



LABORATORIO: COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN LIBRE

INTEGRANTES DEL EQUIPO (EN ORDEN ALFABÉTICO POR APELLIDO)	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 densidades (debida a la diferencia de temperaturas) es la fuerza impulsora de esta transferencia de calor por convección, y es representada a través del número de Grashöff Gr. También es muy común emplear el número de Rayleigh Ra que es simplemente el producto del número de Grashöff y el número de Prandtl.

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

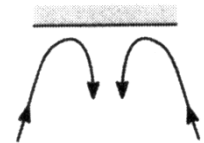
donde L es una longitud característica que depende de la geometría del sistema. Para el caso de una placa plana horizontal, la longitud característica L generalmente se toma como la relación entre el área de la placa dividida entre su perímetro:

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

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 práctica, 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, pesarlo y medir su diámetro 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%. 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.
- ★ El agua normalmente contiene aire disuelto, pero el hielo casi no puede contener aire disuelto debido a su estructura cristalina. Por eso al congelar el agua aparecen burbujas. Estas burbujas causan que el disco no sea homogéneo y por lo tanto se derrita más rápido en algunas áreas. Para reducir la formación de burbujas, se puede hervir el agua antes de congelarla (para expulsar parte del aire disuelto). Otra alternativa es congelarla, luego descongelarla para liberar las burbujas, y volverla a congelar. En cualquier caso, evitar que se agite el agua para disminuir la cantidad de aire que se disuelve nuevamente en el agua.
- ★ 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 de  $h$  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).

**Cálculos**

Concentrar los datos experimentales en la tabla siguiente:

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



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  $T_{\infty}$  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  $\bar{Nu}_L$ . 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  $\bar{Nu}_L$  contra  $Ra_L$  (representados con símbolos sin línea porque son datos experimentales).

### Evidencias entregables

El reporte de la práctica puede ser elaborado en computadora, y lleva esta hoja de indicaciones como portada. Esta hoja de instrucciones debe ser la primera después de la portada. A continuación, incluir una breve investigación bibliográfica relevante a la práctica (aproximadamente dos páginas), la tabla con sus datos experimentales, los cálculos detallados para uno de los experimentos como ejemplo, la tabla con los valores calculados de los demás experimentos, la gráfica de  $\bar{Nu}_L$  en función de  $Ra_L$ , y una conclusión individual de la práctica por cada integrante del equipo.

### Opcional

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

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

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