiten determinar los atributos peculiares de una muestra, en este caso se presenta en forma de polvos. Se puede caracterizar el tamaño, el volumen y la distribución de poros, el área superficial, la cristalinidad, la composición de los materiales. Las técnicas de caracterización que se emplearon en este trabajo se describen brevemente en los siguientes apartados.

#### **1.3.2.1 Difracción de rayos X**

El método de difracción de rayos X es el más utilizado para la caracterización e identificación de fases cristalinas. Los picos de difracción (condicionadas por el tamaño y forma de la celdilla elemental del cristal) ofrecen información sobre el sistema cristalino. La intensidad de los rayos difractados está íntimamente relacionada con la naturaleza de los átomos y las

posiciones que ocupan en la red cristalina. Su medida constituye la información tridimensional necesaria para conocer la estructura interna de la celda unitaria.

Esta técnica consiste en hacer interaccionar un haz de Rayos X, con una determinada longitud de onda, que incide en una sustancia cristalina. Como consecuencia se originará que los átomos que conforman el cristal dispersen los Rayos X y se produce un fenómeno de interferencia de ondas que para determinadas direcciones de incidencia, pueden ser destructivas o constructivas surgiendo así el fenómeno de difracción. En la Figura 8 se representa el proceso de difracción de Rayos X en cierta muestra cristalina.

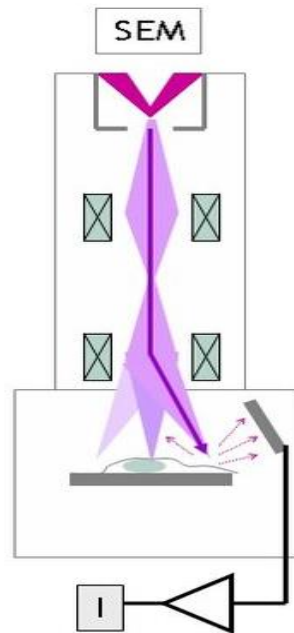


**Figura 8. Representación esquemática de la difracción de Rayos X.**

### 1.3.2.2 Microscopía electrónica de barrido

La microscopía electrónica de barrido (MEB) es una técnica que permite la observación y caracterización superficial de los materiales, ya sean de tipo orgánico o inorgánico. Esta técnica puede determinar las variaciones de composición química e identificar las diferentes fases, con base en los cambios de contraste de la imagen tridimensional.

Su funcionamiento consiste en hacer incidir un barrido de haz de electrones sobre la muestra. La cual está generalmente recubierta con una capa muy fina de oro o carbón, para que la muestra presente propiedades conductoras. Durante el proceso de incidencia del haz de electrones, se emiten electrones secundarios que son dirigidos a un colector y posteriormente se genera una imagen, por medio de otros aditamentos.



**Figura 9. Representación gráfica de las partes que contiene un microscopio de microscopia electrónica de barrido.**

### **1.3.2.3 Adsorción de nitrógeno**

Los análisis mediante la adsorción de gases son ampliamente usados para determinar el área superficial y la distribución del tamaño de poro de materiales sólidos. Estas mediciones se llevan a cabo midiendo la cantidad de gas adsorbido por la muestra, la cual es proporcional a la masa  $m$  de la muestra y depende de la temperatura  $T$  y la presión  $P$  de vapor y de la naturaleza del sólido y del gas.

## **1.4 Cromatografía de gases**

Existe una gran variedad de instrumentos de análisis de gases, pero uno de los instrumentos de aplicaciones más diversas en el análisis de la contaminación del aire es la cromatografía de gases.

La cromatografía se define como el conjunto de técnicas para la separación de los componentes de una mezcla sobre la base de su diferente movilidad en un medio poroso cuando son arrastrados por un fluido. En las separaciones cromatográficas se inyecta la mezcla como una

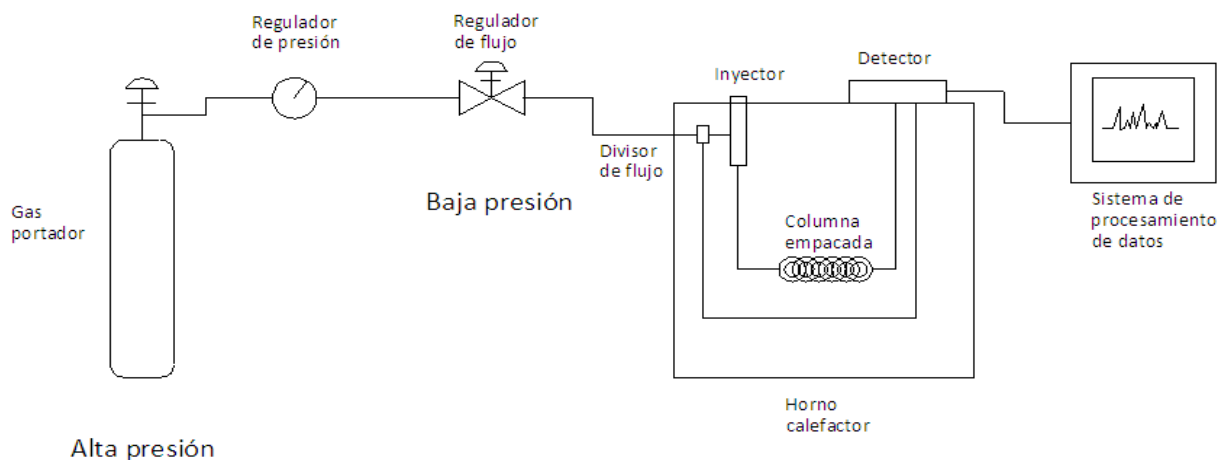
única pulsación en un fluido portador móvil que circula a lo largo de un sustrato estacionario (King, 1979).

Una técnica cromatográfica es la de adsorción, donde las interacciones entre el analito y la fase estacionaria se clasifican como electrostáticas no iónicas. Este tipo de adsorción se puede subdividir en cromatografía de adsorción en fase normal y cromatografía de adsorción en fase reversa (Sogorb y Vilanova, 2004).

El análisis por cromatografía puede separar mezclas complejas que comprenden centenares de componentes, con una columna diferente. Algunos de estos instrumentos están adaptados para determinar en forma continua varios contaminantes al mismo tiempo (Ross, 1974).

La cromatografía de gases es una técnica donde los analitos en estado gaseoso se distribuyen entre una fase móvil gaseosa (fluido que arrastra la muestra a través de la columna) y una fase estacionaria (material inmóvil implicado en el proceso cromatográfico) que puede ser un sólido o un líquido. La separación de los analitos de una mezcla por cromatografía de gases se produce en función de cómo las especies químicas se distribuyan entre la fase móvil y la fase estacionaria. Cuanto mayor sea la afinidad del analito por la fase gaseosa, más rápido se moverá por la columna y menor será el tiempo de elución (proceso donde el analito se suelta de la fase estacionaria a la que estaba unido). Contrariamente, cuanto mayor sea la afinidad del analito por la fase estacionaria, mayor será el tiempo de retención en el material poroso.

Las partes básicas de un equipo de cromatografía de gases se muestran a continuación en la Figura 10.



**Figura 10. Diagrama de las partes básicas de un cromatógrafo de gases.**

En resumen, el cromatógrafo de gases inicia sus funciones teniendo un gas portador, que es almacenado a alta presión en un tanque apropiado, que a su vez se conecta al equipo mediante un regulador de presión. La muestra se introduce al inyector utilizando jeringas de vidrio. El inyector está a una temperatura superior a la del punto de ebullición del disolvente de la muestra y, también superior a la de los analitos; es ahí donde se produce la necesaria volatilización de los mismos. Si la columna es capilar normalmente la muestra se diluye con el gas portador y solo una fracción de la misma entra en la columna. Esta es la misión del divisor de la muestra. Por otra parte en las columnas se realiza la separación. La separación es dependiente de la temperatura, por lo que la columna se encuentra dentro de un horno. Tras pasar la columna, los analitos llegan a los detectores, donde se produce una señal eléctrica que es amplificada y enviada a un sistema almacenado de datos para ser analizada. Es aquí donde se arrojan los cromatogramas (representación de una propiedad físico química de la fase móvil que sale de la columna en función del tiempo o volumen de elución) (Sogorb y Vilanova, 2004).

### **1.5 Aplicación de los materiales nanoporosos en la adsorción de contaminantes orgánicos volátiles (COV's)**

En la actualidad el estudio de los materiales nanoporosos que se ocupan como herramientas de adsorción de los contaminantes, ha ganado un especial interés dentro de la

comunidad científica. Es por eso, que se han encontrado dentro de la literatura, algunos estudios del tema que permitirán enmarcar esta investigación.

La adsorción de compuestos orgánicos volátiles en arcillas provenientes del Estado de Puebla, México ha sido reportado por Hernández *et al.*, (2003). Se estudiaron isothermas de adsorción de compuestos orgánicos volátiles (COVs) tales como: benceno, tolueno, p-xileno, sobre una arcilla conocida como NaBeCaLita. Estas isothermas se determinaron utilizando la cromatografía de gases a diferentes temperaturas. Se comenzó a procesar los datos obtenidos por medio del modelo de adsorción de Freundlich, ecuación 1. (Vasant y Kshudiram, 2000) y los calores isostéricos de adsorción se estimaron por medio de la ecuación de Clausius-Clapeyron (ecuación 7). Con la finalidad de estudiar sus energías de interacción con los adsorbatos.

$$a = k p^{1/n} \quad n > 1 \quad \text{(Ec. 8)}$$

Dónde:

a= volumen de gas adsorbido por unidad de masa de adsorbente, (m<sup>3</sup>/kg)  
P=presión del gas, (Kelvin)  
k=parámetro del adsorbente  
n=parámetro del adsorbato. n>1

Los autores reportan que la mayor capacidad de adsorción se observa para el p-xileno con respecto a tolueno y benceno.

En otro estudio se reporta la capacidad de un material organosilíceo nanoporoso para adsorber algunos compuestos orgánicos, como son el benceno, el tolueno y los xilenos (también denominado por sus iniciales BTX), que están presentes en el agua de producción. Se observó que los modelos de Langmuir y Redlich–Peterson muestran una mejor correlación de las isothermas para el benceno y los xilenos, mientras que las isothermas de adsorción del tolueno se ajusta para los modelos Langmuir y Temkin (Moura *et al.*, 2011).

En el estudio de Hernández *et al.*, (2010) se reporta la adsorción de BTX en SiO<sub>2</sub>, Ag-SiO<sub>2</sub>, Cu-SiO<sub>2</sub> y Fe-SiO<sub>2</sub>. En este estudio se observó que los materiales dopados con Fe y Ag presentan una mayor afinidad por los compuestos BTX y, por consiguiente, una

mayor adsorción que la observada por el material sin dopar o dopado por el elemento Cu (cobre).

# CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

## 2.1 Síntesis de los materiales

En este capítulo se describe la síntesis de SBA-15, de la hidrotalcita Mg/Al (HT<sub>C</sub>) y del compósito de SBA-15 con 25% en peso de hidrotalcita (SBA-15/HT<sub>C25</sub>), todas preparadas en trabajos anteriores.

Asimismo, se presenta la metodología empleada para la adsorción de benceno, tolueno, xilenos y etilbenceno (COVs) en estos materiales.

### 2.1.1 Síntesis de SBA-15

La síntesis del SBA-15 se lleva a cabo de acuerdo con el protocolo propuesto por Zhao *et al.* (1998). Para ello, es necesario un agente estructurante y un precursor de sílice. El primero es el pluronic 123, un polímero tribloque de alto peso molecular ( $\approx 5800$  g/mol) y el segundo es el tetra-etil-ortosilicato (TEOS). Inicialmente, se disuelve el pluronic 123 en una solución ácida de HCl 2 M. Posteriormente, se agrega el tetra-etil-ortosilicato TEOS y se deja en agitación constante a temperatura ambiente durante 24 horas y más tarde se introduce el frasco cerrado a una estufa a 90 °C durante 72 horas. Se recupera el sólido, se lava, se calcina a 550 °C por 6 horas y se obtiene el SBA-15 (Pérez, 2011).

### 2.1.2 Síntesis de la hidrotalcita Mg/Al

Se sintetizó una hidrotalcita Mg/Al con una relación molar 2:1 mediante el método de coprecipitación asistido por microondas para obtener un material cuya fórmula sea  $Mg_6Al_3(OH)_{18}NO_3 \cdot 4H_2O$ . (Fetter *et al.*, 2006). Para ello, se preparan dos soluciones, una con sales de nitrato de magnesio y aluminio hidratadas a una concentración de 1.5 M y otra de hidróxido de amonio 2.3 M. Las dos soluciones se agregan gota a gota con ayuda de buretas en un vaso de precipitado que contenía agua desionizada suficiente para cubrir el electrodo del instrumento electrónico. Durante el proceso de coprecipitación de las sales se mantiene constante un pH=9. Una vez que se ha agregado la solución de las sales, la mezcla resultante se mantiene en agitación durante 24 horas a temperatura ambiente. Finalmente, el sólido se recupera por filtración, se lava y se seca en cristalizadores a 70°C.

El sólido blanco obtenido se calcina a 550 °C por 6 horas con la finalidad de obtener los óxidos mixtos (Mg-Al-O), y la muestra se nombró como HT<sub>C</sub>.

### **2.1.3 Síntesis del compuesto SBA-15/HTC25**

Durante la preparación de este material, se pesa cierta cantidad de SBA-15 sin calcinar y se dispersa en agua destilada. Después de una hora en agitación, en esta dispersión se procede a sintetizar una hidrotalcita, bajo las condiciones de síntesis mencionadas en la sección anterior. El pH=9 se controla de la misma manera. El sólido blanco obtenido después del secado también se calcinó a 550 °C por seis horas y la muestra resultante se nombró como SBA-15/HT<sub>C25</sub>.

## **2.2 Caracterización de los materiales**

Las técnicas de caracterización que se emplearon en este trabajo se describen brevemente en los siguientes apartados.

### **2.2.1 Difracción de rayos X**

En trabajos previos (Pérez, 2011), el material compuesto, SBA-15/HT<sub>C25</sub>, así como los materiales precursores de SBA-15 y de HT<sub>C</sub>, se caracterizaron por difracción de Rayos X (DRX) con ayuda de un equipo Bruker D8 con radiación CuK $\alpha$ , con rangos de escaneo 0.7° a 3° (2 $\theta$ ) para ángulos pequeños y de 5° a 70° (2 $\theta$ ) para los ángulos grandes.

### **2.2.2 Microscopía electrónica de barrido**

Se empleó un microscopio de barrido marca Leica modelo Stereoscan 440 de fuente termoiónica con filamento de tungsteno. Durante la preparación, las muestras en polvo se adhirieron a un portamuestras por medio de una cinta de carbono de doble cara. Para proporcionarle conductividad eléctrica a las muestras, éstas se recubrieron con oro mediante la técnica “ion sputtering”(Brown, 2004).

### **2.2.3 Adsorción de nitrógeno**

Los análisis mediante la adsorción de gases son ampliamente usados para determinar el área superficial y la distribución del tamaño de poro de materiales sólidos.

La adsorción de nitrógeno se realizó a 77 K, en un equipo Micromeritics ASAP 2010 entre rangos de presión relativa,  $P/P_0$ , de 0.06 hasta 0.99 con incrementos de 0.015. Previo a dicho análisis, las muestras se sometieron a un proceso de desgasificación a 90°C durante 10 horas hasta alcanzar una presión de vacío de 0.05 mmHg.

### 2.3 Pruebas de adsorción de benceno, tolueno, p-xileno y etilbenceno

La adsorción de los compuestos derivados del benceno en los materiales mesoporosos se evaluó usando un cromatógrafo de gases GC-14A de SHIMADZU. El cual posee un detector de ionización de flama (FID). Las columnas cromatográficas de acero inoxidable (0.6 de diámetro y 50 cm de longitud) se empacaron con cada una de las muestras: SBA-15, HT<sub>C</sub> y un compósito de SBA-15/ HT<sub>C25</sub> con 0.1g de muestra y 0.2 g de vidrio molido, esto es necesario ya que los materiales que se utilizan son muy finos y al hacer incidir el gas de acarreo dentro de la columna este es arrastrado y en consecuencia tapa la salida. Se escogió el vidrio molido ya que no reacciona con las sustancias y permite que pase el gas de acarreo entre el material permitiendo la adsorción. Se utilizó un tamiz 80/50. Durante las corridas cromatográficas se ocupa como gas de arrastre helio (He) de alta pureza (99 % grado cromatográfico) a una velocidad de 30 cm<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>. Para el pretratamiento de las columnas empacadas es necesario hacer pasar un flujo constante de helio (30 mg min<sup>-1</sup>) a 300°C por una hora. Esta temperatura correspondiente al horno del cromatógrafo se modifica según la Tabla 2. En efecto, en la Tabla 2 se presentan los intervalos de temperatura a los que se debe encontrar los tres diferentes dispositivos que se ocupan para el estudio cromatográfico. Estos intervalos fueron seleccionados tomando en cuenta las propiedades físicas de los COVs de la Tabla 3. Por otra parte, es necesario comenzar con la temperatura más alta tanto para el pretratamiento como para las pruebas cromatográficas ya que así es posible activar al material para la adsorción.

**Tabla 2. Intervalos de temperatura para las corridas cromatográficas.**

| Corridas        | 1 <sup>a</sup><br>Temperatura °C | 2 <sup>a</sup><br>Temperatura °C | 3 <sup>a</sup><br>Temperatura °C | 4 <sup>a</sup><br>Temperatura °C | 5 <sup>a</sup><br>Temperatura °C |
|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Inyector</b> | 305                              | 270                              | 235                              | 195                              | 160                              |
| <b>Horno</b>    | 300                              | 260                              | 225                              | 185                              | 150                              |

|                 |     |     |     |     |     |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>Detector</b> | 315 | 285 | 245 | 205 | 170 |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|

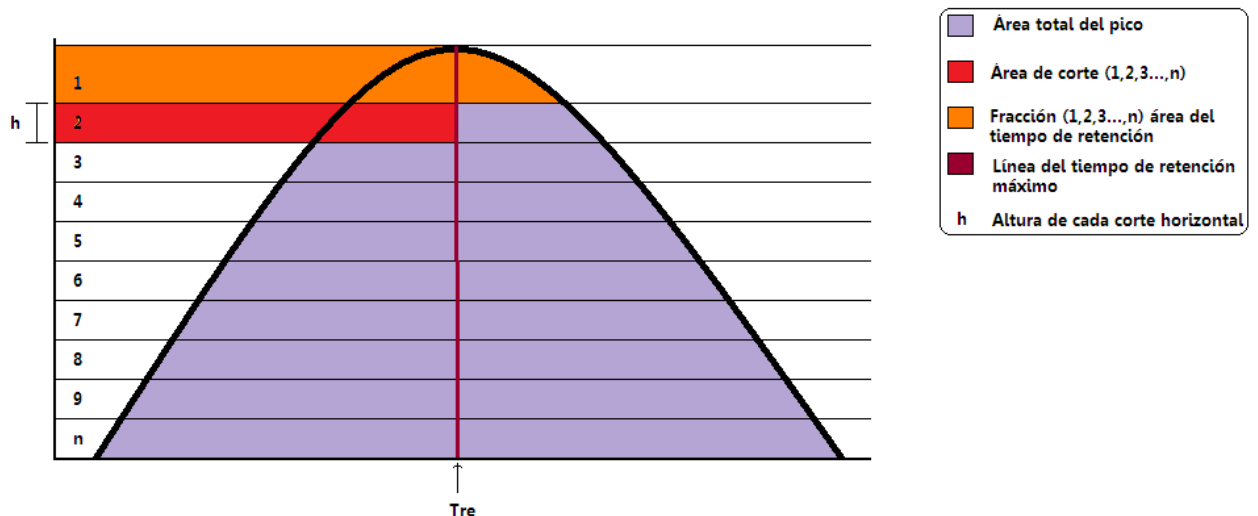
**Tabla 3. Propiedades físicas de los compuestos adsorbidos (Riddick, 1986).**

| Compuesto              | Peso molecular (PM) gmol <sup>-1</sup> | Diámetro cinético ( $\sigma$ ) nm | Potencial de ionización (P) eV | Amplitud (d) nm | Temperatura de ebullición °C |
|------------------------|--|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------------------|
| <b>Benceno</b>         | <b>78.11</b>                           | <b>0.65</b>                       | <b>9.2-9.7</b>                 | <b>0.73</b>     | <b>80.1</b>                  |
| <b>Tolueno</b>         | <b>92.14</b>                           | <b>0.65/0.89</b>                  | <b>8.8</b>                     | <b>0.835</b>    | <b>110.6</b>                 |
| <b><i>p</i>-Xileno</b> | <b>106.16</b>                          | <b>0.98/1.05</b>                  | <b>8.5</b>                     | <b>0.94</b>     | <b>144</b>                   |
| <b>Etilbenceno</b>     | <b>106.16</b>                          | <b>0.98</b>                       | <b>8.5</b>                     | <b>0.94</b>     | <b>136</b>                   |

En cada prueba de adsorción se inyecta 1  $\mu$ l de muestra de COVs. Además estas pruebas se llevan a cabo por quintuplicado con la finalidad de asegurar que los valores obtenidos por el cromatógrafo sean confiables. En cada prueba se determinaron los tiempos de retención de los COVs. Estos fueron medidos en cada muestra a distintas temperaturas. Posteriormente se obtuvieron los cromatogramas correspondiente a la adsorción de los distintos COVs en los tres materiales. A cada cromatograma se midieron líneas horizontales de un centímetro de ancho, hasta llegar a la cúspide del pico, Figura 11. El tiempo de retención de cada cromatograma se utiliza para obtener la distancia con ayuda de la ecuación 9.

$$d = v \cdot t \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde  $v$  es la velocidad dada por 1  $\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$  y  $t$  es el tiempo de retención de la muestra en minutos.



### Figura 11. Representación grafica de un cromatograma y las líneas de corte.

Se utilizó una balanza analítica para cuantificar el peso de cada una de las fracciones del área del tiempo de retención, así como el peso del área total del pico cromatográfico. Se tomó como referencia el peso del área de un cuadrado de 3x3 cm de la hoja de impresión.

De la Figura 11 se obtiene los siguientes datos.

#### Datos obtenidos del peso del cromatograma.

| # | h (cm) | Peso (g) | Peso de área | Peso del pico | Área del Pico | Área del área |
|---|--------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|
|---|--------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|

Para poder determinar las isotermas de adsorción es necesario obtener el volumen adsorbido de los COVs y la presión en que se encuentra el sistema. Para esto se emplean las ecuaciones 10, 11, 12 y 13, respectivamente.

$$S_{ads} = \frac{\text{área del área}}{\text{peso del área}} (\text{peso \# del pico}) \quad (\text{Ec. 10})$$

$$a = \frac{m_a}{(\text{g del empaque})(\text{área del pico})} (S_{ads}) \quad (\text{Ec. 11})$$

$$C = K \cdot h \quad (\text{Ec. 12})$$

$$P = RTC \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde  $S_{ads}$  es el área de adsorción en  $\text{cm}^2$ ;  $a$  es el volumen adsorbido en  $\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1}$  que se define como un exceso en moles sobre la capa superficial, relacionando a  $1\text{cm}^2$  de superficie o bien 1 gr de adsorbente,  $g$  del empaque son los gramos totales del material que se utilizó para empacar la columna;  $C$  es la concentración de adsorbato dada en  $\text{mmol} \cdot \text{ml}^{-1}$ ,  $K$  es la constante del detector en  $\text{mmol} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot \text{h}$  es la altura de cada corte horizontal que se muestra en la Figura 11y  $P$  es la presión de equilibrio, que en otras palabras es la presión del gas durante la parte experimental calculado experimentalmente en mmHg,  $R$  es la constante de los gases ideales en  $\text{mmHg} \cdot \text{ml} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ,  $T$  es la

temperatura en K. Finalmente se grafican las isothermas de adsorción tomando los valores de  $a$  y  $P_a$  temperatura constante (Aguilar, 1985). Estas isothermas se grafican por medio de un software Origin® v.8.5.

### **2.3.1 Modelos de equilibrio de isothermas de adsorción**

Los modelos de equilibrio de Freundlich y de Langmuir así como sus respectivas isothermas se obtuvieron a partir de los datos obtenidos de las isothermas de adsorción que se detallaron anteriormente.

Primero se utilizó el modelo de Freundlich ocupando la ecuación 6. Posteriormente se graficaron los datos en Origin® y se realizó el ajuste a cada isoterma. De igual manera se obtuvo las isothermas y su ajuste para el modelo de Langmuir pero en este caso se ocupó la ecuación 3 para obtener los primeros parámetros de este modelo.

### **2.3.2 Calor isostérico de adsorción**

El calor de adsorción ( $q_{st}$ ) fue obtenido utilizando las isothermas de adsorción de los distintos compuestos orgánicos volátiles a las diversas temperaturas a las que se realizó la adsorción de cada COV. La ecuación para obtener el calor isostérico de adsorción está dada por la ecuación 7. Y fueron graficados en Origin®.

# CAPÍTULO III:

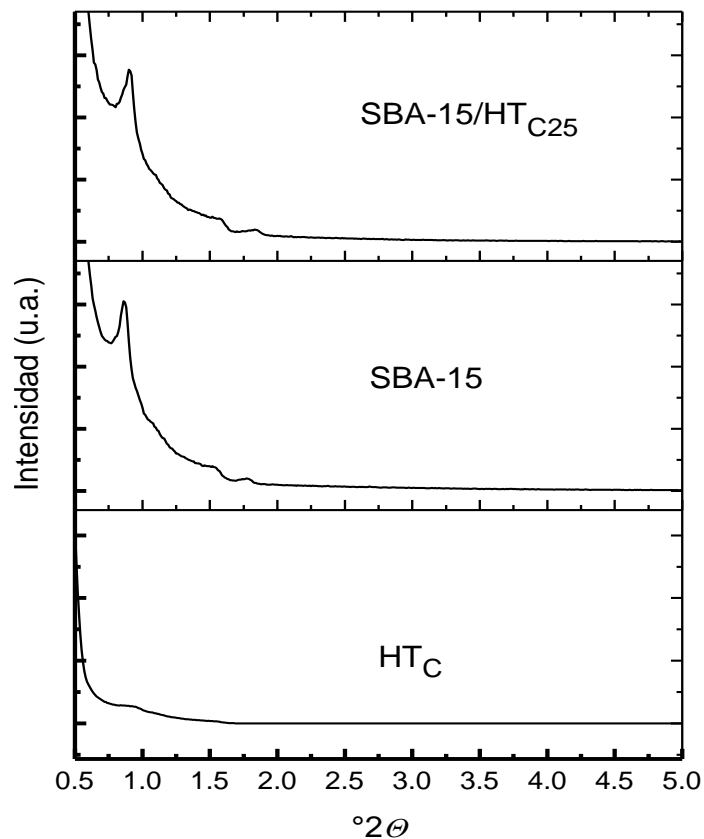
# DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 3.1 Características fisicoquímicas de los materiales

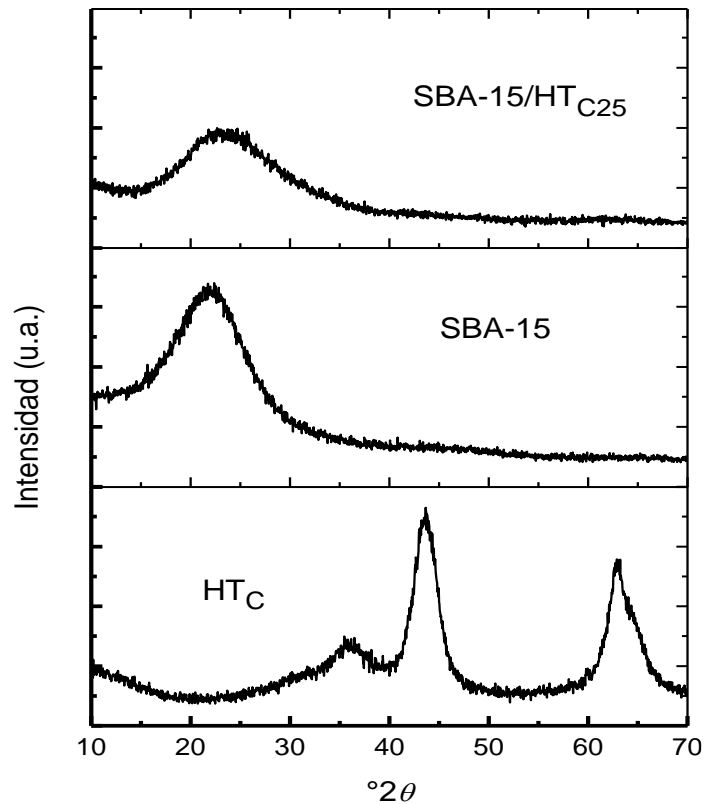
En este apartado se analizarán los resultados obtenidos de la caracterización de los materiales. Los cuales se describen en el capítulo anterior. Cabe recalcar que los resultados de caracterización se han presentado también en trabajos anteriores (Pérez, 2011; Bautista, 2013). Estos resultados se presentan en esta sección con la finalidad de conocer las propiedades fisicoquímicas de los materiales. Y así explicar y comparar a detalle los resultados que se obtuvieron en la parte experimental de este trabajo.

#### 3.1.1 Difracción de rayos X

En la Figuras 12 y 13 se muestran los difractogramas de ángulos pequeños y ángulos grandes de la hidrotalcita ( $HT_C$ ), del SBA-15 y del compuesto SBA-15/ $HT_{C25}$ , respectivamente.



**Figura 12. Difractogramas ángulos pequeños.**



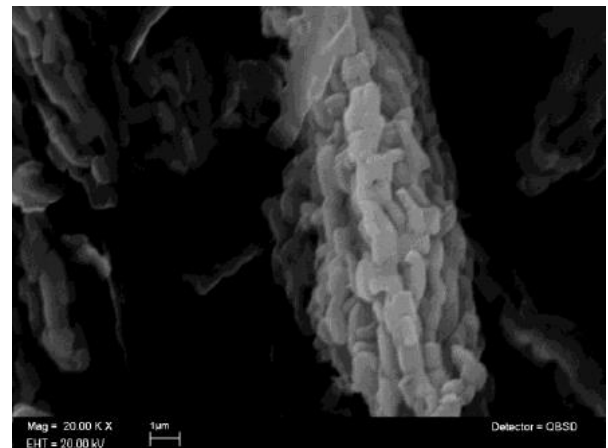
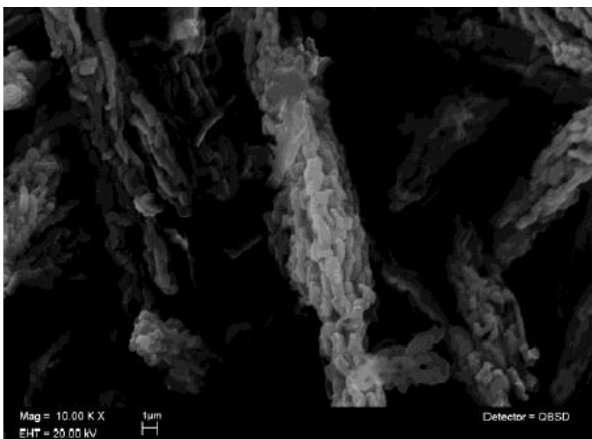
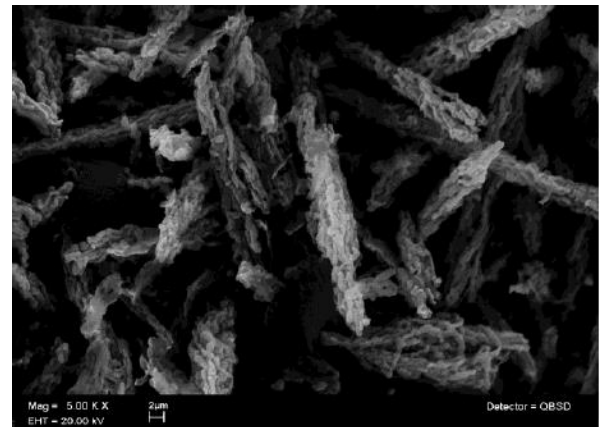
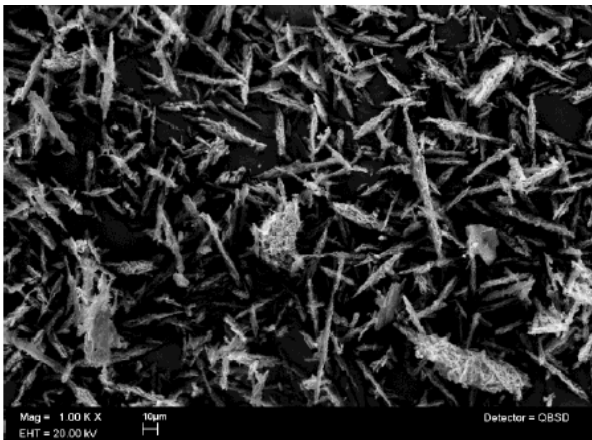
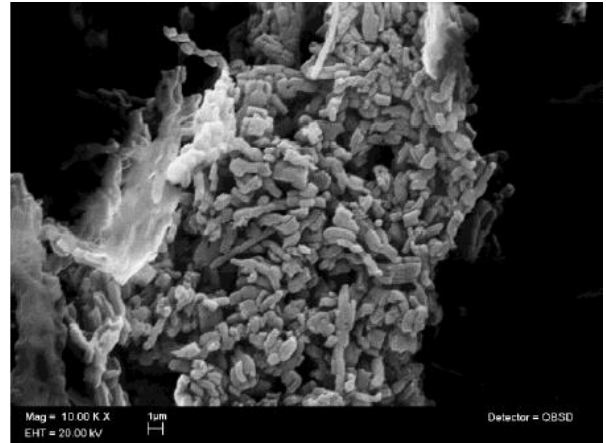
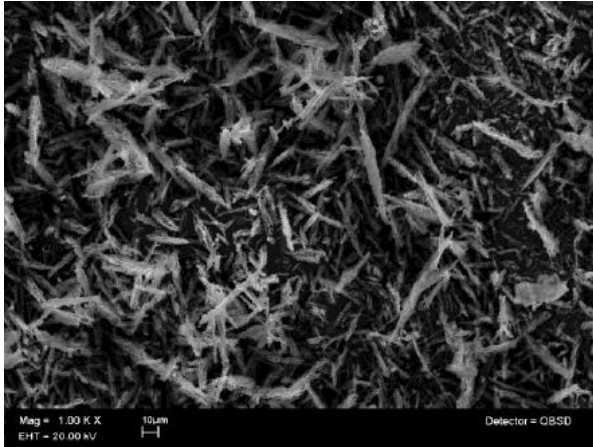
**Figura 13. Difractogramas ángulos grandes.**

A ángulos pequeños (entre  $0.5^\circ$  y  $5^\circ 2\theta$ ), Figura 12, se puede observar el pico (100) a  $0.87^\circ 2\theta$  que es característico del SBA-15, este pico también se logra observar en el compuesto pero a un ángulo ligeramente más grande ( $0.90^\circ 2\theta$ ), lo que corresponde con una distancia interlamina de 10.1 nm y 9.8 nm, respectivamente. La hidrotalcita calcinada ( $HT_C$ ) no presenta picos de difracción a ángulos pequeños.

En los difractogramas a ángulos grandes (entre  $5^\circ$  y  $70^\circ 2\theta$ ), Figura 13, la  $HT_C$  muestra los picos característicos de la estructura tipo periclase que corresponde a los óxidos mixtos de Mg-Al-O a  $42^\circ$  y  $65^\circ 2\theta$  (JCPDS 00-045-0946). El SBA-15 presenta un difractograma con pico muy ancho que oscila entre los  $25$  y  $32^\circ 2\theta$ . Este tipo de difractograma generalmente se asocia con la sílice amorfa (JCPDS 00-076-912). Asimismo, el compuesto presenta una difractograma similar al SBA-15 y cabe señalar que no se observan los picos característicos de óxidos mixtos de la  $HT_C$ . Esto significa que los

óxidos mixtos de Mg-Al-O se encontrarían en partículas pequeñas y homogéneamente dispersas en la superficie del SBA-15.

### 3.1.2 Microscopía electrónica de barrido

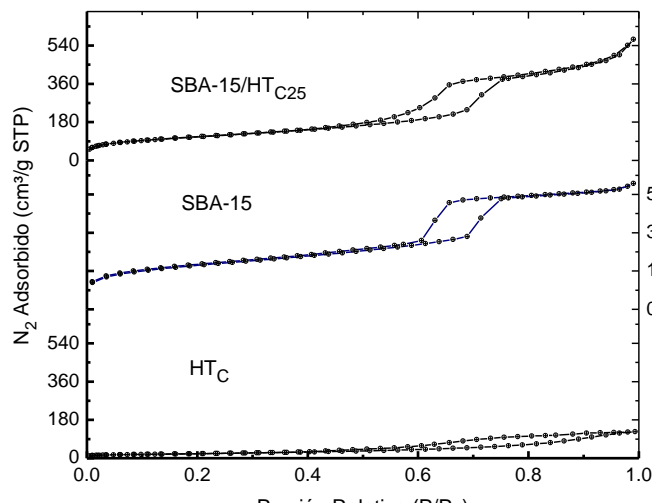


**Figura 14. Micrografías electrónicas de barrido de compósitos de SBA-15/HT<sub>C25</sub>.**

En la Figura 14 se presentan las micrografías electrónicas de barrido del material compósito de SBA-15/HT<sub>C25</sub>. En las micrografías obtenidas por MEB se aprecian aglomerados relativamente amplios compuestos por partículas de formas alargadas. Además se puede observar que estos aglomerados tienen un tamaño promedio de 15  $\mu\text{m}$ . Por otra parte, los granos alargados en forma de agujas, que presentan a su vez partículas más pequeñas de aproximadamente 1.5  $\mu\text{m}$ . Es importante comentar que en estas micrografías no se logran apreciar la presencia de los óxidos mixtos de Mg-Al, lo que comprueba que se encuentran en pequeñas partículas en la superficie del SBA-15. Esto se ha comprobado también por espectroscopia electrónica de dispersión de rayos X, EDX (Pérez, 2011). Por otra parte, esta morfología también se observa en el material precursor SBA-15.

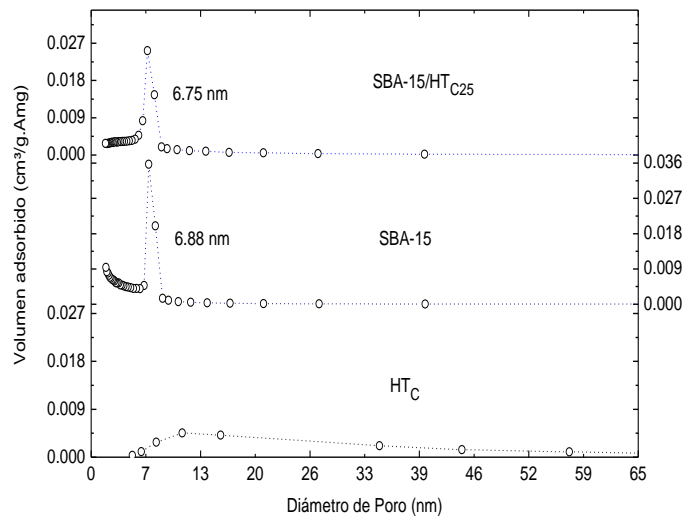
### 3.1.3 Adsorción de nitrógeno

Las isothermas de adsorción-desorción de nitrógeno y la distribución del diámetro de poro para el SBA-15, la hidrotalcita (HT<sub>C</sub>) y el compósito de SBA-15/HT<sub>C25</sub> se muestran en la Figura 15 y Figura 16, respectivamente. En el SBA-15 y en el compósito se puede apreciar que las isothermas son del tipo IV. Además presentan una histéresis del tipo H1 entre una presión relativa de 0.5 a 0.75 tanto para el SBA-15 como para el compósito de SBA-15/HT<sub>C25</sub>. Por otra parte, la HT<sub>C</sub> presenta una isoterma del tipo IV y una histéresis de tipo H3, en un intervalo de presión relativa de 0.64 a 0.90. Dicha histéresis se presenta en los materiales laminares que presentan mesoporos de tamaños heterogéneos.



**Figura 15. Isotermas de adsorción de N<sub>2</sub>.**

La distribución del diámetro de poro del SBA-15 como del compuesto de SBA-15/HT<sub>C25</sub> son muy similares, Figura16. En el primer material se tiene un diámetro de poro de 6.88 nm y en el compuesto disminuye a 6.75 nm. Esta pequeña diferencia ( $\Delta 0.11\text{nm}$ ) puede estar asociada a la presencia de los óxidos mixtos de Mg/Al que recubren los poros del SBA-15. En efecto, el espesor de los muros del SBA-15 pasa de 4.5nm a 4.8nm con la incorporación de la HT<sub>C</sub>, como se observa en la Tabla 4.



**Figura 16. Isotermas de adsorción de N<sub>2</sub> (diámetro de poro).**

Con el análisis de los datos obtenidos de las isotermas de adsorción-desorción y de la difracción de Rayos X, se determinaron los parámetros texturales de cada uno de los materiales, Tabla 4. El área superficial se determinó por medio del método BET (Brauner, Emmett y Teller). Para la distribución del diámetro de poro se calculó por medio del método BJH (Barrett, Joyner y Halenda) aplicado a la isoterma de desorción de nitrógeno. Asimismo, con la Tabla 4, podemos

observar que el espesor de los muros aumenta con relación al SBA-15 para el compuesto con HT, esto indica que los óxidos mixtos de Al-Mg-O se encuentran formando una capa en la superficie de los muros del SBA-15. Esto a su vez permite explicar el comportamiento en el diámetro de poro, el cual disminuye por la formación de esta capa. Cabe señalar que el área específica BET disminuye en el compuesto, 402 m<sup>2</sup>/g, en comparación con el SBA-15, 720 m<sup>2</sup>/g. Este fenómeno se debe a la presencia del Mg y del Al de la HT así como al pH ligeramente básico (pH=9) que se empleó durante la síntesis. Asimismo, el empleo de las microondas durante la síntesis también pudo propiciar la disminución del área específica en el compuesto. Sin embargo, la distribución estrecha del diámetro promedio de poro permanece, así como el volumen de poro.

**Tabla 4. Propiedades texturales de los materiales.**

| Muestra                 | Superficie BET (m <sup>2</sup> /g) | Volumen de poro (cm <sup>3</sup> /g) | Diámetro de poro (nm) | d(100) Distancia interplanar (nm) | EPM Espesor de muro (nm) |
|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| HT                      | 74                                 | 0.19                                 | Ancho (1 a 65)        | -                                 | -                        |
| SBA-15                  | 720                                | 0.80                                 | 6.88                  | 10.10                             | 4.5                      |
| SBA-15/HT <sub>25</sub> | 402                                | 0.83                                 | 6.75                  | 9.80                              | 4.8                      |

$$\text{EPM} = \text{espesor de muro} [(2d_{100}/3)^{0.5} - \text{Diámetro de poro}].$$

### 3.2 Pruebas de adsorción de benceno, tolueno, p-xileno y etilbenceno

En esta sección se analiza la adsorción de los contaminantes orgánicos volátiles (COVs) en los materiales propuestos en este trabajo. Además, se comparan los calores isostéricos que se determinaron con la Ecuación 11 y los resultados obtenidos de las isotermas de adsorción. Se presentan también los ajustes de los datos experimentales de adsorción con ayuda de los modelos de Langmuir y Freundlich. En este mismo apartado se muestra un estudio comparativo entre los resultados obtenidos y las propiedades estructurales de los materiales.

### **3.2.1 Adsorción de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en materiales nanoporosos por cromatografía de gases**

La adsorción de compuestos orgánicos volátiles (COVs) por medio de la cromatografía de gases se representa por las isothermas de adsorción. Con estas isothermas se determina el volumen adsorbido lo que representa la capacidad de adsorción de los materiales. Las isothermas de adsorción se realizaron en un intervalo de temperaturas de 150 a 300 °C y se empleó helio como gas de arrastre. Esto permite evaluar la influencia de la temperatura en el proceso de adsorción.

#### **3.2.1.1 Isothermas de adsorción de COVs en SBA-15**

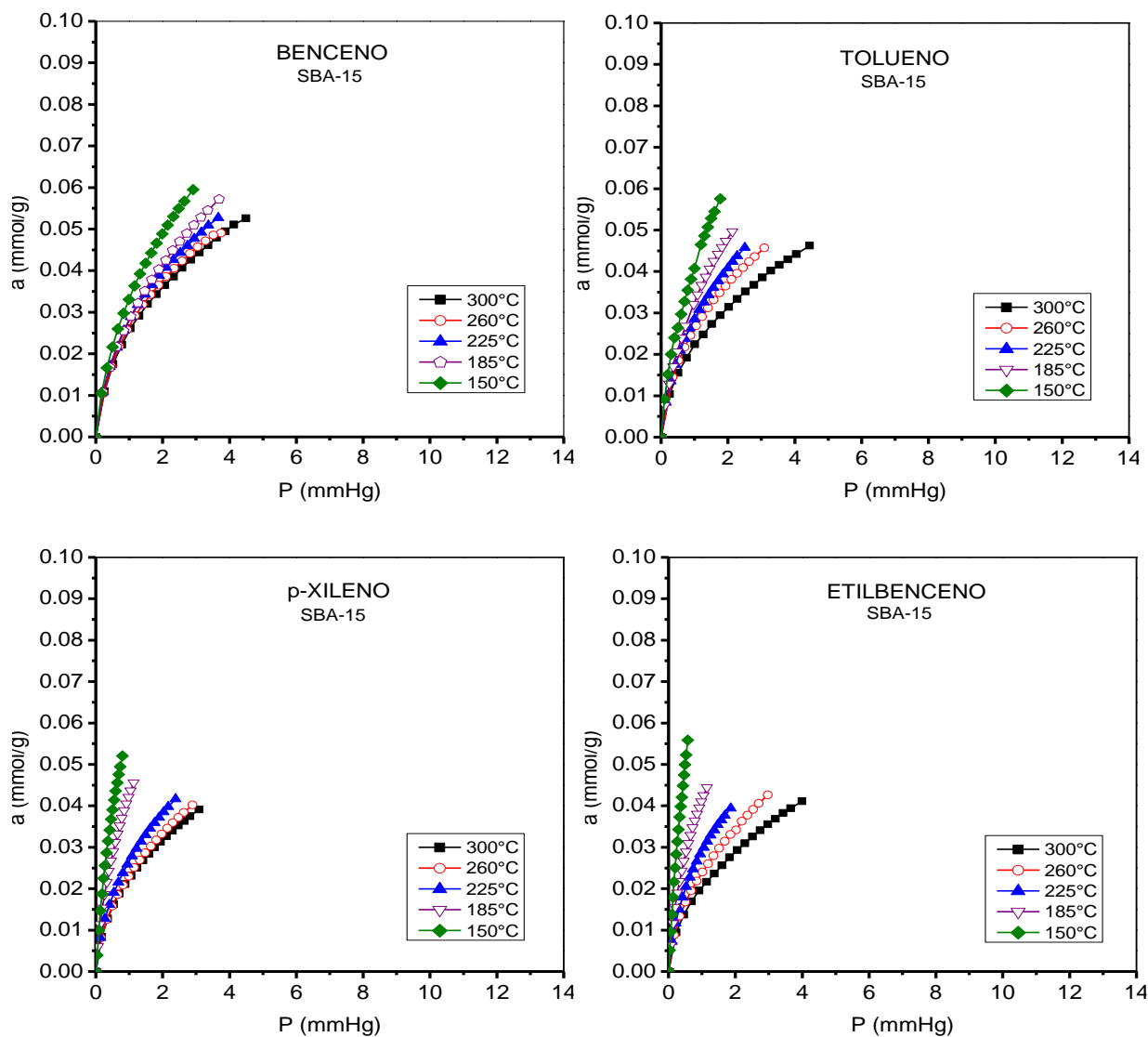
Las isothermas de adsorción de COVs en el SBA-15 se presentan en la Figura 17. El comportamiento de cada una de las isothermas es muy semejante entre ellas. Por lo que se puede decir que a mayor temperatura hay una menor adsorción del contaminante. Asimismo, se observa que a una temperatura de 150°C el volumen adsorbido oscila entre 0.05-0.06 mmol<sub>COVs</sub>/g<sub>SBA-15</sub>.

Existen tres tipos de isothermas, cada una puede señalar como es la interacción entre adsorbato y adsorbente. La primera, representada por una línea cóncava, permite asegurar que la adsorción es favorable. Una línea recta, simboliza una adsorción medianamente favorable y por último, una línea convexa figura como una adsorción no favorable. En este caso las isothermas son cóncavas. Por lo tanto, se confirma que el SBA-15 adsorbe favorablemente los compuestos.

Se puede apreciar que un factor importante es la temperatura, ya que conforme aumenta el volumen adsorbido, disminuye la temperatura en todos los casos.

Por otra parte, de las cuatro isothermas de adsorción, el compuesto que tiene mayor afinidad a la superficie del SBA-15 es el benceno, ya que el volumen adsorbido es de 0.06 mmol<sub>COVs</sub>/g<sub>SBA-15</sub>. Al contrario, los compuestos de menor afinidad en este material, son el p-xileno, con un volumen adsorbido de 0.053 mmol<sub>COVs</sub>/g<sub>SBA-15</sub>.

En todas las isothermas, la adsorción se lleva a cabo a presiones bajas, menores a 5 mmHg. Esto se debe a que el material SBA-15 tiene un diámetro de poro muy amplio (6.88nm, Tabla 4) por lo que no se necesitan presiones muy altas para que el compuesto pueda pasar por sus canales.

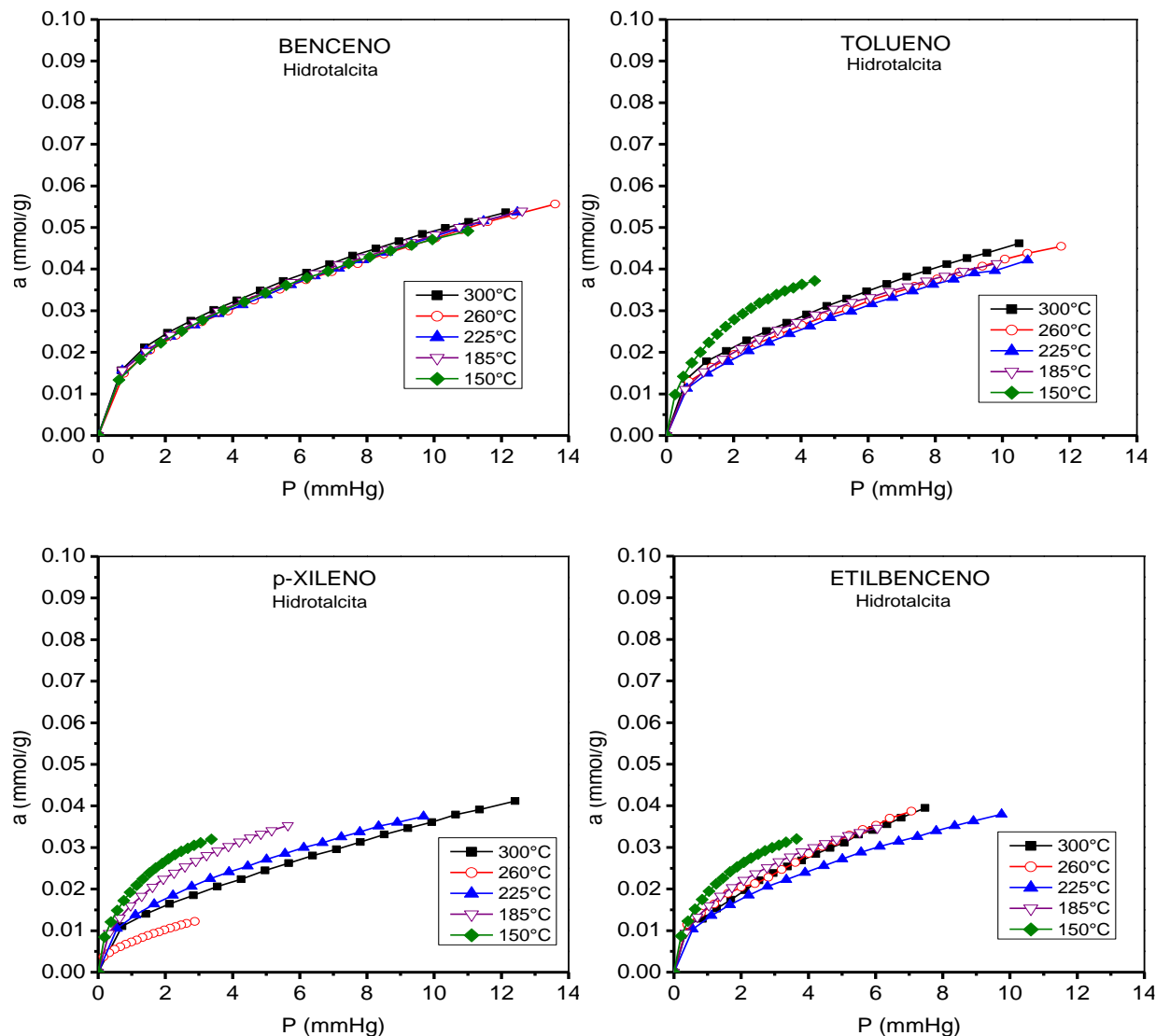


**Figura 17. Isotermas de adsorción de Benceno, Tolueno, p-Xileno, Etilbenceno para el SBA- 15.**

### 3.2.1.2 Isotermas de adsorción de COVs en hidrotalcita (HTC)

Las isotermas de adsorción de la hidrotalcita Mg/Al (previamente calcinada a 550°C) con los cuatro contaminantes a estudiar se presentan en la Figura 16. En estas isotermas, a diferencia de las obtenidas en el SBA-15, se observa que no existe un cambio visible en el comportamiento de la adsorción de benceno en la superficie de la hidrotalcita a las diferentes temperaturas. Esto se debe principalmente a que el benceno al ser una molécula no polar e hidrofóbica, de un tamaño

considerable que impide su trayectoria al interior de los microporos de esta arcilla, que es hidrofílica.



**Figura 18. Isothermas de adsorción de Benceno, Tolueno, p-Xileno y Etilbenceno para la HTc.**

Para las isothermas con HTc existe una mayor afinidad por el benceno ya que de acuerdo a la Figura 18 el volumen de adsorción es de 0.050 mmol<sub>COVs</sub>/g<sub>HTC</sub>. Asimismo, el compuesto que tiene menor afinidad a este material son el p-xileno y el etilbenceno. En este caso hubo un volumen de adsorción para los dos compuestos de 0.033 mmol<sub>COVs</sub>/g<sub>HTC</sub>.

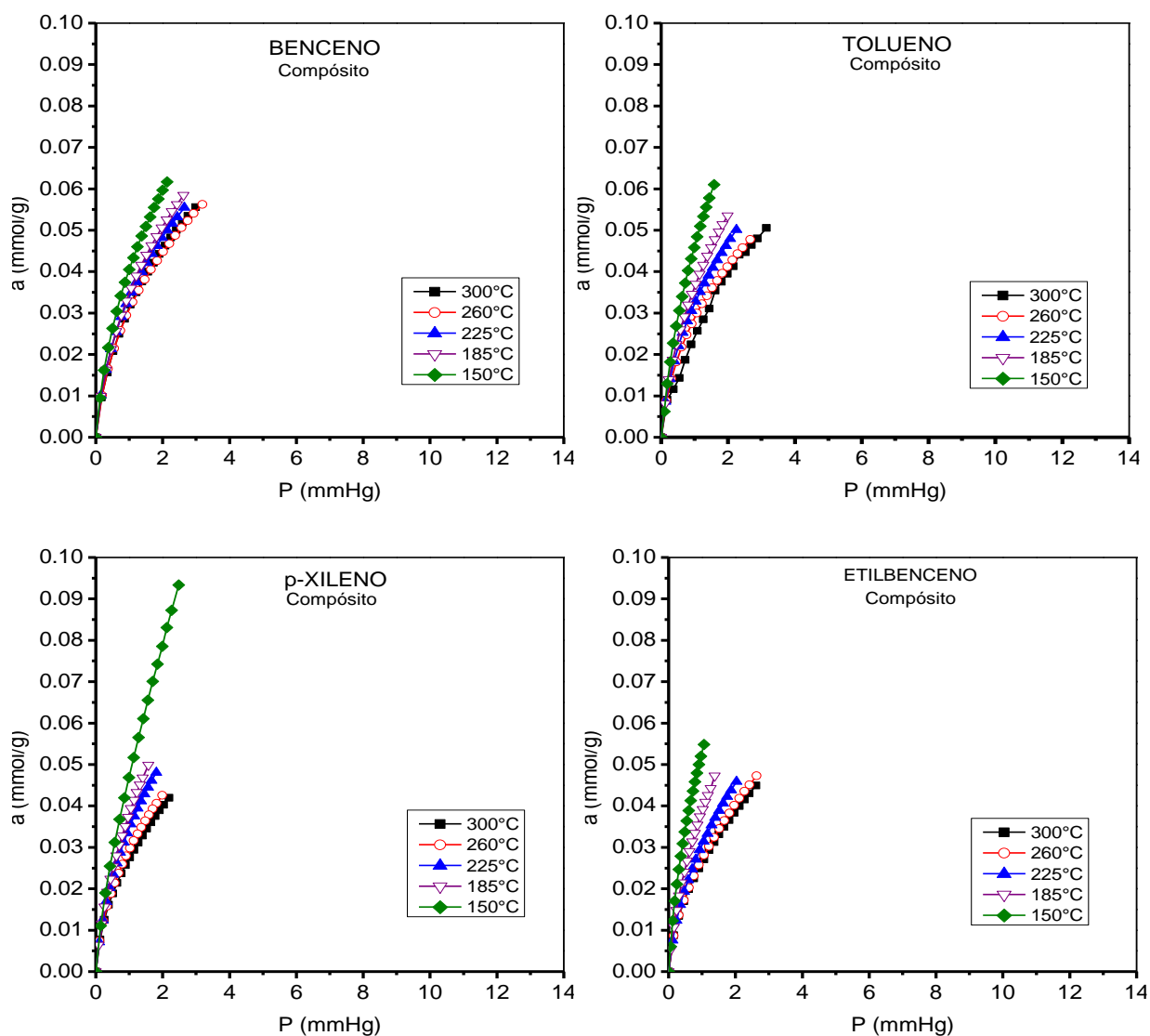
En la Figura 18 se observa que las isothermas son cóncavas lo que representa una interacción favorable entre el adsorbato y el adsorbente. Además, se observa que el aumento de temperatura no hace una diferencia importante en el comportamiento de adsorción. Sin embargo, a 150 °C se observa que es más favorable el proceso de adsorción, porque se adsorbe un volumen mayor de COVs que en las otras temperaturas.

A diferencia del SBA-15, en la HT<sub>C</sub> la adsorción de COVs se lleva a cabo a presiones más altas, mayores a 10 mmHg. Esto se debe principalmente a que la HT<sub>C</sub> presenta una baja área superficial y microporos que impiden el paso de las moléculas de COVs al interior del material.

### **3.2.1.3 Isothermas de adsorción de COVs en el compuesto SBA-15/HTC25**

En la Figura 19 se presentan las isothermas de adsorción para el compuesto de SBA-15/HT<sub>C25</sub>. Estas isothermas tienen una distribución parecida a la del SBA-15. La temperatura más favorable para la adsorción es a 150 °C. La diferencia es que en este compuesto se presenta una adsorción considerablemente más alta que la observada en los materiales precursores. En efecto, la combinación de HT<sub>C</sub> y de SBA-15 favorece la adsorción de COVs porque existe una mayor interacción superficial gracias a la presencia de la hidrotalcita y una mesoporosidad similar al SBA-15 que también coadyuva a una mejor difusión interna de los COVs.

Las isothermas de la Figura 19 muestran que el compuesto tiene una mayor afinidad al p-xileno, con un volumen adsorbido de 0.095 mmol<sub>COVs</sub>/g<sub>SBA-15/HTC25</sub>. También se puede observar que el compuesto al que se tiene menor afinidad es al etilbenceno, con un volumen adsorbido de 0.055 mmol<sub>COVs</sub>/g<sub>SBA-15/HTC25</sub>. Las isothermas son cóncavas y representan una favorable interacción entre el adsorbato y adsorbente. Sin embargo, el aumento de temperatura no es favorable para el proceso de adsorción. Esto se explica fácilmente por las propiedades volátiles de los compuestos utilizados.



**Figura 19. Isothermas de adsorción de Benceno, Tolueno, p-Xileno y Etilbenceno para el compósito.**

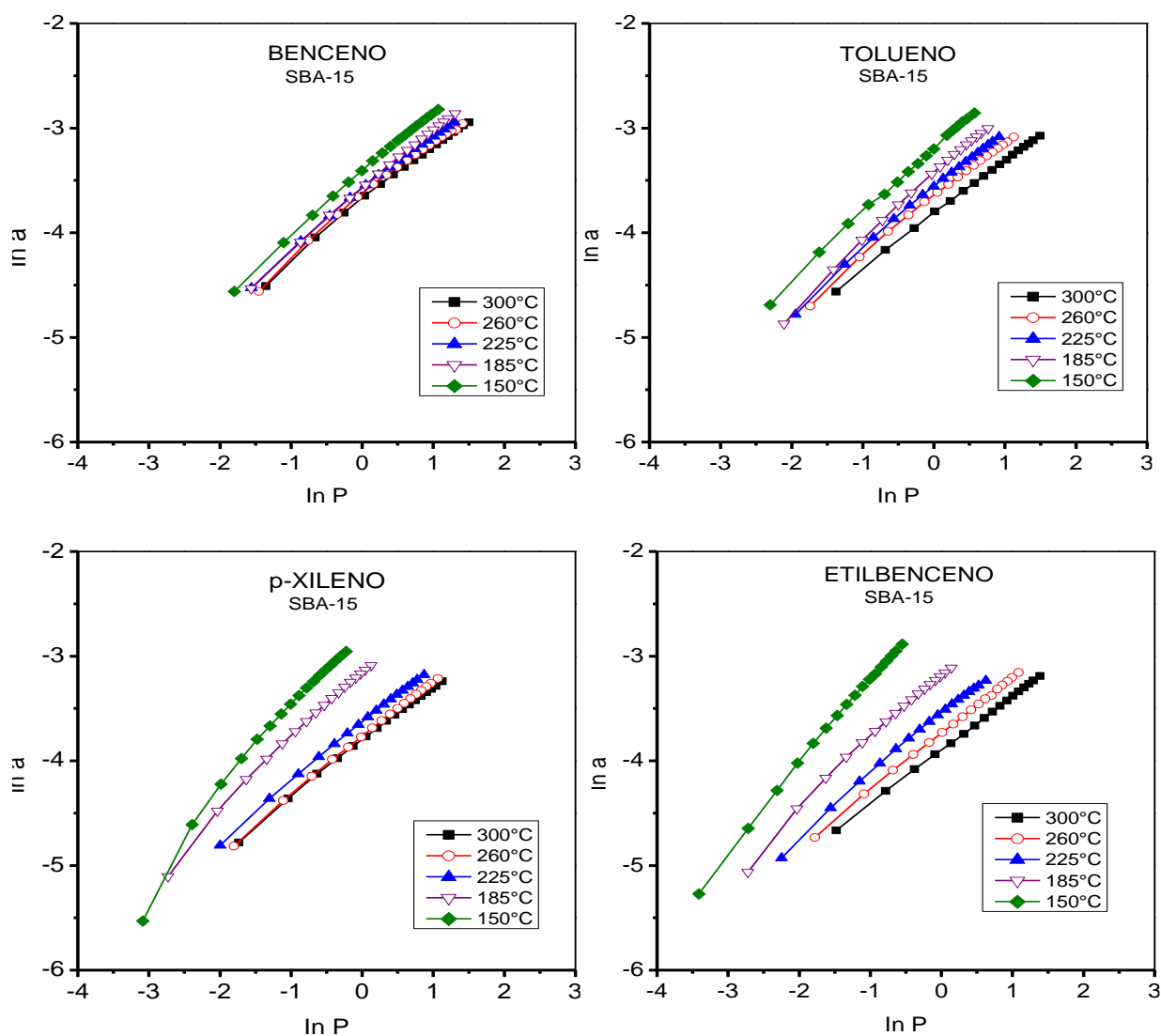
En el SBA-15/HT<sub>C25</sub> la adsorción de COVs se lleva a cabo a presiones bajas, menores a los 3 mmHg, esto significa que el diámetro de poro (6.75nm) es lo suficientemente grande como para evitar el incremento de la presión relativa. Sin embargo, el aumento de la cantidad de COVs adsorbido es mayor que en el SBA-15. Esto se puede asociar a una mayor interacción del adsorbente con el sólido gracias a la presencia de los óxidos mixtos de HT<sub>C</sub>. Por otra parte no se observa un incremento de presión en el compósito. Esto se debe principalmente a que los óxidos mixtos de Mg/Al están bien dispersos en la superficie del SBA-15 y no existe, por lo tanto, obstrucción de la porosidad, como se comprobó en el microscopio electrónico de barrido MEB.

### **3.2.2 Representación de la forma lineal con el modelo de Freundlich**

Se decidió utilizar el modelo de Freundlich para corroborar que los datos obtenidos en este análisis se ajustan o no a la representación de esta ecuación. En esta ecuación se establece que a una temperatura constante, la cantidad de adsorbato unido por unidad de peso de adsorbente es una función logarítmica de la concentración en la fase sólida en equilibrio. Y se representa por medio de una línea recta. A partir de esto podemos decir que es importante el utilizar los modelos ya que describen el equilibrio entre la superficie del material y el compuesto adsorbido. El modelo de Freundlich es una ecuación empírica en comparación a los otros modelos y tiene como principal aplicación conocer la tendencia de adsorción de un compuesto que será adsorbido en una superficie. Además, se puede corroborar si cumple con los parámetros de adsorción que se especifican en la Tabla 3. A continuación se presentan las gráficas de las isotermas de adsorción con el modelo de Freundlich para los COVs y los materiales utilizados.

#### **3.2.2.1 Isotermas con el modelo de Freundlich para el SBA-15**

La Figura 20 presenta las isotermas de adsorción con el modelo de Freundlich para los compuestos orgánicos volátiles (COVs) que se utilizaron como adsorbatos y el SBA-15 como adsorbente. En ellas se puede observar que hay linealidad en casi todos los compuestos en todas las temperaturas de estudio. Esto quiere decir que los datos obtenidos se ajustan muy bien a este modelo y por lo tanto hay un equilibrio entre el adsorbato y el adsorbente. Excepto por el p-xileno adsorbido a 150 ° C, donde la isoterma se observa un poco curva.

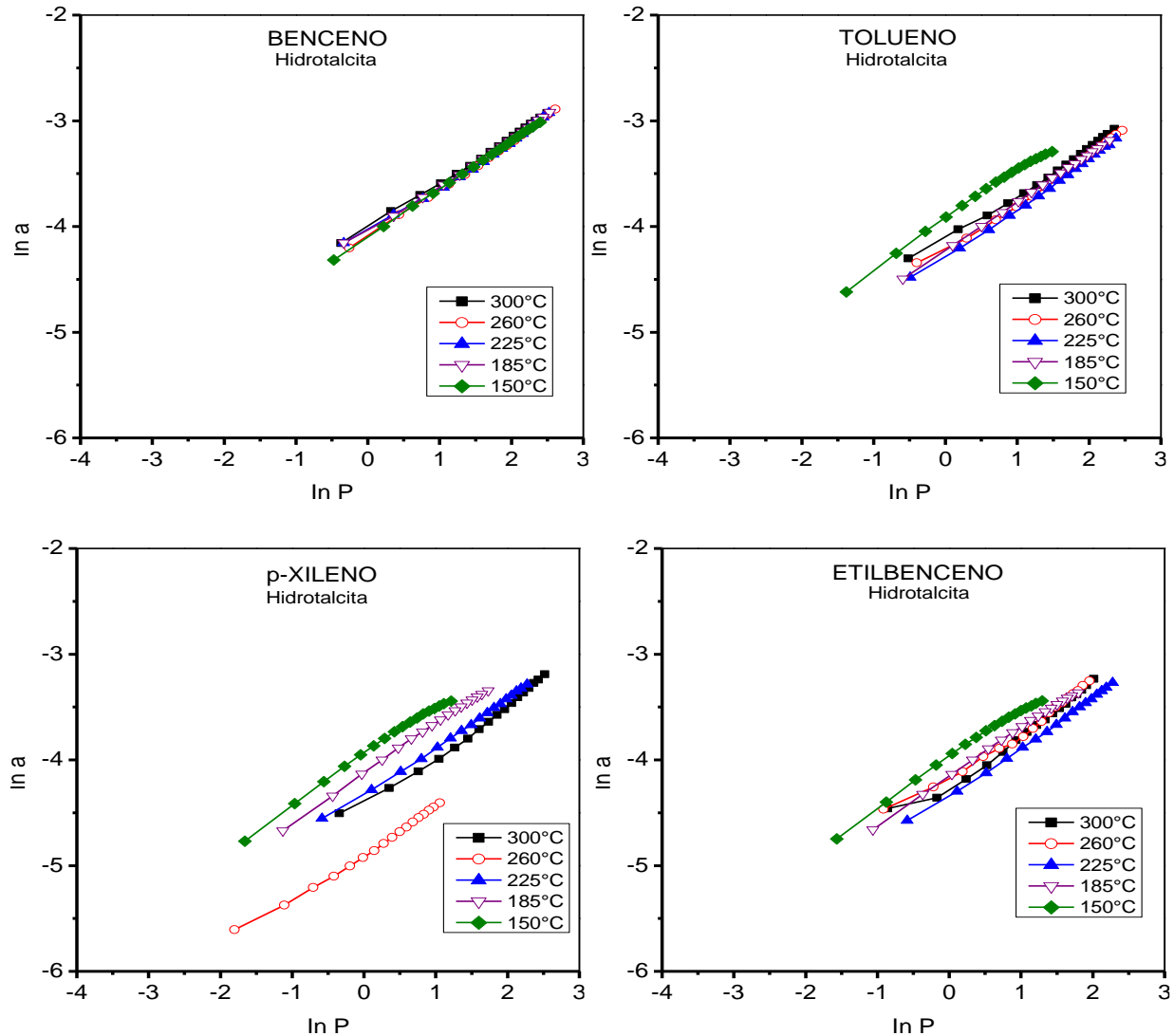


**Figura 20. Isothermas de adsorción con el modelo Freundlich de Benceno, Tolueno, p-Xileno y Etilbenceno para el SBA-15.**

### 3.2.2.2 Isothermas con el modelo de Freundlich para la hidrotalcita (HT<sub>C</sub>)

A continuación se presenta las isothermas de adsorción con el modelo de Freundlich para los compuestos orgánicos volátiles en el material HT<sub>C</sub>, Figura 21. En las isothermas del benceno podemos observar que se ajustan perfectamente los datos experimentales al modelo de Freundlich, para todas las temperaturas. En las isothermas del tolueno, los datos no se ajustan (en todos los puntos) para las temperaturas fronteras, 150°C y 300°C. Por otra parte, las isothermas del

p-xileno y el etilbenceno a 300 ° C y a 260 ° C no se ajustaron al modelo, por lo que es un indicador de que no cumple correctamente con este modelo.

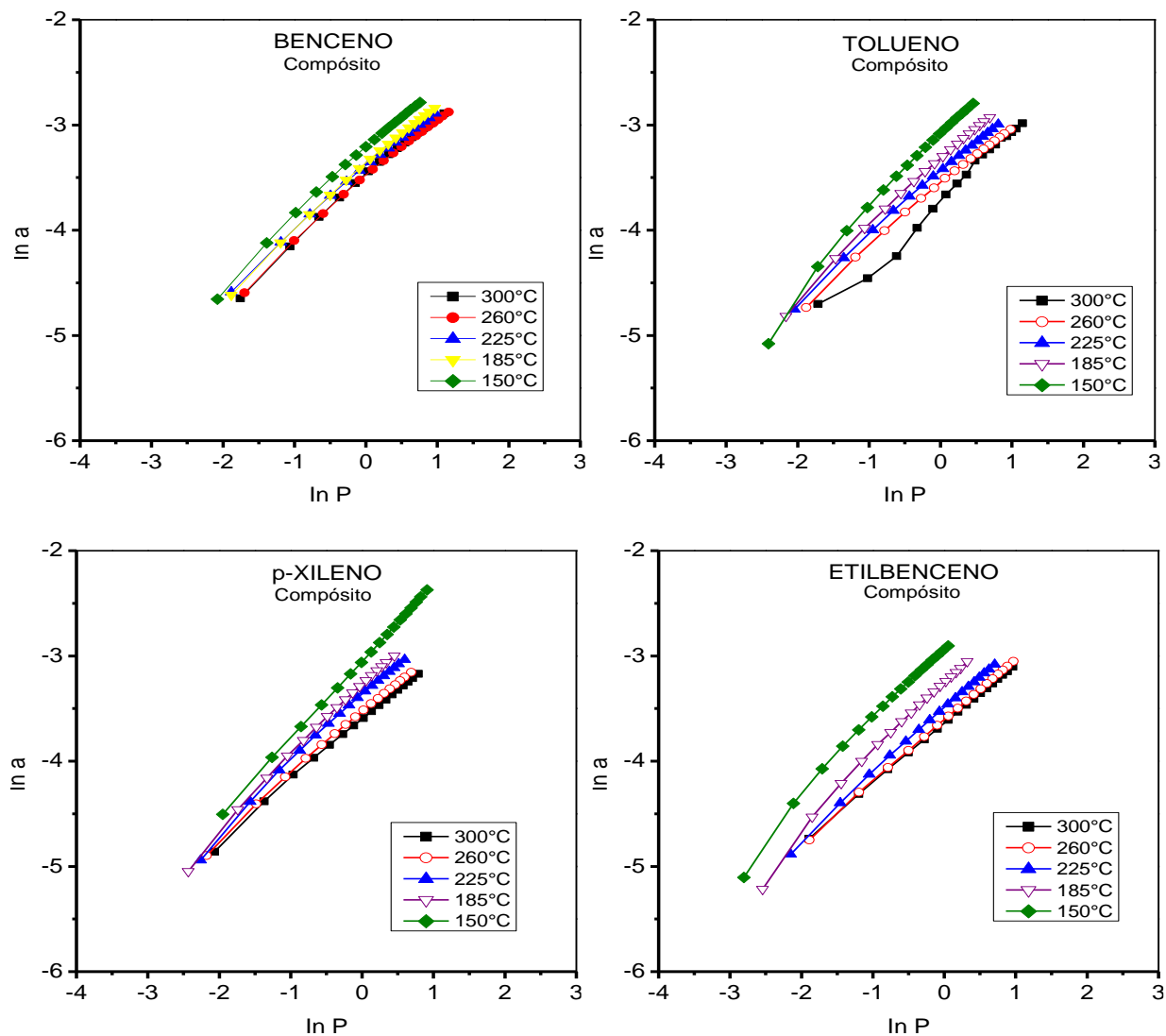


**Figura 21. Isotermas de adsorción con el modelo Freundlich de Benceno, Tolueno, p-Xileno y Etilbenceno para la HTc.**

### 3.2.2.3 Isotermas con el modelo de Freundlich para el compuesto SBA-15/HT<sub>C25</sub>

En la Figura 22 se observan las isotermas de adsorción con el modelo de Freundlich para el material compuesto de SBA-15/HT<sub>C25</sub>. Se puede apreciar que para las siguientes isotermas no se ajustan al modelo de Freundlich: i) isotermas del tolueno a 150°C y a 300°C, ii) isotermas del

etilbenceno a 150°C y 185°C y iii) la isoterma del p-xileno a 150°C. Todas las demás isotermas se ajustan a este modelo.



**Figura 22. Isotermas de adsorción con el modelo Freundlich de Benceno, Tolueno, p-Xileno y Etilbenceno para el compósito.**

### 3.2.2.4 Datos experimentales del modelo de Freundlich de los materiales

Los datos experimentales se obtuvieron a partir de la regresión lineal de las isotermas del modelo de Freundlich. Los datos se analizaron y ordenaron de acuerdo con la Tabla 5.

**Tabla 5. Parámetros de la ecuación de Freundlich para la adsorción de los compuestos orgánicos volátiles (COVs) en SBA-15, HT<sub>C</sub> y el SBA-15/HT<sub>C25</sub>.**

| COVs               | T            | SBA-15               |            |                      | HIDROTALCITA         |            |                      | COMPÓSITO            |            |                      |
|--------------------|--------------|----------------------|------------|----------------------|----------------------|------------|----------------------|----------------------|------------|----------------------|
|                    | (K)          | K <sub>F</sub>       | 1/n        | R <sub>F</sub>       | K <sub>F</sub>       | 1/n        | R <sub>F</sub>       | K <sub>F</sub>       | 1/n        | R <sub>F</sub>       |
| <b>Benceno</b>     | 573.15       | 0.024                | 1.884      | 0.994                | 0.017                | 2.325      | 0.998                | 0.03                 | 1.658      | 0.994                |
|                    | 533.15       | 0.025                | 1.858      | 0.99                 | 0.016                | 2.187      | 0.997                | 0.029                | 1.708      | 0.994                |
|                    | 498.15       | 0.027                | 1.848      | 0.994                | 0.017                | 2.291      | 0.993                | 0.032                | 1.721      | 0.995                |
|                    | 458.15       | 0.027                | 1.738      | 0.998                | 0.017                | 2.281      | 0.997                | 0.033                | 1.633      | 0.995                |
|                    | 423.15       | 0.032                | 1.667      | 0.997                | 0.018                | 2.205      | 0.999                | 0.039                | 1.555      | 0.995                |
|                    | <b>T (K)</b> | <b>K<sub>F</sub></b> | <b>1/n</b> | <b>R<sub>F</sub></b> | <b>K<sub>F</sub></b> | <b>1/n</b> | <b>R<sub>F</sub></b> | <b>K<sub>F</sub></b> | <b>1/n</b> | <b>R<sub>F</sub></b> |
| <b>Tolueno</b>     | 573.15       | 0.021                | 1.949      | 0.999                | 0.016                | 2.305      | 0.994                | 0.024                | 1.523      | 0.987                |
|                    | 533.15       | 0.025                | 1.829      | 0.995                | 0.014                | 2.201      | 0.993                | 0.028                | 1.727      | 0.995                |
|                    | 498.15       | 0.027                | 1.732      | 0.995                | 0.013                | 2.139      | 0.997                | 0.031                | 1.663      | 0.996                |
|                    | 458.15       | 0.031                | 1.533      | 0.996                | 0.014                | 2.193      | 0.999                | 0.035                | 1.549      | 0.995                |
|                    | 423.15       | 0.041                | 1.575      | 0.998                | 0.019                | 2.159      | 0.995                | 0.046                | 1.314      | 0.988                |
|                    | <b>T (K)</b> | <b>K<sub>F</sub></b> | <b>1/n</b> | <b>R<sub>F</sub></b> | <b>K<sub>F</sub></b> | <b>1/n</b> | <b>R<sub>F</sub></b> | <b>K<sub>F</sub></b> | <b>1/n</b> | <b>R<sub>F</sub></b> |
| <b>p-Xileno</b>    | 573.15       | 0.022                | 1.893      | 0.997                | 0.011                | 2.095      | 0.988                | 0.027                | 1.732      | 0.997                |
|                    | 533.15       | 0.022                | 1.819      | 0.998                | 0.007                | 2.315      | 0.994                | 0.029                | 1.682      | 0.996                |
|                    | 498.15       | 0.026                | 1.786      | 0.997                | 0.013                | 2.206      | 0.997                | 0.034                | 1.541      | 0.994                |
|                    | 458.15       | 0.044                | 1.472      | 0.992                | 0.016                | 2.155      | 0.998                | 0.038                | 1.442      | 0.995                |
|                    | 423.15       | 0.069                | 1.19       | 0.977                | 0.019                | 2.16       | 0.995                | 0.047                | 1.353      | 0.999                |
|                    | <b>T (K)</b> | <b>K<sub>F</sub></b> | <b>1/n</b> | <b>R<sub>F</sub></b> | <b>K<sub>F</sub></b> | <b>1/n</b> | <b>R<sub>F</sub></b> | <b>K<sub>F</sub></b> | <b>1/n</b> | <b>R<sub>F</sub></b> |
| <b>Etilbenceno</b> | 573.15       | 0.02                 | 1.951      | 0.999                | 0.014                | 2.152      | 0.976                | 0.026                | 1.764      | 0.999                |
|                    | 533.15       | 0.023                | 1.85       | 0.999                | 0.015                | 2.274      | 0.981                | 0.027                | 1.705      | 0.999                |
|                    | 498.15       | 0.028                | 1.723      | 0.995                | 0.012                | 2.155      | 0.997                | 0.03                 | 1.611      | 0.998                |
|                    | 458.15       | 0.042                | 1.527      | 0.99                 | 0.015                | 2.201      | 0.998                | 0.039                | 1.391      | 0.989                |
|                    | 423.15       | 0.091                | 1.213      | 0.997                | 0.018                | 2.193      | 0.994                | 0.055                | 1.364      | 0.989                |

Donde  $T$  es la temperatura experimental en K,  $K_F$  (mmHg<sup>-1</sup>) es el valor de la constante de Freundlich,  $1/n$  constante empírica que representa la velocidad de saturación del adsorbato y  $R$  es el factor de correlación.

Se observa que la constante de Freundlich,  $K_F$ , disminuye conforme aumenta la temperatura lo que indica que se ajusta al modelo. En efecto, se observa que los coeficientes de correlación lineal,  $R_F$ , tienden a la unidad. Por otra parte los valores de la constante empírica,  $1/n$ , son mayores a uno. Si se comparan con los parámetros de adsorción de las isothermas de

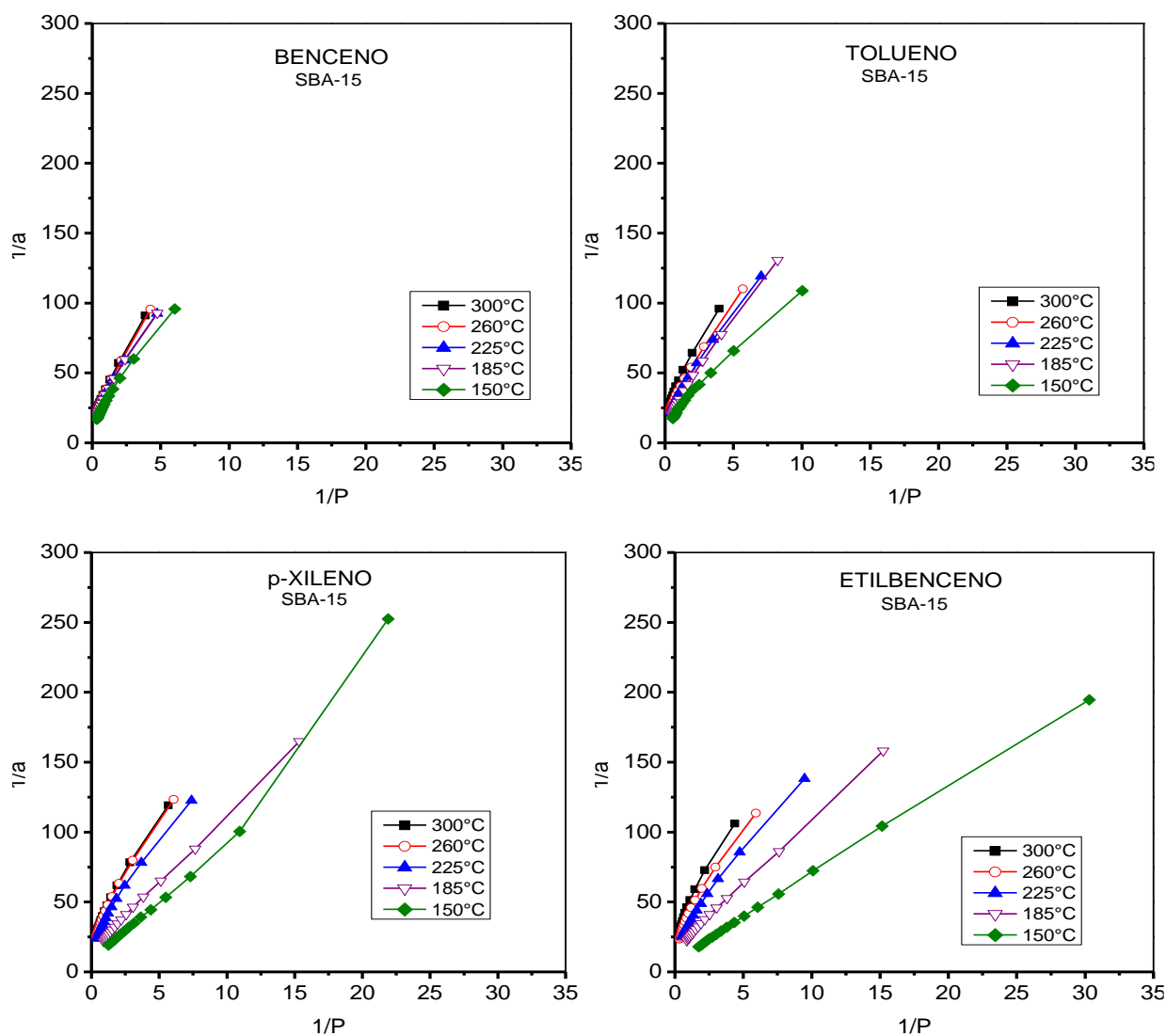
Freundlich (Tabla 3) se puede afirmar que existe una adsorción favorable, es decir, hay un equilibrio entre los adsorbatos que son adsorbidos en las superficies heterogéneas de los adsorbentes.

### **3.2.3 Isotermas de adsorción con el modelo de Langmuir**

El modelo de Langmuir es utilizado principalmente para describir el equilibrio ideal entre una superficie (adsorbente) y una sustancia química en solución (adsorbato). Este modelo describe la adsorción en una monocapa a diferencia del modelo de Freundlich que describe la adsorción en varias capas. A continuación se presentan las isotermas para el modelo de Langmuir con los materiales estudiados.

#### **3.2.3.1 Isotermas con el modelo de Langmuir para el SBA-15**

En la Figura 23 se muestra las isotermas de adsorción con el modelo de Langmuir para los cuatro compuestos orgánicos volátiles en el material SBA-15. En la mayoría de las isotermas para este modelo, se puede apreciar que hay una breve curvatura, por lo que se puede decir que estas isotermas no están linealizadas y no se ajustan al modelo al 100%.

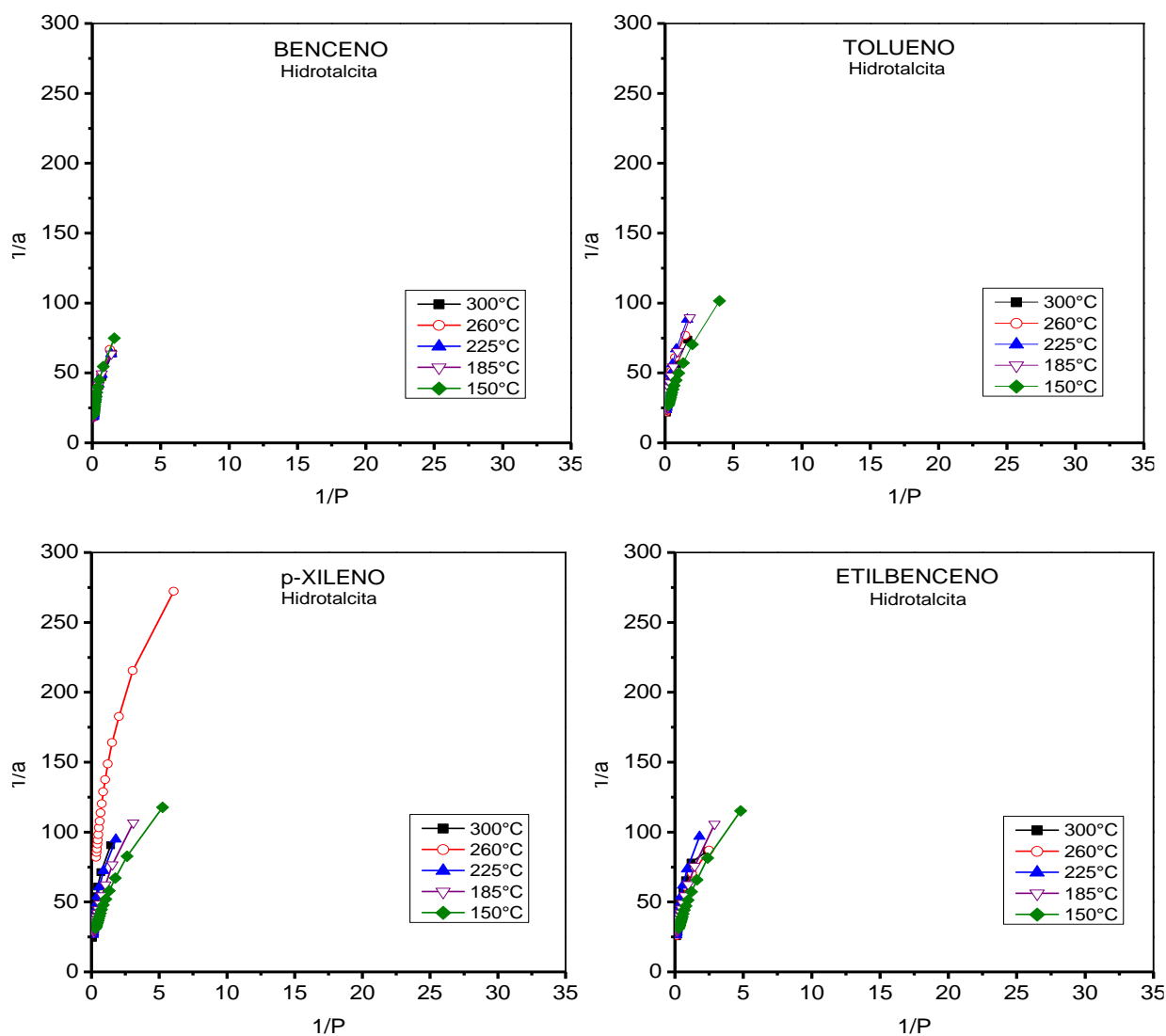


**Figura 23. Isotermas de adsorción con el modelo Langmuir de Benceno, Tolueno, p-Xileno y Etilbenceno para el SBA-15.**

### 3.2.3.2 Isotermas con el modelo de Langmuir para la HTc

En la Figura 24 se aprecian las isotermas de adsorción con el modelo de Langmuir para el benceno, tolueno, p-xileno y etilbenceno en el material llamado hidrotalcita (HT<sub>C</sub>).

Como en la figura anterior, se puede observar que los datos no se ajustan en la mayoría de las isotermas al modelo de Langmuir.

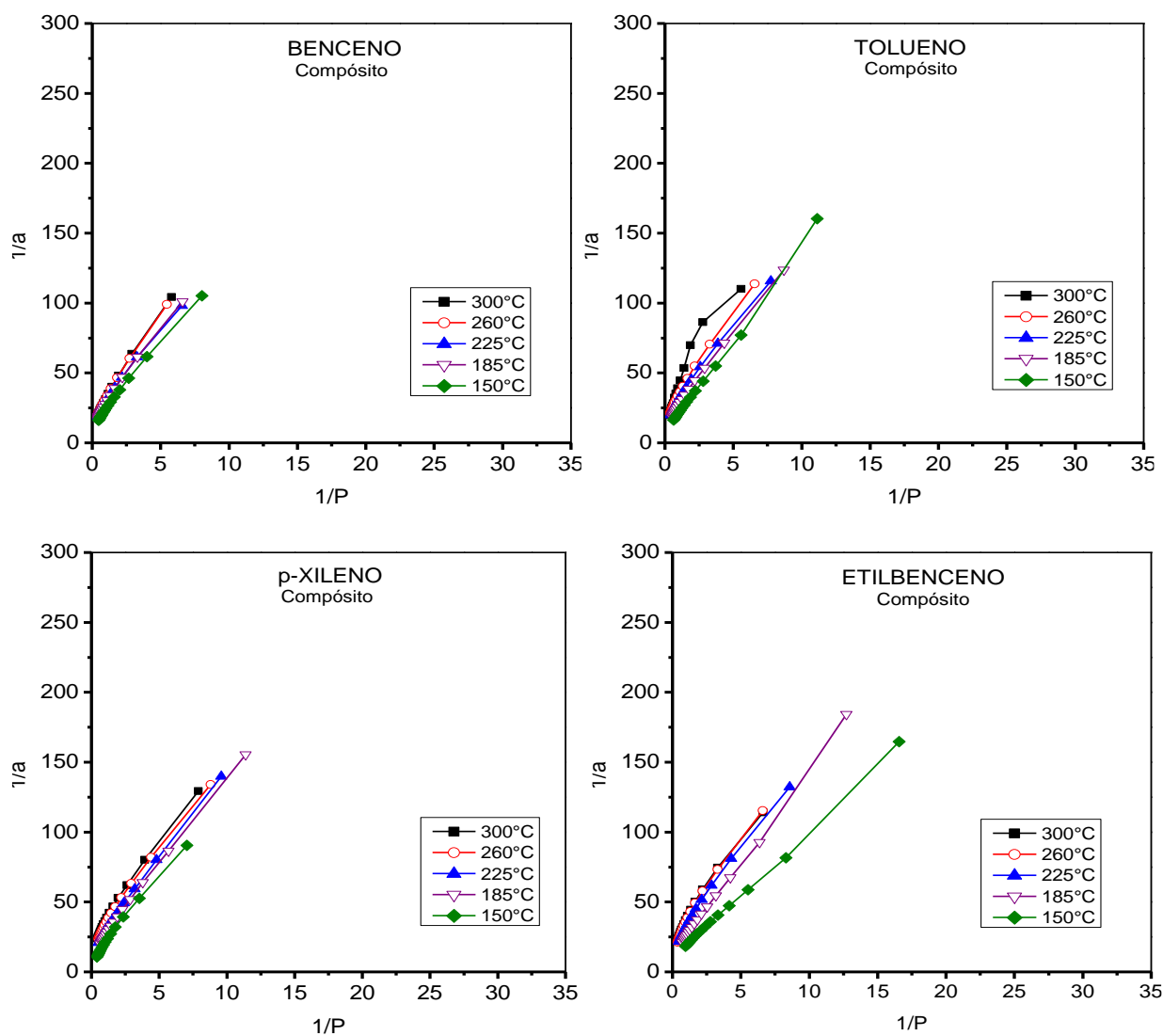


**Figura 24. Isotermas de adsorción con el modelo Langmuir de Benceno, Tolueno, p-Xileno y Etilbenceno para la hidrotalcita.**

### 3.2.3.3 Isotermas con el modelo de Langmuir para el compuesto SBA-15/HT<sub>C25</sub>

La Figura 25 muestra las isotermas de adsorción con el modelo Langmuir para el compuesto.

Las figuras indican un comportamiento no lineal debido a que el coeficiente de correlación en ocasiones no cumple su linealidad. Es por eso que se dice que no se ajusta al modelo de Langmuir.



**Figura 25. Isothermas de adsorción con el modelo Langmuir de Benceno, Tolueno, p-Xileno y Etilbenceno para el SBA-15/HT<sub>C25</sub>.**

### 3.2.3.4 Datos experimentales del modelo de Langmuir y Henry de los materiales mesoporosos

En la Tabla 6 se presentan los datos experimentales obtenidos a partir del modelo de Langmuir y el modelo de Henry. En estos datos se puede apreciar el comportamiento que tiene los materiales mesoporosos con cada uno de los compuestos orgánicos volátiles.

**Tabla 6. Parámetros del modelo de Langmuir y Henry para la adsorción de los compuestos orgánicos volátiles (COVs) en SBA-15, HT<sub>c</sub> y SBA-15/HT<sub>c25</sub>.**

| COVs               | T            | SBA-15               |                      |                      |                      | HIDROTALCITA         |                      |                      |                      | COMPÓSITO            |                      |                      |                      |
|--------------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                    |              | (K)                  | a <sub>m</sub>       | K <sub>L</sub>       | K <sub>H</sub>       | R <sub>L</sub>       | a <sub>m</sub>       | K <sub>L</sub>       | K <sub>H</sub>       | R <sub>L</sub>       | a <sub>m</sub>       | K <sub>L</sub>       | K <sub>H</sub>       |
| <b>Benceno</b>     | 573.15       | 0.059                | 0.852                | 0.05                 | 0.99                 | 0.05                 | 0.586                | 0.029                | 0.93                 | 0.068                | 0.915                | 0.062                | 0.993                |
|                    | 533.15       | 0.06                 | 0.872                | 0.052                | 0.994                | 0.052                | 0.468                | 0.024                | 0.935                | 0.067                | 0.935                | 0.062                | 0.993                |
|                    | 498.15       | 0.059                | 1.012                | 0.06                 | 0.988                | 0.049                | 0.577                | 0.028                | 0.907                | 0.067                | 1.168                | 0.076                | 0.991                |
|                    | 458.15       | 0.063                | 0.919                | 0.058                | 0.984                | 0.05                 | 0.559                | 0.028                | 0.916                | 0.071                | 1.021                | 0.073                | 0.992                |
|                    | 423.15       | 0.069                | 1.025                | 0.071                | 0.988                | 0.048                | 0.564                | 0.027                | 0.95                 | 0.081                | 1.04                 | 0.084                | 0.996                |
|                    | <b>T (K)</b> | <b>a<sub>m</sub></b> | <b>K<sub>L</sub></b> | <b>K<sub>H</sub></b> | <b>R<sub>L</sub></b> | <b>a<sub>m</sub></b> | <b>K<sub>L</sub></b> | <b>K<sub>H</sub></b> | <b>R<sub>L</sub></b> | <b>a<sub>m</sub></b> | <b>K<sub>L</sub></b> | <b>K<sub>H</sub></b> | <b>R<sub>L</sub></b> |
| <b>Tolueno</b>     | 573.15       | 0.048                | 1.026                | 0.049                | 0.974                | 0.042                | 0.701                | 0.029                | 0.906                | 0.052                | 1                    | 0.052                | 0.91                 |
|                    | 533.15       | 0.051                | 1.179                | 0.06                 | 0.99                 | 0.041                | 0.583                | 0.024                | 0.898                | 0.055                | 1.188                | 0.065                | 0.99                 |
|                    | 498.15       | 0.053                | 1.271                | 0.067                | 0.991                | 0.039                | 0.583                | 0.023                | 0.922                | 0.059                | 1.272                | 0.075                | 0.991                |
|                    | 458.15       | 0.064                | 1.075                | 0.068                | 0.992                | 0.04                 | 0.629                | 0.025                | 0.95                 | 0.07                 | 1.11                 | 0.077                | 0.996                |
|                    | 423.15       | 0.067                | 1.538                | 0.103                | 0.989                | 0.039                | 1.23                 | 0.048                | 0.974                | 0.131                | 0.564                | 0.074                | 0.997                |
|                    | <b>T (K)</b> | <b>a<sub>m</sub></b> | <b>K<sub>L</sub></b> | <b>K<sub>H</sub></b> | <b>R<sub>L</sub></b> | <b>a<sub>m</sub></b> | <b>K<sub>L</sub></b> | <b>K<sub>H</sub></b> | <b>R<sub>L</sub></b> | <b>a<sub>m</sub></b> | <b>K<sub>L</sub></b> | <b>K<sub>H</sub></b> | <b>R<sub>L</sub></b> |
| <b>p-Xileno</b>    | 573.15       | 0.042                | 1.335                | 0.056                | 0.981                | 0.036                | 0.524                | 0.019                | 0.885                | 0.047                | 1.469                | 0.07                 | 0.988                |
|                    | 533.15       | 0.043                | 1.316                | 0.057                | 0.981                | 0.011                | 2.58                 | 0.028                | 0.898                | 0.049                | 1.498                | 0.074                | 0.99                 |
|                    | 498.15       | 0.046                | 1.514                | 0.069                | 0.984                | 0.035                | 0.675                | 0.023                | 0.922                | 0.064                | 1.178                | 0.075                | 0.997                |
|                    | 458.15       | 0.067                | 1.509                | 0.102                | 0.999                | 0.036                | 1.002                | 0.036                | 0.962                | 0.070                | 1.122                | 0.079                | 0.998                |
|                    | 423.15       | 0.078                | 0.117                | 0.092                | 0.981                | 0.033                | 1.635                | 0.055                | 0.972                | 0.124                | 0.666                | 0.082                | 0.991                |
|                    | <b>T (K)</b> | <b>a<sub>m</sub></b> | <b>K<sub>L</sub></b> | <b>K<sub>H</sub></b> | <b>R<sub>L</sub></b> | <b>a<sub>m</sub></b> | <b>K<sub>L</sub></b> | <b>K<sub>H</sub></b> | <b>R<sub>L</sub></b> | <b>a<sub>m</sub></b> | <b>K<sub>L</sub></b> | <b>K<sub>H</sub></b> | <b>R<sub>L</sub></b> |
| <b>Etilbenceno</b> | 573.15       | 0.041                | 1.185                | 0.048                | 0.965                | 0.033                | 0.987                | 0.033                | 0.818                | 0.048                | 1.387                | 0.066                | 0.977                |
|                    | 533.15       | 0.044                | 1.379                | 0.06                 | 0.976                | 0.034                | 1.089                | 0.037                | 0.866                | 0.051                | 1.258                | 0.065                | 0.981                |
|                    | 498.15       | 0.046                | 1.7                  | 0.078                | 0.99                 | 0.035                | 0.644                | 0.023                | 0.925                | 0.054                | 1.33                 | 0.072                | 0.989                |
|                    | 458.15       | 0.062                | 1.701                | 0.105                | 0.999                | 0.035                | 0.974                | 0.034                | 0.962                | 0.081                | 0.921                | 0.074                | 0.998                |
|                    | 423.15       | 0.120                | 1.317                | 0.16                 | 0.999                | 0.035                | 1.535                | 0.052                | 0.972                | 0.101                | 1.069                | 0.108                | 0.998                |
|                    | <b>T (K)</b> | <b>a<sub>m</sub></b> | <b>K<sub>L</sub></b> | <b>K<sub>H</sub></b> | <b>R<sub>L</sub></b> | <b>a<sub>m</sub></b> | <b>K<sub>L</sub></b> | <b>K<sub>H</sub></b> | <b>R<sub>L</sub></b> | <b>a<sub>m</sub></b> | <b>K<sub>L</sub></b> | <b>K<sub>H</sub></b> | <b>R<sub>L</sub></b> |

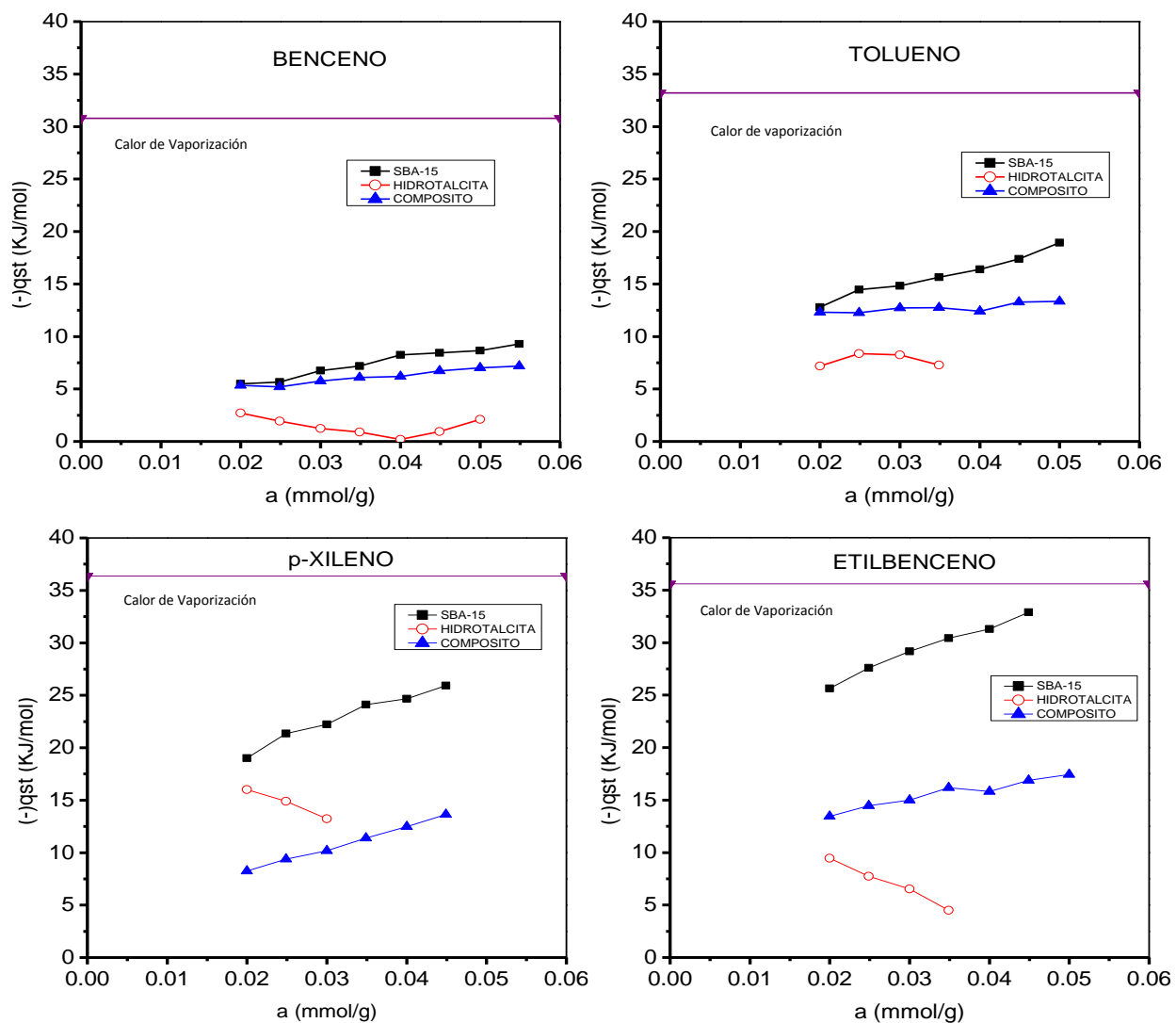
La capacidad de monocapa de Langmuir a<sub>m</sub> (mmol g<sup>-1</sup>) máxima capacidad de adsorción del adsorbente, constantes de Henry K<sub>H</sub> (mmHg<sup>-1</sup>), Langmuir K<sub>L</sub> (mmHg<sup>-1</sup>), y R<sub>L</sub> Coeficiente de correlación lineal.

En la tabla anterior se puede observar el valor de la capacidad de la monocapa de Langmuir a<sub>m</sub>, que viene siendo la cantidad máxima (monocapa) que la superficie de todos los materiales pueden adsorber en el equilibrio. Estos valores demuestran que los materiales tienen

mayor afinidad por el benceno, como lo demuestran los datos de adsorción. Los xilenos, por lo contrario presentan menor afinidad de adsorción para el compósito. Por otra parte, se observa que los coeficientes de correlación lineal  $R_L$  tienden a variar más en comparación con el coeficiente de correlación del modelo de Freundlich. Estas variaciones nos permiten observar que en la mayoría de los casos, los datos se alejan de la linealidad. Por lo tanto, los datos experimentales no se ajustan por completo al modelo de Langmuir por lo que se puede atribuir que la fisisorción es el tipo de adsorción dominante.

### **3.2.4 Calores isostéricos de adsorción de los contaminantes en los materiales**

Como la adsorción es un proceso exotérmico, el incremento de la temperatura y mantener la presión constante favorece la desorción del adsorbato. En algunos sistemas la fisisorción es el proceso dominante a bajas temperaturas, mientras la adsorción química se manifiesta a altas temperaturas. (Glasstone, 1968). A continuación se presentan las graficas con los calores isostéricos de adsorción.



**Figura 26. Gráficas del calor isostérico de adsorción del Benceno, Tolueno, p-Xileno y Etilbenceno para los materiales.**

En los cuatro casos podemos observar que los valores para el calor isostérico de adsorción son más pequeños en comparación al calor de vaporización de cada uno de los compuestos adsorbidos. Esto confirma que solo se lleva a cabo una fisisorción. Y esto se corrobora porque el tiempo de retención de cada compuesto es muy pequeño.

Por otra parte, se puede observar que para las isotermas del SBA-15 como para el compuesto tienen un comportamiento hacia arriba lo que nos indica que son materiales homogéneos y para las isotermas de HT<sub>C</sub> tienen en todos los casos un comportamiento hacia

abajo lo que denota a un material heterogéneo. Esto puede ser justificado por las características fisicoquímicas presentadas en los resultados de caracterización.

En la Tabla 7 se muestran los valores de la energía de adsorción estándar  $-\Delta U_0$  y el calor isostérico o entalpía diferencial, los cuales permiten cualificar los cambios energéticos y determinar el grado de espontaneidad del proceso de adsorción en la superficie de los materiales.

**Tabla 7. Valores de la energía de adsorción libre estándar y los calores isostéricos de adsorción.**

| MATERIALES          | BENCENO       |           | TOLUENO       |           | p-XILENO      |           | ETILBENCENO   |           |
|---------------------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|
|                     | $-\Delta U_0$ | $-q_{st}$ | $-\Delta U_0$ | $-q_{st}$ | $-\Delta U_0$ | $-q_{st}$ | $-\Delta U_0$ | $-q_{st}$ |
| <b>SBA-15</b>       | 4.766         | 9.294     | 8.997         | 18.926    | 6.848         | 25.921    | 15.743        | 32.897    |
| <b>HIDROTALCITA</b> | -1.166        | -2.711    | 7.538         | 8.374     | 13.627        | 16.013    | 5.905         | 9.449     |
| <b>COMPÓSITO</b>    | 4.348         | 7.182     | 10.926        | 13.341    | 2.094         | 13.631    | 2.109         | 17.438    |

Energía de adsorción estándar ( $\Delta U_0$ , kJ/mol) y calores isostéricos ( $q_{st}$ , kJ/mol) de adsorción de compuestos orgánicos volátiles.

En la tabla anterior se puede observar que el calor isostérico es mayor que la energía de adsorción libre de los compuestos, esto quiere decir que las moléculas de adsorción interactúan fuertemente tanto con la superficie y con las moléculas de adsorbato vecinos.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en la parte experimental se puede concluir lo siguiente:

En la parte de adsorción de COVs, de los materiales utilizados, el que tuvo un mejor desempeño es el compósito de HTc y SBA-15. En efecto, se obtuvo una mayor adsorción en comparación a sus materiales precursores. Por lo que se puede decir que se cumplió la hipótesis señalada al principio.

Las isotermas de adsorción obtenidas experimentalmente de los materiales adsorbentes se ajustan al patrón experimental de adsorción de Freundlich. Donde se observa por los parámetros de adsorción que las sustancias son adsorbidas favorablemente y se estima que el proceso es de fisisorción. Esto se afirma posteriormente con los resultados obtenidos en el calor isostérico.

Los calores isostéricos obtenidos en comparación al calor de vaporización de cada uno de los COVs es menor. Esto quiere decir que existe una fisisorción, dado que el tiempo de retención de todos los compuestos en cada adsorbente es muy pequeño y no permite que interactúe químicamente. Por lo que se puede concluir que estos materiales podrán ser reutilizados por mayor tiempo sin perder sus propiedades estructurales y sin ser afectados por la adsorción. Esto también beneficia la parte económica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, J.; Leaver K.; Rawlings R ; Anderson J. (1998). *Ciencia de los Materiales*. Editado por E. Limusa. México.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (ATSDR). (2007). *Reseña Toxicológica del Xileno, Tolueno, Benceno y Etilbenceno*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.
- Aguilar, Gelacio. (1985). *Adsorción y catálisis*. México. Pág. 311
- Bautista I, Sampieri A, Fetter G, Bosch P. (2013). Microwave-assisted preparation of acid-base mesoporous composite materials. *Catalysis of Advanced Materials*. XXII International Materials Research Congress. S6A-0032.
- Brinker C J, Brow R K, Tallant D R y Kirkpatrick R J. (1990). Surface structure and chemistry of high surface area silica gels. *Journal of Non-Crystalline Solids*.
- Brown I G. 2004. *The physics and technology of ion sources*. Editado por: Wiley-VCH.
- Ciesla U, Froba M, Stucky G y Schuth F. (1999). Highly ordered porous zirconias from surfactant-controlled syntheses: Zirconium oxide-sulfate and zirconium oxo phosphate. *Chemistry of Materials* 11 (2):227-234.
- Corma A. (1997). Preparation and catalytic properties of new mesoporous materials. *Topics in Catalysis* 4:249-260.
- De Nevers Noel. (1995). *Air pollution control engineering.*, Primera ed, Ed McGraw-Hill.
- Fetter G. (2005). Catalizadores tipo arcillas pilareadas. *Materiales avanzados*, No 4, México. Pág. 19-24.
- Glasstone, S. (1968). *Tratado de química física*. Ed. Aguilar.
- Hernández, M. Á., Velasco, J. A., Rojas, F., Campos Reales, E., Lara, V. H., Torres, J. A., & Salgado, M. A. (2003). Adsorción de compuestos orgánicos volátiles en arcillas del estado de Puebla, México. *19*(4), 191–196.
- Hernández, M. A., Asomoza, M., Rojas, F., Solís S., Portillo, R., Salgado M.A., Hernández F., (2010). *JournalChemosphere*. 81, 876-883
- King C J. (1979). *Procesos de separación*. Ed Reverte España.

- Mangonon P L. (2001). *Ciencia de materiales: Selección y diseño*. Editado por P. Education. México.
- Miyata S. (1975). The Synthesis of Hydrotalcite-Like Compounds and Their Structures and Physico-Chemical Properties I: The Systems  $Mg^{2+}-Al^{3+}-NO_3^-$ ,  $Mg^{2+}-Al^{3+}-Cl^-$ ,  $Mg^{2+}-Al^{3+}-ClO_4^-$ ,  $Ni^{2+}-Al^{3+}-Cl^-$  and  $Zn^{2+}-Al^{3+}-Cl^-$ . *Clays and Clay Minerals* 5:369-375.
- Moreno Grau, M.D. (2003). *Toxicología Ambiental: evaluación de riesgo para la salud humana*. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U., 384 p.
- Moura, C. P., Vidal, C. B., Barros, A. L., Costa, L. S., Vasconcellos, L. C. G., Dias, F. S., & Nascimento, R. F. (2011). Adsorption of BTX (benzene, toluene, o-xylene, and p-xylene) from aqueous solutions by modified periodic mesoporous organosilica. *Journal of Colloid and Interface Science*, 363(2), 626–634. doi:10.1016/j.jcis.2011.07.054
- Myers Alan. (2004). *Chemical Thermodynamics for Industry*. Ed. T.M. Letcher.
- Newalkar B L.;Komarnen S.;Katsuki H. (2000). Rapid synthesis of mesoporous SBA-15 molecular sieve by a microwave–hydrothermal process.
- NOM-010-STPS-1999. Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.
- Pérez, A. (2011). *Diseño de materiales compósitos nanoestructurados a partir de SBA-15*.
- Perry R H y Green D W. (2010). *Manual del Ingeniero Químico. Volumen III. Séptima ed*, Ed McGraw-Hill/Interamericana de España.
- Riddick, J., Bunger, W., Sakano, T. (1986). *Organic solvents. physical properties and methods of purification. Volumen II. Cuarta ed*, Ed John Wiley & Sons.
- Ross R D. (1974). *La industria y la contaminación del aire*, Ed Diana.
- Schüth F y Schmidt W. (2002). Microporous and mesoporous materials. *Advanced Materials* 14 (9):629-638.
- Sing, K.S.W., Evereth, D.H., Haul, R.A.W., Moscou, L., Pierotti, R.A., Rouquerol, J., Siemieniowska, T. (1985). *Pure Applied Chem.*, 57, 603-619

- Strauss W y Mainwaring S J. (1990). Contaminación del aire: causas, efectos y soluciones, México, Ed Trillas.
- Sogorb M A y Vilanova E. (2004). Técnicas analíticas de contaminantes químicos: Aplicaciones toxicológicas, medioambientales y alimentarias, Ed Díaz de Santos S.A.
- Vaccari A. (1999). Clays and Catalysis: A Promising Future. Applied Clay Science 14:161-198.
- Vasant R. C. y Kshudiram M. (2000). Adsorption of aromatic hydrocarbons on highly siliceous MCM-41. Langmuir 16, 7031-7037.
- Zhao D, Peidong Y, Qisheng H, Bradley F C y Galen D S. 1998. Topological construction of mesoporous materials. Current Opinion in Solid State and Materials Science 3 (1):111-121.
- Zhao D, Yang P, I. Margolese D y D. Stucky G. 1998. Synthesis of continuous mesoporous silica thin films with three-dimensional accessible pore structures. Chemical Communications (22):2499-2500.

## **ANEXOS. Datos para elaborar las isotermas de adsorción de COVs**

### ❖ Material SBA-15

- Benceno
- Tolueno
- Xilenos
- Etilbenceno

### ❖ Hidrotalcita HTc

- Benceno
- Tolueno
- Xilenos
- Etilbenceno

### ❖ Compósito SBA-15/HT<sub>C25</sub>

- Benceno
- Tolueno
- Xilenos
- Etilbenceno

| PICO 1 |       |         |           |           |            |         | PICO 2 |       |         |           |           |            |         | PICO 3 |       |         |           |           |            |         |
|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1      | 17.4  | 0.484   | 66.912    | 0.053     | 0.0001     | 4.496   | 1      | 17.5  | 0.526   | 72.719    | 0.052     | 0.0001     | 4.104   | 1      | 17.4  | 0.595   | 82.258    | 0.053     | 0.0001     | 3.665   |
| 2      | 16    | 0.47    | 64.977    | 0.051     | 0.0001     | 4.134   | 2      | 16    | 0.497   | 68.710    | 0.049     | 0.0001     | 3.753   | 2      | 16    | 0.574   | 79.355    | 0.051     | 0.0001     | 3.370   |
| 3      | 15    | 0.455   | 62.903    | 0.049     | 0.0001     | 3.876   | 3      | 15    | 0.492   | 68.018    | 0.049     | 0.0001     | 3.518   | 3      | 15    | 0.555   | 76.728    | 0.049     | 0.0001     | 3.160   |
| 4      | 14    | 0.441   | 60.968    | 0.048     | 0.0001     | 3.618   | 4      | 14    | 0.478   | 66.083    | 0.047     | 0.0001     | 3.284   | 4      | 14    | 0.538   | 74.378    | 0.048     | 0.0001     | 2.949   |
| 5      | 13    | 0.424   | 58.618    | 0.046     | 0.0001     | 3.359   | 5      | 13    | 0.463   | 64.009    | 0.046     | 0.0001     | 3.049   | 5      | 13    | 0.519   | 71.751    | 0.046     | 0.0001     | 2.738   |
| 6      | 12    | 0.408   | 56.406    | 0.044     | 0.0001     | 3.101   | 6      | 12    | 0.447   | 61.797    | 0.044     | 0.0001     | 2.814   | 6      | 12    | 0.5     | 69.124    | 0.044     | 0.0001     | 2.528   |
| 7      | 11    | 0.392   | 54.194    | 0.043     | 0.0001     | 2.842   | 7      | 11    | 0.429   | 59.309    | 0.042     | 0.0001     | 2.580   | 7      | 11    | 0.481   | 66.498    | 0.043     | 0.0001     | 2.317   |
| 8      | 10    | 0.374   | 51.705    | 0.041     | 0.0001     | 2.584   | 8      | 10    | 0.411   | 56.820    | 0.041     | 0.0001     | 2.345   | 8      | 10    | 0.46    | 63.594    | 0.041     | 0.0001     | 2.106   |
| 9      | 9     | 0.355   | 49.078    | 0.039     | 0.0001     | 2.326   | 9      | 9     | 0.391   | 54.055    | 0.039     | 0.0001     | 2.111   | 9      | 9     | 0.438   | 60.553    | 0.039     | 0.0001     | 1.896   |
| 10     | 8     | 0.336   | 46.452    | 0.037     | 0.0001     | 2.067   | 10     | 8     | 0.37    | 51.152    | 0.037     | 0.0001     | 1.876   | 10     | 8     | 0.413   | 57.097    | 0.037     | 0.0001     | 1.685   |
| 11     | 7     | 0.316   | 43.687    | 0.034     | 0.0001     | 1.809   | 11     | 7     | 0.347   | 47.972    | 0.034     | 0.0000     | 1.642   | 11     | 7     | 0.387   | 53.502    | 0.034     | 0.0000     | 1.474   |
| 12     | 6     | 0.294   | 40.645    | 0.032     | 0.0000     | 1.550   | 12     | 6     | 0.322   | 44.516    | 0.032     | 0.0000     | 1.407   | 12     | 6     | 0.359   | 49.631    | 0.032     | 0.0000     | 1.264   |
| 13     | 5     | 0.268   | 37.051    | 0.029     | 0.0000     | 1.292   | 13     | 5     | 0.295   | 40.783    | 0.029     | 0.0000     | 1.173   | 13     | 5     | 0.326   | 45.069    | 0.029     | 0.0000     | 1.053   |
| 14     | 4     | 0.24    | 33.180    | 0.026     | 0.0000     | 1.034   | 14     | 4     | 0.261   | 36.083    | 0.026     | 0.0000     | 0.938   | 14     | 4     | 0.289   | 39.954    | 0.026     | 0.0000     | 0.843   |
| 15     | 3     | 0.204   | 28.203    | 0.022     | 0.0000     | 0.775   | 15     | 3     | 0.221   | 30.553    | 0.022     | 0.0000     | 0.704   | 15     | 3     | 0.243   | 33.594    | 0.022     | 0.0000     | 0.632   |
| 16     | 2     | 0.161   | 22.258    | 0.018     | 0.0000     | 0.517   | 16     | 2     | 0.172   | 23.779    | 0.017     | 0.0000     | 0.469   | 16     | 2     | 0.191   | 26.406    | 0.017     | 0.0000     | 0.421   |
| 17     | 1     | 0.101   | 13.963    | 0.011     | 0.0000     | 0.258   | 17     | 1     | 0.106   | 14.654    | 0.010     | 0.0000     | 0.235   | 17     | 1     | 0.122   | 16.866    | 0.011     | 0.0000     | 0.211   |

|                          |                         |                           |                         |                           |                         |
|--------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Peso Pico= 0.344 g       | Texp= 300 °C            | Peso Pico= 0.379 g        | Texp= 260 °C            | Peso Pico= 0.422 g        | Texp= 225 °C            |
| Área Pico= 47.5576 cm2   | Tconv= 273 K            | Área Pico= 52.39631 cm2   | Tconv= 273 K            | Área Pico= 58.34101 cm2   | Tconv= 273 K            |
| Peso Área= 0.0651 g      | To= 298 K               | Peso Área= 0.0651 g       | To= 298 K               | Peso Área= 0.0651 g       | To= 298 K               |
| Área = 9 cm2             | Wexp= 30 ml/min         | Área = 9 cm2              | Wexp= 30 ml/min         | Área = 9 cm2              | Wexp= 30 ml/min         |
| ma= 0.01122 mmol         | Wcorta= 1               | ma= 0.011221 mmol         | Wcorta= 1               | ma= 0.011221 mmol         | Wcorta= 1               |
| Gramos columna= 0.3 g    | R= 62.32 mmHg ml/K mmol | Gramos columna= 0.3 g     | R= 62.32 mmHg ml/K mmol | Gramos columna= 0.3 g     | R= 62.32 mmHg ml/K mmol |
| Po= 571 mmhg             |                         | Po= 571 mmhg              |                         | Po= 571 mmhg              |                         |
| T= 573 K                 |                         | T= 533 K                  |                         | T= 498 K                  |                         |
| Pprom= 1010.15 mmHg      |                         | Pprom= 1010.146 mmHg      |                         | Pprom= 1010.146 mmHg      |                         |
| Whe corr= 32.6071 ml/min |                         | Whe corr= 30.33082 ml/min |                         | Whe corr= 28.33912 ml/min |                         |
| K= 7E-06 mmol/cm ml      |                         | K= 7E-06 mmol/cm ml       |                         | K= 6.8E-06 mmol/cm ml     |                         |

Material: SBA-15

Reactivo: Benceno

| PICO 4 |       |         |           |           |            |         | PICO 5 |       |         |           |           |            |         |
|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1      | 17.6  | 0.648   | 89.585    | 0.057     | 0.0001     | 3.690   | 1      | 17.6  | 0.854   | 118.065   | 0.059     | 0.0001     | 2.913   |
| 2      | 16    | 0.618   | 85.438    | 0.055     | 0.0001     | 3.354   | 2      | 16    | 0.814   | 112.535   | 0.057     | 0.0001     | 2.648   |
| 3      | 15    | 0.599   | 82.811    | 0.053     | 0.0001     | 3.145   | 3      | 15    | 0.789   | 109.078   | 0.055     | 0.0001     | 2.483   |
| 4      | 14    | 0.578   | 79.908    | 0.051     | 0.0001     | 2.935   | 4      | 14    | 0.761   | 105.207   | 0.053     | 0.0001     | 2.317   |
| 5      | 13    | 0.555   | 76.728    | 0.049     | 0.0001     | 2.725   | 5      | 13    | 0.732   | 101.198   | 0.051     | 0.0001     | 2.152   |
| 6      | 12    | 0.533   | 73.687    | 0.047     | 0.0001     | 2.516   | 6      | 12    | 0.701   | 96.912    | 0.049     | 0.0001     | 1.986   |
| 7      | 11    | 0.509   | 70.369    | 0.045     | 0.0001     | 2.306   | 7      | 11    | 0.669   | 92.488    | 0.047     | 0.0001     | 1.821   |
| 8      | 10    | 0.482   | 66.636    | 0.043     | 0.0001     | 2.096   | 8      | 10    | 0.635   | 87.788    | 0.044     | 0.0001     | 1.655   |
| 9      | 9     | 0.457   | 63.180    | 0.040     | 0.0001     | 1.887   | 9      | 9     | 0.6     | 82.949    | 0.042     | 0.0001     | 1.490   |
| 10     | 8     | 0.429   | 59.309    | 0.038     | 0.0001     | 1.677   | 10     | 8     | 0.563   | 77.834    | 0.039     | 0.0001     | 1.324   |
| 11     | 7     | 0.398   | 55.023    | 0.035     | 0.0001     | 1.468   | 11     | 7     | 0.522   | 72.166    | 0.036     | 0.0000     | 1.159   |
| 12     | 6     | 0.365   | 50.461    | 0.032     | 0.0000     | 1.258   | 12     | 6     | 0.475   | 65.668    | 0.033     | 0.0000     | 0.993   |
| 13     | 5     | 0.328   | 45.346    | 0.029     | 0.0000     | 1.048   | 13     | 5     | 0.427   | 59.032    | 0.030     | 0.0000     | 0.828   |
| 14     | 4     | 0.289   | 39.954    | 0.025     | 0.0000     | 0.839   | 14     | 4     | 0.373   | 51.567    | 0.026     | 0.0000     | 0.662   |
| 15     | 3     | 0.246   | 34.009    | 0.022     | 0.0000     | 0.629   | 15     | 3     | 0.311   | 42.995    | 0.022     | 0.0000     | 0.497   |
| 16     | 2     | 0.19    | 26.267    | 0.017     | 0.0000     | 0.419   | 16     | 2     | 0.239   | 33.041    | 0.017     | 0.0000     | 0.331   |
| 17     | 1     | 0.122   | 16.866    | 0.011     | 0.0000     | 0.210   | 17     | 1     | 0.15    | 20.737    | 0.010     | 0.0000     | 0.166   |

Peso Pico= 0.424 g  
 Área Pico= 58.618 cm2  
 Peso Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm2  
 ma= 0.0112 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmHg  
 T= 458 K  
 Pprom= 1010.1 mmHg  
 Whe corr= 26.063 ml/min  
 K= 7E-06 mmol/cm ml

Texp= 185 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Peso Pico= 0.537 g  
 Área Pico= 74.24 cm2  
 Peso Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm2  
 ma= 0.0112 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmHg  
 T= 423 K  
 Pprom= 1010.1 mmHg  
 Whe corr= 24.071 ml/min  
 K= 6E-06 mmol/cm ml

Texp= 150 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

mmHg ml/K mmol

| PICO 6 |       |         |           |           |            |         | PICO 7 |       |         |           |           |            |         | PICO 8 |       |         |           |           |            |         |
|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1      | 17.6  | 0.435   | 60.138    | 0.046     | 0.0001     | 4.447   | 1      | 17.6  | 0.619   | 85.576    | 0.046     | 0.0001     | 3.086   | 1      | 17.6  | 0.763   | 105.484   | 0.046     | 0.0001     | 2.508   |
| 2      | 16    | 0.416   | 57.512    | 0.044     | 0.0001     | 4.042   | 2      | 16    | 0.591   | 81.705    | 0.044     | 0.0001     | 2.806   | 2      | 16    | 0.73    | 100.922   | 0.044     | 0.0001     | 2.280   |
| 3      | 15    | 0.404   | 55.853    | 0.043     | 0.0001     | 3.790   | 3      | 15    | 0.574   | 79.355    | 0.042     | 0.0001     | 2.630   | 3      | 15    | 0.707   | 97.742    | 0.042     | 0.0001     | 2.138   |
| 4      | 14    | 0.391   | 54.055    | 0.042     | 0.0001     | 3.537   | 4      | 14    | 0.555   | 76.728    | 0.041     | 0.0001     | 2.455   | 4      | 14    | 0.681   | 94.147    | 0.041     | 0.0001     | 1.995   |
| 5      | 13    | 0.378   | 52.258    | 0.040     | 0.0001     | 3.284   | 5      | 13    | 0.536   | 74.101    | 0.040     | 0.0001     | 2.280   | 5      | 13    | 0.656   | 90.691    | 0.039     | 0.0001     | 1.853   |
| 6      | 12    | 0.363   | 50.184    | 0.039     | 0.0001     | 3.032   | 6      | 12    | 0.516   | 71.336    | 0.038     | 0.0001     | 2.104   | 6      | 12    | 0.629   | 86.959    | 0.038     | 0.0001     | 1.710   |
| 7      | 11    | 0.346   | 47.834    | 0.037     | 0.0001     | 2.779   | 7      | 11    | 0.494   | 68.295    | 0.036     | 0.0001     | 1.929   | 7      | 11    | 0.602   | 83.226    | 0.036     | 0.0001     | 1.568   |
| 8      | 10    | 0.331   | 45.760    | 0.035     | 0.0001     | 2.526   | 8      | 10    | 0.472   | 65.253    | 0.035     | 0.0001     | 1.754   | 8      | 10    | 0.573   | 79.217    | 0.034     | 0.0000     | 1.425   |
| 9      | 9     | 0.314   | 43.410    | 0.033     | 0.0001     | 2.274   | 9      | 9     | 0.449   | 62.074    | 0.033     | 0.0000     | 1.578   | 9      | 9     | 0.543   | 75.069    | 0.033     | 0.0000     | 1.283   |
| 10     | 8     | 0.296   | 40.922    | 0.031     | 0.0001     | 2.021   | 10     | 8     | 0.423   | 58.479    | 0.031     | 0.0000     | 1.403   | 10     | 8     | 0.513   | 70.922    | 0.031     | 0.0000     | 1.140   |
| 11     | 7     | 0.277   | 38.295    | 0.029     | 0.0000     | 1.769   | 11     | 7     | 0.394   | 54.470    | 0.029     | 0.0000     | 1.228   | 11     | 7     | 0.476   | 65.806    | 0.029     | 0.0000     | 0.998   |
| 12     | 6     | 0.257   | 35.530    | 0.027     | 0.0000     | 1.516   | 12     | 6     | 0.365   | 50.461    | 0.027     | 0.0000     | 1.052   | 12     | 6     | 0.439   | 60.691    | 0.026     | 0.0000     | 0.855   |
| 13     | 5     | 0.233   | 32.212    | 0.025     | 0.0000     | 1.263   | 13     | 5     | 0.333   | 46.037    | 0.025     | 0.0000     | 0.877   | 13     | 5     | 0.397   | 54.885    | 0.024     | 0.0000     | 0.713   |
| 14     | 4     | 0.211   | 29.171    | 0.022     | 0.0000     | 1.011   | 14     | 4     | 0.294   | 40.645    | 0.022     | 0.0000     | 0.701   | 14     | 4     | 0.349   | 48.249    | 0.021     | 0.0000     | 0.570   |
| 15     | 3     | 0.18    | 24.885    | 0.019     | 0.0000     | 0.758   | 15     | 3     | 0.251   | 34.700    | 0.019     | 0.0000     | 0.526   | 15     | 3     | 0.292   | 40.369    | 0.018     | 0.0000     | 0.428   |
| 16     | 2     | 0.146   | 20.184    | 0.016     | 0.0000     | 0.505   | 16     | 2     | 0.197   | 27.235    | 0.015     | 0.0000     | 0.351   | 16     | 2     | 0.226   | 31.244    | 0.014     | 0.0000     | 0.285   |
| 17     | 1     | 0.098   | 13.548    | 0.010     | 0.0000     | 0.253   | 17     | 1     | 0.123   | 17.005    | 0.009     | 0.0000     | 0.175   | 17     | 1     | 0.14    | 19.355    | 0.008     | 0.0000     | 0.143   |

|                         |                    |                         |                    |                         |                    |
|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| Peso Pico= 0.295 g      | Texp= 300 °C       | Peso Pico= 0.425 g      | Texp= 260 °C       | Peso Pico= 0.523 g      | Texp= 225 °C       |
| Área Pico= 40.783 cm2   | Tconv= 273 K       | Área Pico= 58.756 cm2   | Tconv= 273 K       | Área Pico= 72.304 cm2   | Tconv= 273 K       |
| Peso Área= 0.0651 g     | To= 298 K          | Peso Área= 0.0651 g     | To= 298 K          | Peso Área= 0.0651 g     | To= 298 K          |
| Área = 9 cm2            | Wexp= 30 ml/min    | Área = 9 cm2            | Wexp= 30 ml/min    | Área = 9 cm2            | Wexp= 30 ml/min    |
| ma= 0.009 mmol          | Wcorta= 1 cm/min   | ma= 0.009 mmol          | Wcorta= 1 cm/min   | ma= 0.009 mmol          | Wcorta= 1 cm/min   |
| Gramos columna= 0.3 g   | R= 62.32 mmHg ml/K | Gramos columna= 0.3 g   | R= 62.32 mmHg ml/K | Gramos columna= 0.3 g   | R= 62.32 mmHg ml/K |
| Po= 571 mmhg            |                    | Po= 571 mmhg            |                    | Po= 571 mmhg            |                    |
| T= 573 K                |                    | T= 533 K                |                    | T= 498 K                |                    |
| Pprom= 1010.146 mmHg    |                    | Pprom= 1010.146 mmHg    |                    | Pprom= 1010.146 mmHg    |                    |
| Whe corr= 32.607 ml/min |                    | Whe corr= 30.331 ml/min |                    | Whe corr= 28.339 ml/min |                    |
| K= 0.00001 mmol/cm ml   |                    | K= 0.00001 mmol/cm ml   |                    | K= 0.00000 mmol/cm ml   |                    |

| PICO 9 |       |         |           |           |            |         | PICO 10 |       |         |           |           |            |         |
|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1      | 17.6  | 0.972   | 134.378   | 0.050     | 0.0001     | 2.136   | 1       | 17.7  | 1.371   | 189.539   | 0.058     | 0.0001     | 1.766   |
| 2      | 16    | 0.927   | 128.157   | 0.047     | 0.0001     | 1.942   | 2       | 16    | 1.298   | 179.447   | 0.054     | 0.0001     | 1.596   |
| 3      | 15    | 0.897   | 124.009   | 0.046     | 0.0001     | 1.821   | 3       | 15    | 1.259   | 174.055   | 0.053     | 0.0001     | 1.497   |
| 4      | 14    | 0.865   | 119.585   | 0.044     | 0.0001     | 1.699   | 4       | 14    | 1.208   | 167.005   | 0.051     | 0.0001     | 1.397   |
| 5      | 13    | 0.832   | 115.023   | 0.042     | 0.0001     | 1.578   | 5       | 13    | 1.158   | 160.092   | 0.049     | 0.0000     | 1.297   |
| 6      | 12    | 0.795   | 109.908   | 0.041     | 0.0001     | 1.457   | 6       | 12    | 1.108   | 153.180   | 0.047     | 0.0000     | 1.197   |
| 7      | 11    | 0.758   | 104.793   | 0.039     | 0.0000     | 1.335   | 7       | 11    | 0.997   | 137.834   | 0.042     | 0.0000     | 1.097   |
| 8      | 10    | 0.718   | 99.263    | 0.037     | 0.0000     | 1.214   | 8       | 10    | 0.971   | 134.240   | 0.041     | 0.0000     | 0.998   |
| 9      | 9     | 0.674   | 93.180    | 0.034     | 0.0000     | 1.092   | 9       | 9     | 0.909   | 125.668   | 0.038     | 0.0000     | 0.898   |
| 10     | 8     | 0.628   | 86.820    | 0.032     | 0.0000     | 0.971   | 10      | 8     | 0.845   | 116.820   | 0.035     | 0.0000     | 0.798   |
| 11     | 7     | 0.68    | 94.009    | 0.035     | 0.0000     | 0.850   | 11      | 7     | 0.781   | 107.972   | 0.033     | 0.0000     | 0.698   |
| 12     | 6     | 0.525   | 72.581    | 0.027     | 0.0000     | 0.728   | 12      | 6     | 0.707   | 97.742    | 0.030     | 0.0000     | 0.599   |
| 13     | 5     | 0.469   | 64.839    | 0.024     | 0.0000     | 0.607   | 13      | 5     | 0.63    | 87.097    | 0.026     | 0.0000     | 0.499   |
| 14     | 4     | 0.404   | 55.853    | 0.021     | 0.0000     | 0.486   | 14      | 4     | 0.571   | 78.940    | 0.024     | 0.0000     | 0.399   |
| 15     | 3     | 0.334   | 46.175    | 0.017     | 0.0000     | 0.364   | 15      | 3     | 0.476   | 65.806    | 0.020     | 0.0000     | 0.299   |
| 16     | 2     | 0.252   | 34.839    | 0.013     | 0.0000     | 0.243   | 16      | 2     | 0.362   | 50.046    | 0.015     | 0.0000     | 0.200   |
| 17     | 1     | 0.15    | 20.737    | 0.008     | 0.0000     | 0.121   | 17      | 1     | 0.219   | 30.276    | 0.009     | 0.0000     | 0.100   |

|                         |                    |                         |                    |
|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| Peso Pico= 0.614 g      | Texp= 185 °C       | Peso Pico= 0.747 g      | Texp= 150 °C       |
| Área Pico= 84.885 cm2   | Tconv= 273 K       | Área Pico= 103.272 cm2  | Tconv= 273 K       |
| Peso Área= 0.0651 g     | To= 298 K          | Peso Área= 0.0651 g     | To= 298 K          |
| Área = 9 cm2            | Wexp= 30 ml/min    | Área = 9 cm2            | Wexp= 30 ml/min    |
| ma= 0.009 mmol          | Wcorta= 1 cm/min   | ma= 0.009 mmol          | Wcorta= 1 cm/min   |
| Gramos columna= 0.3 g   | R= 62.32 mmHg ml/K | Gramos columna= 0.3 g   | R= 62.32 mmHg ml/K |
| Po= 571 mmhg            |                    | Po= 571 mmhg            |                    |
| T= 458 K                |                    | T= 423 K                |                    |
| Pprom= 1010.146 mmHg    |                    | Pprom= 1010.146 mmHg    |                    |
| Whe corr= 26.063 ml/min |                    | Whe corr= 24.071 ml/min |                    |
| K= 0.00000 mmol/cm      |                    | K= 0.00000 mmol/cm      |                    |
|                         |                    |                         | mmHg ml/K mmol     |

| PICO 11 |       |         |           |           |            |         | PICO 12 |       |         |           |           |            |         | PICO 13 |       |         |           |           |            |         |
|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1       | 17.5  | 0.527   | 72.857    | 0.039     | 0.0001     | 3.086   | 1       | 17.6  | 0.58    | 80.184    | 0.040     | 0.0001     | 2.898   | 1       | 17.6  | 0.73    | 100.922   | 0.042     | 0.0001     | 2.387   |
| 2       | 16    | 0.505   | 69.816    | 0.037     | 0.0001     | 2.822   | 2       | 16    | 0.554   | 76.590    | 0.038     | 0.0001     | 2.634   | 2       | 16    | 0.697   | 96.359    | 0.040     | 0.0001     | 2.170   |
| 3       | 15    | 0.49    | 67.742    | 0.036     | 0.0001     | 2.645   | 3       | 15    | 0.537   | 74.240    | 0.037     | 0.0001     | 2.470   | 3       | 15    | 0.675   | 93.318    | 0.039     | 0.0001     | 2.034   |
| 4       | 14    | 0.475   | 65.668    | 0.035     | 0.0001     | 2.469   | 4       | 14    | 0.518   | 71.613    | 0.036     | 0.0001     | 2.305   | 4       | 14    | 0.652   | 90.138    | 0.037     | 0.0001     | 1.898   |
| 5       | 13    | 0.458   | 63.318    | 0.034     | 0.0001     | 2.293   | 5       | 13    | 0.499   | 68.986    | 0.035     | 0.0001     | 2.141   | 5       | 13    | 0.629   | 86.959    | 0.036     | 0.0001     | 1.763   |
| 6       | 12    | 0.44    | 60.829    | 0.033     | 0.0001     | 2.116   | 6       | 12    | 0.479   | 66.221    | 0.033     | 0.0001     | 1.976   | 6       | 12    | 0.605   | 83.641    | 0.035     | 0.0001     | 1.627   |
| 7       | 11    | 0.422   | 58.341    | 0.031     | 0.0001     | 1.940   | 7       | 11    | 0.458   | 63.318    | 0.032     | 0.0001     | 1.811   | 7       | 11    | 0.579   | 80.046    | 0.033     | 0.0000     | 1.492   |
| 8       | 10    | 0.404   | 55.853    | 0.030     | 0.0000     | 1.764   | 8       | 10    | 0.436   | 60.276    | 0.030     | 0.0000     | 1.647   | 8       | 10    | 0.55    | 76.037    | 0.031     | 0.0000     | 1.356   |
| 9       | 9     | 0.383   | 52.949    | 0.028     | 0.0000     | 1.587   | 9       | 9     | 0.414   | 57.235    | 0.029     | 0.0000     | 1.482   | 9       | 9     | 0.52    | 71.889    | 0.030     | 0.0000     | 1.220   |
| 10      | 8     | 0.362   | 50.046    | 0.027     | 0.0000     | 1.411   | 10      | 8     | 0.388   | 53.641    | 0.027     | 0.0000     | 1.317   | 10      | 8     | 0.488   | 67.465    | 0.028     | 0.0000     | 1.085   |
| 11      | 7     | 0.337   | 46.590    | 0.025     | 0.0000     | 1.234   | 11      | 7     | 0.362   | 50.046    | 0.025     | 0.0000     | 1.153   | 11      | 7     | 0.454   | 62.765    | 0.026     | 0.0000     | 0.949   |
| 12      | 6     | 0.311   | 42.995    | 0.023     | 0.0000     | 1.058   | 12      | 6     | 0.332   | 45.899    | 0.023     | 0.0000     | 0.988   | 12      | 6     | 0.418   | 57.788    | 0.024     | 0.0000     | 0.814   |
| 13      | 5     | 0.284   | 39.263    | 0.021     | 0.0000     | 0.882   | 13      | 5     | 0.301   | 41.613    | 0.021     | 0.0000     | 0.823   | 13      | 5     | 0.377   | 52.120    | 0.022     | 0.0000     | 0.678   |
| 14      | 4     | 0.253   | 34.977    | 0.019     | 0.0000     | 0.705   | 14      | 4     | 0.268   | 37.051    | 0.019     | 0.0000     | 0.659   | 14      | 4     | 0.334   | 46.175    | 0.019     | 0.0000     | 0.542   |
| 15      | 3     | 0.218   | 30.138    | 0.016     | 0.0000     | 0.529   | 15      | 3     | 0.228   | 31.521    | 0.016     | 0.0000     | 0.494   | 15      | 3     | 0.283   | 39.124    | 0.016     | 0.0000     | 0.407   |
| 16      | 2     | 0.172   | 23.779    | 0.013     | 0.0000     | 0.353   | 16      | 2     | 0.181   | 25.023    | 0.013     | 0.0000     | 0.329   | 16      | 2     | 0.224   | 30.968    | 0.013     | 0.0000     | 0.271   |
| 17      | 1     | 0.113   | 15.622    | 0.008     | 0.0000     | 0.176   | 17      | 1     | 0.117   | 16.175    | 0.008     | 0.0000     | 0.165   | 17      | 1     | 0.143   | 19.770    | 0.008     | 0.0000     | 0.136   |

Peso Pico= 0.366 g  
 Área Pico= 50.599 cm2  
 Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm2  
 ma= 0.008 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmhg  
 T= 573 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 32.607 ml/min  
 mmol/cm ml  
 K= 0.00000

Texp= 300 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K

Peso Pico= 0.392 g  
 Área Pico= 54.194 cm2  
 Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm2  
 ma= 0.008 mmol  
 Gramos columna= 0.3  
 Po= 571 mmhg  
 T= 533 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 30.331 ml/min  
 mmol/cm ml  
 K= 0.00000

Texp= 260 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K

Peso Pico= 0.476 g  
 Área Pico= 65.806 cm2  
 Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm2  
 ma= 0.008 mmol  
 Gramos columna= 0.3  
 Po= 571 mmhg  
 T= 498 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 28.339 ml/min  
 mmol/cm ml  
 K= 0.00000

Texp= 225 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K

62.32 mmHg ml/K mmol

Material: SBA-15

Reactivo: p-Xileno

| PICO 14 |       |         |           |           |            |         | PICO 15 |       |         |           |           |            |         |
|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1       | 17.4  | 1.661   | 229.631   | 0.046     | 0.0000     | 1.134   | 1       | 17.5  | 2.709   | 374.516   | 0.052     | 0.0000     | 0.799   |
| 2       | 16    | 1.591   | 219.954   | 0.044     | 0.0000     | 1.043   | 2       | 16    | 2.572   | 355.576   | 0.049     | 0.0000     | 0.731   |
| 3       | 15    | 1.534   | 212.074   | 0.042     | 0.0000     | 0.978   | 3       | 15    | 2.476   | 342.304   | 0.048     | 0.0000     | 0.685   |
| 4       | 14    | 1.476   | 204.055   | 0.040     | 0.0000     | 0.913   | 4       | 14    | 2.373   | 328.065   | 0.046     | 0.0000     | 0.640   |
| 5       | 13    | 1.418   | 196.037   | 0.039     | 0.0000     | 0.848   | 5       | 13    | 2.267   | 313.410   | 0.044     | 0.0000     | 0.594   |
| 6       | 12    | 1.352   | 186.912   | 0.037     | 0.0000     | 0.782   | 6       | 12    | 2.155   | 297.926   | 0.041     | 0.0000     | 0.548   |
| 7       | 11    | 1.283   | 177.373   | 0.035     | 0.0000     | 0.717   | 7       | 11    | 2.032   | 280.922   | 0.039     | 0.0000     | 0.502   |
| 8       | 10    | 1.212   | 167.558   | 0.033     | 0.0000     | 0.652   | 8       | 10    | 1.911   | 264.194   | 0.037     | 0.0000     | 0.457   |
| 9       | 9     | 1.137   | 157.189   | 0.031     | 0.0000     | 0.587   | 9       | 9     | 1.777   | 245.668   | 0.034     | 0.0000     | 0.411   |
| 10      | 8     | 1.058   | 146.267   | 0.029     | 0.0000     | 0.522   | 10      | 8     | 1.638   | 226.452   | 0.031     | 0.0000     | 0.365   |
| 11      | 7     | 0.974   | 134.654   | 0.027     | 0.0000     | 0.456   | 11      | 7     | 1.492   | 206.267   | 0.029     | 0.0000     | 0.320   |
| 12      | 6     | 0.884   | 122.212   | 0.024     | 0.0000     | 0.391   | 12      | 6     | 1.33    | 183.871   | 0.026     | 0.0000     | 0.274   |
| 13      | 5     | 0.786   | 108.664   | 0.022     | 0.0000     | 0.326   | 13      | 5     | 1.171   | 161.889   | 0.023     | 0.0000     | 0.228   |
| 14      | 4     | 0.679   | 93.871    | 0.019     | 0.0000     | 0.261   | 14      | 4     | 0.974   | 134.654   | 0.019     | 0.0000     | 0.183   |
| 15      | 3     | 0.56    | 77.419    | 0.015     | 0.0000     | 0.196   | 15      | 3     | 0.763   | 105.484   | 0.015     | 0.0000     | 0.137   |
| 16      | 2     | 0.414   | 57.235    | 0.011     | 0.0000     | 0.130   | 16      | 2     | 0.518   | 71.613    | 0.010     | 0.0000     | 0.091   |
| 17      | 1     | 0.221   | 30.553    | 0.006     | 0.0000     | 0.065   | 17      | 1     | 0.206   | 28.479    | 0.004     | 0.0000     | 0.046   |

Peso  
Pico= 0.99 g  
Área  
Pico= 136.866 cm2  
Peso  
Área= 0.0651 g  
Área = 9 cm2  
ma= 0.008 mmol  
Gramos columna= 0.3 g

Texp= 185 °C  
Tconv= 273 K  
To= 298 K  
Wexp= 30 ml/min  
Wcorta= 1 cm/min  
R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Peso  
Pico= 1.413 g  
Área  
Pico= 195.346 cm2  
Peso  
Área= 0.0651 g  
Área = 9 cm2  
ma= 0.008 mmol  
Gramos columna= 0.3 g

Texp= 150 °C  
Tconv= 273 K  
To= 298 K  
Wexp= 30 ml/min  
Wcorta= 1 cm/min  
R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Po= 571 mmhg  
T= 458 K  
Pprom= 1010.146 mmHg  
Whe  
corr= 26.063 ml/min  
mmol/cm  
K= 0.00000 ml

Po= 571 mmhg  
T= 423 K  
Pprom= 1010.146 mmHg  
Whe  
corr= 24.071 ml/min  
mmol/cm  
K= 0.00000 ml

| PICO 16 |       |         |           |           |            |         | PICO 17 |       |         |           |           |            |         | PICO 18 |       |         |           |           |            |         |
|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1       | 17.5  | 0.428   | 59.171    | 0.041     | 0.0001     | 3.997   | 1       | 17.6  | 0.6     | 82.949    | 0.043     | 0.0001     | 2.970   | 1       | 17.7  | 0.888   | 122.765   | 0.039     | 0.0001     | 1.866   |
| 2       | 16    | 0.41    | 56.682    | 0.039     | 0.0001     | 3.654   | 2       | 16    | 0.571   | 78.940    | 0.041     | 0.0001     | 2.700   | 2       | 16    | 0.849   | 117.373   | 0.038     | 0.0001     | 1.687   |
| 3       | 15    | 0.398   | 55.023    | 0.038     | 0.0001     | 3.426   | 3       | 15    | 0.551   | 76.175    | 0.039     | 0.0001     | 2.531   | 3       | 15    | 0.824   | 113.917   | 0.037     | 0.0001     | 1.582   |
| 4       | 14    | 0.384   | 53.088    | 0.037     | 0.0001     | 3.197   | 4       | 14    | 0.531   | 73.410    | 0.038     | 0.0001     | 2.363   | 4       | 14    | 0.798   | 110.323   | 0.035     | 0.0000     | 1.476   |
| 5       | 13    | 0.37    | 51.152    | 0.036     | 0.0001     | 2.969   | 5       | 13    | 0.511   | 70.645    | 0.036     | 0.0001     | 2.194   | 5       | 13    | 0.77    | 106.452   | 0.034     | 0.0000     | 1.371   |
| 6       | 12    | 0.355   | 49.078    | 0.034     | 0.0001     | 2.741   | 6       | 12    | 0.481   | 66.498    | 0.034     | 0.0001     | 2.025   | 6       | 12    | 0.741   | 102.442   | 0.033     | 0.0000     | 1.265   |
| 7       | 11    | 0.339   | 46.866    | 0.033     | 0.0001     | 2.512   | 7       | 11    | 0.466   | 64.424    | 0.033     | 0.0001     | 1.856   | 7       | 11    | 0.709   | 98.018    | 0.031     | 0.0000     | 1.160   |
| 8       | 10    | 0.322   | 44.516    | 0.031     | 0.0001     | 2.284   | 8       | 10    | 0.443   | 61.244    | 0.031     | 0.0001     | 1.688   | 8       | 10    | 0.675   | 93.318    | 0.030     | 0.0000     | 1.054   |
| 9       | 9     | 0.305   | 42.166    | 0.029     | 0.0001     | 2.055   | 9       | 9     | 0.419   | 57.926    | 0.030     | 0.0000     | 1.519   | 9       | 9     | 0.639   | 88.341    | 0.028     | 0.0000     | 0.949   |
| 10      | 8     | 0.287   | 39.677    | 0.028     | 0.0001     | 1.827   | 10      | 8     | 0.393   | 54.332    | 0.028     | 0.0000     | 1.350   | 10      | 8     | 0.6     | 82.949    | 0.027     | 0.0000     | 0.843   |
| 11      | 7     | 0.267   | 36.912    | 0.026     | 0.0000     | 1.599   | 11      | 7     | 0.366   | 50.599    | 0.026     | 0.0000     | 1.181   | 11      | 7     | 0.557   | 77.005    | 0.025     | 0.0000     | 0.738   |
| 12      | 6     | 0.246   | 34.009    | 0.024     | 0.0000     | 1.370   | 12      | 6     | 0.338   | 46.728    | 0.024     | 0.0000     | 1.013   | 12      | 6     | 0.512   | 70.783    | 0.023     | 0.0000     | 0.633   |
| 13      | 5     | 0.225   | 31.106    | 0.022     | 0.0000     | 1.142   | 13      | 5     | 0.307   | 42.442    | 0.022     | 0.0000     | 0.844   | 13      | 5     | 0.462   | 63.871    | 0.020     | 0.0000     | 0.527   |
| 14      | 4     | 0.203   | 28.065    | 0.020     | 0.0000     | 0.914   | 14      | 4     | 0.274   | 37.880    | 0.019     | 0.0000     | 0.675   | 14      | 4     | 0.403   | 55.714    | 0.018     | 0.0000     | 0.422   |
| 15      | 3     | 0.176   | 24.332    | 0.017     | 0.0000     | 0.685   | 15      | 3     | 0.236   | 32.627    | 0.017     | 0.0000     | 0.506   | 15      | 3     | 0.339   | 46.866    | 0.015     | 0.0000     | 0.316   |
| 16      | 2     | 0.143   | 19.770    | 0.014     | 0.0000     | 0.457   | 16      | 2     | 0.188   | 25.991    | 0.013     | 0.0000     | 0.338   | 16      | 2     | 0.263   | 36.359    | 0.012     | 0.0000     | 0.211   |
| 17      | 1     | 0.098   | 13.548    | 0.009     | 0.0000     | 0.228   | 17      | 1     | 0.124   | 17.143    | 0.009     | 0.0000     | 0.169   | 17      | 1     | 0.163   | 22.535    | 0.007     | 0.0000     | 0.105   |

|                 |          |         |
|-----------------|----------|---------|
| Peso            | 0.283    | g       |
| Pico=           |          |         |
| Área            | 39.124   | cm2     |
| Pico=           |          |         |
| Peso            | 0.0651   | g       |
| Área=           | 9        | cm2     |
| ma=             | 0.008    | mmol    |
| Gramos columna= | 0.3      | g       |
| Po=             | 571      | mmhg    |
| T=              | 573      | K       |
| Pprom=          | 1010.146 | mmHg    |
| Whe             |          |         |
| corr=           | 32.607   | ml/min  |
|                 |          | mmol/cm |
| K=              | 0.00001  | ml      |

|         |       |           |
|---------|-------|-----------|
| Texp=   | 300   | °C        |
| Tconv=  | 273   | K         |
| To=     | 298   | K         |
| Wexp=   | 30    | ml/min    |
| Wcorta= | 1     | cm/min    |
| R=      | 62.32 | mmHg ml/K |

|                 |          |         |
|-----------------|----------|---------|
| Peso            | 0.383    | g       |
| Pico=           |          |         |
| Área            | 52.949   | cm2     |
| Pico=           |          |         |
| Peso            | 0.0651   | g       |
| Área=           | 9        | cm2     |
| ma=             | 0.008    | mmol    |
| Gramos columna= | 0.3      | g       |
| Po=             | 571      | mmhg    |
| T=              | 533      | K       |
| Pprom=          | 1010.146 | mmHg    |
| Whe             |          |         |
| corr=           | 30.331   | ml/min  |
|                 |          | mmol/cm |
| K=              | 0.00001  | ml      |

|         |       |        |
|---------|-------|--------|
| Texp=   | 260   | °C     |
| Tconv=  | 273   | K      |
| To=     | 298   | K      |
| Wexp=   | 30    | ml/min |
| Wcorta= | 1     | cm/min |
| R=      | 62.32 | g      |

|                 |          |         |
|-----------------|----------|---------|
| Peso            | 0.613    | g       |
| Pico=           |          |         |
| Área            | 84.747   | cm2     |
| Pico=           |          |         |
| Peso            | 0.0651   | g       |
| Área=           | 9        | cm2     |
| ma=             | 0.008    | mmol    |
| Gramos columna= | 0.3      | g       |
| Po=             | 571      | mmhg    |
| T=              | 498      | K       |
| Pprom=          | 1010.146 | mmHg    |
| Whe             |          |         |
| corr=           | 28.339   | ml/min  |
|                 |          | mmol/cm |
| K=              | 0.00000  | ml      |

|         |       |           |
|---------|-------|-----------|
| Texp=   | 225   | °C        |
| Tconv=  | 273   | K         |
| To=     | 298   | K         |
| Wexp=   | 30    | ml/min    |
| Wcorta= | 1     | cm/min    |
| R=      | 62.32 | mmHg ml/K |

62.32 mmHg ml/K mmol

Material: SBA-15

Reactivo: Etilbenceno

| PICO 19 |       |         |           |           |            |         | PICO 20 |       |         |           |           |            |         |
|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1       | 17.5  | 1.61    | 222.581   | 0.044     | 0.0000     | 1.148   | 1       | 17.5  | 4.022   | 556.037   | 0.056     | 0.0000     | 0.577   |
| 2       | 16    | 1.539   | 212.765   | 0.042     | 0.0000     | 1.050   | 2       | 16    | 3.765   | 520.507   | 0.052     | 0.0000     | 0.528   |
| 3       | 15    | 1.485   | 205.300   | 0.041     | 0.0000     | 0.984   | 3       | 15    | 3.597   | 497.281   | 0.050     | 0.0000     | 0.495   |
| 4       | 14    | 1.432   | 197.972   | 0.040     | 0.0000     | 0.919   | 4       | 14    | 3.418   | 472.535   | 0.047     | 0.0000     | 0.462   |
| 5       | 13    | 1.378   | 190.507   | 0.038     | 0.0000     | 0.853   | 5       | 13    | 3.232   | 446.820   | 0.045     | 0.0000     | 0.429   |
| 6       | 12    | 1.318   | 182.212   | 0.036     | 0.0000     | 0.787   | 6       | 12    | 3.032   | 419.171   | 0.042     | 0.0000     | 0.396   |
| 7       | 11    | 1.258   | 173.917   | 0.035     | 0.0000     | 0.722   | 7       | 11    | 2.872   | 397.051   | 0.040     | 0.0000     | 0.363   |
| 8       | 10    | 1.192   | 164.793   | 0.033     | 0.0000     | 0.656   | 8       | 10    | 2.685   | 371.198   | 0.037     | 0.0000     | 0.330   |
| 9       | 9     | 1.121   | 154.977   | 0.031     | 0.0000     | 0.591   | 9       | 9     | 2.471   | 341.613   | 0.034     | 0.0000     | 0.297   |
| 10      | 8     | 1.046   | 144.608   | 0.029     | 0.0000     | 0.525   | 10      | 8     | 2.261   | 312.581   | 0.031     | 0.0000     | 0.264   |
| 11      | 7     | 0.966   | 133.548   | 0.027     | 0.0000     | 0.459   | 11      | 7     | 2.036   | 281.475   | 0.028     | 0.0000     | 0.231   |
| 12      | 6     | 0.88    | 121.659   | 0.024     | 0.0000     | 0.394   | 12      | 6     | 1.803   | 249.263   | 0.025     | 0.0000     | 0.198   |
| 13      | 5     | 0.789   | 109.078   | 0.022     | 0.0000     | 0.328   | 13      | 5     | 1.557   | 215.253   | 0.022     | 0.0000     | 0.165   |
| 14      | 4     | 0.688   | 95.115    | 0.019     | 0.0000     | 0.262   | 14      | 4     | 1.292   | 178.618   | 0.018     | 0.0000     | 0.132   |
| 15      | 3     | 0.563   | 77.834    | 0.016     | 0.0000     | 0.197   | 15      | 3     | 0.995   | 137.558   | 0.014     | 0.0000     | 0.099   |
| 16      | 2     | 0.42    | 58.065    | 0.012     | 0.0000     | 0.131   | 16      | 2     | 0.691   | 95.530    | 0.010     | 0.0000     | 0.066   |
| 17      | 1     | 0.229   | 31.659    | 0.006     | 0.0000     | 0.066   | 17      | 1     | 0.37    | 51.152    | 0.005     | 0.0000     | 0.033   |

Peso Pico= 0.985 g  
 Área Pico= 136.175 cm<sup>2</sup>  
 Peso Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm<sup>2</sup>  
 ma= 0.008 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmhg  
 T= 458 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe  
 corr= 26.063 ml/min  
 mmol/cm  
 K= 0.00000 ml

Texp= 185 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Peso Pico= 1.959 g  
 Área Pico= 270.829 cm<sup>2</sup>  
 Peso Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm<sup>2</sup>  
 ma= 0.008 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmhg  
 T= 423 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe  
 corr= 24.071 ml/min  
 mmol/cm  
 K= 0.00000 ml

Texp= 150 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

mmHg ml/K mmol

Material: Hidrotalcita

Reactivo: Benceno

| PICO 1 |       |         |           |           |            |         |
|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1      | 17.6  | 0.185   | 25.576    | 0.054     | 0.0003     | 12.128  |
| 2      | 16    | 0.177   | 24.470    | 0.051     | 0.0003     | 11.025  |
| 3      | 15    | 0.172   | 23.779    | 0.050     | 0.0003     | 10.336  |
| 4      | 14    | 0.167   | 23.088    | 0.048     | 0.0003     | 9.647   |
| 5      | 13    | 0.161   | 22.258    | 0.047     | 0.0003     | 8.958   |
| 6      | 12    | 0.155   | 21.429    | 0.045     | 0.0002     | 8.269   |
| 7      | 11    | 0.149   | 20.599    | 0.043     | 0.0002     | 7.580   |
| 8      | 10    | 0.142   | 19.631    | 0.041     | 0.0002     | 6.891   |
| 9      | 9     | 0.135   | 18.664    | 0.039     | 0.0002     | 6.202   |
| 10     | 8     | 0.128   | 17.696    | 0.037     | 0.0002     | 5.513   |
| 11     | 7     | 0.12    | 16.590    | 0.035     | 0.0001     | 4.824   |
| 12     | 6     | 0.112   | 15.484    | 0.032     | 0.0001     | 4.134   |
| 13     | 5     | 0.104   | 14.378    | 0.030     | 0.0001     | 3.445   |
| 14     | 4     | 0.095   | 13.134    | 0.028     | 0.0001     | 2.756   |
| 15     | 3     | 0.085   | 11.751    | 0.025     | 0.0001     | 2.067   |
| 16     | 2     | 0.073   | 10.092    | 0.021     | 0.0000     | 1.378   |
| 17     | 1     | 0.054   | 7.465     | 0.016     | 0.0000     | 0.689   |

| PICO 2 |       |         |           |           |            |         |
|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1      | 17.6  | 0.171   | 23.641    | 0.056     | 0.0004     | 13.604  |
| 2      | 16    | 0.163   | 22.535    | 0.053     | 0.0004     | 12.367  |
| 3      | 15    | 0.158   | 21.843    | 0.051     | 0.0003     | 11.594  |
| 4      | 14    | 0.152   | 21.014    | 0.049     | 0.0003     | 10.821  |
| 5      | 13    | 0.146   | 20.184    | 0.047     | 0.0003     | 10.048  |
| 6      | 12    | 0.14    | 19.355    | 0.046     | 0.0003     | 9.276   |
| 7      | 11    | 0.134   | 18.525    | 0.044     | 0.0003     | 8.503   |
| 8      | 10    | 0.127   | 17.558    | 0.041     | 0.0002     | 7.730   |
| 9      | 9     | 0.121   | 16.728    | 0.039     | 0.0002     | 6.957   |
| 10     | 8     | 0.115   | 15.899    | 0.037     | 0.0002     | 6.184   |
| 11     | 7     | 0.108   | 14.931    | 0.035     | 0.0002     | 5.411   |
| 12     | 6     | 0.1     | 13.825    | 0.033     | 0.0001     | 4.638   |
| 13     | 5     | 0.092   | 12.719    | 0.030     | 0.0001     | 3.865   |
| 14     | 4     | 0.084   | 11.613    | 0.027     | 0.0001     | 3.092   |
| 15     | 3     | 0.074   | 10.230    | 0.024     | 0.0001     | 2.319   |
| 16     | 2     | 0.063   | 8.710     | 0.020     | 0.0000     | 1.546   |
| 17     | 1     | 0.046   | 6.359     | 0.015     | 0.0000     | 0.773   |

| PICO 3 |       |         |           |           |            |         |
|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1      | 17.4  | 0.178   | 24.608    | 0.054     | 0.0004     | 12.473  |
| 2      | 16    | 0.171   | 23.641    | 0.052     | 0.0004     | 11.470  |
| 3      | 15    | 0.165   | 22.811    | 0.050     | 0.0003     | 10.753  |
| 4      | 14    | 0.159   | 21.982    | 0.048     | 0.0003     | 10.036  |
| 5      | 13    | 0.153   | 21.152    | 0.046     | 0.0003     | 9.319   |
| 6      | 12    | 0.146   | 20.184    | 0.044     | 0.0003     | 8.602   |
| 7      | 11    | 0.14    | 19.355    | 0.042     | 0.0003     | 7.885   |
| 8      | 10    | 0.133   | 18.387    | 0.040     | 0.0002     | 7.169   |
| 9      | 9     | 0.127   | 17.558    | 0.038     | 0.0002     | 6.452   |
| 10     | 8     | 0.12    | 16.590    | 0.036     | 0.0002     | 5.735   |
| 11     | 7     | 0.112   | 15.484    | 0.034     | 0.0002     | 5.018   |
| 12     | 6     | 0.104   | 14.378    | 0.031     | 0.0001     | 4.301   |
| 13     | 5     | 0.097   | 13.410    | 0.029     | 0.0001     | 3.584   |
| 14     | 4     | 0.088   | 12.166    | 0.027     | 0.0001     | 2.867   |
| 15     | 3     | 0.079   | 10.922    | 0.024     | 0.0001     | 2.151   |
| 16     | 2     | 0.068   | 9.401     | 0.021     | 0.0000     | 1.434   |
| 17     | 1     | 0.052   | 7.189     | 0.016     | 0.0000     | 0.717   |

|                 |          |            |         |       |                |
|-----------------|----------|------------|---------|-------|----------------|
| Peso Pico=      | 0.129    | g          | Texp=   | 300   | °C             |
| Área Pico=      | 17.834   | cm2        | Tconv=  | 273   | K              |
| Peso Área=      | 0.0651   | g          | To=     | 298   | K              |
| Área =          | 9        | cm2        | Wexp=   | 30    | ml/min         |
| ma=             | 0.011    | mmol       | Wcorta= | 1     | cm/min         |
| Gramos columna= | 0.3      | g          | R=      | 62.32 | mmHg ml/K mmol |
| Po=             | 571      | mmhg       |         |       |                |
| T=              | 573      | K          |         |       |                |
| Pprom=          | 1010.146 | mmHg       |         |       |                |
| Whe corr=       | 32.607   | ml/min     |         |       |                |
| K=              | 0.00002  | mmol/cm ml |         |       |                |

|                 |          |            |         |       |                |
|-----------------|----------|------------|---------|-------|----------------|
| Peso Pico=      | 0.115    | g          | Texp=   | 260   | °C             |
| Área Pico=      | 15.899   | cm2        | Tconv=  | 273   | K              |
| Peso Área=      | 0.0651   | g          | To=     | 298   | K              |
| Área =          | 9        | cm2        | Wexp=   | 30    | ml/min         |
| ma=             | 0.011    | mmol       | Wcorta= | 1     | cm/min         |
| Gramos columna= | 0.3      | g          | R=      | 62.32 | mmHg ml/K mmol |
| Po=             | 571      | mmhg       |         |       |                |
| T=              | 533      | K          |         |       |                |
| Pprom=          | 1010.146 | mmHg       |         |       |                |
| Whe corr=       | 30.331   | ml/min     |         |       |                |
| K=              | 0.00002  | mmol/cm ml |         |       |                |

|                 |          |            |         |       |                |
|-----------------|----------|------------|---------|-------|----------------|
| Peso Pico=      | 0.124    | g          | Texp=   | 225   | °C             |
| Área Pico=      | 17.143   | cm2        | Tconv=  | 273   | K              |
| Peso Área=      | 0.0651   | g          | To=     | 298   | K              |
| Área =          | 9        | cm2        | Wexp=   | 30    | ml/min         |
| ma=             | 0.011    | mmol       | Wcorta= | 1     | cm/min         |
| Gramos columna= | 0.3      | g          | R=      | 62.32 | mmHg ml/K mmol |
| Po=             | 571      | mmhg       |         |       |                |
| T=              | 498      | K          |         |       |                |
| Pprom=          | 1010.146 | mmHg       |         |       |                |
| Whe corr=       | 28.339   | ml/min     |         |       |                |
| K=              | 0.00002  | mmol/cm ml |         |       |                |

Material: Hidrotalcita

Reactivo: Benceno

| PICO 4 |       |         |           |           |            |         | PICO 5 |       |         |           |           |            |         |
|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1      | 17.6  | 0.179   | 24.747    | 0.054     | 0.0004     | 12.617  | 1      | 17.7  | 0.188   | 25.991    | 0.049     | 0.0004     | 11.003  |
| 2      | 16    | 0.171   | 23.641    | 0.052     | 0.0004     | 11.470  | 2      | 16    | 0.18    | 24.885    | 0.047     | 0.0004     | 9.946   |
| 3      | 15    | 0.166   | 22.949    | 0.050     | 0.0004     | 10.753  | 3      | 15    | 0.175   | 24.194    | 0.046     | 0.0004     | 9.324   |
| 4      | 14    | 0.16    | 22.120    | 0.048     | 0.0004     | 10.036  | 4      | 14    | 0.17    | 23.502    | 0.044     | 0.0003     | 8.703   |
| 5      | 13    | 0.154   | 21.290    | 0.046     | 0.0003     | 9.319   | 5      | 13    | 0.164   | 22.673    | 0.043     | 0.0003     | 8.081   |
| 6      | 12    | 0.148   | 20.461    | 0.045     | 0.0003     | 8.602   | 6      | 12    | 0.158   | 21.843    | 0.041     | 0.0003     | 7.459   |
| 7      | 11    | 0.142   | 19.631    | 0.043     | 0.0003     | 7.885   | 7      | 11    | 0.151   | 20.876    | 0.039     | 0.0003     | 6.838   |
| 8      | 10    | 0.136   | 18.802    | 0.041     | 0.0003     | 7.169   | 8      | 10    | 0.145   | 20.046    | 0.038     | 0.0002     | 6.216   |
| 9      | 9     | 0.129   | 17.834    | 0.039     | 0.0002     | 6.452   | 9      | 9     | 0.138   | 19.078    | 0.036     | 0.0002     | 5.594   |
| 10     | 8     | 0.122   | 16.866    | 0.037     | 0.0002     | 5.735   | 10     | 8     | 0.131   | 18.111    | 0.034     | 0.0002     | 4.973   |
| 11     | 7     | 0.115   | 15.899    | 0.035     | 0.0002     | 5.018   | 11     | 7     | 0.123   | 17.005    | 0.032     | 0.0002     | 4.351   |
| 12     | 6     | 0.107   | 14.793    | 0.032     | 0.0002     | 4.301   | 12     | 6     | 0.115   | 15.899    | 0.030     | 0.0001     | 3.730   |
| 13     | 5     | 0.099   | 13.687    | 0.030     | 0.0001     | 3.584   | 13     | 5     | 0.106   | 14.654    | 0.028     | 0.0001     | 3.108   |
| 14     | 4     | 0.09    | 12.442    | 0.027     | 0.0001     | 2.867   | 14     | 4     | 0.096   | 13.272    | 0.025     | 0.0001     | 2.486   |
| 15     | 3     | 0.08    | 11.060    | 0.024     | 0.0001     | 2.151   | 15     | 3     | 0.085   | 11.751    | 0.022     | 0.0001     | 1.865   |
| 16     | 2     | 0.067   | 9.263     | 0.020     | 0.0001     | 1.434   | 16     | 2     | 0.07    | 9.677     | 0.018     | 0.0000     | 1.243   |
| 17     | 1     | 0.052   | 7.189     | 0.016     | 0.0000     | 0.717   | 17     | 1     | 0.051   | 7.051     | 0.013     | 0.0000     | 0.622   |

|                 |               |
|-----------------|---------------|
| Peso            |               |
| Pico=           | 0.124 g       |
| Área            |               |
| Pico=           | 17.143 cm2    |
| Peso            |               |
| Área=           | 0.0651 g      |
| Área =          | 9 cm2         |
| ma=             | 0.011 mmol    |
| Gramos columna= | 0.3 g         |
| Po=             | 571 mmhg      |
| T=              | 458 K         |
| Pprom=          | 1010.146 mmHg |
| Whe             |               |
| corr=           | 26.063 ml/min |
|                 | mmol/cm       |
| K=              | 0.00003 ml    |

|         |                      |
|---------|----------------------|
| Texp=   | 185 °C               |
| Tconv=  | 273 K                |
| To=     | 298 K                |
| Wexp=   | 30 ml/min            |
| Wcorta= | 1 cm/min             |
| R=      | 62.32 mmHg ml/K mmol |

|                 |               |
|-----------------|---------------|
| Peso            |               |
| Pico=           | 0.143 g       |
| Área            |               |
| Pico=           | 19.770 cm2    |
| Peso            |               |
| Área=           | 0.0651 g      |
| Área =          | 9 cm2         |
| ma=             | 0.011 mmol    |
| Gramos columna= | 0.3 g         |
| Po=             | 571 mmhg      |
| T=              | 423 K         |
| Pprom=          | 1010.146 mmHg |
| Whe             |               |
| corr=           | 24.071 ml/min |
|                 | mmol/cm       |
| K=              | 0.00002 ml    |

|         |                      |
|---------|----------------------|
| Texp=   | 150 °C               |
| Tconv=  | 273 K                |
| To=     | 298 K                |
| Wexp=   | 30 ml/min            |
| Wcorta= | 1 cm/min             |
| R=      | 62.32 mmHg ml/K mmol |

| PICO 6 |       |         |           |           |            |         | PICO 7 |       |         |           |           |            |         | PICO 8 |       |         |           |           |            |         |
|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1      | 17.6  | 0.184   | 25.438    | 0.046     | 0.0003     | 10.494  | 1      | 17.5  | 0.161   | 22.258    | 0.045     | 0.0004     | 11.750  | 1      | 17.6  | 0.164   | 22.673    | 0.042     | 0.0003     | 10.752  |
| 2      | 16    | 0.175   | 24.194    | 0.044     | 0.0003     | 9.540   | 2      | 16    | 0.155   | 21.429    | 0.044     | 0.0003     | 10.743  | 2      | 16    | 0.154   | 21.290    | 0.040     | 0.0003     | 9.774   |
| 3      | 15    | 0.17    | 23.502    | 0.043     | 0.0003     | 8.944   | 3      | 15    | 0.15    | 20.737    | 0.042     | 0.0003     | 10.072  | 3      | 15    | 0.152   | 21.014    | 0.039     | 0.0003     | 9.163   |
| 4      | 14    | 0.164   | 22.673    | 0.041     | 0.0002     | 8.347   | 4      | 14    | 0.144   | 19.908    | 0.041     | 0.0003     | 9.400   | 4      | 14    | 0.146   | 20.184    | 0.038     | 0.0003     | 8.553   |
| 5      | 13    | 0.158   | 21.843    | 0.040     | 0.0002     | 7.751   | 5      | 13    | 0.139   | 19.217    | 0.039     | 0.0003     | 8.729   | 5      | 13    | 0.141   | 19.493    | 0.036     | 0.0003     | 7.942   |
| 6      | 12    | 0.152   | 21.014    | 0.038     | 0.0002     | 7.155   | 6      | 12    | 0.133   | 18.387    | 0.038     | 0.0002     | 8.057   | 6      | 12    | 0.135   | 18.664    | 0.035     | 0.0002     | 7.331   |
| 7      | 11    | 0.145   | 20.046    | 0.036     | 0.0002     | 6.559   | 7      | 11    | 0.127   | 17.558    | 0.036     | 0.0002     | 7.386   | 7      | 11    | 0.129   | 17.834    | 0.033     | 0.0002     | 6.720   |
| 8      | 10    | 0.138   | 19.078    | 0.035     | 0.0002     | 5.962   | 8      | 10    | 0.121   | 16.728    | 0.034     | 0.0002     | 6.714   | 8      | 10    | 0.123   | 17.005    | 0.032     | 0.0002     | 6.109   |
| 9      | 9     | 0.131   | 18.111    | 0.033     | 0.0002     | 5.366   | 9      | 9     | 0.115   | 15.899    | 0.032     | 0.0002     | 6.043   | 9      | 9     | 0.116   | 16.037    | 0.030     | 0.0002     | 5.498   |
| 10     | 8     | 0.124   | 17.143    | 0.031     | 0.0001     | 4.770   | 10     | 8     | 0.107   | 14.793    | 0.030     | 0.0002     | 5.372   | 10     | 8     | 0.11    | 15.207    | 0.028     | 0.0002     | 4.887   |
| 11     | 7     | 0.116   | 16.037    | 0.029     | 0.0001     | 4.174   | 11     | 7     | 0.101   | 13.963    | 0.029     | 0.0001     | 4.700   | 11     | 7     | 0.102   | 14.101    | 0.026     | 0.0001     | 4.276   |
| 12     | 6     | 0.108   | 14.931    | 0.027     | 0.0001     | 3.577   | 12     | 6     | 0.094   | 12.995    | 0.027     | 0.0001     | 4.029   | 12     | 6     | 0.095   | 13.134    | 0.024     | 0.0001     | 3.665   |
| 13     | 5     | 0.1     | 13.825    | 0.025     | 0.0001     | 2.981   | 13     | 5     | 0.086   | 11.889    | 0.024     | 0.0001     | 3.357   | 13     | 5     | 0.087   | 12.028    | 0.022     | 0.0001     | 3.054   |
| 14     | 4     | 0.091   | 12.581    | 0.023     | 0.0001     | 2.385   | 14     | 4     | 0.078   | 10.783    | 0.022     | 0.0001     | 2.686   | 14     | 4     | 0.079   | 10.922    | 0.020     | 0.0001     | 2.444   |
| 15     | 3     | 0.081   | 11.198    | 0.020     | 0.0001     | 1.789   | 15     | 3     | 0.069   | 9.539     | 0.019     | 0.0001     | 2.014   | 15     | 3     | 0.069   | 9.539     | 0.018     | 0.0001     | 1.833   |
| 16     | 2     | 0.071   | 9.816     | 0.018     | 0.0000     | 1.192   | 16     | 2     | 0.058   | 8.018     | 0.016     | 0.0000     | 1.343   | 16     | 2     | 0.058   | 8.018     | 0.015     | 0.0000     | 1.222   |
| 17     | 1     | 0.054   | 7.465     | 0.014     | 0.0000     | 0.596   | 17     | 1     | 0.046   | 6.359     | 0.013     | 0.0000     | 0.671   | 17     | 1     | 0.044   | 6.083     | 0.011     | 0.0000     | 0.611   |

Peso Pico= 0.125 g  
 Área Pico= 17.281 cm2  
 Área= 9 cm2  
 ma= 0.009 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmHg  
 T= 573 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 32.607 ml/min  
 K= 0.00002 mmol/cm ml

Texp= 300 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Peso Pico= 0.111 g  
 Área Pico= 15.346 cm2  
 Área= 9 cm2  
 ma= 0.009 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmHg  
 T= 533 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 30.331 ml/min  
 K= 0.00002 mmol/cm ml

Texp= 260 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Peso Pico= 0.122 g  
 Área Pico= 16.866 cm2  
 Área= 9 cm2  
 ma= 0.009 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmHg  
 T= 498 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 28.339 ml/min  
 K= 0.00002 mmol/cm ml

Texp= 225 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Material: Hidrotalcita

Reactivo: Tolueno

| PICO 9 |       |         |           |           |            |         | PICO 10 |       |         |           |           |            |         |
|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1      | 17.8  | 0.178   | 24.608    | 0.041     | 0.0003     | 9.827   | 1       | 17.5  | 0.351   | 48.525    | 0.037     | 0.0002     | 4.406   |
| 2      | 16    | 0.17    | 23.502    | 0.039     | 0.0003     | 8.833   | 2       | 16    | 0.343   | 47.419    | 0.036     | 0.0002     | 4.029   |
| 3      | 15    | 0.165   | 22.811    | 0.038     | 0.0003     | 8.281   | 3       | 15    | 0.335   | 46.313    | 0.035     | 0.0001     | 3.777   |
| 4      | 14    | 0.16    | 22.120    | 0.037     | 0.0003     | 7.729   | 4       | 14    | 0.328   | 45.346    | 0.035     | 0.0001     | 3.525   |
| 5      | 13    | 0.154   | 21.290    | 0.036     | 0.0003     | 7.177   | 5       | 13    | 0.32    | 44.240    | 0.034     | 0.0001     | 3.273   |
| 6      | 12    | 0.149   | 20.599    | 0.035     | 0.0002     | 6.625   | 6       | 12    | 0.31    | 42.857    | 0.033     | 0.0001     | 3.021   |
| 7      | 11    | 0.143   | 19.770    | 0.033     | 0.0002     | 6.073   | 7       | 11    | 0.301   | 41.613    | 0.032     | 0.0001     | 2.770   |
| 8      | 10    | 0.138   | 19.078    | 0.032     | 0.0002     | 5.521   | 8       | 10    | 0.289   | 39.954    | 0.031     | 0.0001     | 2.518   |
| 9      | 9     | 0.131   | 18.111    | 0.030     | 0.0002     | 4.969   | 9       | 9     | 0.276   | 38.157    | 0.029     | 0.0001     | 2.266   |
| 10     | 8     | 0.125   | 17.281    | 0.029     | 0.0002     | 4.417   | 10      | 8     | 0.263   | 36.359    | 0.028     | 0.0001     | 2.014   |
| 11     | 7     | 0.117   | 16.175    | 0.027     | 0.0001     | 3.865   | 11      | 7     | 0.247   | 34.147    | 0.026     | 0.0001     | 1.763   |
| 12     | 6     | 0.109   | 15.069    | 0.025     | 0.0001     | 3.312   | 12      | 6     | 0.23    | 31.797    | 0.024     | 0.0001     | 1.511   |
| 13     | 5     | 0.1     | 13.825    | 0.023     | 0.0001     | 2.760   | 13      | 5     | 0.211   | 29.171    | 0.022     | 0.0000     | 1.259   |
| 14     | 4     | 0.09    | 12.442    | 0.021     | 0.0001     | 2.208   | 14      | 4     | 0.189   | 26.129    | 0.020     | 0.0000     | 1.007   |
| 15     | 3     | 0.079   | 10.922    | 0.018     | 0.0001     | 1.656   | 15      | 3     | 0.165   | 22.811    | 0.017     | 0.0000     | 0.755   |
| 16     | 2     | 0.066   | 9.124     | 0.015     | 0.0000     | 1.104   | 16      | 2     | 0.134   | 18.525    | 0.014     | 0.0000     | 0.504   |
| 17     | 1     | 0.048   | 6.636     | 0.011     | 0.0000     | 0.552   | 17      | 1     | 0.093   | 12.857    | 0.010     | 0.0000     | 0.252   |

Peso Pico= 0.135 g  
 Área Pico= 18.664 cm2  
 Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm2  
 ma= 0.009 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmhg  
 T= 458 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 26.063 ml/min  
 K= 0.00002 mmol/cm ml

Texp= 185 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Peso Pico= 0.296 g  
 Área Pico= 40.922 cm2  
 Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm2  
 ma= 0.009 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmhg  
 T= 423 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 24.071 ml/min  
 K= 0.00001 mmol/cm ml

Texp= 150 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Material: Hidrotalcita

Reactivo: p-Xileno

| PICO 11 |       |         |           |           |            |         | PICO 12 |       |         |           |           |            |         | PICO 13 |       |         |           |           |            |         |
|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1       | 17.5  | 0.138   | 19.078    | 0.041     | 0.0003     | 12.413  | 1       | 17.5  | 0.176   | 24.332    | 0.012     | 0.0001     | 2.881   | 1       | 17.4  | 0.16    | 22.120    | 0.037     | 0.0003     | 9.682   |
| 2       | 16    | 0.131   | 18.111    | 0.039     | 0.0003     | 11.349  | 2       | 16    | 0.169   | 23.364    | 0.012     | 0.0001     | 2.634   | 2       | 16    | 0.154   | 21.290    | 0.036     | 0.0003     | 8.903   |
| 3       | 15    | 0.127   | 17.558    | 0.038     | 0.0003     | 10.639  | 3       | 15    | 0.164   | 22.673    | 0.011     | 0.0001     | 2.470   | 3       | 15    | 0.15    | 20.737    | 0.035     | 0.0003     | 8.346   |
| 4       | 14    | 0.121   | 16.728    | 0.036     | 0.0003     | 9.930   | 4       | 14    | 0.158   | 21.843    | 0.011     | 0.0001     | 2.305   | 4       | 14    | 0.144   | 19.908    | 0.034     | 0.0003     | 7.790   |
| 5       | 13    | 0.116   | 16.037    | 0.035     | 0.0003     | 9.221   | 5       | 13    | 0.153   | 21.152    | 0.011     | 0.0001     | 2.141   | 5       | 13    | 0.139   | 19.217    | 0.033     | 0.0002     | 7.234   |
| 6       | 12    | 0.111   | 15.346    | 0.033     | 0.0002     | 8.511   | 6       | 12    | 0.147   | 20.323    | 0.010     | 0.0001     | 1.976   | 6       | 12    | 0.133   | 18.387    | 0.031     | 0.0002     | 6.677   |
| 7       | 11    | 0.105   | 14.516    | 0.031     | 0.0002     | 7.802   | 7       | 11    | 0.14    | 19.355    | 0.010     | 0.0001     | 1.811   | 7       | 11    | 0.128   | 17.696    | 0.030     | 0.0002     | 6.121   |
| 8       | 10    | 0.099   | 13.687    | 0.030     | 0.0002     | 7.093   | 8       | 10    | 0.134   | 18.525    | 0.009     | 0.0000     | 1.647   | 8       | 10    | 0.122   | 16.866    | 0.029     | 0.0002     | 5.564   |
| 9       | 9     | 0.094   | 12.995    | 0.028     | 0.0002     | 6.384   | 9       | 9     | 0.127   | 17.558    | 0.009     | 0.0000     | 1.482   | 9       | 9     | 0.116   | 16.037    | 0.027     | 0.0002     | 5.008   |
| 10      | 8     | 0.088   | 12.166    | 0.026     | 0.0002     | 5.674   | 10      | 8     | 0.12    | 16.590    | 0.008     | 0.0000     | 1.317   | 10      | 8     | 0.109   | 15.069    | 0.026     | 0.0001     | 4.451   |
| 11      | 7     | 0.082   | 11.336    | 0.024     | 0.0001     | 4.965   | 11      | 7     | 0.112   | 15.484    | 0.008     | 0.0000     | 1.153   | 11      | 7     | 0.103   | 14.240    | 0.024     | 0.0001     | 3.895   |
| 12      | 6     | 0.075   | 10.369    | 0.022     | 0.0001     | 4.256   | 12      | 6     | 0.105   | 14.516    | 0.007     | 0.0000     | 0.988   | 12      | 6     | 0.096   | 13.272    | 0.022     | 0.0001     | 3.339   |
| 13      | 5     | 0.069   | 9.539     | 0.021     | 0.0001     | 3.546   | 13      | 5     | 0.097   | 13.410    | 0.007     | 0.0000     | 0.823   | 13      | 5     | 0.088   | 12.166    | 0.021     | 0.0001     | 2.782   |
| 14      | 4     | 0.062   | 8.571     | 0.019     | 0.0001     | 2.837   | 14      | 4     | 0.088   | 12.166    | 0.006     | 0.0000     | 0.659   | 14      | 4     | 0.079   | 10.922    | 0.018     | 0.0001     | 2.226   |
| 15      | 3     | 0.055   | 7.604     | 0.016     | 0.0001     | 2.128   | 15      | 3     | 0.079   | 10.922    | 0.005     | 0.0000     | 0.494   | 15      | 3     | 0.07    | 9.677     | 0.016     | 0.0001     | 1.669   |
| 16      | 2     | 0.047   | 6.498     | 0.014     | 0.0000     | 1.419   | 16      | 2     | 0.067   | 9.263     | 0.005     | 0.0000     | 0.329   | 16      | 2     | 0.059   | 8.157     | 0.014     | 0.0000     | 1.113   |
| 17      | 1     | 0.037   | 5.115     | 0.011     | 0.0000     | 0.709   | 17      | 1     | 0.053   | 7.327     | 0.004     | 0.0000     | 0.165   | 17      | 1     | 0.045   | 6.221     | 0.011     | 0.0000     | 0.556   |

|                 |          |         |
|-----------------|----------|---------|
| Peso            | 0.091    | g       |
| Pico=           |          |         |
| Área            | 12.581   | cm2     |
| Peso            |          |         |
| Área=           | 0.0651   | g       |
| Área =          | 9        | cm2     |
| ma=             | 0.008    | mmol    |
| Gramos columna= | 0.3      | g       |
| Po=             | 571      | mmhg    |
| T=              | 573      | K       |
| Pprom=          | 1010.146 | mmHg    |
| Whe             |          |         |
| corr=           | 32.607   | ml/min  |
|                 |          | mmol/cm |
| K=              | 0.00002  | ml      |

|         |       |                |
|---------|-------|----------------|
| Texp=   | 300   | °C             |
| Tconv=  | 273   | K              |
| To=     | 298   | K              |
| Wexp=   | 30    | ml/min         |
| Wcorta= | 1     | cm/min         |
| R=      | 62.32 | mmHg ml/K mmol |

|                 |          |         |
|-----------------|----------|---------|
| Peso            | 0.392    | g       |
| Pico=           |          |         |
| Área            | 54.194   | cm2     |
| Peso            |          |         |
| Área=           | 0.0651   | g       |
| Área =          | 9        | cm2     |
| ma=             | 0.008    | mmol    |
| Gramos columna= | 0.3      | g       |
| Po=             | 571      | mmhg    |
| T=              | 533      | K       |
| Pprom=          | 1010.146 | mmHg    |
| Whe             |          |         |
| corr=           | 30.331   | ml/min  |
|                 |          | mmol/cm |
| K=              | 0.00000  | ml      |

|         |       |                |
|---------|-------|----------------|
| Texp=   | 260   | °C             |
| Tconv=  | 273   | K              |
| To=     | 298   | K              |
| Wexp=   | 30    | ml/min         |
| Wcorta= | 1     | cm/min         |
| R=      | 62.32 | mmHg ml/K mmol |

|                 |          |         |
|-----------------|----------|---------|
| Peso            | 0.116    | g       |
| Pico=           |          |         |
| Área            | 16.037   | cm2     |
| Peso            |          |         |
| Área=           | 0.0651   | g       |
| Área =          | 9        | cm2     |
| ma=             | 0.008    | mmol    |
| Gramos columna= | 0.3      | g       |
| Po=             | 571      | mmhg    |
| T=              | 498      | K       |
| Pprom=          | 1010.146 | mmHg    |
| Whe             |          |         |
| corr=           | 28.339   | ml/min  |
|                 |          | mmol/cm |
| K=              | 0.00002  | ml      |

|         |       |                |
|---------|-------|----------------|
| Texp=   | 225   | °C             |
| Tconv=  | 273   | K              |
| To=     | 298   | K              |
| Wexp=   | 30    | ml/min         |
| Wcorta= | 1     | cm/min         |
| R=      | 62.32 | mmHg ml/K mmol |

62.32 mmHg ml/K mmol

| PICO 14 |       |         |           |           |            |         | PICO 15 |       |         |           |           |            |         |
|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1       | 17.5  | 0.26    | 35.945    | 0.035     | 0.0002     | 5.648   | 1       | 17.7  | 0.399   | 55.161    | 0.032     | 0.0001     | 3.370   |
| 2       | 16    | 0.251   | 34.700    | 0.034     | 0.0002     | 5.164   | 2       | 16    | 0.389   | 53.779    | 0.031     | 0.0001     | 3.046   |
| 3       | 15    | 0.245   | 33.871    | 0.033     | 0.0002     | 4.841   | 3       | 15    | 0.381   | 52.673    | 0.031     | 0.0001     | 2.856   |
| 4       | 14    | 0.238   | 32.903    | 0.032     | 0.0002     | 4.518   | 4       | 14    | 0.372   | 51.429    | 0.030     | 0.0001     | 2.666   |
| 5       | 13    | 0.231   | 31.935    | 0.031     | 0.0001     | 4.195   | 5       | 13    | 0.363   | 50.184    | 0.029     | 0.0001     | 2.475   |
| 6       | 12    | 0.223   | 30.829    | 0.030     | 0.0001     | 3.873   | 6       | 12    | 0.353   | 48.802    | 0.028     | 0.0001     | 2.285   |
| 7       | 11    | 0.215   | 29.724    | 0.029     | 0.0001     | 3.550   | 7       | 11    | 0.34    | 47.005    | 0.027     | 0.0001     | 2.094   |
| 8       | 10    | 0.207   | 28.618    | 0.028     | 0.0001     | 3.227   | 8       | 10    | 0.327   | 45.207    | 0.026     | 0.0001     | 1.904   |
| 9       | 9     | 0.197   | 27.235    | 0.027     | 0.0001     | 2.905   | 9       | 9     | 0.313   | 43.272    | 0.025     | 0.0001     | 1.714   |
| 10      | 8     | 0.187   | 25.853    | 0.025     | 0.0001     | 2.582   | 10      | 8     | 0.298   | 41.198    | 0.024     | 0.0001     | 1.523   |
| 11      | 7     | 0.176   | 24.332    | 0.024     | 0.0001     | 2.259   | 11      | 7     | 0.28    | 38.710    | 0.022     | 0.0001     | 1.333   |
| 12      | 6     | 0.165   | 22.811    | 0.022     | 0.0001     | 1.936   | 12      | 6     | 0.261   | 36.083    | 0.021     | 0.0000     | 1.142   |
| 13      | 5     | 0.151   | 20.876    | 0.021     | 0.0001     | 1.614   | 13      | 5     | 0.24    | 33.180    | 0.019     | 0.0000     | 0.952   |
| 14      | 4     | 0.135   | 18.664    | 0.018     | 0.0000     | 1.291   | 14      | 4     | 0.215   | 29.724    | 0.017     | 0.0000     | 0.762   |
| 15      | 3     | 0.118   | 16.313    | 0.016     | 0.0000     | 0.968   | 15      | 3     | 0.186   | 25.714    | 0.015     | 0.0000     | 0.571   |
| 16      | 2     | 0.096   | 13.272    | 0.013     | 0.0000     | 0.645   | 16      | 2     | 0.151   | 20.876    | 0.012     | 0.0000     | 0.381   |
| 17      | 1     | 0.069   | 9.539     | 0.009     | 0.0000     | 0.323   | 17      | 1     | 0.106   | 14.654    | 0.008     | 0.0000     | 0.190   |

Peso  
Pico= 0.2 g  
Área  
Pico= 27.650 cm2  
Peso  
Área= 0.0651 g  
Área = 9 cm2  
ma= 0.008 mmol  
Gramos columna= 0.3 g  
Po= 571 mmhg  
T= 458 K  
Pprom= 1010.146 mmHg  
Whe  
corr= 26.063 ml/min  
mmol/cm  
ml  
K= 0.00001

Texp= 185 °C  
Tconv= 273 K  
To= 298 K  
Wexp= 30 ml/min  
Wcorta= 1 cm/min  
R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Peso  
Pico= 0.339 g  
Área  
Pico= 46.866 cm2  
Peso  
Área= 0.0651 g  
Área = 9 cm2  
ma= 0.008 mmol  
Po= 571 mmhg  
T= 423 K  
Pprom= 1010.146 mmHg  
Whe  
corr= 24.071 ml/min  
mmol/cm  
ml  
K= 0.00001

Texp= 150 °C  
Tconv= 273 K  
To= 298 K  
Wexp= 30 ml/min  
Wcorta= 1 cm/min  
R= 62.32 mmHg ml/K mmol

mmHg ml/K mmol

Material: Hidrotalcita

Reactivo: Etilbenceno

| PICO 16 |       |         |           |           |            |         | PICO 17 |       |         |           |           |            |         | PICO 18 |       |         |           |           |            |         |
|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1       | 17.7  | 0.222   | 30.691    | 0.039     | 0.0002     | 7.477   | 1       | 17.6  | 0.229   | 31.659    | 0.039     | 0.0002     | 7.065   | 1       | 17.5  | 0.162   | 22.396    | 0.038     | 0.0003     | 9.751   |
| 2       | 16    | 0.209   | 28.894    | 0.037     | 0.0002     | 6.759   | 2       | 16    | 0.219   | 30.276    | 0.037     | 0.0002     | 6.423   | 2       | 16    | 0.155   | 21.429    | 0.036     | 0.0003     | 8.915   |
| 3       | 15    | 0.2     | 27.650    | 0.036     | 0.0002     | 6.337   | 3       | 15    | 0.209   | 28.894    | 0.035     | 0.0002     | 6.022   | 3       | 15    | 0.15    | 20.737    | 0.035     | 0.0003     | 8.358   |
| 4       | 14    | 0.192   | 26.544    | 0.034     | 0.0002     | 5.914   | 4       | 14    | 0.203   | 28.065    | 0.034     | 0.0002     | 5.620   | 4       | 14    | 0.145   | 20.046    | 0.034     | 0.0003     | 7.801   |
| 5       | 13    | 0.186   | 25.714    | 0.033     | 0.0002     | 5.492   | 5       | 13    | 0.195   | 26.959    | 0.033     | 0.0002     | 5.219   | 5       | 13    | 0.139   | 19.217    | 0.033     | 0.0002     | 7.243   |
| 6       | 12    | 0.175   | 24.194    | 0.031     | 0.0001     | 5.069   | 6       | 12    | 0.186   | 25.714    | 0.031     | 0.0001     | 4.817   | 6       | 12    | 0.134   | 18.525    | 0.031     | 0.0002     | 6.686   |
| 7       | 11    | 0.168   | 23.226    | 0.030     | 0.0001     | 4.647   | 7       | 11    | 0.179   | 24.747    | 0.030     | 0.0001     | 4.416   | 7       | 11    | 0.129   | 17.834    | 0.030     | 0.0002     | 6.129   |
| 8       | 10    | 0.16    | 22.120    | 0.028     | 0.0001     | 4.224   | 8       | 10    | 0.169   | 23.364    | 0.029     | 0.0001     | 4.014   | 8       | 10    | 0.123   | 17.005    | 0.029     | 0.0002     | 5.572   |
| 9       | 9     | 0.151   | 20.876    | 0.027     | 0.0001     | 3.802   | 9       | 9     | 0.156   | 21.567    | 0.026     | 0.0001     | 3.613   | 9       | 9     | 0.116   | 16.037    | 0.027     | 0.0002     | 5.015   |
| 10      | 8     | 0.143   | 19.770    | 0.025     | 0.0001     | 3.379   | 10      | 8     | 0.146   | 20.184    | 0.025     | 0.0001     | 3.212   | 10      | 8     | 0.109   | 15.069    | 0.026     | 0.0001     | 4.457   |
| 11      | 7     | 0.134   | 18.525    | 0.024     | 0.0001     | 2.957   | 11      | 7     | 0.135   | 18.664    | 0.023     | 0.0001     | 2.810   | 11      | 7     | 0.102   | 14.101    | 0.024     | 0.0001     | 3.900   |
| 12      | 6     | 0.124   | 17.143    | 0.022     | 0.0001     | 2.535   | 12      | 6     | 0.126   | 17.419    | 0.021     | 0.0001     | 2.409   | 12      | 6     | 0.095   | 13.134    | 0.022     | 0.0001     | 3.343   |
| 13      | 5     | 0.111   | 15.346    | 0.020     | 0.0001     | 2.112   | 13      | 5     | 0.121   | 16.728    | 0.020     | 0.0001     | 2.007   | 13      | 5     | 0.088   | 12.166    | 0.021     | 0.0001     | 2.786   |
| 14      | 4     | 0.098   | 13.548    | 0.017     | 0.0000     | 1.690   | 14      | 4     | 0.112   | 15.484    | 0.019     | 0.0000     | 1.606   | 14      | 4     | 0.079   | 10.922    | 0.019     | 0.0001     | 2.229   |
| 15      | 3     | 0.086   | 11.889    | 0.015     | 0.0000     | 1.267   | 15      | 3     | 0.097   | 13.410    | 0.016     | 0.0000     | 1.204   | 15      | 3     | 0.069   | 9.539     | 0.016     | 0.0001     | 1.672   |
| 16      | 2     | 0.072   | 9.954     | 0.013     | 0.0000     | 0.845   | 16      | 2     | 0.084   | 11.613    | 0.014     | 0.0000     | 0.803   | 16      | 2     | 0.058   | 8.018     | 0.014     | 0.0000     | 1.114   |
| 17      | 1     | 0.065   | 8.986     | 0.012     | 0.0000     | 0.422   | 17      | 1     | 0.068   | 9.401     | 0.011     | 0.0000     | 0.401   | 17      | 1     | 0.044   | 6.083     | 0.010     | 0.0000     | 0.557   |

|                 |          |         |
|-----------------|----------|---------|
| Peso            | 0.153    | g       |
| Pico=           |          |         |
| Área            | 21.152   | cm2     |
| Peso            | 0.0651   | g       |
| Área =          | 9        | cm2     |
| ma=             | 0.008    | mmol    |
| Gramos columna= | 0.3      | g       |
| Po=             | 571      | mmhg    |
| T=              | 573      | K       |
| Pprom=          | 1010.146 | mmHg    |
| Whe             |          |         |
| corr=           | 32.607   | ml/min  |
|                 |          | mmol/cm |
| K=              | 0.00001  | ml      |

|         |       |           |
|---------|-------|-----------|
| Texp=   | 300   | °C        |
| Tconv=  | 273   | K         |
| To=     | 298   | K         |
| Wexp=   | 30    | ml/min    |
| Wcorta= | 1     | cm/min    |
| R=      | 62.32 | mmHg ml/K |

|                 |          |         |
|-----------------|----------|---------|
| Peso            | 0.161    | g       |
| Pico=           |          |         |
| Área            | 22.258   | cm2     |
| Peso            | 0.0651   | g       |
| Área =          | 9        | cm2     |
| ma=             | 0.008    | mmol    |
| Gramos columna= | 0.3      | g       |
| Po=             | 571      | mmhg    |
| T=              | 533      | K       |
| Pprom=          | 1010.146 | mmHg    |
| Whe             |          |         |
| corr=           | 30.331   | ml/min  |
|                 |          | mmol/cm |
| K=              | 0.00001  | ml      |

|         |       |           |
|---------|-------|-----------|
| Texp=   | 260   | °C        |
| Tconv=  | 273   | K         |
| To=     | 298   | K         |
| Wexp=   | 30    | ml/min    |
| Wcorta= | 1     | cm/min    |
| R=      | 62.32 | mmHg ml/K |

|                 |          |         |
|-----------------|----------|---------|
| Peso            | 0.116    | g       |
| Pico=           |          |         |
| Área            | 16.037   | cm2     |
| Peso            | 0.0651   | g       |
| Área =          | 9        | cm2     |
| ma=             | 0.008    | mmol    |
| Gramos columna= | 0.3      | g       |
| Po=             | 571      | mmhg    |
| T=              | 498      | K       |
| Pprom=          | 1010.146 | mmHg    |
| Whe             |          |         |
| corr=           | 28.339   | ml/min  |
|                 |          | mmol/cm |
| K=              | 0.00002  | ml      |

|         |       |           |
|---------|-------|-----------|
| Texp=   | 225   | °C        |
| Tconv=  | 273   | K         |
| To=     | 298   | K         |
| Wexp=   | 30    | ml/min    |
| Wcorta= | 1     | cm/min    |
| R=      | 62.32 | mmHg ml/K |

62.32 mmHg ml/K mmol

Material: Hidrotalcita

Reactivo: Etilbenceno

| PICO 19 |       |         |           |           |            |         | PICO 20 |       |         |           |           |            |         |
|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1       | 17.5  | 0.238   | 32.903    | 0.035     | 0.0002     | 6.049   | 1       | 17.5  | 0.365   | 50.461    | 0.032     | 0.0001     | 3.649   |
| 2       | 16    | 0.231   | 31.935    | 0.034     | 0.0002     | 5.530   | 2       | 16    | 0.356   | 49.217    | 0.031     | 0.0001     | 3.336   |
| 3       | 15    | 0.226   | 31.244    | 0.033     | 0.0002     | 5.184   | 3       | 15    | 0.348   | 48.111    | 0.031     | 0.0001     | 3.127   |
| 4       | 14    | 0.22    | 30.415    | 0.032     | 0.0002     | 4.839   | 4       | 14    | 0.341   | 47.143    | 0.030     | 0.0001     | 2.919   |
| 5       | 13    | 0.213   | 29.447    | 0.031     | 0.0002     | 4.493   | 5       | 13    | 0.333   | 46.037    | 0.029     | 0.0001     | 2.710   |
| 6       | 12    | 0.206   | 28.479    | 0.030     | 0.0001     | 4.148   | 6       | 12    | 0.323   | 44.654    | 0.028     | 0.0001     | 2.502   |
| 7       | 11    | 0.199   | 27.512    | 0.029     | 0.0001     | 3.802   | 7       | 11    | 0.313   | 43.272    | 0.027     | 0.0001     | 2.293   |
| 8       | 10    | 0.191   | 26.406    | 0.028     | 0.0001     | 3.456   | 8       | 10    | 0.301   | 41.613    | 0.026     | 0.0001     | 2.085   |
| 9       | 9     | 0.183   | 25.300    | 0.027     | 0.0001     | 3.111   | 9       | 9     | 0.289   | 39.954    | 0.025     | 0.0001     | 1.876   |
| 10      | 8     | 0.173   | 23.917    | 0.025     | 0.0001     | 2.765   | 10      | 8     | 0.275   | 38.018    | 0.024     | 0.0001     | 1.668   |
| 11      | 7     | 0.163   | 22.535    | 0.024     | 0.0001     | 2.419   | 11      | 7     | 0.258   | 35.668    | 0.023     | 0.0001     | 1.459   |
| 12      | 6     | 0.152   | 21.014    | 0.022     | 0.0001     | 2.074   | 12      | 6     | 0.242   | 33.456    | 0.021     | 0.0000     | 1.251   |
| 13      | 5     | 0.14    | 19.355    | 0.020     | 0.0001     | 1.728   | 13      | 5     | 0.222   | 30.691    | 0.019     | 0.0000     | 1.042   |
| 14      | 4     | 0.126   | 17.419    | 0.018     | 0.0000     | 1.383   | 14      | 4     | 0.199   | 27.512    | 0.017     | 0.0000     | 0.834   |
| 15      | 3     | 0.11    | 15.207    | 0.016     | 0.0000     | 1.037   | 15      | 3     | 0.173   | 23.917    | 0.015     | 0.0000     | 0.625   |
| 16      | 2     | 0.091   | 12.581    | 0.013     | 0.0000     | 0.691   | 16      | 2     | 0.14    | 19.355    | 0.012     | 0.0000     | 0.417   |
| 17      | 1     | 0.065   | 8.986     | 0.009     | 0.0000     | 0.346   | 17      | 1     | 0.099   | 13.687    | 0.009     | 0.0000     | 0.208   |

Peso Pico= 0.187 g  
 Área Pico= 25.853 cm2  
 Peso Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm2  
 ma= 0.008 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmhg  
 T= 458 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 26.063 ml/min  
 mmol/cm  
 K= 0.00001 ml

Texp= 185 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Peso Pico= 0.31 g  
 Área Pico= 42.857 cm2  
 Peso Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm2  
 ma= 0.008 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmhg  
 T= 423 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 24.071 ml/min  
 mmol/cm  
 K= 0.00001 ml

Texp= 150 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

mmHg ml/K mmol

Material: Compósito

Reactivo: Benceno

| PICO 1 |       |         |           |           |            |         | PICO 2 |       |         |           |           |            |         | PICO 3 |       |         |           |           |            |         |
|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1      | 17.3  | 0.765   | 105.760   | 0.056     | 0.0001     | 2.986   | 1      | 17.4  | 0.729   | 100.783   | 0.056     | 0.0001     | 3.189   | 1      | 17.4  | 0.867   | 119.862   | 0.056     | 0.0001     | 2.648   |
| 2      | 16    | 0.736   | 101.751   | 0.053     | 0.0001     | 2.762   | 2      | 16    | 0.701   | 96.912    | 0.054     | 0.0001     | 2.932   | 2      | 16    | 0.831   | 114.885   | 0.053     | 0.0001     | 2.435   |
| 3      | 15    | 0.713   | 98.571    | 0.052     | 0.0001     | 2.589   | 3      | 15    | 0.678   | 93.733    | 0.052     | 0.0001     | 2.749   | 3      | 15    | 0.806   | 111.429   | 0.052     | 0.0001     | 2.283   |
| 4      | 14    | 0.689   | 95.253    | 0.050     | 0.0001     | 2.416   | 4      | 14    | 0.656   | 90.691    | 0.051     | 0.0001     | 2.566   | 4      | 14    | 0.781   | 107.972   | 0.050     | 0.0001     | 2.131   |
| 5      | 13    | 0.664   | 91.797    | 0.048     | 0.0001     | 2.244   | 5      | 13    | 0.632   | 87.373    | 0.049     | 0.0001     | 2.383   | 5      | 13    | 0.752   | 103.963   | 0.048     | 0.0001     | 1.979   |
| 6      | 12    | 0.637   | 88.065    | 0.046     | 0.0001     | 2.071   | 6      | 12    | 0.606   | 83.779    | 0.047     | 0.0001     | 2.199   | 6      | 12    | 0.722   | 99.816    | 0.046     | 0.0001     | 1.827   |
| 7      | 11    | 0.609   | 84.194    | 0.044     | 0.0001     | 1.899   | 7      | 11    | 0.581   | 80.323    | 0.045     | 0.0001     | 2.016   | 7      | 11    | 0.692   | 95.668    | 0.044     | 0.0001     | 1.674   |
| 8      | 10    | 0.58    | 80.184    | 0.042     | 0.0000     | 1.726   | 8      | 10    | 0.553   | 76.452    | 0.043     | 0.0001     | 1.833   | 8      | 10    | 0.658   | 90.968    | 0.042     | 0.0000     | 1.522   |
| 9      | 9     | 0.55    | 76.037    | 0.040     | 0.0000     | 1.553   | 9      | 9     | 0.525   | 72.581    | 0.040     | 0.0000     | 1.650   | 9      | 9     | 0.623   | 86.129    | 0.040     | 0.0000     | 1.370   |
| 10     | 8     | 0.518   | 71.613    | 0.038     | 0.0000     | 1.381   | 10     | 8     | 0.494   | 68.295    | 0.038     | 0.0000     | 1.466   | 10     | 8     | 0.586   | 81.014    | 0.038     | 0.0000     | 1.218   |
| 11     | 7     | 0.482   | 66.636    | 0.035     | 0.0000     | 1.208   | 11     | 7     | 0.46    | 63.594    | 0.035     | 0.0000     | 1.283   | 11     | 7     | 0.547   | 75.622    | 0.035     | 0.0000     | 1.065   |
| 12     | 6     | 0.441   | 60.968    | 0.032     | 0.0000     | 1.036   | 12     | 6     | 0.423   | 58.479    | 0.033     | 0.0000     | 1.100   | 12     | 6     | 0.503   | 69.539    | 0.032     | 0.0000     | 0.913   |
| 13     | 5     | 0.394   | 54.470    | 0.029     | 0.0000     | 0.863   | 13     | 5     | 0.382   | 52.811    | 0.029     | 0.0000     | 0.916   | 13     | 5     | 0.454   | 62.765    | 0.029     | 0.0000     | 0.761   |
| 14     | 4     | 0.344   | 47.558    | 0.025     | 0.0000     | 0.690   | 14     | 4     | 0.334   | 46.175    | 0.026     | 0.0000     | 0.733   | 14     | 4     | 0.397   | 54.885    | 0.025     | 0.0000     | 0.609   |
| 15     | 3     | 0.286   | 39.539    | 0.021     | 0.0000     | 0.518   | 15     | 3     | 0.278   | 38.433    | 0.021     | 0.0000     | 0.550   | 15     | 3     | 0.333   | 46.037    | 0.021     | 0.0000     | 0.457   |
| 16     | 2     | 0.216   | 29.862    | 0.016     | 0.0000     | 0.345   | 16     | 2     | 0.215   | 29.724    | 0.017     | 0.0000     | 0.367   | 16     | 2     | 0.255   | 35.253    | 0.016     | 0.0000     | 0.304   |
| 17     | 1     | 0.132   | 18.249    | 0.010     | 0.0000     | 0.173   | 17     | 1     | 0.131   | 18.111    | 0.010     | 0.0000     | 0.183   | 17     | 1     | 0.159   | 21.982    | 0.010     | 0.0000     | 0.152   |

|   |  |   |  |   |  |
|---|--|---|--|---|--|
| Peso<br>Pico= 0.515 g   | Texp= 300 °C                                     | Peso<br>Pico= 0.485 g   | Texp= 260 °C                                     | Peso<br>Pico= 0.584 g   | Texp= 225 °C                                     |
| Área<br>Pico= 71.198 cm2  | Tconv= 273 K                                     | Área<br>Pico= 67.051 cm2  | Tconv= 273 K                                     | Área<br>Pico= 80.737 cm2  | Tconv= 273 K                                     |
| Peso<br>Área= 0.0651 g<br>Área = 9 cm2<br>ma= 0.011 mmol  | To= 298 K<br>Wexp= 30 ml/min<br>Wcorta= 1 cm/min | Peso<br>Área= 0.0651 g<br>Área = 9 cm2<br>ma= 0.011 mmol  | To= 298 K<br>Wexp= 30 ml/min<br>Wcorta= 1 cm/min | Peso<br>Área= 0.0651 g<br>Área = 9 cm2<br>ma= 0.011 mmol  | To= 298 K<br>Wexp= 30 ml/min<br>Wcorta= 1 cm/min |
| Gramos columna= 0.3 g   | R= 62.32 mmHg ml/K mmol                          | Gramos columna= 0.3 g   | R= 62.32 mmHg ml/K mmol                          | Gramos columna= 0.3 g   | R= 62.32 mmHg ml/K mmol                          |
| Po= 571 mmhg<br>T= 573 K<br>Pprom= 1010.146 mmHg<br>Whe<br>corr= 32.607 ml/min<br>mmol/cm<br>ml<br>K= 0.00000 |  | Po= 571 mmhg<br>T= 533 K<br>Pprom= 1010.146 mmHg<br>Whe<br>corr= 30.331 ml/min<br>mmol/cm<br>ml<br>K= 0.00001 |  | Po= 571 mmhg<br>T= 498 K<br>Pprom= 1010.146 mmHg<br>Whe<br>corr= 28.339 ml/min<br>mmol/cm<br>ml<br>K= 0.00000 |  |

Material: Compósito

Reactivo: Benceno

| PICO 4 |       |         |           |           |            |         | PICO 5 |       |         |           |           |            |         |
|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1      | 17.3  | 0.916   | 126.636   | 0.058     | 0.0001     | 2.624   | 1      | 17.1  | 1.174   | 162.304   | 0.062     | 0.0001     | 2.135   |
| 2      | 16    | 0.881   | 121.797   | 0.056     | 0.0001     | 2.427   | 2      | 16    | 1.136   | 157.051   | 0.060     | 0.0001     | 1.998   |
| 3      | 15    | 0.854   | 118.065   | 0.055     | 0.0001     | 2.275   | 3      | 15    | 1.096   | 151.521   | 0.058     | 0.0001     | 1.873   |
| 4      | 14    | 0.823   | 113.779   | 0.053     | 0.0001     | 2.124   | 4      | 14    | 1.056   | 145.991   | 0.055     | 0.0001     | 1.748   |
| 5      | 13    | 0.793   | 109.631   | 0.051     | 0.0001     | 1.972   | 5      | 13    | 1.013   | 140.046   | 0.053     | 0.0001     | 1.623   |
| 6      | 12    | 0.76    | 105.069   | 0.049     | 0.0001     | 1.820   | 6      | 12    | 0.969   | 133.963   | 0.051     | 0.0001     | 1.498   |
| 7      | 11    | 0.726   | 100.369   | 0.046     | 0.0001     | 1.669   | 7      | 11    | 0.925   | 127.880   | 0.049     | 0.0001     | 1.373   |
| 8      | 10    | 0.69    | 95.392    | 0.044     | 0.0001     | 1.517   | 8      | 10    | 0.876   | 121.106   | 0.046     | 0.0000     | 1.248   |
| 9      | 9     | 0.652   | 90.138    | 0.042     | 0.0000     | 1.365   | 9      | 9     | 0.825   | 114.055   | 0.043     | 0.0000     | 1.124   |
| 10     | 8     | 0.611   | 84.470    | 0.039     | 0.0000     | 1.214   | 10     | 8     | 0.771   | 106.590   | 0.041     | 0.0000     | 0.999   |
| 11     | 7     | 0.565   | 78.111    | 0.036     | 0.0000     | 1.062   | 11     | 7     | 0.712   | 98.433    | 0.037     | 0.0000     | 0.874   |
| 12     | 6     | 0.516   | 71.336    | 0.033     | 0.0000     | 0.910   | 12     | 6     | 0.65    | 89.862    | 0.034     | 0.0000     | 0.749   |
| 13     | 5     | 0.462   | 63.871    | 0.029     | 0.0000     | 0.758   | 13     | 5     | 0.579   | 80.046    | 0.030     | 0.0000     | 0.624   |
| 14     | 4     | 0.401   | 55.438    | 0.026     | 0.0000     | 0.607   | 14     | 4     | 0.501   | 69.263    | 0.026     | 0.0000     | 0.499   |
| 15     | 3     | 0.333   | 46.037    | 0.021     | 0.0000     | 0.455   | 15     | 3     | 0.412   | 56.959    | 0.022     | 0.0000     | 0.375   |
| 16     | 2     | 0.255   | 35.253    | 0.016     | 0.0000     | 0.303   | 16     | 2     | 0.309   | 42.719    | 0.016     | 0.0000     | 0.250   |
| 17     | 1     | 0.155   | 21.429    | 0.010     | 0.0000     | 0.152   | 17     | 1     | 0.181   | 25.023    | 0.010     | 0.0000     | 0.125   |

Peso Pico= 0.586 g  
 Área Pico= 81.014 cm2  
 Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm2  
 ma= 0.011 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmhg  
 T= 458 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 26.063 ml/min  
 K= 0.00001 ml

Texp= 185 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Peso Pico= 0.712 g  
 Área Pico= 98.433 cm2  
 Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm2  
 ma= 0.011 mmol  
 Gramos columna= 0.3  
 Po= 571 mmhg  
 T= 423 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 24.071 ml/min  
 K= 0.00000 ml

Texp= 150 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Material: Compósito

Reactivo: Tolueno

| PICO 6 |       |         |           |           |            |         | PICO 7 |       |         |           |           |            |         | PICO 8 |       |         |           |           |            |         |
|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1      | 17.5  | 0.667   | 92.212    | 0.051     | 0.0001     | 3.150   | 1      | 17.5  | 0.745   | 102.995   | 0.048     | 0.0001     | 2.667   | 1      | 17.4  | 0.922   | 127.465   | 0.050     | 0.0001     | 2.248   |
| 2      | 16    | 0.634   | 87.650    | 0.048     | 0.0001     | 2.880   | 2      | 16    | 0.714   | 98.710    | 0.046     | 0.0001     | 2.439   | 2      | 16    | 0.882   | 121.935   | 0.048     | 0.0001     | 2.067   |
| 3      | 15    | 0.613   | 84.747    | 0.046     | 0.0001     | 2.700   | 3      | 15    | 0.691   | 95.530    | 0.044     | 0.0001     | 2.286   | 3      | 15    | 0.851   | 117.650   | 0.046     | 0.0001     | 1.938   |
| 4      | 14    | 0.59    | 81.567    | 0.045     | 0.0001     | 2.520   | 4      | 14    | 0.667   | 92.212    | 0.043     | 0.0001     | 2.134   | 4      | 14    | 0.82    | 113.364   | 0.045     | 0.0001     | 1.808   |
| 5      | 13    | 0.582   | 80.461    | 0.044     | 0.0001     | 2.340   | 5      | 13    | 0.642   | 88.756    | 0.041     | 0.0001     | 1.981   | 5      | 13    | 0.788   | 108.940   | 0.043     | 0.0001     | 1.679   |
| 6      | 12    | 0.545   | 75.346    | 0.041     | 0.0001     | 2.160   | 6      | 12    | 0.617   | 85.300    | 0.040     | 0.0001     | 1.829   | 6      | 12    | 0.754   | 104.240   | 0.041     | 0.0000     | 1.550   |
| 7      | 11    | 0.521   | 72.028    | 0.039     | 0.0001     | 1.980   | 7      | 11    | 0.59    | 81.567    | 0.038     | 0.0001     | 1.677   | 7      | 11    | 0.72    | 99.539    | 0.039     | 0.0000     | 1.421   |
| 8      | 10    | 0.496   | 68.571    | 0.038     | 0.0001     | 1.800   | 8      | 10    | 0.563   | 77.834    | 0.036     | 0.0000     | 1.524   | 8      | 10    | 0.684   | 94.562    | 0.037     | 0.0000     | 1.292   |
| 9      | 9     | 0.468   | 64.700    | 0.035     | 0.0000     | 1.620   | 9      | 9     | 0.533   | 73.687    | 0.034     | 0.0000     | 1.372   | 9      | 9     | 0.646   | 89.309    | 0.035     | 0.0000     | 1.163   |
| 10     | 8     | 0.41    | 56.682    | 0.031     | 0.0000     | 1.440   | 10     | 8     | 0.502   | 69.401    | 0.032     | 0.0000     | 1.219   | 10     | 8     | 0.604   | 83.502    | 0.033     | 0.0000     | 1.033   |
| 11     | 7     | 0.376   | 51.982    | 0.028     | 0.0000     | 1.260   | 11     | 7     | 0.468   | 64.700    | 0.030     | 0.0000     | 1.067   | 11     | 7     | 0.562   | 77.696    | 0.031     | 0.0000     | 0.904   |
| 12     | 6     | 0.339   | 46.866    | 0.026     | 0.0000     | 1.080   | 12     | 6     | 0.427   | 59.032    | 0.027     | 0.0000     | 0.914   | 12     | 6     | 0.516   | 71.336    | 0.028     | 0.0000     | 0.775   |
| 13     | 5     | 0.296   | 40.922    | 0.022     | 0.0000     | 0.900   | 13     | 5     | 0.386   | 53.364    | 0.025     | 0.0000     | 0.762   | 13     | 5     | 0.465   | 64.286    | 0.025     | 0.0000     | 0.646   |
| 14     | 4     | 0.247   | 34.147    | 0.019     | 0.0000     | 0.720   | 14     | 4     | 0.339   | 46.866    | 0.022     | 0.0000     | 0.610   | 14     | 4     | 0.406   | 56.129    | 0.022     | 0.0000     | 0.517   |
| 15     | 3     | 0.189   | 26.129    | 0.014     | 0.0000     | 0.540   | 15     | 3     | 0.284   | 39.263    | 0.018     | 0.0000     | 0.457   | 15     | 3     | 0.338   | 46.728    | 0.018     | 0.0000     | 0.388   |
| 16     | 2     | 0.153   | 21.152    | 0.012     | 0.0000     | 0.360   | 16     | 2     | 0.221   | 30.553    | 0.014     | 0.0000     | 0.305   | 16     | 2     | 0.259   | 35.806    | 0.014     | 0.0000     | 0.258   |
| 17     | 1     | 0.12    | 16.590    | 0.009     | 0.0000     | 0.180   | 17     | 1     | 0.137   | 18.940    | 0.009     | 0.0000     | 0.152   | 17     | 1     | 0.159   | 21.982    | 0.009     | 0.0000     | 0.129   |

Peso Pico= 0.414 g  
 Área Pico= 57.235 cm2  
 Peso Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm2  
 ma= 0.009 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmhg  
 T= 573 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 32.607 ml/min  
 K= 0.00001 mmol/cm ml

Texp= 300 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Peso Pico= 0.489 g  
 Área Pico= 67.604 cm2  
 Peso Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm2  
 ma= 0.009 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmhg  
 T= 533 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 30.331 ml/min  
 K= 0.00000 mmol/cm ml

Texp= 260 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Peso Pico= 0.577 g  
 Área Pico= 79.770 cm2  
 Peso Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm2  
 ma= 0.009 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmhg  
 T= 498 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 28.339 ml/min  
 K= 0.00000 mmol/cm ml

Texp= 225 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

62.32 mmHg ml/K mmol

Material: Compósito

Reactivo: Tolueno

| PICO 9 |       |         |           |           |            |         | PICO 10 |       |         |           |           |            |         |
|--------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.    | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1      | 17.3  | 1.106   | 152.903   | 0.054     | 0.0001     | 1.990   | 1       | 17.6  | 1.615   | 223.272   | 0.061     | 0.0001     | 1.580   |
| 2      | 16    | 1.062   | 146.820   | 0.051     | 0.0001     | 1.840   | 2       | 16    | 1.53    | 211.521   | 0.058     | 0.0001     | 1.437   |
| 3      | 15    | 1.025   | 141.705   | 0.050     | 0.0001     | 1.725   | 3       | 15    | 1.471   | 203.364   | 0.056     | 0.0001     | 1.347   |
| 4      | 14    | 0.987   | 136.452   | 0.048     | 0.0001     | 1.610   | 4       | 14    | 1.412   | 195.207   | 0.053     | 0.0000     | 1.257   |
| 5      | 13    | 0.947   | 130.922   | 0.046     | 0.0001     | 1.495   | 5       | 13    | 1.349   | 186.498   | 0.051     | 0.0000     | 1.167   |
| 6      | 12    | 0.905   | 125.115   | 0.044     | 0.0000     | 1.380   | 6       | 12    | 1.282   | 177.235   | 0.048     | 0.0000     | 1.078   |
| 7      | 11    | 0.86    | 118.894   | 0.042     | 0.0000     | 1.265   | 7       | 11    | 1.213   | 167.696   | 0.046     | 0.0000     | 0.988   |
| 8      | 10    | 0.815   | 112.673   | 0.039     | 0.0000     | 1.150   | 8       | 10    | 1.141   | 157.742   | 0.043     | 0.0000     | 0.898   |
| 9      | 9     | 0.764   | 105.622   | 0.037     | 0.0000     | 1.035   | 9       | 9     | 1.066   | 147.373   | 0.040     | 0.0000     | 0.808   |
| 10     | 8     | 0.714   | 98.710    | 0.035     | 0.0000     | 0.920   | 10      | 8     | 0.985   | 136.175   | 0.037     | 0.0000     | 0.718   |
| 11     | 7     | 0.661   | 91.382    | 0.032     | 0.0000     | 0.805   | 11      | 7     | 0.899   | 124.286   | 0.034     | 0.0000     | 0.629   |
| 12     | 6     | 0.602   | 83.226    | 0.029     | 0.0000     | 0.690   | 12      | 6     | 0.809   | 111.843   | 0.031     | 0.0000     | 0.539   |
| 13     | 5     | 0.537   | 74.240    | 0.026     | 0.0000     | 0.575   | 13      | 5     | 0.711   | 98.295    | 0.027     | 0.0000     | 0.449   |
| 14     | 4     | 0.464   | 64.147    | 0.022     | 0.0000     | 0.460   | 14      | 4     | 0.601   | 83.088    | 0.023     | 0.0000     | 0.359   |
| 15     | 3     | 0.386   | 53.364    | 0.019     | 0.0000     | 0.345   | 15      | 3     | 0.482   | 66.636    | 0.018     | 0.0000     | 0.269   |
| 16     | 2     | 0.289   | 39.954    | 0.014     | 0.0000     | 0.230   | 16      | 2     | 0.343   | 47.419    | 0.013     | 0.0000     | 0.180   |
| 17     | 1     | 0.167   | 23.088    | 0.008     | 0.0000     | 0.115   | 17      | 1     | 0.165   | 22.811    | 0.006     | 0.0000     | 0.090   |

Peso Pico= 0.648 g  
 Área Pico= 89.585 cm2  
 Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm2  
 ma= 0.009 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmhg  
 T= 458 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 26.063 ml/min  
 mmol/cm ml  
 K= 0.00000 ml

Texp= 185 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Peso Pico= 0.83 g  
 Área Pico= 114.747 cm2  
 Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm2  
 ma= 0.009 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmhg  
 T= 423 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 24.071 ml/min  
 mmol/cm ml  
 K= 0.00000 ml

Texp= 150 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

mmHg ml/K mmol

Material: Compósito

Reactivo: p-Xileno

| PICO 11 |       |         |           |           |            |         | PICO 12 |       |         |           |           |            |         | PICO 13 |       |         |           |           |            |         |
|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1       | 17.3  | 0.786   | 108.664   | 0.042     | 0.0001     | 2.194   | 1       | 17.5  | 0.89    | 123.041   | 0.043     | 0.0001     | 1.989   | 1       | 17.4  | 1.096   | 151.521   | 0.048     | 0.0001     | 1.814   |
| 2       | 16    | 0.755   | 104.378   | 0.040     | 0.0001     | 2.029   | 2       | 16    | 0.85    | 117.512   | 0.041     | 0.0001     | 1.818   | 2       | 16    | 1.051   | 145.300   | 0.046     | 0.0001     | 1.668   |
| 3       | 15    | 0.73    | 100.922   | 0.039     | 0.0001     | 1.902   | 3       | 15    | 0.822   | 113.641   | 0.039     | 0.0001     | 1.705   | 3       | 15    | 1.014   | 140.184   | 0.044     | 0.0001     | 1.564   |
| 4       | 14    | 0.704   | 97.327    | 0.038     | 0.0000     | 1.775   | 4       | 14    | 0.792   | 109.493   | 0.038     | 0.0000     | 1.591   | 4       | 14    | 0.977   | 135.069   | 0.043     | 0.0000     | 1.460   |
| 5       | 13    | 0.675   | 93.318    | 0.036     | 0.0000     | 1.649   | 5       | 13    | 0.761   | 105.207   | 0.036     | 0.0000     | 1.477   | 5       | 13    | 0.939   | 129.816   | 0.041     | 0.0000     | 1.356   |
| 6       | 12    | 0.647   | 89.447    | 0.035     | 0.0000     | 1.522   | 6       | 12    | 0.728   | 100.645   | 0.035     | 0.0000     | 1.364   | 6       | 12    | 0.899   | 124.286   | 0.039     | 0.0000     | 1.251   |
| 7       | 11    | 0.615   | 85.023    | 0.033     | 0.0000     | 1.395   | 7       | 11    | 0.695   | 96.083    | 0.033     | 0.0000     | 1.250   | 7       | 11    | 0.856   | 118.341   | 0.038     | 0.0000     | 1.147   |
| 8       | 10    | 0.584   | 80.737    | 0.031     | 0.0000     | 1.268   | 8       | 10    | 0.661   | 91.382    | 0.032     | 0.0000     | 1.136   | 8       | 10    | 0.812   | 112.258   | 0.036     | 0.0000     | 1.043   |
| 9       | 9     | 0.551   | 76.175    | 0.029     | 0.0000     | 1.141   | 9       | 9     | 0.623   | 86.129    | 0.030     | 0.0000     | 1.023   | 9       | 9     | 0.762   | 105.346   | 0.033     | 0.0000     | 0.938   |
| 10      | 8     | 0.517   | 71.475    | 0.028     | 0.0000     | 1.014   | 10      | 8     | 0.584   | 80.737    | 0.028     | 0.0000     | 0.909   | 10      | 8     | 0.711   | 98.295    | 0.031     | 0.0000     | 0.834   |
| 11      | 7     | 0.482   | 66.636    | 0.026     | 0.0000     | 0.888   | 11      | 7     | 0.542   | 74.931    | 0.026     | 0.0000     | 0.795   | 11      | 7     | 0.656   | 90.691    | 0.029     | 0.0000     | 0.730   |
| 12      | 6     | 0.444   | 61.382    | 0.024     | 0.0000     | 0.761   | 12      | 6     | 0.497   | 68.710    | 0.024     | 0.0000     | 0.682   | 12      | 6     | 0.597   | 82.535    | 0.026     | 0.0000     | 0.626   |
| 13      | 5     | 0.401   | 55.438    | 0.021     | 0.0000     | 0.634   | 13      | 5     | 0.448   | 61.935    | 0.021     | 0.0000     | 0.568   | 13      | 5     | 0.534   | 73.825    | 0.023     | 0.0000     | 0.521   |
| 14      | 4     | 0.354   | 48.940    | 0.019     | 0.0000     | 0.507   | 14      | 4     | 0.393   | 54.332    | 0.019     | 0.0000     | 0.455   | 14      | 4     | 0.462   | 63.871    | 0.020     | 0.0000     | 0.417   |
| 15      | 3     | 0.302   | 41.751    | 0.016     | 0.0000     | 0.380   | 15      | 3     | 0.33    | 45.622    | 0.016     | 0.0000     | 0.341   | 15      | 3     | 0.384   | 53.088    | 0.017     | 0.0000     | 0.313   |
| 16      | 2     | 0.234   | 32.350    | 0.012     | 0.0000     | 0.254   | 16      | 2     | 0.255   | 35.253    | 0.012     | 0.0000     | 0.227   | 16      | 2     | 0.284   | 39.263    | 0.012     | 0.0000     | 0.209   |
| 17      | 1     | 0.145   | 20.046    | 0.008     | 0.0000     | 0.127   | 17      | 1     | 0.156   | 21.567    | 0.007     | 0.0000     | 0.114   | 17      | 1     | 0.163   | 22.535    | 0.007     | 0.0000     | 0.104   |

|                 |          |        |
|-----------------|----------|--------|
| Peso            | 0.509    | g      |
| Pico=           | 70.369   | cm2    |
| Área            | 0.0651   | g      |
| Pico=           | 9        | cm2    |
| Área=           | 0.008    | mmol   |
| ma=             | 0.3      | g      |
| Gramos columna= | 0.3      | g      |
| Po=             | 571      | mmHg   |
| T=              | 573      | K      |
| Pprom=          | 1010.146 | mmHg   |
| Whe             | 32.607   | ml/min |
| corr=           | mmol/cm  | ml     |
| K=              | 0.00000  | ml     |

|         |       |                |
|---------|-------|----------------|
| Temp=   | 300   | °C             |
| Tconv=  | 273   | K              |
| To=     | 298   | K              |
| Wexp=   | 30    | ml/min         |
| Wcorta= | 1     | cm/min         |
| R=      | 62.32 | mmHg ml/K mmol |

|                 |          |        |
|-----------------|----------|--------|
| Peso            | 0.568    | g      |
| Pico=           | 78.525   | cm2    |
| Área            | 0.0651   | g      |
| Pico=           | 9        | cm2    |
| Área=           | 0.008    | mmol   |
| ma=             | 0.3      | g      |
| Gramos columna= | 0.3      | g      |
| Po=             | 571      | mmHg   |
| T=              | 533      | K      |
| Pprom=          | 1010.146 | mmHg   |
| Whe             | 30.331   | ml/min |
| corr=           | mmol/cm  | ml     |
| K=              | 0.00000  | ml     |

|         |       |                |
|---------|-------|----------------|
| Temp=   | 260   | °C             |
| Tconv=  | 273   | K              |
| To=     | 298   | K              |
| Wexp=   | 30    | ml/min         |
| Wcorta= | 1     | cm/min         |
| R=      | 62.32 | mmHg ml/K mmol |

|                 |          |        |
|-----------------|----------|--------|
| Peso            | 0.619    | g      |
| Pico=           | 85.576   | cm2    |
| Área            | 0.0651   | g      |
| Pico=           | 9        | cm2    |
| Área=           | 0.008    | mmol   |
| ma=             | 0.3      | g      |
| Gramos columna= | 0.3      | g      |
| Po=             | 571      | mmHg   |
| T=              | 498      | K      |
| Pprom=          | 1010.146 | mmHg   |
| Whe             | 28.339   | ml/min |
| corr=           | mmol/cm  | ml     |
| K=              | 0.00000  | ml     |

|         |       |                |
|---------|-------|----------------|
| Temp=   | 225   | °C             |
| Tconv=  | 273   | K              |
| To=     | 298   | K              |
| Wexp=   | 30    | ml/min         |
| Wcorta= | 1     | cm/min         |
| R=      | 62.32 | mmHg ml/K mmol |

|         |       |                |
|---------|-------|----------------|
| Temp=   | 225   | °C             |
| Tconv=  | 273   | K              |
| To=     | 298   | K              |
| Wexp=   | 30    | ml/min         |
| Wcorta= | 1     | cm/min         |
| R=      | 62.32 | mmHg ml/K mmol |

Material: Compósito

Reactivo: p-Xileno

| PICO 14 |       |         |           |           |            |         | PICO 15 |       |         |           |           |            |         |
|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1       | 17.9  | 1.35    | 186.636   | 0.050     | 0.0001     | 1.572   | 1       | 17.5  | 1.564   | 216.221   | 0.093     | 0.0001     | 2.483   |
| 2       | 16    | 1.266   | 175.023   | 0.047     | 0.0000     | 1.405   | 2       | 16    | 1.462   | 202.120   | 0.087     | 0.0001     | 2.270   |
| 3       | 15    | 1.22    | 168.664   | 0.045     | 0.0000     | 1.317   | 3       | 15    | 1.392   | 192.442   | 0.083     | 0.0001     | 2.128   |
| 4       | 14    | 1.172   | 162.028   | 0.043     | 0.0000     | 1.229   | 4       | 14    | 1.316   | 181.935   | 0.079     | 0.0001     | 1.986   |
| 5       | 13    | 1.12    | 154.839   | 0.041     | 0.0000     | 1.142   | 5       | 13    | 1.244   | 171.982   | 0.074     | 0.0001     | 1.844   |
| 6       | 12    | 1.066   | 147.373   | 0.039     | 0.0000     | 1.054   | 6       | 12    | 1.174   | 162.304   | 0.070     | 0.0001     | 1.702   |
| 7       | 11    | 1.009   | 139.493   | 0.037     | 0.0000     | 0.966   | 7       | 11    | 1.098   | 151.797   | 0.066     | 0.0001     | 1.560   |
| 8       | 10    | 0.949   | 131.198   | 0.035     | 0.0000     | 0.878   | 8       | 10    | 1.023   | 141.429   | 0.061     | 0.0001     | 1.419   |
| 9       | 9     | 0.889   | 122.903   | 0.033     | 0.0000     | 0.790   | 9       | 9     | 0.947   | 130.922   | 0.057     | 0.0000     | 1.277   |
| 10      | 8     | 0.826   | 114.194   | 0.031     | 0.0000     | 0.703   | 10      | 8     | 0.866   | 119.724   | 0.052     | 0.0000     | 1.135   |
| 11      | 7     | 0.758   | 104.793   | 0.028     | 0.0000     | 0.615   | 11      | 7     | 0.785   | 108.525   | 0.047     | 0.0000     | 0.993   |
| 12      | 6     | 0.685   | 94.700    | 0.025     | 0.0000     | 0.527   | 12      | 6     | 0.703   | 97.189    | 0.042     | 0.0000     | 0.851   |
| 13      | 5     | 0.605   | 83.641    | 0.022     | 0.0000     | 0.439   | 13      | 5     | 0.616   | 85.161    | 0.037     | 0.0000     | 0.709   |
| 14      | 4     | 0.521   | 72.028    | 0.019     | 0.0000     | 0.351   | 14      | 4     | 0.523   | 72.304    | 0.031     | 0.0000     | 0.567   |
| 15      | 3     | 0.423   | 58.479    | 0.016     | 0.0000     | 0.263   | 15      | 3     | 0.426   | 58.894    | 0.025     | 0.0000     | 0.426   |
| 16      | 2     | 0.313   | 43.272    | 0.012     | 0.0000     | 0.176   | 16      | 2     | 0.318   | 43.963    | 0.019     | 0.0000     | 0.284   |
| 17      | 1     | 0.174   | 24.055    | 0.006     | 0.0000     | 0.088   | 17      | 1     | 0.185   | 25.576    | 0.011     | 0.0000     | 0.142   |

Peso Pico= 0.735 g  
 Área Pico= 101.613 cm<sup>2</sup>  
 Peso Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm<sup>2</sup>  
 ma= 0.008 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmHg  
 T= 458 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 26.063 ml/min  
 mmol/cm ml  
 K= 0.00000 ml

Texp= 185 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Peso Pico= 0.455 g  
 Área Pico= 62.903 cm<sup>2</sup>  
 Peso Área= 0.0651 g  
 Área = 9 cm<sup>2</sup>  
 ma= 0.008 mmol  
 Gramos columna= 0.3 g  
 Po= 571 mmHg  
 T= 423 K  
 Pprom= 1010.146 mmHg  
 Whe corr= 24.071 ml/min  
 mmol/cm ml  
 K= 0.00001 ml

Texp= 150 °C  
 Tconv= 273 K  
 To= 298 K  
 Wexp= 30 ml/min  
 Wcorta= 1 cm/min  
 R= 62.32 mmHg ml/K mmol

Material: Compósito

Reactivo: Etilbenceno

| PICO 16 |       |         |           |           |            |         | PICO 17 |       |         |           |           |            |         | PICO 18 |       |         |           |           |            |         |
|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1       | 17.3  | 0.707   | 97.742    | 0.045     | 0.0001     | 2.612   | 1       | 17.4  | 0.742   | 102.581   | 0.047     | 0.0001     | 2.634   | 1       | 17.4  | 0.935   | 129.263   | 0.046     | 0.0001     | 2.030   |
| 2       | 16    | 0.677   | 93.594    | 0.043     | 0.0001     | 2.416   | 2       | 16    | 0.708   | 97.880    | 0.045     | 0.0001     | 2.422   | 2       | 16    | 0.893   | 123.456   | 0.044     | 0.0001     | 1.867   |
| 3       | 15    | 0.654   | 90.415    | 0.042     | 0.0001     | 2.265   | 3       | 15    | 0.683   | 94.424    | 0.044     | 0.0001     | 2.270   | 3       | 15    | 0.861   | 119.032   | 0.042     | 0.0001     | 1.750   |
| 4       | 14    | 0.629   | 86.959    | 0.040     | 0.0001     | 2.114   | 4       | 14    | 0.657   | 90.829    | 0.042     | 0.0001     | 2.119   | 4       | 14    | 0.827   | 114.332   | 0.041     | 0.0001     | 1.633   |
| 5       | 13    | 0.603   | 83.364    | 0.038     | 0.0001     | 1.963   | 5       | 13    | 0.63    | 87.097    | 0.040     | 0.0001     | 1.968   | 5       | 13    | 0.792   | 109.493   | 0.039     | 0.0000     | 1.517   |
| 6       | 12    | 0.576   | 79.631    | 0.037     | 0.0001     | 1.812   | 6       | 12    | 0.601   | 83.088    | 0.038     | 0.0001     | 1.816   | 6       | 12    | 0.757   | 104.654   | 0.037     | 0.0000     | 1.400   |
| 7       | 11    | 0.55    | 76.037    | 0.035     | 0.0000     | 1.661   | 7       | 11    | 0.572   | 79.078    | 0.036     | 0.0001     | 1.665   | 7       | 11    | 0.72    | 99.539    | 0.035     | 0.0000     | 1.283   |
| 8       | 10    | 0.521   | 72.028    | 0.033     | 0.0000     | 1.510   | 8       | 10    | 0.542   | 74.931    | 0.035     | 0.0000     | 1.514   | 8       | 10    | 0.679   | 93.871    | 0.033     | 0.0000     | 1.167   |
| 9       | 9     | 0.492   | 68.018    | 0.031     | 0.0000     | 1.359   | 9       | 9     | 0.509   | 70.369    | 0.032     | 0.0000     | 1.362   | 9       | 9     | 0.641   | 88.618    | 0.031     | 0.0000     | 1.050   |
| 10      | 8     | 0.461   | 63.733    | 0.029     | 0.0000     | 1.208   | 10      | 8     | 0.475   | 65.668    | 0.030     | 0.0000     | 1.211   | 10      | 8     | 0.598   | 82.673    | 0.029     | 0.0000     | 0.933   |
| 11      | 7     | 0.426   | 58.894    | 0.027     | 0.0000     | 1.057   | 11      | 7     | 0.441   | 60.968    | 0.028     | 0.0000     | 1.060   | 11      | 7     | 0.552   | 76.313    | 0.027     | 0.0000     | 0.817   |
| 12      | 6     | 0.392   | 54.194    | 0.025     | 0.0000     | 0.906   | 12      | 6     | 0.404   | 55.853    | 0.026     | 0.0000     | 0.908   | 12      | 6     | 0.504   | 69.677    | 0.025     | 0.0000     | 0.700   |
| 13      | 5     | 0.354   | 48.940    | 0.022     | 0.0000     | 0.755   | 13      | 5     | 0.363   | 50.184    | 0.023     | 0.0000     | 0.757   | 13      | 5     | 0.451   | 62.350    | 0.022     | 0.0000     | 0.583   |
| 14      | 4     | 0.313   | 43.272    | 0.020     | 0.0000     | 0.604   | 14      | 4     | 0.318   | 43.963    | 0.020     | 0.0000     | 0.605   | 14      | 4     | 0.394   | 54.470    | 0.019     | 0.0000     | 0.467   |
| 15      | 3     | 0.267   | 36.912    | 0.017     | 0.0000     | 0.453   | 15      | 3     | 0.271   | 37.465    | 0.017     | 0.0000     | 0.454   | 15      | 3     | 0.329   | 45.484    | 0.016     | 0.0000     | 0.350   |
| 16      | 2     | 0.211   | 29.171    | 0.013     | 0.0000     | 0.302   | 16      | 2     | 0.214   | 29.585    | 0.014     | 0.0000     | 0.303   | 16      | 2     | 0.251   | 34.700    | 0.012     | 0.0000     | 0.233   |
| 17      | 1     | 0.138   | 19.078    | 0.009     | 0.0000     | 0.151   | 17      | 1     | 0.136   | 18.802    | 0.009     | 0.0000     | 0.151   | 17      | 1     | 0.154   | 21.290    | 0.008     | 0.0000     | 0.117   |

|                 |          |        |
|-----------------|----------|--------|
| Peso            | 0.428    | g      |
| Pico=           | 59.171   | cm2    |
| Área            | 0.0651   | g      |
| Pico=           | 9        | cm2    |
| Área =          | 0.008    | mmol   |
| ma=             | 0.3      | g      |
| Gramos columna= | 571      | mmhg   |
| Po=             | 573      | K      |
| T=              | 1010.146 | mmHg   |
| Pprom=          | 32.607   | ml/min |
| Whe             | mmol/cm  |        |
| corr=           | 0.00000  | ml     |
| K=              |          |        |

|         |       |                |
|---------|-------|----------------|
| Texp=   | 300   | °C             |
| Tconv=  | 273   | K              |
| To=     | 298   | K              |
| Wexp=   | 30    | ml/min         |
| Wcorta= | 1     | cm/min         |
| R=      | 62.32 | mmHg ml/K mmol |

|                 |          |        |
|-----------------|----------|--------|
| Peso            | 0.427    | g      |
| Pico=           | 59.032   | cm2    |
| Área            | 0.0651   | g      |
| Pico=           | 9        | cm2    |
| Área =          | 0.008    | mmol   |
| ma=             | 0.3      | g      |
| Gramos columna= | 571      | mmhg   |
| Po=             | 533      | K      |
| T=              | 1010.146 | mmHg   |
| Pprom=          | 30.331   | ml/min |
| Whe             | mmol/cm  |        |
| corr=           | 0.00000  | ml     |
| K=              |          |        |

|         |       |                |
|---------|-------|----------------|
| Texp=   | 260   | °C             |
| Tconv=  | 273   | K              |
| To=     | 298   | K              |
| Wexp=   | 30    | ml/min         |
| Wcorta= | 1     | cm/min         |
| R=      | 62.32 | mmHg ml/K mmol |

|                 |          |        |
|-----------------|----------|--------|
| Peso            | 0.554    | g      |
| Pico=           | 76.590   | cm2    |
| Área            | 0.0651   | g      |
| Pico=           | 9        | cm2    |
| Área =          | 0.008    | mmol   |
| ma=             | 0.3      | g      |
| Gramos columna= | 571      | mmhg   |
| Po=             | 498      | K      |
| T=              | 1010.146 | mmHg   |
| Pprom=          | 28.339   | ml/min |
| Whe             | mmol/cm  |        |
| corr=           | 0.00000  | ml     |
| K=              |          |        |

|         |       |                |
|---------|-------|----------------|
| Texp=   | 225   | °C             |
| Tconv=  | 273   | K              |
| To=     | 298   | K              |
| Wexp=   | 30    | ml/min         |
| Wcorta= | 1     | cm/min         |
| R=      | 62.32 | mmHg ml/K mmol |

| PICO 19 |       |         |           |           |            |         | PICO 20 |       |         |           |           |            |         |
|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|------------|---------|
| No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) | No.     | h(cm) | Peso(g) | Sads(cm2) | a(mmol/g) | C(mmol/ml) | P(mmHg) |
| 1       | 17.5  | 1.429   | 197.558   | 0.047     | 0.0000     | 1.376   | 1       | 17.5  | 2.159   | 298.479   | 0.055     | 0.0000     | 1.056   |
| 2       | 16    | 1.338   | 184.977   | 0.044     | 0.0000     | 1.258   | 2       | 16    | 2.047   | 282.995   | 0.052     | 0.0000     | 0.966   |
| 3       | 15    | 1.287   | 177.926   | 0.043     | 0.0000     | 1.179   | 3       | 15    | 1.968   | 272.074   | 0.050     | 0.0000     | 0.905   |
| 4       | 14    | 1.237   | 171.014   | 0.041     | 0.0000     | 1.101   | 4       | 14    | 1.887   | 260.876   | 0.048     | 0.0000     | 0.845   |
| 5       | 13    | 1.184   | 163.687   | 0.039     | 0.0000     | 1.022   | 5       | 13    | 1.805   | 249.539   | 0.046     | 0.0000     | 0.785   |
| 6       | 12    | 1.131   | 156.359   | 0.037     | 0.0000     | 0.944   | 6       | 12    | 1.717   | 237.373   | 0.044     | 0.0000     | 0.724   |
| 7       | 11    | 1.071   | 148.065   | 0.035     | 0.0000     | 0.865   | 7       | 11    | 1.626   | 224.793   | 0.041     | 0.0000     | 0.664   |
| 8       | 10    | 1.011   | 139.770   | 0.033     | 0.0000     | 0.786   | 8       | 10    | 1.531   | 211.659   | 0.039     | 0.0000     | 0.603   |
| 9       | 9     | 0.948   | 131.060   | 0.031     | 0.0000     | 0.708   | 9       | 9     | 1.433   | 198.111   | 0.036     | 0.0000     | 0.543   |
| 10      | 8     | 0.877   | 121.244   | 0.029     | 0.0000     | 0.629   | 10      | 8     | 1.329   | 183.733   | 0.034     | 0.0000     | 0.483   |
| 11      | 7     | 0.807   | 111.567   | 0.027     | 0.0000     | 0.550   | 11      | 7     | 1.217   | 168.249   | 0.031     | 0.0000     | 0.422   |
| 12      | 6     | 0.728   | 100.645   | 0.024     | 0.0000     | 0.472   | 12      | 6     | 1.098   | 151.797   | 0.028     | 0.0000     | 0.362   |
| 13      | 5     | 0.649   | 89.724    | 0.021     | 0.0000     | 0.393   | 13      | 5     | 0.971   | 134.240   | 0.025     | 0.0000     | 0.302   |
| 14      | 4     | 0.554   | 76.590    | 0.018     | 0.0000     | 0.315   | 14      | 4     | 0.831   | 114.885   | 0.021     | 0.0000     | 0.241   |
| 15      | 3     | 0.448   | 61.935    | 0.015     | 0.0000     | 0.236   | 15      | 3     | 0.671   | 92.765    | 0.017     | 0.0000     | 0.181   |
| 16      | 2     | 0.326   | 45.069    | 0.011     | 0.0000     | 0.157   | 16      | 2     | 0.483   | 66.774    | 0.012     | 0.0000     | 0.121   |
| 17      | 1     | 0.164   | 22.673    | 0.005     | 0.0000     | 0.079   | 17      | 1     | 0.239   | 33.041    | 0.006     | 0.0000     | 0.060   |

Peso  
Pico= 0.822 g  
Área  
Pico= 113.641 cm2  
Peso  
Área= 0.0651 g  
Área = 9 cm2  
ma= 0.008 mmol  
Gramos columna= 0.3 g  
Po= 571 mmhg  
T= 458 K  
Pprom= 1010.146 mmHg  
Whe  
corr= 26.063 ml/min  
mmol/cm  
ml  
K= 0.00000 ml

Texp= 185 °C  
Tconv= 273 K  
To= 298 K  
Wexp= 30 ml/min  
Wcorta= 1 cm/min  
R= 62.32 mmHg ml/K

Peso  
Pico= 1.071 g  
Área  
Pico= 148.065 cm2  
Peso  
Área= 0.0651 g  
Área = 9 cm2  
ma= 0.008 mmol  
Gramos columna= 0.3  
Po= 571 mmhg  
T= 423 K  
Pprom= 1010.146 mmHg  
Whe  
corr= 24.071 ml/min  
mmol/cm  
ml  
K= 0.00000 ml

Texp= 150 °C  
Tconv= 273 K  
To= 298 K  
Wexp= 30 ml/min  
Wcorta= 1 cm/min  
R= 62.32 mmHg ml/K

