



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PILOTO CON  
ABSORBENTE A BASE DE CARBÓN ACTIVADO PARA RETENCIÓN DE  
COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES BENCENO, TOLUENO  
ETILBENCENO Y XILENO (BTEX) EN AIRE CASO PRACTICO: COMPLEJO  
INDUSTRIAL SHUSHUFINDI**

**Eliana Paquita Orozco Valencia**

Ingeniero Químico  
Consultora en Investigación  
elyy0923@hotmail.com

**Edison Geovanny Orozco Valencia**

Ingeniero Ambiental  
Docente Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
Eorozco69@hotmail.com

**Adriana Isabel Rodríguez Besantes**

Bioquímico Farmacéutico  
Docente Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
Adiro\_4@hotmail.com

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Eliana Paquita Orozco Valencia, Edison Geovanny Orozco Valencia y Adriana Isabel Rodríguez Besantes (2018): "Diseño y construcción de un dispositivo piloto con absorbente a base de carbón activado para retención de compuestos orgánicos volátiles benceno, tolueno etilbenceno y xileno (BTEX) en aire caso práctico: complejo industrial Shushufindi.", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (agosto 2018). En línea:  
[//www.eumed.net/rev/caribe/2018/08/retencion-compuestos-organicos.html](http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/08/retencion-compuestos-organicos.html)

**RESUMEN**

Se realizó el diseño y construcción de un dispositivo para adsorción de compuestos orgánicos volátiles en aire ambiente para el Complejo Industrial Shushufindi a base de carbón activado, los compuestos orgánicos volátiles a analizar serán: Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX) ya que estos representan el 95 % de los compuestos orgánicos volátiles que se producen dentro de esta Industria Petrolera. El diseño y construcción del dispositivo se basó en cálculos de Ingeniería y ensayos experimentales en el Laboratorio de Salud Seguridad y Ambiente (LABSSA EP-PETROECUADOR). Para su construcción se seleccionó el acero inoxidable para el armazón, el vidrio para los filtros y válvulas debido a sus características y propiedades, principalmente su inercia ante los compuestos a analizar. Este dispositivo se denomina muestreador activo puesto que consta de una bomba de succión la cual ayudará el ingreso de aire en un volumen determinado, un termohidrometro incorporado para la medición

de temperatura, humedad y presión atmosférica , un timer para controlar el tiempo de muestreo y como fuente fundamental un filtro de vidrio a base de carbón activado el cual consta de una sección 150 mg del mismo, retenidos por dos láminas de 3 mm de espuma de poliuretano de cada lado, un pre-filtro para retención de partículas arrastradas por el aire y la unidad de mantenimiento que ayudara al cuidado de la bomba, todo esto acoplado a mangueras de silicona semidura para conducción del aire hacia los tubos. Para determinar la eficiencia del carbón activado se realizaron pruebas en distintos lapsos de tiempo, analizando el adsorbente puro como blanco, con la finalidad de determinar su tiempo de saturación y la cantidad adecuada que se ha de colocar dentro del filtro.

**Palabras clave:**

Absorción, Compuestos Orgánicos Volátiles, Aire, Carbón, Activado, Filtros De Vidrio, Temperatura, Humedad, Presión, Válvulas, Bomba, Btex.

**SUMMARY**

It was made the design and the construction of an absorption device of volatile organic compounds within the environment for the Industrial Complex Shushufindi based on activated coal, the volatile organic composes to be analyzed will be: Benzene, Toluene, Ethil-benzene, and Xylene (BTEX) since they represent the 95% of the volatile organic composes that are produced inside this Oil Industry. The design and construction of the device was based on Engineering calculus and experimental tests in the laboratory of Safety and Environmental Health (LABSSA EP- PETROECUADOR). For its construction stainless Steel was selected for the framework, glass for the filters and valves, due to its characteristics and properties, mainly its inertia facing the compounds to be analyzed. This device is named active sampler since it consists on a sucking pump, which will help to the air intake in a determined volume, a thermo-hydrometer incorporated to the measurement of temperature, moisture and atmospheric pressure, a timer to control the sampling time and as a fundamental source a glass filter in base don activated coal , which consists on a section of 150 mg of the same , retained by two layers of 3 mm of polyurethane per each side care the pump, all of this assembled to semi-hard silicone hoses for transporting the air toward the pipes. To determine the efficiency of the activated coal, test were made in different lapses of time, by analyzing the pure absorbent as a target; to determine its saturation time and the adequate quantity that has been located inside the filter.

**Key Words:**

Absorption, Volatile Organic Compounds, Air, Activated Coal, Glass Filters, Temperature, Moisture, Pressure, Valves, Pump, Btex.

## 1. INTRODUCCION

¿Qué efecto provoca la presencia de Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos (BTEX) como Compuestos Orgánicos Volátiles en aire ambiente?

El principal inconveniente medioambiental de los compuestos orgánicos volátiles es que, agrupan una gran cantidad de sustancias químicas que se convierten fácilmente en vapores o gases y que pueden tener diferentes efectos nocivos sobre el medio ambiente y a la salud, al mezclarse con otros contaminantes atmosféricos como los óxidos de nitrógeno (NOx) que al reaccionar con la luz solar pueden formar ozono troposférico, que contribuye al problema del 'smog' fotoquímico causando daños respiratorios.

Siendo compuestos extremadamente peligrosos para la salud y para el ambiente la exposición varía en función de sus características genéticas, estado de salud, estado nutricional y de la edad. Este es el caso de los niños, los cuales están potencialmente a mayor riesgo que los adultos frente a la exposición de los contaminantes del aire. Es así que la presencia de COVs en aire ambiente afecta la salud e integridad de las personas aledañas al complejo industrial SHUSHUFINDI esencialmente de sus trabajadores; provocando efectos a su salud, por inhalación o por contacto, más que por vías como la ingestión a través de alimentos o bebidas contaminadas, afectando el sistema respiratorio, sistema nervioso central, irritación de las mucosas externas, afecciones sobre el sistema cardiovascular, sensibilidad a los olores químicos, efectos cancerígenos, leucemia, muerte por hipoxia, depresión con fatiga, entre otras.

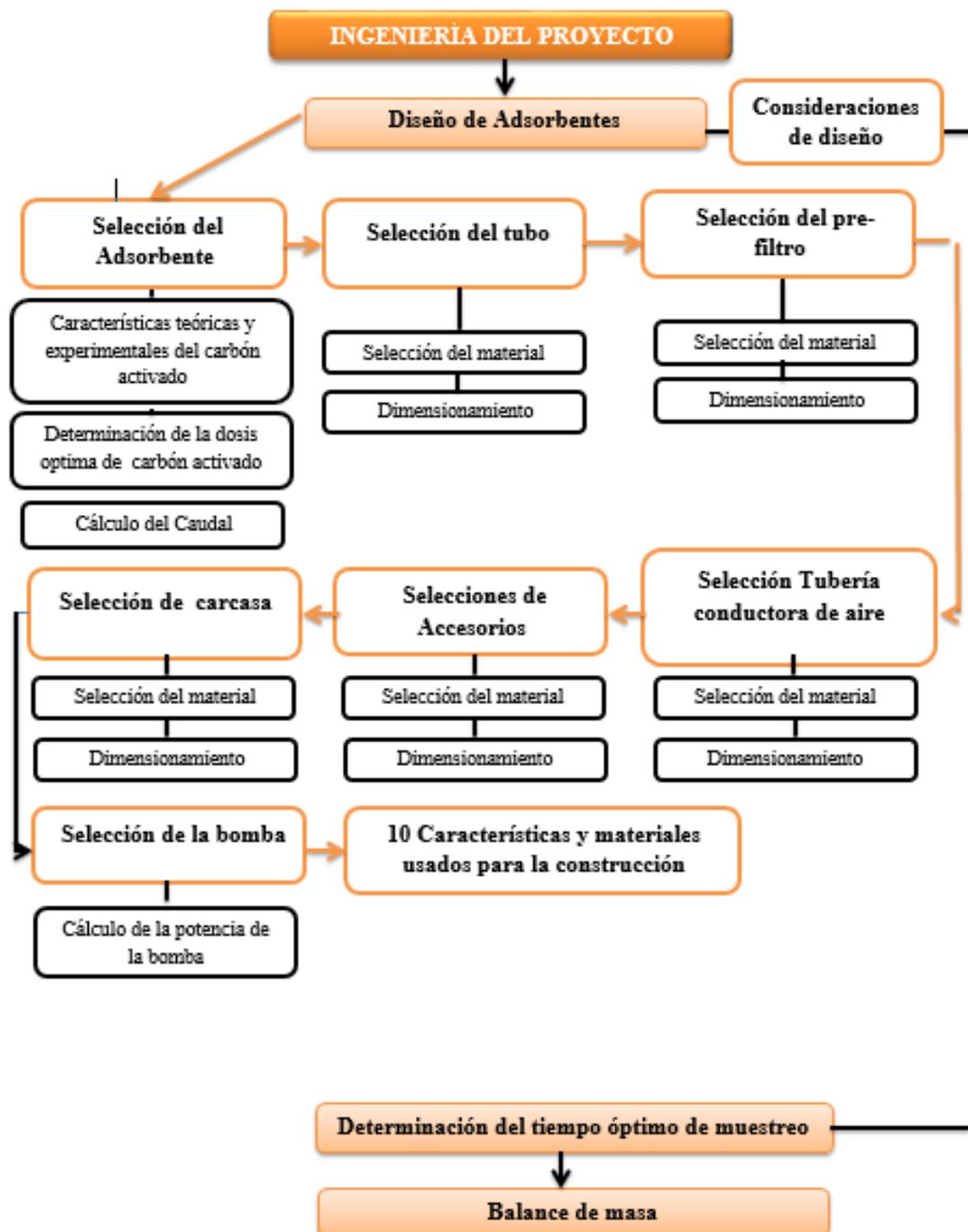
Además que altos niveles de O<sub>3</sub> dañan la vegetación, perjudicando la reproducción y el crecimiento de las plantas, lo que lleva a la reducción de la biodiversidad, disminución de crecimiento de los bosques y reducción del rendimiento de los cultivos agrícolas. De tal manera que el ozono disminuye el proceso de fotosíntesis, reduciendo la absorción del dióxido de carbono por la planta.

La solución a la problemática que presenta el complejo industrial Shushufindi es la reducción de los gases generados, mediante la implementación del dispositivo a base de carbón activado para la adsorción de dichos gases con el fin de cumplir con las exigencias no solo del ACUERDO No. 091 - LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS PARA ACTIVIDADES HIDROCARBURÍFERAS y del ACUERDO No. 050 NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE O NIVEL DE INMISION sino también de la población que se encuentra preocupada por las afectaciones a la salud anteriormente mencionadas.

## Desarrollo.

Con el diseño y construcción del dispositivo adsorbente a base de carbón activado se propone el diagrama de flujo para la retención de compuestos orgánicos volátiles (BTEX) en aire ambiente.

En el siguiente diagrama de flujo se detalla cada una de las etapas así también las variables que intervienen en el proceso para la adsorción.



## ***Diseño de Adsorbentes***

Para el diseño del adsorbente se debe considerar varios parámetros:

- Factores ambientales en el área a muestrear
- Masa de contaminante en el aire.
- Caudal de aire.
- Características de los materiales de adsorción.
- Temperatura de transporte de la muestra

Factores que favorecen eficiencia de adsorción:

- La agitación permite que el adsorbente tenga mayor contacto con el aire contaminado.
- Temperaturas altas son desfavorables para los procesos de adsorción de gases pues estos se volatilizan con mayor facilidad
- A menor humedad mayor adsorción.

### ***3.2.2.1 Consideraciones de diseño***

El primer paso a tomar en cuenta para el diseño y posterior construcción de un dispositivo para adsorción de Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX) son los factores ambientales, a continuación se muestran las características ambientales promedio dentro del complejo industrial Shushufindi:

**Tabla 1-3: Parámetros ambientales de Diseño**

<b>Parámetro</b>	<b>Complejo Industrial Shushufindi</b>	<b>Límite para la toma de muestra</b>
Presión (atm)	0,99	1,5
Temperatura (°C)	35	45
Humedad (%)	40	60

**Fuente:** MANUAL DEL CARBÓN ACTIVADO., Línea.,

[www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf](http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf).

**Realizado por:** OROZCO E. / VÁSCONEZ A., Laboratorio de Análisis EPPETROECUADOR., 2016.

Las condiciones de Presión, Temperatura y Humedad en la zona a muestrear son adecuadas para la aplicación del método de muestreo activo para compuestos orgánicos volátiles.

### ***3.2.2.2 Masa de contaminante en el aire.***

Se considera 3 puntos claves dentro del complejo industrial Shushufindi los cuales son:

- Planta de gas
- Refinería

- Campamento

Principalmente por la presencia constante de personal y emisión de vapores. Estos datos fueron tomados del punto de emisión más cercano a la toma de muestra puesto que no existen antecedentes para concentración de Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xileno (BTEX) en aire ambiente.

**Tabla 2-3: Masa de BTEX en aire**

Fuente: LABORATORIO	Carbón Activado	Resina
---------------------	-----------------	--------

Directiva Europea de Calidad del Aire (2000/69/CE). RD 1073/2002 (España). Valor límite exigible a partir del 1 de enero de 2010

Niveles de Exposición Recomendados por National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards: Benzene. 2005

Niveles de Exposición Recomendados por National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards: Toluene. 2005.

World Health Organisation (WHO). Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No. 23, 2nd edition, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2000

Niveles de Exposición Recomendados por National Institute for Occupational and Safety Health

Compuesto	Norma (µg/L)	Planta de gas (µg)	Refinería (µg)	Campamento (µg)	Planta de gas (µg/L)	Refinería (µg/L)	Campamento (µg/L)
Benceno	1,62	0,2	0,2	0,2	0,008333 33	0,008333 33	0,008333 33
Etilbenceno	434	0,4	1,2	0,2	0,016666 67	0,05	0,008333 33
Tolueno	377	2,1	2,1	0,4	0,0875	0,0875	0,016666 67
Xileno	434	1,2	4,6	0,2	0,05	0,191666 67	0,008333 33

(NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards: Xylenes. 2005

Niveles de Exposición Recomendados por National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards: Ethylbenzene. 2005

### 3.2.2.2.1 Caudal de aire

El caudal de aire que ingresa a la tubería es indispensable para la determinación de la concentración de Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX). Teóricamente se considera al adsorber un menor volumen de aire en un tiempo determinado el adsorbato se adhiere con mayor facilidad al adsorbente incrementando la eficiencia del método.

Para determinar el caudal de adsorción adecuado se utilizó un volumen conocido de BTEX en diferentes intervalos de tiempo.

### 3.2.2.2 Temperatura de transporte de la muestra

Los compuestos orgánicos volátiles a temperaturas levemente altas pierden su estabilidad por lo tanto para la conservación de la muestra se requerirá condiciones de refrigeración y análisis inmediato.

Las muestras de Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno tienen un punto de fusión de 5 °C por lo cual la muestra deberá ser conservada a una temperatura menor y deberá ser analizada en un máximo de 14 días.

#### Selección del Adsorbente

Tabla: Características de adsorbentes

Adsorbente	Forma de partículas	Intervalo del diámetro , malla estandar %	Porocidad (nm)	Densidad masiva seca %	Diámetro promedio del poro (nm)	Área de la superficie	Capacidad de sorción (Kg/kg)	Aplicable	
Gel de silice	G, P	Varios	30- 48	0,70 a 0,82	2 a 5	0,6 a 0,8	0,35 a 50	Para adsorción de humedad	
Cabón activado	Concha de coco	G ,P,S	Varios	80	0,45 a 0,55	2	0,8 a 1,6	0,40	Sorción de contaminates en aire y agua
	Madera	G	Varios	80	0,25 a 0,30	-	0,8 a 1,8	-0,70	Potabilización de agua
	Petroleo	G,C	Varios	80	0,45 a 0,55	2	0,9 a 1,3	0,3 a 0,4	Recuperación de metales
Ester	G, S	20 a 60	50 a 55	0,65 a 0,7	10 a 25	0,15 a 0,40	-	Purificación de agua	
Resinas	G	16 a 50	45	0,42	-	0,08 a 0,12	0,4	Decoloración de soluciones	

\*G = granulos P= polvo S = esferas

**Fuente :** ROBERT H. PERRY., DON W. WREEN., Chemical Engineers Handbook., sección 16., tabla 16- 3

El carbón activado (polar) presenta las condiciones idóneas para la adsorción de compuestos orgánicos volátiles (apolares), esto no solo por sus características sino también por su gran afinidad hacia este tipo de compuestos, en la tabla anterior se puede analizar variedad adsorbentes y a la vez algunas de las variantes de carbón activado que existe en el mercado, después de un estudio bibliográfico y experimental se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 3-3: Características del carbón activado a base de cascara de coco**

<b>Carbón Activado</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Beneficios</b>	<b>Dificultades</b>	<b>Determinación de Sólidos mg</b>
Polvo	Purificación del aire Purificación de químicos y catalizadores Alimentos y bebidas Productos farmacéuticos Purificación del agua	Fácil manejo	Difícil de empaquetar Afecta a las vías respiratorias Contenido considerable de cenizas	100,0
Granular	Adsorción de sustancias no polares como: Aceite mineral BTEX Poli-hidrocarburos aromáticos (PACs) (Cloruro) Fenol Adsorción de sustancias halogenadas: I, Br, Cl, H y F Olor Gusto Levaduras Varios	Fácil manejo Diámetro de partícula uniforme Mayor superficie de adsorción No contiene ceniza	Forma irregular Contenido considerable de cenizas	4,000

	<p>productos de fermentación</p> <p>Sustancias no polares (sustancias las cuáles no son solubles en agua)</p>			
Granular esférico	<p>Adsorción de sustancias no polares como:</p> <p>Aceite mineral BTEX</p> <p>Poli-hidrocarburos aromáticos (PACs)</p> <p>(Cloruro) Fenol</p> <p>Adsorción de sustancias halogenadas: I, Br, Cl, H y F</p> <p>Olor</p> <p>Gusto</p> <p>Levaduras</p> <p>Varios productos de fermentación</p> <p>Sustancias no polares (sustancias las cuáles no son solubles en agua)</p>	<p>Fácil manejo</p> <p>Diametro de partícula uniforme</p> <p>Mayor superficie de adsorción</p> <p>No contiene ceniza</p>	-----	0,0001

**Fuente:** NTE INEN 1991: Productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial.  
**Realizado por:** OROZCO E. / VÁSCONEZ A., 2016.

La determinación de sólidos totales se realizó con la finalidad de detectar cenizas en el carbón activo y para determinar la eficacia de cada uno. La metodología empleada es la siguiente:

En un balón aforado con de 25 ml de agua y una gota de azul de metileno luego se introduce 1 gramo de carbón activado, agitamos y filtramos. En una capsula tarada secamos la muestra hasta volumen constate.

Los resultados obtenidos indican que el carbón activado esférico posee muy poca cantidad de sólidos que escapen del filtro, por lo cual se considera como la mejor opción para evita la perdida de muestra en cualquier filtro.

**Tabla 4-3: Determinación de la dosis óptima de carbón activado**

Masa de carbón activado (mg)	Masa de tolueno en la mezcla (mg)	Volumen de mezcla aire – tolueno (litros)	Tiempo (min)	Masa de tolueno adsorbido (mg)	% Adsorbido
150	0,078021	2	20	0,0510	65,4
			40	0,0506	64,9
100	0,043345	2	20	0,0257	59,3
			40	0,0218	50,3
150	0,043345	2	20	0,0355	81,9
			40	0,0322	74,3
150	0,00867	2	10	0,0062	71,5
			20	0,0080	92,3
			30	0,0081	93,4
			40	0,0083	95,7
			50	0,0082	94,6

**Realizado por:** OROZCO E. / VÁSQUEZ A., Laboratorio de Análisis EPPETROECUADOR., 2016.

En la tabla 5-3 se realizó de manera experimental con el objetivo de determinar la masa de carbón activado y la velocidad de muestreo, tomando como base la mejor eficiencia de adsorción obtenida y las variantes utilizadas para obtenerlo.

El 95,7 % de eficiencia de adsorción se obtuvo con una masa de adsorbente de 150 mg, con un volumen de mezcla de 2 litros en 40 minutos.

Los límites de detección del método serán de 0,0087 microgramos y 0,02 microgramos esto por limitaciones del método cromatográfico.

### 3.2.3.1 Cálculo del caudal

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{2000ml}{40 \text{ min}} = 50ml / min$$

El caudal de aire para la adsorción de Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX) es de 50mL/min. El carbón activado utilizado para este estudio fue de tipo esférico de 35x35 mallas, ultra puro de grado analítico.

### 3.2.4 Selección del tubo

#### 3.2.4.1 Selección del material

Para la selección del tubo adsorbente se debe tomar en cuenta características de la muestra con la necesidad de mantenerla a temperaturas moderadas.

Por otra parte se considera también factores físicos de los materiales y que estos no presenten ningún tipo de reacción ante el compuesto a analizar, a continuación se presentan materiales inertes de fácil adquisición en el mercado.

**Tabla 5-3: Tubos para adsorción de BTEX**

Material	Conductividad térmica (W/mk)	Rugosidad	Coefficiente de dilatación °C	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
Vidrio	1.05	0,00	9 x 10 <sup>-6</sup>	10.000
Teflón	0,21	0,04	23 – 60	46
Acero inoxidable	50,2	0,09	11x10 <sup>-6</sup>	-
Silicona	0,22	0,01	10	Para una deformación de 25% 13Kpa

**Fuente:** (1) NORMAS ASTM., Aplicación de tuberías y accesorio

(2) MARKS., Manual del Ingeniero Mecánico., sección 6., Pp 174-187

La conductividad térmica de los materiales nos indica cantidad/velocidad de calor transmitida a través de un material, se considera el vidrio como el material más adecuado para la adsorción de compuestos orgánicos volátiles por su baja conductividad térmica, rugosidad nula para reducir las pérdidas de carga que se producen dentro del sistema.

### **3.2.4.2 Dimensionamiento**

Se emplea recipientes generalmente cilíndricos para favorecer la agitación. Para evitar la formación de canales laterales e irregularidades de distribución del fluido se considera que:

$$\frac{\text{Diámetro partícula}}{\text{Diámetro de Columna}} < 0,1$$

Dónde:

Diámetro de la partícula (carbón activado) = 35 x35 mallas según ROBERT H. PERRY., DON W. WREEN., Chemical Engineers Handbook, 7a .edición., Pp.19-20 = 0,5 mm

$$\frac{0,5}{\text{Diámetro de Columna}} < 0,1$$

$$5\text{mm} < \text{Diámetro de Columna}$$

El diámetro de la columna debe ser mayor a 5 mm, en el mercado se encuentran tubos de vidrio con diámetros interiores desde 6 mm cumpliendo a la vez con la condición que implica la ecuación anterior.

Como es natural, cuando menor sea el diámetro de la partícula, mayor será la superficie específica del producto, y mejor será su aprovechamiento; pero la permeabilidad del lecho disminuye mucho con el diámetro.

Se de evitar lechos de gran espesor para evitar el volumen muerto, el cual aumenta proporcionalmente a la raíz cuadrada de sección del recipiente, razón por la cual conviene hacer los recipientes lo más altos y estrechos posibles, condición que se mantiene mientras no resulte incompatible con otras de tipo técnico y económico.

Los 150 mg de carbón activado esférico ocupan una longitud de 1cm totalmente comprimidos, para favorecer la penetración del adsorbato será necesario que el adsorbente se agite, la fuerza que ejerce el aire al pasar por el filtro mueve al carbón agitándolo y desplazándolo, este último se estudió de manera práctica simulando condiciones de trabajo.

$$L_{\text{Total}} = L_{\text{ocupada por el adsorbente}} + L_{\text{de desplazamiento}} * \text{factor de seguridad}$$

$$L_{Total} = (3cm + 1,5cm)1,5cm = 7cm$$

### 3.2.5 Selección del pre-filtro

#### 3.2.5.1 Selección del material

Los pre- filtros son considerados debido a las condiciones de humedad propias de las zonas amazónicas, probabilidades de lluvia y presencia de partículas de gran tamaño en el aire que puede alterar los resultados finales , estos filtros deberán poseer una porosidad menor a la del carbón activado debido a que cumplirán funciones de soporte.

**Tabla 6-3: Selección del material**

Material	Conductividad Térmica (W/m.K)	Porosidad (mm)	Afinidad	
			Humedad	Compuestos orgánicos volátiles
Papel filtro	-----	0,002	Si	Si
Lana de vidrio	0,036-0,040	-----	No	No
Espuma de Poliuretano	0,029	0,04	No	No

**Fuente:** (1) FAO, 1989.

(2) NTE INEN 2021: Plásticos. Espumas flexibles de Poliuretano para usos generales.

(3) MILIARUN.COM., Línea.,

<http://www.miliarun.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>

La espuma de poliuretano presenta características más adecuadas para el proceso de adsorción de compuestos orgánicos volátiles por su resistencia al agua y baja conductividad térmica además que cumple con las condiciones de porosidad y proporciona una estructura de soporte al carbón.

#### 3.2.5.2 Dimensionamiento

El pre- filtro debe tener el espesor adecuado para soportar la fuerza ejercida por el aire hacia el carbón activado y a la que permita el paso del flujo de aire.

El diámetro de la espuma de poliuretano está dado por el diámetro interior del tubo y la longitud se determinó experimentalmente simulando condiciones de trabajo

**Tabla 7-3: Determinación del espesor de la espuma de poliuretano**

Espesor (mm)	Observación
1	El carbón no se mantiene dentro de los límites de la espuma y la bomba

	adsorbe el contenido del tubo
2	El carbón se mantiene dentro de los límites de la espuma de poliuretano pero la bomba continua arrastrándola
3	El carbón se mantiene dentro de los límites de la espuma de poliuretano y se mantiene dentro del tubo con un paso de aire adecuado.
4	El carbón se mantiene dentro de los límites de la espuma de poliuretano y se mantiene dentro del tubo con un paso de aire adecuado
5	El carbón se mantiene dentro de los límites de la espuma de poliuretano y se mantiene dentro del tubo pero el aire no pasa y termino cediendo por la presión y la manguera de la bomba comienza a estrangularse.

**Realizado por:** OROZCO E. / VÁSQUEZ A., Laboratorio de Análisis EPPETROECUADOR., 2016.

El espesor del pre- filtro de espuma de poliuretano varía desde 3 – 4 mm de longitud la cual será colocada en los dos extremos del carbón, colocando en la parte posterior una porción de espuma de poliuretano mayor, para favorecer la retención del adsorbente y del adsorbato dentro del tubo.

### **3.2.6 Selección Tubería conductora de aire**

#### **3.2.6.1 Selección del material**

Se debe considerar:

- Caudal de entrada de aire = 50 ml / min
- Temperatura Ambiente: 35 °C
- Descarga electrostática.-El caudal que pasa por la manguera puede generar electricidad estática. Para descargar esa carga de electricidad estática a masa y permitir la disipación estática seleccione una manguera con la conductividad adecuada. Si la aplicación puede generar electricidad estática, seleccione una manguera disipadora de la carga estática y conéctela adecuadamente a masa.
- Vibraciones.- Para seleccionar una manguera tenga en cuenta la vibración presente en el sistema. Las mangueras metálicas pueden no ser adecuadas en sistemas con vibración alta o constante.

A continuación se presenta algunas de las opciones que se encuentran en el mercado y sus características:

**Tabla 8-3: Mangueras para conducción de aire**

Tipo	Aplicación	Diámetro exterior (mm)	Fluido	Presión de funcionamiento (atm)	T (°C)	Descripción
Tubo flexible de material plástico	Muy variadas	3-16	Aire comprimido	-0,95 ....+10	- 35....+60	Tubo flexible de material plástico
Tubo flexible de Silicona Semidura	Rentable II: Funciones básicas Uso flexible gracias a su alta resistencia	4...16	Aire comprimido filtrado Vacío	-1....+8	- 20...+60	Resistente a sustancias químicas y a la hidrólisis
Tubo flexible de plástico PAN	Hasta 14 bar	4-16	Aire comprimido Vacío	-0,95...+14	-30...+80	De alta resistencia mecánica y térmica

**Fuente:** FESFO., Mangueras para Conducción de aire., línea., [www.festo.com/cms/es-mx\\_mx/9671.htm](http://www.festo.com/cms/es-mx_mx/9671.htm).

Los tubos flexibles de silicona semidura se adaptan a las condiciones ambientales y de muestreo y no se degradan en presencia de compuestos químicos.

Para que las propiedades de las mangueras de silicona semidura no se vean afectadas, hay que asegurarse de que la temperatura del fluido y la temperatura ambiente, tanto estables como transitorias, no sobrepasen los límites de la manguera publicados en el catálogo. Las temperaturas inferiores y superiores al límite recomendado degradarán la manguera, pudiendo provocar su rotura y la fuga del fluido. En las propiedades mecánicas de la manguera también influyen las temperaturas bajas o altas y deben ser tenidas en cuenta al diseñar el sistema.

### **3.2.6.2 Dimensionamiento**

Para el dimensionamiento de las tuberías conductoras de aire se deberá tomar en cuenta las normas para la correcta colocación, accesorios y el número de tubos muestreadores.

### 3.2.6.2.1 Longitud

Para especificar la longitud correcta de la manguera tenga en cuenta el movimiento, la presión del sistema y la dilatación térmica. Instalar manguera sin la longitud suficiente para adaptarse a esos factores puede acortar la vida de servicio.

A continuación se ilustra la instalación correcta de las mangueras:

### 3.2.6.2.2 Radio mínimo de curva

Respete los requisitos de radio mínimo de curva de cada manguera. Las curvas con radios inferiores a los sugeridos pueden forzar la manguera y acortar la vida de servicio.



**Figura 1-3: Radio de la curva de la manguera**

**Fuente:** NORMATIVA SAE j1273 Recommended Practices for Hydraulic Hose Assemblies

La manguera no debe doblarse demasiado cerca del terminal con la conexión final para evita roturas o fugas.



**Figura 2-3: Manejo de manguera de silicona**

**Fuente:** NORMATIVA SAE j1273 Recommended Practices for Hydraulic Hose Assemblies

### 3.2.6.2.3 Esfuerzo

Para reducir el esfuerzo que hace la manguera se pueden utilizar codos y adaptaciones

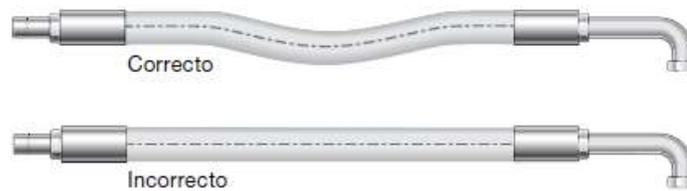


**Figura 3-3: Accesorios para el esfuerzo de la manguera de silicona**

**Fuente:** NORMATIVA SAE j1273 Recommended Practices for Hydraulic Hose Assemblies

### 3.2.6.2.4 Distancia entre maquinas

La manguera debe tener la holgura necesaria para admitir cambios y tolerancias en la distancia entre maquinas.

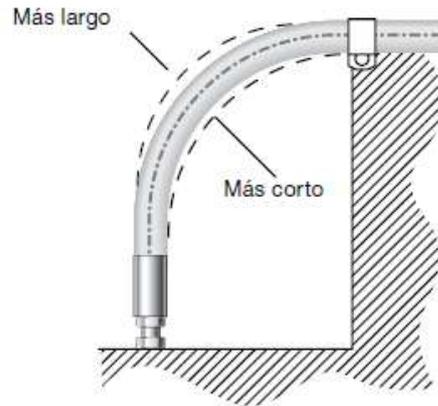


**Figura 4-3: Hondura necesaria para distancia entre maquinas**

**Fuente:** NORMATIVA SAE j1273 Recommended Practices for Hydraulic Hose Assemblies

### 3.2.6.2.5 Cambios en la presión del sistema

La manguera debe tener la longitud suficiente para aceptar cambios en la presión del sistema. No conecte mangueras de alta y baja presión entre sí.



**Figura 5-3: Cambios presión del sistema**

**Fuente:** NORMATIVA SAE j1273 Recommended Practices for Hydraulic Hose Assemblies

El diámetro de la manguera deberá ajustarse con el diámetro externo de la manguera para evitar el uso de reducciones. A continuación se detalla las características físicas de las mangueras de silicona semidura para diferentes diámetros.

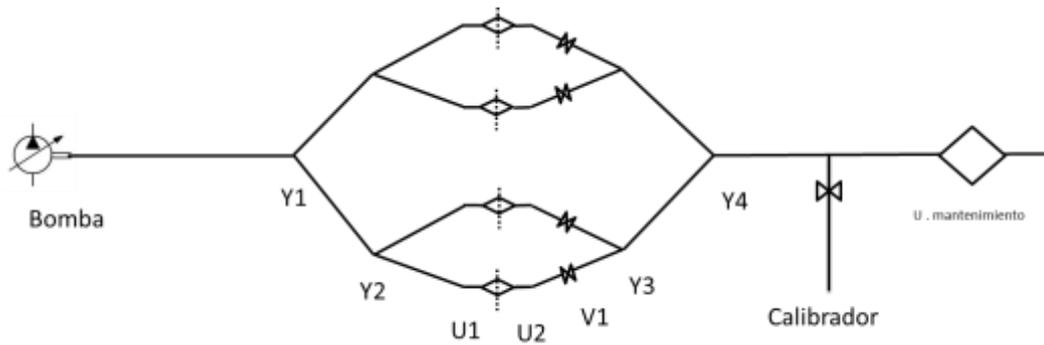
**Tabla 9-3: Características físicas de mangueras de silicona**

Código	Diámetro Interior		Diámetro Exterior		Presión		Succión		Rad. Min. curvatura		Peso por metro		Longitud
	mm	plg.	Mm	plg.	Kg/cm <sup>2</sup>	psi	mm Hg	plg Hg	mm	plg.	Kg/m	lb/ft	m
774450000104	6.4	¼	8.1	0.32	7.1	100	N/R	N/R	76	3	0.03	0.020	100
774450000106	8.0	0.32	9.5	0.37	7.1	100	N/R	N/R	76	3	0.05	0.034	100
774450000108	12.7	½	15.6	0.61	7.1	100	N/R	N/R	127	5	0.08	0.054	100
774450000110	15.9	5/8	19.7	0.77	3.5	100	N/R	N/R	152	6	0.14	0.094	100
774450000112	19.1	¾	22.5	0.88	3.5	100	N/R	N/R	152	6	0.17	0.114	100
774450000116	25.4	1	30.5	1.20	3.5	100	N/R	N/R	203	8	0.3	0.201	50
774450000132	31.8	1 ¼	36.3	1.43	3.5	50	N/R	N/R	203	8	0.22	0.148	50
774450000138	38.1	1 ½	44.9	1.77	3.5	50	N/R	N/R	254	10	0.31	0.208	50
774450000151	50.8	2	57.1	2.25	1.8	25	N/R	N/R	254	10	0.52	0.349	50

**Fuente:** MASTERMANGIN.COM., Línea [www.gates.com.mx/pdf/MASTERMANGIN2012sm.pdf](http://www.gates.com.mx/pdf/MASTERMANGIN2012sm.pdf)

Para considerar el muestreador como activo debe poseer una bomba que forcé la entrada de aire al filtro , el equipo para adsorción de BTEX consta de 4 filtros muestreadores que podrán ser utilizados todos a la vez o de manera individual para evitar el paso de aire se incorporan válvulas .

El aire pasa a través de una unidad de mantenimiento para evitar el ingreso de partículas y agua hacia en sistema evitando desgaste del equipo y errores en la concentración de BTEX.



**Figura 6-3: Estructura interna dispositivo piloto para adsorción de BTEX**  
 Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

La siguiente tabla recopila los resultados obtenidos en apego a las normas de instalación de mangueras

**Tabla 10-3: Determinación de longitudes por tramos**

Tramo	Descripción del tramo	Longitud de accesorio acoplado(cm)		Longitud mínima para evitar rotura (cm)	Longitud mínima (cm)	Longitud máxima (cm)	Longitud (cm)
1	Desde la bomba hacia la Y 1	Bomba	5	10	18	30	30
		Y1	3				
2	Desde Y1 hasta Y2	Y1	3	5	11	30	20
		Y2	3				
3	Desde Y2 hasta filtro	Y2	3	5	10	30	25
		U1	2				
4	Desde filtro hasta válvula	U2	2	5	10	30	10
		Válvula	3				
5	Desde válvula hasta Y3	Válvula	3	5	11	30	15
		Y3	3				
6	Desde Y3 hasta Y4	Y3	3	5	11	30	20
		Y4	3				
7	Desde Y 4 hasta calibrador	Y4	3	5	11	30	15
		Calibrador	3				
8	Desde calibrador	Calibrador	3	5	11	30	15

	hasta unidad de mantenimiento	Unidad de mantenimiento	3				
--	-------------------------------	-------------------------	---	--	--	--	--

**Fuente:** SWAGELOK., Determinación de longitudes por tramos., línea.,  
www.swagelok.com/downloads/WebCatalogs/ES/MS-01-180.pdf

### 3.2.7 Selección de Accesorios

El sistema de tuberías para conducción de aire se ensambla con accesorios que permiten la unión y la ramificación del sistema, de acuerdo a la figura 6-3 tenemos:

**Tabla 11-3: Selección de Accesorios y Dimensionamiento**

Accesorio	Material	Temperatura de Trabajo °C	Diámetro (mm)	Cantidad	Consideración
Yes	Policarbonato	-100 a 135	8	6	Baja conductividad de calor
Uniones	Goma	-45 a 120	8	5	No reaccionan ante compuestos orgánicos
Válvulas	Vidrio	-	8	5	No reaccionan ante compuestos orgánicos
Unidad de mantenimiento	Acero	50	8	1	Retención de polvo y agua

**Fuente:** MARCK; Manual del Ingeniero Mecánico., sección 8. Pp 156-180.

**Realizado por:** OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

### 3.2.8 Selección de la carcasa

#### 3.2.8.1 Selección del material

Para evitar contaminación al dispositivo que conlleva el sistema de tuberías que la carcasa albergar se debe tomar las siguientes medidas preventivas para la toma de muestras:

- Mantenerse a menor temperatura para evitar ablandamiento en las mangueras de silicona y de esta manera evitar la pérdida de succión del analito.
- Resistente a la corrosión y humedad debido a las características climáticas presentes en el Complejo Industria Shushufindi.

### 3.2.8.2 Dimensionamiento

Se considera utilizar acero inoxidable quirúrgico para que no exista contaminación en la toma de muestra.

Vista superior:

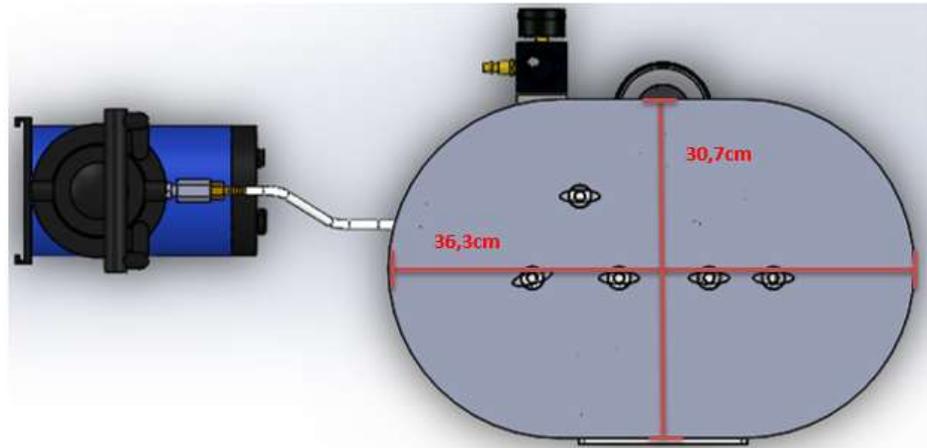


Figura 7-3: Vista superior dispositivo piloto para adsorción de BTEX  
Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

Vista frontal:

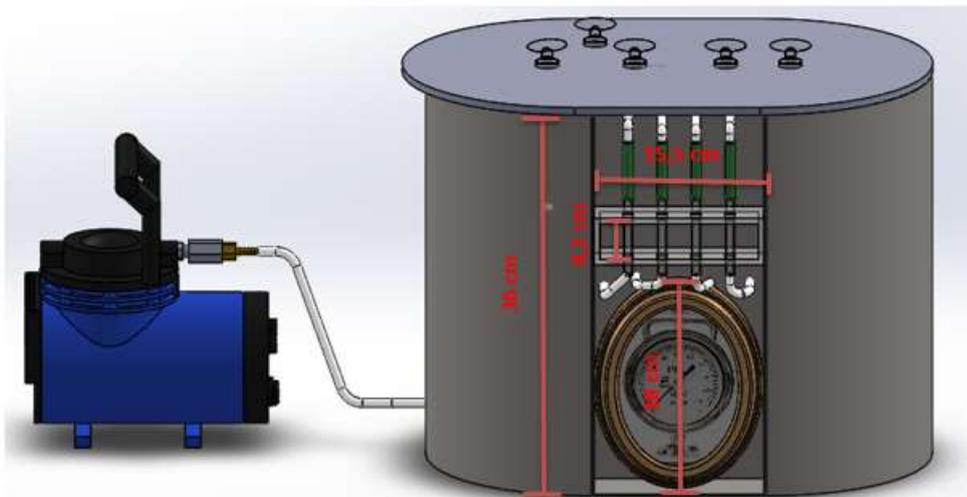
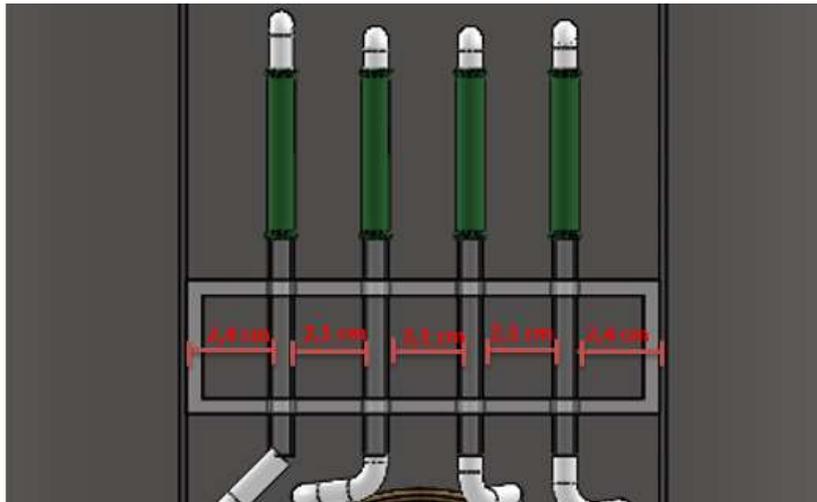
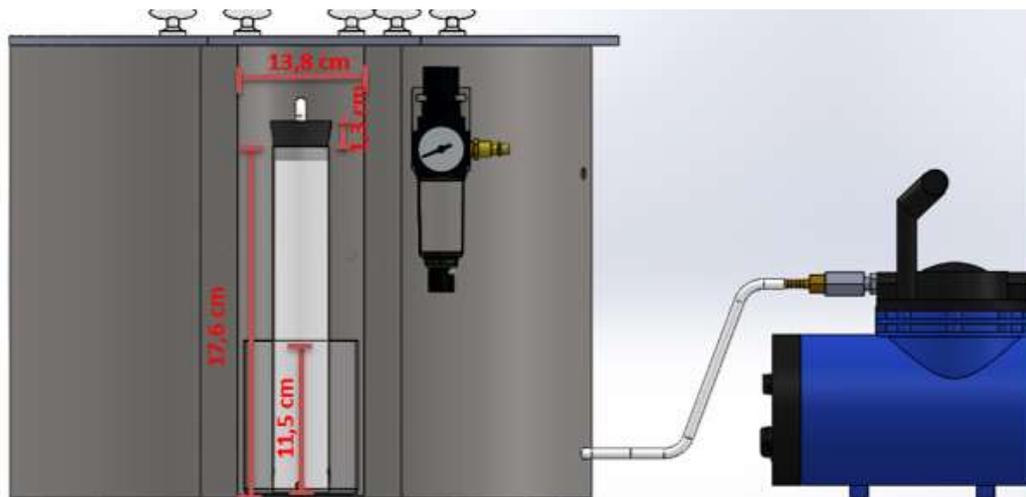


Figura 8-3: Vista frontal dispositivo piloto para adsorción de BTEX  
Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.



**Figura 9-3: Vista de filtros adsorbentes**  
 Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

Vista posterior:



**Figura 10-3: Vista posterior dispositivo piloto para adsorción de BTEX**  
 Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

### 3.2.9 Selección de la bomba

Es muy habitual en el transporte de fluidos utilizar elementos mecánicos que aportan energía y presión al mismo para favorecer o incluso posibilitar su movimiento y transporte. Estos elementos reciben el nombre de bombas, la potencia de la bomba se puede determinar a partir de cálculos mecánicos.

### 3.2.9.1 Cálculos de la potencia de la bomba

**Tabla 12-3: Datos experimentales Perdida de Carga**

Q (ml/min)	Temperatura °C	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (Ns/m <sup>2</sup> )
50	35	1,145	0,00001885

**Fuente:** OCÓN. GARCÍA. Elementos de Ingeniería Química..., Pp778

**Tabla 13-3: Datos adicionales**

Material	Rugosidad	Diámetro Interno (mm)	Longitud (m)	Número de secciones	Longitud total (m)	Caudal (ml)
Vidrio	0	6	0,007	4	0,028	50
Silicona	0,01	8	0,3	2	0,6	200
			0,2	4	0,8	100
			0,25	8	2	50

**Fuente:** ROBERT H. PERRY., DON W. WREEN., Chemical Engineers Handbook., Sección 5., Pp 28,

**Realizado por:** OROZCO E. / VÁSCONEZ A., 2016.

**Tabla 14-3: Datos adicionales para accesorios**

Accesorio	Constante K	Numero de accesorios
Válvula	20	5
Te	0,9	6
Obstrucción	0,5	4

**Fuente:** ROBERT H. PERRY., DON W. WREEN., Chemical Engineers Handbook., Sección 5., Pp 42

**Tabla 15-3: Simbología para determinación de la potencia de la bomba**

N°	Variable	Símbolos	Unidad
1	Caudal	<b>Q</b>	ml/min
2	Densidad	$\rho$	kg/ m <sup>3</sup>
3	Viscosidad	$\mu$	Ns/m <sup>2</sup>
4	Rugosidad	<b>E</b>	Adimensional
5	Diámetro interno	<b>Di</b>	M
6	Área	<b>A</b>	m <sup>2</sup>
7	Velocidad	$v$	m/s

8	Reynol	<b>Re</b>	Adimensional
9	Fanning	<b>f</b>	Adimensional
10	Perdida por accesorios	<b>Hr</b>	M
11	Longitud total	<b>L</b>	M
12	Potencia de la bomba	Hp	Hp

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

### 3.2.9.1.1 Vidrio

#### 3.2.9.1.1.1 Rugosidad

$$\frac{E}{Di} = \frac{0}{0,006} = 0$$

#### 3.2.9.1.1.2 Caudal

$$Q = \left(\frac{50mL}{min}\right) \left(\frac{1L}{1000mL}\right) \left(\frac{1m^3}{1000L}\right) \left(\frac{1min}{60s}\right) = 8,333E^{-7} m^3/s$$

#### 3.2.9.1.1.3 Área

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(0,006m)^2}{4} = 2,8274E^{-5} m^2$$

#### 3.2.9.1.1.4 Velocidad

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{8,333E^{-7} m^3/s}{2,8274E^{-5} m^2} = 0,0294 m/s$$

### 3.2.9.1.1.5 Reynol

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$Re = \frac{(1,145 \text{ kg/m}^3)(0,0294 \text{ m/s})(0,006 \text{ m})}{1,885 \text{ E}^{-5} \text{ N s/m}^2} = 10,7416$$

### 3.2.9.1.1.6 Fanning

Condiciones

- Régimen laminar

$$f = \frac{64}{Re}$$

$$f = \frac{64}{10,7416} = 5,9581$$

### 3.2.9.1.1.7 Perdidas por accesorios

$$Hr = \left[ \frac{fL}{D} + \sum k \right] \frac{v^2}{2g}$$

$$Hr = \left[ \frac{(5,9581)(0,28)}{0,006} + (0,5 * 4) \right] \frac{(0,0294 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} = 0,0124 \text{ m}$$

### 3.2.9.1.2 Silicona

#### 3.2.9.1.2.1 Rugosidad

$$\frac{E}{Di} = \frac{0,01}{0,008} = 0,00125$$

#### 3.2.9.1.2.2 Caudal

$$Q = \left(\frac{200\text{mL}}{\text{min}}\right) \left(\frac{1\text{L}}{1000\text{mL}}\right) \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}}\right) \left(\frac{1\text{min}}{60\text{s}}\right) = 3,3333\text{E}^{-6}\text{m}^3/\text{s}$$

$$Q = \left(\frac{100\text{mL}}{\text{min}}\right) \left(\frac{1\text{L}}{1000\text{mL}}\right) \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}}\right) \left(\frac{1\text{min}}{60\text{s}}\right) = 1,6666\text{E}^{-6}\text{m}^3/\text{s}$$

$$Q = \left(\frac{50\text{mL}}{\text{min}}\right) \left(\frac{1\text{L}}{1000\text{mL}}\right) \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}}\right) \left(\frac{1\text{min}}{60\text{s}}\right) = 8,3333\text{E}^{-7}\text{m}^3/\text{s}$$

### 3.2.9.1.2.3 Área

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(0,008\text{m})^2}{4} = 5,0265\text{E}^{-5}\text{m}^2$$

### 3.2.9.1.2.4 Velocidad

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v_1 = \frac{3,3333\text{E}^{-6}\text{m}^3/\text{s}}{5,0265\text{E}^{-5}\text{m}^2} = 0,0663\text{m}/\text{s}$$

$$v_2 = \frac{1,6666\text{E}^{-6}\text{m}^3/\text{s}}{5,0265\text{E}^{-5}\text{m}^2} = 0,0332\text{m}/\text{s}$$

$$v_3 = \frac{8,3333\text{E}^{-7}\text{m}^3/\text{s}}{5,0265\text{E}^{-5}\text{m}^2} = 0,0166\text{m}/\text{s}$$

### 3.2.9.1.2.5 Reynol

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$Re_1 = \frac{(1,145\text{kg}/\text{m}^3)(0,0663\text{m}/\text{s})(0,008\text{m})}{1,885\text{E}^{-5}\text{Ns}/\text{m}^2} = 32,2179$$

$$Re_2 = \frac{(1,145\text{kg}/\text{m}^3)(0,0332\text{m}/\text{s})(0,008\text{m})}{1,885\text{E}^{-5}\text{Ns}/\text{m}^2} = 16,1125$$

$$Re_3 = \frac{(1,145 \text{ kg/m}^3)(0,0166 \text{ m/s})(0,008 \text{ m})}{1,885 \text{ E}^{-5} \text{ N s/m}^2} = 8,0562$$

### 3.2.9.1.2.6 Fanning

$$f = \frac{64}{Re}$$

$$f_1 = \frac{64}{32,2179} = 1,9860$$

$$f_2 = \frac{64}{16,1125} = 3,9720$$

$$f_3 = \frac{64}{8,0562} = 7,9441$$

### 3.2.9.1.2.7 Perdidas

$$Hr = \left[ \frac{fL}{D} + \sum k \right] \frac{v^2}{2g}$$

$$Hr = \left[ \frac{(1,9860)(0,6)}{0,008} + (20) \right] \frac{(0,0663 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} = 0,03790 \text{ m}$$

$$Hr = \left[ \frac{(7,9441)(0,8)}{0,008} + (0,9 * 6) \right] \frac{(0,0332 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} = 0,0225 \text{ m}$$

$$Hr = \left[ \frac{(7,9441)(2)}{0,008} + (20 * 4) \right] \frac{(0,0166 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} = 0,0289 \text{ m}$$

$$HrT = Hr + Hr_1 + Hr_2 + Hr_3$$

$$HrT = 0,0124 \text{ m} + 0,03790 \text{ m} + 0,0225 \text{ m} + 0,0289 \text{ m}$$

$$HrT = 0,1018 \text{ m}$$

### 3.2.9.1.2.8 Potencia de la bomba

$$Hp = \frac{\rho h H r t}{70\%}$$

$$Hp = \frac{\left( \frac{1,145 \text{ kg}}{\text{m}^3} \right) (0,36 \text{ m}) 0,1018 \text{ m}}{0,7} = 0,0599 Hp$$

### 3.2.10 Características y materiales usados para la construcción

Tabla 16-3: Características de los componentes del dispositivo

Componente del Dispositivo	Característica
<b>Cuerpo del sistema de Adsorción</b>	
Cuerpo de sistema de adsorción	Unido con mangueras de silicona y yes de vidrio
Calibrador	Consta de un vaso de precipitación , probeta y agua jabonosa
Bomba	Libre de aceite
Válvulas	Vidrio
Termohidrometro y Barómetro	Medidor de temperatura, humedad y presión atmosférica.
Cronometro	Medición de tiempo
Timer	Apagado automático del dispositivo
<b>Filtro</b>	
Tubo	Vidrio
Espuma de poliuretano	Poroso
Carbón activado	Granular fino de grado reactivo
Unidad de mantenimiento	Evita la entrada de polvo hacia el carbón

**Realizado por:** OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

El diseño del dispositivo es de tipo mecánico, y se define como un muestreador activo es decir automático y de tendencia eléctrica. Cada uno de los componentes se detalla a continuación:

#### **3.2.10.1 Cuerpo de sistema de adsorción.**

El cuerpo del sistema de adsorción consta de: un barómetro, termohidrometro, un cronometro, válvulas, bomba, calibrador. Todo esto unido con mangueras se silicón.

Bomba.- La bomba que utilizaremos en este caso es una bomba de aire eléctrica de 120 voltios 1/10 HP de potencia, esta deberá ser libre de aceite para evitar contaminaciones y por lo tanto

falsos resultados en la medición de los compuestos orgánicos volátiles, además que esta debe ser de fácil movilización para no complicar los procesos de toma de muestra.

Este dispositivo de succión que produce un vacío máximo de 560 mmHg. La unidad está equipada con una botella de recolección de 800cc y está diseñada para recolectar fluidos. La cual se deberá ajustar a un flujo de 200 ml por minuto mediante el método de la burbuja para la adsorción de BTEX.

Características:

Rango de flujo > 40 LPM

Nivel de ruido < 58 dBA

Temperatura de operación 32° ~ 104° F (0° ~ 40°C)

Humedad de operación 95% RH

Presión atmosférica de operación 10.2 ~15.4 psi (70 ~106 kpa)

Temperatura de almacenamiento 14° ~ 158° F (-10° ~ 70°C)

Humedad de almacenamiento 0 ~ 95%

Presión atmosférica de almacenamiento 7.3 ~15.4 psi (50 ~106 kpa)

Calibrador de la bomba.- Este instrumento constara de un vaso de precipitación de 500 ml en el cual se colocara agua jabonosa además de una probeta de 250 ml que constara de 4 agujeros con el mismo diámetro que permita el ingreso de aire. Para la calibración se abrirá la válvula que se dirigirá hacia el calibrador esperado que forme una burbuja y regulado la potencia de la bomba hasta que la burbuja suba 200ml de la probeta o el volumen de aire que se desea que ingrese al dispositivo de adsorción en un minuto exacto.

Cronómetro.- este es un complemento del calibrador de la bomba el cual se ocupa para medir un volumen exacto en un tiempo definido.

Tubería.- La tubería a utilizar será de silicona, consiguiendo así resultados más confiables aire pasara por la tubería luego de haber pasado por el filtro. La tubería constara también de válvulas las cuales ayudaran a regular el flujo de aire que entra en el dispositivo.

Válvulas.- Para permitir el paso de aire a cada uno de los filtros incorporaremos válvulas de vidrio siendo este un material adecuado que no producirá ninguna reacción con el contaminante a analizar ni producir acumulaciones del mismo.

Timer.- Ayudara a controlar el tiempo en el que la bomba estará encendida, con esto evitaremos pérdidas de energía eléctrica que implican costos de operación y además una mayor precisión en la medición de los BTEX.

### 3.2.10.2 Filtro.

Tubo de vidrio.- El tubo de vidrio se eligió por razones tanto técnicas como económicas. Ya que este además de tener un bajo costo, después de esterilización por autoclave puede ser utilizado nuevamente y la muestra se puede almacenar en el mismo. Este material además no afecta a los resultados de concentración de compuestos orgánicos volátiles.

Carbón activado.- Para mejores resultados se debe utilizar carbón activado grado reactivo, mineral, de tipo granular fino y ultra puro. Ayudará a obtener resultados muy reales que dependerán únicamente de la manipulación al manejar el dispositivo y durante la preparación del filtro. Otra característica muy especial del carbón será su forma puesto que se utilizara un carbón en forma de esferas el cual es más adecuado para este tipo de muestreos en aire.

Espuma de poliuretano.- Es un material plástico poroso e inerte que ayuda a afirmar el carbón dentro del tubo y para la retención de las partículas que puedan afectar la muestra. Por otro lado ayudara a la retención de polvos o partículas grandes o incluso agua que puedan afectar el proceso o incluso dañar algún componente del dispositivo.

Termohidrómetro y Barómetro.- Para medición de temperatura, humedad y presión del ambiente puesto que para este tipo de mediciones se necesitara que la temperatura no sobrepase los 45 grados centígrados y la humedad se encuentre hasta en un 60 % para que no afecte la toma de muestra.

Unidad de mantenimiento.- Ayuda a la depuración de polvo y mantenimiento de la bomba y el sistema de tuberías.

### 3.2.11 Determinación del tiempo óptimo de muestreo

Tabla 17-3: Datos experimentales para la determinación del tiempo óptimo de muestreo

Compuesto	Masa (ug)	Masa (g)	Fracción	Peso molecular (g/mol)	P (mmHg)=fs	T ebullición °C	P(mmHg)	Densidad del líquido
Benceno	0,2	0,0002	7,27673E-06	78,11	155,28	80,1	760	0,876
Etilbenceno	0,67	0,00067	2,4377E-05	106,17	17,165	136,2	760	0,866
Tolueno	2,1	0,0021	7,64057E-05	92,14	47,53	111	760	0,8669
Xileno	1,9	0,0019	6,91289E-05	106,16	12,23	144	760	0,865
Aire		27,48						
Masa total		27,48487						

Fuente: ROBERT H. PERRY., DON W. WREEN., Chemical Engineers Handbook., sección 2  
 .Pp 57 -75

Tabla 18-3: Datos adicionales para determinación del tiempo óptimo de muestreo

Volumen de aire (L)	Temperatura ambiente (°C)	Diámetro del tubo (cm)	Caudal (cm <sup>3</sup> /min)	Longitud del lecho (cm)	Longitud del Tubo (cm)	Masa de carbón (g)	Densidad del aire (g/l)
24	35	0,6	50	1	7	0,15	1,145

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

Tabla 19-3: Simbología para determinación del tiempo óptimo de muestreo

N°	Variable	Símbolos	Unidad
1	Peso molecular	PM	g/mol
2	Densidad del gas	$\rho_g$	g/ cm <sup>3</sup>
3	Fugacidad	f	mmHg
4	Presión de vapor	P <sup>v</sup>	mmHg
5	Temperatura de Ebullición	T	°C
6	Presión total	P	mmHg
7	Concentración analito	---	%
8	Diámetro de la partícula	Dp/Dt	m, ft
9	Fracción externa de huecos del lecho	$\epsilon$	----
10	Presión parcial	p	mmHg
11	Fugacidad del líquido saturado	$f_s$	mmHg
12	Trabajo generado	W	g/g carbón
13	Concentración en la alimentación	Co	g/cm <sup>3</sup>
14	Volumen molar	V	cm <sup>3</sup> /mol
15	Volumen del lecho	$\bar{V}$	cm <sup>3</sup>
16	Altura ocupada por carbón activado	h	Cm

17	Radio	r	Cm
18	Diámetro del tubo	D	Cm
19	Velocidad superficial del fluido	$v_0$	cm/s
20	Caudal	Q	cm <sup>3</sup> /min
21	Área	A	cm <sup>2</sup>
22	Longitud lecho	L	Cm
23	Densidad del lecho	$\rho_b$	g/cm <sup>3</sup>
24	Fracción de benceno	Xb	---

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

### 3.2.11.1 Benceno

#### 3.2.11.1.1 Presión parcial y fugacidad

$$p = X_b * P$$

$$p = 7,27673E - 06 * 760 \text{ mmHg} = 0,005530315 \text{ mmHg} \approx f$$

#### 3.2.11.1.2 Volumen Molar

$$V = \frac{\text{Peso Molecular}}{\rho_g}$$

$$V = \frac{78,11 \text{ g/mol}}{0,876 \text{ g/cm}^3}$$

$$V = 89,166 \text{ cm}^3/\text{mol}$$

#### 3.2.11.1.3 Carga del Adsorbato

$$\frac{T}{V} \log \frac{f_s}{f}$$

$$\frac{308,15^\circ K}{89,166 \text{ cm}^3/\text{mol}} \log \frac{155,28 \text{ mmHg}}{0,005530315 \text{ mmHg}} = 15,3655$$

En la figura 25.4., WARREN L. MCCABE., JULIAN C. SMITH., PETER HARRIOTT., Operaciones Unitarias en Ingeniería Química., 7<sup>ma</sup>.ed., México., 2007., Pp 883

12 cm<sup>3</sup> por cada 100g de carbon

#### 3.2.11.1.4 Carga de adsorbato

$$W = \frac{12 \text{ cm}^3}{100} * \rho_L$$

$$W = \frac{12 \text{ cm}^3}{100} * 0,876 \text{ g/cm}^3 = 0,10512 \text{ g/g carbón}$$

#### 3.2.11.1.5 Área del lecho

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(0,6 \text{ cm})^2}{4} = 0,2827 \text{ cm}^2$$

#### 3.2.11.1.6 Velocidad del lecho

$$v_0 = \frac{Q}{A}$$

$$v_0 = \frac{50 \text{ cm}^3}{0,2827 \text{ cm}^2} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 2,947 \text{ cm/s}$$

#### 3.2.11.1.7 Volumen del lecho

$$\bar{V} = \pi(r)^2 h$$

$$\bar{V}_0 = \pi (0,3\text{cm})^2 * 1\text{cm} = 0,2827\text{cm}^3$$

### 3.2.11.1.8 Concentración en la alimentación

$$C_0 = \frac{Xb}{V} * \frac{273^\circ\text{K}}{T} * \text{Peso Molecular}$$

$$C_0 = \frac{Xb}{89,166\text{cm}^3/\text{mol}} * \frac{273^\circ\text{K}}{308^\circ\text{K}} * 78,11\text{g/mol} = 5,65005\text{E}^{-6}\text{g/cm}^3$$

### 3.2.11.1.9 Densidad del lecho

$$\rho_b = \frac{\text{g carbon}}{\bar{V}}$$

$$\rho_b = \frac{0,15\text{ g de carbon}}{0,2827\text{cm}^3} = 0,5305\text{ gcarbon/cm}^3$$

### 3.2.11.1.10 Tiempo ideal de adsorción

$$t^* = \frac{L\rho_b W}{v_0 C_0}$$

$$t^* = \frac{7\text{cm} * 0,5305\text{ gcarbon/cm}^3 * 0,10512\text{g/g carbon}}{2,947\text{cm/s} * 5,65005\text{E}^{-6}\text{g/cm}^3} = 23438,2107\text{s} = 6,511\text{h}$$

Tabla 20-3: Resultados del tiempo óptimo de adsorción

Compuesto	Presión parcial y fugacidad (mmHg)	Volumen molar(cm <sup>3</sup> /mol)	(T/V )log (fs/f)	Gráfica (cm <sup>3</sup> /100g)
Benceno	0,005530315	89,16666667	15,365569 47	12

Tolueno	0,018526557	122,5981524	7,4535342 07	32
Etilbenceno	0,058068312	106,2867689	8,4414346 41	30
Xileno	0,052537996	122,7283237	5,9401243 9	38
<b>Carga del adsorbato (g/g carbón)</b>	<b>Área del lecho (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Velocidad (cm/s)</b>	<b>Volumen del lecho (cm<sup>3</sup>)</b>	
0,10512	0,282744	2,947306869	0,282744	
0,27712	0,282744	2,947306869	0,282744	
0,26007	0,282744	2,947306869	0,282744	
0,3287	0,282744	2,947306869	0,282744	
<b>Concentración en la alimentación (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad del lecho (gcarbón/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>Tiempo ideal de adsorción( h)</b>	
5,65005E-06	0,530515236		6,511799969	
1,87116E-05	0,530515236		5,183522364	
5,87093E-05	0,530515236		1,550428564	
5,30015E-05	0,530515236		2,17059999	

**Realizado por:** OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

Los tiempos de adsorción para benceno, tolueno, etilbenceno y xileno varían debido a que se trabaja con gases diferentes es por tal razón que se toma al benceno como tiempo óptimo de adsorción para dichos compuestos orgánicos volátiles, por lo cual se asigna un tiempo de seguridad de 8 horas de adsorción para dichos analitos.

### **3.2.12 Determinación de la Caída de presión**

Es la disminución de la presión del fluido, dentro de un conducto, que tiene lugar cada vez que dicho fluido atraviesa un estrangulamiento o un elemento de utilización. La ecuación de Ergun es adecuada para datos obtenidos con esferas, cilindros y sólidos triturados.

**Tabla 21-3: Datos adicionales para la Caída de presión**

No	Variable	Unidad	Valor
1	$\Phi_s$	Adimensional	0,73
2	P	lb/ft <sup>3</sup>	0,0714
3	M	lb/ft s	1,27E <sup>-5</sup>
4	Malla 35x35	Ft	0,00164
5	$u_0$	ft/s	0,096
6	D	Ft	0,00164
7	Longitud	Ft	0,2296

Fuente: WARREN L. MCCABE, JULIAN C. SMITH., Operaciones Unitarias en Ingeniería Química., Pp174., Pp.19-20

Tabla 22-3: Fracciones huecas para empaques apilados o rellenos al azar

Dp/Dt	ε para esferas	ε para cilindros
0	0,34	0,34
0,1	0,38	0,35
0,2	0,42	0,39
0,3	0,46	0,45
0,4	0,50	0,53
0,5	0,55	0,60

Fuente: WARREN L. MCCABE, JULIAN C. SMITH., Operaciones Unitarias en Ingeniería Química., Pp177.

Tabla 23-3: Simbología para determinación de caída de presión

N°	Variable	Símbolos	Unidad
1	Esfericidad	$\Phi_s$	Adimensional.
2	Densidad del aire 35°C	$\rho$	lb/ft <sup>3</sup>
3	Viscosidad del aire a 35°C	$\mu$	lb/ft s
4	Velocidad superficial del fluido	$u_0$	ft/s
5	Diámetro de la partícula 0,5 mm	D	ft)
6	Malla 35x35 0,5mm	----	ft

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{150 v_0 \mu \times (1 - \epsilon)^2}{\Phi_s^2 D_p^2 \epsilon^3} + \frac{1,75 \rho v_0^2 \times (1 - \epsilon)}{\Phi_s D_p \epsilon^3}$$

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{150 * 0,096 \text{ ft/s} * 1,27 E^{-5} \times (1 - 0,35)^2}{(32,2 * 0,73)^2 * (0,00164 \text{ ft})^2} \frac{1}{0,35^3} + \frac{1,75 * 0,0714 \text{ lb/ft}^3 (0,095 \text{ ft/s})^2 \times (1 - 0,35)}{(32,2 * 0,73) * 0,00164 \text{ ft} \quad 0,35^3}$$

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{0,000180975}{0,00148609} \times \frac{0,4225}{0,042875} + \frac{0,001127673}{0,03854984} \times \frac{0,65}{0,042875}$$

$$\frac{\Delta p}{L} = 1,200040777 + 0,443475693$$

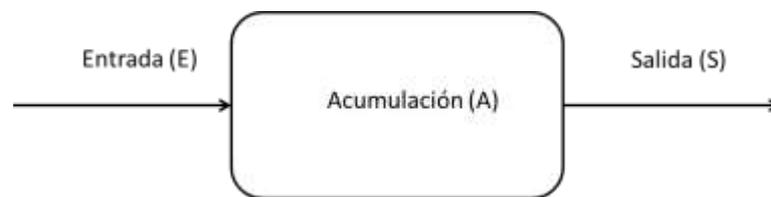
$$\frac{\Delta p}{L} = 1,64 \text{ lb} / \text{ft}^2 \text{ft}$$

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{1,64 \text{ lb} / \text{ft}^2 \text{ft} \times 12}{64,2} = 0,31 \text{ in H}_2\text{O}$$

$$\Delta p = 0,31 \text{ in} \frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{ft}} \times 0,2296 \text{ ft}$$

$$\Delta p = 0,0714 \text{ in H}_2\text{O}$$

### 3.2.13 Balance de masa



$$E = S + A$$

$$E(X_E) = S(X_S) + A(X_A)$$

Tabla 24-3: Datos experimentales del Carbón Activado y Resina para el balance de masa

Aire		Planta de gas		Refinería		Campamento	
Volumen (L)	Compuesto	Presente en aire (µg)	Adsorbido por carbon (µg)	Presente en aire (µg)	Adsorbido por carbon(µg)	Presente en aire (µg)	Adsorbido por carbon (µg)
24	Benceno	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Etilbenceno	0,4	0,4	1,2	1,4	0,2	0,2
	Tolueno	2,1	2,7	2,1	1,6	0,2	0,4
	Xileno	1,2	1,1	4,6	4,1	0,2	0,2

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

**Tabla 25-3: Datos Adicionales para balance de masa**

Compuesto	Densidad(g/L)
Aire	1,145

Fuente: OCÓN. GARCÍA., Elementos de Ingeniería Química., Pp778

**Tabla 26-3: Simbología para determinación de balance masa individual de BTEX**

N°	Variable	Símbolos	Unidad
1	Masa de aire	$m_A$	g
2	Densidad del aire	$\rho$	g/ l
3	Volumen de aire	V	l
4	Entrada	E	g
5	Masa del compuesto	$m_i$	g
6	Salida	S	g
7	Acumulación	A	g
8	Fracción de alimentación	$X_E$	---
9	Fracción en la acumulación	$X_A$	---
10	Fracción en la salida	$X_S$	---

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

### **3.2.13.1 Cálculos de balance de masa individuales**

#### **3.2.13.1.1 Benceno**

##### **3.2.13.1.1.1 Transformación de unidades**

$$\mu g * \frac{1 g}{1000 \mu g}$$

$$0,2 \mu g * \frac{1 g}{1000 \mu g} = 0,0002 g$$

##### **3.2.13.1.1.2 Masa de aire**

$$m = \rho * V$$

$$m_A = 1,145 \frac{g}{L} * 24L = 27,48g$$

### 3.2.13.1.1.3 Masa en la alimentación

$$E = m_i + m_A$$

$$E = 0,0002g + 27,48g = 27,4802g$$

### 3.2.13.1.1.4 Masa a la salida

$$E = S + A$$

$$S = E - A$$

$$S = 27,4802g - 0,0002g = 27,48g$$

### 3.2.13.1.1.5 Fracción en la Alimentación ( $X_E$ )

$$X_E = \frac{m_i}{E}$$
$$X_E = \frac{0,0002g}{27,4802g} = 7,2779E - 06$$

### 3.2.13.1.1.6 Fracción en la salida ( $X_S$ )

$$E(X_E) = S(X_S) + A(X_A)$$

$$X_S = \frac{E(X_E) - A(X_A)}{S}$$

$$X_S = \frac{E(X_E) - A(X_A)}{S}$$

$$X_S = \frac{27,4802g(7,2779E - 06) - 0,0002g(1)}{27,48g} = 0$$

### 3.2.13.1.1.7 Eficiencia

$$eficiencia = \frac{A * 100}{m_i}$$

$$eficiencia = \frac{0,0002g * 100}{0,0002g} = 100\%$$

Tabla 27-3: Tabla de resultados balance de masa individual BTEX

Balance de Masa Individual BTEX
---------------------------------

Planta De Gas								
Compuesto	Masa (g)	Entrada (g)	Acumulación (g)	Eficiencia %	Salida (g)	Fracción a la entrada	en la acumulación	Fracción a la Salida
Aire	27,48							
Benceno	0,0002	27,480	0,0002	100	27,48	7,27797E-06	1	0
Etilbenceno	0,0004	27,480	0,0004	100	27,48	1,45558E-05	1	0
Tolueno	0,0021	27,482	0,0027	128,5714	27,48	7,64134E-05	1	-2,18E-05
Xileno	0,0012	27,481	0,0011	91,66667	27,48	4,36662E-05	1	3,64E-06
Refinería								
Compuesto	Entrada (g)	Entrada (g)	Acumulación (g)	Eficiencia %	Salida (g)	Fracción a la entrada	en la acumulación	Fracción a la Salida
Aire	27,48							
Benceno	0,0002	27,480	0,0002	100	27,48	7,27797E-06	1	0
Etilbenceno	0,0012	27,481	0,0014	116,6667	27,479	4,36662E-05	1	-7,28E-06
Tolueno	0,0021	27,482	0,0016	76,19047	27,481	7,64134E-05	1	1,87E-05

Xileno	0,004 6	27,48 5	0,0041	89,1304 4	27,48 1	0,00016736 6	1	1,87E- 05
<b>Campamento</b>								
<b>Compuesto</b>	<b>Entrada (g)</b>	<b>Entrada (g)</b>	<b>Acumulación (g)</b>	<b>Eficiencia %</b>	<b>Salida (g)</b>	<b>Fracción a la entrada</b>	<b>la acumulación</b>	<b>Fracción a la Salida</b>
Air e	27,48							
Benceno	0,000 2	27,48 0	0,0002	100	27,48	7,27797E- 06	1	0
Etilbenceno	0,000 2	27,48 0	0,0002	100	27,48	7,27797E- 06	1	0
Tolueno	0,000 2	27,48 0	0,0004	200	27,47 9	7,27797E- 06	1	-7,278E- 06
Xileno	0,000 2	27,48 0	0,0002	100	27,48	7,27797E- 06	1	0

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

### 3.2.13.2 Cálculos de balance de masa global BTEX

#### 3.2.13.2.1 Masa en la acumulación

$$A = \sum m_i$$

$$A = 0,2g + 0,4 + 2,1 + 1,2g = 3,9g$$

#### 3.2.13.2.2 Transformación de unidades

$$\mu g * \frac{1 g}{1000 \mu g}$$

$$3,9 \mu g * \frac{1 g}{1000 \mu g} = 0,0039g$$

### 3.2.13.2.3 Masa de aire

$$m = \rho * V$$

$$m_A = 1,145 \text{ g/L} * 24L = 27,48g$$

### 3.2.13.2.4 Masa en la alimentación

$$m_T = \sum m_i + m_A$$

$$E = 0,0002g + 0,0004 + 0,0021 + 0,0012g + 27,48g = 27,4839g$$

### 3.2.13.2.5 Masa a la salida

$$E = S + A$$

$$S = E - A$$

$$S = 27,4839g - 0,0039g = 27,48g$$

### 3.2.13.2.6 Fracción en la Alimentación ( $X_E$ )

$$X_E = \frac{m_i}{E}$$

$$X_E = \frac{0,0039g}{27,4839g} = 0,00014$$

### 3.2.13.2.7 Fracción en la salida ( $X_S$ )

$$E(X_E) = S(X_S) + A(X_A)$$

$$X_S = \frac{E(X_E) - A(X_A)}{S}$$

$$X_S = \frac{E(X_E) - A(X_A)}{S}$$

$$X_s = \frac{27,4839g(0,00014) - 0,0039g(1)}{27,48g} = -1,8195E^{-5}$$

### 3.2.13.2.8 Eficiencia

$$eficiencia = \frac{A * 100}{m_i}$$

$$eficiencia = \frac{0,0002g * 100}{0,0002g} = 100\%$$

Tabla 28-3: Resultados de balance de masa global BTEX

Balance de Masa Global BTEX							
Planta De Gas							
Compuesto	Entrada (g)	Acumulación (g)	Eficiencia %	Salida (g)	Fracción a la entrada	Fracción en la acumulación	Fracción a la Salida
Aire	27,48						
BTEX	0,0039	0,0044	112,8205 13	27,479 5	0,000141901	1	-1,81954E- 05
Alimentación	27,483 9						
Refinería							
Compuesto	Entrada (g)	Acumulación (g)	Eficiencia %	Salida (g)	Fracción a la entrada	Fracción en la acumulación	Fracción a la Salida
Aire	27,48						
BTEX	0,0081	0,0073	90,12345 68	27,480 8	0,00029467 3	1	2,91112E-05

Alimentación	27,4881						
<b>Campamento</b>							
<b>Compuesto</b>	<b>Entrada (g)</b>	<b>Acumulación (g)</b>	<b>Eficiencia %</b>	<b>Salida (g)</b>	<b>Fracción a la entrada</b>	<b>Fracción en la acumulación</b>	<b>Fracción a la Salida</b>
Aire	27,48						
BTEX	0,0008	0,001	125	27,4798	2,91112E-05	1	-7,27807E-06
Alimentación	27,4808						

Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH., 2016,

**Tabla 29-3: Comparación de resultados Resina vs Carbón activado**

Compuesto	Norma (µg/L)	Resina			Carbón Activado		
		Planta de gas (µg/L)	Refinería (µg/L)	Campamento (µg/L)	Planta de gas (µg/L)	Refinería (µg/L)	Campamento (µg/L)
Benceno	1,62	0,0083333	0,0083333	0,0083333	0,0083333	0,0083333	0,0083333
Etilbenceno	434	0,0166666	0,05	0,0083333	0,0166666	0,0583333	0,0083333
Tolueno	377	0,0875	0,0875	0,0166666	0,1125	0,0666666	0,0166666
Xileno	434	0,05	0,1916666	0,0083333	0,0458333	0,1708333	0,0083333

**Fuente:** Directiva Europea de Calidad del Aire (2000/69/CE). RD 1073/2002 (España). Valor límite exigible a partir del 1 de enero de 2010

Niveles de Exposición Recomendados por National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards: Benzene. 2005  
 Niveles de Exposición Recomendados por National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards: Toluene. 2005.  
 World Health Organisation (WHO). Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No. 23, 2nd edition, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2000  
 Niveles de Exposición Recomendados por National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards: Xylenes. 2005  
 Niveles de Exposición Recomendados por National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH). Pocket Guide to Chemical Hazards: Ethylbenzene. 2005  
 LABORATORIO GRUNTEC., Resultados BTEX EN RESINA., Mayo 2015.  
 LABORATORIO GRUNTEC., Resultados BTEX CARBON ACTIVADO., Noviembre., 2015  
**Realizado por:** OROZCO E. / VÁSCONEZ A., 2016.

### 3.2.14 Validación del dispositivo piloto

Para la validación del dispositivo piloto a base de carbón activado para adsorción de compuestos orgánicos volátiles como benceno, tolueno, etilbenceno y xileno en aire ambiente en el complejo industrial Shushufindi se procedió a realizar la toma de muestra para la verificación del funcionamiento óptimo del dispositivo con la finalidad de descartar dificultad alguna en algún tipo de muestreo; teniendo de esta manera resultados acorde a lo requerido como se puede evidenciar en el reporte de análisis, realizado en el laboratorio Gruntec en la ciudad de Quito.

**Tabla 30-3: Reporte de análisis validación del dispositivo piloto**

Rotulación Muestra:	Trabajador 1	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	n.d	
No. Reporte Gruntec:	1511423-S001	
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles: <sup>a)</sup></b>		
Benceno mg *	0.0068	EPA 8260 C
Etilbenceno mg *	0.0033	EPA 8260 C
Tolueno mg *	0.0095	EPA 8260 C
m+p-xileno mg *	0.0054	EPA 8260 C
O-xileno mg *	0.0011	EPA 8260 C

LABORATORIO GRUNTEC., Resultados BTEX CARBON ACTIVADO., Abril., 2016.

#### 3.2.14.1 Funcionamiento del dispositivo piloto para adsorción de BTEX



**Figura 11-3: Explicación del procedimiento para la toma de muestra de BTEX**  
Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.



**Figura 12-3: Adición de BTEX para adsorción**  
Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.



**Figura 13-3: Personal receptor de la validación del dispositivo piloto**  
**Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.**

### **3.2.14.2 Eficiencia en la validación**

Luego del proceso de toma de muestra y análisis por cromatografía de gases se determinó que la eficiencia del dispositivo es del 94 %, que refleja la confiabilidad del método.

**Tabla 31-3: Eficiencia en la validación**

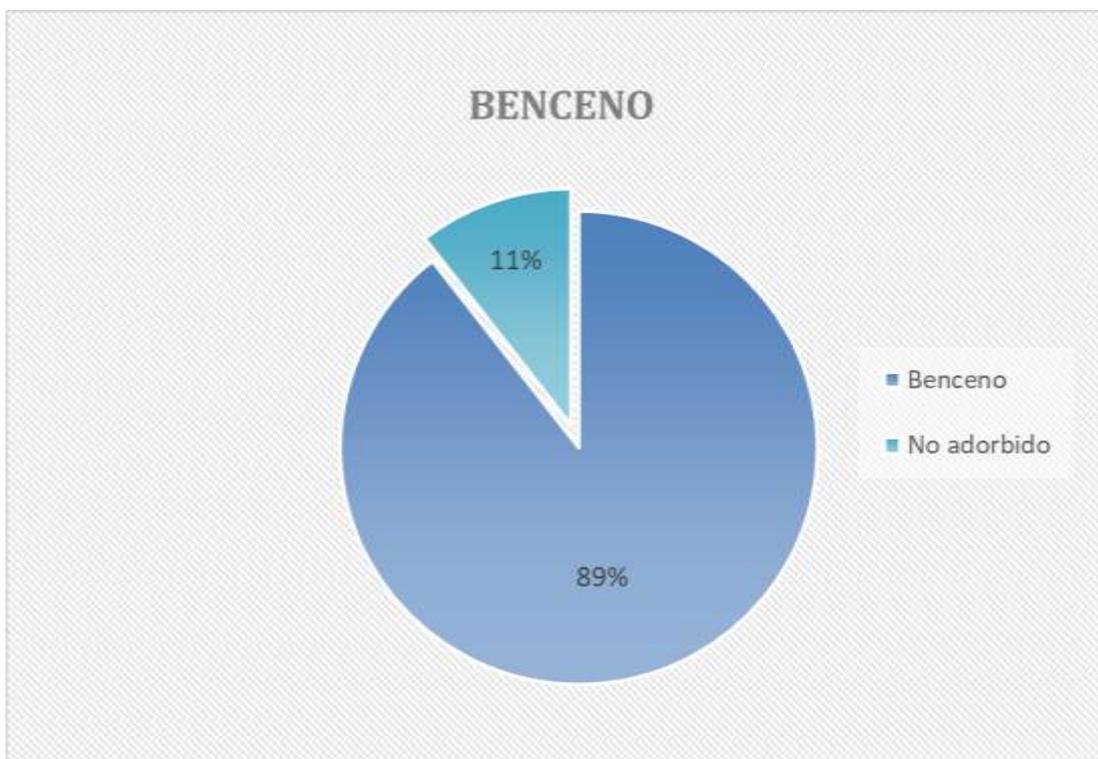
<b>Compuesto</b>	<b>Masa inicial (mg)</b>	<b>Masa detectada (mg)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
Benceno	0,0074	0,0068	91,9
Etilbenceno	0,004	0,0033	82,5
Tolueno	0,1	0,095	95,0
Xileno	0,0073	0,0065	89,0
BTEX	0,1187	0,1116	94,0
No adsorbido		0,0008	6

**Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., 2016.**

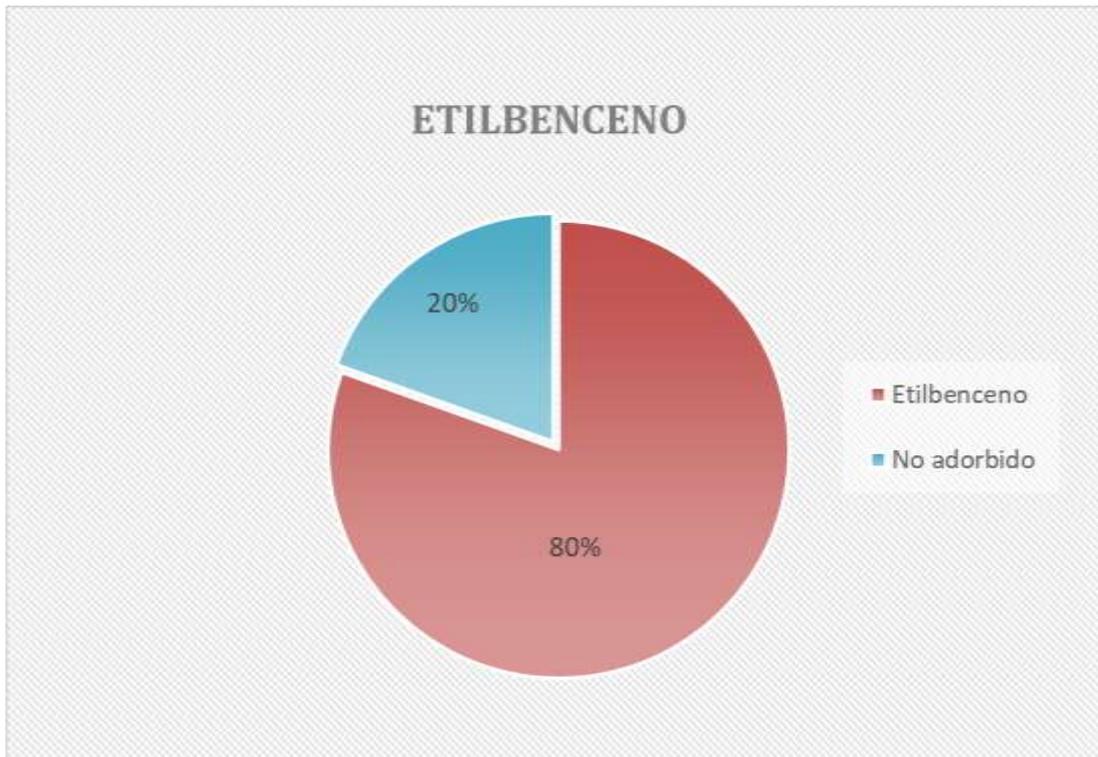
#### **3.2.14.2.1 Diagramas de Adsorción:**



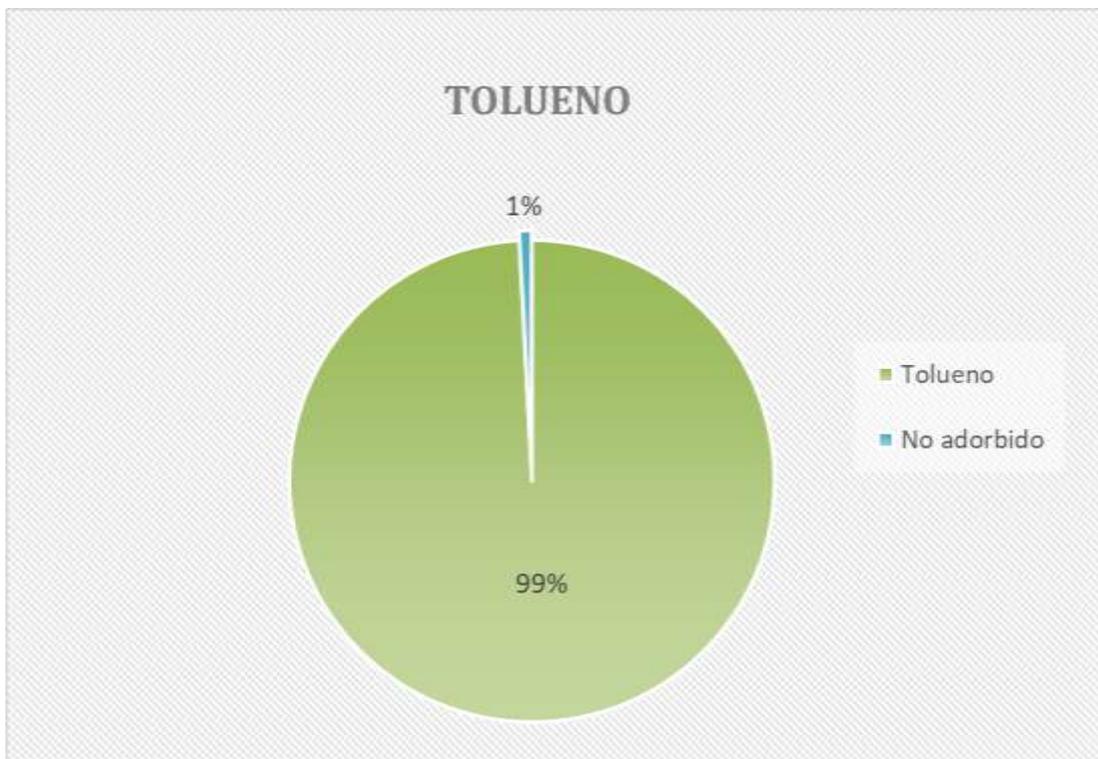
**Figura 14-3: Eficiencia de adsorción de BTEX**  
 Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.



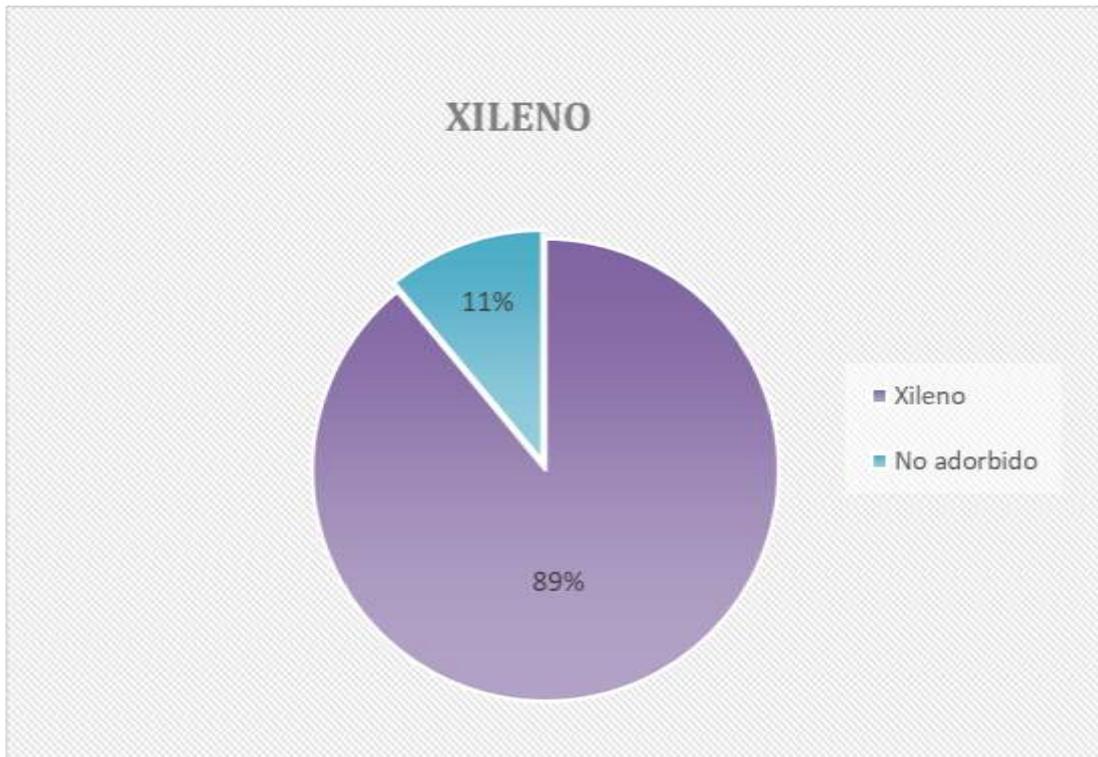
**Figura 15-3: Eficiencia de adsorción de Benceno**  
 Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.



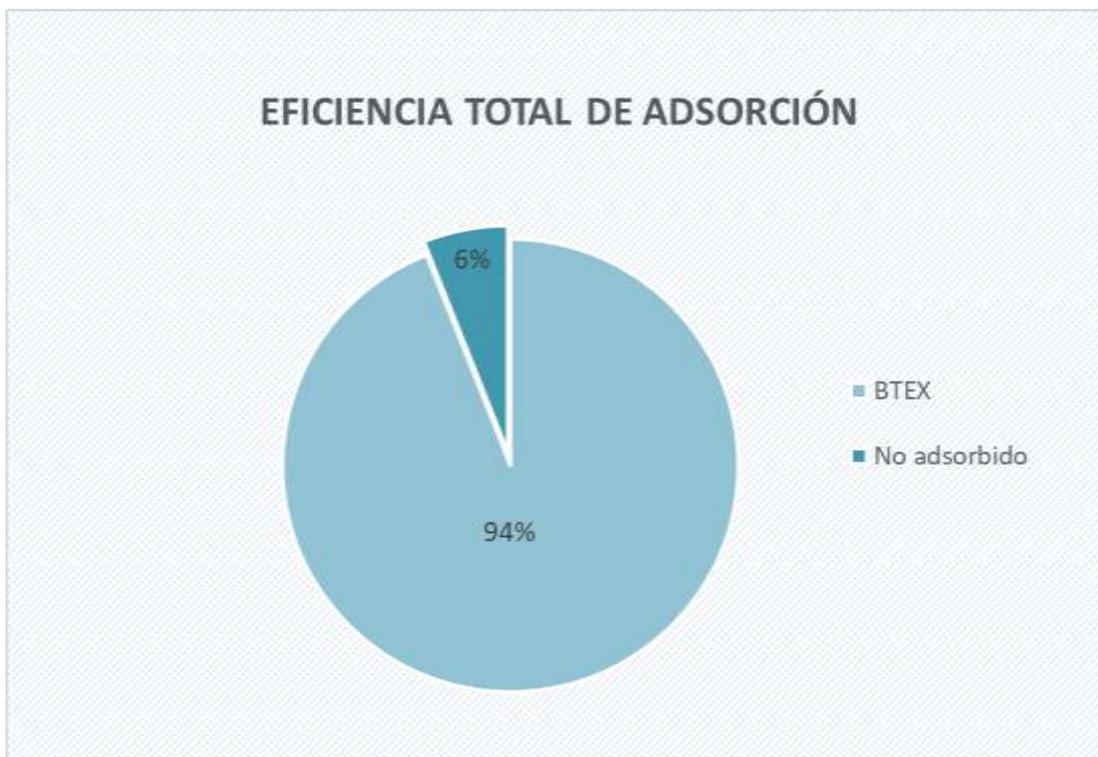
**Figura 16-3: Eficiencia de adsorción de Etilbenceno**  
Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.



**Figura 17 -3: Eficiencia de adsorción de Tolueno**  
Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.



**Figura 18-3: Eficiencia de adsorción de Xileno**  
Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.



**Figura 19-3: Eficiencia de adsorción total de BTEX**  
Realizado por: OROZCO E. / VÁSCONEZ A., ESPOCH, 2016.

## CONCLUSIONES

Una vez realizado los cálculos de ingeniería tanto del tiempo de adsorción de BTEX y pérdida de carga en el dispositivo piloto para retención de los principales compuestos orgánicos volátiles en aire ambiente para el complejo industrial Shushufindi se da respuesta a los objetivos planteados llegando de esta manera a la conclusión del diseño y construcción del dispositivo. Para lo cual se realizó la caracterización de compuestos orgánicos volátiles BTEX, en base al ACUERDO No. 091 - LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS PARA ACTIVIDADES HIDROCARBURÍFERAS y del ACUERDO No. 050 NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE O NIVEL DE INMISION, mediante dicha información se procedió a la toma de muestras en el lugar donde labora el personal de Refinería, siendo estos tres puntos específicos donde existe mayor contaminación debido a los procesos que realizan, como son la Planta de Gases, Planta de Refinación y el área del campamento donde mayor frecuencia de personal existe. Teniendo como resultado parámetros que se encuentran dentro de la norma.

Se identificó las variables para el diseño del dispositivo de adsorción a base de carbón activado para compuestos orgánicos volátiles siendo estas temperatura, humedad y presión atmosférica que ayudaron a la determinación de Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xileno ya que a mayor temperatura no hay mayor adsorción del analito.

Se determinó los costos de construcción del dispositivo de retención de compuestos orgánicos volátiles a base carbón activado dándonos un total de 1900 dólares mientras que 130 dólares por muestra si se realiza en un laboratorio privado.

Finalmente se llegó a validar el funcionamiento del dispositivo piloto para retención de los principales compuestos orgánicos volátiles a base carbón activado en el complejo industrial Shushufindi mediante la toma de una muestra.

## BIBLIOGRAFÍA

Warren L, Smith P., (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química.*, 7<sup>ma</sup>.ed., México., 2007. Pp.19-20., Pp. 174. España-madrid

Perry R., Wreen D., (1997). *Chemical Engineers Handbook.*, 7<sup>ma</sup>.ed., Nort America., 1997., sección 2 .Pp 57 -75., Sección 5., Pp 42., sección 16., tabla 16- 3. España-madrid

Gutierrez J. (1976), *Elemento de Ingeniería Química*, España-Madrid

Instituto Ecuatoriano de Normalización (1995), *NTE INEN 2021., Plásticos. Espumas flexibles de Poliuretano para usos generales*, Ecuador-Quito

F. Rodriguez, (1992). *m. molina-sabio and m.a. muñecas*, *J. Phys. Chem*, 96, 2707 (1992). España-Madrid

Ministerio de Energía y Minas, (2007). *Acuerdo No. 091: Límites máximos permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas para actividades Hidrocarburíferas*. Ecuador-Quito

Ministerio del Ambiente (2007), *Acuerdo No. 050: Norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión*. Ecuador-Quito

Instituto Ecuatoriano de Normalización (1991). *NTE INEN 1991: Productos químicos industriales. Carbón activado para uso industrial*. Ecuador-Quito