

OPERACIONES UNITARIAS 2023 – TRABAJO PRÁCTICO N° 6 – Adsorción e Intercambio Iónico

Ejercicio N° 1

Isotermas de Adsorción de Freundlich

Como resultado de la aplicación de la ecuación de la Isoterma de Langmuir, para un rango intermedio de presiones, la isoterma de Adsorción puede expresarse como

$$m = k p^n$$

m = masa adsorbida / masa de adsorbente

p = presión parcial del adsorbato

n = valor experimental

Donde k y n son constantes determinadas empíricamente que dependen del adsorbato, del adsorbente y de la temperatura. La ecuación antes vista es conocida como Isoterma de Adsorción de Freundlich.

En la siguiente tabla se dan valores selectos para las constantes k y n para carbón activado Calgon tipo BPL (malla 4 x 10).

Adsorbato	T °K	k	n	Rango de Presión Parcial, Pa
Acetona	311	0.01324	0.389	0.69-345
Acrilonitrilo	311	0.02205	0.424	0.69-103
Benceno	298	0.12602	0.176	0.69-345
Clorobenceno	298	0.19934	0.188	0.69-69
Ciclohexano	311	0.07940	0.210	0.69-345
Dicloroetano	298	0.08145	0.281	0.69-276
Fenol	313	0.22116	0.153	0.69-207
Tolueno	298	0.20842	0.110	0.69-345
Tricloroetano	298	0.25547	0.161	0.69-276

Estos valores se han extraído del Manual de Control de Costos de la E.P.A.

Uno de los problemas con estas isotermas es que la masa adsorbida se incrementa indefinidamente con un incremento de la concentración (presión). Este comportamiento no describe los casos reales a altas concentraciones. También a bajas concentraciones no se reduce a la Ley de Henry.-

Problema

Se desea calcular la capacidad de adsorción en el equilibrio de carbón activado Calgon tipo BPL (malla 4 x 10) para el fenol a 120 ppm (partes por millón) a 25 °C y a una atmósfera de presión total y en las mismas condiciones operativas, para el Ciclohexano a 95 ppm. Cuál de los 2 es más retenido?

Ejercicio N° 2

UNIDAD DE TRATAMIENTO EN FASE VAPOR CON CARBÓN ACTIVADO

El objetivo es ilustrar los cálculos de diseño para el dimensionamiento de una unidad de tratamiento en fase de vapor con carbón activado. El tren de tratamiento para este caso consta de un soplador, un separador de aire, un intercambiador de calor, y los recipientes de carbón para tratar el aire de la absorbidora con aire que contiene los siguientes productos químicos orgánicos volátiles (VOC): percloroetileno (PCE), tricloroetileno (TCE), benceno y tolueno.

El agua que contiene los COV entra por la parte superior de la columna del separador de aire y fluye generalmente hacia abajo a través del material de empaque. Al mismo tiempo, el aire fluye hacia arriba a través de la columna (flujo en contracorriente). Como el agua y el aire se ponen en contacto, los compuestos orgánicos volátiles se transfieren desde la fase acuosa a la fase de aire. El agua sale del fondo de la columna empobrecido en compuestos orgánicos volátiles. Los compuestos orgánicos volátiles se han transferido a la salida del aire de la parte superior de la columna en la fase de aire. Esta fase de aire fluye entonces a través de un intercambiador de calor donde es calentado desde 289 a 300 K para disminuir la humedad relativa de 100 a 50%. Desde aquí, la fase gaseosa fluye a través de los recipientes llenos de carbón activado. El carbón activado adsorbe los Compuestos orgánicos volátiles. La fase de aire, agotado de compuestos orgánicos volátiles, se descarga a la atmósfera.

Trabajo práctico.

Determinar:

- (1) Determinar la cantidad de carbono necesaria para 3 meses.**
- (2) Determine el tamaño de los vasos de adsorción por carbón.**
- (3) Determinar la caída de presión total a través del tren de tratamiento:**
 - (a) Air stripper y las tuberías correspondientes, válvulas e instrumentación.**
 - (b) separador de aire para calentar las tuberías del intercambiador, válvulas e instrumentación.**
 - (c) del intercambiador de calor.**
 - (d) del intercambiador de calor de carbono a la tubería de los vasos, las válvulas y los instrumentos.**
 - (e) los tanques de carbono.**
 - (f) Las tuberías entre los tanques de carbono.**
 - (g) desde el tanque de carbón al punto de descarga a la atmósfera.**
- (4) Determinar el tipo y tamaño del ventilador.**
- (5) Determinar el tipo y tamaño del intercambiador de calor.**

Datos

- Caudal de entrada de aire al ventilador (blower) de aire: $1 \text{ m}^3/\text{s}$.
- La temperatura de la corriente de vapor adicionado: 305 K.
- Tiempo entre cambios de carga de carbono: 3 meses /tanque.
- Número de tanques de carbón: dos (en serie).
- La presión atmosférica 87.6 kPa (elevación del sitio de aproximadamente 1600 m sobre el nivel del mar).

- La temperatura de la fase de aire que sale del extractor: 289 K.
- Los contaminantes y sus concentraciones que salen del separador de aire en la fase de aire:
 - o percloroetileno (PCE): 15 ppmv.
 - o tricloroetileno (TCE): 14 ppmv
 - o benceno: 9 ppmv.
 - o tolueno: 5 ppmv.

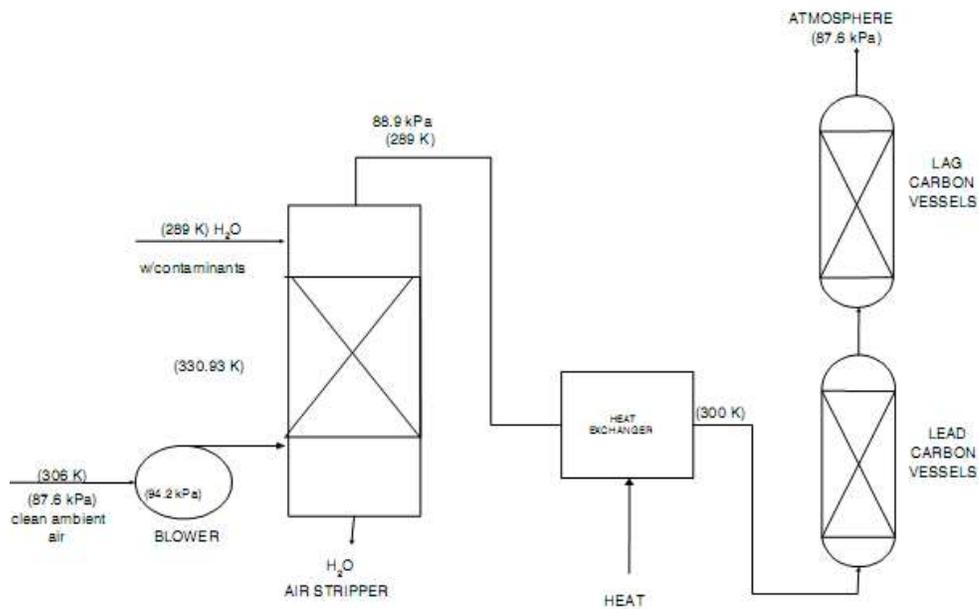


Figura 1. Esquema de la planta

Consideraciones a tener en cuenta:

- ✓ Utilizar la ecuación de la isoterma de Freundlich
- ✓ Los valores de K y $(1/n)$ se obtuvieron para un tipo de carbón a 298 K. Estos valores deben ser obtenidos para cada tipo de carbón y ser evaluados para cada temperatura (véase la Tabla B-1).

$$\frac{x}{m} = KC \left(\frac{1}{n}\right)$$

Table B-1
Freundlich isothermal data

Contaminant	Temp.	K	C (kPa)	$1/n$	x/m
PCE	298 K	1.0	1.3×10^{-3}	0.144	0.384
TCE	298 K	0.95	1.2×10^{-3}	0.263	0.162
Benzene	298 K	0.388	0.79×10^{-3}	0.131	0.152
Toluene	298 K	0.565	0.44×10^{-4}	0.111	0.240

- ✓ Para determinar el peso de cada contaminante a ser adsorbido por unidad de tiempo. Utilice la sig. Relación:

gr mol aire /min = $n = P \times V / R \times T$ idem para cada contaminante

- ✓ Una vez determinado el gasto de carbón para cada contaminante en 3 meses de uso utilizando un criterio conservador usamos el doble de masa que el calculado.
- ✓ En la determinación del diámetro del recipiente utilizamos velocidades en el lecho de entre 5 a 50 cm/s. A mayor velocidad más caída de presión a lo largo del lecho. Asumir un valor medio y calcular el diámetro del recipiente.

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

$$A = \left[\frac{3.14}{4} \right] [D^2]$$

- ✓ Estimar la profundidad del lecho, considerando la densidad del carbón estimando la densidad promedio de 489 Kg/m³.
- ✓ Si el recipiente de carbón es demasiado profundo, deberemos disminuir la velocidad superficial a través del lecho de carbono y se repiten los cálculos realizados en los párrafos anteriores para determinar un nuevo diámetro del recipiente.
- ✓ Para calcular las pérdidas de carga totales a través de las Unidades en el Tren de Proceso, tomamos algunas estimaciones.
- ✓ Las caídas de presión reales deben ser calculadas para cada aplicación.

(a) A través de Stripper soplador de aire, válvulas e instrumentos. 13 cm H₂O (estimación).

(b) Stripper aire para calentar tuberías intercambiadores, válvulas e instrumentos. 2,5 cm de H₂O (estimación).

(c) Intercambiador de calor. 2,5 cm de H₂O (estimación).

(d) Intercambiador de calor para buques de carbono de tuberías, válvulas e instrumentos. 2,5 cm de H₂O (estimación).

(e) Para un carbono específico en la literatura de los fabricantes, la caída de presión a través del carbono es 6 cm H₂O por metro de lecho de carbono.

(f) Entre recipientes de Carbono. 2,5 cm de H₂O (estimación).

(g) Los recipientes de carbono al ambiente en el punto descarga de aire. 2,5 cm de H₂O (estimación).

- ✓ Determinar el tamaño y tipo del ventilador
- ✓ Diseñar el soplador para manejar 1 m³ / s. Calcular las caídas totales en el sistema. La presión de salida del ventilador es la presión después de las unidades de carbón (87,6 kPa) más la caída de presión a través del tren de tratamiento.
- ✓ Estimar la potencia de las relaciones termodinámicas

Donde:

P: Potencia (KW)

P_1 = Presión de ingreso en kPa = 87,6 kPa

P_2 = Presión de salida en kPa = 94,2 kPa

V_1 = Volumen de entrada= 1 m³/s

C_p = Capacidad calorífica a P= cte.

C_v = Capacidad calorífica a V= cte.

k = Relaciones de Calores Específicos

C_p/C_v (k= 1,4 para aire; 1,31 para metano; 1,3 para CO₂)

$$P = [(P_1)(V_1)] \left[\frac{k}{(k-1)} \right] \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} - 1 \right]$$

- ✓ Estimando una eficiencia del equipo del 40%
Calcule el tamaño del motor.

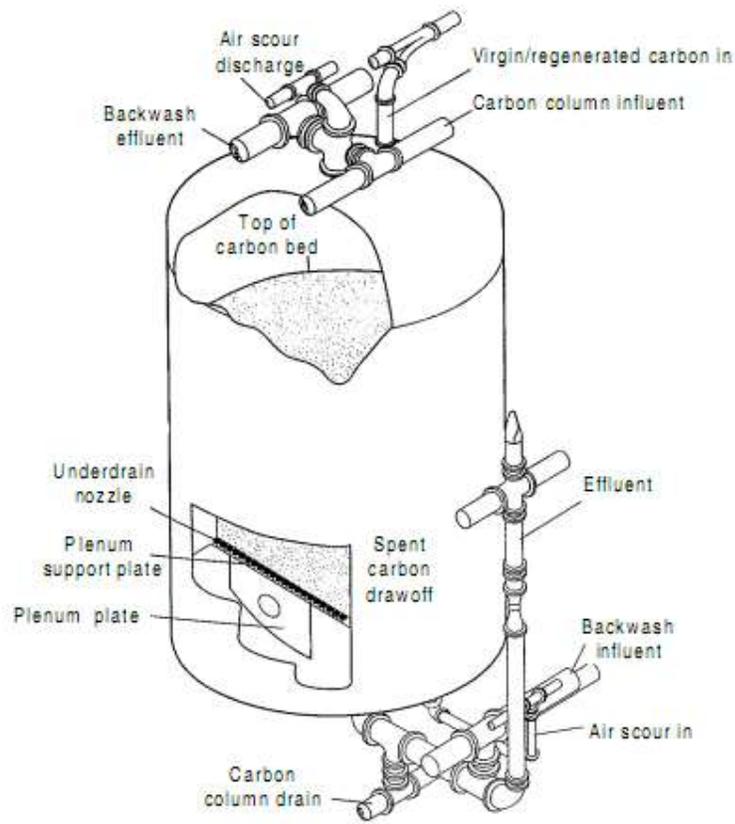


Figure 3-1. Schematic of carbon contactor.