FENÓMENOS DE TRANSPORTE: DEFINICIÓN E IMPORTANCIA

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

Intención didáctica
Concientizar al estudiante de la importancia de los fenómenos de transporte y su ubicación dentro del plan de estudios de la carrera, así como generar una definición integral de esta área de estudio.

Indicaciones
1. Efectuar una investigación para obtener tantas definiciones como sea posible de “fenómenos de transporte”. En esta búsqueda, se considerará válida cualquier fuente impresa o electrónica.
2. En la retícula del plan de estudios de la carrera, identificar las materias que correspondan a los siguientes tres grupos: (A) fundamentos de ingeniería, (B) operaciones y procesos unitarios, y (C) ingeniería aplicada.
3. Con la ayuda de otros compañeros y profesores de la carrera, generar una lista de operaciones unitarias, e identificar para cada una si involucran transferencia de momentum, calor o masa.
4. Con base en la información recabada, llegar a una conclusión acerca de la importancia de los fenómenos de transporte. Sintetizar su propia definición de “fenómenos de transporte”.

Sugerencias para el éxito de la actividad
★ Esta investigación pretende generar una **lluvia de ideas** respecto al concepto de “fenómenos de transporte”, en la que no se censuren de primera mano algunos aspectos que puedan contribuir a un concepto integral. Por esta razón, para esta actividad se considerará válida cualquier referencia, incluso fuentes en internet que en otras circunstancias se considerarían no confiables.

★ Es importante que consulten también libros relevantes para el curso (checar la bibliografía proporcionada el primer día de clase). Incluso si un libro del área no define propiamente “fenómenos de transporte”, es buena idea incluirlo en la investigación y reportar que carece de dicha definición.

★ También pueden preguntar en foros y grupos de discusión en línea. En este caso, anexar una captura de pantalla de la conversación.

Evidencias Entregables
El reporte de esta actividad lleva esta hoja de instrucciones como portada. Enumerar a continuación todas las definiciones encontradas de “fenómenos de transporte”, dando para cada una su referencia bibliográfica. Después, incluir la retícula de la carrera, con los tres grupos de materias identificados. Luego, poner una tabla con las operaciones unitarias y en tres columnas señalar si involucran transferencia de momentum, calor o masa. Finalmente, enunciar sus conclusiones de la actividad y presentar su propia definición de “fenómenos de transporte”.

Sólo se entrega un ejemplar del reporte por equipo. Una vez revisado, cada integrante del equipo deberá tener una copia para su portafolio final.

ANÁLISIS DEL FLUJO LAMINAR EN TUBERÍA CIRCULAR

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

Intención didáctica

Debido a que el flujo laminar en el interior de una tubería circular es uno de los casos más importantes en mecánica de fluidos, mediante esta actividad se analizará este caso paso por paso.

Indicaciones

Contestar el cuestionario, conforme a las instrucciones dadas en cada sección. En caso de que el espacio para la respuesta no sea suficiente, continuar en una hoja anexa, indicando claramente la continuación.

Evidencias Entregables

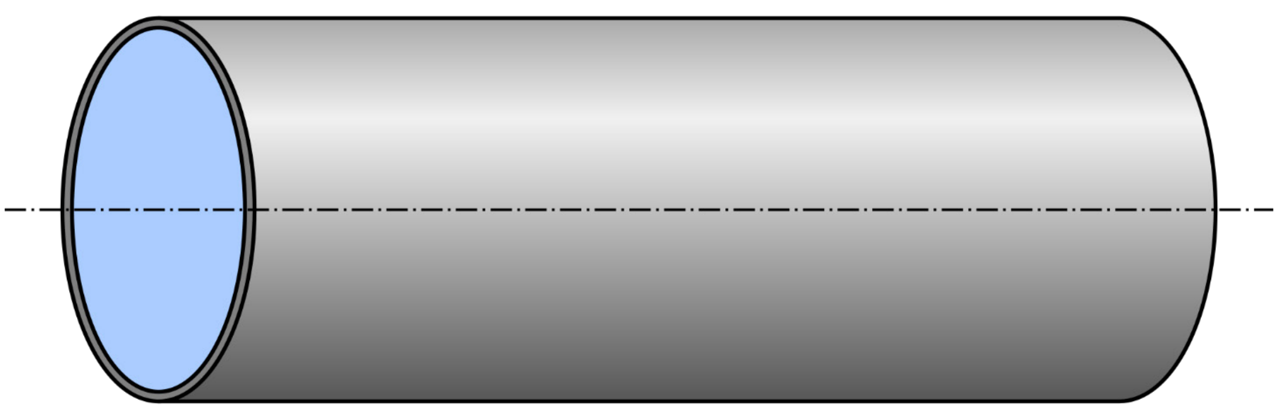
Entregar este cuestionario contestado, solamente un ejemplar por equipo. Opcionalmente, pueden anexar una breve investigación bibliográfica (aproximadamente dos páginas) respecto a las contribuciones de Osborne Reynolds y Jean Léonard Marie Poiseuille a la mecánica de fluidos. Una vez revisado, cada integrante del equipo deberá tener una copia para su portafolio final.

Planteamiento del caso a analizar

Considérese una tubería cilíndrica horizontal de sección transversal circular (radio interno R y longitud L), a través de la cual circula de forma laminar un fluido newtoniano de propiedades constantes (ρ y μ), debido a una diferencia de presión entre los extremos (P_0 en el extremo izquierdo y P_L en el extremo derecho).

Sección 1

En el dibujo de la tubería que se muestra a continuación, establecer el sistema de coordenadas, y rotular el radio interno y la longitud de la tubería.



Sección 2 – Lista de suposiciones

A continuación se muestra la lista de suposiciones correspondientes a este caso. Para cada una, proporcionar una breve explicación de por qué es correcta la suposición.

SUPOSICIÓN	**EXPLICACIÓN**
1. Estado estable.	
2. $v_r = 0$ y $v_\theta = 0$.	
3. v_z varía en la dirección r, pero no depende de θ ni z.	
4. No se toma en cuenta efectos de borde.	
5. Fluido newtoniano de propiedades constantes.	

Sección 3 – Volumen de control

El volumen de control (mostrado en la figura) para el balance de momentum es un cilindro hueco de espesor Δr y longitud L, ubicado en el interior del fluido.

Obsérvese que el volumen de control es un cilindro hueco, dentro del fluido, pero que no incluye ni la pared ni el centro de la tubería. Este volumen de control es una "envoltura" porque envuelve parte del sistema analizado. Por esta razón, a este tipo de balance diferencial también se le conoce como "balance envolvente".

La siguiente figura muestra solamente el volumen de control, para verlo más claramente. Rotular sus dimensiones:

Determinar el volumen ΔV del volumen de control, a partir de la diferencia de volumen del cilindro externo menos el volumen del cilindro interno (con la necesaria manipulación algebraica):

RESPUESTA: $\Delta V = 2\pi r \Delta r L$

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

Balance de Momentum, Calor y Masa

QI1720 ★ Ingeniería Química

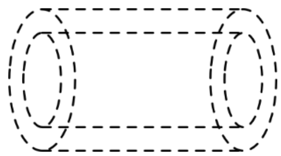
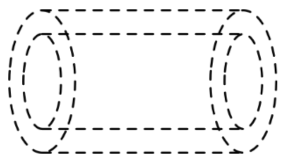
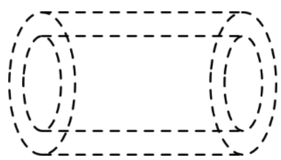
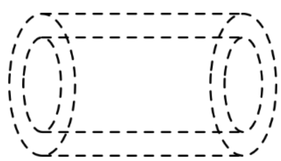
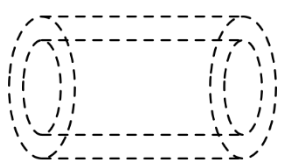
Docente: Dr. Carlos Francisco Cruz Fierro

ACTIVIDAD 2

(evidencia para unidad 1)

Sección 4 – Balance diferencial de momentum

Para cada contribución listada en la tabla siguiente, sombrear en la figura cuál área del volumen de control es a través de la cual se efectúa la contribución, y obtener el término correspondiente. Recordar que las unidades de todos los términos deben ser kg·m/s.

CONTRIBUCIÓN		ÁREA	TÉRMINO DEL BALANCE
1	entrada de momentum por advección en $z = 0$		
2	salida de momentum por advección en $z = L$		
3	entrada de momentum por transporte viscoso en r		
4	salida de momentum por transporte viscoso en $r + \Delta r$		
5	generación de momentum por fuerzas de presión		

No existe generación de momentum por fuerzas de gravedad. Explicar por qué:

No existe acumulación de momentum en el volumen de control. Explicar por qué:

Escribir el balance completo: E – S + G = A:

Los dos términos de advección son iguales y se cancelan entre sí. Explicar por qué:

Escribir el balance ya con estos dos términos eliminados:

Dividir entre $2\pi r \Delta r L \Delta t$ (es decir, ΔV por Δt):

Tomar el límite cuando $\Delta r \to 0$ para obtener la ecuación diferencial del sistema:

RESPUESTA: $-\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\tau_{rz}\right)+\frac{P_0-P_L}{L}=0$

Sección 5 – Ley de Newton de la viscosidad

El componente del esfuerzo que aparece en la ecuación diferencial es τ_{rz}. Explicar qué significan estos dos subíndices:

Consultando la ley de Newton de la viscosidad en una tabla, se tiene:

$$\tau_{rz} = -\mu\left(\frac{\partial v_r}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial r}\right)$$

Como $v_r = 0$, el primer término dentro del paréntesis se cancela. Además, v_z sólo depende de r, por lo que no es necesario emplear derivadas parciales, sino derivadas ordinarias. Por lo tanto, la ley de Newton se simplifica a:

$$\tau_{rz} = -\mu\frac{dv_z}{dr}$$

Al sustituir la ley de Newton en la ecuación diferencial de la sección anterior, se llega a:

$$-\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\tau_{rz}\right) + \frac{P_0 - P_L}{L} = 0 \quad\rightarrow\quad -\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left[r\left(-\mu\frac{dv_z}{dr}\right)\right] + \frac{P_0 - P_L}{L} = 0 \quad\rightarrow\quad \frac{\mu}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dv_z}{dr}\right) + \frac{P_0 - P_L}{L} = 0$$

Sección 6 – Solución de la ecuación diferencial

Resolver la ecuación diferencial para llegar a la solución general:

RESPUESTA: $v_z = -\frac{P_0 - P_L}{4\mu L}r^2 + C_1 \ln r + C_2$

Sección 7 – Condiciones de frontera

A continuación se muestran las condiciones de frontera correspondientes a este caso analizado. Explicar el por qué de cada una.

CONDICIÓN DE FRONTERA	EXPLICACIÓN
1. $\dfrac{dv_z}{dr} = 0$ en $r = 0$	
2. $v_z = 0$ en $r = R$	

Sección 8 – Perfil de velocidades

La condición de frontera 1 no se puede sustituir directamente en la solución general, porque es para la derivada de la velocidad (dv_z / dr). Por esta razón, sería necesario primero derivar esta solución general. Afortunadamente, en este caso la derivada ya se había encontrado como parte del procedimiento de solución:

$$\frac{dv_z}{dr} = -\frac{P_0 - P_L}{2\mu L} r + \frac{C_1}{r}$$

La condición de frontera 1 se debe utilizar con esta derivada para encontrar el valor de C_1. Nótese que en este caso, al sustituir directamente la condición de frontera, se tendría división entre cero, por lo que es conveniente primero despejar C_1 y luego sustituir los valores:

RESPUESTA: $C_1 = 0$

NOTA: En muchos libros de mecánica de fluidos, en vez de despejar y sustituir, simplemente argumentan que el único valor posible para C_1 es cero, de tal forma que se evite la división entre cero. Este argumento también se puede aplicar directamente en la solución general para v_z, donde aparece el término $C_1 \ln r$: el logaritmo se volvería $-\infty$ cuando $r = 0$, y la única manera de evitarlo es que C_1 sea cero.

Sustituyendo $C_1 = 0$ en la solución general, se llega a una nueva solución general:

$$v_z = -\frac{P_0 - P_L}{4\mu L} r^2 + C_2$$

Ahora se sustituye la segunda condición de frontera en la nueva solución general, y se despeja C_2:

RESPUESTA: $C_2 = \dfrac{P_0 - P_L}{4\mu L} R^2$

Esta constante C_2 se sustituye en la solución general, para llegar al perfil de velocidades buscado:

RESPUESTA: $v_z = \dfrac{(P_0 - P_L)R^2}{4\mu L}\left[1 - \left(\dfrac{r}{R}\right)^2\right]$

Sección 9 – Flujo volumétrico y ley de Hagen-Poiseuille (OPCIONAL)

Con base en el perfil de velocidad obtenido en la sección anterior, determinar el flujo volumétrico:

$$\dot{V} = \frac{\pi(P_0 - P_L)R^4}{8\mu L}$$

Esta ecuación conoce como **ley de Hagen-Poiseuille**, y su importancia radica en que relaciona el flujo volumétrico con la caída de presión: ambos son parámetros muy importantes en el flujo de fluidos y son fácilmente medibles.

Obsérvese que en la ecuación de Hagen-Poiseuille, **el radio se encuentra elevado a la cuarta potencia**. Esta fuerte dependencia del radio significa que, para una misma caída de presión, una tubería del doble de radio tendría un flujo volumétrico 16 veces mayor.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

Balance de Momentum, Calor y Masa

QI1720 ★ Ingeniería Química

Docente: Dr. Carlos Francisco Cruz Fierro

ACTIVIDAD 3

(evidencia para unidad 2)

BALANCE DE ENERGÍA EN UNA ESFERA CON GENERACIÓN UNIFORME

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

Intención didáctica

Determinar el perfil de temperatura en una esfera con generación de calor mediante un balance diferencial de energía.

Indicaciones

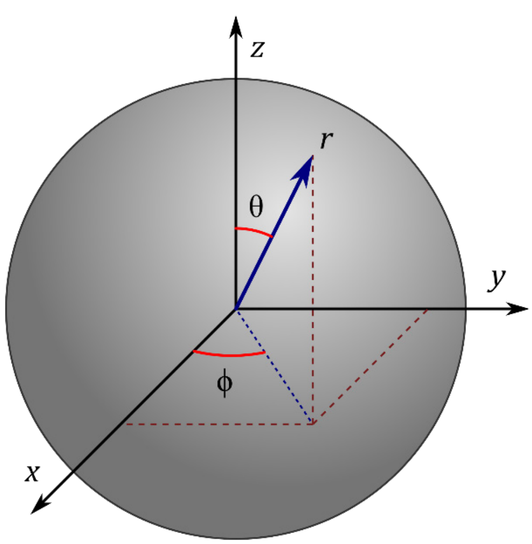
Contestar el cuestionario, conforme a las instrucciones dadas en cada sección. En caso de que el espacio para la respuesta no sea suficiente, continuar en una hoja anexa, indicando claramente la continuación.

Evidencias entregables

Entregar este cuestionario contestado, solamente un ejemplar por equipo. Opcionalmente, pueden anexar una breve investigación bibliográfica (aproximadamente dos páginas) respecto a las contribuciones de Fourier en el área de transferencia de calor. Una vez revisado, cada integrante del equipo deberá tener una copia para su portafolio final.

Planteamiento del caso a analizar

Se tiene una esfera sólida homogénea (de radio R) en la que se presenta una generación de calor uniforme G_0 (W/m³). La superficie de la esfera se mantiene a una temperatura constante T_s . En la figura se muestra la esfera con el sistema de coordenadas esférico (en relación con las coordenadas rectangulares).

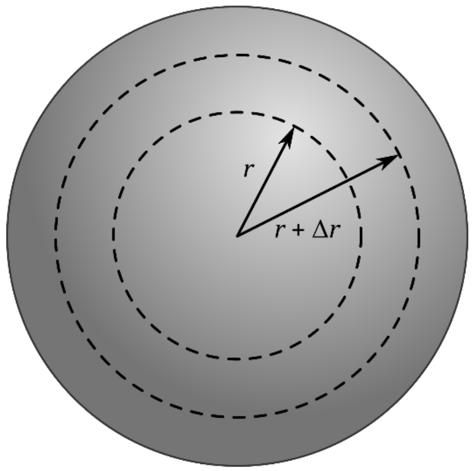


Sección 1 – Lista de suposiciones

Establecer las suposiciones que sean apropiadas para este caso.

Sección 2 – Volumen de control

El volumen de control para el balance de energía es una capa de espesor Δr, entre las posiciones r y $r + \Delta r$. **Obsérvese que el volumen de control es un cascarón hueco, dentro de la esfera, y no incluye ni la superficie ni el centro de la esfera. Este volumen de control es una "envoltura" porque envuelve parte del sistema analizado. Por esta razón, a este tipo de balance diferencial también se le conoce como "balance envolvente".**

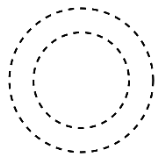
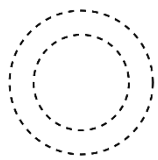


Determinar el volumen ΔV del volumen de control, a partir de la diferencia de volumen de la esfera externa menos el volumen de la esfera interna (con la necesaria manipulación algebraica):

RESPUESTA: $\Delta V = 4\pi r^2 \Delta r$

Sección 3 – Balance diferencial de energía

Para cada contribución listada en la tabla siguiente, sombrear en la figura cuál área del volumen de control es a través de la cual se efectúa la contribución, y obtener el término correspondiente. Recordar que las unidades de todos los términos deben ser joules.

CONTRIBUCIÓN		ÁREA	TÉRMINO DEL BALANCE
1	entrada de calor por conducción en r		
2	salida de calor por conducción en $r + \Delta r$		
3	generación de calor dentro del volumen de control (final – inicial)		

No existe acumulación de energía en el volumen de control. Explicar por qué:

Escribir el balance completo: E – S + G = A:

Dividir entre $4\pi r^2 \Delta r \Delta t$ (es decir, ΔV por Δt):

Tomar el límite cuando $\Delta r \to 0$ para obtener la ecuación diferencial del sistema:

RESPUESTA: $-\frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}\left(r^2 q_r\right) + G_0 = 0$

Sección 4 – Ley de Fourier de la conducción

Como en la ecuación diferencial aparece la densidad de flujo de calor q, se requiere la ley de Fourier, en coordenadas esféricas, componente r:

$$q_r = -k\frac{dT}{dr}$$

Nótese que se emplean derivadas ordinarias (no parciales) porque la temperatura sólo varía en la dirección r. Sustituir esta ecuación en el resultado de la sección anterior, para obtener la ecuación diferencial en función de la temperatura:

RESPUESTA: $\frac{k}{r^2}\frac{d}{dr}\left(r^2\frac{dT}{dr}\right) + G_0 = 0$

Sección 5 – Solución de la ecuación diferencial

Resolver la ecuación diferencial para llegar a la solución general:

RESPUESTA: $T = -\dfrac{G_0}{6k}r^2 - \dfrac{C_1}{r} + C_2$

Sección 6 – Condiciones de frontera

A continuación se muestran las condiciones de frontera para el caso analizado. Explicar el por qué de cada una.

CONDICIÓN DE FRONTERA	EXPLICACIÓN
1. $\dfrac{dT}{dr} = 0$ en $r = 0$	
2. $T = T_s$ en $r = R$	

Sección 7 – Perfil de temperatura

La condición de frontera 1 no se puede sustituir directamente en la solución general, porque es para la derivada de la temperatura (dT/dr). Por esta razón, sería necesario primero derivar esta solución general. Afortunadamente, en este caso la derivada ya se había encontrado como parte del procedimiento de solución (sección 5):

$$\frac{dT}{dr} = -\frac{G_0}{3k}r - \frac{C_1}{r^2}$$

La condición de frontera 1 se debe utilizar con esta derivada para encontrar el valor de C_1. Nótese que en este caso, al sustituir directamente la condición de frontera, se tendría división entre cero, por lo que es conveniente primero despejar C_1 y luego sustituir los valores:

RESPUESTA: $C_1 = 0$

NOTA: En muchos libros de transferencia de calor, en vez de despejar y sustituir, simplemente argumentan que el único valor posible para C_1 es cero, de tal forma que se evite la división entre cero. Este argumento también se puede aplicar directamente en la solución general para T, donde aparece el término C_1/r que se volvería infinito cuando $r = 0$, y la única manera de evitarlo es que C_1 sea cero.

Sustituyendo $C_1 = 0$ en la solución general, se llega a una nueva solución general:

$$T = -\frac{G_0}{6k}r^2 + C_2$$

Ahora se sustituye la segunda condición de frontera en la nueva solución general, y se despeja C_2:

RESPUESTA: $C_2 = T_s + \frac{G_0}{6k}R^2$

Esta constante C_2 se sustituye en la solución general, para llegar al perfil de temperatura que se busca:

RESPUESTA: $T = T_s + \dfrac{G_0 R^2}{6k}\left[1 - \left(\dfrac{r}{R}\right)^2\right]$

Sección 8 – Caso especial con convección en la superficie (OPCIONAL)

En ocasiones, en vez de mantenerse una temperatura constante en la superficie, se tiene la esfera inmersa en un fluido y el calor se transfiere de la superficie al fluido por convección. En este caso, la condición de frontera 2 se obtiene igualando las densidades de flujo de calor por conducción (que llega desde el interior hasta la superficie) y por convección (desde la superficie hacia el fluido):

$$q_{\text{cond}} = q_{\text{conv}}$$

La conducción está dada por la ley de Fourier, y la convección está dada por la ley de Newton del enfriamiento:

$$-k\frac{dT}{dr} = h\left(T - T_\infty\right)$$

donde T_∞ es la temperatura del fluido lejos de la esfera. Reacomodando la ecuación anterior, se establece la condición de frontera en la superficie de la esfera cuando hay convección:

$$\frac{dT}{dr} + \frac{h}{k}\left(T - T_\infty\right) = 0 \quad \text{en } r = R$$

La solución general en este caso es la misma que la obtenida previamente. Empleando esta condición de frontera, junto con la condición de simetría en el centro, determinar el perfil de temperatura en la esfera.

RESPUESTA: $T = T_\infty + \dfrac{G_0 R^2}{6k}\left[1 - \left(\dfrac{r}{R}\right)^2 + \dfrac{2k}{hR}\right]$

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

ACTIVIDAD 4

(evidencia para unidad 3)

DEMOSTRACIÓN DE LA LEY DE NEWTON DEL ENFRIAMIENTO

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

Intención didáctica

Comprobar experimentalmente la ley de Newton del enfriamiento, para un caso de convección libre y un caso de convección forzada.

Antecedentes

Cuando un objeto se encuentra a una temperatura diferente que el medio circundante, existe una transferencia de calor entre ellos. Newton estudió este fenómeno (aunque las teorías de la época sobre el calor y la temperatura aún no estaban bien establecidas), llegando a la conclusión de que la rapidez con la que disminuye la temperatura de un objeto caliente es proporcional a la diferencia de temperatura entre el objeto y los alrededores. En términos matemáticos:

$$-\frac{dT}{dt} = a\left(T - T_\infty\right)$$

donde T es la temperatura del objeto en cualquier tiempo t, T_∞ es la temperatura del medio ambiente, y a [*] es una constante con unidades de (tiempo)$^{-1}$. Si la temperatura inicial del objeto (en $t = 0$) es T_0, la ecuación diferencial se puede resolver para obtener:

$$T = T_\infty + \left(T_0 - T_\infty\right)e^{-at}$$

Determinando la temperatura del objeto a diversos tiempos permite obtener una estimación de a. Adicionalmente, si el objeto sólo pierde calor por convección, y su masa y propiedades físicas son constantes, se puede demostrar que la constante a de la ley de Newton está relacionada con el coeficiente de transferencia de calor por convección h mediante la siguiente relación:

$$a = \frac{hA}{mc_P}$$

donde A es el área de transferencia de calor, m es la masa del objeto, y c_P es la capacidad calorífica del objeto.

En esta actividad, el objeto será un vaso con agua caliente. Se pondrán dos vasos, uno que se dejará enfriar por convección libre, y el otro que se enfriará por convección forzada. Dado que los vasos son térmicos, se asumirá que la transferencia de calor ocurre únicamente a través de la superficie libre del agua. De hecho, parte de la transferencia de calor se debe a la evaporación del agua (enfriamiento por evaporación).

[*] Es común que la constante sea k, pero en esta actividad se usa a para evitar confusión con la conductividad térmica.

Materiales

- ★ 2 vasos térmicos.
- ★ Termómetro.
- ★ Cronómetro.
- ★ Agua caliente.

Indicaciones

1. Rotular dos vasos, uno para convección libre y el otro para convección forzada.
2. Llenar ambos con agua caliente (no hasta el borde).
3. Tomar la temperatura inicial del agua y comenzar a tomar el tiempo con el cronómetro.
4. Uno de los vasos, el de convección forzada, debe colocarse en un lugar donde no haya corrientes de aire. El otro vaso se tendrá en otro lugar, apartado del primero, y se le estará soplando o agitando el aire con algún objeto para crear convección forzada.
5. Cada dos minutos, registrar la temperatura del agua y el tiempo que ha transcurrido. Se les recomienda tomar la temperatura de los vasos alternadamente (uno en los minutos pares y el otro en los minutos impares).
6. Repetir el paso anterior hasta que varias temperaturas sean iguales o se termine el tiempo de la clase.
7. Construir una gráfica con ambas series de temperatura, empleando el tiempo en minutos en el eje horizontal, para comparar la variación de temperatura cuando se aplicó convección forzada y cuando sólo hubo convección libre.
8. Con los datos de temperatura, obtener por regresión lineal el valor de la constante a de la ley de Newton del enfriamiento para cada caso (nota: es necesario transformar la ecuación de T a una ecuación lineal).
9. OPCIONAL: Calcular el valor del coeficiente de transferencia de calor, en $W/m^2{\cdot}K$, para ambos casos . Para ello necesitan saber la masa del agua (que pueden determinar por diferencia de peso) y el área de transferencia (recordar que se está asumiendo que el calor sólo se está transfiriendo por la superficie libre del agua).

Indicaciones de seguridad

Tomar las debidas precauciones para el manejo del agua caliente.

Disposición de residuos

No se generan residuos peligrosos.

Evidencias entregables

El reporte de esta actividad puede ser elaborado en computadora, y lleva esta hoja de indicaciones como portada. A continuación, incluir una breve investigación bibliográfica sobre convección, la tabla con sus datos experimentales, su gráfica de temperaturas en función del tiempo, y su estimación de a (y h, si deciden calcularla) para ambos casos, y su conclusión grupal de la actividad.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

Balance de Momentum, Calor y Masa

QI1720 ★ Ingeniería Química

Docente: Dr. Carlos Francisco Cruz Fierro

ACTIVIDAD 5

(evidencia para unidad 4)

DIFUSIVIDAD A PARTIR DE LA EVAPORACIÓN DE UN LÍQUIDO EN UN CAPILAR

INTEGRANTES DEL EQUIPO (POR APELLIDO, EN ORDEN ALFABÉTICO, MÁXIMO TRES)	**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 pseudoestable del vapor de un líquido volátil en un tubo capilar, el perfil de concentración (en fracción mol) y la densidad de flujo molar del componente A están dados por:

$$y_A = 1 - \left(1 - \frac{P_{vap,A}}{P}\right)^{\left(\frac{z}{L}\right)} \qquad n_A = \frac{\mathscr{D}_{AB} P}{LRT} \ln\left(1 - \frac{P_{vap,A}}{P}\right)$$

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

$$L^2 - L_0^2 = \frac{-2\mathscr{D}_{AB} PMt}{\rho RT} \ln\left(1 - \frac{P_{vap,A}}{P}\right)$$

donde L_0 es la longitud inicial desde la interfase hasta el extremo abierto. Al determinar cómo aumenta esa longitud con respecto al tiempo, se puede obtener el valor de la difusividad $\mathscr{D}_{AB}$ del vapor en aire.

Materiales

- ★ Un tubo capilar.
- ★ 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 con silicón.
4. Con la regla, medir la longitud de la parte del capilar que no contiene líquido. Ésta es la longitud inicial L_0.
5. Colocar el capilar en posición vertical en un lugar donde no haya corrientes de aire. Colocar también el termómetro, para conocer la temperatura ambiente. Registrar la presión atmosférica e iniciar el cronómetro.
6. Al final de la clase, medir la longitud del capilar que no contiene líquido (L).
7. OPCIONAL: Estimar la difusividad del vapor de acetona en aire, a la temperatura y presión medidas durante la actividad, empleando alguno de los métodos vistos en el curso previo (Mecanismos de Transferencia). Calcular el error porcentual de su medición experimental respecto al valor estimado.

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

ρ = 791 kg/m³ $\quad$ M = 58.08 g/mol $\quad$ $\log_{10} P_{vap} = 7.02447 - \dfrac{1161}{T + 224}$ (T en °C, P_{vap} 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 la difusividad. Después reportar los datos experimentales, los cálculos para la difusividad, y sus conclusiones individuales de la actividad.