
Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica

Universidad de La Laguna

Jornadas “Acércate a la Química”

Ingeniería Química: Experimentar en una planta piloto

Marzo 2004

Dr. Francisco Jarabo Friedrich

Dr. Francisco José García Álvarez

Dra. María del Cristo Marrero Hernández

Diseño didáctico:

Dr. Francisco Jarabo Friedrich	Profesor Titular de Universidad
Dr. Francisco José García Álvarez	Profesor Titular de Universidad
Dra. María del Cristo Marrero Hernández	Profesora Asociada

Asesoramiento didáctico:

Dr. Nicolás Elortegui Escartín	Catedrático de Enseñanza Secundaria
--------------------------------	-------------------------------------

Monitores:

Raimundo Javier Arvelo Rosales	Licenciado en Química
José Feliciano Gutiérrez González	Ingeniero Químico
Antonio Hernández Domínguez	Licenciado en Química
Natalia Otero Calviño	Ingeniero Químico
Nuria Regalado Rodríguez	Ingeniero Químico
Javier Rodríguez Gómez	Ingeniero Químico

© Autores. Reservados todos los derechos

Autorizada la reproducción, citando la fuente.

Impresión por fotocopia.

<http://www.quimica.ull.es/Jornadas04/IQ/AcercateIQ.htm>

Objetivos	
Generales	Específicos
<ul style="list-style-type: none">● Dar a conocer los aspectos específicos de la industria química.● Introducir la Ingeniería Química como una forma de racionalizar el estudio de los problemas tecnológicos de la industria.● Proporcionar una visión del tipo de trabajo que se lleva a cabo en un Departamento de Ingeniería Química.	<ul style="list-style-type: none">● Observar la forma de operación de una planta piloto.● Determinar experimentalmente las condiciones de inundación de una columna de relleno.● Determinar las características del relleno de la columna, tanto del lecho como de las partículas individuales.

Índice

Industria química. Ingeniería Química	3
Cuestión de tamaño. La planta piloto	3
Nuestra operación: Absorción	4
Nuestra planta piloto: Columna de relleno	5
Algunas cuestiones para la reflexión (y el cálculo)	7
Bibliografía	8
Tabla 1: Algunos importantes procesos químicos actuales	9
Tabla 2: Aparatos utilizados para algunas operaciones	10

Industria química. Ingeniería Química

La **industria** es el conjunto de operaciones materiales ejecutadas para la obtención o transformación de ciertos productos (textil, metalurgia, electrónica). Cuando se trata de productos que adquieren valor debido a que se modifican las propiedades de la materia de que están compuestos, se habla de **industria química** (ver **Tabla 1**).

Para mejorar la fabricación de productos químicos a gran escala surge, a finales del siglo XIX, lo que acabará llamándose **Ingeniería Química** y que se suele definir como “*el arte de concebir, calcular, diseñar, hacer construir y hacer funcionar instalaciones donde efectuar a escala industrial cualquier transformación química*” (J. Cathalá, 1951). Es decir, un ingeniero químico es un profesional que ha de poseer los conocimientos adecuados para llevar a cabo a gran escala lo que los químicos hacen en un laboratorio.

Cuestión de tamaño. La planta piloto

Las transformaciones de la industria química se llevan a cabo en las llamadas **plantas de proceso**, cuya característica principal es su gran tamaño, ya que se manejan en ellas grandes cantidades de productos. Ello da lugar a problemas específicos, principalmente relacionados con el **transporte** de los materiales y que influyen de forma muy importante en el proceso de fabricación.

En un laboratorio se manejan **gramos** de productos, mientras que en una planta de proceso suelen manejarse **toneladas** de productos. ¡Un millón de veces más!

Esto hace que, por un lado, los aparatos que se utilizan en el laboratorio sean totalmente diferentes a los usados en una planta de proceso (ver **Tabla 2**) y, por otro lado, la forma de operación también lo sea: en un laboratorio se llevan a cabo operaciones discontinuas, mientras que la mayoría de las plantas químicas operan en régimen continuo, intentando obtener el mayor rendimiento posible.

Para lograr la formación de profesionales en Ingeniería Química y para llevar a cabo ciertas investigaciones que se ven afectadas por el tamaño del equipo, generalmente se utiliza una instalación continua de tamaño reducido, que se denomina

planta piloto, y que representa un modelo a escala de un proceso industrial determinado.

Nuestra operación: Absorción

El lavado de un gas es una operación que se ha de realizar con cierta frecuencia. En el laboratorio se lleva a cabo haciendo burbujear el gas, mediante un tubo fino, a través del líquido de lavado. Se trata de la separación de uno o más componentes de una mezcla gaseosa mediante su disolución selectiva en un líquido ajeno a la misma. En la industria química se le llama **absorción** a esta operación de separación.

- Cuando se obtiene hidrógeno mediante la reacción de HCl con un metal (Zn, Al), el gas producido arrastra vapores de HCl, que se separan haciendo burbujear el gas a través de agua, donde se disuelve el HCl, pero no el H₂.
- Como la disolución del HCl en agua se produce a través de la superficie de las burbujas, cuanto mayor sea la cantidad de burbujas que se produzca, más efectivo será el proceso.

En las instalaciones industriales la absorción se lleva a cabo en un dispositivo llamado **columna de relleno**. Se trata de un recipiente cilíndrico, en cuyo interior se encuentra un lecho de partículas sólidas que pueden ser de diferentes tamaños y cuyo objetivo es favorecer el paso selectivo de los componentes del gas al líquido, proporcionando la máxima superficie de contacto con la menor pérdida de presión posible. El líquido fluye sobre el gas sin interrupción; ambas corrientes se mueven en sentidos opuestos a través del equipo, es decir, el líquido entra por la parte superior de la columna (“cabeza”), mientras que el gas entra por su parte inferior (“base”). Se dice que la columna opera en **contracorriente**.

Las aplicaciones más representativas de la absorción a escala industrial son:

- Eliminación de gases ácidos (H₂S, CO₂, SO₂) contenidos en los gases de combustión mediante corrientes líquidas (agua, disoluciones de sosa cáustica, etanolaminas).
- Secado de cloro mediante la absorción del agua con ácido sulfúrico concentrado.
- Preparación de bebidas gaseosas.

La **altura** de la columna determinará el grado de separación de los componentes y se puede calcular a partir de los datos de solubilidad del gas en el líquido. El **diámetro** de la columna y el tipo de relleno determinarán los caudales de ambas fases que podrá tratar la instalación y ha de determinarse a partir de medidas experimentales de las llamadas **condiciones de inundación**, que son las que limitan el funcionamiento de la columna.

Nuestra planta piloto: Columna de relleno

Se dispone de una columna de relleno de **1,40 m** de altura (de relleno) y **7,5 cm** de diámetro (interno), equipada con sendos reguladores y medidores de caudal de las fases líquida y gaseosa y un manómetro para medir la pérdida de presión a lo largo de la columna. La inundación de la columna se determina fijando un caudal de líquido y aumentando el caudal de gas hasta obtener una pérdida de presión que aumente con el tiempo (y que coincide con el fenómeno de arrastre de líquido, que puede observarse directamente). Realizando la experiencia a diferentes caudales de líquido puede obtenerse el conjunto de las condiciones de inundación para los diferentes caudales de ambas fases. En la instalación industrial se deberá operar **a la mitad del caudal de gas** determinado en la planta piloto.

Para obtener el caudal que pasa por un rotámetro es necesario un calibrado previo (relación entre el caudal y las divisiones de la escala del rotámetro [Div]); de esta forma, la altura que alcanza la boya en la escala graduada permite calcular fácilmente el caudal.

Para el rotámetro de **agua**:

$$Q_L \left[\frac{l}{\text{min}} \right] = 0,825 \cdot Div_L$$

Para el rotámetro de **aire** [NI: litros en condiciones normales]:

$$Q_G \left[\frac{NI}{\text{min}} \right] = 0,473 \cdot Div_G$$

En el siguiente cuadro se recopilan las condiciones de funcionamiento de la columna piloto que permitirán obtener el caudal operativo de gas.

Condiciones de inundación		
Medidas		Cálculo de los resultados
Rotámetro de agua (Div _L)		Caudal de líquido (Q _L)
Rotámetro de aire (Div _G)		Caudal de gas (Q _G) Caudal operativo de gas

Para completar el estudio del comportamiento de la columna es necesario asimismo analizar las **características del relleno** que contiene. El relleno está formado por anillos helicoidales de vidrio dispuestos en un lecho poroso. Por tanto, será necesario caracterizar tanto el conjunto de las partículas (el lecho) como las partículas individuales.

La principal característica de un lecho es su **porosidad** (cómo de compacto o macizo es el lecho, en los mismos términos en los que se utiliza en geología para el estudio de los suelos), que se define como la fracción de huecos de un lecho:

$$\epsilon = \frac{\text{Volumen de huecos}}{\text{Volumen del lecho}}$$

Cuanto más poroso sea el lecho, menos pérdida de presión provocará. Se calcula fácilmente enrasando con agua un lecho contenido en un volumen determinado (volumen del lecho). El volumen de agua utilizado en la operación será el volumen de huecos.

Una de las principales características de una partícula individual es su **tamaño**. Como su forma suele ser irregular, se expresa el tamaño como **diámetro equivalente de partícula**, diámetro de una esfera que posee el mismo volumen que la partícula, es decir:

$$\frac{4}{3} \pi r_p^3 = V_p$$

de donde:

$$d_p [m] = 2 r_p = \left(\frac{6}{\pi} V_p \right)^{\frac{1}{3}}$$

Se puede calcular fácilmente con las mismas medidas de volumen utilizadas para obtener la porosidad, siempre que se haya contado el número de partículas que contiene el lecho. La diferencia entre el volumen del lecho y el volumen de huecos es

el volumen de todas las partículas; el cociente entre este valor y el número de partículas permitirá obtener el volumen medio de una partícula y, por tanto, el diámetro de partícula.

Características del lecho			
Medidas		Cálculo de los resultados	
Volumen del lecho (l)		Volumen de huecos	Porosidad
Volumen de agua utilizada (l)			
Número de partículas		Volumen de partículas	Diámetro de partícula

Pueden obtenerse estas características para lechos constituidos por otros tipos de partículas y así tener diferentes alternativas que mejoren las pérdidas de presión, el peso que debe soportar la instalación o su coste, pero si se desean las condiciones de inundación de otro relleno, hay que cargar la planta piloto con él y realizar las experiencias de flujo.

Algunas cuestiones para la reflexión (y el cálculo)

1. Si los experimentos de laboratorio se realizan utilizando **ml** de productos y en una planta de proceso se manejan **m³** de productos, ¿cuál es el factor de escala (factor de conversión)?
2. ¿Qué dispositivo suele añadirse al extremo del tubo de un burbujeador de laboratorio para aumentar la superficie de lavado del gas? ¿Qué inconveniente presenta este dispositivo?
3. ¿Cuál es el volumen ocupado por el lecho de relleno en la planta piloto de laboratorio?
4. Calcular los caudales de líquido y de gas a los que se ha observado la inundación en la columna de absorción y expresarlos en **m³/h**. ¿Cuál sería el caudal operativo de gas recomendado para el caudal de líquido utilizado?
5. Calcular la porosidad del lecho de partículas utilizado como relleno en la columna piloto a partir de las medidas experimentales de volúmenes realizadas.
6. Calcular el diámetro de partícula del relleno de la columna a partir de las medidas de volúmenes y del número de partícula empleado en ellas.

7. Generalmente se considera que el diámetro de las partículas del relleno debe ser aproximadamente de 8 a 12 veces menor que el diámetro de la columna. ¿Cumple este requisito el sistema estudiado? ¿Qué pasaría si la columna tuviera el mismo diámetro que el relleno?
8. ¿Que conclusiones pueden sacarse analizando los datos de otros rellenos?

Propuesta de cálculo:

Una corriente de gas residual contiene un 10% en volumen de H_2S y debe rebajarse el contenido de este gas tóxico hasta una concentración de 0,1% en volumen. Para ello se ha decidido emplear una columna de absorción continua, utilizándose agua como disolvente. Si se trata un caudal de gas de $100 \text{ Nm}^3/\text{h}$, ¿cuántos kg de azufre se habrán eliminado después de un turno de trabajo de 7 horas?. Se puede suponer el comportamiento del gas como ideal, recordando que el peso molecular del azufre es de 32 kg/kmol .

[Este problema es lo que se denomina en Ingeniería Química un **balance de materia**, se resuelve fácilmente considerando que los componentes inertes del gas atraviesan la columna de relleno sin sufrir modificación y permite obtener que se recuperan ¡casi 100 kg! de azufre].

Propuesta experimental:

Una cafetera exprés doméstica contiene una pequeña columna de relleno. Determinar e identificar el tipo de operación, los componentes implicados y el régimen de funcionamiento para obtener la infusión final.

- a) ¿Cuál es volumen de la columna?
- b) ¿Cómo se podría medir experimentalmente la porosidad del café?
- c) ¿Cómo se podría utilizar la porosidad para calcular el volumen real del relleno?
- d) ¿Cuál es el peligro de que el café tenga muy poca porosidad?
- e) ¿Cuál es la relación entre lo molido que está el café y la porosidad?

Bibliografía

- **Calleja, G. y otros;** *“Introducción a la Ingeniería Química”*, Ed. Síntesis, Madrid (1999).
- **Costa, J. y otros;** *“Curso de Ingeniería Química”*, Ed. Reverté, Barcelona (2000).
- **Jarabo, F. y García, F.J.;** *“Conceptos de Ingeniería Química”*, ARTE Comunicación Visual, Santa Cruz de Tenerife (2003).
- **Valiente, A. y Stivalet, R.P.;** *“El ingeniero químico, ¿qué hace?”*, Alhambra Mexicana, México (1980).

Tabla 1: Algunos importantes procesos químicos actuales			
Fuente	Materia prima	Industrias y productos básicos	Utilización
Atmósfera	Aire	Destilación: nitrógeno, oxígeno	Atmósferas inertes Combustiones
Hidrosfera	Agua dulce	Electrólisis: hidrógeno	Hidrogenaciones
	Agua de mar	Evaporación: cloruro sódico Proceso Solvay: carbonato sódico Electrólisis húmeda: cloro, sosa cáustica Electrólisis seca: cloro, sodio	Álcalis Vidrio Cloraciones
		Bromo	Diversos usos
Litosfera	Sílice	Industria del vidrio	Construcción Óptica
	Arcilla	Industria cerámica	Construcción
	Caliza	Horno de cal: óxido cálcico, hidróxido cálcico	Álcalis
		Industria del cemento	Aglomerante
	Yeso	Industria del yeso	Aglomerante
	Azufre y sulfuros metálicos	Industria metalúrgica	Diversos usos
		Tostación: ácido sulfúrico	Abonos
	Rocas fosfáticas	Ácido fosfórico, fosfato potásico	Abonos
	Sales potásicas	Cloruro potásico, nitrato potásico	Abonos
	Carbón	Carboquímica	Prod. farmacéuticos Colorantes, perfumes Plásticos, cauchos Droguería
Petróleo	Petroleoquímica	Abonos, explosivos Disolventes, pinturas	
Biosfera	Vegetales	Almidón, sacarosa	Alimentación
		Látex, caucho, aguarrás	Neumáticos Pinturas
		Celulosa, rayón, industria papelera	Papel Vestido
		Algas, agar-agar	Alimentación
	Animales	Leche, lana, huesos, piel	Diversos usos
		Grasas, alcoholes grasos	Jabones Alimentación

Tabla 2: Aparatos utilizados para algunas operaciones

Operación	En el laboratorio	En una planta de proceso
Medida de fluidos	Medidores de volumen: <ul style="list-style-type: none"> ● Probetas ● Pipetas ● Buretas 	Medidores de caudal: <ul style="list-style-type: none"> ● Venturímetros ● Diafragmas ● Rotámetros
Transporte de fluidos	Recipientes: <ul style="list-style-type: none"> ● Botellas ● Frascos ● Bombonas 	Tuberías Aparatos de impulsión: <ul style="list-style-type: none"> ● Bombas ● Compresores Aparatos de regulación: <ul style="list-style-type: none"> ● Válvulas
Calentamiento	Mechero Bunsen	Horno
	Manta calefactora	Cambiador de calor: <ul style="list-style-type: none"> ● de doble tubo ● de carcasa y tubos ● de placas
Enfriamiento	Refrigerante	
Separación líquido-líquido	Embudo de decantación	Sedimentadores: <ul style="list-style-type: none"> ● Decantador ● Espesador
Separación sólido-líquido	Embudo y papel de filtro Embudo Buchner	Filtros: <ul style="list-style-type: none"> ● de presión ● de vacío ● centrífugo
Lavado de gases	Burbujeador	Columna de relleno: <ul style="list-style-type: none"> ● con anillos ● con sillas
Destilación	Alambique	Columna de platos: <ul style="list-style-type: none"> ● perforados ● de campanas
Reacciones químicas	Matraces: <ul style="list-style-type: none"> ● Erlenmeyer ● Esférico Vasos de precipitado	Reactores: <ul style="list-style-type: none"> ● tanques agitados ● tubulares
Instrumentación	De análisis químico	De control de procesos

NOTAS



Siempre cerca de tí