

**LABORATORIO DE**  
**FENÓMENOS DE TRANSPORTE**

## INDICE DE PRACTICAS

1.	Desplazamiento de partículas en el seno de un fluido	
	a) Análisis dimensional	3
	b) Determinación de viscosidad	6
2.	Estudio de la viscosidad en fluidos newtonianos. Viscosímetro Hoppler	10
3.	Estudio de la viscosidad en fluidos no newtonianos. Viscosímetro rotacional	13
4.	Experiencia de Osborne-Reynolds	16
5.	Determinación de coeficientes de convección natural y forzada	19
6.	Interacción aire-agua: Temperatura húmeda y humedad del aire	22
7.	Estudio de la variación con el tiempo del nivel de líquido en un depósito	27

# **1. DESPLAZAMIENTO DE PARTÍCULAS EN EL SENO DE UN FLUIDO**

## **1.1 ANÁLISIS DIMENSIONAL**

---

### **1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

El análisis dimensional se basa en el principio fundamental de que cualquier ecuación o relación entre variables tiene que ser dimensionalmente consistente, esto quiere decir que cada término de la relación tiene que tener las mismas dimensiones. Por consiguiente, si toda la ecuación se divide por uno cualquiera de los términos, cada uno de los términos resultantes en la ecuación tienen que ser adimensionales. El uso de estos grupos adimensionales resulta de gran valor para el desarrollo de relaciones en ingeniería química.

### 1.1. Bases teóricas

- Sistemas de magnitudes y unidades
  - Sistemas de unidades absolutos, técnicos e ingenieriles
  - Sistema internacional de unidades
- Conversión de unidades
- Principios del análisis dimensional
- Métodos del análisis dimensional
- Teorema  $\pi$  de Buckingham

### 2. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA

En esta práctica se llevará a cabo el estudio del transporte de cantidad de movimiento que se produce en la caída de un cuerpo en el seno de un fluido por acción de la gravedad, en este caso una esfera, haciendo uso del análisis dimensional para realizar dicho estudio.

Las variables y constantes físicas que se deben tener en cuenta son el diámetro del tubo ( $D$ ), el diámetro de la esfera ( $d$ ), velocidad límite de la esfera ( $u_l$ ), densidad de líquido ( $\rho$ ), viscosidad del líquido ( $\mu$ ) y la aceleración de la gravedad ( $g$ ).

El término velocidad límite se utiliza para designar aquella velocidad a la que se desplaza el cuerpo cuando el empuje del fluido y la fuerza debida al rozamiento contrarrestan la ejercida por acción de la gravedad.

Los módulos adimensionales en los que se agrupan las variables son:

$$\text{Re} = \frac{u_l \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad \text{Fr} = \frac{g \cdot d}{u_l^2} \quad \text{N}_3 = \frac{d}{D}$$

Estos tres números adimensionales están ligados por una función de la forma:

$$\text{Re} = f(\text{Fr}, \text{N}_3) \quad \text{Re} = a \cdot \text{Fr}^b \cdot \text{N}_3^c \quad (1)$$

donde  $a$ ,  $b$  y  $c$  son los parámetros a determinar.

### 3. MATERIAL NECESARIO

- 3 series de 3 tubos de diámetros diferentes.
- 4 esferas de diámetros diferentes
- 3 disoluciones de glicerina de viscosidades diferentes
- 1 cronómetro
- 1 embudo
- Acetona

#### **4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

En el caso de que sea necesario, proceder al llenado de los tubos con las diferentes disoluciones. Esta operación debe realizarse con cuidado, evitando producir burbujas, que quedarían atrapadas en el líquido.

Una vez llenos, se dejarán caer cada una de las diferentes bolas dentro de cada tubo, midiendo con un cronómetro el tiempo que tarda en recorrer una distancia conocida, comprendida entre dos líneas marcadas en el tubo. Así se determinará la velocidad límite para cada una de las bolas en cada disolución. Cada determinación de velocidad debe hacerse por triplicado, tomando luego para los cálculos su valor medio.

#### **5. TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES**

La ecuación (1) debe linearizarse y posteriormente se utilizarán los valores de la velocidad límite obtenidos para cada tubo y disolución para calcular los parámetros de dicha ecuación. Los datos experimentales y los valores calculados a partir de ellos han de presentarse en tabla para cada disolución y tubo utilizado. Los datos que se empleen para determinar las constantes han de presentarse en forma gráfica, así como el ajuste efectuado junto con los parámetros característicos de dicho ajuste.

#### **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados han de presentarse de forma clara en forma de tabla. Ha de realizarse un comentario crítico de los resultados obtenidos, haciendo especial énfasis en las posibles fuentes de error inherentes a la experiencia.

#### **7. BIBLIOGRAFÍA**

Ingeniería Química. Tomo 1: Conceptos generales. *Costa Novella*

Ingeniería Química. Tomo 1. *Coulson-Richardson*

El manual del Ingeniero Químico. *Perry*

# **1. DESPLAZAMIENTO DE PARTÍCULAS EN EL SENO DE UN FLUIDO**

## **1.2 DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD**

---

## 1. INTRODUCCIÓN

El flujo simultáneo de dos fases interviene en muchas operaciones básicas de separación de la Ingeniería Química como sedimentación, fluidización, filtración, destilación, absorción, etc. El conocimiento del flujo de fluidos es necesario, por tanto, no sólo pensando en el que se desarrolla a través de todos los equipos de la industria química, sino que también resulta básico en el tratamiento de cuantas operaciones impliquen transmisión de calor y transferencia de materia.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Sobre una partícula de masa  $m_p$ , densidad  $\rho_p$  y volumen  $V_p$  en el movimiento en el seno de un fluido de densidad  $\rho_f$ , con el campo gravitacional como único campo de fuerzas externas actúan tres fuerzas:

La gravitatoria:  $F_g = m_p \cdot g$

La fuerza de flotación prevista por el principio de Arquímedes:  $E = \frac{m_p \cdot \rho_f \cdot g}{\rho_p}$

La fuerza de rozamiento:  $F_{roz} = C_A \cdot A_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_f \cdot v^2$

donde  $C_A$ , coeficiente de arrastre, es análogo al factor de fricción y  $A_p$  es el área de proyección de la partícula sobre el plano perpendicular a la dirección del flujo.

La variación de la cantidad de movimiento que experimenta la partícula libre ha de ser igual a la fuerza resultante, así:

$$m_p \cdot \frac{dv}{dt} = F_g - E - F_{roz} = m_p \cdot g \cdot \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_p} - \frac{1}{2} \cdot C_A \cdot A_p \cdot \rho_f \cdot v^2$$

Al alcanzarse régimen estacionario, es decir, cuando la partícula llega a una velocidad uniforme, denominada velocidad límite, máxima o terminal ( $v_t$ ):

$$m_p \cdot \frac{dv}{dt} = 0$$

Por lo que la velocidad límite podrá expresarse como:

$$v_t = \left[ 2 \cdot \frac{m_p / \rho_p}{A_p} \right]^{0.5} \cdot \left[ \left( \frac{\rho_p}{\rho_f} - 1 \right) \cdot \left( \frac{g}{C_A} \right) \right]^{0.5}$$

Que para una partícula esférica sería:

$$v_t = 2 \cdot \left(\frac{d}{3}\right)^{0.5} \cdot \left[ \left(\frac{\rho_p}{\rho_f} - 1\right) \left(\frac{g}{C_A}\right) \right]^{0.5}$$

siendo d, el diámetro de la esfera.

Si se considera el movimiento, en régimen laminar, de pequeñas esferas en un fluido de viscosidad  $\mu_f$  contenido en un recipiente de gran diámetro (en comparación con el de las esferas), la fuerza de rozamiento ejercida sobre la esfera de diámetro d, se puede expresar según la ley de Stokes como:

$$F_{roz} = 3 \cdot \pi \cdot \mu_f \cdot v_t \cdot d$$

Por lo que a partir de la velocidad terminal determinada experimentalmente, se puede calcular la viscosidad de cualquier fluido:

$$\mu_f = \frac{2}{9} \cdot r^2 \cdot g \cdot \frac{\rho_p - \rho_f}{v_t}$$

### 3. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA

Se analizará la influencia de la fuerza de rozamiento en los cambios de velocidad de dicho cuerpo, lo que permitirá determinar la viscosidad del fluido y los coeficientes de arrastre.

### 4. MATERIAL NECESARIO

- Equipo experimental que consta de dos tubos cilíndricos verticales de diámetro 100 mm, longitud 1350 mm y longitud entre marcas, 1m.
- 8 bolas de acero de diámetro comprendidos entre 3 y 10 mm.
- 6 bolas de poliamida con diámetro comprendidos entre 3,96 y 9,52 mm.
- Bandejas de recogida de líquidos.
- 1 cronómetro.
- Fluidos contenidos en los tubos: aceite térmico de densidad 884 kg/m<sup>3</sup> y disolución de glicerina del 25% (p/p) de densidad 1073 kg/m<sup>3</sup>.
- Acetona

### 5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se dejan caer esferas dentro de los fluidos cuya viscosidad se quiere determinar, haciendo uso de los “lanzaesferas”, que permiten colocarlas en el centro del tubo, y se registra el tiempo que tarda la

esfera en recorrer la distancia existente entre las dos marcas de color rojo. Para recuperar la esfera, se gira 180° la válvula de la parte inferior del tubo, situándola a continuación en la posición inicial. Es conveniente realizar esta medida, al menos, por triplicado, tomando un valor medio para los cálculos y asegurando que se ha alcanzado la velocidad terminal, por lo cual es preciso utilizar las esferas de material y diámetros adecuados para cada fluido.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Para cada esfera se obtendrá un valor de velocidad terminal que permita calcular la viscosidad del fluido.
- Se obtendrá los coeficientes de arrastre ( $C_A$ ) y se establecerá su relación con el número de Reynolds.
- Se realizará un comentario de los resultados obtenidos y se establecerán las posibles fuentes de error inherentes al experimento.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Calleja Pardo, G.; García Herruzo, F.; De Lucas Martínez, A.; Prats Rico, D. y Rodríguez Maroto, J. M. 1999. Introducción a la Ingeniería Química. Ed. Síntesis, Madrid
- Costa Novella, E. 1985. Ingeniería Química. Tomos I, II y III. Ed. Alhambra, Madrid.

## **2. ESTUDIO DE LA VISCOSIDAD EN FLUIDOS NEWTONIANOS: VISCOSÍMETRO HOPPLER**

---

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Bases teóricas

Definición de viscosidad. Ecuación de dimensiones. Unidades.

Expresión de la viscosidad: dinámica, cinemática y relativa

Variación de la viscosidad con la temperatura en líquidos y gases

Determinación experimental de viscosidades: viscosímetros capilares, rotatorios y de esfera

Deducción de la expresión de la viscosidad en un viscosímetro Hoppler

## 1.2. Fundamento del viscosímetro Hoppler

Estudiando el movimiento de una esfera en el seno de un fluido y partiendo de la ley de Stokes se deduce la siguiente expresión para la viscosidad:

$$\mu = k (\rho_s - \rho) t \quad (1)$$

## 2. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA

El objetivo de esta práctica consiste en la determinación de la viscosidad de varios líquidos conocidos y de una solución problema utilizando un viscosímetro Hoppler. Asimismo se estudiará la variación de la viscosidad de dicha solución en función de su concentración y temperatura.

## 3. MATERIAL NECESARIO

- Viscosímetro Hoppler
- Soluciones de viscosidad conocida: agua, acetona y glicerina
- Solución problema (mezclas de glucosa en agua)
- Baño termostático
- Cronómetro
- Embudo
- Varilla de vidrio
- Probeta de 100 mL

## 4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para la medida de la viscosidad se utiliza un viscosímetro de Hoppler de caída de bola, que consta de un tubo cilíndrico recubierto de otro de mayor diámetro. Por el espacio entre ambos

circula un líquido de termostatación, generalmente agua, procedente de un termostato de circulación. En el tubo interior se observan unas marcas que sirven para determinar el tiempo de caída de bola entre ellas. Se acompaña un juego de bolas de diámetros y densidades diferentes que permiten medir la viscosidad de distintos fluidos. Para medir los tiempos de caída de bola se utiliza un cronómetro. Primeramente se conecta el viscosímetro al termostato. Seguidamente se llena el viscosímetro con el líquido patrón a utilizar, eliminando las burbujas que pudieran permanecer. Se introduce la bola presionando con suavidad y se colocan los tapones con las arandelas correspondientes y se cierra herméticamente con unas tapas roscadas.

Se utilizarán distintas disoluciones de viscosidad conocida a distintas temperaturas para obtener la constante de las bolas. Se llena el viscosímetro con distintos líquidos y se van introduciendo las distintas bolas, midiendo los tiempos de caída (se hacen 6 medidas para cada bola y cada líquido). En algún caso no se podrán medir tiempo debido a la rapidez de la caída o a la excesiva lentitud de la misma de lo que se deducirá que esa bola no es adecuada para ese líquido. Con estos datos se obtendrán las constantes de las bolas, que no deben depender del tipo de líquido utilizado.

Una vez obtenidas las constantes de las bolas se medirá la viscosidad de un nuevo líquido de viscosidad desconocida a distintas temperaturas.

## **5. TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES**

Los datos experimentales obtenidos se expondrán agrupados en tablas en para cada disolución analizada, presentándose asimismo los valores medios obtenidos (constante del viscosímetro y viscosidades) así como su desviación estándar.

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se realizará una tabla final con los resultados de viscosidad obtenidos para cada temperatura y concentración que deberá presentarse asimismo en forma gráfica.

Estos resultados se comentarán a la luz de las desviaciones obtenidas entre los valores de cada disolución, así como los posibles errores cometidos en la determinación.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

Ingeniería Química. Tomo 2: Fenómenos de transporte. *Costa Novella*

Ingeniería Química. Tomo 1. *Coulson-Richardson*

El manual del Ingeniero Químico. *Perry*

### **3. ESTUDIO DE LA VISCOSIDAD EN FLUIDOS NO NEWTONIANOS. VISCOSÍMETRO ROTACIONAL**

---

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **Bases teóricas**

Definición de viscosidad. Ecuación de dimensiones. Unidades.

Expresión de la viscosidad: dinámica, cinemática y relativa

Variación de la viscosidad con la temperatura en líquidos y gases

Determinación experimental de viscosidades: viscosímetros capilares, rotatorios y de esfera

Fluidos Newtonianos y no Newtonianos

Método de Ostwal-de-Waele o ley de la potencia para la descripción del comportamiento de fluidos no Newtonianos

## **2. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA**

Determinación de la viscosidad en fluidos Newtonianos y no Newtonianos

Determinación de parámetros reológicos

Estudio de la variación de la viscosidad con la composición y temperatura

## **3. MATERIAL NECESARIO**

- Viscosímetro Rotacional VISCO STAR L
- Soluciones problema
- Baño termostático

## **4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

Mediante el uso de un viscosímetro rotacional (consultar libro de instrucciones), determinar:

- a) Si la glicerina es fluido Newtoniano o no Newtoniano.
- b) Realizar un estudio de la variación de la viscosidad con la concentración para las disoluciones de glicerina.
- c) Determinar el carácter Newtoniano o no Newtoniano de la carboximetil celulosa (CMC). Utilizando la ley de la potencia determinar los parámetros reológicos de una disolución. Comprobar si estos parámetros varían con la composición o con la temperatura.

d) Realizar un estudio de la variación de la viscosidad con la concentración para las disoluciones de CMC.

e) Repetir este último estudio a diferentes temperaturas.

## 5. TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES

El cálculo de los parámetros reológicos en fluidos no Newtonianos implica la linearización de la siguiente ecuación:

$$\mu_a = k\left(\frac{dv}{dr}\right)^{n-1} \quad (1)$$

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentarán tablas de todos los datos obtenidos.

Gráfico de la variación de la viscosidad con la concentración para las disoluciones de glicerina

Gráficos de la linearización de la ecuación (1) para la determinación de los parámetros reológicos

Gráfico de la variación de la viscosidad con la concentración y a distintas temperaturas para las disoluciones de CMC

Se comentarán los resultados obtenidos estableciendo conclusiones (variación de la viscosidad con la concentración, con la temperatura, etc.). Asimismo, se comentarán las posibles causas de error en la realización de la práctica.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Ingeniería Química. Tomo 2: Fenómenos de transporte. *Costa Novella*

Ingeniería Química. Tomo 1. *Coulson-Richardson*

Curso de Química Técnica. *Costa López et al.*

Fenómenos de transporte. *R.B. Bird et al.*

El manual del Ingeniero Químico. *Perry*

## **4. EXPERIMENTO DE OSBORNE-REYNOLDS**

## **1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

Osborn Reynolds, mediante su clásico experimento de flujo interno, puso de manifiesto la existencia de dos mecanismos distintos en el flujo de fluidos reales que constituyen los llamados regímenes laminar y turbulento de los mismos.

La experiencia demuestra que la velocidad del fluido a través de un tubo cilíndrico para la que se produce el tránsito del flujo laminar al turbulento, depende del diámetro interior del tubo  $D$ , y de la densidad y viscosidad del fluido. Por lo tanto las condiciones en que se alcanza uno u otro tipo de flujo se refieren al número de Reynolds.

### **1.1. Bases teóricas**

- Flujo ideal y flujo real
- Regímenes de flujo
- Mecanismos de transporte en cada tipo de flujo
- Caracterización del flujo

## **2. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA**

El objetivo de esta práctica es la comparación visual de la circulación de un líquido en régimen laminar y turbulento, así como la determinación experimental del número de Reynolds crítico por apreciación visual de la transición del régimen de flujo laminar a turbulento.

## **3. MATERIAL NECESARIO**

- Montaje experimental
- Disolución de azul de bromoetileno
- 1 cronómetro
- 1 probeta de 1 L

## **4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

Abrir la entrada del agua al tanque y controlar el caudal que fluye por el tubo inferior del mismo. Intentar asimismo minimizar el caudal de desagüe del tanque para que no haya variaciones en la altura del nivel de agua. El caudal utilizado en cada momento se determinará midiendo el líquido desaguado.

Abrir la entrada de colorante al tanque y estudiar la evolución de la misma a lo largo de la conducción. Posteriormente se irá aumentando paso a paso el caudal de agua que fluya por la conducción para el estudio de los diferentes regímenes de flujo.

En cada etapa de la experimentación se debe esperar a alcanzar condiciones estacionarias en el seno de la conducción, momento en el que procederá a la descripción de el hilo de colorante y a la medida del caudal utilizando la probeta y el cronómetro (esta medida debe realizarse por triplicado en cada momento).

La serie completa de determinaciones (desde régimen laminar hasta régimen turbulento plenamente desarrollado) ha de repetirse al menos tres veces.

## **5. TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES**

Presentar en forma de tabla los datos de caracterización del fluido y conducción junto con los valores experimentales determinados y los valores de los parámetros determinados en cada experiencia junto con la descripción visual del sistema. Determinar los valores finales como promedio de los obtenidos en las diferentes experiencias.

Considerando la distribución del colorante en la tubería de visualización, establecer en cada caso la relación entre el tipo de flujo y el valor del Reynolds.

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Exponer de forma clara en una tabla los resultados obtenidos para cada régimen de flujo.

Comparar los resultados obtenidos con los encontrados en la bibliografía. En caso de que se observen discrepancias, señalar las posibles causas.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

Ingeniería Química. Tomo 2: Fenómenos de transporte. *Costa Novella*

Ingeniería Química. Tomo 1. *Coulson-Richardson*

El manual del Ingeniero Químico. *Perry*

## **5. DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES DE CONVECCIÓN NATURAL Y FORZADA**

---

## **1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

La transferencia de calor por convección se debe al movimiento de un fluido en contacto con una interfase. Cuando el movimiento se debe exclusivamente a una diferencia de densidades originada por diferentes calentamientos, se habla de convección natural; cuando en ese movimiento influye la agitación externa o provocada, se habla de convección forzada.

### **1.1. Bases teóricas**

- Mecanismos de transmisión del calor. Ecuaciones básicas
  - Conducción
  - Convección
  - Radiación
- Coeficientes individuales de transmisión de calor. Determinación experimental
  - Convección natural
  - Convección forzada
- Deducción de la ecuación del balance de calor (en función del coeficiente integral de transmisión de calor) aplicado a un sistema constituido por un líquido que se enfría en contacto con el aire.

## **2. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA**

En esta práctica se pretende medir el coeficiente de convección natural y forzada ( $h$ ), desde la cara externa de un recipiente de vidrio que contiene agua caliente hasta el ambiente. Se trata pues de una determinación del coeficiente  $h$  por análisis de la velocidad de enfriamiento del agua.

## **3. MATERIAL NECESARIO**

- Vaso de vidrio
- Agitador
- Aislamiento: tapa superior e inferior del recipiente
- Caja de la práctica
- Cronómetro
- Termómetro
- Placa calefactora
- Ventilador

#### **4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

Se calienta agua en el recipiente de vidrio hasta una temperatura próxima a la de ebullición. Se lleva el recipiente al recinto en donde se realizará la práctica. Se pone en marcha la agitación y se introduce el termómetro, previamente insertado en la tapa superior de aislamiento, que deberá de quedar bien ajustada para evitar pérdidas de calor. En ese momento se mide la temperatura inicial del agua ( $t_{H_2O}$ ) y se toman datos de la temperatura frente al tiempo, hasta que dicha temperatura varíe muy lentamente.

Este mismo procedimiento se ha de llevar a cabo para el caso del estudio de la convección natural y de la convección forzada, en cuyo caso ha de accionarse el ventilador instalado en el interior del recinto de la práctica.

#### **5. TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES**

Presentar en forma de tabla los datos característicos del sistema en estudio (agua- recipiente de vidrio Pyrex- aire).

En cada experiencia, presentar en forma de tabla los datos temperatura-tiempo recogidos, así como los valores calculados a partir de éstos. Asimismo, realizar una representación gráfica de las curvas de enfriamiento obtenidas.

Presentar las correlaciones efectuadas en forma gráfica, así como la bondad de dichos ajustes.

#### **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Exponer los resultados obtenidos para los coeficientes de convección natural y forzada.

Realizar una comparación crítica entre estos resultados y los datos que figuran en la bibliografía. Analizar el efecto de las posibles fuentes de error inherentes a la experiencia.

#### **7. BIBLIOGRAFÍA**

Ingeniería Química. Tomo 2: Fenómenos de transporte. *Costa Novella*

Ingeniería Química. Tomo 4: Transmisión de calor. *Costa Novella*

Transmisión de calor. *McAdams*

Ingeniería Química. Tomo 1. *Coulson-Richardson*

El manual del Ingeniero Químico. *Perry*



## **6. INTERACCIÓN AIRE-AGUA: TEMPERATURA HÚMEDA Y HUMEDAD DEL AIRE**

---

## 1. FUNDAMENTOS TEORICOS

Los procesos de interacción aire-agua pertenecen a un grupo de operaciones unitarias basadas en la interacción entre un gas inerte (el más usual es el aire) y un líquido evaporable (normalmente el agua). Se pueden definir como aquellos procesos consistentes en la evaporación de un líquido o la condensación parcial de su vapor contenido en el aire sin la intervención de fuente de calor externa alguna.

En estos procesos, la transferencia de materia y la transmisión de calor son ambos factores controlantes. La importancia de este grupo de operaciones queda patente por las aplicaciones que tiene, como son el acondicionamiento de aire, secado, humidificación, deshumidificación, etc.

Esta práctica consiste en la determinación de las magnitudes características de un aire húmedo mediante la teoría del termómetro húmedo, características de gran aplicación en el cálculo y diseño de aparatos para estas operaciones.

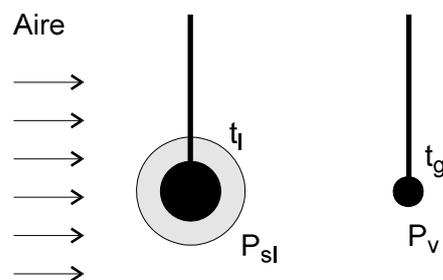


Figura 1

### 1.1 Bases teóricas

- Presión de vapor
  - Equilibrio líquido-vapor. Diagramas P-T
  - Temperatura de burbuja y de rocío
  - Variación de la presión de vapor con la P y la T
- Ley de Dalton de las presiones parciales
- Saturación de un gas. Saturación parcial y humedad.
  - Formas de expresar la humedad
  - Calor específico y entalpía de un gas húmedo
- Teoría del termómetro húmedo. Temperatura de saturación adiabática



Una llave de tres pasos situada entre la rama del termómetro "seco" y los frascos permite dar paso al aire húmedo ambiente o bien al aire seco, hacia el tubo en U cuando se hace vacío a través de la rama del termómetro "húmedo".

#### 4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Hacer pasar aire seco a través del tubo en forma de U hasta que las temperaturas en ambos termómetros se estabilicen. Anotar las lecturas del termómetro seco,  $t_g$ , y del húmedo,  $t_w$ . Córtese el paso del aire (cerrando el vacío), cámbiese la posición de la llave de tres pasos y hágase pasar una corriente de aire ambiente (húmedo) directamente por el tubo en U. Cuando las temperaturas se estabilicen, anótese la temperatura del termómetro "seco",  $t_g$ , y del "húmedo",  $t_w$ . Anótese la presión atmosférica,  $P$ .

Esta operación deberá efectuarse con agua y diferentes líquidos orgánicos.

Para realizar el cálculo del coeficiente  $J$  es preciso conocer  $P_v$ , pues es el único dato que no se conoce experimentalmente. El procedimiento más sencillo es hacer  $P_v = 0$ . Para ello es preciso en el agua hacer pasar aire a través de los desecadores.

En el caso de los líquidos orgánicos no es preciso hacer nada, pues en el aire no existen estos compuestos. No obstante, en el caso de los líquidos orgánicos se debe mantener los desecadores para evitar interferencias del agua que contiene aire.

#### 5. TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES

##### 5.1. Determinación del coeficiente $J$

Para ello se utilizará la ecuación psicrométrica en la forma:

$$J = \frac{P_w - P_v}{t_g - t_w}$$

y se determinará el coeficiente para el agua y, también, para diversos líquidos orgánicos (metanol, benceno y tolueno), cuyas curvas de equilibrio debemos conocer.

##### 5.2. Cálculo de la presión de vapor de aire húmedo

Una vez conocido el coeficiente  $J$  para el agua se utilizará para determinar las características del aire del laboratorio, suprimiendo los desecadores.

La ecuación se utilizará ahora en la forma:

$$P_v = P_w - J \cdot (t_g - t_w)$$

### **5.3. Cálculo de las características de un gas húmedo**

A partir de la presión de vapor determinada, calcular las magnitudes fundamentales de la interacción aire-agua.

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados obtenidos se expondrán concisamente en forma de tabla.

Realizar un análisis crítico de los resultados obtenidos, de las posibles fuentes de error, etc.

Estudiar en que caso interferirá el vapor de agua que contiene el aire en la determinación de  $J$  para un sistema cualquiera aire-líquido (líquido distinto del agua).

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

Principios y cálculos básicos de la Ingeniería Química. *Himmelblau*.

Curso de Química Técnica. *Costa López y colaboradores*.

El manual del Ingeniero Químico. *Perry*

## **7. ESTUDIO DE LA VARIACIÓN CON EL TIEMPO DEL NIVEL DE LÍQUIDO EN UN DEPÓSITO**

---

## **1. INTRODUCCIÓN**

Esta práctica tiene por objeto el estudiar como varía la altura alcanzada por un líquido en un depósito que se carga por su parte superior con un caudal constante de líquido y que se está descargando por un orificio lateral situado en la parte inferior del depósito.

Mientras que el caudal de entrada del líquido al depósito es, como se acaba de decir, siempre constante, el caudal de salida por el orificio lateral es función de la altura que presenta el líquido en el depósito en cada instante.

### **1.1. Bases teóricas**

- Balance de materia aplicado al sistema considerado
- Balance de energía mecánica aplicado al sistema considerado en el estado estacionario.  
Teorema de Torricelli
- Expresión de el caudal de descarga de un depósito en función de la altura de líquido.  
Altura de equilibrio

## **2. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA**

El objetivo de esta práctica es el estudio de la relación existente entre la altura de líquido y el caudal de descarga así como la determinación de la altura de equilibrio, para diversos caudales de entrada de líquido.

## **3. MATERIAL NECESARIO**

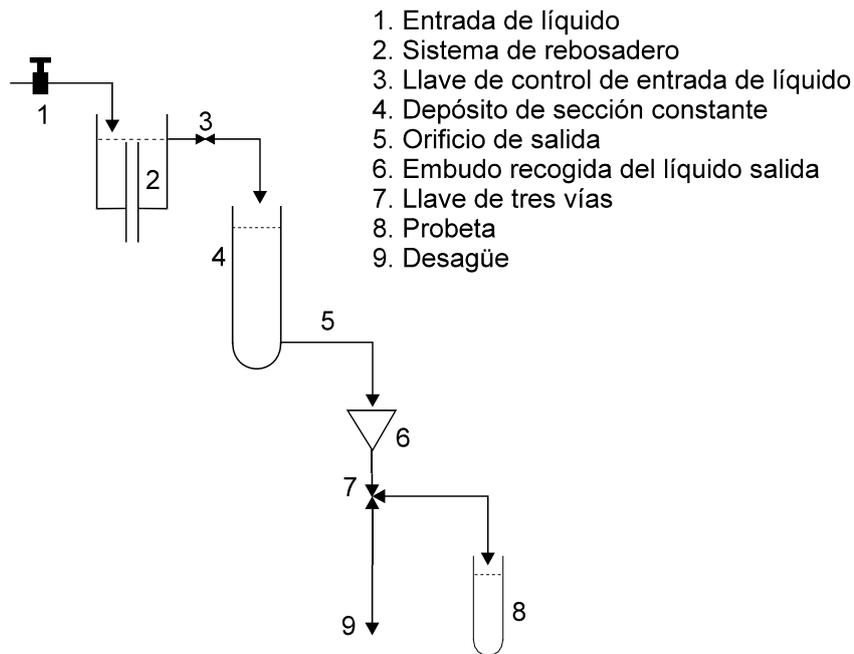
- Montaje experimental (Figura 1)
- 1 cronómetro
- Probeta de 500 ml

## **4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

En ella se determinará las variaciones de la altura con el tiempo para diferente caudales de agua, los cuales se modifican mediante la llave situada a la entrada del depósito. Se tomarán valores de tiempo y altura del agua, los cuales serán leídos en la escala adosada al depósito.

Una vez alcanzada la altura de equilibrio se procederá a realizar la medida del caudal por un método directo que consiste en determinar el tiempo necesario en recoger a la salida el depósito un volumen determinado de agua.

DATOS: Diámetro interno del depósito: 6,5 cm. y diámetro del tubo de salida: 4 mm.



## 5. TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES

A partir de los datos experimentales obtenidos se realizarán una serie de representaciones gráficas, una para cada caudal de entrada considerado, en donde se representarán las curvas teóricas y experimentales obtenidas de la altura en función del tiempo.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la altura de equilibrio han de presentarse de forma clara en forma de tabla. Ha de realizarse un comentario crítico de los resultados obtenidos, haciendo especial énfasis en las posibles fuentes de error inherentes a la experiencia.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

El Manual del Ingeniero Químico. *Perry*

Elementos de Ingeniería Química. *Vian Ocón*

Problemas de Ingeniería Química. *Ocón - Tojo*

Ingeniería Química. *Richardson - Coulson*