



FENÓMENOS DE TRANSPORTE: DEFINICIÓN E IMPORTANCIA

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


Intención didáctica

Concientizar al alumno 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 los tres grupos de materias que correspondan a (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 (chechar 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.



DEMOSTRACIÓN DE LOS MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

LUGAR DE REALIZACIÓN: LABORATORIO DE FISCOQUÍMICA

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

Intención didáctica

Desarrollar una serie de experiencias de laboratorio que ejemplifiquen los tres mecanismos de transferencia de calor.

Antecedentes

El calor es la energía transferida por virtud de una diferencia de temperaturas. Existen tres mecanismos por los cuales se puede presentar esta transferencia:

- ★ **CONDUCCIÓN:** Se debe a choques o interacciones entre los átomos o moléculas del material. Una región de mayor temperatura implica que las moléculas vibran o se mueven con mayor velocidad. Durante los choques, estas moléculas ceden parte de su energía cinética a las moléculas vecinas que están a menor temperatura, y así se presenta el flujo de energía en forma de calor. Este mecanismo es el más importante en sólidos; también se presenta en líquidos y gases, aunque en éstos generalmente es más importante la convección.
- ★ **CONVECCIÓN:** Se presenta debido al movimiento de un fluido, generalmente alrededor de una superficie sólida, y es el resultado combinado de la conducción y la advección. El calor pasa por conducción del sólido a la capa de fluido adyacente a la superficie (que no se mueve debido a la condición de no deslizamiento), y de ahí pasa también por conducción a capas subsecuentes del fluido. Suficientemente lejos de la superficie sólida, el movimiento del fluido (advección) se lleva el fluido caliente y lo reemplaza por fluido frío. La convección puede ser forzada o libre (natural), dependiendo de si el movimiento del fluido se debe a un agente externo o a la transferencia de calor únicamente.
- ★ **RADIACIÓN:** Todos los cuerpos emiten ondas electromagnéticas, pero la cantidad de energía radiada y la longitud de onda dependen de la temperatura del objeto. Este mecanismo no requiere de un medio material para la transmisión del calor, por ejemplo la Tierra recibiendo energía del Sol.

Indicaciones

Cada equipo definirá o identificará una demostración experimental para cada uno de los tres mecanismos de transferencia de calor. Podrán hacer uso de materiales conseguidos por ustedes mismos o disponibles en el laboratorio (chechar disponibilidad con suficiente anticipación). *Por ejemplo, para demostrar convección, puede colocarse agua caliente en un vaso de precipitados o taza, y observar cómo se eleva el vapor (convección natural) y cómo se forma una capa límite con el vapor al soplar suavemente sobre la taza (convección forzada).*

En la evaluación de la práctica se tomará en cuenta también el desarrollo creativo y si sus demostraciones son cuantitativas. *Siguiendo el ejemplo anterior, se puede considerar cuantitativo si miden la temperatura del agua en la taza y demuestran que se enfría más rápidamente cuando existe convección forzada.*

NOTA: *El ejemplo presentado aquí no podrá ser usado por ningún equipo.*



Material y reactivos

Deberán ser especificados por el equipo, con base en su propuesta.

Riesgos adicionales de seguridad

Deberán ser especificados por el equipo, con base en su propuesta.
El uso de bata es obligatorio.

Manejo de residuos

Deberán ser especificados por el equipo, con base en su propuesta.

Evidencias entregables

El reporte de la actividad lleva esta hoja de indicaciones como portada. A continuación, opcionalmente, incluir una breve investigación bibliográfica relevante a la práctica (aproximadamente dos páginas). Luego poner la lista de materiales, procedimiento, riesgos de seguridad, manejo de residuos, evidencias fotográficas y observaciones para cada demostración (incluir cálculos si aplica), y una conclusión individual de la práctica por cada integrante del equipo. Una vez aceptado como evidencia, su reporte deberá ser fotocopiado para que cada integrante tenga un ejemplar para su portafolio de evidencias.

Opcional

Efectuar una búsqueda de videos en internet y seleccionar máximo tres que, a criterio del equipo, sean los mejores explicando teóricamente o mostrando experimentalmente los mecanismos de transferencia de calor (no debe faltar ninguno de los tres mecanismos, considerando todos los videos en conjunto). Para cada uno de los videos seleccionados, reportar el título, dirección en internet (URL), duración en minutos, una captura de pantalla del video, y una reseña (máximo 200 palabras) sobre su contenido.



SIMULADOR DE RADIACIÓN DE CUERPO NEGRO

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

Intención didáctica

Reconocer las principales características de la radiación emitida por un cuerpo negro de acuerdo a la ley de Plank.

Introducción

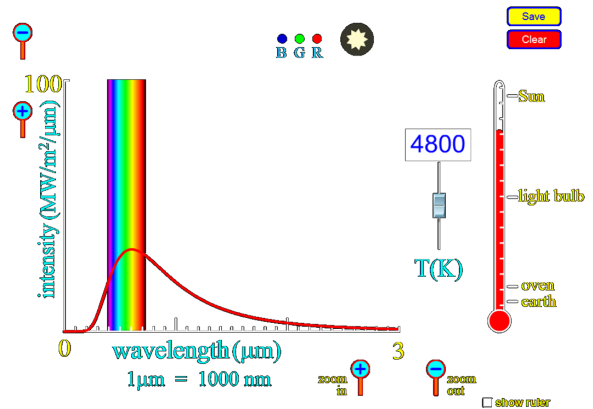
Todos los cuerpos que tienen una temperatura superior al cero absoluto emiten radiación electromagnética. La cantidad de radiación y su distribución en las diferentes longitudes de onda (espectro) dependen de la temperatura del objeto. Un cuerpo negro es un objeto ideal que absorbe toda la radiación que recibe y no refleja ni transmite nada de ella. Los cuerpos negros también emiten radiación con una distribución particular, conocida como Ley de Plank.

Instrucciones

Visitar el sitio de simuladores desarrollados en la Universidad de Colorado en Boulder:

<http://phet.colorado.edu/>

Buscar y ejecutar la simulación “Blackbody Spectrum” (se requiere tener instalado Java; el simulador se puede ejecutar directamente en el navegador o descargarse y ejecutarse aparte). **Empleando el simulador, responder el cuestionario.**



Evidencias entregables

Se entrega únicamente este cuestionario, respondido por equipo. Una vez revisado, cada integrante del equipo deberá tener una copia para su portafolio final.

Cuestionario

- Empleando el control a la izquierda del termómetro, aumenta y disminuye la temperatura. Observa la curva que representa la luz emitida. **Describe la forma de esta curva y cómo cambia al variar la temperatura.**

Respuesta:



2. En la parte superior de la pantalla hay una estrella que representa el color de la radiación emitida por el cuerpo negro. Cuando la temperatura es suficientemente baja, la estrella no se ve porque toda la radiación emitida está en la parte infrarroja del espectro. **Busca a qué temperatura empieza a emitir en la parte visible del espectro, es decir, a qué temperatura apenas se alcanza a notar la estrella de la parte superior de la pantalla.**

Respuesta:

3. Ahora aumenta la temperatura gradualmente. La estrella empieza a emitir luz, inicialmente roja, y luego va cambiando de color. **Describe la secuencia de colores de la luz emitida por la estrella al aumentar la temperatura.**

Respuesta:

4. **Identifica a qué temperatura la luz de la estrella es aproximadamente blanca.**

Respuesta:

5. Selecciona la opción para mostrar la regla. Auxiliándote con la regla y los controles de zoom en cada eje, determina **qué temperatura necesita tener la estrella para que la máxima radiación emitida (el punto más alto de la curva) ocurra en la longitud de onda indicada en la tabla siguiente, y qué color aparenta tener la estrella en cada caso.**

longitud de onda del máximo de emisión	2.0 μm	1.0 μm	0.8 μm	0.6 μm	0.5 μm	0.4 μm
temperatura (K)						
color aparente de la estrella						

6. Pon la temperatura en 5700 K. Observa que a esta temperatura, el color de la estrella no es el mismo que la longitud de onda correspondiente al máximo de la curva: el máximo de emisión está en 0.5 μm , que corresponde a luz de color azul, pero la estrella se ve blanca. **Da una explicación para esta discrepancia.**

Respuesta:



Material y reactivos

- ★ 2 vasos de precipitado de 600 mL.
- ★ Soporte universal con anillo y tela de asbesto.
- ★ Mechero Bunsen.
- ★ Vidrio de reloj.
- ★ Sacabocados para perforar tapones (de al menos 1 cm diámetro).
- ★ Pinzas para crisol.
- ★ Cuchillo o espátula.
- ★ Vernier.
- ★ Papas (a temperatura ambiente).
- ★ Solución indicadora de yodo (Lugol).

Indicaciones

1. Usando el sacabocados, obtener por lo menos 8 cilindros de papa, cortados a igual longitud.
2. Poner uno de los vasos de precipitado con agua fría o a temperatura ambiente.
3. Poner el otro vaso de precipitado con aproximadamente 400 mL de agua y calentar hasta ebullición.
4. Con el agua hirviendo fuertemente, agregar un cilindro de papa, esperar 30 segundos, sacar del agua hirviendo, cortar transversalmente a la mitad y pasar al agua fría para detener la cocción.
5. Después de 15 segundos aproximadamente en el agua fría, sacar las mitades del cilindro y colocar el extremo cortado en contacto con la solución indicadora de yodo en el vidrio de reloj.
6. Medir el diámetro externo del cilindro (D) y el diámetro de la zona central que no reaccionó con el yodo (d).
7. Repetir desde el paso 4, usando tiempos de 60, 90 y 120 segundos.
8. Apagar el medio de calentamiento para que el agua deje de hervir.
9. Repetir desde el paso 4, trabajando ahora con el agua caliente sin ebullición.

Riesgos adicionales de seguridad

Se manejará agua hirviendo y sólidos calientes.

Manejo de residuos

No se generan residuos peligrosos. La solución de yodo usada puede eliminarse por el drenaje. Las papas pueden descartarse en la basura.

Cálculos

Elaborar una tabla con las condiciones de cada caso, tiempo, y los valores medidos de D y d para cada cilindro. Elaborar una gráfica de d/D en función del tiempo con los datos de los cilindros que se cocieron con convección forzada y los de convección natural.

Evidencias entregables

El reporte de la práctica puede ser elaborado en computadora, y lleva esta hoja de indicaciones como portada. A continuación, incluir una breve investigación bibliográfica relevante a la práctica (aproximadamente dos páginas), la tabla con sus datos experimentales, la gráfica de d/D para ambas condiciones, evidencias fotográficas, y una conclusión individual de la práctica por cada integrante del equipo. Sólo se entrega un ejemplar del reporte por equipo. Una vez aceptado, cada integrante del equipo deberá tener una copia para su portafolio final.



DEMOSTRACIÓN DE LA LEY DE NEWTON DEL ENFRIAMIENTO

INTEGRANTES DEL EQUIPO (POR APELLIDO, EN ORDEN ALFABÉTICO, MÁXIMO CINCO)	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:

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

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 $(\text{tiempo})^{-1}$. Si la temperatura inicial del objeto (en $t = 0$) es T_0 , la ecuación diferencial se puede resolver para obtener:

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

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 demostración, 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 esta constante sea k , pero se ha cambiado aquí a 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 el valor de la constante k de la ley de Newton del enfriamiento para ambos casos.
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 k (y h , si deciden calcularla) para ambos casos, y su conclusión grupal de la actividad.



COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN LIBRE

LUGAR DE REALIZACIÓN: LABORATORIO DE FISCOQUÍMICA

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

Intención didáctica

Medir experimentalmente el coeficiente de transferencia de calor por convección natural para el caso de una superficie plana horizontal (superficie fría orientada hacia abajo).

Antecedentes

La convección libre (o convección natural) se presenta cuando un fluido se pone en contacto con una superficie (sólida o fluida) que se encuentra a una diferente temperatura, y la transferencia de calor crea diferencias de densidad que son las causantes del movimiento del fluido. La diferencia de densidad (debida a la diferencia de temperatura) es la fuerza impulsora de esta transferencia de calor, y es representada a través del número de Grashof Gr. También es muy común emplear el número de Rayleigh Ra que es simplemente el producto del número de Grashof y el número de Prandtl.

$$Gr_L = \frac{g\beta|T_w - T_\infty|L^3}{\nu^2} \quad Ra_L = Gr_L Pr$$

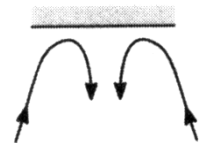
L es una longitud característica que depende de la geometría del sistema. Para el caso de una superficie plana horizontal, la longitud característica L generalmente se toma como la relación entre el área de la superficie dividida entre su perímetro:

$$L = \frac{\text{área}}{\text{perímetro}} \quad (\text{para superficies planas horizontales})$$

En muchos casos simples, el coeficiente de transferencia de calor se expresa en forma de una correlación para el número de Nusselt Nu_L:

$$\overline{Nu}_L = \frac{\overline{h}L}{k}$$

En el caso de esta actividad, la superficie sólida será un disco de hielo, que se colocará cuidadosamente en un recipiente con agua en reposo. El calor se transfiere del agua al hielo. Al disminuir la temperatura del agua cerca del hielo, aumenta su densidad, tiende a descender y ser remplazada por agua a mayor temperatura, causando así el movimiento del agua. Además, el calor transferido hace que el hielo se derrita. La cantidad de calor transferido se puede determinar a partir de la diferencia de pesos del disco antes y después de colocarse en el agua. Este procedimiento se repite para diferentes temperaturas del agua.





Material y reactivos

- ★ Cuba hidroneumática (o algún otro recipiente grande).
- ★ Soporte universal con anillo y tela de asbesto.
- ★ Mechero Fischer o Bunsen.
- ★ Vaso de precipitado de 1000 mL para calentar agua.
- ★ Balanza granataria.
- ★ Termómetro.
- ★ Cronómetro.
- ★ Discos de hielo (al menos diez).
- ★ Agua.

Indicaciones

1. Poner a calentar agua en un vaso de precipitado (la cantidad de agua que se necesitará depende del desarrollo del experimento).
2. Empleando el agua caliente del paso anterior, y agua fría de ser necesario, poner en la cuba hidroneumática agua a aproximadamente 60 °C.
3. Dejar reposar el agua al menos un minuto para que deje de moverse y luego medir cuidadosamente su temperatura, evitando agitarla.
4. Tomar uno de los discos de hielo, medir su diámetro inicial y pesarlo para conocer su masa inicial.
5. Rápida pero cuidadosamente, colocar el disco en el agua, procurando perturbar el agua lo menos posible. Iniciar el cronómetro.
6. Dejar el disco en el agua durante cierto tiempo. **No hay un tiempo predefinido, ya que la rapidez de transferencia de calor dependerá de la temperatura del agua. En cualquier caso, el disco no deberá derretirse más del 25% de su diámetro inicial.** Leer las recomendaciones en la sección correspondiente.
7. Sacar el disco del agua y al mismo tiempo detener el cronómetro.
8. Rápidamente pesar de nuevo el disco y medir su diámetro final.
9. Repetir desde el paso 2, con el agua de la cuba hidroneumática a aproximadamente 50, 40, 30, 20 y 10°C. Tomar en cuenta que entre mayor sea la temperatura del agua, menor deberá ser el tiempo de permanencia del disco en el agua.

Indicaciones de seguridad

El uso de la bata durante las sesiones de laboratorio es obligatorio. Tomar las debidas precauciones para el manejo del agua caliente.

Disposición de residuos

No se generan residuos peligrosos.



Sugerencias para el éxito de la práctica

- ★ Ya que se desea representar una placa plana, el disco de hielo debería ser lo más ancho posible comparado con su altura, de tal forma que la transferencia de calor en el área lateral del disco sea despreciable comparada con la transferencia en la parte plana inferior del disco. Los discos de hielo se pueden fabricar con relativa facilidad empleando cajas Petri desechables de plástico.
- ★ Aún cuando se piden 6 datos experimentales como mínimo, es conveniente que se fabriquen más de 6 discos de hielo, tomando en cuenta la necesidad de pruebas preliminares y la posibilidad de accidentes y errores. También es normal que este tipo de experimentos se realice con varias réplicas, es decir, se lleva a cabo el experimento varias veces bajo las mismas condiciones experimentales.
- ★ Entre mayor sea el recipiente en el que se contenga el agua para realizar el experimento, será más fácil garantizar que la temperatura del agua se mantenga constante, pero es más tardado calentar la cantidad suficiente de agua.
- ★ Es muy importante esperar a que el agua esté en reposo antes de colocar el disco de hielo. Si no es así, el movimiento que ya tenga el agua crea convección forzada que va a causar un valor del coeficiente de transferencia de calor más alto de lo debido.
- ★ El tiempo que cada disco permanece en el agua no está definido de antemano. Entre más tiempo permanezca el disco, menor será el efecto de una posible convección forzada al inicio, mayor será la diferencia de pesos del disco, y por lo tanto el valor medido de h será más exacto. Sin embargo, al irse derritiendo el disco, cambia su diámetro y por lo tanto cambia el valor de la longitud característica L , lo que indicaría que es mejor que el disco permanezca menos tiempo. El tiempo “adecuado” representa un compromiso entre estos dos efectos. En cualquier caso, se les recomienda que el diámetro final no sea menor a $\frac{3}{4}$ del diámetro inicial.
- ★ Ya que el diámetro del disco cambia conforme se derrite, es más conveniente estimar la longitud característica L usando un promedio entre el diámetro inicial y el diámetro final del disco (siempre y cuando no haya cambiado demasiado).

Datos experimentales

Concentrar los datos experimentales en la tabla siguiente:

	EXPERIMENTO					
	1	2	3	4	5	6
Temperatura inicial del agua T_{∞}						
Diámetro inicial del disco						
Diámetro final del disco						
Masa inicial del disco						
Masa final del disco						
Tiempo del disco en el agua						



Procedimiento de cálculo

Para cada repetición, calcular la rapidez de transferencia de calor Q a partir de la diferencia de peso del disco y del tiempo que permaneció en el agua (recordar que todo el calor transferido tiene el efecto de derretir hielo). A partir de la ley de enfriamiento de Newton, se puede determinar el valor del coeficiente de transferencia de calor \bar{h} (la barra indica que es h promedio para toda la superficie).

$$Q = \bar{h}A(T_{\infty} - T_w)$$

donde T_{∞} y T_w representan las temperaturas del agua y de la superficie del hielo, respectivamente (nótese el cambio en la diferencia de temperaturas para que Q sea una cantidad positiva).

A partir del valor calculado de \bar{h} se puede determinar el correspondiente número de Nusselt \overline{Nu}_L . Por otro lado, el número de Rayleigh depende únicamente de la diferencia de temperaturas y de las propiedades del fluido. **NOTA: Todas las propiedades del fluido deberán determinarse a la temperatura promedio de la película, es decir $T_f = (T_w + T_{\infty}) / 2$.**

En otra tabla, reportar la temperatura promedio de película y los valores de todas las propiedades físicas del agua que se necesiten para calcular los números adimensionales (citar la fuente bibliográfica de las propiedades usadas). Reportar también Q , h , y el valor de los números de Nusselt y Rayleigh para cada experimento.

Finalmente, generar una gráfica de los datos experimentales de \overline{Nu}_L contra Ra_L (representados con símbolos sin línea porque son datos experimentales).

Evidencias entregables

El reporte de la actividad puede ser elaborado en computadora, y lleva esta hoja de indicaciones como portada. Luego, incluir una breve investigación bibliográfica opcional (aproximadamente dos páginas) relacionada con el tema de la actividad. Después incluir la tabla con sus datos experimentales, los cálculos detallados sólo para uno de los experimentos como ejemplo, una tabla con los valores calculados de los demás experimentos, la gráfica de \overline{Nu}_L en función de Ra_L , y una conclusión individual de la actividad por cada integrante del equipo.

Una vez aceptado como evidencia, cada integrante del equipo deberá tener una copia del reporte para su portafolio final de evidencias.

Opcional

Si se asume que el número de Nusselt se relaciona con el número de Rayleigh mediante una ecuación del tipo $\overline{Nu}_L = cRa_L^m$, esta ecuación se puede linealizar aplicando logaritmos:

$$\ln(\overline{Nu}_L) = \ln(c) + m \ln(Ra_L) \quad \text{equivalente a} \quad y = a + bx$$

Obtener por regresión lineal \textcircled{E} los valores de las constantes c y m que mejor ajusten los datos experimentales y presentar su correlación en la forma $\overline{Nu}_L = cRa_L^m$.



INTERCAMBIADORES DE CALOR

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

Intención didáctica

Familiarizar al alumno con los diversos tipos de intercambiadores de calor y sus características.

Indicaciones

1. Efectuar una investigación bibliográfica (opcional, aproximadamente cinco páginas) que incluya:
 - a. tipos de intercambiadores de calor, sus características y principales aplicaciones.
 - b. partes que conforman un intercambiador de calor de coraza y tubos.
 - c. características de condensadores y hervidores (calderas).
2. Realizar una visita la **Planta Piloto** e identificar, con ayuda del personal del laboratorio, los intercambiadores de calor que forman parte de los equipos ahí instalados.
3. Opcionalmente, pueden extender su investigación también con equipos del Laboratorio de Ingeniería Química.

Evidencias entregables

El reporte de esta actividad lleva esta hoja de indicaciones como portada, seguida de su investigación bibliográfica. Luego, para cada equipo que identifiquen que tiene intercambiadores de calor, poner el nombre del equipo, el tipo de intercambiador de calor que tiene instalado, cuáles fluidos intercambian calor, otros datos de intercambiador (si se conocen, tales como material de fabricación, área de intercambio, etcétera), y una fotografía del equipo y del intercambiador (si es accesible).

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



OPERACIÓN DE UN EVAPORADOR DE PELÍCULA DESCENDENTE

LUGAR DE REALIZACIÓN: PLANTA PILOTO

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

Intención didáctica

Familiarizar al alumno con los diversos tipos de evaporadores, en particular con la operación del evaporador de película descendente de la Planta Piloto.

Material y reactivos

- ★ Muestra líquida para evaporar, aprox. 20 litros (consultar recomendaciones con el personal del laboratorio).
- ★ Densímetros y probeta graduada.

Indicaciones

1. Antes de iniciar la práctica, y con ayuda del personal de la planta piloto, familiarizarse con el evaporador de película descendente, especialmente respecto a su operación segura.
2. Medir el volumen y la densidad de la muestra.
3. Verificar que la válvula de alimentación esté cerrada y colocar la muestra en el tanque de alimentación.
4. Abrir las válvulas de entrada a los matraces bola.
5. Abrir la válvula del agua de enfriamiento del condensador.
6. Purgar la línea de vapor y abrir las válvulas de alimentación de vapor.
7. Verificar que las válvulas de descarga de los matraces bola estén cerradas, y que las válvulas que los conectan con la línea de vacío estén abiertas. Encender la bomba de vacío y abrir la válvula correspondiente.
8. Encender el motor de las aspas de distribución de la alimentación.
9. Encender el motor de la alimentación, y regular el flujo de alimentación con la válvula correspondiente.
10. Mantener condiciones de operación estables en el evaporador, hasta que se haya procesado toda el líquido del tanque de alimentación.
11. Para apagar el equipo, apagar primero los motores, luego cerrar las válvulas del vapor y del vacío, y finalmente cerrar la válvula del agua de enfriamiento.
12. Romper el vacío y vaciar el contenido de ambos matraces bola.
13. Medir el volumen y la densidad del líquido concentrado, y el volumen de agua evaporada.
14. Limpiar el equipo, haciendo pasar primero una solución de detergente, y luego agua limpia para enjuagar.



Recomendaciones para el éxito de la actividad

Las condiciones recomendables de operación del evaporador varían según el tipo de alimentación y el grado deseado de evaporación. A reserva de una mejor indicación por parte del personal de la Planta Piloto, para esta práctica se sugiere una velocidad de alimentación de 50 L/h, una presión de vacío de 10 inHg, una presión del vapor de 35 psig y un flujo de agua de enfriamiento suficiente para que el aumento de la temperatura del agua no sea mayor a 20 °C.

Cálculos

Comprobar el balance de masa para el equipo, a partir de los volúmenes y densidades de la alimentación, líquido concentrado y agua evaporada.

OPCIONAL – Lectura de un artículo técnico en inglés

Leer el siguiente artículo:

Hackett, Bryan W. (2018). “The Essentials of Continuous Evaporation”. *Chemical Engineering Progress*, **114**(5), pp. 24-28.

Elaborar una lista de todas las palabras que no conozcan e investigar su equivalente en español. Preparar una síntesis (máximo 2 páginas) de las ideas principales presentadas en el artículo.

Evidencias entregables

El reporte de esta actividad lleva esta hoja de indicaciones como portada. A continuación, poner una investigación bibliográfica de los tipos de evaporadores (incluyendo, aunque no limitándose a, verticales de tubo corto, verticales de tubo largo, de película ascendente, de película descendente, de tubos horizontales, así como evaporadores de efecto simple y de efecto múltiple). Luego (opcional) el artículo técnico, su lista de palabras y su síntesis.

Reportar las condiciones de operación del evaporador (flujo de alimentación, presión y temperatura del vapor de calentamiento, presión del vacío, temperatura del vapor antes de entrar al condensador, y temperaturas de entrada y salida del agua de enfriamiento), el volumen y la densidad de la alimentación, el volumen y la densidad de la solución concentrada y el volumen del agua evaporada, así como la comprobación del balance de masa. Incluir además evidencia fotográfica del desarrollo de la actividad y sus conclusiones individuales.

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



CRISTALIZACIÓN

LUGAR DE REALIZACIÓN: LABORATORIO DE FISCOQUÍMICA

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

Intención didáctica

Familiarizar al alumno con los aspectos fundamentales de la cristalización.

Material y reactivos

- ★ 2 vasos de precipitado de 100 mL
- ★ 1 varilla de vidrio
- ★ 1 Tubo de ensaye
- ★ 2 cristalizadores (o vidrios de reloj grandes, si no hay cristalizadores)
- ★ 1 pinzas para tubo de ensaye
- ★ 1 soporte universal con anillo y tela de asbesto
- ★ 1 mechero Bunsen
- ★ Sulfato de cobre pentahidratado $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- ★ Sulfato doble de aluminio y potasio $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ (conocido comúnmente como “alumbre”)

Indicaciones

Agua de cristalización

1. En un tubo de ensayo limpio y seco agregar una pequeña cantidad de sulfato de cobre.
2. Calentar cuidadosamente en la llama del mechero Bunsen. El sulfato de cobre se vuelve un polvo blanco a medida que pierde el agua de cristalización.
3. Dejar enfriar el tubo y agregar una gota de agua. El sulfato de cobre recupera su coloración azul al rehidratarse.

Solución saturada, sobresaturada y cristalización

4. En un vaso de precipitado de 100 mL agregar 20 mL de agua destilada.
5. Agregar una pequeña cantidad de alumbre y agitar para que se disuelva. Continuar agregando alumbre y agitando hasta que no se disuelva más. En este punto se tiene una solución saturada en frío.
6. Colocar el vaso de precipitado en el soporte universal y comenzar a calentar con el mechero Bunsen.
7. Agregar más alumbre, agitando para que se disuelva, hasta obtener una solución saturada en caliente.
8. Transferir a un cristalizador y dejar enfriar lentamente para que el alumbre comience a cristalizar.
9. Repetir desde el paso 4, empleando sulfato de cobre.



Evidencias entregables

El reporte de esta actividad lleva esta hoja de indicaciones como portada. A continuación, poner una investigación bibliográfica sobre los tipos de cristales (cúbico, cúbico centrado en el cuerpo, cúbico centrado en la cara, etcétera), qué es la distribución de tamaño de cristales y los tipos de cristalizadores de uso industrial.

Reportar además la evidencia fotográfica del desarrollo de la actividad y sus conclusiones individuales.

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