



EVAPORACIÓN DE UN LÍQUIDO EN UN CAPILAR

INTEGRANTES DEL EQUIPO (POR APELLIDO, EN ORDEN ALFABÉTICO, MÁXIMO CUATRO)	NÚMERO DE CONTROL

Intención didáctica

Determinar experimentalmente el coeficiente de difusión de un vapor orgánico en aire, que se evapora desde el fondo de un tubo capilar.

Antecedentes

Para el caso de difusión unimolecular en fase gaseosa en un tubo capilar, el perfil de concentraciones y la densidad de flujo molar del componente A en estado pseudoestable están dados por:

$$C_A = \frac{P}{RT} \left[1 - \left(1 - \frac{P_{vap,A}}{P} \right)^{\left(\frac{z}{L} \right)} \right] \quad n_A = \frac{\mathcal{D}_{AB} P}{LRT} \ln \left(1 - \frac{P_{vap,A}}{P} \right)$$

donde L es la longitud desde la interfase líquido-gas hasta el extremo abierto del tubo capilar y z es la distancia medida desde el extremo libre hacia abajo. Después de un tiempo, esa longitud aumenta debido a la evaporación del líquido. El análisis en estado transitorio de dicha evaporación lleva a la siguiente ecuación:

$$L^2 - L_0^2 = - \left[\frac{2\mathcal{D}_{AB} P M}{\rho R T} \ln \left(1 - \frac{P_{vap,A}}{P} \right) \right] t$$

donde L_0 es la longitud inicial desde la interfase hasta el extremo abierto. Al determinar cómo cambia esa longitud con respecto al tiempo, se puede obtener el valor de la difusividad \mathcal{D}_{AB} .

Materiales

- ★ Dos tubos capilares.
- ★ Pistola de silicón caliente
- ★ Regla.
- ★ Cronómetro.
- ★ Termómetro.
- ★ Acetona.



Indicaciones

1. Inclinando el recipiente que contiene la acetona, introducir un extremo del tubo capilar y permitir que el líquido lo llene hasta aproximadamente 1 cm del borde.
2. Tapar el extremo libre con el dedo para que el líquido no escurra y sacar el capilar del líquido.
3. Sellar el otro extremo del capilar.
4. Repetir los pasos 1 a 3 con el otro capilar, para tener una réplica del experimento.
5. Con la regla, medir la longitud de la parte del capilar que no contiene líquido. Ésta es la longitud inicial L_0 .
6. Colocar ambos capilares en posición vertical en un lugar donde no haya corrientes de aire. Colocar junto el termómetro, para conocer la temperatura ambiente. Registrar también la presión atmosférica.
7. Transcurridos 30 minutos, medir la longitud del capilar que no contiene líquido (L).
8. OPCIONAL: Realizar dos mediciones más cada 30 minutos, para poder emplear regresión para determinar la difusividad de la acetona en aire.
9. OPCIONAL: Buscar la difusividad de la acetona en aire reportada en una fuente bibliográfica confiable y estimarla también mediante alguno de los métodos vistos en el curso. Calcular el error porcentual de su medición experimental respecto a cada uno de esos valores.

Indicaciones de seguridad

La acetona es un solvente volátil e inflamable, por lo que no debe haber flamas o chispas eléctricas en la cercanía.

Disposición de residuos

El volumen usado de acetona es muy pequeño, por lo que el capilar puede tratarse como residuo no peligroso.

Sugerencias para el éxito de la actividad

- ★ El capilar no se debe llenar completamente porque entonces la difusión ya no ocurre en una sola dirección y el modelo matemático no es aplicable (se vuelven importantes los efectos de borde).
- ★ El extremo sellado del capilar no debe contener burbujas, pues su expansión o contracción afecta la medición de la distancia L .

Datos adicionales de la acetona

$$\rho = 791 \text{ kg/m}^3 \quad M = 58.08 \text{ g/mol} \quad \log_{10} P_{vap} = 7.02447 - \frac{1161}{T + 224} \quad (T \text{ en } ^\circ\text{C}, P_{vap} \text{ en mmHg})$$

Evidencias entregables

El reporte de esta actividad puede ser elaborado en computadora, y lleva esta hoja de indicaciones como portada. Opcionalmente, incluir una breve investigación bibliográfica sobre técnicas para medir experimentalmente la difusividad. Después reportar los datos experimentales, los cálculos de para la difusividad, y sus conclusiones individuales de la actividad.



DETERMINACIÓN DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA EN UN GEL MEDIANTE DIFUSIÓN EN UN MEDIO SEMI-INFINITO

INTEGRANTES DEL EQUIPO (POR APELLIDO, EN ORDEN ALFABÉTICO, MÁXIMO CUATRO)	NÚMERO DE CONTROL

Intención didáctica

Determinar experimentalmente la difusividad efectiva de un colorante orgánico en un gel.

Antecedentes

La transferencia de masa en un medio semi-infinito tiene una gran importancia desde el punto de vista práctico. Ya que los procesos de difusión en líquidos y sólidos son relativamente lentos, la sustancia que se difunde sólo alcanza a penetrar una distancia corta en el medio. Por este motivo, se puede considerar que el medio se extiende infinitamente más allá de la interfase.

En este experimento, un gel de grenetina es el medio semi-infinito donde ocurre la difusión, y el soluto que se difunde es un colorante orgánico. En $t = 0$, la superficie del gel (interfase) se expone a una concentración fija del colorante, y éste comienza a difundirse hacia dentro del gel. La concentración de colorante es función de la posición y del tiempo, $C_A(x,t)$. A medida que transcurre el tiempo, aumenta la masa total de colorante $W(t)$ que ha entrado en el gel, y la rapidez con que lo hace depende de la difusividad efectiva del colorante en el gel.

La medición de la cantidad total de soluto que se ha difundido en el medio es un proceso destructivo, ya que se tiene que fundir el gel y homogeneizarlo. Por esta razón, se trabaja con varias muestras; cada una corresponderá a un valor diferente de t .

Modelo matemático

ecuación diferencial	$\frac{\partial C_A}{\partial t} = \mathcal{D}_A \frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2}$
condiciones de frontera	$C_A = C_0$ para $x \leq 0$ $C_A = 0$ cuando $x \rightarrow \infty$
condición inicial	$C_A = 0$ para $t \leq 0$

La solución de esta ecuación diferencial se obtiene por el método de combinación de variables. Si se definen las variables adimensionales:

$$\eta = \frac{x}{\sqrt{4\mathcal{D}_A t}} \quad y \quad \psi = \frac{C_A}{C_0} \tag{1}$$

el modelo se transforma en:



ecuación diferencial	$\frac{d^2\psi}{d\eta^2} + 2\eta \frac{d\psi}{d\eta} = 0$
condiciones de frontera	$\begin{aligned} \psi &= 1 && \text{para } \eta = 0 \\ \psi &= 0 && \text{cuando } \eta \rightarrow \infty \end{aligned}$

La solución a esta ecuación diferencial es $\psi = 1 - \text{erf}(\eta)$, o bien, regresando a las variables originales:

$$C_A(x,t) = C_0 \left[1 - \text{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{4\mathcal{D}_A t}} \right) \right] \quad (2)$$

donde $\text{erf}(\)$ es la función error. La masa total de soluto que ha entrado al medio se puede obtener integrando el perfil de concentraciones:

$$W(t) = A \int_0^\infty C_A(x,t) dx \quad (3)$$

donde A es el área de la sección transversal (constante) que está siendo cruzada por el soluto. Sustituyendo el perfil de concentraciones y efectuando la integración se tiene que:

$$W(t) = AC_0 \sqrt{\frac{4\mathcal{D}_A t}{\pi}} \quad (4)$$

Elevando al cuadrado esta ecuación, se tiene que

$$W^2 = \frac{4\mathcal{D}_A A^2 C_0^2}{\pi} t \quad (5)$$

por lo que una gráfica de W^2 contra t debería ser una línea recta que pase por el origen. De la pendiente de esta recta se puede calcular el coeficiente de difusión \mathcal{D}_A .

Materiales

- ★ 1 matraz volumétrico de 50 mL
- ★ 1 vaso de precipitado de 100 mL
- ★ 2 vasos de precipitado de 60 mL
- ★ 1 pipeta volumétrica de 10.0 mL
- ★ 1 pipeta de 10 mL
- ★ 2 pipetas de 5 mL
- ★ 6 tubos de ensayo con tapa roscada (importante: todos deben ser de la misma medida)
- ★ 10 tubos de ensayo (pueden ser 13×100)
- ★ Gradilla
- ★ Cuba hidroneumática
- ★ Soporte universal con anillo, tela de asbesto, y mechero Bunsen
- ★ Solución stock de colorante vegetal para alimentos (de concentración conocida C_0)
- ★ Grenetina
- ★ Hielo



Procedimiento

1. En el vaso de precipitado de 100 mL, preparar 50 mL de solución de grenetina al 4% peso (la grenetina en polvo debe agregarse al agua y dejarse hidratar por 10 minutos, para luego calentar suavemente para que se funda y se forme una solución homogénea).
2. Etiquetar un tubo como **blanco**, y los demás tubos del **1** al **5**.
3. Agregar 7 mL de la solución de grenetina a cada uno de los 6 tubos con tapa. **Es importante que no queden burbujas en la superficie de la grenetina.**
4. Colocar los tubos verticalmente en una charola con hielo para que se solidifique la grenetina.
5. Una vez solidificado el gel, agregar 3 mL de solución stock de colorante a cada uno de los tubos **excepto el tubo marcado como blanco**. Registrar la hora.
6. Mantener los tubos en refrigeración o en agua con hielo.
7. Cada 4 horas (aproximadamente, ver sugerencias más adelante) se vacía el líquido colorante de uno de los tubos y se enjuaga cuidadosamente, sin dañar el gel. El colorante que se ha entrado al gel por difusión queda atrapado en él. **Registrar el tiempo que ha transcurrido desde que se agregó la solución colorante hasta el momento en que se enjuagó el tubo.**
8. Cuando se hayan enjuagado todos los tubos, calentarlos suavemente a baño maría para fundir el gel y leer la absorbancia usando el contenido del tubo 0 como blanco, empleando la longitud de onda indicada por el docente, según el colorante usado.

Curva de calibración

1. Preparar una solución patrón para la curva de calibración, transfiriendo exactamente 10.0 mL de la solución stock de colorante a un matraz volumétrico y aforando a 50 mL.
2. Usando esta solución patrón, preparar una serie de diluciones de acuerdo a la siguiente tabla.

Tubo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Solución patrón (mL)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
Agua destilada (mL)	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0

3. Empleando la longitud de onda indicada por el docente, según el colorante usado, leer la absorbancia de cada una de las diluciones para la curva de calibración, usando agua destilada como blanco

Indicaciones de seguridad

Todas las sustancias empleadas son inocuas. Aplicar las medidas habituales de seguridad al calentar la solución de grenetina.

Disposición de residuos

No se generan residuos peligrosos. Para descartar el gel empleado, se calienta para fundirlo, se diluye con agua, y se elimina por el drenaje.



Sugerencias para el éxito de la actividad

- ★ No es crítico que el tiempo entre el enjuague de uno y otro tubo sea exactamente 4 horas. Lo que sí es importante saber con exactitud el tiempo que haya transcurrido desde que se le agregó la solución colorante hasta que fue enjuagado.
- ★ Un dato necesario para los cálculos será el área de la sección transversal de los tubos. ¿Cómo se puede medir con exactitud?

Procedimiento de cálculo

Con las absorbancias medidas de las muestras y la curva de calibración calcular la concentración de colorante en el gel. De esta concentración, y el volumen del gel se puede determinar la cantidad total de colorante que se ha difundido en el gel (W). Graficar W^2 contra t y aplicar una regresión lineal con intersección cero. Determinar \mathcal{D}_A a partir de la pendiente de la regresión. **Reportar el valor de \mathcal{D}_A en cm^2/s .**

Evidencias entregables

El reporte de esta actividad puede ser elaborado en computadora, y lleva esta hoja de indicaciones como portada. Incluir una breve investigación bibliográfica opcional sobre la difusión en medios porosos (difusividad efectiva y tortuosidad). Luego, reportar su curva de calibración, una tabla con las absorbancias de las muestras y su respectiva concentración, la gráfica de W^2 en función de t , con la regresión lineal y los cálculos detallados de para obtener \mathcal{D}_A (en cm^2/s) a partir de la pendiente de la regresión. Incluir evidencia fotográfica de la actividad. Reportar individualmente sus conclusiones. Una vez que su reporte esté aceptado como evidencia, cada integrante del equipo deberá tener una copia para su portafolio de evidencias.

OPCIONAL: Realizar la integración de la ecuación (3) para obtener la ecuación (4).